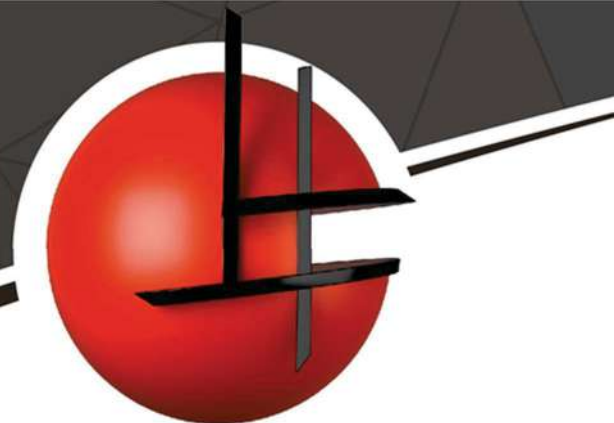


HYDROGEOTECHNIQUE

Spécialistes en études de sol,
chaussée et environnement.



DIR EST

5 RUE HINZELN
54463 METZ



RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Confortement mur de soutènement RN66 (PR34)

BUSSANG (88)

Études géotechniques (G2 AVP+PRO)

DOSSIER N°	INDICE	DATE	RÉDACTEUR	CONTRÔLEUR	SUPERVISEUR	OBSERVATIONS / MODIFICATIONS
C.24.21.070	A	19/12/2024	A. LAVADO	J. VERSCHUERE	C. ROHART / J.M. CUINET	Version initiale
	B	15/01/2025	A.LAVADO	J. VERSCHUERE	C. ROHART	Précisions concernant le drainage de la paroi
	C	31/01/2025	A.LAVADO	J. VERSCHUERE	C. ROHART	Étude de la paroi clouée avec une durée d'utilisation de 75 ans

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
1.1. MISSIONS	4
1.2. RÉFÉRENTIELS	5
1.3. DOCUMENTS FOURNIS	6
1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION	7
2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE.....	10
2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE	10
2.2. CONTEXTE HISTORIQUE	13
2.3. ZONE D'INFLUENCE GÉOTECHNIQUE (ZIG)	17
2.4. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	18
2.5. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE.....	18
2.6. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES.....	19
2.6.1. TABLEAU GÉNÉRAL	20
2.6.2. POINTS PARTICULIÈRES.....	20
2.7. SISMICITÉ	21
3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE ET IMPLANTATION	23
3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE	23
3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE	23
4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION – MISSION G2 PRO.....	24
4.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES.....	24
4.2. SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES D'IDENTIFICATION EN LABORATOIRE	27
4.3. HYDROGÉOLOGIE.....	28
5. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUE – MISSION G2-PRO	30
5.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES	30
5.2. ALÉAS GÉOTECHNIQUES	31
5.2.1. LA GÉOLOGIE.....	31
5.2.2. LA NATURE DES MATÉRIAUX	31
5.2.3. L'HYDROGÉOLOGIE	31
5.2.4. L'ENVIRONNEMENT ET L'HISTORIQUE DU SITE	32
6. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE RÉALISATION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES – MISSION G2-PRO	33
7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE TERRASSEMENTS – MISSION G2-PRO	34
7.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TRAVAUX ENVISAGÉS	34
7.2. TERRASSEMENTS.....	34
7.3. DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE	35
7.4. REMBLAIEMENT.....	35
8. DIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE PAROI CLOUÉE DÉFINITIVE AVEC UNE DURÉE D'UTILISATION DE 100 ANS – MISSION G2 PRO.....	36



8.1.	GÉNÉRALITÉS	36
8.2.	HYPOTHÈSES DE CALCUL.....	36
8.2.1.	HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES	36
8.2.2.	HYPOTHÈSES RELATIVES AUX SURCHARGES.....	38
8.2.3.	CRITÈRES DE DÉPLACEMENT.....	38
8.2.4.	HYPOTHÈSES RELATIVES À LA CORROSION.....	39
8.2.5.	CARACTÉRISTIQUE DIMENSIONNELLE DES CLOUS.....	41
8.3.	HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES	42
8.3.1.	MODÈLE GÉOTECHNIQUE	42
8.3.2.	MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE.....	43
8.4.	HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME.....	43
8.5.	MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT	44
8.6.	RÉSULTATS	45
8.7.	SUJÉTIONS D'EXÉCUTION.....	46
9.	DIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE PAROI CLOUÉE DÉFINITIVE AVEC UNE DURÉE D'UTILISATION DE 75 ANS – MISSION G2 PRO	49
9.1.	GÉNÉRALITÉS	49
9.2.	HYPOTHÈSES DE CALCUL.....	49
9.2.1.	HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES	49
9.2.2.	HYPOTHÈSES RELATIVES AUX SURCHARGES.....	49
9.2.3.	CRITÈRES DE DÉPLACEMENT.....	49
9.2.4.	HYPOTHÈSES RELATIVES À LA CORROSION.....	49
9.2.5.	CARACTÉRISTIQUE DIMENSIONNELLE DES CLOUS.....	51
9.3.	HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES	53
9.3.1.	MODÈLE GÉOTECHNIQUE	53
9.3.2.	MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE.....	53
9.4.	HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME.....	53
9.5.	MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT	53
9.6.	RÉSULTATS	53
9.7.	SUJÉTIONS D'EXÉCUTION.....	55
10.	POINTS COMPLÉMENTAIRES À ÉTUDIER AUX STADES ULTÉRIEURS.....	57
	ANNEXES	59
	ANNEXE 1 PLAN DE LOCALISATION DES SONDAGES	60
	ANNEXE 2 COUPES DES SONDAGES ET RÉSULTATS DES ESSAIS IN-SITU	61
	ANNEXE 3 ESSAIS EN LABORATOIRE.....	62
	ANNEXE 4 SORTIES GRAPHIQUES	63
	ANNEXE 5 MISSIONS GEOTECHNIQUES.....	64



1. INTRODUCTION

1.1. MISSIONS

À la demande de ARTELIA et pour le compte de la **DIR EST**, l'agence Lorraine du Bureau d'Études **HYDROGEOTECHNIQUE EST** a procédé à l'exécution des sondages et des études géotechniques préalables au **confortement du mur de soutènement situé au PR 33+790 sur la RN 66 suite à son effondrement**, sur la commune de **BUSSANG (88)**.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la norme NF P94-500 des missions type d'ingénierie géotechnique de l'AFNOR-USG (révision de novembre 2013), qui suivent les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet, à savoir :

- ÉTAPE 1 : étude géotechnique préalable (G1)
 - ES : Phase Étude de Site,
 - PGC : Phase Principes Généraux de Construction,
- ÉTAPE 2 : étude géotechnique de conception (G2)
 - **AVP : Phase Avant-Projet**,
 - **PRO : Phase Projet**,
 - DCE / ACT : Phase Dossier de Consultation des Entreprises et Assistance aux Contrats de Travaux,
- ÉTAPE 3 : études géotechniques de réalisation
 - Étude et suivi géotechnique d'exécution (G3)
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
 - Supervision géotechnique d'exécution (G4)
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
- Étude d'éléments spécifiques géotechniques
 - Diagnostic géotechnique (G5).

Le présent rapport correspond à une **mission G2 Phase AVP + PRO** de l'Union Syndicale Géotechnique dont vous trouverez, en annexe, la classification, le contenu et le schéma d'enchaînement de ces missions.

Les hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport s'entendent sous réserve de la stricte application de cette norme et plus généralement de l'ensemble des normes et règlements en vigueur.

Ce rapport a été rédigé par **Antonio LAVADO**, Ingénieur INSA Strasbourg, avec le contrôle interne de **Jonas VERSCHUERE**, Ingénieur ENPC, et le contrôle externe de **Clément ROHART**, Ingénieur Géotechnicien (École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg), et **Jean Michel CUINET**, Ingénieur Géologue et Géotechnicien Expert (DESS de Géologie appliquée de l'Université de Besançon).

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- la présentation des données générales relatives au projet étudié,
- l'exposé des choix constructifs retenus à ce stade de la mission G2 PRO pour la réalisation d'une paroi clouée définitive,
- l'analyse des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques des sols au droit du projet,
- la présentation des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier, définition des modèles géotechniques de calculs spécifiques à une paroi clouée définitive),
- le dimensionnement géotechnique de niveau G2 PRO des ouvrages géotechniques indissociables de la construction du projet, hors ouvrages provisoires proposés par l'entreprise (grue, ...),
- la définition des prescriptions géotechniques particulières d'exécution et des éléments de contrôle qui leur sont associés.

Notre mission de type G2-AVP + PRO s'arrête à la remise de ce rapport. Elle devra être suivie des missions de type G2 DCE/ACT puis G4. Ponctuellement une mission G5 à définir par la Maîtrise d'Œuvre du projet pourra être réalisée. La mission G3 est à la charge de l'entreprise adjudicataire des travaux.

Limites de cette étude :

Le caractère de cette étude est strictement de type géotechnique. Les aspects liés à la recherche de pollution éventuelle ou à la caractérisation des ouvrages enterrés et des incidences des vestiges et fouilles archéologiques sont exclus.

La présence notamment de risque d'amiante présent naturellement dans les sols (amiante environnemental), d'amiante anthropique dans les remblais et enrobés n'a pas été étudiée.

La présente étude peut présenter des contradictions avec les résultats de missions complémentaires (recherche de pollution notamment). Il appartiendra au Maître d'œuvre de mettre en cohérence ces éléments, si nécessaire, à la réception des études.

Les aspects relatifs à la structure des ouvrages neufs (ferraillage, béton...) sortent du cadre de nos compétences. Ils devront être confiés à un BE spécialisé, tout comme le diagnostic structurel des ouvrages existants entrant en interaction avec le projet.

1.2. RÉFÉRENTIELS

La campagne de sondages, ainsi que notre étude suivent les normes et documents français et plus particulièrement :

- Eurocodes 1 – NF EN 1991-1 (mars 2003),
- Eurocodes 3 – NF EN 1993-1-1 (octobre 2005), NF EN 1993-5 (août 2007) et NF EN 1993-5/NA (août 2008),
- Eurocodes 7 – NF EN 1997-1 (juin 2005) et NF EN 1997-2 (septembre 2007),
- Eurocodes 8 – NF EN 1998-5 (septembre 2005),



- Décrets du 22 octobre 2010 et arrêté du 26 octobre 2011 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,
- NF P94-262 – Calcul géotechnique – Fondations profondes (juillet 2012) ainsi que l'amendement A1 de juillet 2018,
- NF P94-270 – Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Remblais renforcés et massifs en sol cloué (octobre 2020),
- Recommandations Clouterre pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols (1991),
- Guide CEREMA, Eurocode 7, Application aux écrans de soutènement (NF P94-282) (2016),
- Guide technique pour les remblais et les couches de forme (2000) ;
- Normes relatives aux essais in situ et essais en laboratoire.

1.3. DOCUMENTS FOURNIS

Pour mener à bien notre mission, les documents suivants nous ont été communiqués par le Maître d'Ouvrage et le Maître d'œuvre lors des différentes missions :

- **[1]** Plan Topographique – RN 66 – Mur de Bussang-PR 34+000, établie par le cabinet Jean-Christophe CLERGET, n° dossier : 11-44098, daté du mois d'août 2021.
- **[2]** Cahier des Profils : PT_01 au PT_34 – Mur de Bussang-PR 34+000, sans référence, ni date (34 pages),
- **[3]** Diagnostic suite effondrement du 13/12/2023 – Réhabilitation et Consolidation du mur de Bussang, établi par ARTELIA, document référencé : ARTELIA/VISUALING/JANVIER 2014/463 4012/A, daté du 15/01/2024 (31 pages),
- **[4]** Dimensionnement de la paroi clouée - Réhabilitation et Consolidation du mur de Bussang suite à l'effondrement du 13/12/2023, établi par ARTELIA, document référencé : ARTELIA/OCTOBRE 2024/463 4012, daté du 22/10/2024 (18 pages),
- **[5]** Phasage zone courante - Réhabilitation et consolidation du mur de Bussang suite à l'effondrement du 13/12/2023, n° affaire 4634012, n° plan 1, daté du 30/09/2024 (8 pages),
- **[6]** Phasage zone effondrée - Réhabilitation et consolidation du mur de Bussang suite à l'effondrement du 13/12/2023, n° affaire 4634012, n° plan 1, daté du 30/09/2024 (9 pages).

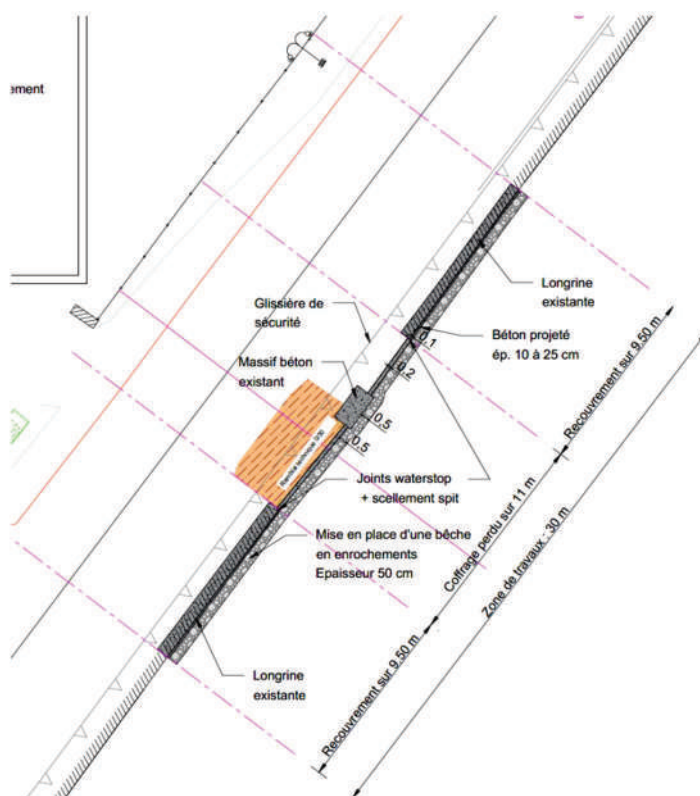


1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION

Suite à l'effondrement d'un mur de soutènement portant la RN66 le 13/12/2023 au niveau PR 33+790, il est prévu par l'équipe de MOE/MOA de mettre en œuvre une paroi clouée afin de conforter la zone effondrée et ses abords.

Le mur de soutènement existant s'étend sur un linéaire de 300m, mais la zone de travaux ne correspondra qu'à 30ml environ, avec un effondrement limité à environ 5ml.

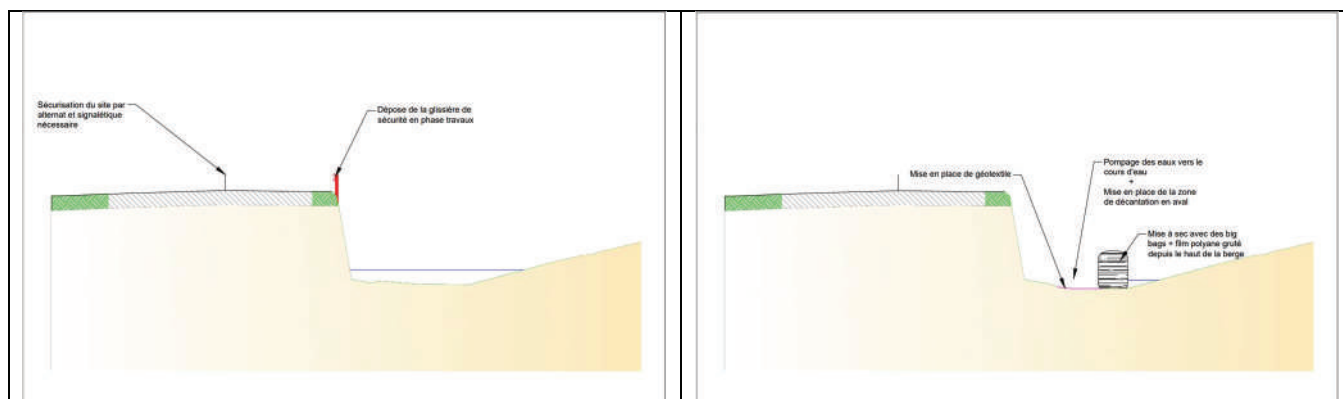
Les vues en plan et en coupe suivante permettent de mieux visualiser les travaux :

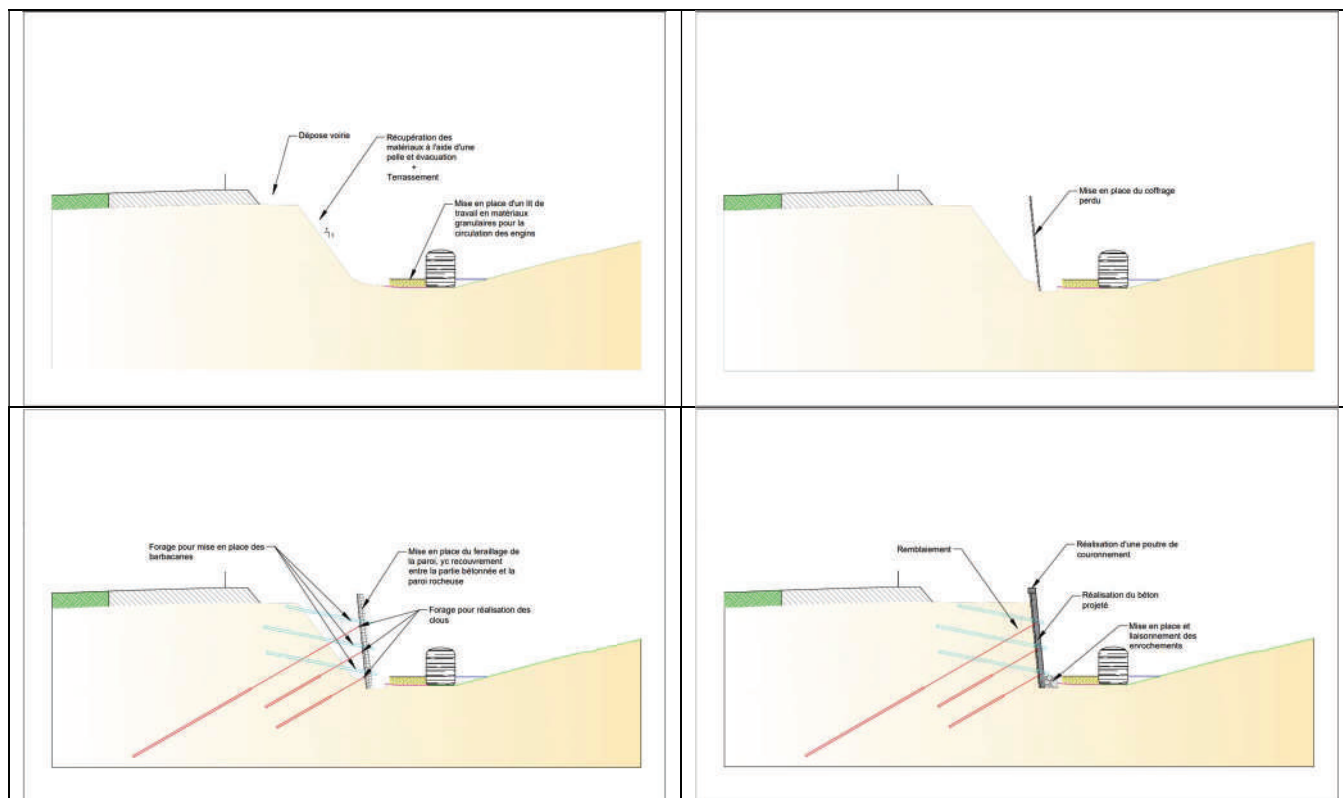


Vue en plan projet (document [4])

D'après les éléments transmis (documents [5] et [6]), deux zones sont identifiées : Zone « effondrement » et Zone « courante » :

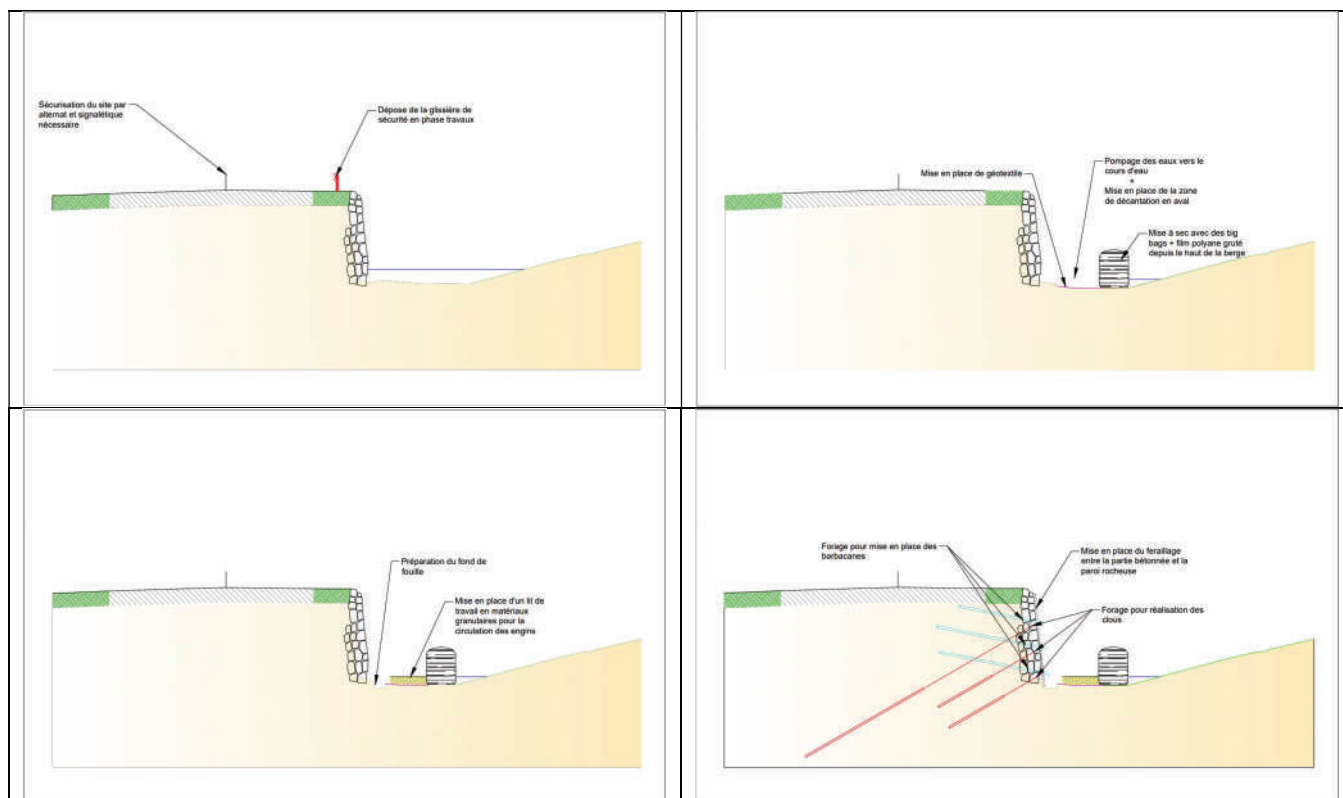
Phasage : Zone « effondrement »





Pour la zone effondrée, un coffrage perdu sera mis en place pour réaliser la paroi clouée. Ce coffrage perdu devra être ancré provisoirement (à justifier par l'entreprise dans le cadre de sa mission G3).

Phasage : Zone « courante »



Sur cette zone, la paroi clouée sera réalisée devant le mur existant.

Remarque : on rappelle que notre mission est de type géotechnique et ne concerne que l'étude de la stabilité de la paroi clouée projetée. Il conviendra que l'équipe de MOE mène un diagnostic des existants permettant de vérifier leur stabilité interne vis-à-vis des phases provisoires (notamment lors des phases de forage des murs existants).

En absence d'informations relatives à la classe de conséquence de la ruine ou de l'endommagement du projet, au sens de la norme NF EN 1990, nous considérons que celle-ci est de classe CC2 (conséquences moyennes), ce que le maître d'ouvrage devra confirmer :

Classe de conséquence	Conditions de site	Catégorie géotechnique*	Base des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple		
CC2	Complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis
CC3	Simple ou complexes		

** Cette classification est à confirmer par le Maître d'Ouvrage.*

Tout changement d'implantation ou d'importance du projet par rapport aux hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport doit nous être communiqué et recevoir notre accord par écrit et faire l'objet d'une mission spécifique complémentaire. Ces changements peuvent modifier les conclusions de notre étude.

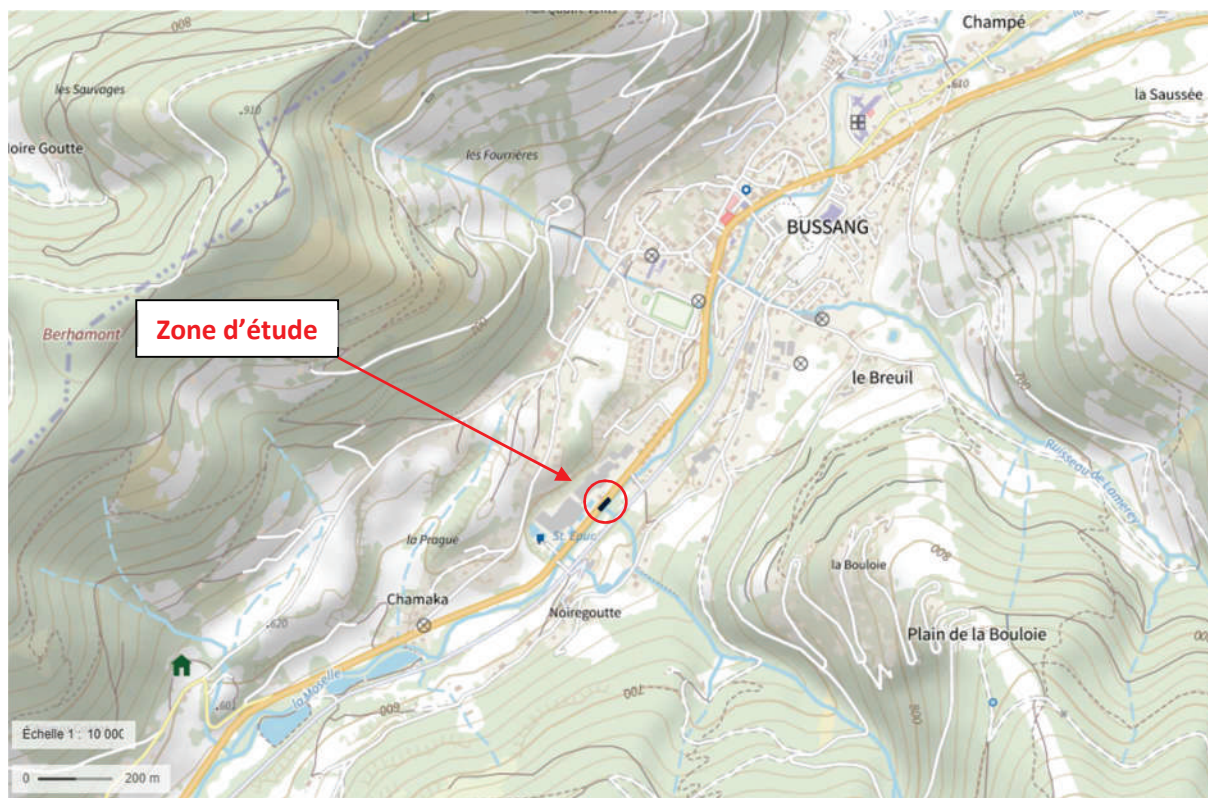
Cette étude a été réalisée en décembre 2024 (date de rédaction du rapport). Nous attirons l'attention sur le fait qu'un certain nombre de paramètres peuvent évoluer dans la durée, (environnement notamment). Au-delà d'un délai de 1 an, nous recommandons fortement une actualisation de nos conclusions.

2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE

2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE

Le site se trouve au niveau du PR44 de la RN66, dans la commune de Bussang (88).

L'ouvrage étudié concerne le mur de soutènement qui porte la RN66 et qui protège le cours de la Moselle.



Extrait de la carte IGN (source : www.geoportail.gouv.fr)



Vue aérienne (source : www.geoportail.gouv.fr)

D'après le document [3], le sinistre a eu lieu au niveau du PR 33+790 avec un effondrement sur un linéaire d'environ 5.0 m entraînant une rupture partielle du mur sur les 6.0 m en amont de la zone et une fissuration des maçonneries sur les 10 m encore en amont.



Vue de l'effondrement du mur au PR 33+790 (document [3])

Les photos suivantes permettent de visualiser le site lors de notre intervention pour réalisation des sondages en avril 2024 :



Photographie du site du Nord vers le sud (Prise le 11/04/2024)



Photographie au droit de la zone effondrée du Sud vers le Nord (Prise le 11/04/2024)



Photographie du site du Sud vers le Nord (Prise le 11/04/2024)

On peut noter qu'au droit du sinistre, des dispositifs de protection d'urgence se trouvaient déjà mis en place.



Photographie du mur existant au sud du site (Prise le 11/04/2024)

2.2. CONTEXTE HISTORIQUE

D'après les photographies aériennes d'archives disponibles sur le site www.remonterletemps.ign.fr, la RN66 existait déjà depuis les années 1935, et l'aménagement au droit de la zone d'étude est le même depuis au moins cette date.



1951



1973



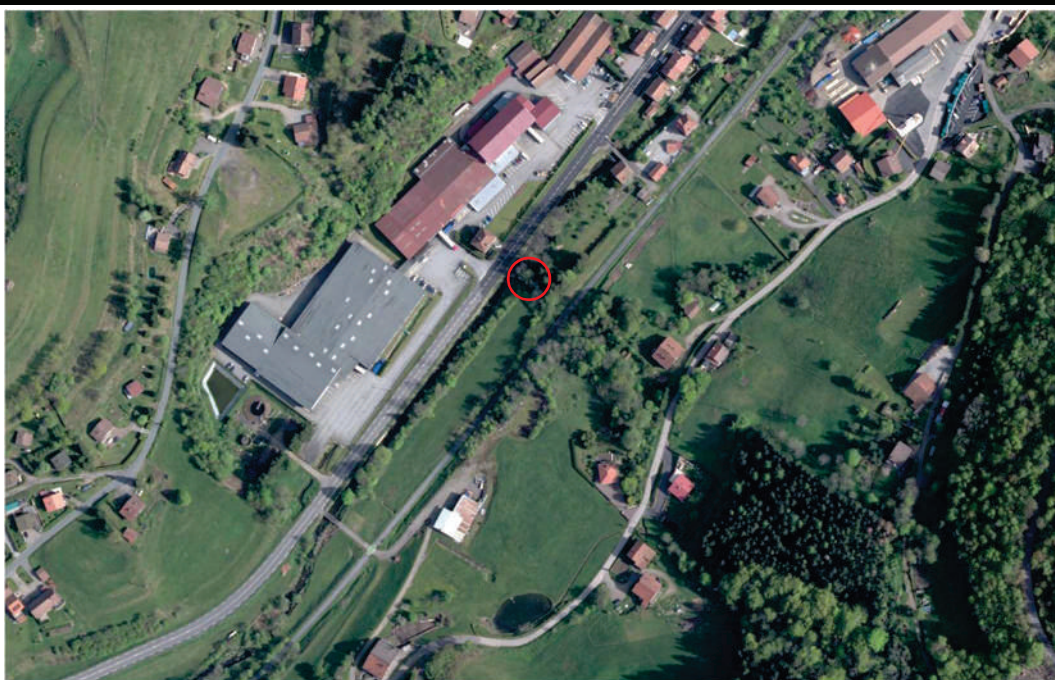
2003



2006



2014



2.3. ZONE D'INFLUENCE GÉOTECHNIQUE (ZIG)

La zone d'influence géotechnique englobe :

- la RN66,
- les murs de soutènement,
- la Moselle et ses affluents,
- l'ensemble des réseaux enterrés et aériens qui s'y trouvent,
- les bâtiments proches dont le mode de fondation est inconnu,
- la ZIG intègre également l'ensemble des cheminements d'accès au chantier.

Le contour de la ZIG est matérialisé sur la vue aérienne suivante. On gardera à l'esprit que la ZIG est un volume et qu'elle s'étend donc en profondeur et hors sol.

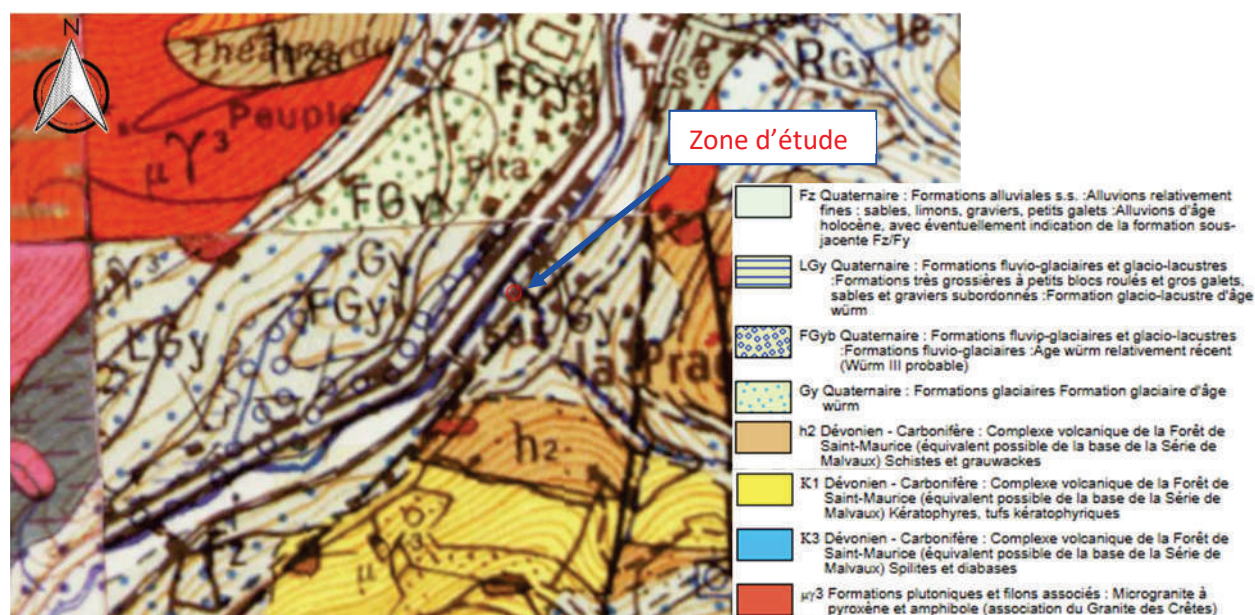


Extrait du site Géoportail

2.4.CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La carte géologique (éditions du BRGM) au 1/50 000^{ème} de THANN montre que la zone d'étude se situe au niveau des formations suivantes, sous les remblais / formations de surface et d'altération non mentionnées par le document :

- Fz Quaternaire : Formations alluviales s.s. : Alluvions relativement fines : sables, limons, graviers, petits galets :Alluvions d'âge holocène, avec éventuellement indication de la formation sous-jacente Fz/Fy
- Gy Quaternaire : Formations glaciaires Formation glaciaire d'âge würm
- h2 Dévonien - Carbonifère : Complexe volcanique de la Forêt de Saint-Maurice (équivalent possible de la base de la Série de Malvaux) Schistes et grauwackes
- K1 Dévonien - Carbonifère : Complexe volcanique de la Forêt de Saint-Maurice (équivalent possible de la base de la Série de Malvaux) Kératophyres, tufs kératophyriques
- µγ3 Formations plutoniques et filons associés : Microgranite à pyroxène et amphibole (association du Granite des Crêtes)



Extrait de la carte géologique de THANN au 1/50 000^{ème} (éditions BRGM)

Compte tenu de l'aménagement du site, la présence de remblais est attendue.

À noter que les niveaux de topographie supérieures au site sont très faillés.

2.5. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Compte tenu du contexte sitologique et géologique, il est probable que des nappes et circulations d'eau puissent s'établir :

- sous forme de nappes de stagnation dans les remblais et les formations superficielles,
- à la faveur de la perméabilité des différentes couches de sol,
- à l'interface entre les formations superficielles et le substratum,
- dans le substratum à la faveur de sa fissuration et des cavités éventuelles.

- sous la forme d'une nappe dans les remblais et le substratum en relation avec La Moselle située à proximité immédiate du site et des différents aménagements hydrauliques du site.

Attention, la piézométrie de ces différents aquifères n'est pas nécessairement confondue.

Ici, on va par ailleurs avoir à travailler en site aquatique, soumis aux fluctuations des niveaux de la Moselle (crues notamment).

2.6. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES

Selon le portail de prévention des risques majeurs du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (www.georisques.gouv.fr), les arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune de THANN sont les suivants :

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles (CAT-NAT) : 9

Source : CCR

Inondations et/ou Coulées de Boue : 6

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0200119A	29/12/2001	30/12/2001	12/03/2002	28/03/2002
INTE1802929A	04/01/2018	06/01/2018	31/01/2018	01/02/2018
INTE9000113A	14/02/1990	16/02/1990	16/03/1990	23/03/1990
INTE9500070A	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
NOR19830516	01/04/1983	28/04/1983	16/05/1983	18/05/1983

Sécheresse : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE1630464A	01/07/2015	30/09/2015	26/10/2016	16/12/2016
INTE2118485A	01/07/2020	30/09/2020	22/06/2021	09/07/2021

Mouvement de Terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Les arrêtés sont liés à des inondations et/ou coulées de boue, sécheresse et mouvement de terrain. Ces événements ne sont pas localisés.

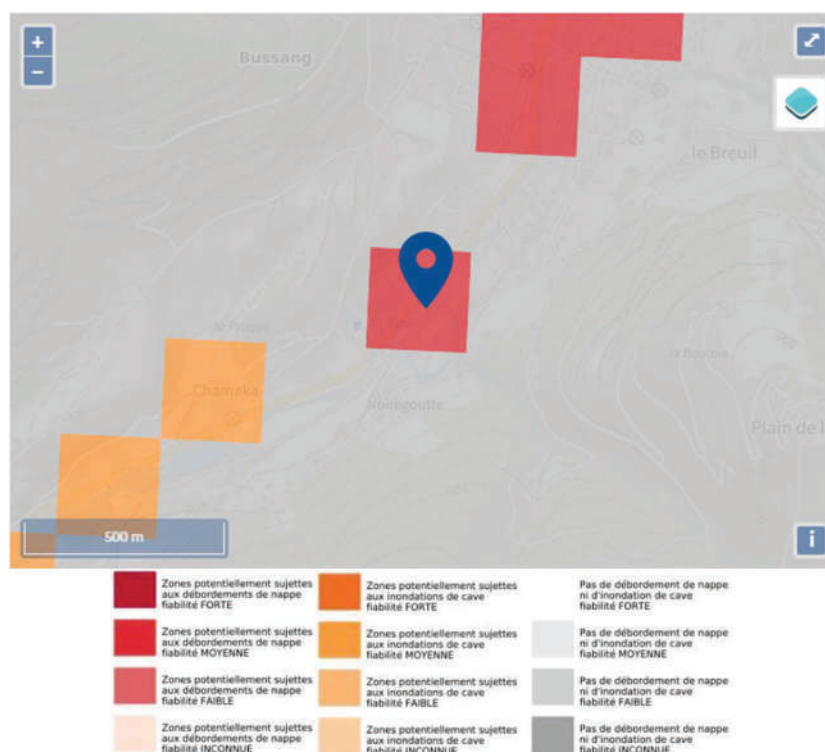
2.6.1. TABLEAU GÉNÉRAL

Le tableau ci-après récapitule les risques référencés au droit de la parcelle étudiée sur le site gouvernemental www.georisques.gouv.fr.

RISQUE ÉTUDIÉ	ALÉA
Sismicité	Zone 3
Inondation	PPRI Bussang Zone concernée
Remontée de nappe / Inondation de cave	Zone potentiellement sujette aux débordements de nappe
Mouvement de terrain	Une érosion de berges est recensée sur le site Infoterre du BRGM environ à 200m au sud de la zone d'étude ; et aussi présent compte tenu de la problématique d'étude
Retrait / gonflement des argiles	Faible
Cavités souterraines	Non concernée
Radon	Important
Installations de transports de matières dangereuses	Inconnu
Canalisations de transports de matières dangereuses	Inconnu
Pollution des sols	Inconnu

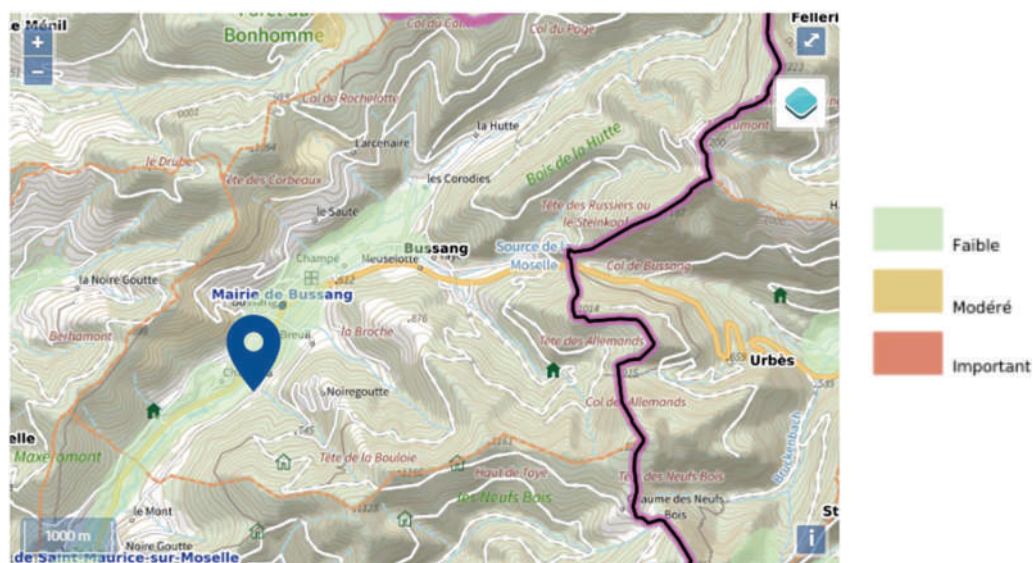
2.6.2. POINTS PARTICULIÈRES

- **Carte de remontée de nappe :**

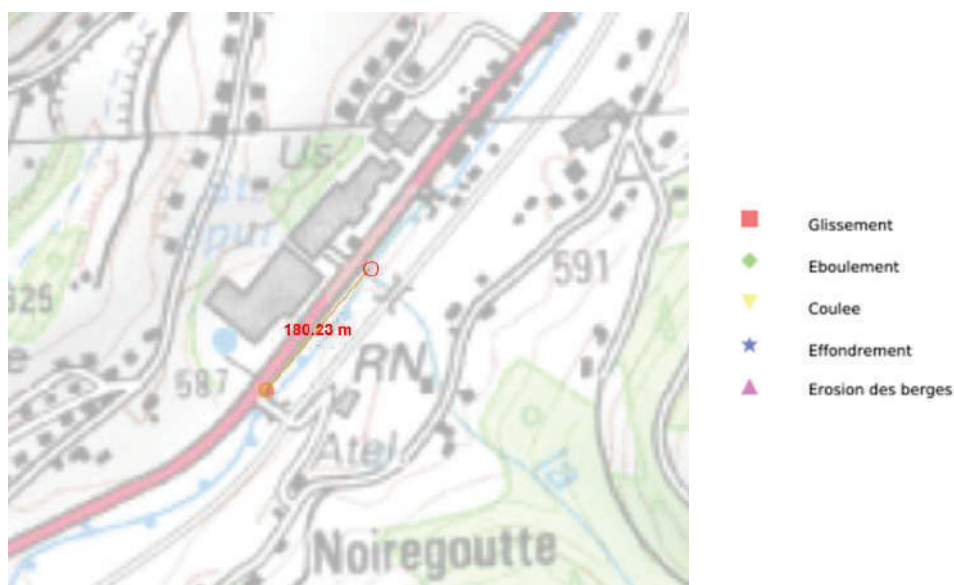


Ici, on sera soumis aux aléas des niveaux d'eau de la Moselle.

- **Carte d'exposition au retrait gonflement des argiles :**



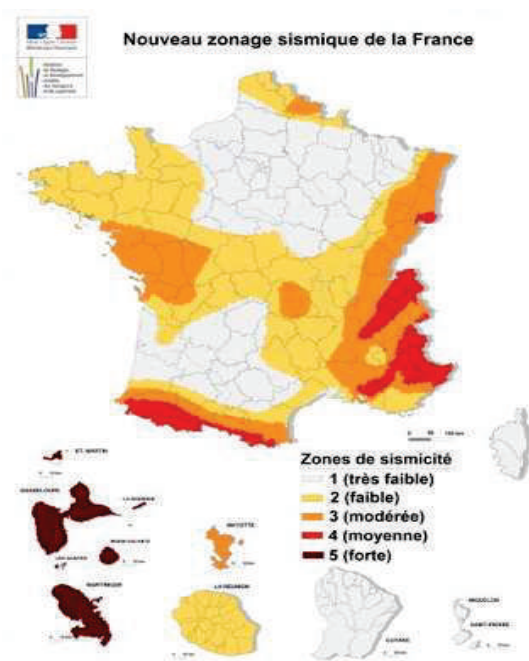
- **Carte de mouvements de terrain à proximité :**



2.7. SISMICITÉ

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets n°2010-1254 du 22 octobre 2010 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010, ainsi que par l'Arrêté du 22 octobre 2010) :

- une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les ouvrages à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible),
- quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux ouvrages, et aux ouvrages anciens dans des conditions particulières.



Ici, le décret n°2010-1255 classe la zone étudiée en zone 3 d'aléa modéré.

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'un coefficient d'importance γ_1 attribué à chacune des catégories d'importance du bâtiment. Les valeurs de ces coefficients sont données par le tableau suivant :

CATÉGORIE D'IMPORTANCE	COEFFICIENT D'IMPORTANCE γ_1
I	0,8
II	1,0
III	1,2
IV	1,4

Ici, en l'absence d'information, on retiendra $\gamma_1 = 1,0$. À valider par le maître d'ouvrage.

Le mouvement dû au séisme est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération. Il est caractérisé au niveau d'un sol rocheux (sol de classe A) par la valeur d'accélération a_{gr} . Les valeurs des accélérations a_{gr} sont données dans le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	a_{gr} (m/s ²)
1 (très faible)	0,4
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3,0

Dans le cadre de cette étude $a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$.

L'accélération horizontale de calcul est déterminée à partir d'un sol référence de classe A rocheux. Elle est égale au produit de l'accélération a_{gr} par le coefficient d'importance γ_1 .

On retiendra donc :

$$a_g = a_{gr} \times \gamma_1 = 1,1 \times 1,0 = 1,1 \text{ m/s}^2$$

3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE ET IMPLANTATION

3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE

Nous avons mis en œuvre les investigations suivantes :

Dans le cadre de la présente mission :

- **2 forages de reconnaissance géologique de type semi-destructif**, notés SP1 et SP2, descendus à 15.5m, en diamètre 66mm, les outils étant adaptés aux types de terrains.
- Dans ces forages, **22 essais pressiométriques**, suivant une maille de principe de 1.0m sur les 3 premiers mètres, 1.5m au-delà, permettant la mesure après dépouillement, par un essai de chargement in situ :
 - du module de compressibilité : Em
 - de la pression de fluage : pf
 - de la pression de rupture : pl
 - de la pression horizontale des terres : σ_{HS}
 - qui permet celle de la pression limite nette : pl*
- **2 forages en carottage continu**, notés SC1 et SC2, descendus à 15.0m de profondeur, en diamètre 116mm
- **En laboratoire**, suivant les normes correspondantes :
 - 10 teneurs en eau (NF P94-050),
 - 10 essais au bleu de méthylène (NF P94-068),
 - 10 analyses granulométriques (NF P94-056).

3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE

Le plan d'implantation des sondages est présenté en annexe du rapport.

Les coordonnées des têtes des sondages ont été extrapolées à partir du plan fourni. Elles figurent dans le tableau ci-après :

Sondage	Z (mNGF)
SP1/SC1	590,72
SP2/SC2	589,45

4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION – MISSION G2 PRO

4.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

L'analyse des coupes lithologiques des différents sondages permet de schématiser la lithologie de la manière suivante :

Remblais routiers :

● Couche C01 : Remblais routiers

En tête des sondages, on trouve une couche de béton bitumineux reposant ou non sur une sous-couche de béton, d'environ 47 à 55cm, surmontant une couche de sables marron, graviers à cailloux, correspondant aux remblais routiers. Cette couche a été reconnue comme suit :

Sondage	Profondeurs (m)	Cotes [mNGF]	Épaisseur (m)
SC1/SP1	0,00 - 1,10	[590,72 - 589,62]	1,10
SC2/SP2	0,00 - 1,15	[589,45 - 588,30]	1,15

Au pressiomètre, uniquement deux mesures ont pu être réalisées au sein de cette couche :

- Em : 2,1 – 2,2 MPa
- pl* : 0,43 – 0,54 MPa

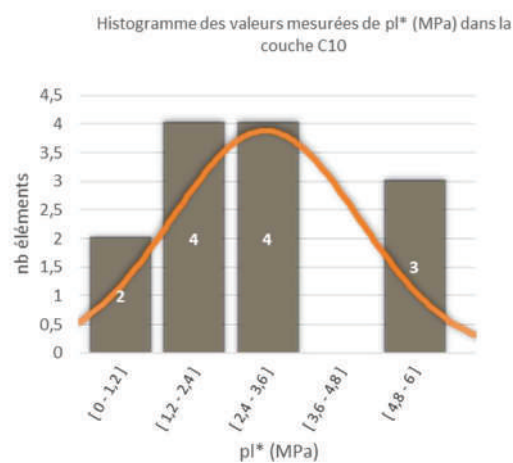
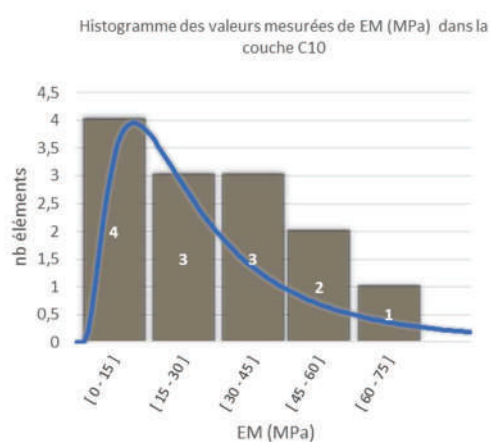
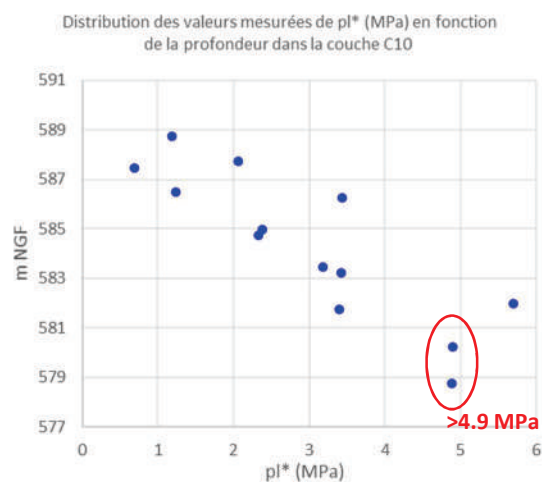
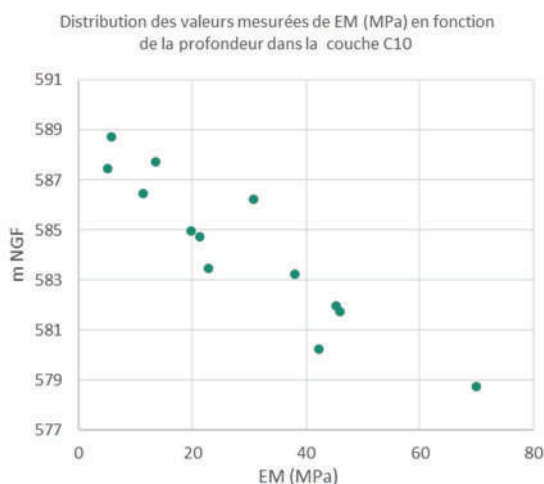
Alluvions :

● Couche C10 : Formations glaciaires

Sous les remblais routiers, on trouve des sables +/- argileux à graviers et galets de granite. Cette couche correspond aux alluvions de la Moselle potentiellement +/- remblayé derrière le mur. Cette couche a été reconnue comme suit :

Sondage	Profondeurs (m)	Cotes [mNGF]	Épaisseur (m)
SC1/SP1	1,10 - 13,20	[589,62 - 577,52]	12,10
SC2/SP2	1,15 - 8,20	[588,30 - 581,25]	7,05

Au pressiomètre, on y mesure des compacités moyennes à très fortes augmentant avec la profondeur, avec :



C10	Em (MPa)	pf^* (MPa)	pl^* (MPa)
NOMBRE DE MESURES (N)	13	13	13
MIN	5,2	0,40	0,69
MAX	70,0	>4,957	>5,71
MOY ARITHMETIQUE (M)	28,7	>2,20	>2,99
ECART TYPE (S)	19,0	1,50	1,54
COEFF VARIATION (CV)	0,66	0,68	0,51
MÉDIANE	23,0	1,81	3,19
Analyse statistique			
MOYENNE HARMONIQUE	16,2	>1,36	>2,10
MOYENNE GÉOMÉTRIQUE	22,3	>1,76	>2,56
M - 0,5 S	19,2	>1,45	>2,22

On peut remarquer que la compacité augmente avec la profondeur. Cette couche sera scindée en 3 sous-couches lors de l'établissement du modèle géotechnique, afin de tenir compte de cette augmentation de la compacité.

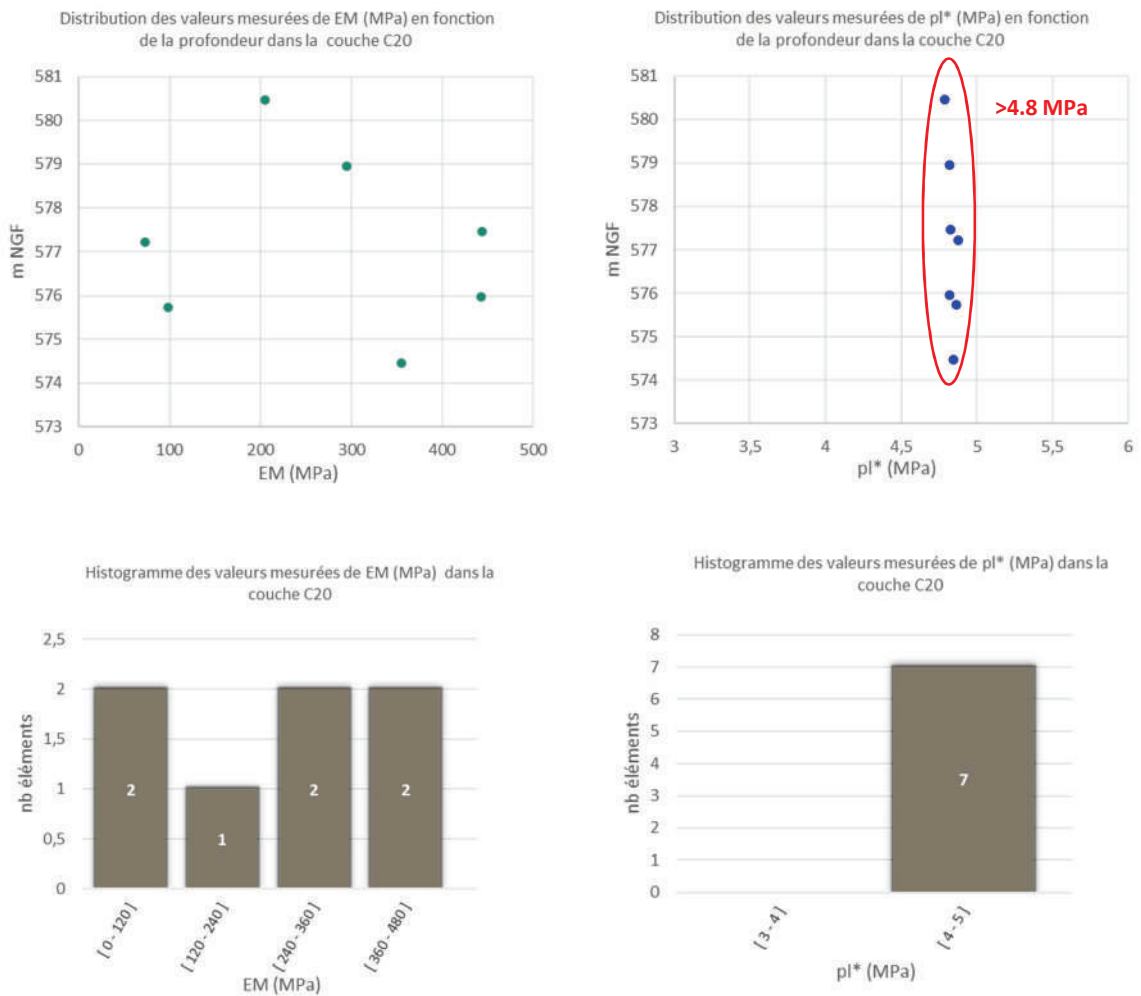
Par ailleurs, il faut s'attendre à la présence de blocs/ gros éléments dans ses formations fluvioglaciales.

Substratum :● **Couche C20 : Granite**

Sous les alluvions, on trouve le substratum, composé du granite très fracturé gris, rose. Cette couche a été reconnue comme suit :

Sondage	Profondeurs (m)	Cotes [mNGF]	Épaisseur (m)
SC1/SP1	13,20 - >15,50	[577,52 - <575,22]	>2,30
SC2/SP2	8,20 - >15,50	[581,25 - <573,95]	>7,30

Au pressiomètre, les valeurs mesurées sont très élevées, avec :



C20	Em (MPa)	pf* (MPa)	pl* (MPa)
NOMBRE DE MESURES (N)	7	7	7
MIN	73,6	4,79	4,79
MAX	444,3	>4,906	>4,88
MOY ARITHMETIQUE (M)	273,6	>4,84	>4,84
ECART TYPE (S)	152,9	0,04	0,03
COEFF VARIATION (CV)	0,56	0,01	0,01
MÉDIANE	294,9	4,83	4,83
Analyse statistique			
MOYENNE HARMONIQUE	178,0	>4,84	>4,84
MOYENNE GÉOMÉTRIQUE	226,7	>4,84	>4,84
M - 0,5 S	197,2	>4,82	>4,82

On gardera à l'esprit que :

- compte tenu du nombre limité de points d'investigations, cette esquisse reste schématique et que l'épaisseur des différentes couches n'est certaine qu'au droit des sondages,
- les sondages ont été réalisés en (semi) destructif (hors sondages carottés) et en petit diamètre, que les limites de couches sont approximatives et que la blocométrie des formations n'a pu être mesurée.

Nota : La lithologie rencontrée est celle +/- attendue au travers de la carte géologique sur la hauteur des sondages réalisés (placages fluvio-glaciaires épais sur substratum rocheux).

4.2. SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES D'IDENTIFICATION EN LABORATOIRE

Les résultats des essais en laboratoire sont présentés dans les tableaux suivants.

ESSAIS D'IDENTIFICATION			Couche	Classification	Teneur en eau	Valeur au bleu	Granulométrie par tamisage						
				11-300	94-050	94-068	94-056						
Sond.	Prof (m)	Nature		GTR (2000)	W% (O/D)	VBS	% de passant						
							Dmax (mm)	50 mm	20 mm	5 mm	2 mm	400 µm	80 µm
SC1	0,5 - 1,0	Sables marron à cailloux	C0.1	B3	7	0,12	48	96	74	49	42	24	10
SC1	1,5 - 2,0	Sables marron à graviers et galets granitiques	C10	B5	7,7	0,25	50	95	77	54	44	25	13
SC1	4,2 - 5,0	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	C10	B3	7,6	0,11	38	100	81	62	50	20	11
SC1	7,2 - 8,0	Sables argileux marron, gris à graviers et galets granitiques	C10	C1B5	6,6	0,26	80	83	77	54	53	27	17
SC1	10,2 - 11,0	Sables marron à graviers et galets granitique	C10	D2	5	0,06	45	97	86	72	68	30	4
SC2	1,2 - 1,7	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	C10	B5	18,3	0,29	38	100	88	67	57	31	14
SC2	2,0 - 2,8	Sables marron, gris à graviers et galets granitiques	C10	B5	5,4	0,15	34	100	86	63	51	29	17
SC2	5,2 - 6,0	Sables légèrement argileux marron, gris à graviers et galets granitiques	C10	B5	9,3	0,36	45	97	87	70	60	42	30
SC2	6,5 - 7,0	Sables légèrement argileux marron, gris à graviers et galets granitiques	C10	B5	9,9	0,33	31	100	92	72	61	40	26
SC2	7,0 - 8,0	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	C10	A1	10,3	0,48	38	100	94	84	77	52	36

Les matériaux de la couche C01 sont classés B3 (1 fois) au sens du GTR (2000), les blocs contenus dans les couches ayant toutefois été écartés lors des prélèvements.

Les matériaux de la couche C10 sont classés A1 (1 fois), B3 (1 fois), B5 (5 fois), C1B5 (1 fois) et D2 (1 fois) au sens du GTR (2000). Là encore, les blocs ont été généralement écartés lors des prélèvements, et de toute façon limités par la taille du carottier.

Soit des matériaux globalement sablo-graveleux pour les couches C01 et C10 contenant plus ou moins de fines. Les matériaux sont purement frottants, sans cohésion et globalement perméables. Ils contiennent des blocs pouvant être volumineux.

4.3. HYDROGÉOLOGIE

Les niveaux d'eau suivants ont été mesurés en fin de sondages réalisés en avril 2024. Il ne s'agissait pas forcément de niveaux stabilisés :

Sondage	Date de la mesure	Profondeur (m/TN)	Cote (mNGF)
SC1	16/04/2024	4,0	586,72
SC2	18/04/2024	3,9	585,55

Il s'agit vraisemblablement du niveau de la nappe alluviale.

Aucun forage n'a été équipé en ouvrage provisoire de mesure du niveau d'eau, et aucun piézomètre n'est disponible à proximité sur le site Infoterre.

D'après le document [1], le niveau d'eau devant le mur était calé à 586.97 mNGF à proximité de la zone d'étude, le 29/07/2021.



Extrait plan topographique (document [1])

Le PPRI de Bussang, montre un niveau de crue de référence à proximité du site calé vers 590 mNGF :



Extrait carte Zone réglementaire PPRI de la Moselle et ses affluents BUSSANG Planche 4

À ce stade du projet, aucune enquête hydrogéologique permettant de définir les niveaux caractéristiques des aquifères au droit du projet n'a été menée à notre connaissance.

D'après les indications de l'équipe de MOE, il conviendra de retenir un niveau de poussée derrière le mur à $1/3H$ en situation normale, et à $1/2H$ en situation accidentelle, soit pour une hauteur de soutènement de l'ordre de 4.2m et un niveau de fond de la Moselle calé vers 586.6 mNGF, les niveaux suivants :

- 588.0 mNGF en situation normale
- 588.7 mNGF en situation accidentelle

Il conviendra de réaliser une enquête hydrogéologique de la zone pour déterminer les niveaux d'eau caractéristiques au sens de l'Eurocode 7 (EE/Ee, EH/Eh, EF/Ef et EB/Eb). En première approche, nous considérons les niveaux suivants :

Niveaux d'eaux caractéristiques au sens de l'Eurocode	Cote (mNGF)	Observations
Niveau EE*	590,00	Crue de référence
Niveau EH*	588,00	Situation normale (conformément aux indications de l'équipe de MOE)
Niveau EB*	587,00	Niveau mesuré le 29/07/2021
Niveau Eb*	586,60	Fond de la Moselle

Ces niveaux ont été définis en approche sécuritaire en absence de données au droit du site.

On retiendra donc de ce site :

- L'existence de circulations erratiques et intermittentes à différentes profondeurs au sein de toutes les couches, fortement conditionnées par la météorologie ;
- L'existence d'une nappe saisonnière soumise à fluctuation saisonnière en relation avec le réseau hydrographique local ;
- La formation possible, en périodes pluvieuses, de poches de stagnation localisées dans les remblais, et éventuellement dans les poches blocailleuses les plus perméables de la couche C10 ;
- La très probable mise en charge de la nappe sous la couverture superficielle en périodes de crues ;
- Un probable effet barrage du aux structures actuelles (mur de soutènement...).

5. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUE – MISSION G2-PRO

5.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Le tableau suivant reprend les limites inférieures et supérieures de chaque couche, au droit de chaque sondage, en précisant l'épaisseur des couches, entièrement traversées, entre parenthèses.

Lithologie		Remblais	Formations glaciaires	Substratum
Description		Enrobé + couche de forme	Sable +/- argileux à graviers, galets et blocs	Granite fracturé
N° couche		C01	C10	C20
Limites de couches (m)	SP1/SC1	0,00 - 1,10 [590,72 - 589,62]	1,10 - 13,20 (12,10) [589,62 - 577,52]	13,20 - >15,50 (>2,30) [577,52 - <575,22]
	SP2/SC2	0,00 - 1,15 [589,45 - 588,30]	1,15 - 8,20 (7,05) [588,30 - 581,25]	8,20 - >15,50 (>7,30) [581,25 - <573,95]
Hydrogéologie		-	Nappe alluviale	Aquifères fissuraux
Compacité (MPa)		Modeste - moyenne 2,1 < Em < 2,2 0,43 < pl* < 0,53	Moyenne à élevée 5,2 < Em < 70,0 0,69 < pl* < 5,71	Très élevée 73,6 < Em < 444,3 4,79 < pl* > 4,88
Classification GTR*		B3*	A1, B3, B5, C1B5, D2*	-

* globalement sur fraction 0-100mm, limitée par la taille du carottier.

Profondeur de rencontre en mètre.

[Cote de rencontre en m NGF]

Sont représentées en bleu les profondeurs et cote d'arrêt des sondages

5.2. ALÉAS GÉOTECHNIQUES

Les aléas géotechniques sont en relation entre autres, avec :

5.2.1. LA GÉOLOGIE

- les variations d'épaisseur des différentes couches et notamment des remblais qui peuvent localement être plus épais entre les sondages, ou aux abords des ouvrages existants enterrés, notamment compte tenu de l'historique du site avec de très fortes hétérogénéités à atteindre,
- les variations de faciès des remblais entraînant des variations de nature, de granulométrie et de perméabilité,
- les variations latérales de faciès au sein des formations fluvio-glaciaires, pouvant entraîner l'apparition de lentilles de nature variable au sein des couches C10. Il est possible que des sols de nature localement différente de celle retrouvée en sondages apparaissent localement lors des travaux de terrassement,
- les variations de faciès dans les formations fluvio-glaciaires avec présence de gros blocs possibles,
- l'hétérogénéité des faciès pouvant générer des hors profils lors des terrassements,
- les irrégularités importantes du toit du substratum,
- le caractère compact à très compact du substratum et des formations fluvio-glaciaires sablo-graveleuses.

5.2.2. LA NATURE DES MATÉRIAUX

- le contexte anthropique de la zone d'étude. La nature des terrains, les épaisseurs de remblais, la blocométrie sont donc hétérogènes sur le site,
- la présence de matériaux de nature hétérogène au sein des remblais, et notamment d'une blocométrie qui peut s'avérer grossière à très grossière,
- la présence possible de vestiges au sein des remblais non mis en évidence lors de la réalisation des sondages,
- la sensibilité à l'eau et à l'affouillement des sols superficiels,
- la sensibilité au remaniement mécanique à l'exécution,
- la présence de gros éléments au sein des couches C10,
- le caractère très induré / compact du substratum, à sa dureté et son abrasivité potentiellement élevées,
- le caractère très perméable des remblais et potentiellement du substratum.

5.2.3. L'HYDROGÉOLOGIE

- les arrivées d'eau parasites en périodes pluvieuses dans les remblais, et à la formation possible de poches de stagnation,
- l'infiltration des eaux météoriques à prendre en compte,

- la présence d'une nappe d'accompagnement du réseau hydrographique local dont elle suit les battements,
- les circulations d'eau potentiellement en charge au travers de la fracturation du substratum,
- le fonctionnement hydraulique de la zone : fonctionnement du barrage, effet barrage des voiles étanches existants,
- les niveaux PHE inconnus.

5.2.4. L'ENVIRONNEMENT ET L'HISTORIQUE DU SITE

- l'implantation du projet au droit d'une RN très circulée,
- la présence d'un mur de soutènement existant, dont on ne connaît pas le mode de conception,
- la présence de la rivière Moselle, notamment au travail en site aquatique, soumis aux crues potentielles,
- l'existence de vestiges d'ouvrages enterrés ou d'ouvrages creux désaffectés (conduites, réseaux...).

6. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE RÉALISATION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES – MISSION G2-PRO

Les solutions proposées sont celles qui semblent les meilleures à ce stade en fonction des données en notre possession.

D'autres solutions pourraient cependant être proposées en fonction de critères non pris en compte dans une étude de faisabilité et qui peuvent apparaître en phase conception ou d'exécution (problèmes de délais ou de phasage, variante locale économique, modification de l'environnement, caractéristiques particulières du projet non portées à notre connaissance). Si cela était le cas, nous conseillons à la Maîtrise d'Œuvre ou à la Maîtrise d'Ouvrage de nous confier une mission pour valider les modifications apportées.

D'après les éléments transmis, il est prévu des travaux de confortement du mur de soutènement de la RN66, par la mise en œuvre d'une paroi clouée définitive.

Nous détaillons dans la suite :

- les principes généraux de réalisation des terrassements, au chapitre 7,
- le dimensionnement du soutènement permanent de type paroi clouée au chapitre 8.



7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE TERRASSEMENTS – MISSION G2-PRO

7.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TRAVAUX ENVISAGÉS

Les travaux prévus nécessiteront la réalisation de terrassements :

- en déblai jusqu'à environ 4.0m afin de purger les matériaux remaniés,
- en remblai de 4.0m pour la remise en état après travaux.

Le projet nécessite l'amenée d'un matériel lourd. On vérifiera que les ouvrages existants peuvent supporter le trafic des engins prévus pour la réalisation des terrassements et la compatibilité des gabarits.

7.2. TERRASSEMENTS

Les matériaux concernés sont des structures de la voirie existante : béton bitumineux, remblais routiers (couche C01) et des matériaux meubles (couche C10).

Le substratum granitique (couche C20) ne devrait pas être atteint par les travaux de terrassements. Toutefois des blocs sont susceptibles d'être rencontrés.

Nous conseillons :

- le sciage des structures,
- la purge des éventuelles poches de matériaux décomprimés,
- la réalisation du décaissement à la pelle mécanique et/ ou à la benne preneuse,
- l'utilisation éventuelle du BRH (points durs) en veillant à limiter les vibrations à proximité des existants,
- la mise en décharge des matériaux,
- compte tenu de la nature des remblais, leur mise en dépôt sera soumise à des analyses spécifiques pour vérifier l'absence de polluants majeurs.

Nous préconisons la réalisation des terrassements en situation météo favorable. En cas de météo défavorable, compte tenu de la sensibilité des sols supports au remaniement, nous préconisons l'arrêt du chantier.

Il sera donné des formes de pentes à l'axe afin d'évacuer les eaux de ruissellement et il sera mis en place un système d'assainissement de la plateforme (puisards + pompes de relevage au droit de l'ouvrage en phase travaux). On vérifiera donc la piézométrie avant démarrage de chantier de façon à prendre les bonnes dispositions pour la gestion des eaux.

7.3. DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE

Les terrassements vont recouper la Moselle.

En phase chantier, les dispositifs d'assainissement correspondent à la nécessité de protéger les plate-forme et les talus, des ruissellements et des précipitations directes.

Il est prévu la mise à sec côté mur de soutènement, par la mise en place des big bags + polyane gruté depuis le haut de la berge.

En phase définitive, compte tenu des caractéristiques hydrogéologiques du site, on s'orientera vers les préconisations suivantes :

- les remblais d'apport pour combler la zone effondrée seront drainants,
- les murs seront percées de barbacanes pour éviter toute mise en charge localisée d'eau à l'arrière des voiles.

7.4. REMBLAIEMENT

Concernant les remblais techniques, ils seront conformes aux prescriptions de la Note d'information du SETRA « Construire des remblais contigus aux ouvrages d'art – Murs de soutènement et culées de pont » de janvier 2012.

En particulier, ils seront constitués de matériaux de type concassé, nobles, drainants, non gélifs, insensibles à l'eau, chimiquement inertes et non agressifs vis-à-vis des aciers et du béton.

Ils présenteront en outre, les caractéristiques cibles suivantes :

- passant à 80 μm < 5%,
- VBS < 0.1,
- D10 > 1 mm, Dmax < 50 mm,
- LA < 45 et MOE < 45,

Et permettant de retenir les valeurs cibles suivantes :

- $c' = 0 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 35^\circ$
- $\gamma_h = 20 \text{ kN/m}^3$

Les remblais seront soigneusement compactés et contrôlés en phase chantier.

8. DIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE PAROI CLOUÉE DÉFINITIVE AVEC UNE DURÉE D'UTILISATION DE 100 ANS – MISSION G2 PRO

8.1. GÉNÉRALITÉS

Nous étudions ici une solution de mise en œuvre d'une paroi clouée définitive.

Notre étude s'attachera à estimer les longueurs et diamètres de clous pour vérifier les stabilités mixte et générale.

Les clous se feront par passes en alternant les phases de clouage, mise en œuvre du parement projeté et terrassement. Les phases provisoires devront être étudiées plus finement par l'entreprise adjudicataire des travaux lors de sa mission G3 en fonction de ses propres moyens, matériaux et matériels. On devra notamment justifier les ancrages provisoires du coffrage perdu.

Le parement en béton projeté devra par ailleurs être dimensionné par un BE structure.

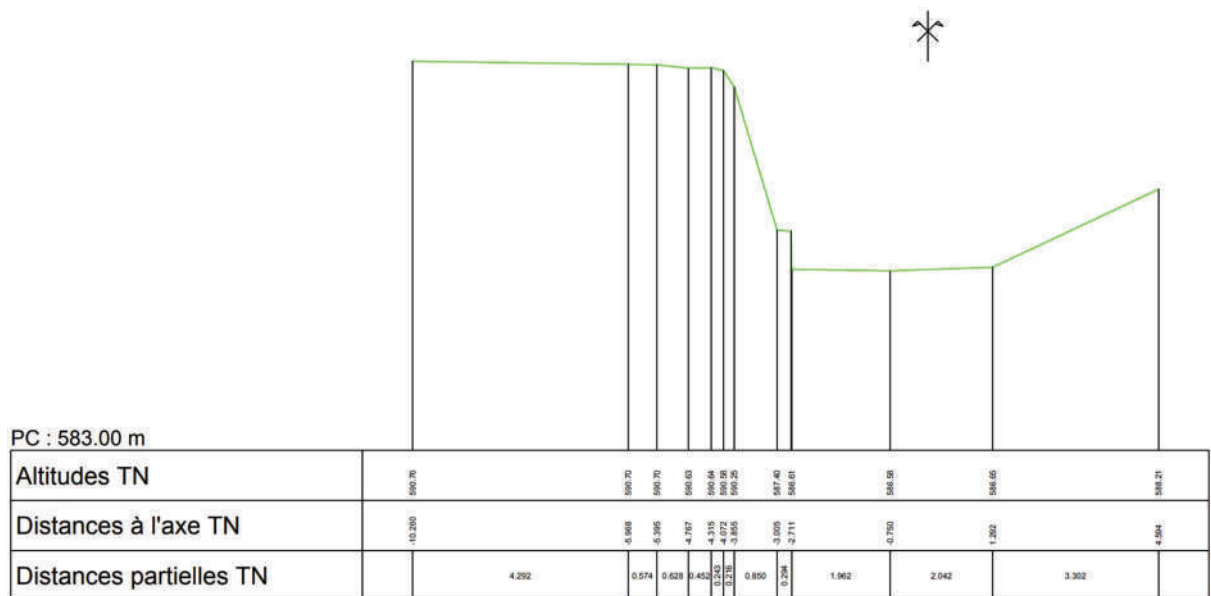
Les eaux de ruissellement du terrain amont devront être gérées au moyen :

- d'une récupération des eaux de pluie en amont de la paroi vers un exutoire (fossé de crête imperméabilisé) ;
- de barbacanes.

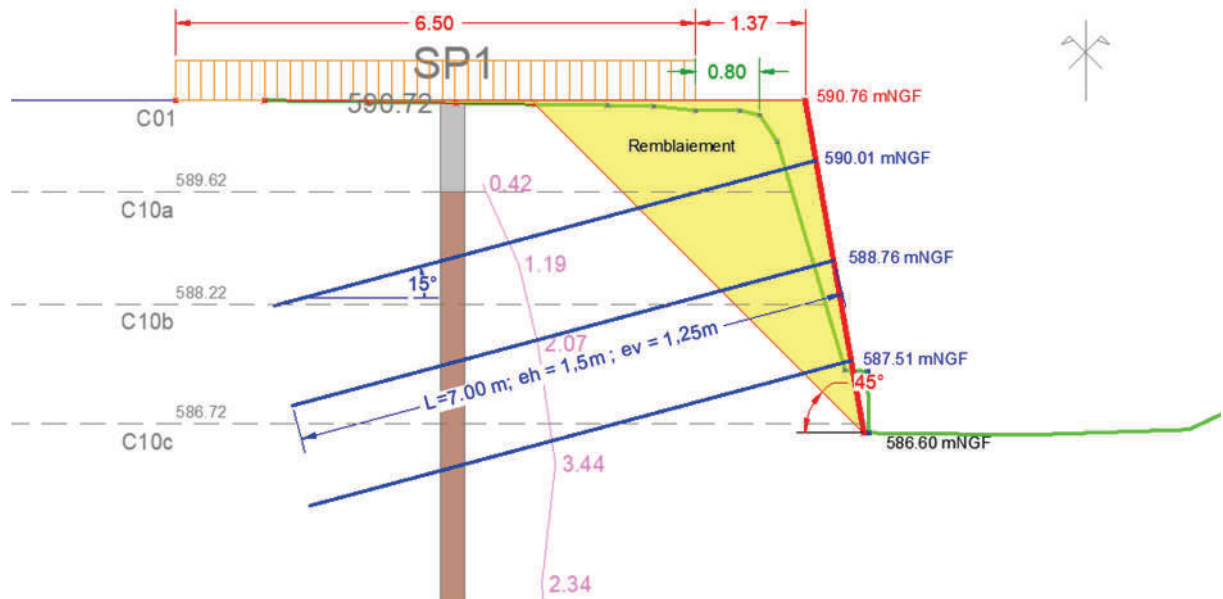
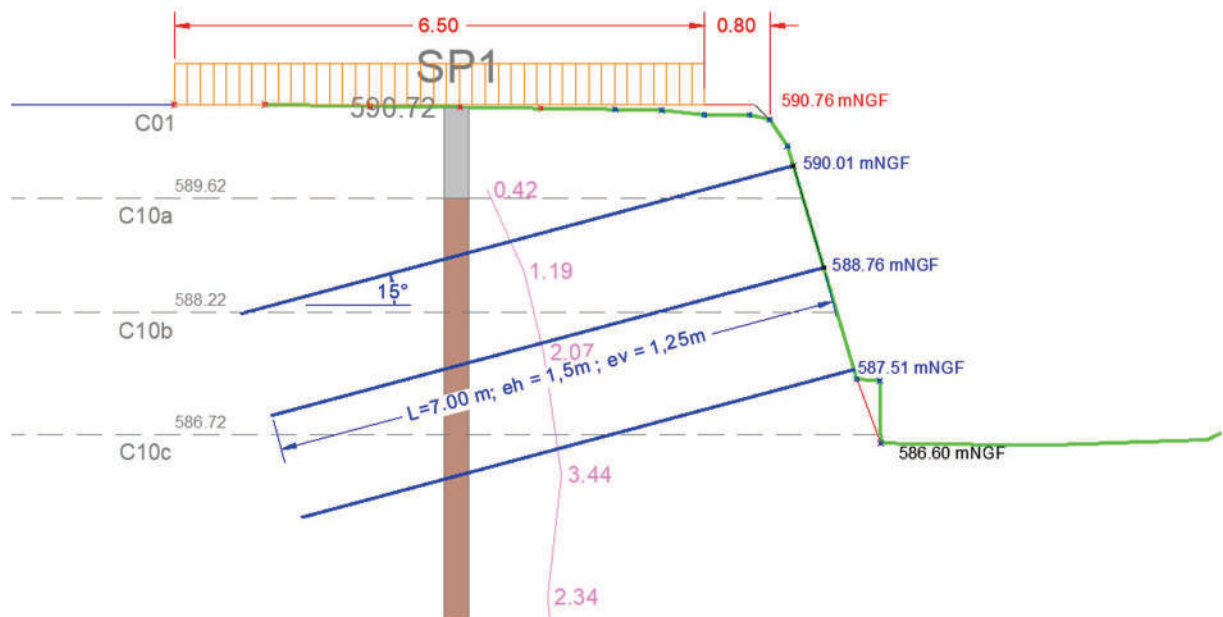
8.2. HYPOTHÈSES DE CALCUL

8.2.1. HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

Nous étudions la coupe type suivante Profil PT_25 (à valider par l'équipe de MOE) :



Nous étudierons deux profils en fonction de la zone.

Zone « effondrée » :**Zone « courante » :**

Nous considérons un clouage + parement en béton projeté sur une hauteur d'environ 4,2m.

Les clous seront inclinés à 15°/horizontale.

Nous considérons ici des clous autoforants, c'est-à-dire :

- barres creuses (autoforants) mises en place dans des forages avec tubage provisoire sur les séquences instables,
- centreurs sur barres afin de maintenir un bon enrobage de la barre,
- les clous seront scellés au terrain par le fond du forage et sous faible pression,
- les clous seront ancrés dans les formations fluvio-glaciaires de compacité moyenne à élevée.

La paroi clouée sera pourvue d'un parement intégral en béton projeté, elle aura un fruit de 10°/verticale.

8.2.2. HYPOTHÈSES RELATIVES AUX SURCHARGES

À ce stade du projet, nous considérons :

- Une surcharge d'exploitation de 20 kPa en amont du mur correspondant à la circulation de la RN66, et modélisée comme il suit :

Zone	Phase	Largeur d'application (m)	Distance par rapport à la crête du soutènement projeté (m)
Effondrée	Phase chantier	3,5	4,40
	Phase durable	6,5	1,40
Courante	Phase chantier	3,5	3,80
	Phase durable	6,5	0,80

Aucune autre surcharge n'est ici considérée.

On gardera à l'esprit qu'aucun stockage de matériel ou de matériaux ne devra être mis en œuvre dans l'environnement de la tête de paroi.

Ces éléments sont à valider par l'équipe de Maîtrise d'œuvre puisqu'ils constituent une hypothèse dimensionnante pour l'ouvrage. Des surcharges supérieures conduiraient à un dimensionnement plus conséquent.

8.2.3. CRITÈRES DE DÉPLACEMENT

Les composantes verticales d_v et horizontales d_h du déplacement en tête du parement du massif de sol cloué ont été estimées à partir de règles empiriques de prévision des déplacements tenant compte de la géométrie du massif de sol cloué.

D'après le tableau 13.3.1.1 de la norme NF P94-270, l'ordre de grandeur des déplacements d_v et d_h en tête d'un massif cloué est compris entre $H/1000$ et $4H/1000$, où H est la hauteur de la paroi.

Il vient au droit de la paroi clouée étudiée :

Profil	Hauteur maximale du soutènement (m)	Ordre de grandeur des déplacements prévisibles
Profil A et B	4,2	$4,2 \text{ mm} \leq d_v = d_h \leq 16,8 \text{ mm}$

Remarque : les formules empiriques utilisées sont établies pour des parois clouées à terre-plein amont horizontal, les déplacements effectifs pouvant donc être supérieurs en cas de présence d'un talus en pente en amont de la paroi clouée.

Les valeurs précédentes sont donc données à titre indicatif pour fixer les idées, mais ne dispensent pas d'un suivi des déplacements de la paroi dans le temps de manière à réagir le cas échéant.

L'équipe de MOA/MOE devra vérifier que ces valeurs de déplacements sont acceptables pour l'ouvrage et les avoisinants. Des critères de déplacement plus restrictifs conduiraient à un dimensionnement plus conséquent.

8.2.4. HYPOTHÈSES RELATIVES À LA CORROSION

Nous retenons une durée d'utilisation des parois de **100 ans** conformément aux indications de l'équipe de MOE.

En première approche, nous définissons la catégorie de corrosion associé au sol en place selon le tableau F.2.1.3.1 de la norme NF P94-270 :

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 (Ωcm)	— 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		$\Sigma A + C$

Soit, un indice global $\Sigma A + C = 21$.

Donc, nous retenons d'après le tableau F.2.1.3.2 une classe de corrosion I (environnement fortement corrosif).

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

Remarque : Dans le document [4], il est considéré une catégorie de corrosion III, avec $A+C = 7$. Toutefois, nous ne disposons pas des éléments ayant permis cette catégorie de corrosion. En première approche, nous restons sur une catégorie I.

Ces éléments devront être validés par l'équipe de Maitrise d'œuvre / Maitrise d'Ouvrage. Le cas échéant les dimensionnements seront repris si ces hypothèses venaient à être modifiées.

Pour une classe de corrosion I, les aciers des clous seront nécessairement :

- soit des aciers de construction conforme à la NF EN-10025 en intégrant une épaisseur sacrificielle à la corrosion,
- soit des aciers de béton armé (NF EN-10080) en intégrant un dispositif de protection suivant la norme NF EN-1537.

Nous considérons ici des clous dont l'acier sera conforme à la norme NF EN-10025 (acier de construction) et intégrons une épaisseur sacrificielle pour la corrosion.

Il vient pour les hypothèses considérées précédemment et selon le tableau F.2.1.7.1 de la norme NF P 94-270 une épaisseur sacrificielle à la corrosion de 5,80mm sur le rayon (catégorie I, durée d'utilisation 100 ans).

Remarques :

- Des essais spécifiques permettant de mesurer la résistivité et le pH du sol pourraient permettre de diminuer la catégorie de corrosion associée.
- Il conviendra de vérifier que l'acier des clous sera conforme à la norme NF EN-10025 (acier de construction) afin d'intégrer une épaisseur sacrificielle pour la corrosion. Le cas échéant, il conviendra de prévoir une protection type P2 si des barres en acier de béton armé (NF EN-10080) sont finalement mis en place.

8.2.5. CARACTÉRISTIQUE DIMENSIONNELLE DES CLOUS

À ce stade, les clous présentent les caractéristiques suivantes :

Type	R38-500 ou équivalent* (NF EN-10025)
Forage (diamètre)	90mm
Injection	Gravitaire (ou sous faible pression) par le fond
Nombre de lits	3 lits
Longueur des clous	7,0 m
Disposition	Rangée supérieure à 0.75m sous la tête du mur (590.01 mNGF)
Inclinaison / horizontale	15°
Espacement vertical	1,25 m
Espacement horizontal	1,50 m

* Diamètre à augmenter le cas échéant en fonction du critère de stabilité interne.

Les longueurs des clous devront dans tous les cas être affinées en phase EXE à l'appui d'essais d'arrachement de clous préalablement aux travaux, qui permettront de définir de façon plus précise :

- la nature et l'épaisseur des différentes couches rencontrées en forages inclinés réalisés en direction du versant amont, dans les mêmes conditions que celles des clous qui appartiendront à l'ouvrage définitif,
- les valeurs de frottement latéral unitaire à retenir par couche, et selon les faciès rencontrés.

Sont considérés des clous de type barres R38-500 (NF EN-10025) forés en diamètre Ø90 mm, avec une nuance d'acier présentant les résistances suivantes (cf. document [4]) :

- limite élastique de l'acier $f_y = 540$ MPa,
- limite de rupture de l'acier $f_u = 675$ MPa.

type Ø	[mm]	R32	R32	R32	R32	R32	R38	R38	R51	R51
Référence / reference		R32-210	R32-250	R32-280	R32-360	R32-400	R38-420	R38-500	R51-630	R51-800
d_s	[mm]	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	38	38	51	51
d_i	[mm]	20	19	17,5	14,5	11	22	18,5	33	29
Pas / pitch (p)	[mm]	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Section / area	[mm ²]	330	370	435	510	565	640	740	930	1150
Poids / weight	[kg/m]	2,6	2,9	3,4	4,0	4,4	5,0	5,8	7,3	9,0
Limite élastique / yield load F_{yk} ($F_{0,2k}$)	[kN]	170	190	230	280	330	350	400	530	630
Rupture F_{uk} / ultimate load	[kN]	210	250	280	360	400	420	500	630	800

Sans corrosion, on a une section résistante $A_s = S_0 = 740\text{mm}^2$ (calculé par le constructeur à partir du poids de la barre). En considérant un diamètre intérieur constant de 18.5mm, on obtient un diamètre extérieur de 35.84mm pour obtenir une section de 740mm^2 .

Avec une corrosion de 5.8mm, on obtient donc :

$$A_s = \pi \times \frac{[(\phi_{ext} - 2e)^2 - \phi_{int}^2]}{4} = \pi \times \frac{[(35.84 - 2 \times 5.8)^2 - 18.5^2]}{4} \approx 192.7 \text{ mm}^2$$

La résistance à la traction de l'armature se calcule de la manière suivante :

$$R_{t;d} = \frac{k_t f_{u;a} A_s}{\gamma_{M2}}$$

- $f_{u;a}$: résistance à la rupture de l'acier
- γ_{M2} : facteur partiel pour la résistance à la rupture de l'acier = 1.25
- A_s : section résistante en traction au niveau des parties filetées = section nette d'acier de la partie filetée par sécurité (avec prise en compte de la corrosion)
- $k_t = 0,6$; si l'on ne tient pas compte des effets de flexion ; 0.9 si des dispositions constructives sont prises au droit de la fixation de la tige d'ancrage au parement permettant d'éviter des moments fléchissants dans les ancrages (NF EN 1993-5, 7.2.3(2) Note1, p.47). On retient ici 0.6.

En considérant $f_{u;a} = 675 \text{ MPa}$ et $k_t = 0.6$, on obtient :

$$R_{t;d} = \frac{0,6 \times 675 \text{ MPa} \times 192,7 \cdot 10^{-6}}{1,25} = \frac{78,0}{1,25} = 62,4 \text{ kN}$$

8.3. HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES

8.3.1. MODÈLE GÉOTECHNIQUE

Le tableau suivant récapitule le modèle géotechnique établi à partir de l'analyse des coupes des sondages :

Couche	Nature	Toit de la couche (mNGF)	$\gamma_{h;k}$ (kN/m^3)	$E_{M;k}$ (kPa)	$e'_{;k}$ (kPa)	$\varphi'_{;k}$ (°)	$p'_{l;k}$ (MPa)	α (°)	$q_{s;k}$ (kPa)
R	Matériaux d'apport	-	20	10,0	0	38	1,20	1/3	-
C01	Remblais	590,72	20	2,0	0	30	0,40	1/3	-
C10a	Formations fluvioglaciales	589,62	20	6,0	0	30	0,90	1/3	72,8 ⁽¹⁾
C10b		588,22	21	10,0	0	30	1,50	1/3	94,6 ⁽¹⁾
C10c		586,72	21	25,0	0	35	2,50	1/3	180,9 ⁽²⁾
C20	Substratum	577,52	23	80,0	50	40	5,00	1/3	-

⁽¹⁾ valeurs issues d'abaques Clouterre pour des clous forés, injection par le fond, courbe « sable ».

⁽²⁾ valeurs issues d'abaques Clouterre pour des clous forés, injection par le fond, courbe « grave ».

Les valeurs de q_s sont à confirmer ou affiner impérativement avant démarrage du chantier au moyen d'essais préalables d'arrachement sur des clous réalisés selon les mêmes techniques que les futurs clous du projet, à mener dans le cadre de la mission G3.

Le présent dimensionnement devra être validé ou repris en fonction des résultats de ces essais.

On gardera à l'esprit le caractère potentiellement pulvérulent à gros blocs des remblais derrière le mur existant, de sorte que le forage pour installer les clous pourra être réalisé en technique OD ou ODEX.

Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus correspondent à des valeurs relativement prudentes définies sur la base d'un critère de dimensionnement géotechnique. D'autres caractéristiques pourraient être retenues sur la base des autres critères (difficultés de forations, battage ou vibrofonçage, talutage, etc.).

8.3.2. MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE

Il est prévu la mise en place de drains dans le linéaire de la paroi clouée de sorte qu'aucune poussée hydrostatique à l'arrière du parement n'est à considérer.

Toutefois, conformément aux indications de l'équipe de MOE, nous évaluerons en approche sécuritaire un retard d'écoulement entre l'amont et l'aval du parement.

Il vient donc les hypothèses ici considérées (à valider par l'équipe de MOE) :

Phases	Niveau d'eau à l'arrière du parement	Niveau d'eau à l'aval du parement
Phase chantier :	Eb : 586.60 mNGF	Eb : 586.60 mNGF
Phase Durable :	EB : 587.00 mNGF	EB : 587.00 mNGF
Crue haute :	EH : 588.00 mNGF	EH : 588.00 mNGF
Crue exceptionnelle :	EE : 590.00 mNGF	EE : 590.00 mNGF
Décrue haute EE/EH :	EE : 590.00 mNGF	EH : 588.00 mNGF
Décrue base EH/Eb :	EH : 588.00 mNGF	Eb : 586.60 mNGF
Phase sismique :	EB : 587.00 mNGF	EB : 587.00 mNGF

Toutefois, il conviendra de mettre en place d'un drainage : protection de surface contre les infiltrations en tête de l'écran, nappe drainante à l'arrière du parement raccordée aux barbacanes.

8.4. HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME

Pour le soutènement, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Zone de sismicité : 3 (modéré),
- Classe de sol : E,
- Catégorie d'importance : II (à confirmer par l'équipe de MOA),
- Accélération : $a_{gr} = 1.1$,
- Paramètre de sol : $S = 1.8$,
- Coefficient sismique horizontal : $r = 2.0$,

Et donc les coefficients sismiques :

- $k_h = \pm 0.1009$
- $k_v = \pm 0.0505$

8.5. MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT

Il s'agit de vérifier la stabilité en grand des parois clouées vis-à-vis du glissement circulaire par la méthode des tranches de Bishop, en étudiant :

- d'un part les lignes de rupture potentielle qui englobent dans leur totalité la paroi clouée, c'est-à-dire sans intercepter les lits de clous (stabilité générale),
- d'autre part les lignes de rupture potentielle qui interceptent au moins un lit de clous (stabilité mixte).

L'étude des stabilités générale et mixte est ici limitée à une zone distance de 3H de part et d'autre de la paroi, selon les recommandations de la norme NF P 94-270.

Ces vérifications sont menées au moyen du logiciel TALREN selon l'**approche 3 à l'ELU fondamental** (phase définitive en situation courante d'exploitation) en visant un coefficient de sécurité minimal $F_{\min} \geq 1,0$.

Selon l'approche 3, les jeux de coefficients partiels retenus sont les suivants : A2 « + » M2 « + » R3, tels que présentés dans le tableau suivant :

Annexe C de la norme NF P94-270		Symbole	Approche 3 ELU fondamental	Approche 3 ELU Sismique
Action			A2	A2
Permanent	Défavorable	γ_{Gsup}	1	1
	Favorable	γ_{Ginf}	1	1
Variable	Défavorable	γ_{Qsup}	1,3	1
	Favorable	γ_{Qinf}	0	0
Paramètres du sol			M2	M2
Angle de frottement interne (Ce facteur est appliqué à $\tan\phi'$)		$\gamma_{\phi'}$	1,25	1
Cohésion effective		$\gamma_{c'}$	1,25	1
Cohésion non drainée		γ_{cu}	1,4	1,4
Poids volumique		γ_{γ}	1	1
Résistance au glissement			R3	R3
Résistance au cisaillement sur une surface de rupture		$\gamma_{R,e}$	1	1
Coefficient de modèle		$\gamma_{R,d}$	1,1 / 1,05(**)	1,0

(**) pour une situation transitoire et ouvrage non sensible aux déformations : 1.10 pour des situations durables et 1.05 pour des situations transitoires

Nous considérons l'ouvrage comme non sensible aux déformations (à valider par l'équipe de MOE).

8.6. RÉSULTATS

Les sorties graphiques TALREN sont reportées en annexe du présent rapport.

Il vient les résultats :

N°	Situation	Phase	Zone effondrée	Zone courante	Vérification (FS ≥ 1.0)
			FS min	FS min	
Phase 1	Transitoire	Mise en place des clous + Réalisation du parement	1,33	1,49	OK
Phase 2	Transitoire	Remblaiement à l'arrière du parement	1,50	NC	OK
Phase 3	Durable	Fin des travaux – Phase d'exploitation	1,19	1,27	OK
Phase 4	Transitoire	Niveau de nappe haute EH	1,29	1,33	OK
Phase 5	Transitoire	Niveau de nappe exceptionnelle EE	1,54	1,54	OK
Phase 6	Transitoire	Décruce haute : EE/EH	1,03	1,05	OK
Phase 7	Transitoire	Décruce basse : EH/Eb	1,23	1,21	OK
Phase 8	Transitoire	Séisme	1,47	1,53	OK

Les résultats montrent que l'ouvrage est stable après confortement, avec un coefficient de sécurité minimal de **FS = 1,03**.

Les sollicitations maximales sont les suivantes d'après le logiciel Talren :

Claus	$T_{max,d}$ (kN)	Angle (°)	$\sigma_{par,d}$ (kPa)	$M_{int,d}$ (kN.m/ml)	$M_{ext,d}$ (kN.m/ml)
R38-500	62,4	15°	22,5	-7,0	1,7

Avec :

- $T_{max,d}$: Valeur (enveloppe) de calcul de l'effort de traction maximale,
- **Angle** : Angle du clou par rapport à l'horizontale,
- $\sigma_{par,d}$: Valeur de calcul de la contrainte moyenne appliquée au parement,
- $M_{int,d}$: Valeur de calcul du moment fléchissant tendant la fibre intérieure,
- $M_{ext,d}$: Valeur de calcul du moment fléchissant tendant la fibre extérieure.

Le parement et/ ou les éléments structuraux devant le mur existant (liernes, plaques...), devra être dimensionné en conséquence pour reprendre ces efforts.

8.7. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION

Elles sont liées, entre autres :

- à l'étalement provisoire si nécessaire des existants (mur étudié et ouvrages autres que le mur ici étudié) afin d'éviter tout déplacement ou ruine de ceux-ci notamment lors de la foration,
- au drainage de la paroi cloué :
 - en phase chantier, les dispositifs d'assainissement correspondent à la nécessité de protéger la plate-forme et les talus des ruissellements et précipitations directs,
 - la paroi sera drainée au moyen d'un géocomposite drainant à intercaler au contact mur/parement. La nappe drainante à l'arrière du parement sera raccordée aux barbacanes.
- au drainage de la nouvelle paroi clouée au moyen de barbacanes (1U/4m² de parement),
- à la mauvaise tenue potentielle des forages dans la couche C10a, C10b et C10c. Un tubage provisoire des clous s'avèrera nécessaire (techniques OD ou ODEX préconisées),
- à la présence potentielle de très gros blocs, passages décomprimés de forte perméabilité et passages tendres pouvant générer des hors profils et surconsommations de coulis, dans un contexte de formations fluvio-glaciaires (Moraines),
- à la réalisation des travaux en conditions météorologiques favorables, à l'étiage afin de limiter les sujétions de pompage,
- à la bonne gestion du drainage en phase chantier et en phase définitive,
- à la réalisation d'au moins 3 essais d'arrachement d'ancrage par couche pour la définition des qs (pour un ouvrage de catégorie d'importance 2). Les essais devront être conduits sur des clous d'essais réalisés selon la même technologie de mise en œuvre que les clous du projet. Leurs résultats devront conduire à une reprise du présent dimensionnement (le cas échéant cela pourra remettre en cause le présent dimensionnement mené à partir d'abaques),
- à la réalisation d'essais de contrôle sur clous de l'ouvrage (fréquence de 2% des clous selon NF EN 14490, avec un minimum de 3 clous pour un ouvrage de catégorie d'importance 2),
- à la réalisation du parement,
- à la mise en place de centreurs pour les clous, voire de chaussette géotextile si les consommations de coulis étaient importantes,
- au contrôle des volumes d'injection,
- au respect des tolérances d'implantation et de trajectoire des clous imposées par la norme NF P 14490 (tête de clou à maximum 100mm de son implantation théorique, orientation de la tête de clou à moins de 5° de son orientation théorique, déviation maximale du forage de 1/30 de la longueur forée...),
- au respect des règles de l'art et des normes d'exécution des parois clouées NF EN 14490 (densité du coulis d'injection C/E ≥ 2, clous injectés par le fond en technique classique, centreurs sur les barres, respect des temps de séchage...),
- au suivi de la paroi au cours du temps (écoulement d'eau dans les drains et les barbacanes, entretien des drains et barbacanes, ...)

- à la vérification de la conformité du contexte géotechnique effectivement mis au jour au moment des travaux comparé à celui décrit dans le cadre de notre mission G2 PRO,
- à la prise en compte, le cas échéant, des effets du gel dans la conception et la réalisation des voiles cloués (ajout de dispositions préventives de type structurelles et/ou thermiques),
- à l'absence de surcharges en tête liés à des avoisinants non spécifiés lors de la conception,
- au respect des tolérances d'implantation et d'exécution des clous suivant les prescriptions de l'annexe A de la norme NF EN 14490,
- au contrôle visuel qui devra être renforcé en cours de forage afin de pouvoir adapter la méthodologie en fonction du contexte géotechnique effectivement rencontré au moment des travaux,
- à la bonne exécution des clous :
 - au respect de l'espacement, de la longueur et de l'inclinaison des différents lits de clous,
 - à la réalisation des forages suivant les règles de l'art avec tubage éventuel,
 - au contrôle de la quantité minimale de coulis estimé à 2 Vs où Vs est le volume du forage avant injection sur la hauteur injectée,
 - aux pertes de coulis / mortier,
 - à l'utilisation de chaussette géotextile le cas échéant,
 - au contrôle des pressions d'injection, et au contrôle de la nature du coulis de composition C/E=2,
- au respect des règles de l'art et des éléments de la norme NF EN 14490 notamment mise en place de centreurs en nombre suffisant, continuité entre treillis soudé/ferrailage - contreplaque et plaque d'appui, formulation du béton adapté et respect des temps de séchage,
- à la réalisation des clous et des parois en conditions « acrobatiques » avec des moyens légers,
- à la vérification des autorisations de tréfond pour réalisation des clous,
- à la vérification de l'absence de réseaux ou d'ouvrage enterré sur la trajectoire des clous,
- au contrôle de la qualité du coulis / mortier pour le scellement des clous. Il conviendra de réaliser des essais de résistance (compression simple) sur des éprouvettes à 7 et 28 jours,
- au contrôle des enregistrements de paramètres de forage et d'injection. L'atelier de forage disposera d'un système d'acquisition et d'enregistrement de paramètres permettant a minima la mesure des paramètres suivants :
 - Profondeur de forage,
 - Couple de rotation,
 - Vitesse d'avancement,
 - Volume d'injection,
 - Pression d'injection du coulis / mortier,
- à la réalisation d'une fiche en pied des voiles cloués de 0.4m mini/ terrain fini à l'aval, selon NF P94-270,
- à la rédaction de rapports journaliers (fiche synthétique des clous, du béton projeté, ...),
- à la fourniture à l'issue des travaux d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) qui regroupera en particulier les documents suivants :



- les notes de calculs,
 - les rapports journaliers (clous, béton projeté),
 - les enregistrements de paramètres de forage/injection,
 - les plans de récolement (plan de calepinage des clous et du parement en béton armé,
 - les résultats des essais sur coulis / mortier / béton,
 - les résultats des essais sur les clous,
 - les résultats du suivi observationnel de l'ouvrage (relevés topographiques, ...).
- On veillera pendant toute la durée du chantier à ne pas fragiliser les existants, en particulier le linéaire restant du soutènement dont la stabilité est potentiellement précaire. Des diagnostics pourraient être réalisés pour vérifier l'état du soutènement sur le linéaire restant.

9. DIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE PAROI CLOUÉE DÉFINITIVE AVEC UNE DURÉE D'UTILISATION DE 75 ANS – MISSION G2 PRO

9.1. GÉNÉRALITÉS

Dans ce chapitre et à la demande de l'équipe de MOA, **nous étudions la même solution de paroi clouée définitive mais en limitant la durée d'utilisation à 75 ans.**

Nous étudions ici une solution de mise en œuvre d'une paroi clouée définitive.

Notre étude s'attachera à estimer les longueurs et diamètres de clous pour vérifier les stabilités mixte et générale.

Les clous se feront par passes en alternant les phases de clouage, mise en œuvre du parement projeté et terrassement. Les phases provisoires devront être étudiées plus finement par l'entreprise adjudicataire des travaux lors de sa mission G3 en fonction de ses propres moyens, matériaux et matériels. On devra notamment justifier les ancrages provisoires du coffrage perdu.

Le parement en béton projeté devra par ailleurs être dimensionné par un BE structure.

Les eaux de ruissellement du terrain amont devront être gérées au moyen :

- d'une récupération des eaux de pluie en amont de la paroi vers un exutoire (fossé de crête imperméabilisé) ;
- de barbacanes.

9.2. HYPOTHÈSES DE CALCUL

9.2.1. HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

Idem §8.2.1.

9.2.2. HYPOTHÈSES RELATIVES AUX SURCHARGES

Idem §8.2.2.

9.2.3. CRITÈRES DE DÉPLACEMENT

Idem §8.2.3.

9.2.4. HYPOTHÈSES RELATIVES À LA CORROSION

Dans ce chapitre, nous retenons une durée d'utilisation des parois de **75 ans** conformément aux indications de l'équipe de MOE.

En première approche, nous définissons la catégorie de corrosion associé au sol en place selon le tableau F.2.1.3.1 de la norme NF P94-270 :

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	
Résistivité (Ωcm)	— Eaux contenant des sels de déneigement	A = 8
	— Eaux usées, industrielles	A = 6
	— Sans mesure	A = 5
	— $\rho < 1\,000$	A = 5
	— $1\,000 < \rho < 2\,000$	A = 3
Humidité	— $2\,000 < \rho < 5\,000$	A = 2
	— $5\,000 < \rho$	A = 0
	— Nappe d'eau saumâtre (variable ou permanente)	A = 8
	— Nappe d'eau douce (variable ou permanente)	A = 4
pH	— Hors nappe — sol humide (teneur en eau > 20%)	A = 2
	— Hors nappe sol sec (teneur en eau < 20%)	A = 0
	— Sans mesure	A = 4
	— < 4	A = 4
	— 4 à 5	A = 3
Sensibilité ⁽¹⁾	— 5 à 6	A = 2
	— > 6	A = 0
	— Structure sensible	C = 2
Remblai artificiel	— Structure courante	C = 0
	Voir chapitre F.2.1.4	
Indice Global		$\Sigma A + C$

Soit, un indice global $\Sigma A + C = 21$.

Donc, nous retenons d'après le tableau F2.1.3.2 une classe de corrosion I (environnement fortement corrosif).

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

Remarque : Dans le document [4], il est considéré une catégorie de corrosion III, avec $A+C = 7$. Toutefois, nous ne disposons pas des éléments ayant permis cette catégorie de corrosion. En première approche, nous restons sur une catégorie I.

Ces éléments devront être validés par l'équipe de Maitrise d'œuvre / Maitrise d'Ouvrage. Le cas échéant les dimensionnements seront repris si ces hypothèses venaient à être modifiées.

Pour une classe de corrosion I, les aciers des clous seront nécessairement :

- soit des aciers de construction conforme à la NF EN-10025 en intégrant une épaisseur sacrificielle à la corrosion,
- soit des aciers de béton armé (NF EN-10080) en intégrant un dispositif de protection suivant la norme NF EN-1537.

Nous considérons ici des clous dont l'acier sera conforme à la norme NF EN-10025 (acier de construction) et intégrons une épaisseur sacrificielle pour la corrosion.

Il vient pour les hypothèses considérées précédemment et selon le tableau F.2.1.7.1 de la norme NF P 94-270 une épaisseur sacrificielle à la corrosion de 4,50mm sur le rayon (catégorie I, durée d'utilisation 75 ans).

Remarques :

- Des essais spécifiques permettant de mesurer la résistivité et le pH du sol pourraient permettre de diminuer la catégorie de corrosion associée.
- Il conviendra de vérifier que l'acier des clous sera conforme à la norme NF EN-10025 (acier de construction) afin d'intégrer une épaisseur sacrificielle pour la corrosion. Le cas échéant, il conviendra de prévoir une protection type P2 si des barres en acier de béton armé (NF EN-10080) sont finalement mis en place.

9.2.5. CARACTÉRISTIQUE DIMENSIONNELLE DES CLOUS

À ce stade, les clous présentent les caractéristiques suivantes :

Type	R38-500 ou équivalent* (NF EN-10025)
Forage (diamètre)	90mm
Injection	Gravitaire (ou sous faible pression) par le fond
Nombre de lits	3 lits
Longueur des clous	7,0 m
Disposition	Rangée supérieure à 0.75m sous la tête du mur (590.01 mNGF)
Inclinaison / horizontale	15°
Espacement vertical	1,25 m
Espacement horizontal	1,90 m

* Diamètre à augmenter le cas échéant en fonction du critère de stabilité interne.

Les longueurs des clous devront dans tous les cas être affinées en phase EXE à l'appui d'essais d'arrachement de clous préalablement aux travaux, qui permettront de définir de façon plus précise :

- la nature et l'épaisseur des différentes couches rencontrées en forages inclinés réalisés en direction du versant amont, dans les mêmes conditions que celles des clous qui appartiendront à l'ouvrage définitif,
- les valeurs de frottement latéral unitaire à retenir par couche, et selon les faciès rencontrés.

Sont considérés des clous de type barres R38-500 (NF EN-10025) forés en diamètre Ø90 mm, avec une nuance d'acier présentant les résistances suivantes (cf. document [4]) :

- limite élastique de l'acier $f_y = 540$ MPa,
- limite de rupture de l'acier $f_u = 675$ MPa.

type Ø	[mm]	R32	R32	R32	R32	R32	R38	R38	R51	R51
Référence / reference		R32-210	R32-250	R32-280	R32-360	R32-400	R38-420	R38-500	R51-630	R51-800
d_s	[mm]	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	38	38	51	51
d_i	[mm]	20	19	17,5	14,5	11	22	18,5	33	29
Pas / pitch (p)	[mm]	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Section / area	[mm ²]	330	370	435	510	565	640	740	930	1150
Poids / weight	[kg/m]	2,6	2,9	3,4	4,0	4,4	5,0	5,8	7,3	9,0
Limite élastique / yield load F_{yk} [F _{yk}]	[kN]	170	190	230	280	330	350	400	530	630
Rupture F_{tk} / ultimate load	[kN]	210	250	280	360	400	420	500	630	800

Sans corrosion, on a une section résistante $A_s = S_0 = 740 \text{ mm}^2$ (calculé par le constructeur à partir du poids de la barre). En considérant un diamètre intérieur constant de 18.5mm, on obtient un diamètre extérieur de 35.84mm pour obtenir une section de 740 mm^2 .

Avec une corrosion de 4.5mm, on obtient donc :

$$A_s = \pi \times \frac{[(\phi_{ext} - 2e)^2 - \phi_{int}^2]}{4} = \pi \times \frac{[(35.84 - 2 \times 4.5)^2 - 18.5^2]}{4} \approx 297 \text{ mm}^2$$

La résistance à la traction de l'armature se calcule de la manière suivante :

$$R_{t,d} = \frac{k_t f_{u,a} A_s}{\gamma_{M2}}$$

- $f_{u,a}$: résistance à la rupture de l'acier
- γ_{M2} : facteur partiel pour la résistance à la rupture de l'acier = 1.25
- A_s : section résistante en traction au niveau des parties filetées = section nette d'acier de la partie filetée par sécurité (avec prise en compte de la corrosion)
- $k_t = 0,6$; si l'on ne tient pas compte des effets de flexion ; 0.9 si des dispositions constructives sont prises au droit de la fixation de la tige d'ancrage au parement permettant d'éviter des moments fléchissants dans les ancrages (NF EN 1993-5, 7.2.3(2) Note1, p.47). On retient ici 0.6.

En considérant $f_{u,a} = 675 \text{ MPa}$ et $k_t = 0.6$, on obtient :

$$R_{t,d} = \frac{0,6 \times 675 \text{ 000} \times 297 \cdot 10^{-6}}{1,25} = \frac{120,3}{1,25} = 96,2 \text{ kN}$$

9.3. HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES

9.3.1. MODÈLE GÉOTECHNIQUE

Idem §8.3.1.

9.3.2. MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE

Idem §8.3.2.

9.4. HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME

Idem §8.4.

9.5. MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT

Idem §8.5.

9.6. RÉSULTATS

Les sorties graphiques TALREN sont reportées en annexe du présent rapport.

Il vient les résultats :

N°	Situation	Phase	Zone effondrée	Zone courante	Vérification (FS ≥ 1.0)
			FS min	FS min	
Phase 1	Transitoire	Mise en place des clous + Réalisation du parement	1,22	1,47	OK
Phase 2	Transitoire	Remblaiement à l'arrière du parement	1,47	NC	OK
Phase 3	Durable	Fin des travaux – Phase d'exploitation	1,20	1,24	OK
Phase 4	Transitoire	Niveau de nappe haute EH	1,30	1,32	OK
Phase 5	Transitoire	Niveau de nappe exceptionnelle EE	1,54	1,55	OK
Phase 6	Transitoire	Décrue haute : EE/EH	1,02	1,05	OK
Phase 7	Transitoire	Décrue basse : EH/Eb	1,23	1,20	OK
Phase 8	Transitoire	Séisme	1,50	1,52	OK

Les résultats montrent que l'ouvrage est stable après confortement, avec un coefficient de sécurité minimal de **FS = 1,02**.

Les sollicitations maximales sont les suivantes d'après le logiciel Talren :

Clous	$T_{max,d}$ (kN)	Angle (°)	$\sigma_{par,d}$ (kPa)	$M_{int,d}$ (kN.m/ml)	$M_{ext,d}$ (kN.m/ml)
R38-500	96,3	15°	30,5	12,9	2,9

Avec :

- $T_{max,d}$: Valeur (enveloppe) de calcul de l'effort de traction maximale,
- **Angle** : Angle du clou par rapport à l'horizontale,
- $\sigma_{par,d}$: Valeur de calcul de la contrainte moyenne appliquée au parement,
- $M_{int,d}$: Valeur de calcul du moment fléchissant tendant la fibre intérieure,
- $M_{ext,d}$: Valeur de calcul du moment fléchissant tendant la fibre extérieure.

Le parement et/ ou les éléments structuraux devant le mur existant (liernes, plaques...), devra être dimensionné en conséquence pour reprendre ces efforts.

9.7. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION

Elles sont liées, entre autres :

- à l'étalement provisoire si nécessaire des existants (mur étudié et ouvrages autres que le mur ici étudié) afin d'éviter tout déplacement ou ruine de ceux-ci notamment lors de la foration,
- au drainage de la paroi cloué :
 - en phase chantier, les dispositifs d'assainissement correspondent à la nécessité de protéger la plate-forme et les talus des ruissellements et précipitations directs,
 - la paroi sera drainée au moyen d'un géocomposite drainant à intercaler au contact mur/parement. La nappe drainante à l'arrière du parement sera raccordée aux barbacanes.
- au drainage de la nouvelle paroi clouée au moyen de barbacanes (1U/4m² de parement),
- à la mauvaise tenue potentielle des forages dans la couche C10a, C10b et C10c. Un tubage provisoire des clous s'avèrera nécessaire (techniques OD ou ODEX préconisées),
- à la présence potentielle de très gros blocs, passages décomprimés de forte perméabilité et passages tendres pouvant générer des hors profils et surconsommations de coulis, dans un contexte de formations fluvio-glaciaires (Moraines),
- à la réalisation des travaux en conditions météorologiques favorables, à l'étiage afin de limiter les sujétions de pompage,
- à la bonne gestion du drainage en phase chantier et en phase définitive,
- à la réalisation d'au moins 3 essais d'arrachement d'ancrage par couche pour la définition des qs (pour un ouvrage de catégorie d'importance 2). Les essais devront être conduits sur des clous d'essais réalisés selon la même technologie de mise en œuvre que les clous du projet. Leurs résultats devront conduire à une reprise du présent dimensionnement (le cas échéant cela pourra remettre en cause le présent dimensionnement mené à partir d'abaques),
- à la réalisation d'essais de contrôle sur clous de l'ouvrage (fréquence de 2% des clous selon NF EN 14490, avec un minimum de 3 clous pour un ouvrage de catégorie d'importance 2),
- à la réalisation du parement,
- à la mise en place de centreurs pour les clous, voire de chaussette géotextile si les consommations de coulis étaient importantes,
- au contrôle des volumes d'injection,
- au respect des tolérances d'implantation et de trajectoire des clous imposées par la norme NF P 14490 (tête de clou à maximum 100mm de son implantation théorique, orientation de la tête de clou à moins de 5° de son orientation théorique, déviation maximale du forage de 1/30 de la longueur forée...),
- au respect des règles de l'art et des normes d'exécution des parois clouées NF EN 14490 (densité du coulis d'injection C/E ≥ 2, clous injectés par le fond en technique classique, centreurs sur les barres, respect des temps de séchage...),
- au suivi de la paroi au cours du temps (écoulement d'eau dans les drains et les barbacanes, entretien des drains et barbacanes, ...)

- à la vérification de la conformité du contexte géotechnique effectivement mis au jour au moment des travaux comparé à celui décrit dans le cadre de notre mission G2 PRO,
- à la prise en compte, le cas échéant, des effets du gel dans la conception et la réalisation des voiles cloués (ajout de dispositions préventives de type structurelles et/ou thermiques),
- à l'absence de surcharges en tête liés à des avoisinants non spécifiés lors de la conception,
- au respect des tolérances d'implantation et d'exécution des clous suivant les prescriptions de l'annexe A de la norme NF EN 14490,
- au contrôle visuel qui devra être renforcé en cours de forage afin de pouvoir adapter la méthodologie en fonction du contexte géotechnique effectivement rencontré au moment des travaux,
- à la bonne exécution des clous :
 - au respect de l'espacement, de la longueur et de l'inclinaison des différents lits de clous,
 - à la réalisation des forages suivant les règles de l'art avec tubage éventuel,
 - au contrôle de la quantité minimale de coulis estimé à 2 Vs où Vs est le volume du forage avant injection sur la hauteur injectée,
 - aux pertes de coulis / mortier,
 - à l'utilisation de chaussette géotextile le cas échéant,
 - au contrôle des pressions d'injection, et au contrôle de la nature du coulis de composition C/E=2,
- au respect des règles de l'art et des éléments de la norme NF EN 14490 notamment mise en place de centreurs en nombre suffisant, continuité entre treillis soudé/ferrailage - contreplaque et plaque d'appui, formulation du béton adapté et respect des temps de séchage,
- à la réalisation des clous et des parois en conditions « acrobatiques » avec des moyens légers,
- à la vérification des autorisations de tréfond pour réalisation des clous,
- à la vérification de l'absence de réseaux ou d'ouvrage enterré sur la trajectoire des clous,
- au contrôle de la qualité du coulis / mortier pour le scellement des clous. Il conviendra de réaliser des essais de résistance (compression simple) sur des éprouvettes à 7 et 28 jours,
- au contrôle des enregistrements de paramètres de forage et d'injection. L'atelier de forage disposera d'un système d'acquisition et d'enregistrement de paramètres permettant a minima la mesure des paramètres suivants :
 - Profondeur de forage,
 - Couple de rotation,
 - Vitesse d'avancement,
 - Volume d'injection,
 - Pression d'injection du coulis / mortier,
- à la réalisation d'une fiche en pied des voiles cloués de 0.4m mini/ terrain fini à l'aval, selon NF P94-270,
- à la rédaction de rapports journaliers (fiche synthétique des clous, du béton projeté, ...),
- à la fourniture à l'issue des travaux d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) qui regroupera en particulier les documents suivants :

- les notes de calculs,
 - les rapports journaliers (clous, béton projeté),
 - les enregistrements de paramètres de forage/injection,
 - les plans de récolement (plan de calepinage des clous et du parement en béton armé,
 - les résultats des essais sur coulis / mortier / béton,
 - les résultats des essais sur les clous,
 - les résultats du suivi observationnel de l'ouvrage (relevés topographiques, ...).
- On veillera pendant toute la durée du chantier à ne pas fragiliser les existants, en particulier le linéaire restant du soutènement dont la stabilité est potentiellement précaire. Des diagnostics pourraient être réalisés pour vérifier l'état du soutènement sur le linéaire restant.

10. POINTS COMPLÉMENTAIRES À ÉTUDIER AUX STADES ULTÉRIEURS

Dans le cadre de la mission G3 à la charge de l'Entreprise adjudicataire des travaux géotechniques, les points suivants devront être spécifiquement justifiés / détaillé / précisés :

- Mesure de la résistivité et de pH permettant d'affiner les hypothèses vis-à-vis de la corrosion,
- Dimensionnement du parement de la paroi clouée et de son ferrailage, et éventuellement des éléments structuraux permettant de reprendre les efforts au droit du mur existant.
- Dimensionnement EXE des terrassements et ouvrages de soutènement provisoires et définitifs en tenant compte des descentes de charges définitives, de la géométrie et de la disposition effective du projet,
- Étude des phases et ouvrages provisoires de réalisation (terrassements, pistes, traficabilité, interaction avec les voies de circulation et les autres avoisinants sensibles (réseaux enterrés par exemple, ...).

Notre mission se termine à la remise du présent rapport qui constitue un ensemble indissociable.

Nous restons à la disposition de la **DIR EST** et de tous les intervenants pour tous renseignements complémentaires.

Dressé par les Ingénieurs soussignés

Ingénieur en charge de l'élaboration du présent
rapport

Antonio LAVADO



Ingénieur en charge du contrôle interne

Jonas VERSCHUERE

Ingénieur en charge de l'opération

Clément ROHART

Ingénieur en charge du contrôle externe

Jean Michel CUINET

ANNEXES



ANNEXE 1

PLAN DE LOCALISATION DES SONDAGES



Commune de BUSSANG (88)
ROUTE NATIONALE 66
Mur de Bussang - PR 34+000

PLAN TOPOGRAPHIQUE

Echelle 1/500



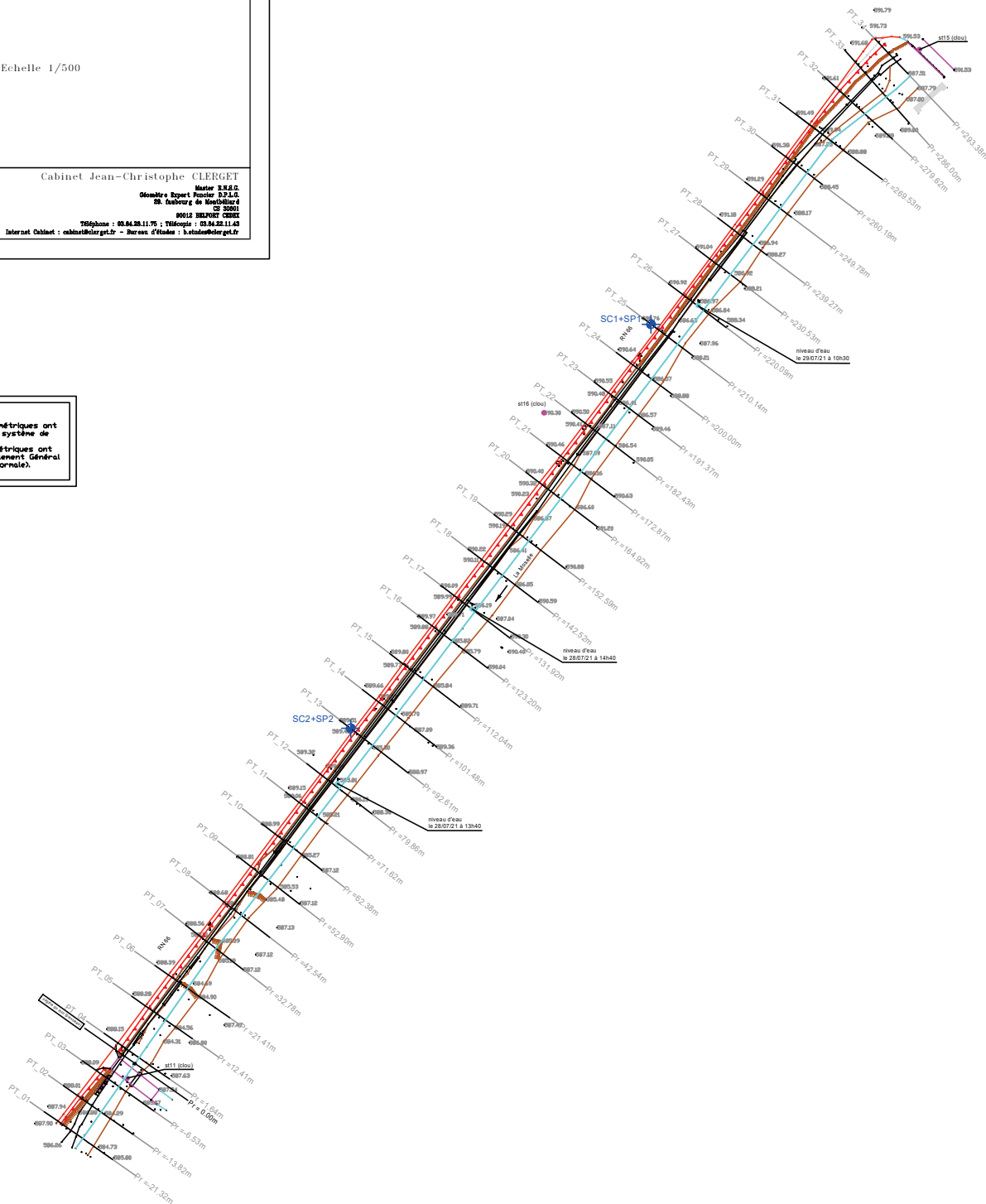
Cabinet Jean-Christophe CLERGET
Membre S.F.S.G.
Olivier Expert Poncier S.F.S.G.
10, rue de la République
CS 30001
54012 BESANCON CEDEX
Téléphone : 03.84.28.11.75 ; Télécopie : 03.84.28.11.43
Internet Cabinet : cabinetclerget.fr - Bureau d'études : b.etalon@clerget.fr



HYDROGEOTECHNIQUE LORRAINE
575, Rue Georges Charpak 54710 LUDRES
tel : 03 83 59 23 01 fax : 03 83 59 23 14
e-mail : lorraine@hydrogeotechnique.com

DIR EST
Bussang (88)
RN66 - Reconstruction d'un soutènement

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES
DE RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES



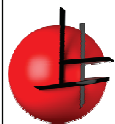
NOTA:
- Les coordonnées planimétriques ont été rattachées dans le système de projection IGN 46.
- Les coordonnées altimétriques ont été rattachées au nivellement Général de la France (altitude normale).

N° de dossier	Etat	Date	Leve	Revisé	Vérifié
11	4-0000	Avril 2024	J.M.	J.M.	J.M.

ANNEXE 2

COUPES DES SONDAGES ET RÉSULTATS DES ESSAIS IN-SITU





HYDROGEOTECHNIQUE

DIR EST
Bussang (88)

Dossier C.24.21070

RN66 - Reconstruction d'un soutènement

Date : 15/04/2024

Cote NGF : 590.72

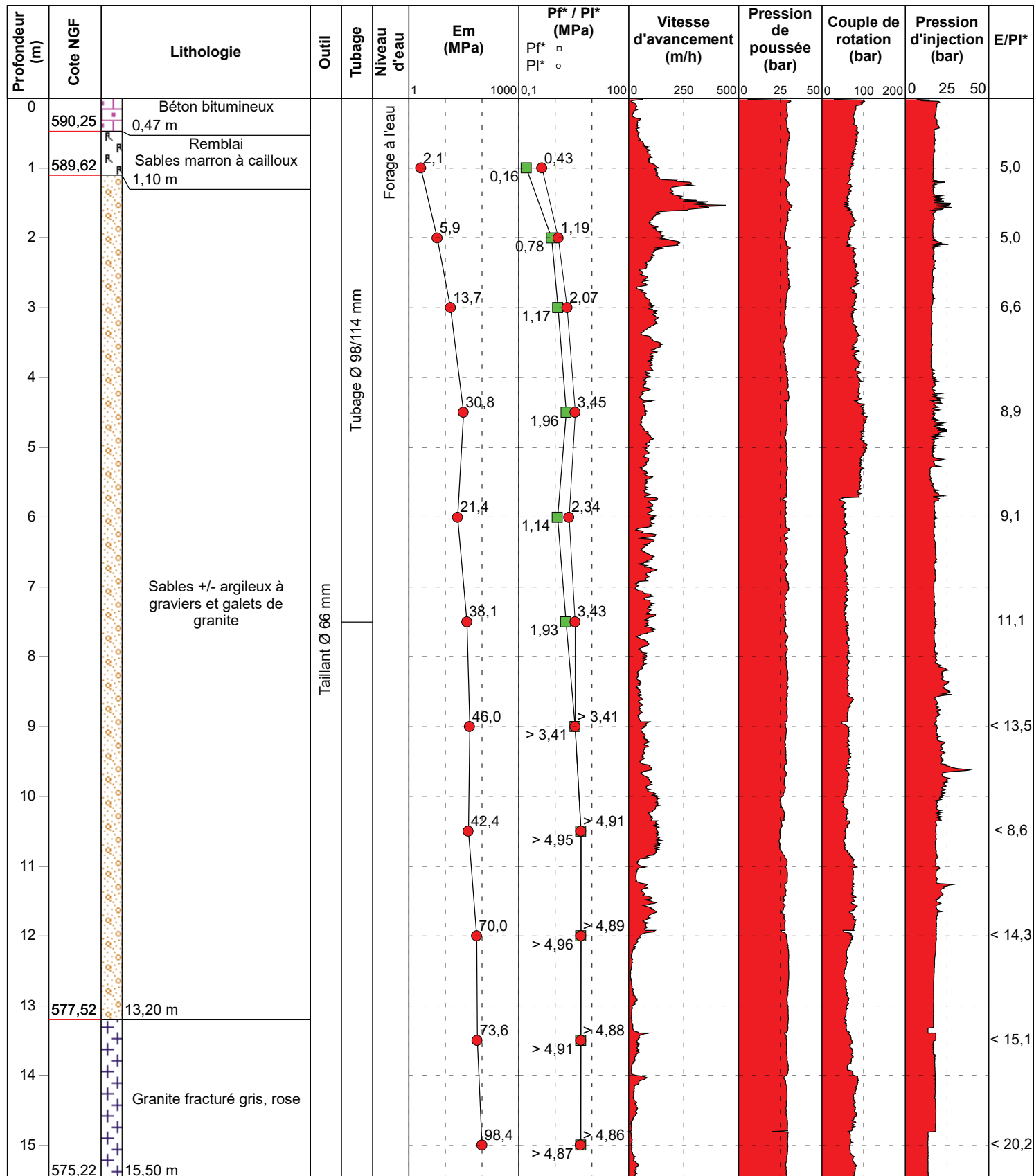
Profondeur : 0,00 - 15,50 m

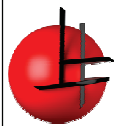
Machine : HDF 750

1/75

Sondage pressiométrique : SP1

EXGTE 3.23/GTE





HYDROGEOTECHNIQUE

DIR EST

Bussang (88)

RN66 - Reconstruction d'un soutènement

Dossier C.24.21070

Date : 18/04/2024

Cote NGF : 589.45

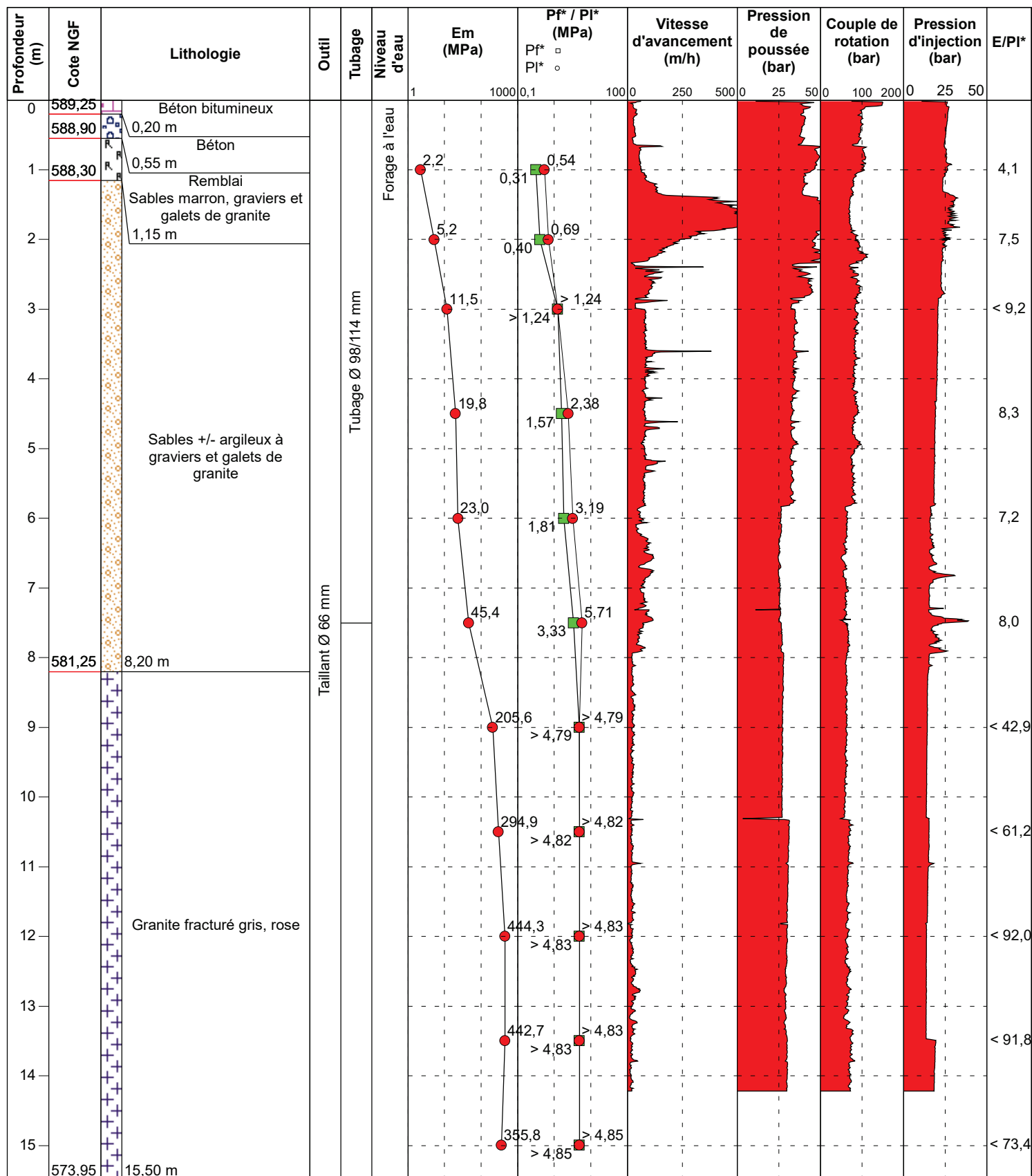
Profondeur : 0,00 - 15,50 m

Machine : HDF 750

1/75

Sondage pressiométrique : SP2

EXGTE 3.23/GTE



1/75

Sondage carotté : SC1

EXGTE 3.23/LB2EPF580FR

Profondeur (m)	Cote NGF		Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD	% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Couple de rotation (bar)	Pression d'injection (bar)
								0	50	100				
0	590,25		Béton bitumineux 0,47 m	Carottier rotoperçusion et Carottier rotatif Ø 116 mm	Tubage Ø 120/140 mm		4,0 m	/	100,00					
1	589,62		Remblai Sables marron à cailloux 1,10 m						100,00					
	589,22		Sables argileux marron à graviers et galets granitiques 1,50 m						100,00					
2									100,00					
3			Sables marron à graviers et galets granitiques						100,00					
4	586,52		4,20 m						100,00					
5									100,00					
6			Sables argileux marron à graviers et galets granitiques						100,00					
7	583,52		7,20 m						100,00					
	583,22		Sables argileux marron, gris à graviers et galets granitiques						100,00					
8	582,72		7,50 m						100,00					
	582,32		Sables argileux marron à graviers et galets granitiques						100,00					
9	581,72		Sables marron à graviers et à galets granitiques						100,00					
			8,40 m						100,00					
10	580,52		Argile sableuse marron à graviers et galets granitiques						100,00					
			9,00 m						100,00					
11			Sable marron						100,00					
			10,20 m						100,00					
			Sables marron à graviers et galets granitiques						100,00					
	579,22		11,50 m						100,00					
	578,92		Sables argileux gris à graviers et galets granitiques						100,00					
12	578,57		11,80 m						100,00					
			Sables légèrement argileux marron à graviers et galets granitiques						100,00					
13	577,52		12,15 m						75,00					
			Sables marron à graviers et galets 13,20 m						40,00					
14			Granite fracturé gris, rose											
15	575,72		15,00 m						40,00					

1/75

Sondage carotté : SC2

EXGTE 3.23/LB2EPF580FR

Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD	% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			Pression d'injection (bar)		
							0	50	100	0	100	200	0	50	100	0	100	200	0	25	50
0	588,90	0,55 m Béton bitumineux	Carottier rotoperçution Ø 116 mm	Tubage Ø 120/140 mm	3,9 m																
1	588,30	Remblai Sables marron, graviers et galets granitiques					1	100,00													
	587,70	1,15 m Sables argileux marron à graviers et galets granitiques					2	100,00													
2		1,75 m Sables marron, gris à graviers et galets granitiques					3	100,00													
3	586,65	2,80 m Sables marron à graviers et galets granitiques					4	100,00													
4	585,55	3,90 m Sables légèrement argileux marron à graviers et galets granitiques					5	100,00													
5	584,25	5,20 m Sables légèrement argileux marron, gris à graviers et galets granitiques					6	100,00													
6	583,05	6,40 m Sables légèrement argileux marron à graviers et galets granitiques					7	100,00													
7		8,20 m Granite fracturé gris, rose	Carottier rotatif Ø 116 mm			/	8	100,00													
8	581,25						9	100,00													
9							10	100,00													
10							11	100,00													
11							12	100,00													
12							13	100,00													
13							14	100,00													
14							15	100,00													
15	574,45	15,00 m																			

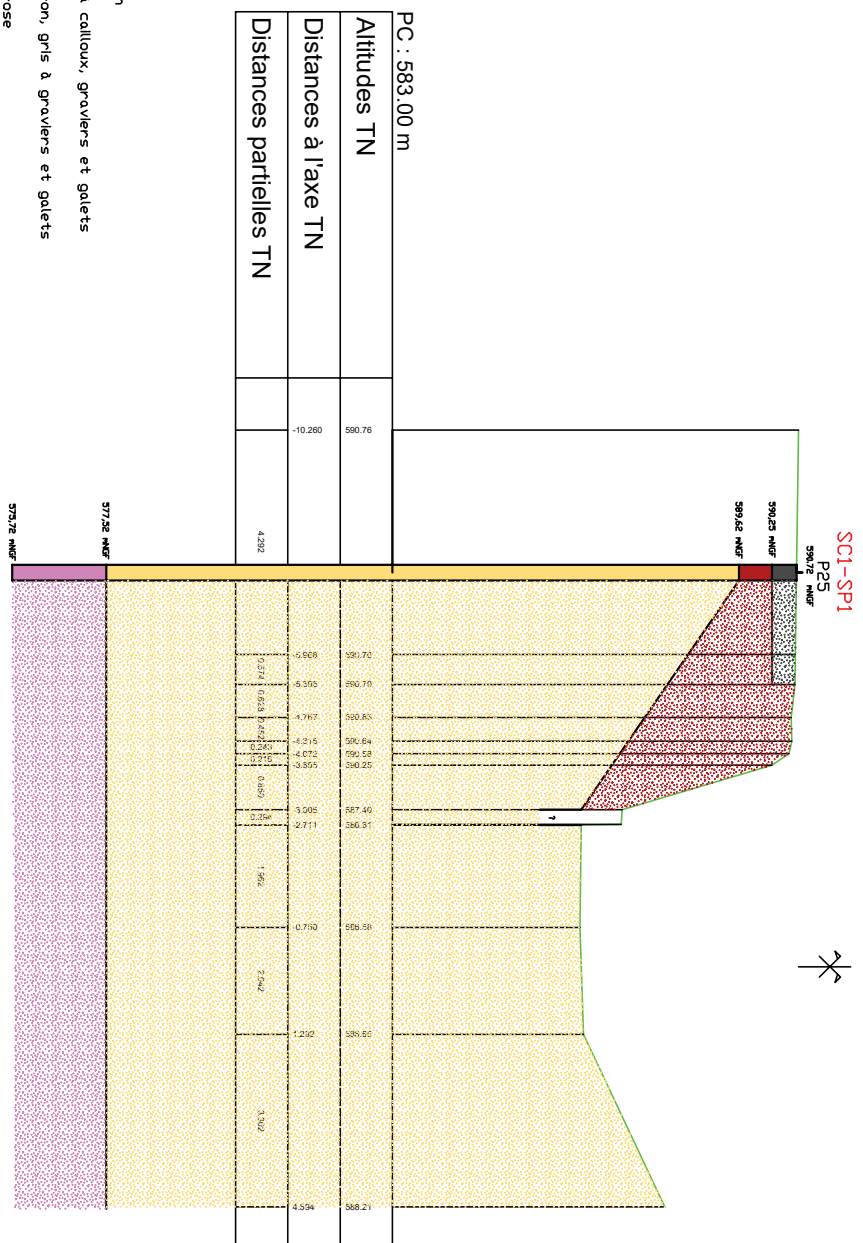
DIR EST
Bussang (88)
RN66 - Reconstruction d'un soutènement

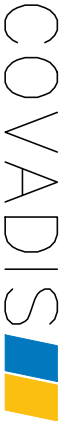
PROFIL GÉOTECHNIQUE EN TRAVERS (PT 25 : Sondages SCI / PRI)

Echelle des longueurs : 1/100

Echelle des longueurs : 1/100

Echelle des longueurs : 1/100





Mur de Bussang - PR34+000

Profil n°: PT_13

Abscisse : 92.611 m

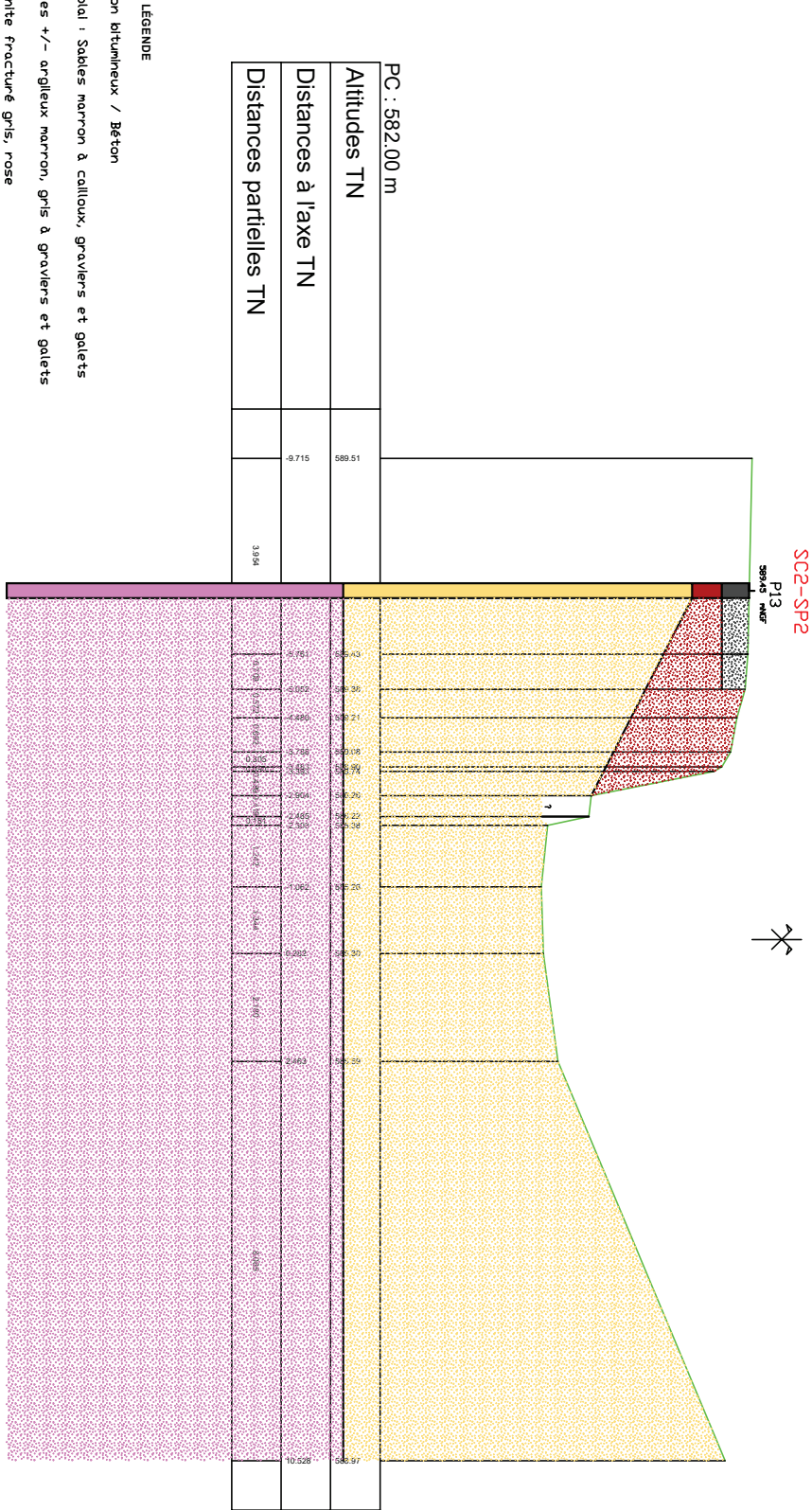
Echelle des longueurs : 1/100

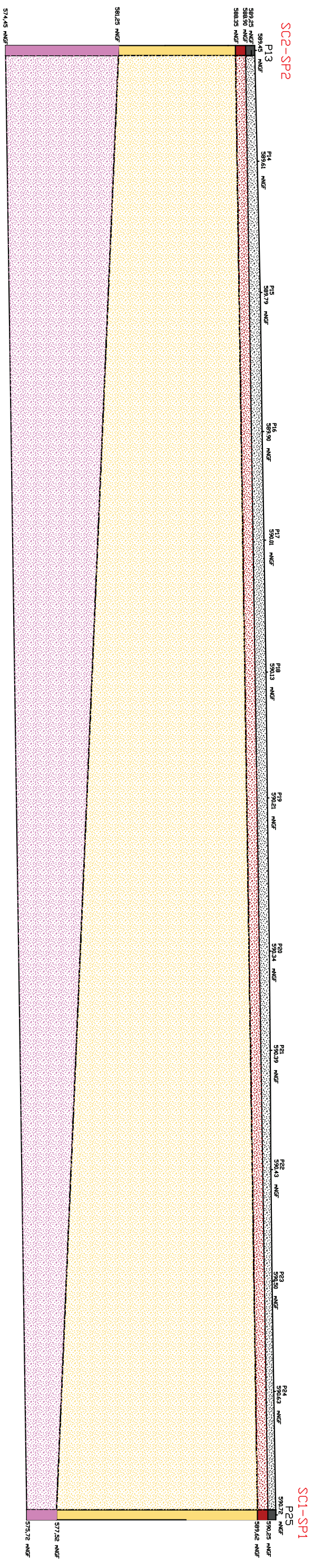
Echelle des altitudes : 1/100




HYDROGÉOTECHNIQUE LORRAINE
575, Rue Georges Champak 54710 LUDRES
tél : 03 83 89 23 01 fax : 03 83 89 23 14
e-mail : lorraine@hydrogeotechnique.com

DIR EST
Bussang (88)
RNO6 - Reconstruction du soutènement
PROFIL GÉOTECHNIQUE EN TRAVERS (PT 13 : Sondages SC2 / PR2)





 <p>HYDROGÉOTECHNIQUE LORRAINE 575, Rue Georges Charpax 54710 LUNÈRES tél : 03 83 59 23 01 fax : 03 83 59 23 14 e-mail : lorraine@hydrogeotechnique.com</p>	<p>DIR EST Bussang (88) RN66 - Reconstruction d'un soutènement</p>
	<p>PROFIL GÉOTECHNIQUE EN LONG</p>

Échelle en X : 10 m



Échelle en Z : 1,0 m

- Couche 00 : Béton bitumineux / Béton
 Couche 01 : Remblai : Sables marron à cailloux, graviers et galets
 Couche 10 : Sables +/- arilleux marron, gris à graviers et galets
 Couche 20 : Granite fracturé gris, rose

ANNEXE 3

ESSAIS EN LABORATOIRE



	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

N° Enregistrement : PVA 24 482

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	0,5 - 1,0 m	Sables marron à cailloux	EA-24-667


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	48
Passant %	100	100	100	96	91	74	57	49	42	36	24	15	10		
Passant par rapport au 50mm %				100				51	44		25		11		


Teneur en eau(%)	7,0
-------------------------	-----



VBS	0,12
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B3
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

N° Enregistrement : PVA 24 483

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	1,5 - 2,0 m	Sables marron à graviers et galets granitiques	EA-24-668


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	50
Passant %	100	100	100	95	93	77	64	54	44	37	25	17	13		
Passant par rapport au 50mm %				100				57	47		27		13		


Teneur en eau(%)	7,7
-------------------------	-----



VBS	0,25
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B5
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

N° Enregistrement : PVA 24 484

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	4,2 - 5,0 m	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	EA-24-669


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	38
Passant %	100	100	100	100	96	81	71	62	50	37	20	14	11		
Passant par rapport au 50mm %				100				62	50		20		11		


Teneur en eau(%)	7,6
-------------------------	-----



VBS	0,11
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B3
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 485

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	7,2 - 8,0 m	Sables argileux marron, gris à graviers et galets granitiques	EA-24-670


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	80
Passant %	100	100	95	93	90	77	64	54	43	36	27	22	17		
Passant par rapport au 50mm %				100				58	46		29		19		


Teneur en eau(%)	6,6
-------------------------	-----



VBS	0,26
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	C1B5
-----------------------	-------------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 486

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	10,2 - 11,0 m	Sables marron à graviers et galets granitiques	EA-24-671


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	45
Passant %	100	100	100	97	93	86	77	72	68	60	30	10	4		
Passant par rapport au 50mm %				100				74	70		30		5		


Teneur en eau(%)	5,0
-------------------------	-----



VBS	0,06
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	D2
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 487

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC2	1,2 - 1,7 m	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	EA-24-672


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	38
Passant %	100	100	100	100	100	88	76	67	57	48	31	19	14		
Passant par rapport au 50mm %				100				67	57		31		14		


Teneur en eau(%)	18,3
-------------------------	------



VBS	0,29
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B5
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 488

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC2	2,0 - 2,8 m	Sable marron, gris à graviers et galets granitiques	EA-24-673


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	34
Passant %	100	100	100	100	98	86	74	63	51	42	29	22	17		
Passant par rapport au 50mm %				100				63	51		29		17		


Teneur en eau(%)	5,4
-------------------------	-----



VBS	0,15
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B5
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078/ NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 489

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC2	5,2 - 6,0 m	Sables légèrement argileux marron, gris à graviers et galets granitiques	EA-24-674


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	45
Passant %	100	100	100	97	93	87	78	70	60	52	42	36	30		
Passant par rapport au 50mm %				100				73	62		43		31		


Teneur en eau(%)	9,3
-------------------------	-----



VBS	0,36
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B5
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300 Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg		

N° Enregistrement : PVA 24 490

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC2	6,5 - 7,0 m	Sables légèrement argileux marron à graviers et galets granitiques	EA-24-675


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	31
Passant %	100	100	100	100	99	92	81	72	61	52	40	32	26		
Passant par rapport au 50mm %				100				72	61		40		26		


Teneur en eau(%)	9,9
-------------------------	-----



VBS	0,33
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	B5
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

N° Enregistrement : PVA 24 491

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
17/05/24	22/04/24	C.24.21070	Bussang (88) Reconstruction soutènement RN66	SS	DV

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC2	7,0 - 8,0 m	Sables argileux marron à graviers et galets granitiques	EA-24-676


Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	38
Passant %	100	100	100	100	100	94	89	84	77	68	52	42	36		
Passant par rapport au 50mm %				100				84	77		52		36		


Teneur en eau(%)	10,3
-------------------------	------

VBS	0,48
------------	------

IPI	-
yd	-

Classification	A1
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D.VINTER	
Date : 22/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 22/05/24	

ANNEXE 4

SORTIES GRAPHIQUES



Données du projet

Type d'application : Calcul de stabilité classique

Numéro d'affaire : C.24.21.070

Titre du calcul : Mur de Bussang

Lieu : Zone courante

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m³

γw : 10.0

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	590,760	2	13,212	590,760	3	17,503	590,700	4	18,077	590,692	5	18,704	590,622	6	19,157	590,633
7	19,400	590,576	8	19,616	590,250	9	20,466	587,395	10	20,748	587,377	11	20,760	586,600	12	50,000	586,600
13	0,000	589,620	14	0,000	588,220	15	0,000	586,600	16	0,000	577,520	17	50,000	577,520	18	20,221	588,220
19	19,805	589,620	20	14,496	590,746	21	16,593	590,717	22	20,700	586,600	24	20,561	587,389	25	17,687	589,620
26	19,084	588,220	27	12,100	590,760	28	15,600	590,731	29	19,200	590,760						

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	12	11	2	11	10	5	8	7	6	7	6	7	6	5	8	5	4	9	4	3
12	16	17	14	9	18	17	8	19	18	18	19	21	2	20	22	3	21	24	15	22
25	11	22	26	22	24	27	24	10	28	24	9	31	21	25	32	25	13	33	25	19
34	25	26	35	26	14	36	26	18	37	26	22	38	2	27	39	1	27	40	20	28
41	21	28	44	2	29	45	29	7	46	9	22									

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs,cloud	pmax	ks×B	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques	
1	C01		20,0	30,00	0,0	0,0	0,1	-	-	Non	Non	Non	
2	C10a		20,0	30,00	0,0	0,0	72,8	-	-	Non	Non	Non	
3	C10b		21,0	30,00	0,0	0,0	94,6	-	-	Non	Non	Non	
4	C10c		21,0	35,00	0,0	0,0	180,9	-	-	Non	Non	Non	
5	C20		23,0	40,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	
6	R		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe	Écoulement dans le sol	kh	kv
1	C01		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
2	C10a		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
3	C10b		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
4	C10c		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
5	C20		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
6	R		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	20 kPa	12,100	590,760	20,0	18,600	590,760	20,0	90,00
2	20 kPa	12,100	590,760	20,0	13,212	590,760	20,0	90,00
3	20 kPa	13,212	590,760	20,0	14,496	590,746	20,0	90,00
4	20 kPa	14,496	590,746	20,0	15,600	590,731	20,0	90,00

Clous

	Nom	X	Y	Espacement horizontal	Inclinaison/horizontale	Largeur base de diffusion	Angle de diffusion	RNcal	Longueur	Rqs
1	R38-500 (1)	19,688	590,010	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-
2	R38-500 (2)	20,060	588,760	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-
3	R38-500 (3)	20,432	587,510	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-

Clous (cont.)

	Nom	Rayon équivalent	Règle de calcul de la résistance par frottement	Rc	Moment de plastification	EI
1	R38-500 (1)	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-
2	R38-500 (2)	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-
3	R38-500 (3)	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données du projet

Clous (cont.)

	Nom	Angle critique	Traction	Cisaillement	qsclou issu de	θ_{barre}	σ_a	Valeur de Ra imposée	Rqs calculé à partir de qsclou
1	R38-500 (1)	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui
2	R38-500 (2)	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui
3	R38-500 (3)	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui

Clous (cont.)

	Nom	Résistance au cisaillement variable le long du clou	Matériau du clou
1	R38-500 (1)	Non	-
2	R38-500 (2)	Non	-
3	R38-500 (3)	Non	-

Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase 1 : Mise en place de clous

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa
20 kPa
20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	586,600	0,00	2	50,000	586,600	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 1 : Mise en place de clous

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 19,000; Y= 592,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la phase 2

Nom de la phase : Phase 3 : Fin des travaux

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	587,000	0,00	2	50,000	587,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 3 : Fin des travaux

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation durable - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.1

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 20,000; Y= 590,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

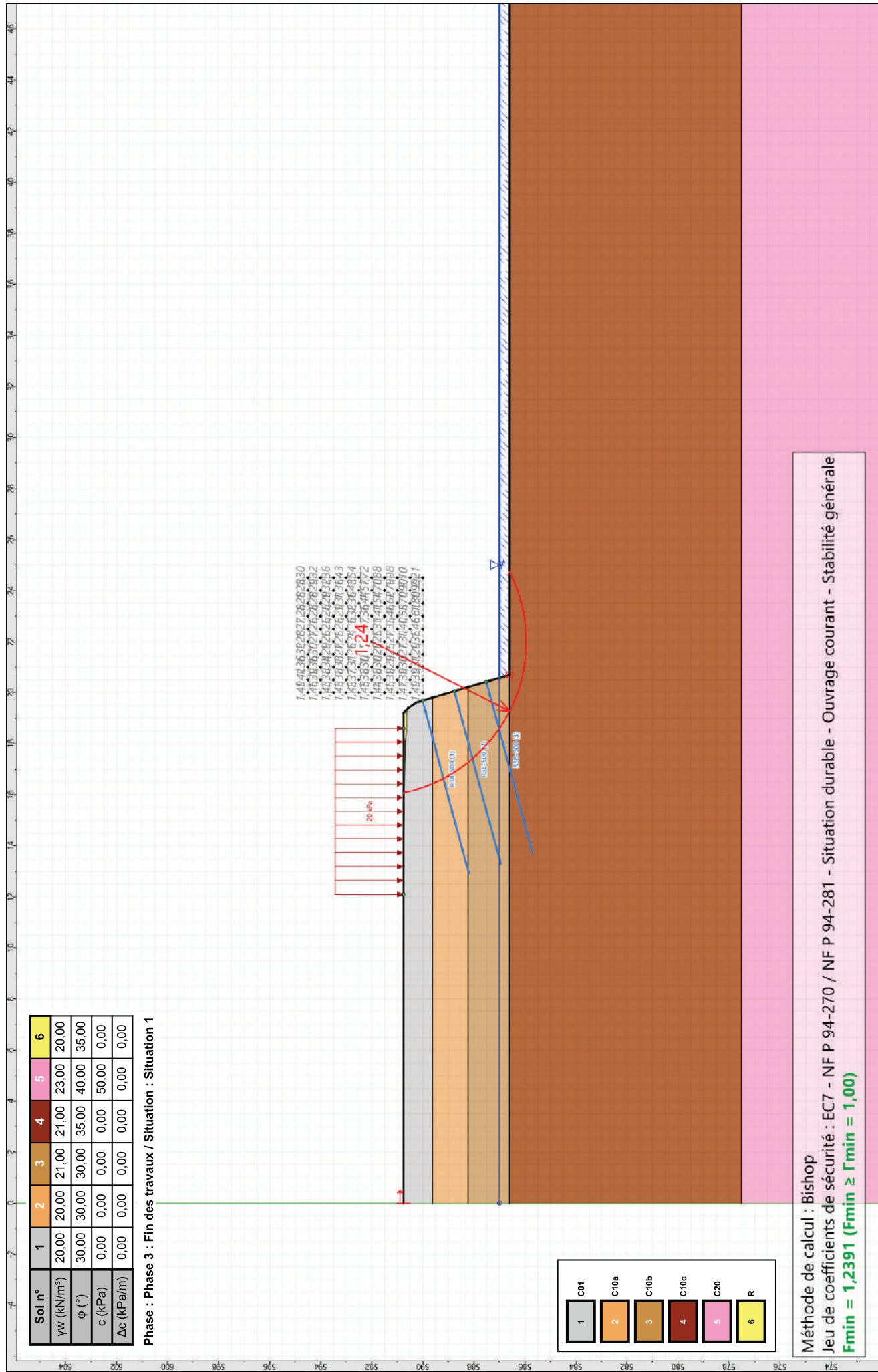
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation durable - Ouvrage courant - Stabilité générale
F_{min} = 1,2391 (F_{min} ≥ F_{min} = 1,00)

Projet : Mur de Bussang

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Talren v6
v6.2.17

Données de la phase 3

Nom de la phase : Phase 4 : Crue EH

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	588,000	0,00	2	50,000	588,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 4 : Crue EH

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 21,000; Y= 591,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,250; Y= 0,250

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

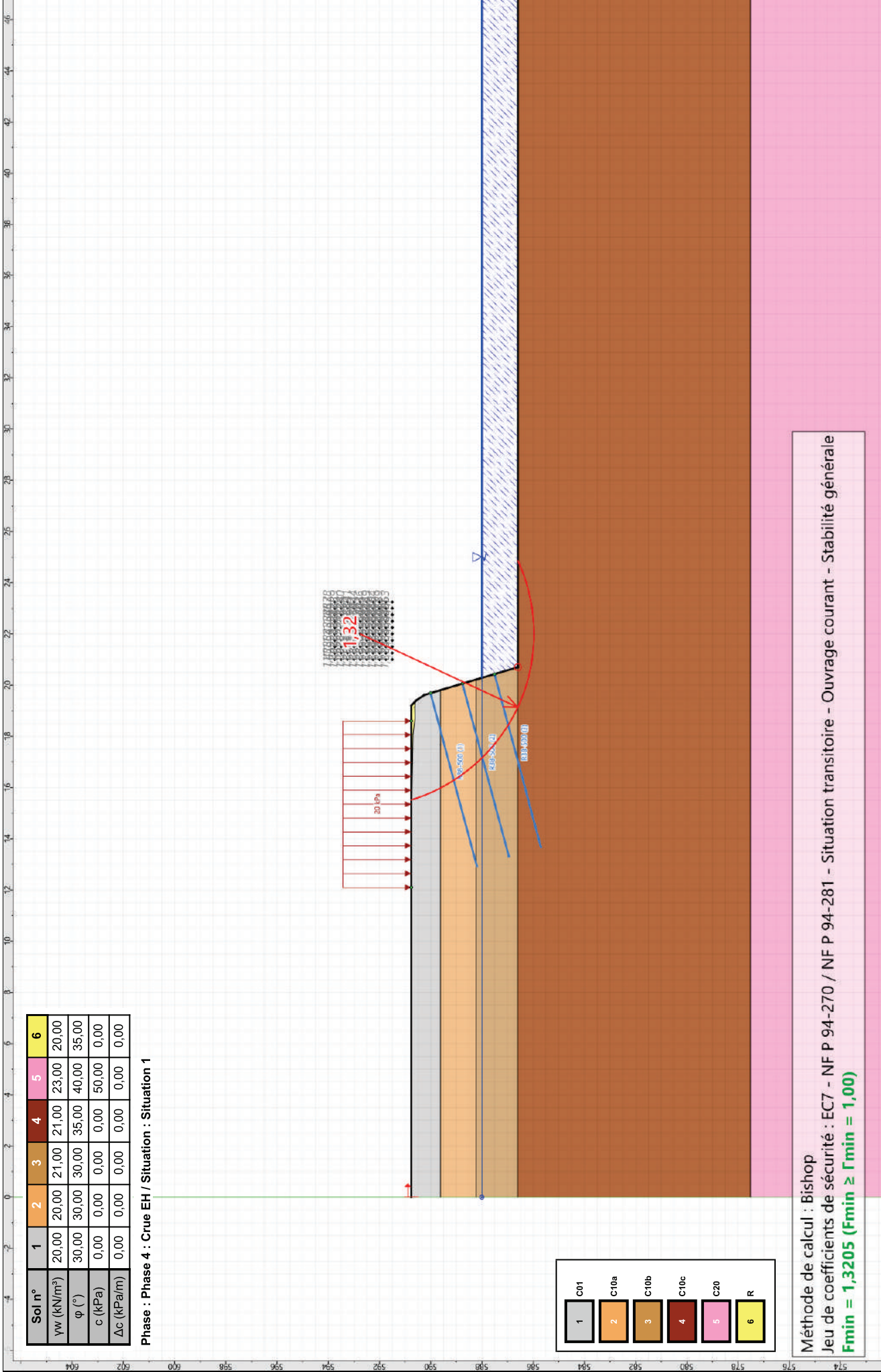
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:38
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m³)	20,00	20,00	21,00	21,00	23,00	20,00
φ (°)	30,00	30,00	30,00	35,00	40,00	35,00
c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 4 : Crue EH / Situation : Situation 1

1	C01
2	C10a
3	C10b
4	C10c
5	C20
6	R

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale
Fmin = 1,3205 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

Données de la phase 4

Nom de la phase : Phase 5 : Crue EE

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	590,000	0,00	2	50,000	590,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 5 : Crue EE

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 19,500; Y= 591,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

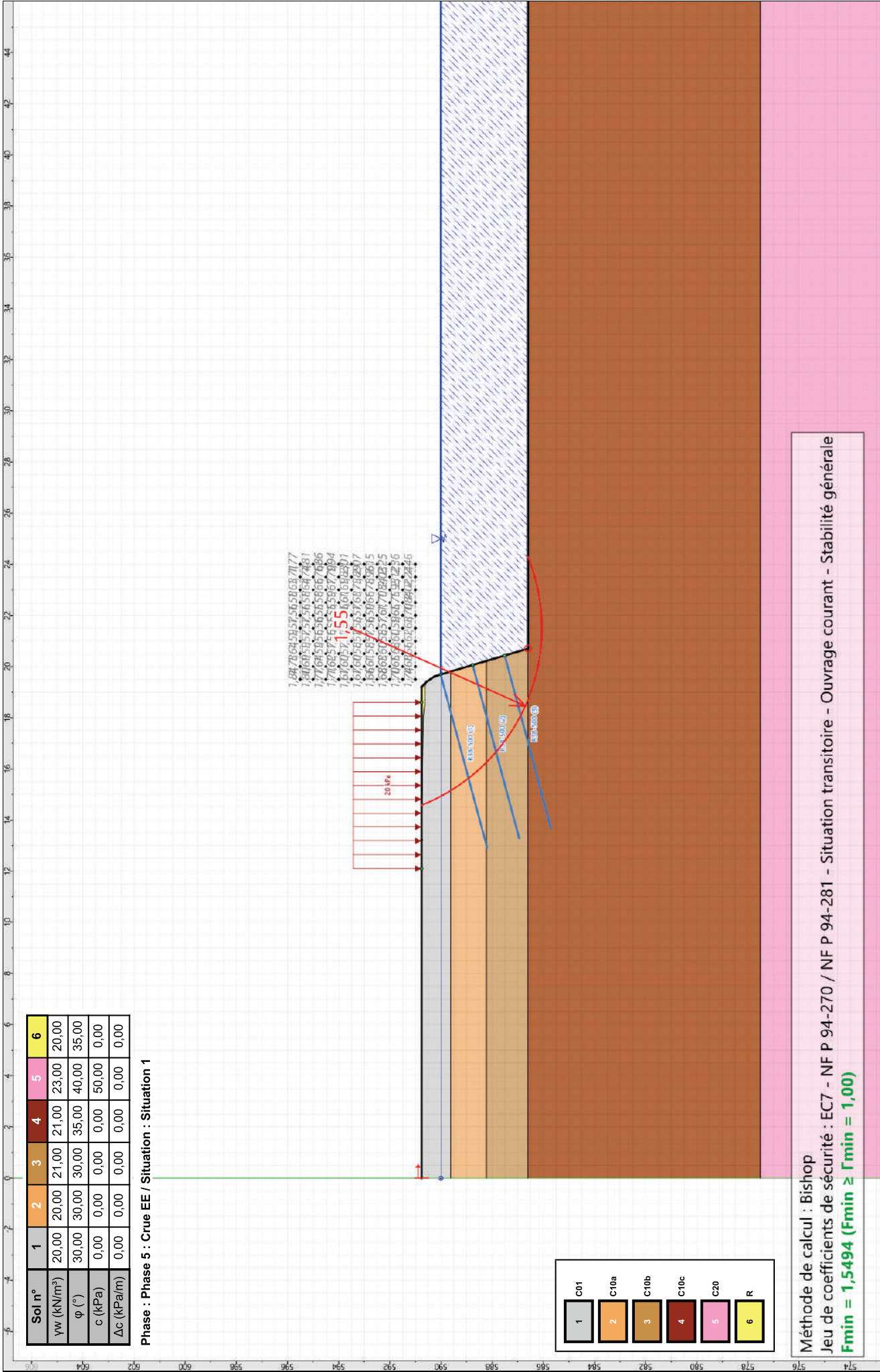
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m³)	20,00	20,00	21,00	21,00	23,00	20,00
φ (°)	30,00	30,00	30,00	35,00	40,00	35,00
c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 5 : Crue EE / Situation : Situation 1

1	C01
2	C10a
3	C10b
4	C10c
5	C20
6	R

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale
Fmin = 1,5494 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

Données de la phase 5

Nom de la phase : Phase 6 : Décrue haute EE / EH

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	590,000	0,00	2	19,192	590,000	0,00	3	20,236	588,000	0,00	4	50,000	588,000	0,00				



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 6 : Décrue haute EE / EH

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 20,000; Y= 590,600

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,400; Y= 0,400

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

$$F_{\min} = 1,0466 \text{ (} F_{\min} \geq \Gamma_{\min} = 1,00 \text{)}$$

Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Projet : Mur de Bussang

Données de la phase 6

Nom de la phase : Phase 7 : Décrue base : EH / Eb

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	588,000	0,00	2	19,192	588,000	0,00	3	20,552	586,600	0,00	4	50,000	586,600	0,00				



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 7 : Décrue base : EH / Eb

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 20,750; Y= 591,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,250; Y= 0,250

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

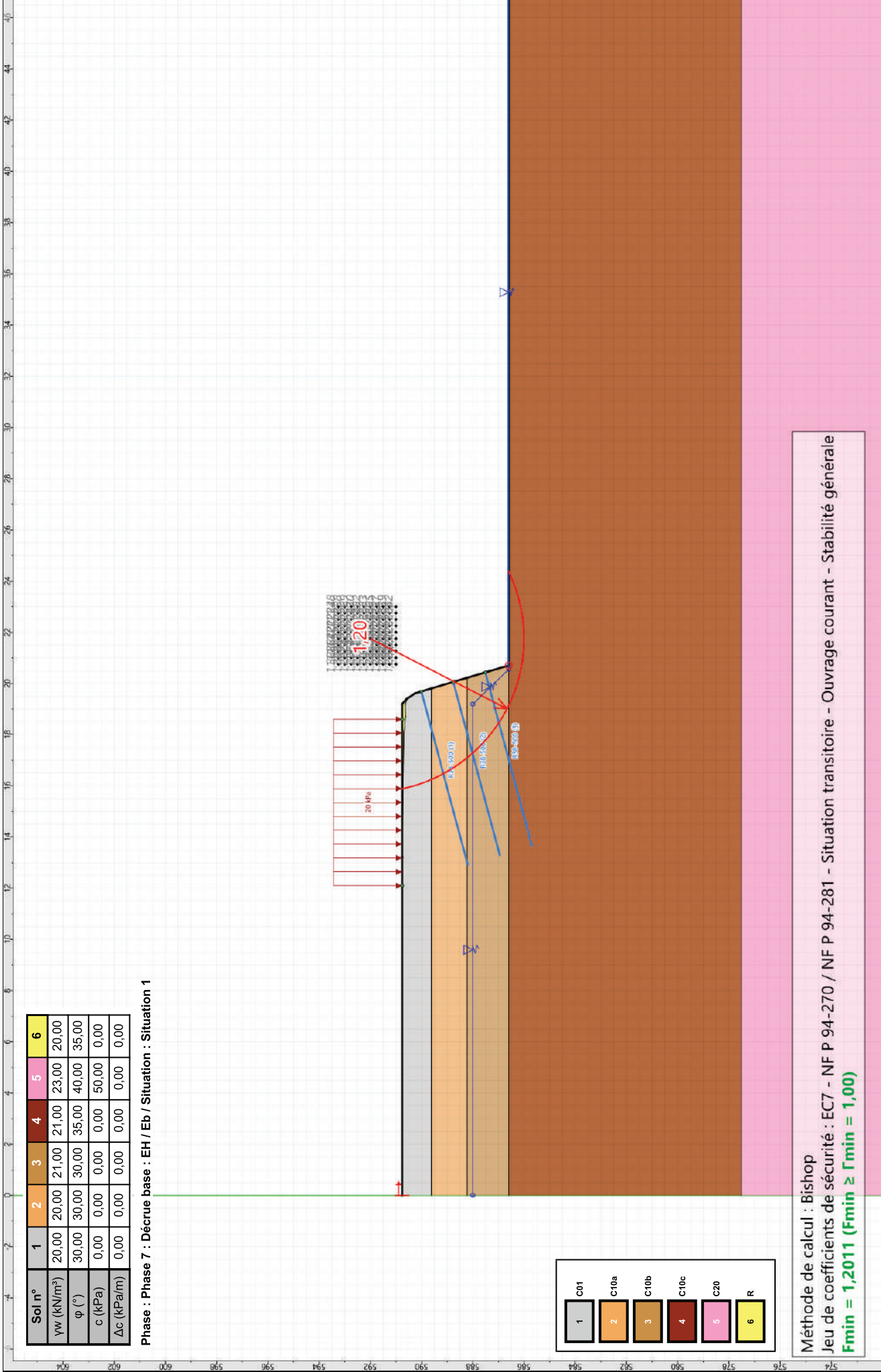
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données de la phase 7

Nom de la phase : Phase 8 : Séisme

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	12	11	C10c	5	8	7	C01	6	7	6	C01
7	6	5	C01	8	5	4	C01	9	4	3	C01
12	16	17	C20	14	9	18	C10b	17	8	19	C01
18	18	19	C10a	21	2	20	C01	22	3	21	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	32	25	13	C10a
33	25	19	C10a	35	26	14	C10b	36	26	18	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	44	2	29	R	45	29	7	R
46	9	22	C10b								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : R38-500 (1)
R38-500 (2)
R38-500 (3)

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 7,6,5,4,3,21,28,20,2,29
Polygone entre les points 18,9,22,26

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	587,000	0,00	2	50,000	587,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 8 : Séisme

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation sismique - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,700	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,050	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 20,000; Y= 591,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient kh (accélération horizontale): 101

Coefficient kv (accélération verticale): 050

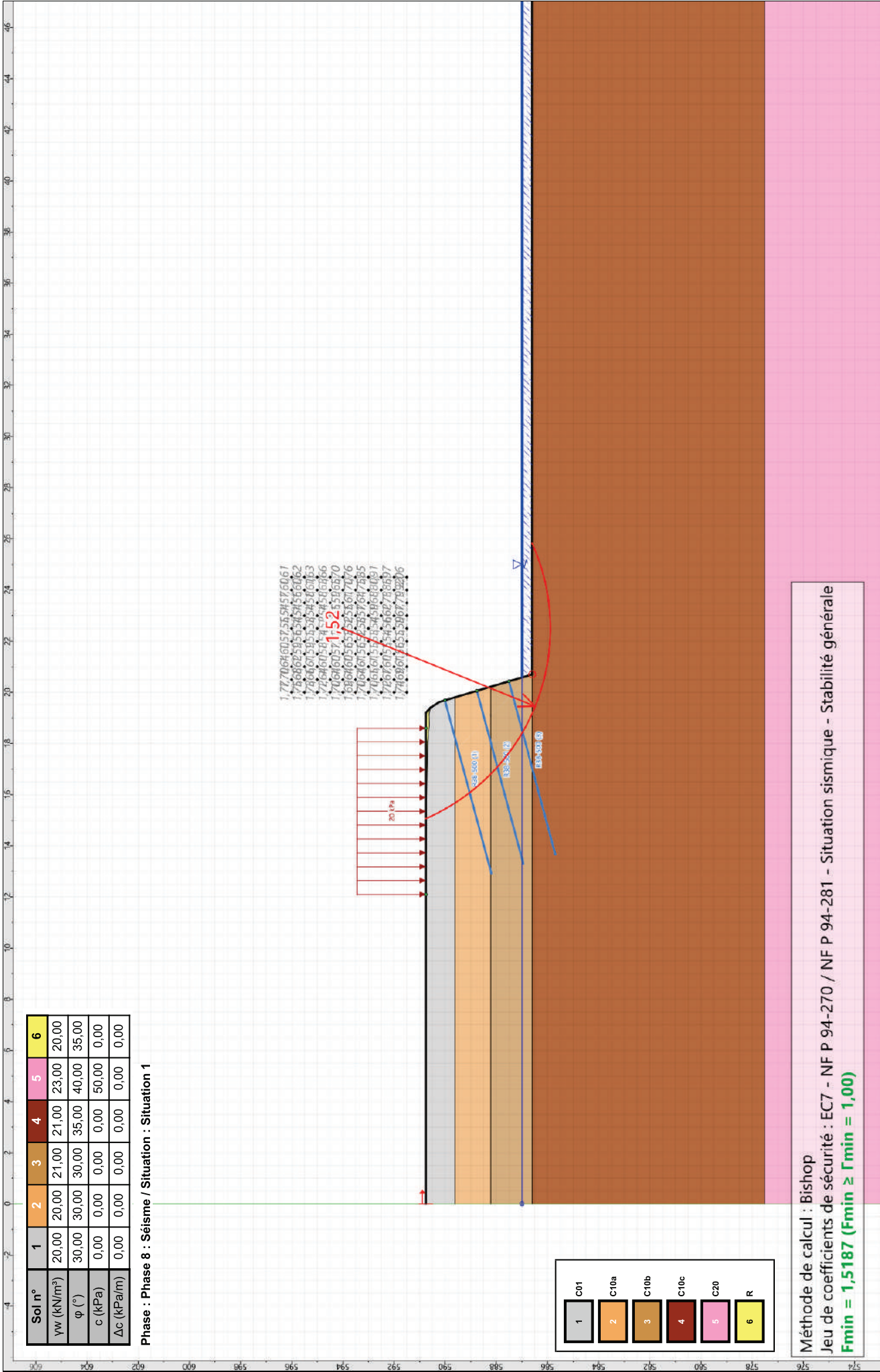
Recherche automatique de la combinaison sismique la plus défavorable : Oui

Recherche automatique de l'accélération déstabilisante : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:19:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données du projet

Type d'application : Calcul de stabilité classique

Numéro d'affaire : C.24.21.070

Titre du calcul : Mur de Bussang

Lieu : Zone effondrée

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m³

γw : 10.0

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	590,760	2	13,212	590,760	3	17,503	590,700	4	18,077	590,692	5	18,704	590,622	6	19,157	590,633
7	19,400	590,576	8	19,616	590,250	9	20,466	587,395	10	20,748	587,377	11	20,760	586,600	12	50,000	586,600
13	0,000	589,620	14	0,000	588,220	15	0,000	586,600	16	0,000	577,520	17	50,000	577,520	18	20,221	588,220
19	19,805	589,620	20	14,496	590,746	21	16,593	590,717	22	20,700	586,600	23	19,968	590,760	24	20,561	587,389
25	17,687	589,620	26	19,084	588,220	27	12,100	590,760	28	15,600	590,731						

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	12	11	2	11	10	5	8	7	6	7	6	7	6	5	8	5	4	9	4	3
12	16	17	14	9	18	17	8	19	18	18	19	21	2	20	22	3	21	24	15	22
25	11	22	26	22	24	27	24	10	28	24	9	29	24	23	31	21	25	32	25	13
33	25	19	34	25	26	35	26	14	36	26	18	37	26	22	38	2	27	39	1	27
40	20	28	41	21	28	42	23	2												

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs,clou	pmax	ks×B	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques	
1	C01		20,0	30,00	0,0	0,0	0,1	-	-	Non	Non	Non	
2	C10a		20,0	30,00	0,0	0,0	72,8	-	-	Non	Non	Non	
3	C10b		21,0	30,00	0,0	0,0	94,6	-	-	Non	Non	Non	
4	C10c		21,0	35,00	0,0	0,0	180,9	-	-	Non	Non	Non	
5	C20		23,0	40,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	
6	R		20,0	35,00	0,0	0,0	0,1	-	-	Non	Non	Non	

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe	Écoulement dans le sol	kh	kv
1	C01		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
2	C10a		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
3	C10b		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
4	C10c		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
5	C20		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
6	R		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	20 kPa	12,100	590,760	20,0	18,600	590,760	20,0	90,00
2	20 kPa	12,100	590,760	20,0	13,212	590,760	20,0	90,00
3	20 kPa	13,212	590,760	20,0	14,496	590,746	20,0	90,00
4	20 kPa	14,496	590,746	20,0	15,600	590,731	20,0	90,00

Clous

	Nom	X	Y	Espacement horizontal	Inclinaison/horizontale	Largeur base de diffusion	Angle de diffusion	RNcal	Longueur	Rqs
1	Famille de clous 1 1	20,100	590,010	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-
2	Famille de clous 1 2	20,320	588,760	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-
3	Famille de clous 1 3	20,541	587,510	1,900	15,00	0,500	10,00	120,3	7,000	-

Clous (cont.)

	Nom	Rayon équivalent	Règle de calcul de la résistance par frottement	Rc	Moment de plastification	EI
1	Famille de clous 1 1	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-
2	Famille de clous 1 2	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-
3	Famille de clous 1 3	0,045	RAcal,RCimp	0,0	-	-



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données du projet

Clous (cont.)

	Nom	Angle critique	Traction	Cisaillement	qsclou issu de	θ_{barre}	σ_a	Valeur de Ra imposée	Rqs calculé à partir de qsclou
1	Famille de clous 1 1	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui
2	Famille de clous 1 2	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui
3	Famille de clous 1 3	-	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui

Clous (cont.)

	Nom	Résistance au cisaillement variable le long du clou	Matériau du clou
1	Famille de clous 1 1	Non	-
2	Famille de clous 1 2	Non	-
3	Famille de clous 1 3	Non	-

Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase 1 : Mise en place de clous

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	31	21	25	C01
32	25	13	C10a	34	25	26	C10a	35	26	14	C10b
37	26	22	C10b	38	2	27	C01	39	1	27	C01
40	20	28	C01	41	21	28	C01				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa
20 kPa
20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27

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	586,600	0,00	2	50,000	586,600	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 1 : Mise en place de clous

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_a,clou$	1,250	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle avec intervalles

Intervalle d'entrée

Point gaucheX= 10,000; Y= 590,760

Point droitX= 17,250; Y= 590,058

Nombre de découpages10

Intervalle de sortie

Point gaucheX= 19,500; Y= 587,803

Point droitX= 28,000; Y= 586,600

Nombre de découpages15

Exploration : Par pas de 10°

Angle au centre maximal : 180,00

Écarter les surfaces de peau : Non

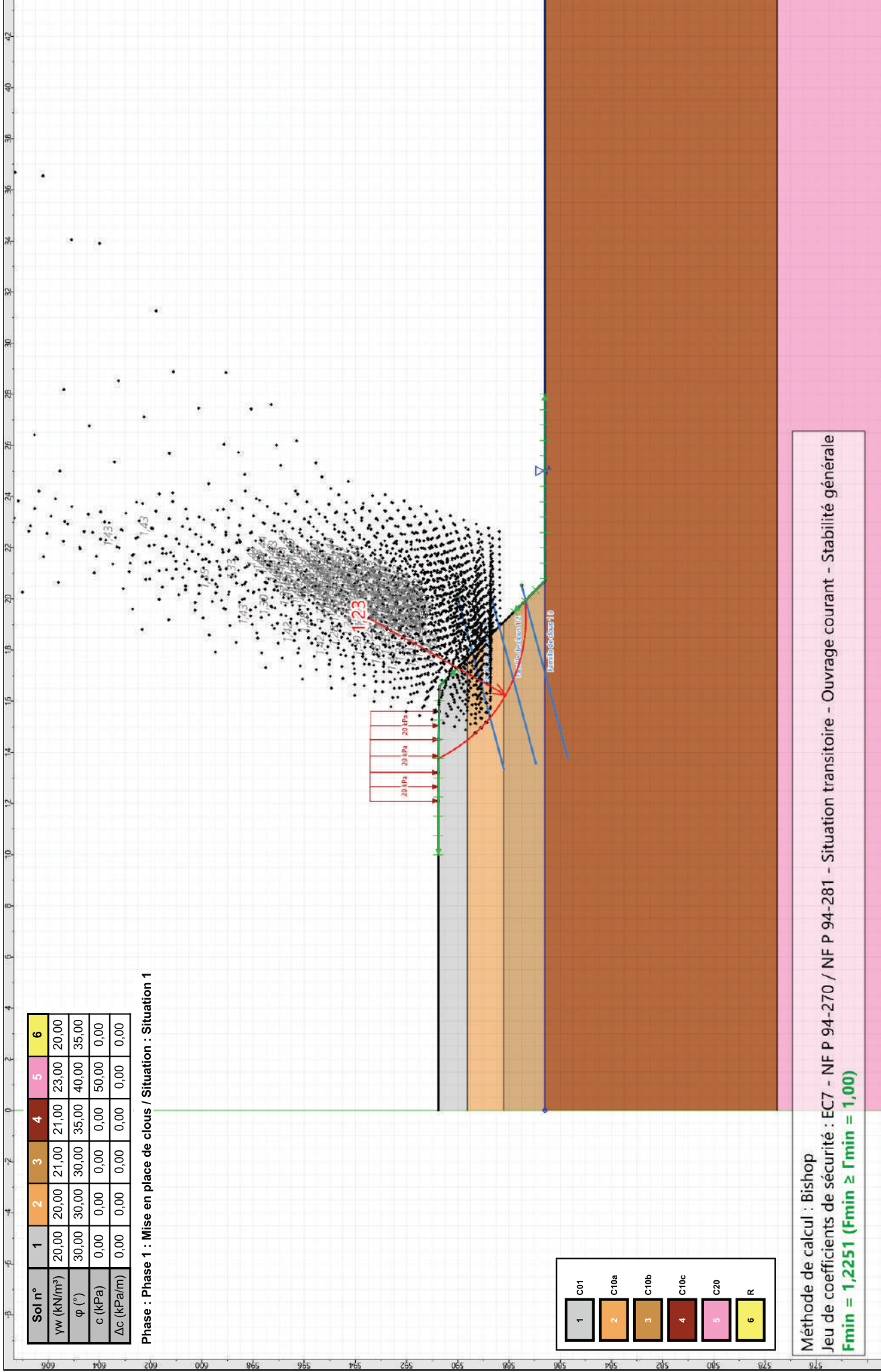
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données de la phase 2

Nom de la phase : Phase 2 : Remblaiement

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa
20 kPa
20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	586,600	0,00	2	50,000	586,600	0,00									

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 2 : Remblaiement

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 19,500; Y= 592,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:39
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m³)	20,00	20,00	21,00	21,00	23,00	20,00
φ (°)	30,00	30,00	30,00	35,00	40,00	35,00
c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 2 : Remblaiement / Situation : Situation 1

1 68,74665954 51,50585864
1 67,7263553216515056
1 79,686054504850516067
1 76,665857487485156269
1 72,6251595195156672
1 70,6051147635506675
1 68,5207148505160679
1 65,415041485154667284
1 63,51514851543677739
1 62,505151525668778632



1	C01
2	C10a
3	C10b
4	C10c
5	C20
6	R

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale
Fmin = 1,4749 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

Données de la phase 3

Nom de la phase : Phase 3 : Fin des travaux

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	587,000	0,00	2	50,000	587,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 3 : Fin des travaux

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation durable - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.1

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 24,500; Y= 594,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γ_w (kN/m³)	20,00	20,00	21,00	21,00	23,00	20,00
φ (°)	30,00	30,00	30,00	35,00	40,00	35,00
c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 3 : Fin des travaux / Situation : Situation 1

1:20
1 3021 25 28 29 20 20 20 20 21
1 28 25 28 29 20 20 20 20 22
1 28 25 28 29 20 20 20 20 25
1 28 25 28 29 20 20 20 20 28
1 28 25 28 29 20 20 20 20 33
1 28 25 28 29 20 20 20 20 40
1 28 25 28 29 20 20 20 20 46
1 28 25 28 29 20 20 20 20 59
1 28 25 28 29 20 20 20 20 69
1 28 25 28 29 20 20 20 20 80



1	C01
2	C10a
3	C10b
4	C10c
5	C20
6	R

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation durable - Ouvrage courant - Stabilité générale
Fmin = 1,1976 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

Données de la phase 4

Nom de la phase : Phase 4 : Crue EH

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	588,000	0,00	2	50,000	588,000	0,00												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 4 : Crue EH

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 24,500; Y= 595,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

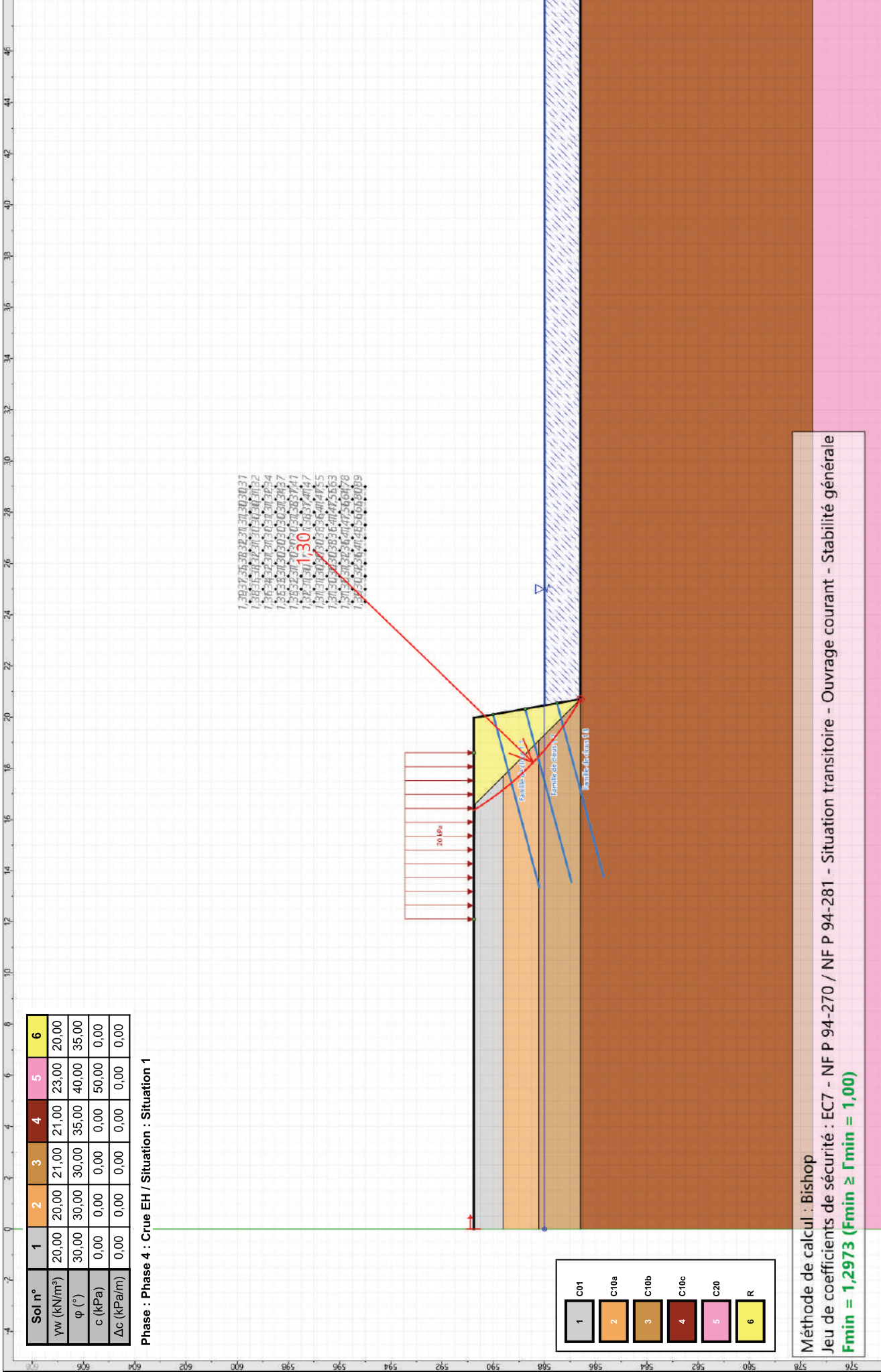
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données de la phase 5

Nom de la phase : Phase 5 : Crue EE

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	590,000	0,00	2	50,000	590,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 5 : Crue EE

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 19,892; Y= 592,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

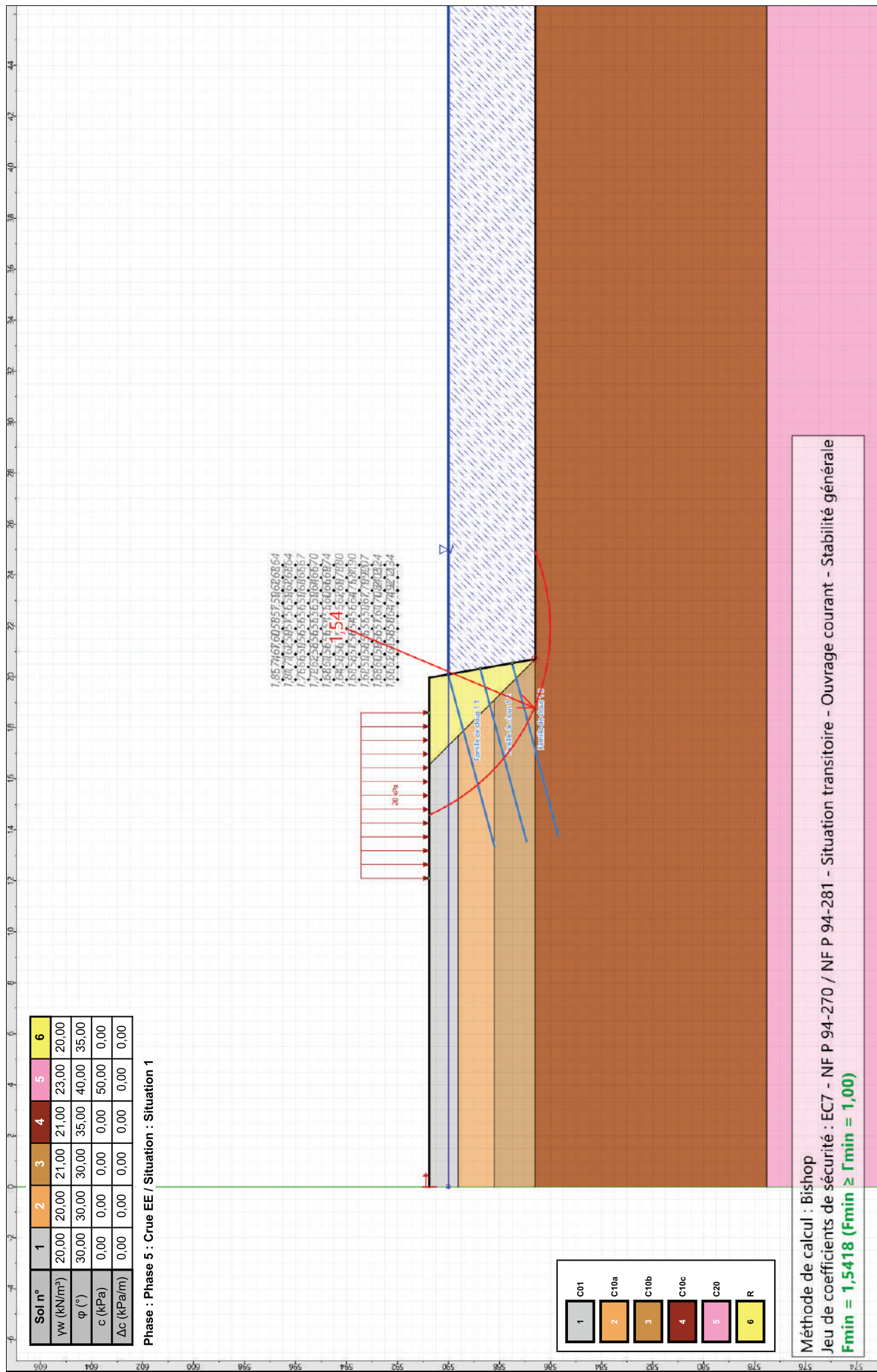
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données de la phase 6

Nom de la phase : Phase 6 : Décrue haute EE / EH

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	590,000	0,00	2	19,192	590,000	0,00	3	20,236	588,000	0,00	4	50,000	588,000	0,00				

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 6 : Décrue haute EE / EH

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 22,399; Y= 593,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

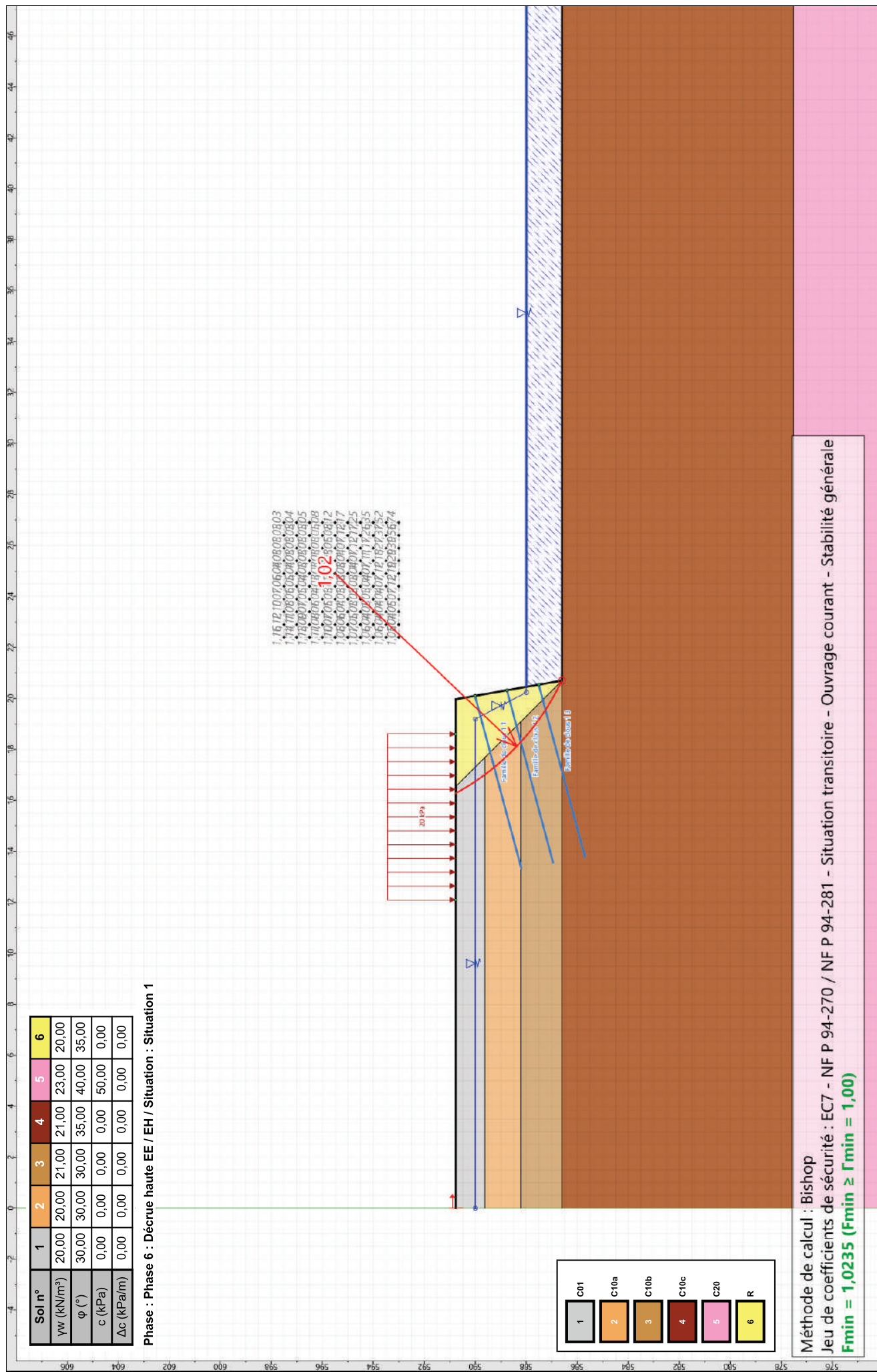
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale
F_{min} = 1,0235 (F_{min} ≥ 1,00)

Données de la phase 7

Nom de la phase : Phase 7 : Décrue base : EH / Eb

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	588,000	0,00	2	19,192	588,000	0,00	3	20,552	586,600	0,00	4	50,000	586,600	0,00				



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 7 : Décrue base : EH / Eb

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation transitoire - Ouvrage courant - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.05

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 22,856; Y= 593,164

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

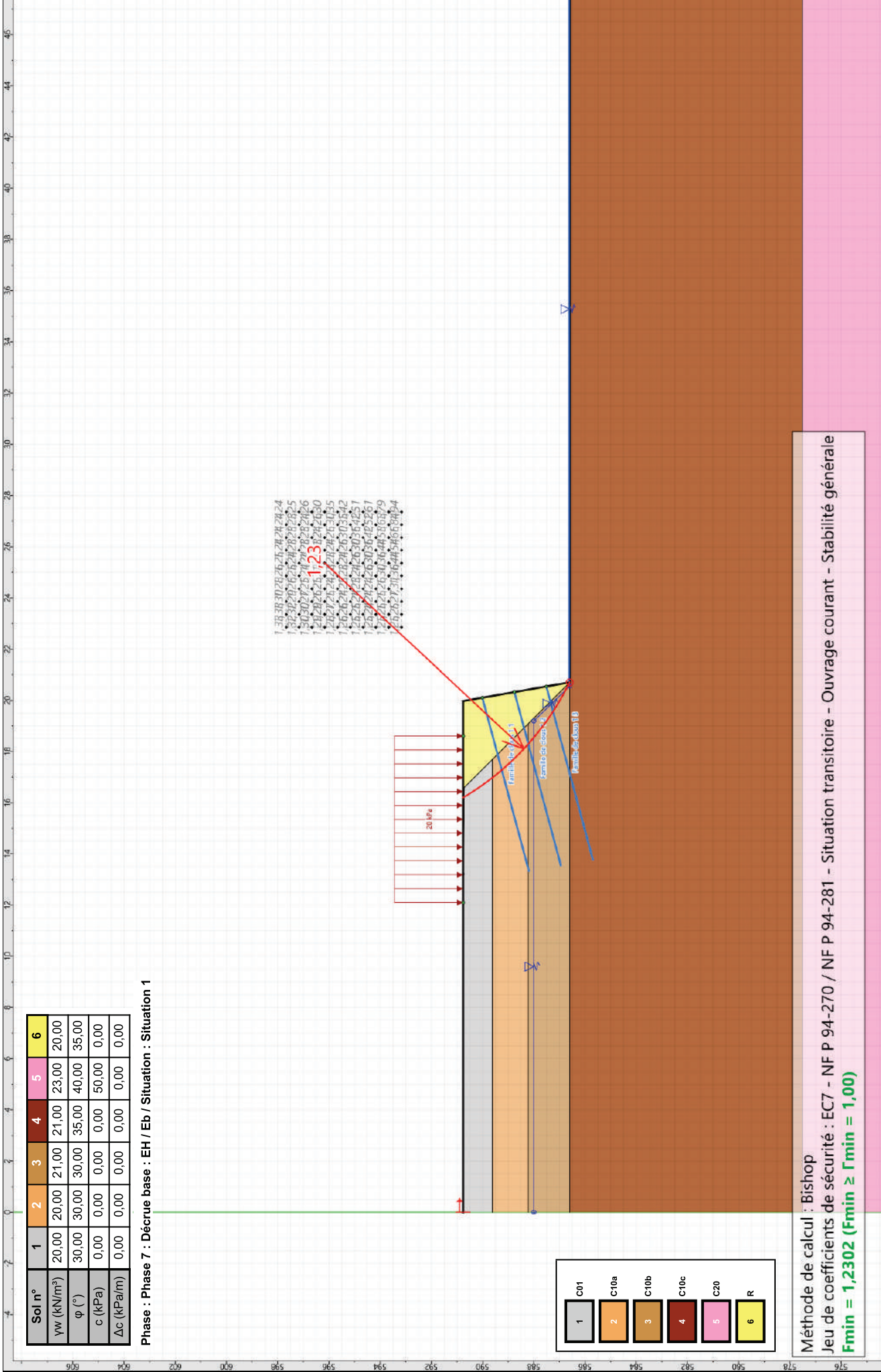
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:40
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang



Données de la phase 8

Nom de la phase : Phase 8 : Séisme

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	12	11	C10c	12	16	17	C20	21	2	20	C01
24	15	22	C10c	25	11	22	C10c	26	22	24	R
29	24	23	R	31	21	25	C01	32	25	13	C10a
34	25	26	C10a	35	26	14	C10b	37	26	22	C10b
38	2	27	C01	39	1	27	C01	40	20	28	C01
41	21	28	C01	42	23	2	R				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : 20 kPa

Clous : Famille de clous 1 1
Famille de clous 1 2
Famille de clous 1 3

Polygones : Polygone entre les points 16,17,xMax,xMin
Polygone entre les points 11,12,17,16,15,22
Polygone entre les points 13,25,26,14
Polygone entre les points 19,18,26,25
Polygone entre les points 7,8,19,25,21,3,4,5,6
Polygone entre les points 22,15,14,26
Polygone entre les points 18,9,24,22,26
Polygone entre les points 2,20,28,21,25,13,1,27
Polygone entre les points 8,7,6,5,4,3,21,28,20,2,23,24,9,18,19

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	587,000	0,00	2	50,000	587,000	0,00									



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:41
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 8 : Séisme

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation sismique - Stabilité générale

Détails 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	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,700	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,050	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,250	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique

Γ_{Rd} : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 24,000; Y= 595,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,750; Y= 0,750

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage de base

Point de passage de base : X= 20,700; Y= 586,600

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient kh (accélération horizontale): 101

Coefficient kv (accélération verticale): 050

Recherche automatique de la combinaison sismique la plus défavorable : Oui

Recherche automatique de l'accélération déstabilisante : Non



Talren v6
v6.2.17

Imprimé le : 31 janv. 2025 10:05:41
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Mur de Bussang

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m³)	20,00	20,00	21,00	21,00	23,00	20,00
φ (°)	30,00	30,00	30,00	35,00	40,00	35,00
c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 8 : Séisme / Situation : Situation 1

1,661,640,601,571,544,521,511,511,501,51
1,641,621,581,551,531,511,511,501,511,51
1,631,601,561,531,521,511,501,501,511,53
1,611,581,541,521,511,501,501,511,521,56
1,601,561,531,511,51,1,501,511,521,561,63
1,581,541,521,511,501,511,521,561,631,73
1,561,531,511,511,511,521,561,631,741,84
1,541,521,511,511,521,551,631,741,852,05
1,531,511,511,521,551,631,731,822,082,16
1,521,521,521,551,631,741,882,102,202,32



1	C01
2	C10a
3	C10b
4	C10c
5	C20
6	R

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94-270 / NF P 94-281 - Situation sismique - Stabilité générale
Fmin = 1,5011 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

ANNEXE 5

MISSIONS GEOTECHNIQUES



CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPE D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE**(extraite de la norme NF P 94-500 - novembre 2013)**

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

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Phase Étude de site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats,
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-Projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

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



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

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

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

→ SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution :

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

Phase Supervision du suivi d'exécution :

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

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

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

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



SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES
(extrait de la norme NFP 94-500 - Novembre 2013)

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Etude 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, esquisses, 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 Etude (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 Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude 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