

ETUDE DE STABILITE D'UN TALUS – TERRIL AU SEIN DE LA C.C.B. A TOURNAI (B)

SLOPE STABILITY STUDY – EMBANKMENT INSIDE C.C.B. IN TOURNAI (B)

Jean-Michel VAILLANT¹, Adrien PLUQUET²

¹ FONDASOL, Agence de Bruxelles-Enghien (B), jean-michel.vaillant@fondasol.be

² FONDASOL, Agence de Lille (F), adrien.pluquet@fondasol.fr

RÉSUMÉ – Les terrains de recouvrement découverts avant extraction du calcaire au droit de la fosse principale de la C.C.B. à Tournai ont été mis en œuvre en terril à proximité et à ce jour, un aménagement de voirie nécessite de longer ce terril et de venir empiéter localement sur sa partie basse. Cet article présente les résultats des études FONDASOL, qui a réalisé l'étude de stabilité de cet ouvrage dans le cadre des travaux projetés.

ABSTRACT – Superficial soils above limestone pit inside the C.C.B. in Tournai were evacuated surrounding and placed in an embankment. Nowadays, a road project needs to locally dig bottom this embankment. This paper presents results of FONDASOL studies realised for slope stability regards to projected works.

1. Introduction

La fosse d'extraction de calcaire au sein de la carrière de calcaire de la C.C.B. (Compagnie des Ciments Belges) à Tournai en Belgique a été démarrée il y a une quarantaine d'années. Elle a pour dimensions 800 sur 1000 m environ pour une profondeur pouvant atteindre 250m et est à ce jour en arrêt d'exploitation.

Au préalable des travaux d'extraction des matériaux du socle primaire, les terrains de recouvrement quaternaire et tertiaire ont été découverts et mis en œuvre en terril à proximité, d'une emprise au sol de plus de 55 hectares avec une hauteur pouvant atteindre de 70 à 90m.

Des glissements ont pu être recensés par le passé au droit de ce terril, et à ce jour, des aménagements de voirie nécessitent de longer ce terril et, sur un tronçon de l'ordre de 50m, de venir empiéter de 5m environ sur la partie basse du terril, soit une suppression de la butée de pied d'un ouvrage potentiellement instable.

Dans cet article, nous nous attacherons ainsi à détailler les différentes études FONDASOL menées pour ce projet via :

- La présentation du contexte géologique et la nature de l'ouvrage,
- La description des différentes méthodes d'investigation géotechniques retenues,
- La présentation des résultats des calculs de stabilité locale et globale,
- Les conclusions de l'étude et préconisations de travaux.

2. Contexte géologique

2.1. Carte géologique

D'après la carte géologique de HERTAIN - TOURNAI au 1/25000 et sous le terril existant, nous devrions rencontrer les Argiles Yprésiennes du Membre d'Orchies puis sur les Sables du Landénien du Membre de Grandglise d'ère Tertiaire tous deux.

Ceux-ci reposent plus en profondeur sur les Calcaires des Membres de Warchin puis de Gaurain – Ramecroix d'ère Primaire (figure 1).

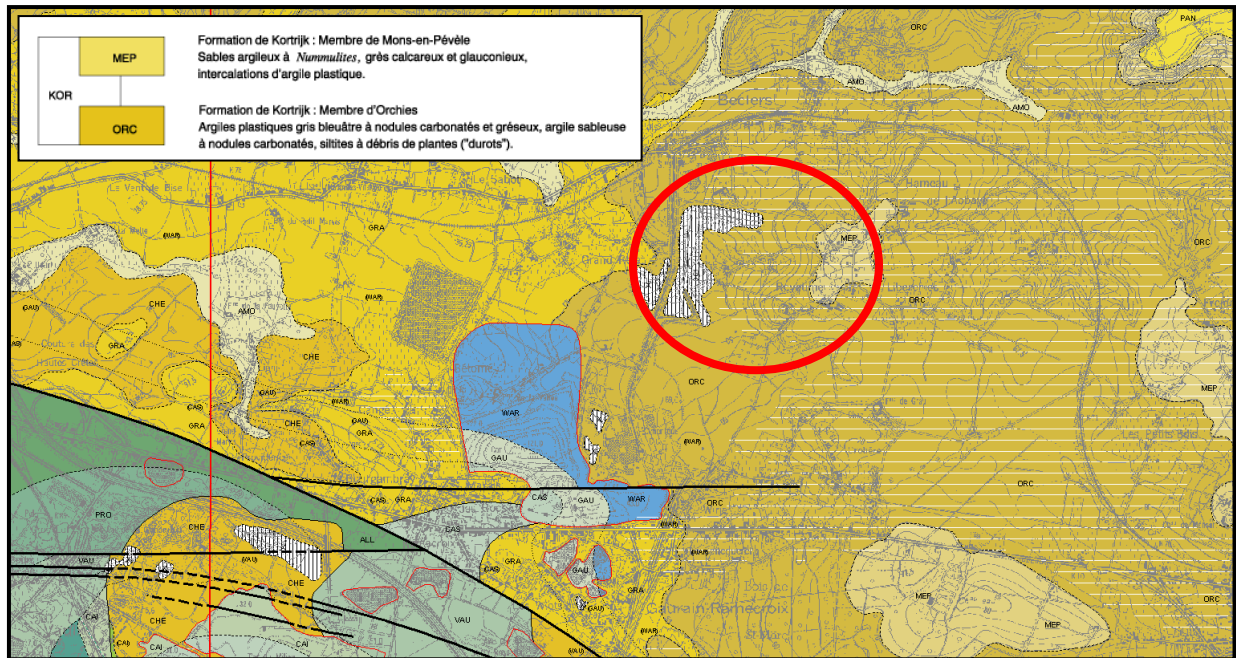


Figure 1. Extrait de la carte géologique de HERTAIN - TOURNAI

2.2. Enquête documentaire

D'après les premiers renseignements recueillis sur site, le terril existant devrait être composé des terrains de recouvrement de la carrière C.C.B. à proximité et notamment de « terres noires » ainsi que de sables argileux du Landénien.

Après consultation de la « Thématique Sous-Sol » du site geologie.wallonie.be, on note que le site se trouve en zone de contrainte faible vis-à-vis du risque karstique et qu'aucune carrière souterraine, ni autre contrainte n'est répertoriée au sein de celui-ci.



Figure 2. Plan antérieur du terril (antérieur à 40 ans)

Le géologue de la CCB a été rencontré en mars 2014 sur site. Selon ses renseignements, la forme actuelle du terril existant date d'environ 40 ans et il est majoritairement composé de sables plus ou moins argileux du Landénien

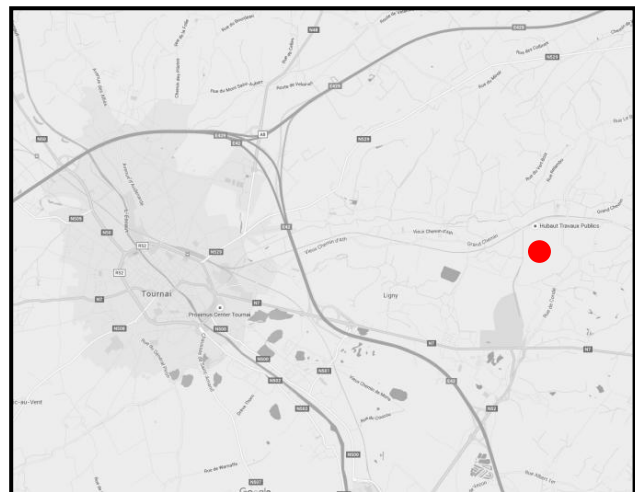
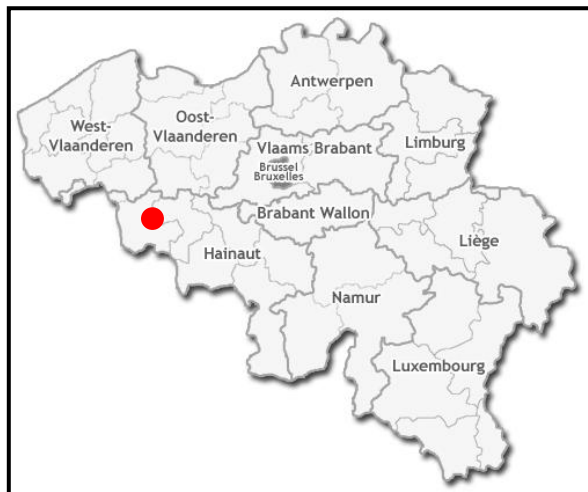
Le mode opératoire de la création du terril était tout d'abord la création d'une enceinte périphérique puis un remplissage au centre initialement prévu avec des matériaux argileux d'une autre carrière mais que compte tenu de l'importance des terrains de découverte de la carrière CCB, ce terril s'est retrouvé finalement composé uniquement des matériaux issus du recouvrement de cette carrière.

Il s'est avéré enfin que la zone actuellement à investiguer présentait déjà un terril antérieur aux aménagements cités précédemment d'un âge non connu (figure 2) et que le terril actuel a déjà présenté par le passé deux glissements mais en aucun cas dans la zone concernée par la présente étude.

3. Description du projet

3.1. Description du site

Le site concerné par le talus à étudier se situe au sein de l'emprise de la CCB de GAURAIN – RAMECROIX et plus précisément, le talus concerné est implanté au sein de la commune de HAVINNES, toutes deux communes de TOURNAI (figures 3 et 4).



Figures 3 et 4. Localisation du projet

Ce terril est étagé et présente des risbermes et talus de largeurs et pentes variables. Dans la zone étudiée, celui-ci se présente par contre de la manière suivante :

- le premier talus a une hauteur de l'ordre de 10 m environ et présente une risberme qui a du faire l'objet d'un accès spécifique aux engins de forage,
- le « 1^{er} chemin » correspond à la 2nde risberme et se situe à une hauteur moyenne de 20 à 25 m par rapport à la partie basse,
- le « 2nd chemin » correspond à la 3^{ème} risberme et se situe à une hauteur de l'ordre de 35 m par rapport à la partie basse.

Aucun élément singulier n'a été mis en évidence lors de la visite approfondie du site hormis la courbure de certains arbres en partie basse mais expliqué a priori non pas par un glissement du talus mais par l'adaptation de la végétation à la pente très importante de celui-ci par endroits.

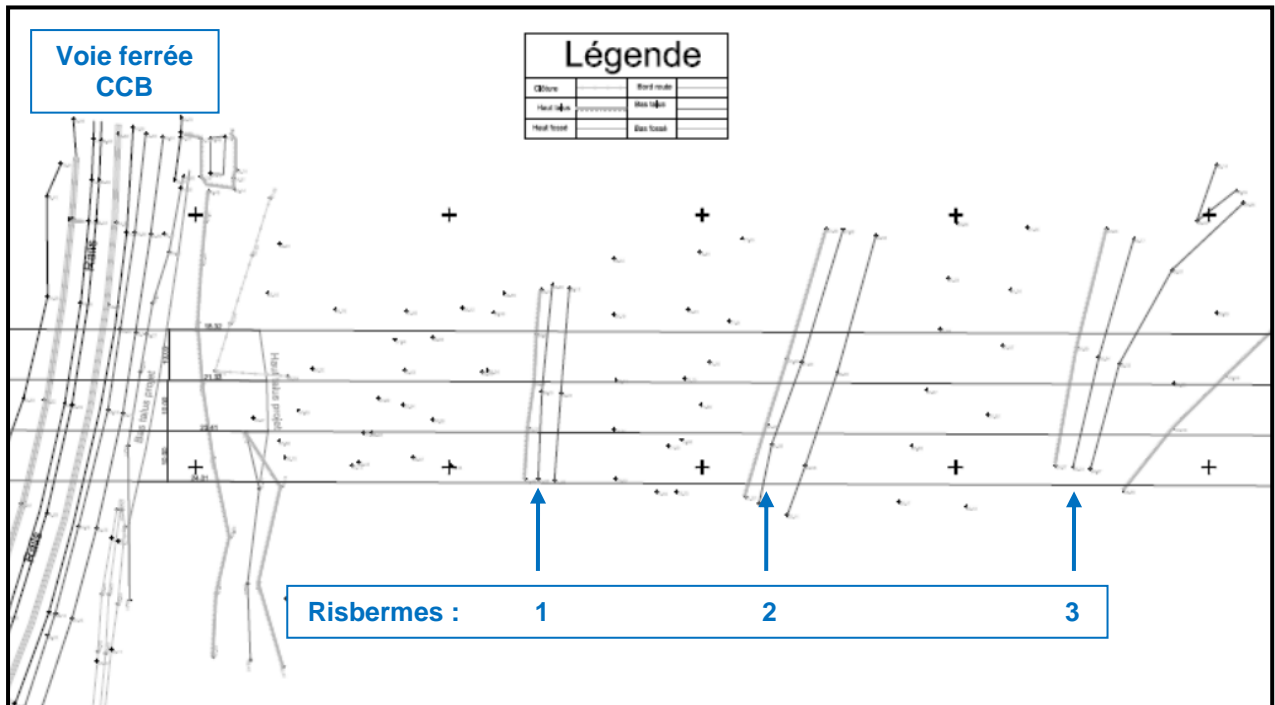


Figure 5. Levé géomètre du terril dans la zone d'étude

3.2. Travaux envisagés

Il est prévu la réalisation d'une voirie le long d'une voie existante et à proximité d'une voie ferrée appartenant à la CCB. Celle-ci longe ainsi le terril existant mais des travaux de déblais sont à prévoir localement et ce, sur un linéaire de l'ordre de 50 m environ.

Cette partie nécessitant des travaux de terrassement correspond ainsi à la base du premier talus du terril et des terrassements sur une largeur de 5 m sont nécessaires afin de conserver le gabarit de la future voirie.

Le premier talus a une hauteur de l'ordre de 10 m environ, avec une pente relativement raide voire sub-verticale vers son centre et présente ainsi une plateforme en partie haute avant le démarrage du talus suivant du terril qui lui a une pente plus douce (figure 6).

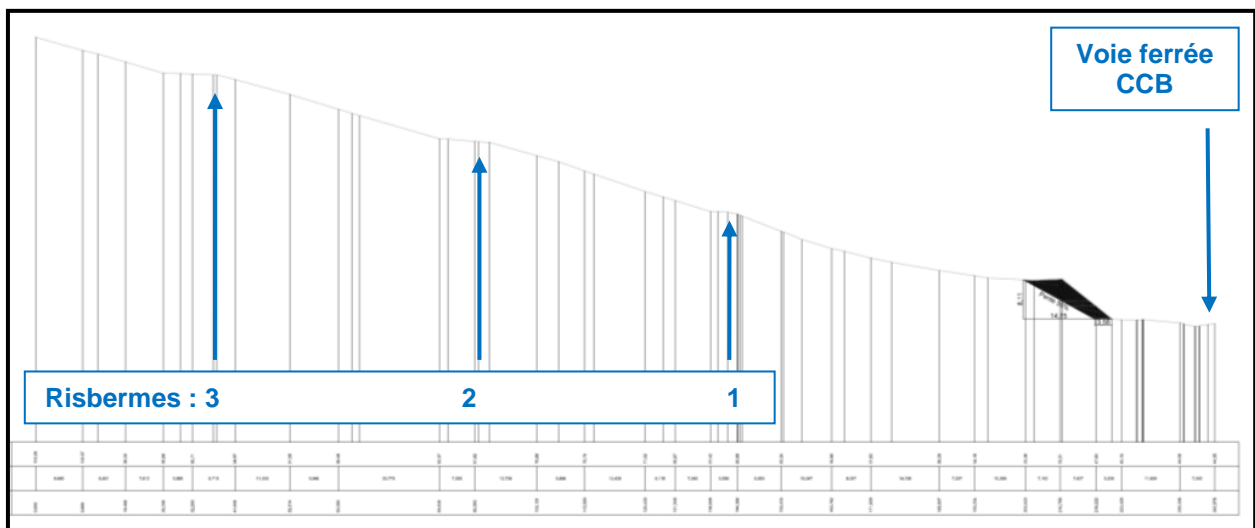


Figure 6. Coupe type du terril avec emprise terrassements

Pour ce projet, plusieurs campagnes géotechniques ont été menées, avec un quantitatif important pour le premier talus et plus modéré pour les risbermes suivantes, avec notamment les forages et essais suivants en 2 phases :

- pour le 1^{er} talus : 2 forages avec essais pressiométriques à 10 et 20 m et 2 forages carottés à 6 et 16 m avec essais en laboratoire (identifications et essais de cisaillement), essais en équipe légère dans le talus,
- pour les risbermes 2 et 3 : 4 essais de pénétration statique et 4 fouilles à la pelle mécanique tous menés au refus.

4. Calculs de stabilité

4.1. Approches de calcul

Deux profils distincts ont été retenus et correspondant ainsi à 2 coupes distantes de l'ordre de 30 m et au droit de la zone travaux envisagée.

La première étape consiste ainsi à effectuer un calcul pour chacun des profils dans la configuration initiale afin de vérifier le coefficient de sécurité local de chaque talus ainsi que global. En effet, le talus étant stable dans sa situation actuelle, on vérifie alors que la maquette géomécanique retenue pour les différents matériaux constitutifs (étant, rappelons-le, des remblais mis en œuvre préalablement) permet d'obtenir un coefficient de sécurité supérieur à 1 pour des cercles de peau ainsi qu'en pied de talus.

Après calage et vérification du facteur de sécurité global, une deuxième étape a consisté à vérifier le coefficient de sécurité obtenu lors du reprofilage du 1^{er} talus afin d'avoir un coefficient de sécurité global supérieur à 1,5 (avec des coefficients partiels laissés unitaires pour l'ensemble des caractéristiques géomécaniques).

Un profil de calcul a ensuite été établi pour chaque zone afin de vérifier la stabilité au glissement circulaire du 2^{ème} et 3^{ème} talus, de confirmer le coefficient de sécurité au glissement circulaire du 1^{er} talus ainsi que la stabilité au grand glissement intégrant plusieurs talus successifs.

L'ensemble des calculs ont ainsi été réalisés à l'aide du logiciel TALREN, Version 5 ici, édité et distribué par la société TERRASOL.

4.2. Maquette géotechnique

Les tableaux repris ci-après (tableaux 1 et 2) reprennent les maquettes géotechniques retenues respectivement pour l'analyse fine du 1^{er} talus lors de l'étude initiale puis l'approche globale intégrant les 2 talus suivants lors de la seconde étude ; avec une cote voirie basse calée à environ 45 à 45,50 m DNG.

Les caractéristiques intrinsèques sont quant à elles issues des investigations géotechniques menées et recalées via les calculs de l'état initial réputé stable.

Tableau 1. Maquette géotechnique – 1^{er} talus

Nature du sol	Cote basse (m)	γ (kN/m ³)	C' (kPa)	ϕ (°)	PI* (MPa)
Remblais d'argiles sableuses	56,00	16	3	23	--
Remblais sablo-graveleux	52,00	18	1	32	--
Remblais d'argiles sableuses	51,00	16	3	23	0,26
Remblais de sables argileux	45,50	17	5	28	0,49
Remblais sablo-graveleux	43,00	18	1	32	0,77
Sables argileux	40,00	18	5	30	0,45
Argiles sableuses	37,00	18	8	28	0,49
Substratum argileux	33,00	19	25	20	0,98

Tableau 2. Maquette géotechnique – talus supérieurs

Nature du sol	Cote basse (m)	γ (kN/m ³)	C' (kPa)	ϕ (°)	qc (MPa)
Remblais sablo-graveleux	79,00	18	1	32	≈ 6,0
Remblais de sables argileux	72,00	17	5	28	≈ 2,5
Remblais d'argiles sableuses	56,00	16	3	23	≈ 1,0
Remblais sablo-graveleux	52,00	18	1	32	≈ 4,0

Les valeurs retenues pour les couches supérieures sont plus pessimistes car basées sur une reconnaissance des horizons moins aboutie qu'en partie basse.

4.3. calculs initiaux et reprofilage

Nous avons donc réalisé une première série de calculs pour les 2 coupes type et avons obtenu un coefficient de sécurité global $F = 1,2$ et $1,3$; ces valeurs étant cohérentes compte tenu d'un talus a priori stable dans sa configuration actuelle.

Par contre, dans le cas de l'élargissement de la voie en partie basse (sans modification de la crête de talus), nous obtenons alors des coefficients de sécurité non acceptables à savoir $F = 0,9$ et $1,1$ (figure 7)

Dans l'état, les travaux de voirie en partie basse du talus ne pouvaient donc pas être réalisés sans adaptation de la géométrie des talus existants (modification de pente, enrochement, clouage, ...).

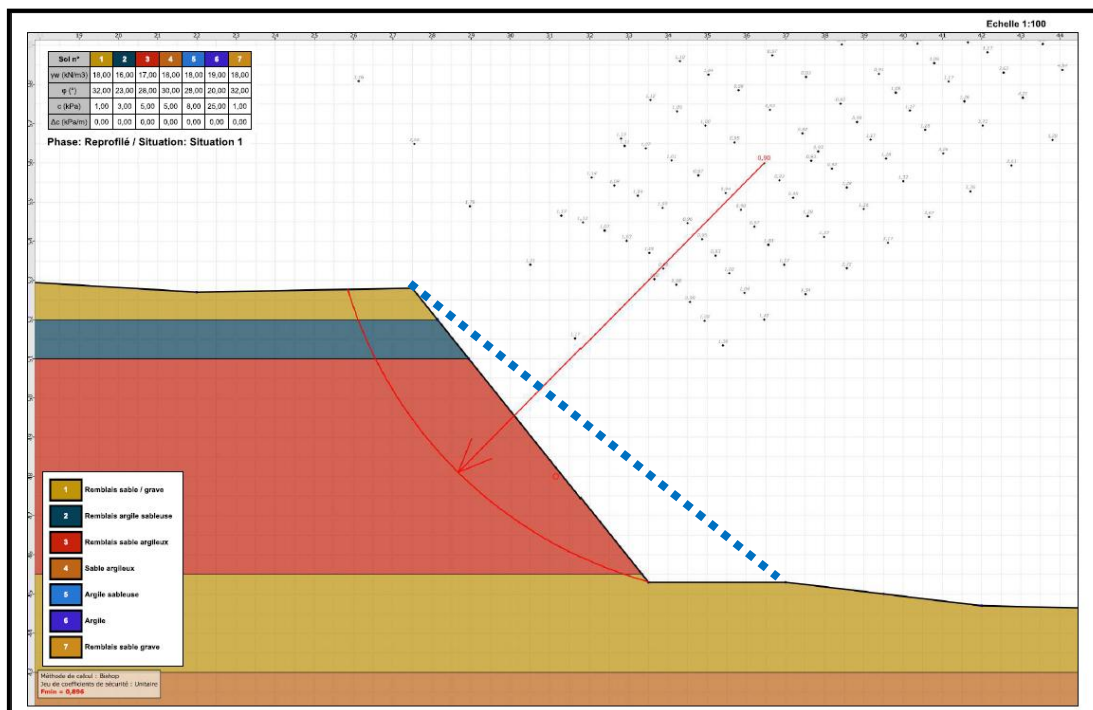


Figure 7. Terrassement en partie basse

Nous avons ensuite réalisé une série de calculs complémentaire afin de définir la pente minimale de talus pour chacun des profils et permettant d'obtenir un coefficient de sécurité $F > 1,5$. Ce qui nous a permis de déterminer qu'il nous faut respecter a minima une pente de 28° et 27° pour chaque coupe et permettant ainsi d'obtenir ce coefficient $F = 1,5$.

Les travaux d'élargissement de voirie en partie basse nécessitent ainsi un reprofilage du talus avec une pente globale de l'ordre de 50 à 55 % au maximum (figure 8).

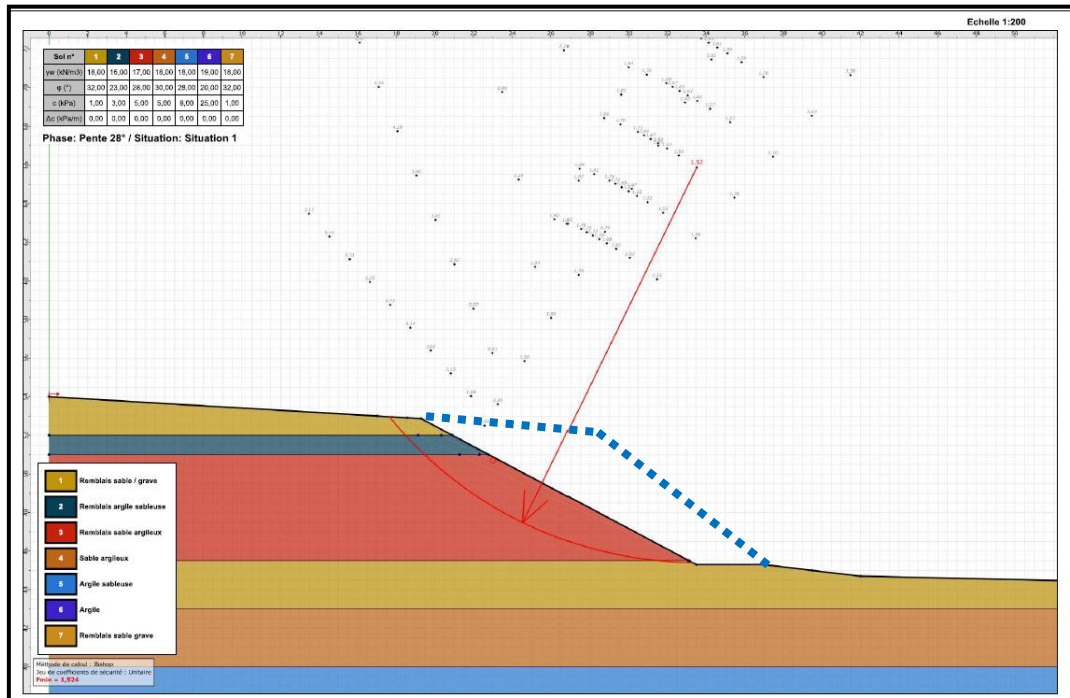


Figure 8. Optimisation de la pente du talus

4.4. Calculs globaux

Nous avons enfin réalisé une série de calculs pour les mêmes coupes en intégrant les talus 2 et 3 suivants et en tenant compte bien évidemment du reprofilage avec une pente maximale de 55 % conformément aux conclusions précédentes.

Nous obtenons ainsi les coefficients de sécurité locaux et globaux suivants pour les 2 coupes étudiées repris dans les tableaux 3 et 4 ci-après.

Tableau 3. Coefficients de sécurité – 1^e coupe

Phase de calcul	1er talus	2ème talus	3ème talus	Ensemble
Etat initial	1,6	1,6	2,4	2,1
Reprofilage 28°	1,5	1,6	2,4	2,0

Tableau 4. Coefficients de sécurité – 2^e coupe

Phase de calcul	1er talus	2ème talus	3ème talus	Ensemble
Etat initial	1,3	1,9	2,6	2,3
Reprofilage 27°	1,4	1,9	2,6	2,2

Concernant la première coupe nous constatons que le reprofilage du 1^{er} talus permet bien d'obtenir un coefficient de sécurité $F > 1,5$ et que ces travaux de reprofilage n'ont aucune incidence sur les coefficients de sécurité du 2nd et 3^{ème} talus. Le coefficient de sécurité global au grand glissement est quant à lui sensiblement diminué tout en restant stable compte tenu d'une valeur de $F = 2,0$.

Concernant la seconde coupe, le coefficient de sécurité obtenu suite au reprofilage est quant à lui de 1,4 et donc inférieur à 1,5 malgré un reprofilage à 27°. Les coefficients de sécurité des 2nd et 3^{ème} talus sont quant à eux non impactés par le reprofilage, le coefficient de sécurité au grand glissement est quant à lui légèrement diminué mais est de $F = 2,2$, soit un talus également stable. Afin de garantir la stabilité globale, la pente doit encore être diminuée sensiblement et cette fois à 26°.

5. Conclusions et perspectives

Cette étude a permis de vérifier la stabilité du talus dans l'état actuel ainsi que d'effectuer les vérifications préalables (début 2014) aux terrassements projetés pour la voirie.

Les terrassements pleine masse à effectuer et les volumes à évacuer n'étant pas une contrainte ici, le choix final est donc resté sur un reprofilage du premier talus avec une pente de 50% au maximum, soit 2 de base pour 1 de hauteur.

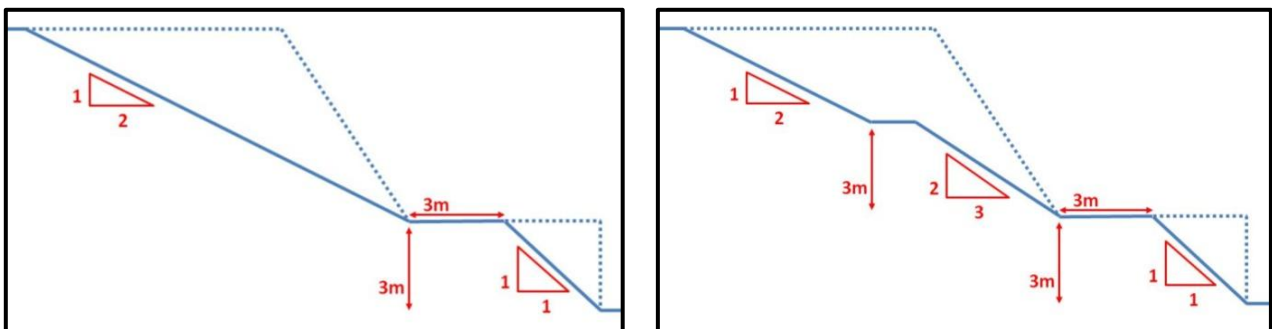
Une visite sur site effectuée début 2016 lors du démarrage des travaux de reprofilage a permis de vérifier en vraie grandeur la nature des sols visuellement et par prélèvement ponctuels et ainsi conforter le modèle géotechnique retenu (figure 9).



Figure 9. Vue des pré-terrassements, février 2016

A la demande du client, des calculs complémentaires incluant cette fois la création de banquettes intermédiaires ont permis d'orienter vers les profils suivants, plus techniques, mais permettant de minimiser un peu les volumes à déplacer (figures 10 et 11).

On se retrouve ainsi avec une banquette basse (1^{er} tiers) de pente 1H/1V, une seconde banquette éventuelle (2^e tiers) de 3H/2V et dans tous les cas le restant du talus qui reprend la pente initiale de 2H/1V, avec une crête inchangée.



Figures 10 et 11. Optimisation finale du talus en terrassements

Les talus sont bien évidemment à protéger, à drainer en tête de chacun et à revégétaliser dans les plus brefs délais, le terriL étant également une réserve boisée.

6. Remerciements

Les auteurs veulent adresser ici leurs plus vifs remerciements à M. Bruno Petillion, Gérant de la société RECYTOUR à Havinnes ainsi que M. Jacky Wuelche, coordonnateur sécurité de la C.C.B. à GAURAIN-RAMECROIX.