

DOSSIER D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

Carrière de gypse de Vaujours - Guisy
sur les communes de Vaujours et de Coubron en Seine-Saint-Denis (93)



ANNEXES DU TOME 2 - ÉTUDE D'IMPACT
PARTIE 1.1

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES DE L'ÉTUDE D'IMPACT

ANNEXES PARTIE 1.1

ANNEXE 1 - Etudes de Stabilité LREP de 1984	6
ANNEXE 2 - Carrière de gypse de Montzaigle - Stabilité LREP - Phases 1 et 2	56
ANNEXE 3 - Recommandations pour la transformation des vieux cavages Nord et Ouest (BG)	86
ANNEXE 4 - Avis sur la stabilité d'un versant de la fosse d'Aiguisy (BRGM)	92
ANNEXE 5 - Stabilité du talus Sud-Ouest en aval de la RD129 (BG)	128
ANNEXE 6 - Etude de sécurisation des travaux de déremblaiement (BG)	138

ANNEXES PARTIE 1.2

ANNEXE 7 - Analyse des reconnaissances géotechniques et des mesures piézométriques (BG)
ANNEXE 8 - Analyse des conditions de stabilités du talus (BG)
ANNEXE 9 - Stabilité du profil type des talus de la fosse (BG)

ANNEXE PARTIE 2.1

ANNEXE 10 - Réhabilitation de l'ancien fort de Vaujours - Plan de gestion (Antea Group)

ANNEXE PARTIE 2.2

ANNEXE 11 - Réhabilitation de l'ancien fort de Vaujours - Plan de gestion - ANNEXES (Antea Group)

ANNEXES PARTIE 3.1

ANNEXE 12 - Réalisation d'une évaluation des expositions radiologiques - Terme source (GINGER DELEO)
ANNEXE 13 - Réalisation d'une évaluation des expositions radiologiques - Schéma conceptuel (GINGER DELEO)
ANNEXE 14 - Réalisation d'une évaluation des expositions radiologiques - Évaluation dosimétrique (GINGER DELEO)

ANNEXE PARTIES 3.2 et 3.3

ANNEXE 15 - Évaluation des risques sanitaires (GINGER BURGEAP)
--

ANNEXES PARTIE 4

ANNEXE 16 - Bilan des garants de la concertation
ANNEXE 17 - Étude acoustique prévisionnelle (Venathec)
ANNEXE 18 - Diagnostic sylvicole

ANNEXES PARTIE 5

ANNEXE 19 - Quantification des émissions de gaz à effet de serre (CITEPA)
ANNEXE 20 - étude d'impact sur le trafic (CDVIA)
ANNEXE 21 - Analyse des impacts vibratoires (EGIDE)

ANNEXE PARTIE 6

ANNEXE 22 - Étude d'impact hydrogéologique et hydraulique (ANTÉA)

ANNEXES PARTIE 7

ANNEXE 23 - étude hydrogéologique du remblaiement de la fosse d'Aiguisy (GINGER BURGEAP)
ANNEXE 24 - Synthèse hydrologique et hydrogéologique
ANNEXE 25 - Synthèse des campagnes de suivi des eaux souterraines et superficielles (ANTEA GROUP)

ANNEXES - PARTIE 1

- **Annexe 1** : Etudes de Stabilité LREP de 1984
- **Annexe 2** : Carrière de gypse de Montzaigle - Stabilité LREP - Phases 1 et 2
- **Annexe 3** : Recommandation pour la transformation des vieux cavages Nord (BG)
- **Annexe 4** : Avis sur la stabilité d'un versant de la fosse d'Aiguisy (BRGM)
- **Annexe 5** : Stabilité du talus Sud-Ouest en aval de la RD129 (BG)
- **Annexe 6** : Etude de sécurisation des travaux de remblaiement (BG)

ANNEXE 1 - ETUDES DE STABILITÉ LREP DE 1984



J.L. PELLETIER I.D.T.P.E.
Directeur du Laboratoire

LABORATOIRE REGIONAL DE L'EST PARISIEN

Monsieur le Directeur
du Centre d'Etudes de Vaujours
Boite postale 7
77181 - COURTRY

Le Bourget, le 9 JUILLET 1984

REF: 7451 GEF

OBJET:

CARRIERE POLIET ET CHAUSSON

A VAUJOURS

ETUDE PRELIMINAIRE D'IMPACT SUR LES INSTALLATIONS

DU CENTRE D'ETUDES DE VAUJOURS

P.J.:

Destinataires:

M. le Directeur

M. LANVIN

Clt D

GEF (2)

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1ERE PARTIE

- I - RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DU PROJET D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT DE LA CARRIERE DE GYPSE 1ERE MASSE
 - 1- SITUATION GEOGRAPHIQUE
 - 2- SITUATION TOPOGRAPHIQUE
 - 3- SITUATION GEOLOGIQUE
 - 4- SITUATION HYDROGEOLOGIQUE
 - 5- SITUATION HYDROGRAPHIQUE
 - 6- CARACTERISTIQUES DES ZONES 2 - 3 et 5

2EME PARTIE

- II - ETUDE DE STABILITE DU TALUS
 - 1- GEOMETRIE DU TALUS
 - 2- CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES
 - 3- EXAMEN DES CONDITIONS DE STABILITE A COURT TERME
 - 4- EXAMEN DES CONDITIONS DE STABILITE A LONG TERME
 - 5- CONCLUSION SUR L'ETUDE PRELIMINAIRE DE LA STABILITE DU TALUS

3EME PARTIE

- III - ETUDE DES VIBRATIONS CONSECUTIVES AUX TIRS DE MINES
 - 1- RAPPEL DES GENERALITES SUR LES VIBRATIONS
 - 2- DONNEES EXISTANTES
 - 3- CARACTERISTIQUES DU TIR D'ESSAI DU 13 JUIN 1984
 - 4 - CONCLUSIONS SUR LES MESURES DE VIBRATION

INTRODUCTION

A la demande du C.E.A., Centre d'Etudes de Vaujours, le Laboratoire Régional de l'Equipement de l'Est Parisien a procédé à une étude préliminaire d'impact sur ses installations du projet de reprise à ciel ouvert de la carrière souterraine de gypse 1ère masse Poliet et Chausson à Vaujours.

Après un rappel de la géologie du site, 2 volets ont été essentiellement abordés :

- 1°) - La stabilité des talus de découverte
- 2°) - Les vibrations dues aux tirs de foudroyage.

.../...

1ERE PARTIE

I - RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DU PROJET D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT DE
LA CARRIERE DE GYPSE 1ERE MASSE

1/ - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le projet de reprise à ciel ouvert de la carrière souterraine de Gypse 1ère masse se situe sur le territoire des Communes de Vaujours et Coubron au lieu-dit "Le bois d'Eguisy".

Plus précisément, l'étude concerne les zones n° 2, 3 et 5 situées directement en bordure Ouest de l'emprise du Centre d'Etudes de Vaujours. (cf implantation ci-jointe au 1/5000).

2/ - SITUATION TOPOGRAPHIQUE

L'exploitation est implantée à l'extrémité N-NW du massif de l'Aulnay, butte témoin tertiaire dont l'altitude stationne entre + 120 et + 125 NGF.

Le Centre d'Etude de Vaujours se situe pour sa plus grande partie à la même altitude, exception faite pour son extrémité N-NW où les cotes du sol s'abaissent progressivement de + 125 à + 105 NGF selon un pendage apparent orienté SE-NW de l'ordre de 9 %.

3/ - SITUATION GEOLOGIQUE

Au niveau du Bois d'Eguisy, la succession stratigraphique des différents horizons géologiques intéressés par le projet est fournie par la coupe d'un sondage ancien réalisé à proximité immédiate du Centre d'Etudes de Vaujours : on a ainsi :

. Sol : + 125 NGF

- 1° - Terre végétale + limon
- 2° - Travertin de Brie
- 3° - Glaises vertes + 122,70 NGF
- 4° - Marnes à Cyrènes 8 90
- 5° - Marnes de Pantin + 113, 90 NGF
- 6° - Marnes d'Argenteuil
- 7° - Gypse 1ère masse 99 NGF

.../...



1:25 000
4 cm représentent 1 km

3-1 - Terre végétale + Limon

Il s'agit d'un sol de type brun d'épaisseur réduite : 0,30 m à 1 m maximum.

1,92

3-2 - Le Travertin de Brie (TB)

Cette formation marno-calcaire avec présence de meulière ne se présente plus que sous une puissance résiduelle de l'ordre de 2 m suite aux phénomènes d'érosion quaternaire. De plus, localement des poches argileuses peuvent l'entamer plus ou moins profondément.

3-3 - Les Glaises vertes (GV)

Elles correspondent à un horizon argileux homogène de couleur verte dont l'épaisseur atteint 6 à 7 mètres.

C. 32

3-4 - Les Marnes à Cyrènes (MC)

De nature sensiblement identique aux Glaises sus-jacentes, elles se distinguent par leur couleur bariolée vert, kaki et jaune et leur structure litée liée à la présence de lits silteux millimétriques. Leur épaisseur moyenne est de 1,50 - 2,00 mètres.

8,97

3-5 - Les Marnes de Pantin (MSG2)

D'une puissance totale de l'ordre de 5 à 6 mètres, elles sont représentées dans leur partie supérieure par des marnes calcaires blanchâtres et dans leur partie inférieure par des marnes argileuses blanc-verdâtres.

3-6 - Les Marnes d'Argenteuil (MSG1)

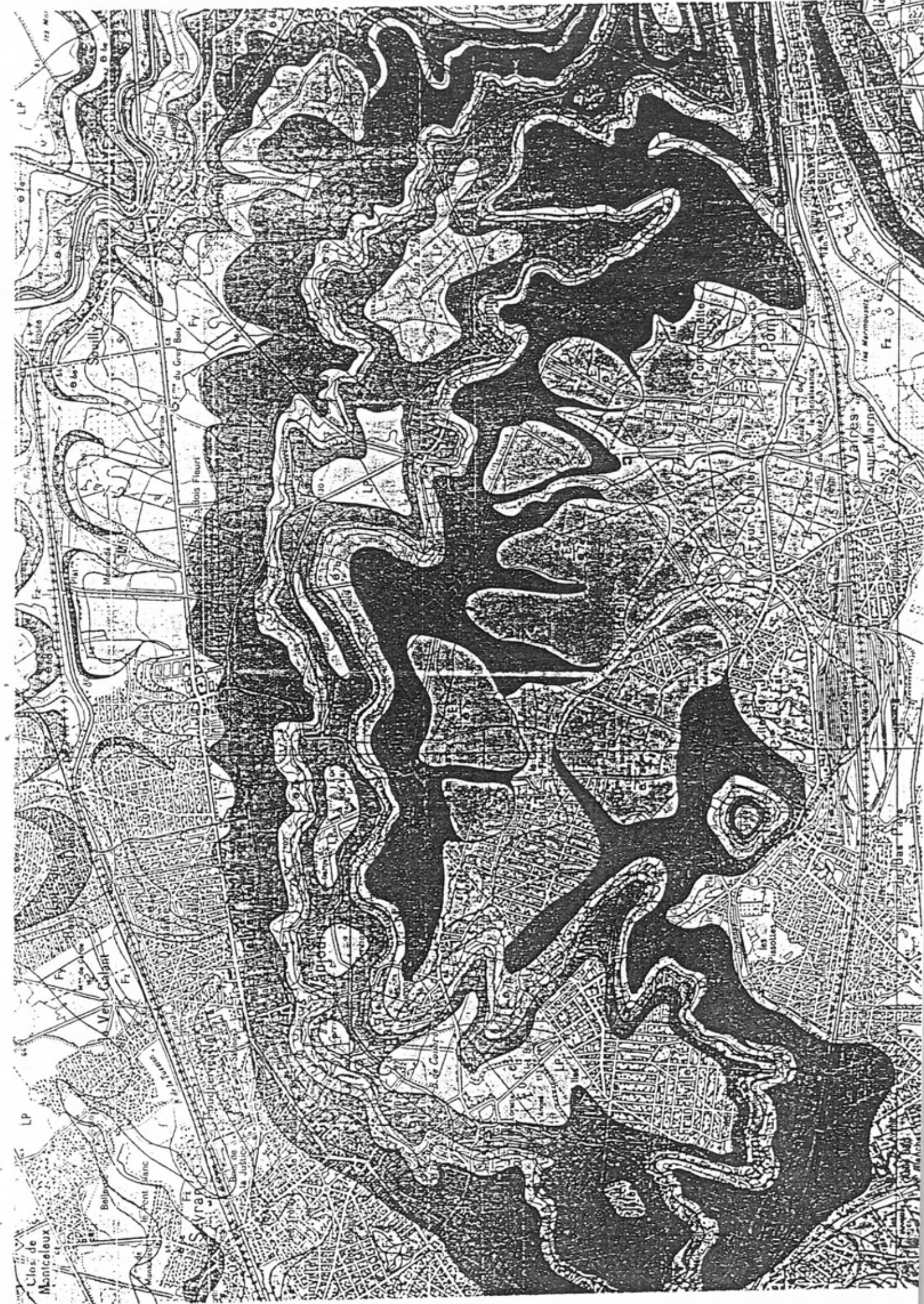
C'est un ensemble marneux puissant de 9 à 10 mètres constitué pour sa partie supérieure par des marnes gris-bleutées et pour sa partie inférieure par des marnes beiges entrecoupées d'un ou de deux bancs gypseux décimétriques (bancs de chien).

10,17

3-7 - Le gypse 1ère masse (G1)

La puissance de cet horizon atteint ici près de 20 mètres. C'est un gypse saccharoïde de couleur blanc-jaunâtre. Au bois d'Eguisy, le gypse 1ère masse a fait l'objet d'une exploitation souterraine précisément sur les zones 2 - 3 et 5 de la carrière situées en bordure Ouest du Centre d'Etude de Vaujours.

.../...



3-8 - Structure des couches géologiques

Les observations réalisées sur place, notamment au niveau de la découverte de la zone N° 2 montrent que les différents horizons géologiques s'étageant depuis le travertin de Brie jusqu'au Gypse, 1ère masse sont subhorizontaux.

4/- SITUATION HYDROGEOLOGIQUE

Sur le plateau, le seul aquifère intéressant le projet est le Travertin de Brie dont les Glaises Vertes en constitue le mur.

Au bois d'Eguisy, où ce dernier se présente sous une épaisseur résiduelle réduite, cette nappe est très peu puissante et circule selon un régime karstique à la faveur de zones de calcaires fracturés.

Les observations faites sur place, au niveau des talus de découverte de la zone N° 2 confirment l'existence d'une nappe peu puissante circulant de façon erratique à la base du Travertin.

5/ - SITUATION HYDROGRAPHIQUE

En surface, sur le secteur, on ne relève que l'existence de 2 mares dont l'origine peut être liée soit à la nappe subsuperficielle du Travertin soit à l'accumulation d'eau météorique dans ces 2 zones dépressionnaires dont le fond serait constitué par des limons argileux imperméables.

6/ - CARACTERISTIQUES DES ZONES 2 - 3 et 5

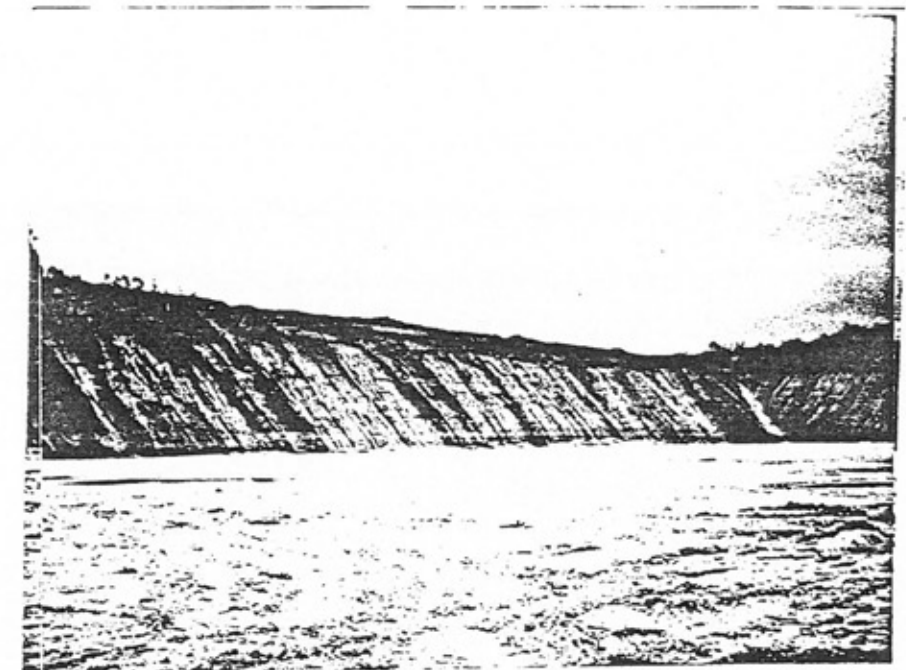
Ces zones correspondent à la reprise à ciel ouvert de l'ancienne carrière souterraine de gypse 1ère masse.

Actuellement, seule la zone 2, la plus éloignée du Centre d'Etudes de Vaujours est en cours d'exploitation.

La découverte d'une hauteur de l'ordre de 30 mètres s'étageant du Travertin de Brie au toit du gypse a été réalisée au scraper jusqu'à environ 3 mètres au-dessus du toit de la carrière puis poursuivie à la pelle rétro.

Les talus de découverte ont été réglés à 1/1.

.../...

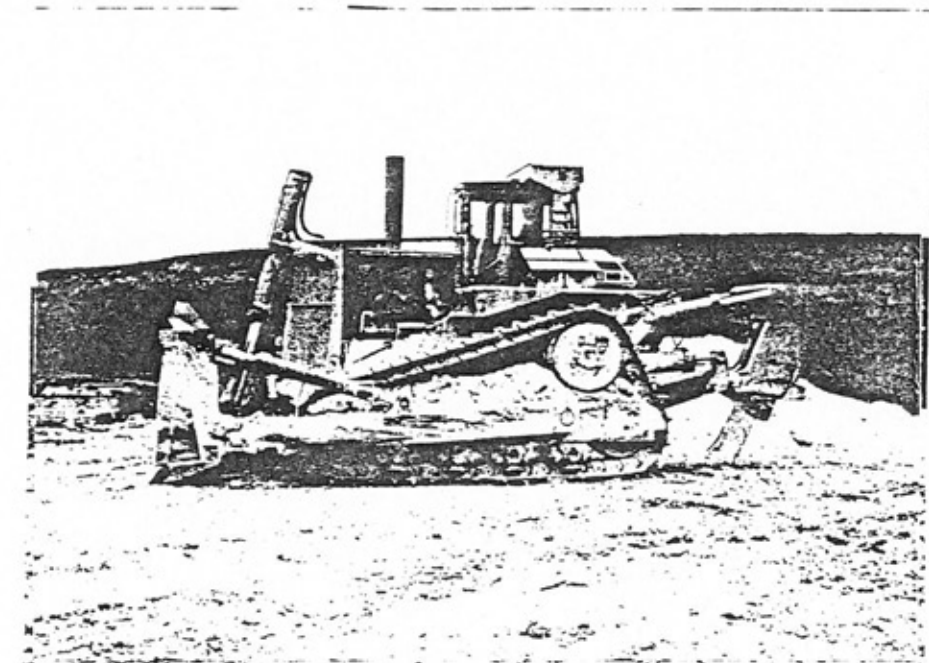


Talus

toit du gypse

Talus de découverte à 1/1 de la zone N° 2

Les piliers de la carrière sont ensuite réexploités en partie à l'explosif et en partie au ripper D 10.



Ripper D 10

En fait, on foudroie uniquement la tête des piliers après mise en place de charges explosives de type nitrato-fuel dans des forages dont la profondeur varie entre 3 m pour la ceinture périphérique et 6 m pour le cœur du pilier, la maille entre forages étant de l'ordre de 1,5 m.

Après le tir, les galeries d'exploitation étant ainsi partiellement remblayées, le pilier est repris au ripper D 10.



Foreuse

pilier

résultats
d'un tir

Zone 2 : reprise à ciel ouvert de la carrière de gypse.

Les charges totales d'explosif par pilier varient en fonction des dimensions de celui-ci. A titre d'exemple, on a atteint 450 kg de charge totale au pilier 41 pour une charge unitaire (charge maximale par micro-retard) de 56 kg et 300 kg au pilier N° 34 pour une charge unitaire également de 56 kg.

.../...

En ce qui concerne les zones 3 et 5, le projet de réexploitation du gypse selon la même méthode que précédemment définie est en attente d'autorisation.

En effet, pour ces 2 zones l'exploitant propose une marge de recul de 10 m en crête de talus avec maintien du boisement par rapport aux emprises publiques du CD129, ainsi que par rapport au périmètre d'emprise du Centre d'Etudes de Vaujours.

Deux problèmes se posent alors, à savoir :

- 1°) - d'une part la stabilité des talus de découverte d'une hauteur de l'ordre de 30 mètres, taillés à 1/1 (45°) et dont la crête se situerait à 10 mètres des clôtures du CEA.
- 2°) - et d'autre part, l'ampleur des vibrations provoquées par les tirs de mine, lesquels en phase ultime d'exploitation seraient exécutés à 60-75 mètres des bâtiments du Centre d'Etudes de Vaujours.

Ce sont donc ces 2 points qui sont abordés dans la seconde et troisième partie de ce rapport.

.../...

2EME PARTIE

II - ETUDE DE STABILITE DU TALUS

1/ - GEOMETRIE DU TALUS

Au stade actuel de l'étude, nous nous sommes intéressés essentiellement au profil indiqué par la Société SAMC dans son projet d'exploitation :

- Pente à 1/1 (45°) quelles que soient les couches.

La hauteur prise en compte correspond à un déblai de 30 m, les épaisseurs respectives des différentes formations terrassées étant définies dans le chapitre 3 géologique de la 1ère partie.

2/ - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Il convient de bien repréciser que nous ne disposons pas de sondages avec essais géotechniques proches ou spécifiques à la zone concernée par la présente étude.

Les caractéristiques fournies proviennent d'une recherche bibliographique régionale (essais effectués par le Laboratoire dans le cadre d'étude particulière, valeurs données dans le chapitre géologie de la région parisienne de l'ouvrage de Monsieur FILLIAT "La pratique des sols de fondation").

Nous avons cherché à sélectionner les échantillons sur lesquels ont été effectués des essais de cisaillement à long terme du type consolidé drainé.

Ce type d'essai, dans le cadre des projets étudiés par le Laboratoire est plutôt réalisé sur des formations à faible profondeur dans lesquelles sont en général situés les déblais autoroutiers, ce qui confère une meilleure connaissance des formations les plus superficielles.

Les caractéristiques bibliographiques par formation sont regroupées dans des tableaux reportés en annexe.

.../..

Les caractéristiques prises en compte dans les calculs et les critères de choix sont indiqués dans les paragraphes spécifiques aux différents types de calculs effectués.

3/ - EXAMEN DES CONDITIONS DE STABILITE A COURT TERME

Une simple estimation a été effectuée à partir des abaques de Fellenius, (stabilité à court terme dans un sol purement cohérent).

Le principe étant de déterminer la valeur de la cohésion moyenne de l'ensemble des couches pour que la stabilité soit assurée avec un coefficient de sécurité $F = 1,5$ généralement admis dans les problèmes de stabilité de talus. Il a été pris en compte :

Poids spécifique apparent : $\gamma_h = 20 \text{ kN/m}^3$

hauteur de déblai : $H = 30 \text{ m}$

Ce calcul aboutit à une cohésion : $C_u = 145 \text{ kPa}$

L'ensemble des couches présente une cohésion moyenne égale ou supérieure à cette valeur.

Ce résultat est d'ailleurs confirmé par les constatations ayant pu être faites sur le terrain; en effet, les premières dégradations ne se sont manifestées que quelques mois après l'ouverture des fouilles en partie supérieure (TB-GV).

4/ - EXAMEN DES CONDITIONS DE STABILITE A LONG TERME

Les problèmes de stabilité à long terme se posent de façon différente selon les niveaux, nous examinerons séparément, les risques au niveau des couches supérieures Travertin de Brie résiduel et Glaïses vertes et les problèmes de stabilité de l'ensemble des couches au grand glissement.

a) - Les couches supérieures, Travertin de Brie - Glaïses vertes

* Les désordres observés au niveau de ces horizons sur le site lors des dernières visites réalisées en Juin 1984, montrent qu'une pente de 1/1 dans ces formations est instable.

.../...

Les phénomènes d'instabilité observés (écoulement des glaises entraînant des surplombs puis des effondrements localisés du Travertin de Brie sus-jacent) peuvent être en partie dus aux caractéristiques mécaniques à long terme des glaises vertes qui sont insuffisantes, mais les éléments moteurs sont essentiellement :

- la succession de périodes sèche et pluvieuse qui favorise respectivement les fissures de retrait et la pénétration de l'eau dans le parement.
- l'écoulement localisé de la "nappe du Travertin de Brie", certes peu puissante et à régime karstique, mais suffisante pour se vidanger localement sur les glaises vertes du talus de découverte et entraîner la dégradation de ces dernières et par voie de conséquences créer des affaissements au niveau du travertin de Brie.

A priori, ces problèmes doivent pouvoir être résolus par l'une ou plusieurs des mesures confortatives suivantes :

- réduction de la pente de talus dans ces niveaux.
- protection du parement contre le ruissellement et les eaux météoriques
- drainage des écoulements aquifères du Travertin de Brie.

Cet aspect pouvant faire l'objet d'une étude spécifique à un stade ultérieur, le cas échéant.

b) - Stabilité au grand glissement

b-1 - Méthode de calcul

Les conditions de stabilité ont été étudiées en rupture circulaire par la méthode de Bishop.

Les calculs ont été menés à l'aide du programme RRT-BISHOP mis au point au Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

Ce programme permet de calculer le coefficient de sécurité à la rupture de talus hétérogène.

b-2 - Hypothèses géotechniques

- Caractéristiques mécaniques
- Angle de frottement à long terme ϕ'

Les essais bibliographiques dont on dispose permettent de connaître avec une relativement bonne fiabilité l'angle de frottement à long terme ϕ' des formations concernées, les valeurs suivantes ont ainsi été retenues

- Travertin de Brie : $\phi' = 30^\circ$

Cette valeur tient compte de la position de cette formation à l'affleurement (altération et présence de poche plus ou moins limoneuse).

- Glaises vertes : $\phi' = 18^\circ$
- Marnes de Pantin : $\phi' = 30^\circ$
- Marnes d'Argenteuil : $\phi' = 26^\circ$

- Cohésion à long terme C'

Les valeurs de cohésion à long terme contrairement à l'angle de frottement sont dispersées et sensibles aux conditions locales (situation sur versant, circulation aquifère etc...).

Le calcul complet de la stabilité est effectué en attribuant à l'ensemble des couches une cohésion $C' = 25$ kPa.

Cette valeur se situe parmi les valeurs élevées mesurées dans ces formations, ce choix a été retenu pour tenir compte de la position sous le plateau des différentes formations intéressées par le déblai.

L'évolution du coefficient de sécurité en fonction de la valeur de la cohésion à long terme est effectuée pour le cercle présentant la sécurité minimum et ressortant du calcul à $C' = 25$ kPa.

- Poids spécifiques de sol

A défaut d'essais spécifiques, les calculs ont été conduits avec la valeur habituellement prise en compte dans des calculs de ce type :

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ pour l'ensemble des formations.}$$

.../...

- Caractéristiques hydrogéologiques

Les calculs sont effectués en l'absence de nappe, les zones humides observées en surface ne devant présenter qu'une influence minime sur la stabilité d'ensemble.

b-3 - Résultats des calculs

1er calcul $C' = 25 \text{ kPa}$ dans l'ensemble des couches.

Les résultats de ce calcul sont représentés sur la figure de la page suivante qui rappelle ou indique :

- . La géométrie du talus étudié
- . Les épaisseurs et caractéristiques mécaniques des couches.
- . La localisation des centres des cercles prospectés
- . La valeur pour chacun de ces centres du coefficient de sécurité minimum et du rayon du cercle correspondant.

On constate que les cercles défavorables correspondent à des cercles de pied.

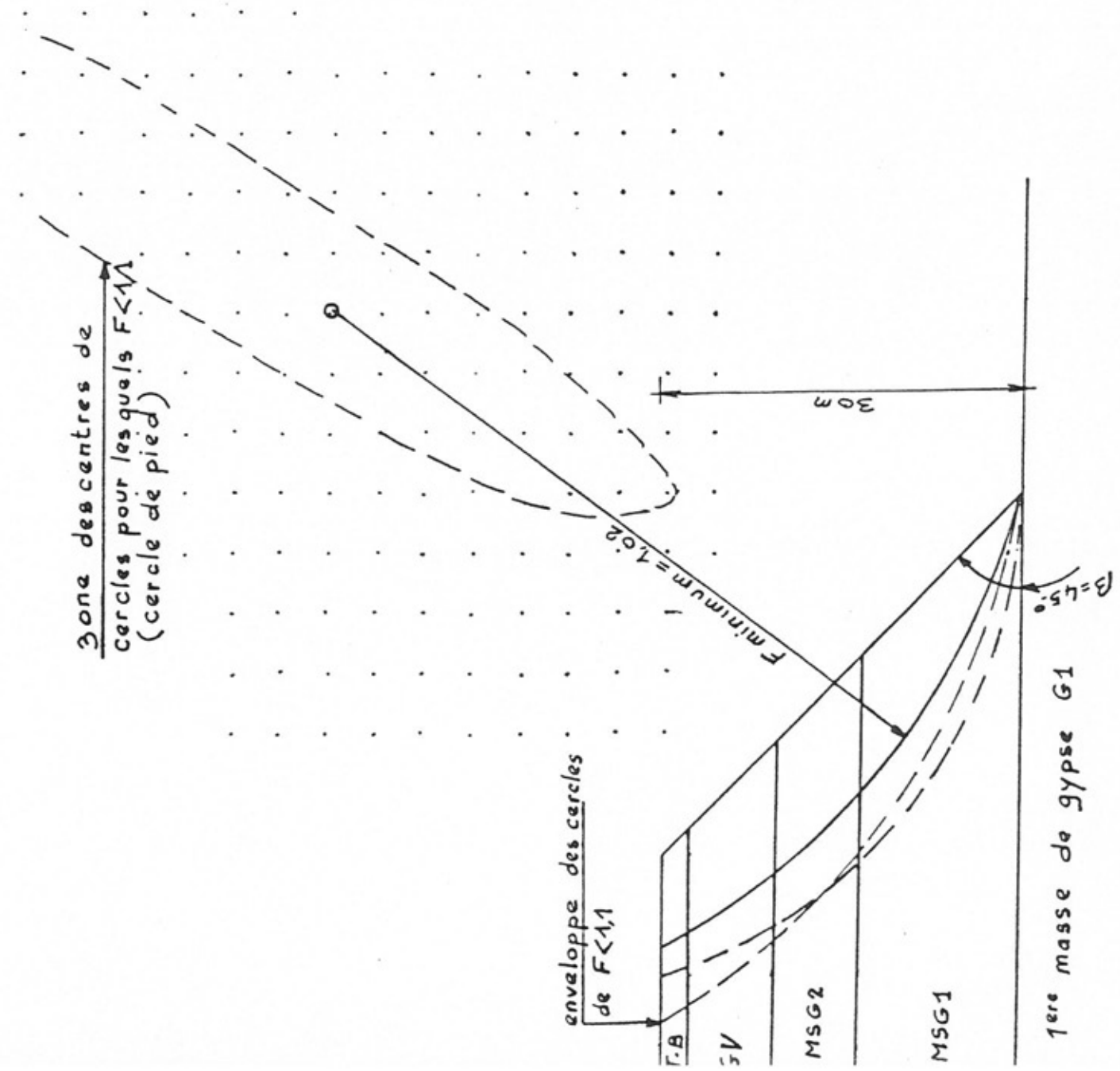
Le coefficient de sécurité minimum est voisin de 1. Les cercles pour lesquels $F \approx 1,1$ recoupe le terrain naturel à une distance située entre 8 et 15 m par rapport à l'arête du talus.

- Autres calculs : Etude de la variation de coefficient de sécurité en fonction de la cohésion

Cette étude a été faite soit par le cercle qui présentait le coefficient de sécurité minimum dans le calcul précédent, soit pour un nombre limité de centres autour de ce point.

Couche	α	C'	ϕ'
TB	20 $\frac{\text{KN}}{\text{m}}$	25 kPa	30°
GV	20 "	25 kPa	18°
MSG2	20 "	25 kPa	30°
MSG1	20 "	25 kPa	26°

Calcul en rupture circulaire
Programme RRT Bishop
Stabilité à long terme
Cohesion $C' = 25 \text{ kPa}$.
échelle: 1/500^{em}



Les résultats font l'objet du tableau suivant :

Cohésion	Coefficient de sécurité F
C' = 30 kPa dans l'ensemble des formations	F = 1,10
C' = 20 kPa { Travertin de Brie Glaises vertes	F = 1,15
C' = 40 kPa MSG1 - MSG2	
C' = 75 kPa dans l'ensemble des formations	F = 1,54

b-4 - Commentaire

La valeur du coefficient de sécurité obtenu pour des valeurs de la cohésion à long terme relativement fortes si l'on se réfère à l'ensemble des résultats bibliographiques est insuffisant.

Du fait de la grande hauteur des déblais, la valeur de F augmente peu rapidement avec la cohésion.

L'estimation de la valeur nécessaire de C' pour que le coefficient de sécurité de 1,5 généralement admis soit atteint conduit à C' = 75 kPa, l'opportunité de disposer d'une valeur aussi élevée sur le site ne peut être affirmée.

Deux aspects importants doivent être soulignés :

1°) - Les caractéristiques indiquées en annexe correspondent à des matériaux marno-argileux, il n'est par conséquent pas pris en compte, l'existence possible de zones indurées à tendance marno-calcaire dans les Marnes supragypseuses (MSG1 et MSG2).

Cet aspect ne peut être précisé que par la réalisation sur le site de sondages carottés avec prélèvement d'échantillons intacts pour essais en Laboratoire.

2°) - En l'état actuel des connaissances nous ne disposons pas d'informations précises en ce qui concerne le temps nécessaire pour passer de l'état de court terme à l'état de long terme dans ce type de formation marno-argileuse fortement surconsolidée (Marne de Pantin et d'Argenteuil) et pour des déblais de l'importance de celui concerné.

.../.....

Les glissements observés dans ces formations correspondent en général à des déblais moins importants sur zones de versant où les couches sont à l'affleurement et où l'élément moteur est généralement la présence de circulations aquifères. (nappe des éboulis).

Les références bibliographiques dont on dispose concernent les argiles de Londres pour lesquelles les ruptures se développent généralement plusieurs années après l'excavation des déblais.

Des informations sur cet aspect ne peuvent être obtenues que par des constatations à long terme "in situ".

Les observations visuelles pouvant être effectuées sur le site montrent, qu'après un an d'ouverture, le talus existant s'avère stable au niveau des Marnes de Pantin et d'Argenteuil.

Une enquête sur l'existence de talus similaires peut éventuellement renseigner sur l'évolution pendant une période plus longue. Actuellement on ne dispose que d'un suivi de crête d'un talus similaire sur 2 ans et pour lequel on aurait effectivement observé des désordres en tête au niveau des Glaises vertes et du Travertin de Brie, sans rupture importante au niveau des Marnes supragypseuses.

Toutefois, la méthode qui semble la plus fiable pour estimer l'évolution dans le temps est l'instrumentation d'un talus sur le site qui serait intermédiaire entre le talus actuel de la zone 2 et le talus futur en bordure du CEA.

Cette instrumentation comprendrait :

- des mesures de déformation à partir des repères topographiques et des mesures inclinométriques en forage.
- des mesures de variation de pression interstitielle.

.../...

Cette méthode aurait l'avantage d'indiquer les déformations immédiates éventuelles lors de l'exécution de la découverte.

L'évolution des différents paramètres mesurés au cours du temps, en particulier les pressions interstitielles, renseignera sur le processus de passage du court terme au long terme.

5/ - CONCLUSION SUR L'ETUDE PRELIMINAIRE DE LA STABILITE DU TALUS

Des calculs de stabilité en rupture circulaire ont été réalisés en tenant compte de la géométrie de talus envisagée (déblai de 30 m de hauteur, pente de 1/1).

Les caractéristiques géotechniques attribuées aux différentes couches proviennent d'une étude bibliographique régionale à défaut de renseignements spécifiques au site.

Les résultats obtenus sont en concordance avec les observations ayant pu être faites sur le talus actuel existant concernant la stabilité immédiate à court terme.

Vis-à-vis de la stabilité à long terme, les désordres observés au niveau du Travertin de Brie et des Glaïses vertes s'expliquent par des phénomènes de variations saisonnières et par les écoulements aquifères localisés au sommet des glaïses vertes. Un adoucissement de la pente et surtout la mise en place de dispositif de drainage et de protection superficielle peut résoudre ce problème.

L'aspect le plus délicat concerne les risques de grand glissement intéressant l'ensemble des couches et passant sur le pied de talus.

Les calculs effectués conduisent à des valeurs insuffisantes du coefficient de sécurité alors que les observations visuelles pouvant être faites sur place montrent, après une période d'ouverture d'environ un an un comportement satisfaisant du talus au niveau des Marnes Supragypseuses.

.../...

Cette divergence entre calcul et réalité peut s'expliquer de deux manières :

1°) - Les caractéristiques à long terme déduites de l'étude bibliographique ne sont pas représentatives du comportement réel des Marnes de Pantin et d'Argenteuil à Vaujours.

2°) - Après un an d'ouverture le passage de l'état de court terme à l'état de long terme ne s'est pas effectué.

La première incertitude peut être levée par la réalisation de sondages carottés et d'essais en laboratoire.

En ce qui concerne le passage du court terme au long terme dans ce type de matériaux marno-argileux surconsolidés et par des déblais de cette importance, l'état actuel des connaissances ne permet pas d'apporter de réponse précise.

Une instrumentation et un suivi d'un talus du site permettrait d'apporter des informations sur cet aspect.

.../...

3EME PARTIE

III - ETUDE DES VIBRATIONS CONSECUTIVES AUX TIRS DE MINES

1/ - RAPPEL DES GENERALITES SUR LES VIBRATIONS

Un tir à l'explosif crée un choc se traduisant par un ébranlement du sous-sol dont l'intensité décroît en fonction de l'éloignement du point d'origine.

La perturbation se propage sous forme de fronts d'ondes principalement de 3 types :

1°) - des ondes longitudinales où la vibration est dans la direction de la propagation. On les appelle également ondes de compression ou ondes primaires.

2°) - Des ondes transversales où la vibration se produit dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Ce sont les ondes de cisaillement ou ondes secondaires S.

3°) - des ondes de surface (notamment les ondes de Raleigh) qui se traduisent par un mouvement plus complexe du type ellipse dans un plan perpendiculaire à la surface et parallèle à la direction de propagation.

Les fronts d'ondes se propagent à des vitesses différentes selon le matériau traversé et selon le type d'onde, l'unité de mesure s'exprimant en mm/s.

Ces différentes vibrations produites par le tir et transmises par le sol, lorsqu'elles sont trop élevées, peuvent provoquer des dégâts aux constructions avoisinantes.

Bien qu'il n'existe aucune norme française officielle, il est généralement admis de retenir la valeur de 10 mm/s, un dépassement dans 10 % des tirs pouvant être accepté jusqu'à des valeurs maximales de 20 mm/s.

.../...

Dans le cas d'un tir à l'explosif rappelons enfin que la vitesse maximale ne dépend pas de la quantité totale d'explosif utilisé au cours d'une volée mais essentiellement de la charge unitaire c'est-à-dire de la quantité d'explosif mise à feu simultanément (par un même numéro de microretard par exemple).

2/ - DONNEES EXISTANTES

Des mesures de vibrations effectuées en Septembre 1979 sur le site de la carrière par le Cerchar avaient montré que les valeurs enregistrées à 300 m des tirs étaient inférieures à 6 mm/s.

L'étude du Cerchar concluait que "la distance à ne pas dépasser si l'on devait rester en-dessous du seuil de 10 mm/s semblait ne pas devoir être inférieure à 280 - 300 mètres".

Les charges totales dans le cas présent devaient varier entre 600 et 800 kg, les charges unitaires étant de l'ordre de 50 kg.

Lors de la reprise à ciel ouvert des piliers de gypse de la zone 2 l'exploitant a effectué des mesures de vibrations à partir de 2 géophones (capteurs standards PBF électronique 30 mV/mm) implantés dans la carrière souterraine à des distances de 50 et 100 m du lieu du tir.

Des premiers résultats, dont le détail est indiqué dans le tableau ci-dessous, il ressort que les valeurs maximales sont de l'ordre de 10 mm/s à 50 m et nettement inférieures à 10 mm/s pour une distance de 100 m, les charges unitaires étant en moyenne de l'ordre de 60 kg.

Toutefois, il faut souligner que ces valeurs ont été obtenues en carrière et non en surface, c'est pourquoi un tir d'essai avec enregistrement en surface a été réalisé conjointement par l'exploitant et le Laboratoire le 13 Juin 1984.

.../...

DATE HEURE	Tir piliers N°	Nombre de trous	charge totale kg	charge max par micro retard	RESULTATS- (mm/s)					
					à 50 m environ			à 100 m environ		
					voie 1 Z	voie 2 X	voie 3 Y	voie 1 Z	voie 2 X	voie 3 Y
6.4.84 11 h 09	33	36	360	70	7,3	4,6	7,3	2,6	3,33	2
8.4.84 11 h 09	35	18	360	150	17,3	23,88	12,6	4,0	5,43	2,6
10.4.84 10 h 34	34	26	300	56	5,3	3,3	5,3	2,0	1,3	1,3
16.4.84 11 h 28	38	34	350	54	8	5,3	6,6	1,3	0,6	2
10.5.84 5 h 41	39 +44 (seul tir)	74	931	95	7,3	7,3	8,6	3,3	2	3,3
11.5.84 13 h 58	37	35	423	62	8	10,6	7,3	2	4	4
12.5.84 11 h 36	40	36	350	64	6	9,6	6	1,3	1,3	1,3
16.5.84	41	42	450	56	7,3	10,0	10,0	2,0	3,3	3,3

3/ - CARACTERISTIQUES DU TIR D'ESSAI DU 13 JUIN 1984

a) - Equipement du pilier

Ce tir a été effectué sur le pilier n° 47 comportant 20 trous périphériques de 3 mètres et 16 trous centraux de 6 mètres, tous ces trous étant implantés selon une maille carrée de 1,50 m.

La charge totale a atteint 347,44 kg, les charges unitaires étant comprises entre 16,16 kg et 20,20 kg.

Les 20 trous périphériques ont été chargés à 4 cartouches de 2,02 kg avec 1 relai pour 2 trous; les trous centraux ont été chargés à 5 cartouches avec également 1 relai pour 2 trous; enfin 4 trous au coeur du pilier ont été chargés à 8 cartouches avec 1 relai par trou. Chaque mise à feu a été séparée de la suivante par un intervalle de 20 millisecondes.

.../...

b) - Installation des mesures

Les dispositifs de mesure ont été installés en surface à 85 m et 110 m du pilier soit à 30 m et 55 m en arrière de la crête du talus de la zone 2 dans le but de simuler les conditions de fin d'exploitation des zones 3 et 5, les plus proches des bâtiments du Centre d'Etudes de Vaujours.

L'installation du laboratoire a comportée 2 groupes de capteurs de vibrations comprenant chacun :

- 1 sismomètre vertical Z pour la mesure des déplacements particuliers dans la bande de fréquence 1 Hz à 100 Hz. Ce capteur, très sensible aux basses fréquences, permet de vérifier la validité des mesures effectuées à l'aide des géophones de contrôle de bande passante sensiblement différentes dans le domaine des basses fréquences.
- 1 géophone vertical de contrôle Z, pour les mesures de vitesses particulières, de bande passante 4,5 Hz - 100 Hz identique au capteur utilisé pour le contrôle.
- 1 géophone horizontal X identique au précédent.

L'installation de l'Exploitant, dans les mêmes conditions d'implantation précédemment définies, correspond à celle utilisée pour les mesures en carrière à savoir :

- 2 capteurs tridirectionnels de sensibilité 30 m V/mm/s
- Un système automatique de surveillance et d'enregistrement des vibrations de type SISMO-ZERO disposant de 2 voies d'entrée de signaux de capteurs tridimensionnels

c) - Résultats des mesures

L'analyse en fréquence des vibrations captées par les sismomètres montre que l'énergie vibratoire est comprise, pour l'essentiel, dans la bande de fréquence 6 à 15 Hz.

.../...

Les vibrations de basse fréquence 1 à 2 Hz ne sont suffisantes pour modifier de façon sensible les signaux issus des géophones.

On peut donc considérer comme valables les mesures effectuées à l'aide des géophones de contrôle de bande passante 4,5 - 100 Hz.

Sous la condition, (ce que nous n'avons pu vérifier) que les géophones utilisés par l'entreprise pour son propre compte aient la même bande passante on pourra également considérer les mesures comme valables.

On peut cependant estimer que cette condition est réalisée puisque les niveaux enregistrés par l'Exploitant sont très proches de ceux obtenus par le Laboratoire.

	d = 85 m	d = 110 m
Sismo de référence axe Z	83.10 ⁻⁶ m	30.10 ⁻⁶ m
Géophone "LREP" axe Z	6,5 mm/s	3,2 mm/s
axe X	13,5 mm/s	8,3 mm/s
Géophone "Exploitant"		
axe Z	4,5 mm/s	3,3 mm/s
axe X	18,0 mm/s	8,5 mm/s
axe Z	14,6 mm/s	10,5 mm/s

Du tableau de résultats ci-dessus, il ressort que les valeurs maximales enregistrées à 85 m sont comprises entre 10 et 20 mm/s; à 110 m elles sont sensiblement voisine de 10 mm/s. A 85 m on serait donc légèrement supérieur aux normes admissibles.

.../...

4/ - CONCLUSIONS SUR LES MESURES DE VIBRATIONS

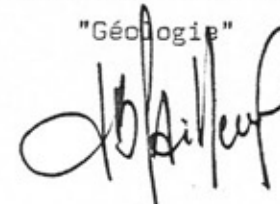
Les résultats du tir d'essai réalisé sur le pilier 47 dans des conditions de simulation de proximité des installations du Centre d'Etudes de Vaujours montrent que les niveaux de vibrations enregistrés à une distance de 85 m sont suffisamment importants ≥ 10 mm/s pour que le risque de dégradation, bien que faible, ne soit pas à négliger. D'autant plus, qu'il faut tenir compte des dispersions importantes que l'on rencontre généralement et qui peuvent atteindre 100 % par rapport à la moyenne.. Toutefois, il faut souligner que les mesures ont ici été réalisées au sol et non sur les immeubles sachant que si sur un sol rocheux on obtient généralement les mêmes résultats ce n'est par contre pas toujours le cas pour un sol meuble où l'on peut parfois constater que les mouvements du sol sont plus importants que ceux de l'immeuble.

D'autre part, il est difficile de tirer des conclusions définitives à partir des résultats d'un seul essai, c'est pourquoi des mesures complémentaires s'avèrent nécessaires pour définir au mieux la mise au point du plan de tir pour rester dans les limites admissibles de l'ordre de 10 mm/s.

Dossier établi par J.B. CAILLEUX, Géologue, J.P. CUDENNEC, Mécanicien des sols et J.P. VANHOVE, Métrologue.

L'assistant à la section

"Géologie"



J.B. CAILLEUX

L'Adjoint au Directeur
du Laboratoire



S. MANGIN

A N N E X E

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

L'étude a essentiellement consisté à sélectionner les échantillons sur lesquels ont été réalisés des essais de cisaillement à long terme fournissant les caractéristiques effectives C' et ϕ' intervenant dans le calcul de stabilité.

Les résultats sont regroupés par formation :

Nous rappelons ci-dessous la signification des symboles utilisés ainsi que les unités.

- $W\%$: teneur en eau naturelle
 WL : limite de liquidité
 Ip : indice de plasticité
 CO_3Ca : teneur en carbonate
 $\gamma_h \gamma_d$: poids spécifique humide et sec en kN/m^3
 Cu : cohésion à court terme kPa
 C' : cohésion à long terme $10^5 Pa$
 ϕ' : angle de frottement à long terme en degré.

1°) - Travertin de Brie

Provenance Observations	W	WL	IP	CO ₃ Ca	$\gamma_h \gamma_d$	Cu	C'	ϕ'
Noisy-le-Grand	34	36	3	84	17,6-13,5		0	45
Autoroute H6	40	73	29	85	17,9-13,1		0,2	43
A86 Nogent	29	70	39	79			0,1	29
A87 Montfermeil	130	55	75	32	17,4-13	1,24	0,25	30
Rungis	30	66	28				0,45	32

2°) - Glaises vertes - Marnes à Cyrènes

Cette formation a fait l'objet d'un plus grand nombre d'essai, nous indiquons les valeurs moyennes des caractéristiques d'identification ou les plages de variation des caractéristiques mécaniques par site.

Provenance Observation	W	WL	IP	CO ₃ Ca	$\gamma_h \gamma_d$	Cu	C'	ϕ'
Noisy-le-Grand	32	83	44	12,7	19-14,4		0,27	18
Nogent-sur-Marne	35,7	97	42,6		19-13,7		0,2-0,24	15 à 20
Fontenay	29	68	36		- 15	1,2	0,18	21
Chatenay	31	79	41	5	19,1-14,1	1,5	0,2	21

3°) - Marnes de Pantin

Provenance Observation	W	WL	IP	CO ₃ Ca	$\gamma_h \gamma_d$	Cu	C'	ϕ'
Noisy-le-Grand	37	63	32	68	18,5-13,5		0,25	28
Nogent-sur-Marne	25	63	36	75	20 -		0,2	31,5
Marne-la-Vallée	31	54,6	27,7	65			0,15	27
Fontenay	26	51	24	65	- 15,7	1,6	0	38
Chatenay	26	68	37	63	20 - 1,6	1,5	0,15	32
Montfermeil						1,66		

4°) - Marnes d'Argenteuil

Cette formation a fait l'objet de peu d'essai de cisaillement à long terme en particulier sur des prélèvements de couche en place à grande profondeur.

Elle a été testée pour l'autoroute A 86 à Nogent sur des matériaux prélevés en versant. Les autres résultats correspondent à des échantillons ponctuels.

Provenance Observation	W	WL	IP	CO ₃ Ca	$\gamma_h \gamma_d$	Cu	C'	ϕ'
Marne-la-Vallée	32,9	76,5	40,7	48,2	- 14,3		0,42	20
A86 Nogent	25,6	78	46		20,4-16,3		0,15	28
Montfermeil						2,25		

J.L. PELLETIER I.D.T.P.E
Directeur du Laboratoire

LABORATOIRE REGIONAL DE L'EST PARISIEN

Centre d'Etudes de Vaujours
Boite postale 7
77181 - VAUJOURS

A l'attention de Monsieur LANVIN

Le Bourget, le 18 SEPTEMBRE 1984

REF: 7451 GEF

OBJET:

CARRIERE POLIET ET CHAUSSON A VAUJOURS

ETUDE COMPLEMENTAIRE DES TALUS DE DECOUVERTE

P.J.:

Destinataires:

C.E.A. (2)

C1: D

GEF (2)

I - INTRODUCTION

Le présent rapport, établi à la demande du CEA centre de Vaujours concerne les conditions de réalisation de l'extension de la carrière de gypse à ciel ouvert envisagée par la SAMC à la limite Est du centre.

Il s'agit d'une étude complémentaire de stabilité des talus de découverte consécutive aux conclusions de l'étude préliminaire 7451 GEF du 9 Juillet 1984 et décidée lors de la réunion du 2 AOUT 1984.

Dans ce rapport, nous considérerons connu le contexte géologique et géotechnique présenté dans le rapport précédent.

II - RAPPEL DES CONCLUSIONS DE L'ETUDE PRELIMINAIRE

Le volet stabilité de pente de l'étude préliminaire a consisté essentiellement à la vérification du profil proposé par l'exploitant, soit un talus de pente $1/1$ (45°), la crête étant positionnée 10 mètres en retrait de la clôture du CEA.

Cette vérification a été effectuée en attribuant aux différentes formations entaillées des caractéristiques mécaniques déduites d'une étude bibliographique régionale à défaut d'essais spécifiques à la zone concernée.

Les résultats montrent que cette géométrie n'est pas acceptable, le coefficient de sécurité pour des cercles passant par le pied de talus étant voisin de 1 alors que la valeur habituellement admise pour ce type d'"ouvrage" est $F = 1,5$.

Cette conclusion restait évidemment gravée par l'incertitude liée à l'absence de reconnaissance spécifique et de constatation fiable à long terme sur des talus similaires, des propositions d'essais et de suivis étaient évoquées pour palier à cette insuffisance de donnée.

.../...

Il s'avère que les délais impartis pour la prise de décision sur l'extension de l'exploitation ne sont pas compatibles avec l'exécution de reconnaissance complémentaire.

En conséquence, il a été demandé au Laboratoire, lors de la réunion du 1er Août 1984 de définir un profil de découverte assurant toute sécurité vis-à-vis de l'emprise du CEA à partir des connaissances existantes. Il faut signaler qu'actuellement, il n'est pas possible de fixer une durée maximale d'ouverture de la fouille.

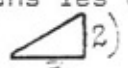
Cette étude est présentée dans le paragraphe suivant.

III - RESULTATS DES CALCULS DE STABILITE

Nous rappelons que les calculs sont effectués en rupture circulaire par la méthode de Bishop à partir du programme RRT Bishop du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

1/ - Une première série de calcul a été effectuée sur le principe (défini en réunion) d'une réduction de la pente de talus tout en maintenant la garde de 10 m entre la tête de talus et la clôture du CEA.

2 profils ont été étudiés :

- talus à 2/1  du terrain naturel initial jusqu'au gypse (fig. N° 1).
- Talus à 2/1 dans les couches supérieures (T.B et GV) puis à 3/2  dans les Marnes supragypseuses (MSG2 + MSG1) (Fig. N° 2).

Les caractéristiques géotechniques sont reportées sur les figures, les valeurs d'angle de frottement sont identiques à celles du 1er calcul. En ce qui concerne le choix de la cohésion à long terme, paramètre déterminant dans le problème traité, les critères suivants ont été retenus.

.../...

a) - Travertin de Brie + Glaises vertes

La valeur $C' = 25$ KPa introduite dans les calculs préliminaires est trop élevée.

La valeur $C' = 10$ KPa a été retenue pour les calculs complémentaires, cette valeur tient compte des désordres apparus dans cette formation sur le talus existant sur le site.

La figure N° 3 représente les conditions de stabilité locale de la partie de talus dans ces deux formations.

b) - Marnes Supragypseuses (MSG1 + MSG2)

La valeur de $C' = 25$ KPa conduisant à une valeur de coefficient de sécurité voisin de 1 pour un talus à 1/1 a été conservée.

Ce choix s'appuie sur l'expérience rapportée par la Société SAMC selon laquelle des talus à 1/1 se sont comportés convenablement pendant une durée de 5 ans (73 à 78) le long du CD 129, il équivaut à considérer que ces talus étaient réglés à la limite de stabilité dans l'ignorance de leur coefficient de sécurité réel.

RESULTAT DES CALCULS

Les cercles correspondant aux valeurs minimales du coefficient de sécurité sont reportés sur les figures, on constate :

Fig. N° 1, pente 2/1 : $F_{\text{minimum}} = 1,55$

Fig. N° 2, pente 2/1 + 3/2 : $F_{\text{minimum}} = 1,34$

Fig. N° 3, cercles intéressant les glaises vertes.

$F_{\text{minimum}} = 1,4$ (calcul sans eau)

Vis-à-vis des cercles passant par le pied du talus, le coefficient de sécurité minimum de 1,5 doit être atteint compte tenu du degré d'incertitude subsistant sur les caractéristiques et surtout sur la durée d'ouverture de la fouille.

.../..

Par rapport à ce critère, la pente de 2/1 est acceptable, cette géométrie positionne le pied de talus de découverte à 70 m de la clôture du CEA.

Pour améliorer la tenue de la partie supérieure, il est recommandé dans les zones humides d'effectuer une tranchée drainante à l'arrière de la crête du talus; d'autre part le parement devra être protégé des intempéries soit par un béton projeté soit par un film étanche. Cette dernière solution nécessitant un entretien périodique de la protection.

2/ - Un calcul supplémentaire selon la démarche explicitée ci-dessous nous a paru intéressant :

- le profil étudié fait l'objet de la figure N° 4 :
 - . La pente habituelle de 1/1 utilisée par l'exploitant a été maintenue dans les Marnes Supragypseuses.
 - . Une pente de 2/1 a été adoptée dans les glaises vertes et le Travertin de Brie.
- Les caractéristiques géotechniques sont celles utilisées dans les calculs précédents.

La démarche a consisté à rechercher la distance par rapport à la crête de talus au delà de laquelle les cercles de glissement présentent un coefficient de sécurité supérieur à 1,5.

Cette distance permet en fait de définir la position de la crête de talus par rapport à la clôture du CEA de telle manière que les conditions de stabilité soit assurées avec une sécurité suffisante.

On constate sur la figure n° 4 que cette distance est voisine de 30 m, le pied de talus se situant alors à 60 m environ de la clôture du CEA.

.../...

Il est également intéressant de remarquer que cette géométrie de talus aboutit à une position du pied de talus voisine de celle du talus à 2/1 précédemment étudié et qu'en conséquence la valeur du coefficient de sécurité du cercle correspondant au cercle minimum dans l'hypothèse d'un talus à 2/1 reste voisine de $F = 1,5$.

Autrement dit, le talus à 2/1 défini sur la figure n° 1, et le talus de la figure N° 4 dont la crête est située à 30 m de la clôture, présente pratiquement le même degré de sécurité vis-à-vis du CEA.

Par contre on retrouve pour le coefficient de sécurité minimum une valeur voisine de 1,1 correspondant à des cercles proches de la crête de talus et situés entièrement dans le domaine de l'exploitant.

L'adoption d'un tel profil par rapport à un profil à 2/1 permet évidemment de réduire le volume de découverte et par voie de conséquence le remblaiement.

Si un désordre quelconque apparaît au cours du temps, des mesures confortatives pourront être prises sans que soit mis en cause la stabilité des terrain au niveau du domaine du CEA.

Il présente également l'avantage d'éloigner la crête de l'emprise du CEA, cette dernière se trouvant aussi protégée des désordres locaux généralement constatés en crête de talus.

3/ - Afin de s'assurer vis-à-vis du risque de surévaluation de la cohésion à long terme dans les Marnes infragypseuses, (le calage réalisé sur les talus existants présente un degré d'incertitude à défaut de relevés précis et les périodes d'observation n'ont guère excédé 5 années), un calcul a été effectué en introduisant une valeur réduite de la cohésion $C' = 10 \text{ kPa}$, dans l'ensemble des couches.

.../...

Les résultats sont présentés en parallèle avec les résultats précédents sur la figure N° 5, on constate dans cette hypothèse des risques de rupture à proximité du parement, mais les coefficients de sécurité relatifs aux cercles recoupant l'emprise du CEA restent supérieurs à 1,3.

IV - MESURES CONFORTATIVES ET CONSTATATIONS

La stabilité à long terme des talus est en outre conditionnée par la réalisation de mesures confortatives au niveau des galeries de carrière situées en bordure du CEA.

Si actuellement celles-ci ne présentent pas de désordres notoires on ne peut cependant concevoir de les laisser "ouvertes" à l'air libre et aux intempéries, selon une durée indéterminée, sans encourir de risques.

En effet, par référence avec d'anciennes carrières abandonnées on constate que des dégradations affectent progressivement les piliers ou la planche en toit. L'aboutissement à moyen ou à long terme de ces dégradations se manifeste généralement par la formation de fontis remontant jusqu'en surface. Dans le cas présent, en l'absence de confortation on peut donc craindre à plus ou moins long terme, une rupture brutale, suite à un effondrement vertical au niveau de la carrière, du talus bordant le CEA.

Les mesures de confortation préconisées consisteraient dans le remblaiement de toutes les galeries "abandonnées" sous l'emprise du talus par des matériaux inertes. Ce remblaiement pourrait être réalisé au bull-dozer. Compte tenu de la géométrie des galeries (forme trapézoïdale) il subsistera un vide résiduel en ciel. Ce dernier ne devra pas être supérieur à 2,00 m limitant ainsi tout risque d'effondrement important susceptible de remettre en cause la stabilité des talus.

En second lieu, des constatations devront être réalisées en crête et en arrière du talus lors de l'ouverture des fouilles de découverte et pourront même être poursuivies jusqu'aux opérations de remblaiement total.

.../...

Ces mesures permettront de suivre l'évolution des talus en phase terrassement ainsi qu'en phase exploitation du gypse.

L'instrumentation pourrait être du type repères topographiques scellés sur plots bétons ancrés de 0,50 m pour mise hors gel. 3 ou 4 profils perpendiculaires au talus, comportant chacun 3 repères seraient ainsi installés et feraient l'objet de suivis périodiques.

On peut également envisager l'installation de tubes inclinométriques à l'intérieur de forages réalisés jusqu'au toit du gypse suivant 1 ou 2 profils perpendiculaires au talus.

.../...

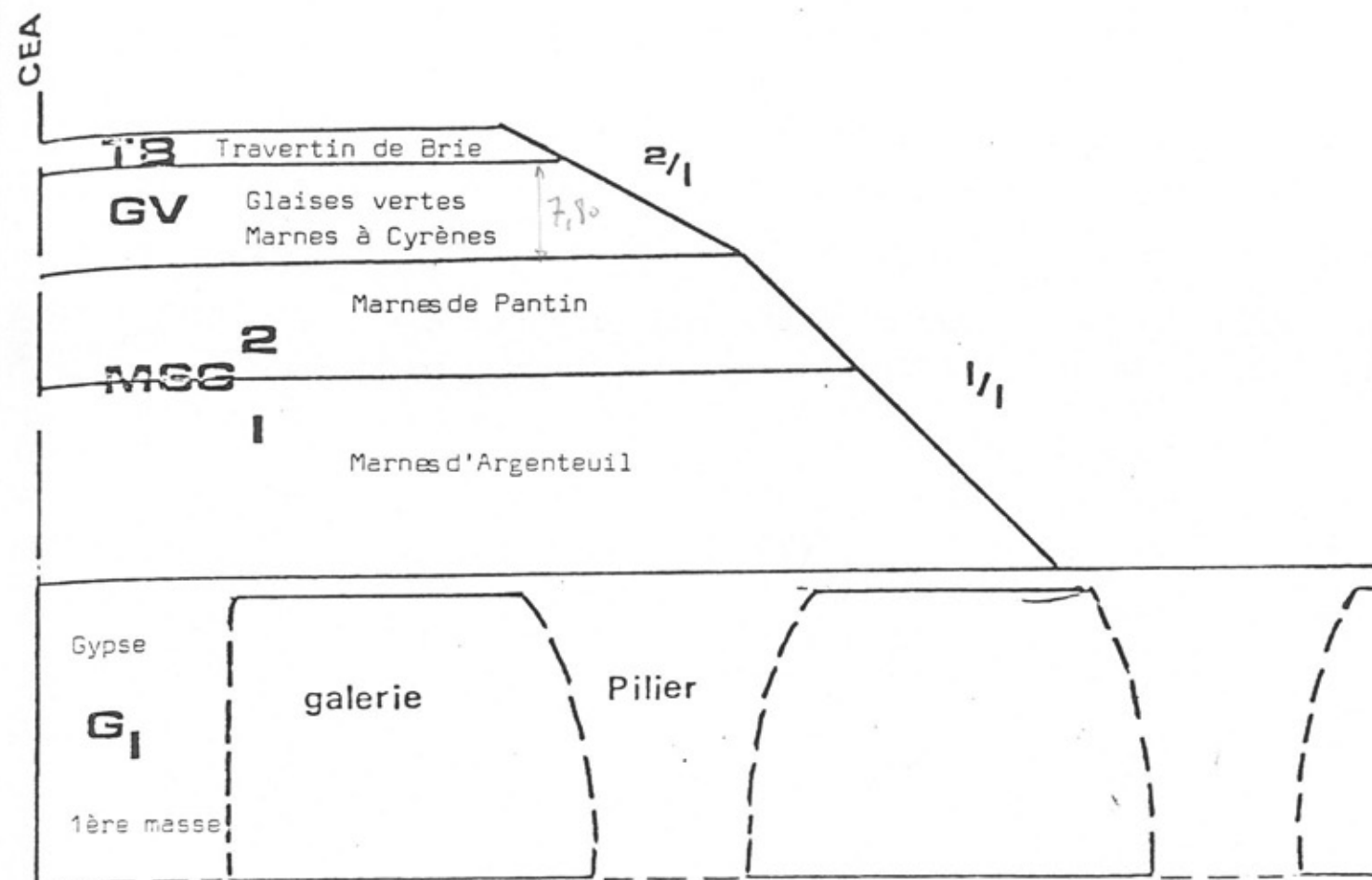


Schéma montrant la position des galeries et piliers sous le talus en bordure du C.E.A.

échelle 1/500e

CONCLUSION

L'objectif de l'étude effectuée était de définir la géométrie et la position par rapport aux emprises du CEA du talus de découverte de l'exploitation de gypse envisagée.

L'étude préliminaire, objet d'un rapport antérieur, montrait qu'une pente à 1/1 (45°) dont la crête se situait à 10 m de la clôture ne présentait pas des conditions de sécurité satisfaisante.

Cette étude étant effectuée sur la base de caractéristiques géotechniques déduites de connaissances régionales, il était proposé pour affiner les résultats de réaliser des essais spécifiques au site.

Les délais impartis pour la prise de décision sur les possibilités d'extension de l'exploitation n'autorisant pas la réalisation de ces essais, l'étude complémentaire a été réalisée sur les mêmes bases complétées par l'expérience apportée par l'observation de talus existant sur le site.

Il ressort que le paramètre le moins bien maîtrisé et dont l'incidence est déterminante sur les résultats est la valeur de la cohésion à long terme C' , les valeurs retenues pour les calculs sont les suivantes :

- Travertin de Brie, glaises vertes : $C' = 10$ kPa
- Marnes supragypseuses MSG1 et MSG2 : $C' = 25$ kPa

La justification du choix de ces valeurs est explicitée dans le rapport.

Pour tenir compte du degré d'imprécision subsistant sur les caractéristiques géotechniques et surtout sur les dates de remblaiement futur nous avons considéré que le coefficient de sécurité pour les cercles de glissement recoupant l'emprise du domaine CEA ne devait pas être inférieur à $F = 1,5$.

.../...

Une première série de calcul a été menée selon la démarche consistant à réduire la pente de talus tout en conservant la garde de 10 m par rapport à la clôture du CEA.

Les résultats montrent que pour obtenir une valeur suffisante du coefficient de sécurité la pente de talus doit être de 2/1. Dans ce cas, le pied de talus se situe à 70 m de la limite du CEA.

La valeur du coefficient de sécurité $F = 1,5$ n'étant pas justifié pour les cercles de glissement situé dans l'emprise de l'exploitation d'autres calculs ont été effectués sur un profil comportant la pente de 1/1 habituellement réalisée par l'exploitant dans les Marnes supragypseuses et une pente de 2/1 dans les couches supérieures.

On constate que pour une position de ce talus identique au pied de talus à 2/1 (donc autorisant le même volume d'extraction) les valeurs du coefficient de sécurité des cercles intéressant le domaine du CEA reste voisin de 1,5.

Ce dernier profil qui optimise les volumes de déblai et de remblai tout en assurant vis-à-vis du CEA la même sécurité paraît donc en définitive le mieux adapté.

Une vérification supplémentaire consistant à réduire la cohésion à une valeur de 10 KPa dans l'ensemble des couches montre que le coefficient de sécurité des cercles critiques pour le CEA reste de l'ordre de 1,3.

La stabilité sera en outre conditionnée à moyen ou long terme par le comblement des galeries situées sous l'emprise du talus.

Etabli par J.P. CUDENNEC et J.B. CAILLEUX

Le chef de la section
"mécanique des Sols"

J.P. GIGAN

L'adjoint au Directeur
du Laboratoire

S. MANGIN

LISTE ET LEGENDES DES FIGURES

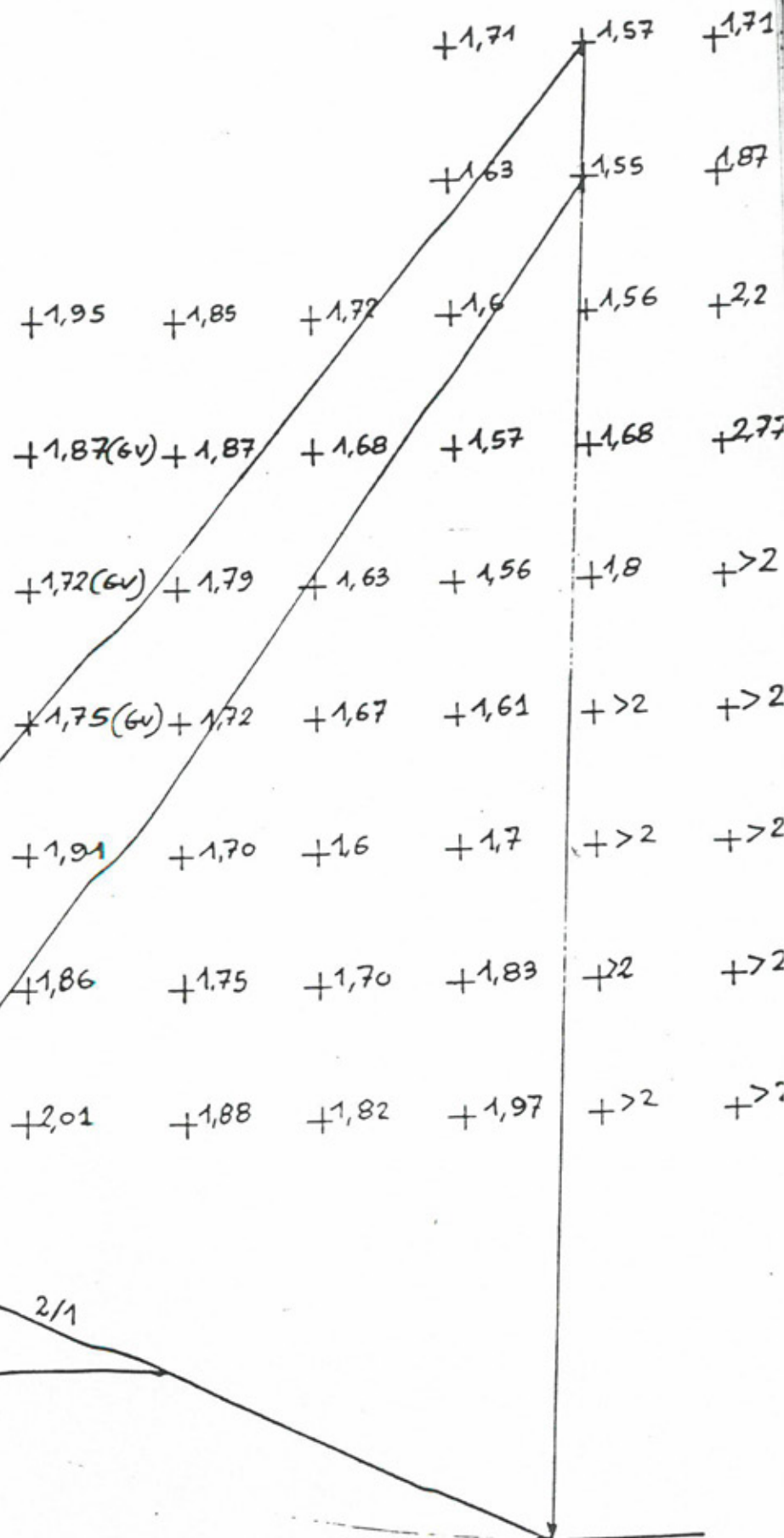
- Fig. n° 1 : talus à 2/1 de bas en haut
- Fig. N° 2 : Talus à 2/1 dans le Travertin de Brie et les glaises vertes talus à 3/2 dans les Marnes Supragypseuses.
- Fig. N° 3 : Stabilité locale dans le travertin de Brie et les glaises vertes
- Fig. N° 4 : Recherche du point de passage des cercles de coefficient de sécurité $F = 1,5$ pour un talus à 2/1 dans le TB et le GV et 1/1 dans les Marnes supragypseuses.
- Fig. N° 5 : Incidence d'une réduction de la cohésion sur le coefficient de sécurité.

Sur les figures sont reportées :

- La géométrie du talus
- Le quadrillage des centres de cercles prospectés.
- Pour chaque centre la valeur minimale du coefficient de sécurité et dans certains cas le rayon du cercle correspondant.
- Le cercle correspondant au coefficient de sécurité minimum pour les figures 1-2-3-5.

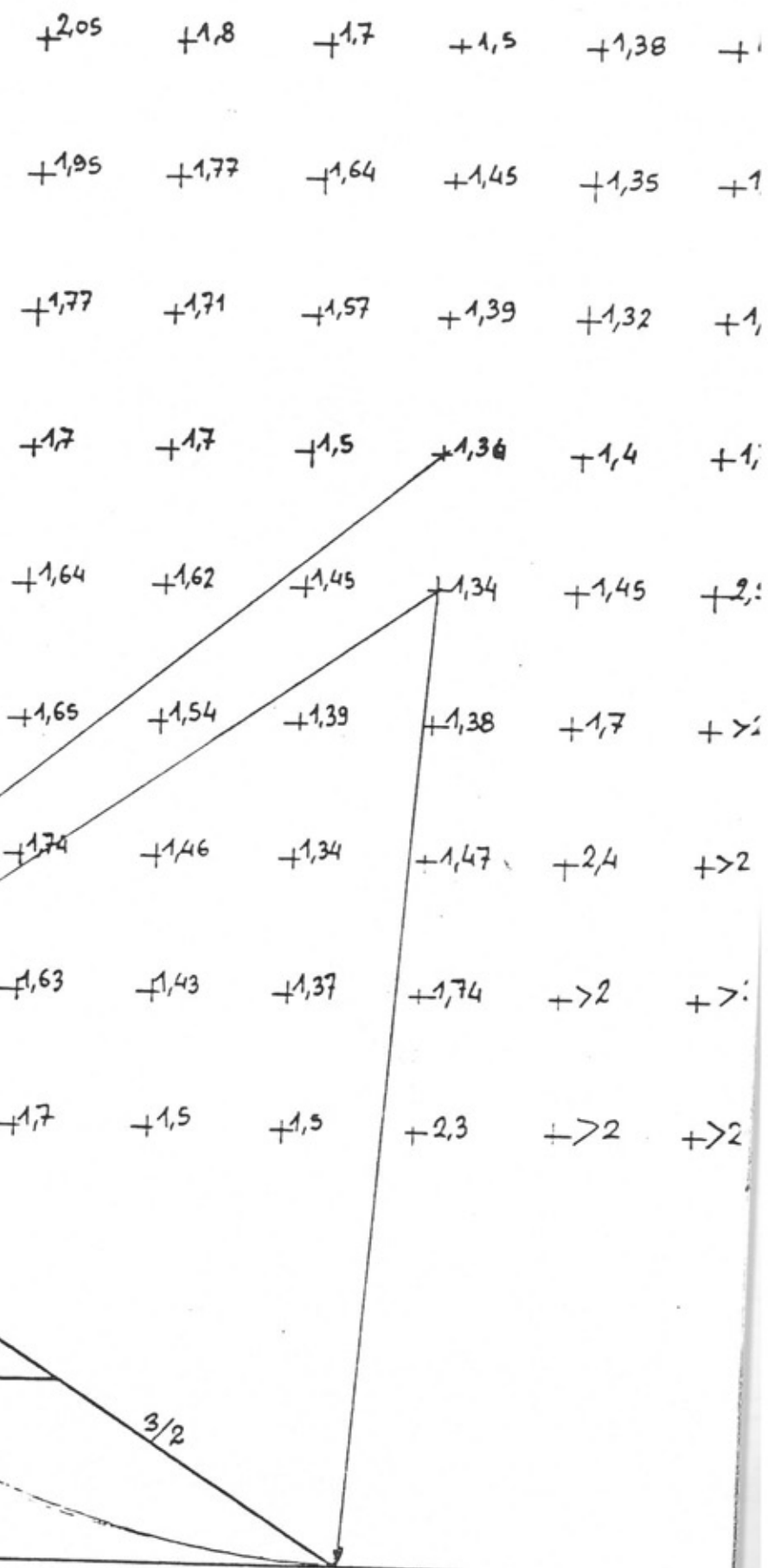
Caracteristiques

Couche	γ KN/m ³	C' kPa	ϕ' °
TB	20	10	30
V	20	10	18
SG2	20	25	30
SG1	20	25	26



Caracteristiques

Couche	γ KN/m ³	C' kPa	ϕ' °
TB	20	10	30
GV	20	10	18
SG2	20	25	30
SG1	20	25	26



rayon du cercle.
coefficient de
sécurité avec le
travertin de Brie
sature

35
+2,24 +1,76 35,5
+1,45 +1,48 +

coefficient de
sécurité après
drainage.

30,5
+2,17 30,5
+1,67 +1,4 +1,53 +

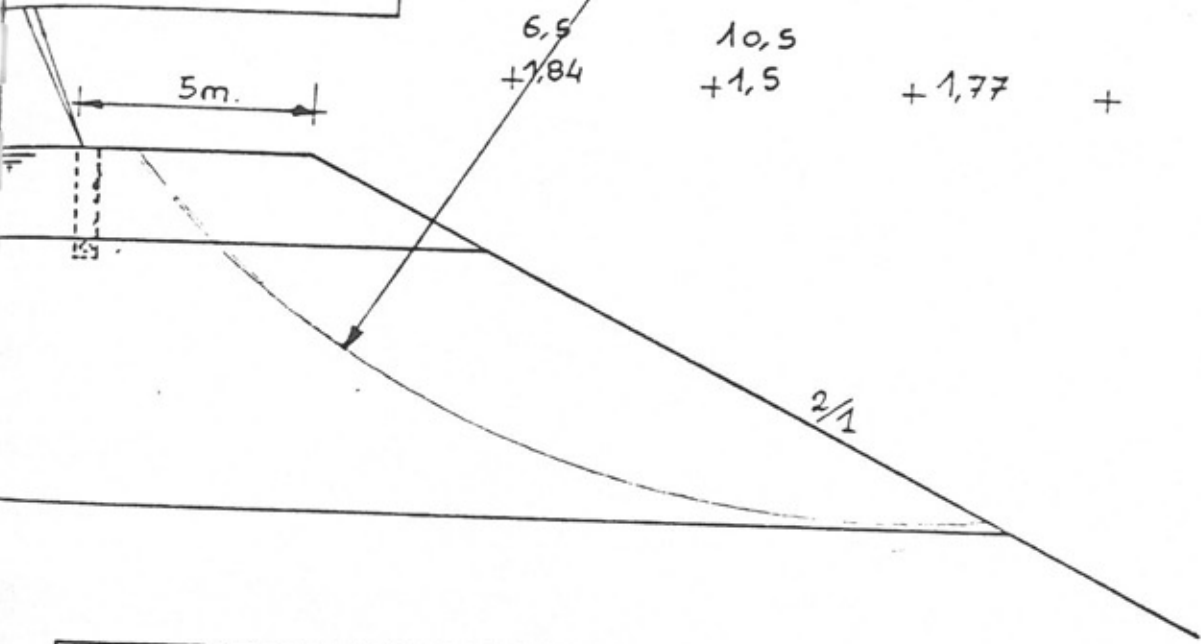
25,5
+2,08 25,5
+1,58 25,5
+1,34 (1,4) +1,88 +

18,5
+1,99 20,5
+1,48 20,5
+1,34 (1,4) +2,77 +

13,5
+1,88 15,5
+1,44 15,5
+1,47 +2,77 +

6,5
+1,84 10,5
+1,5 +1,77 +

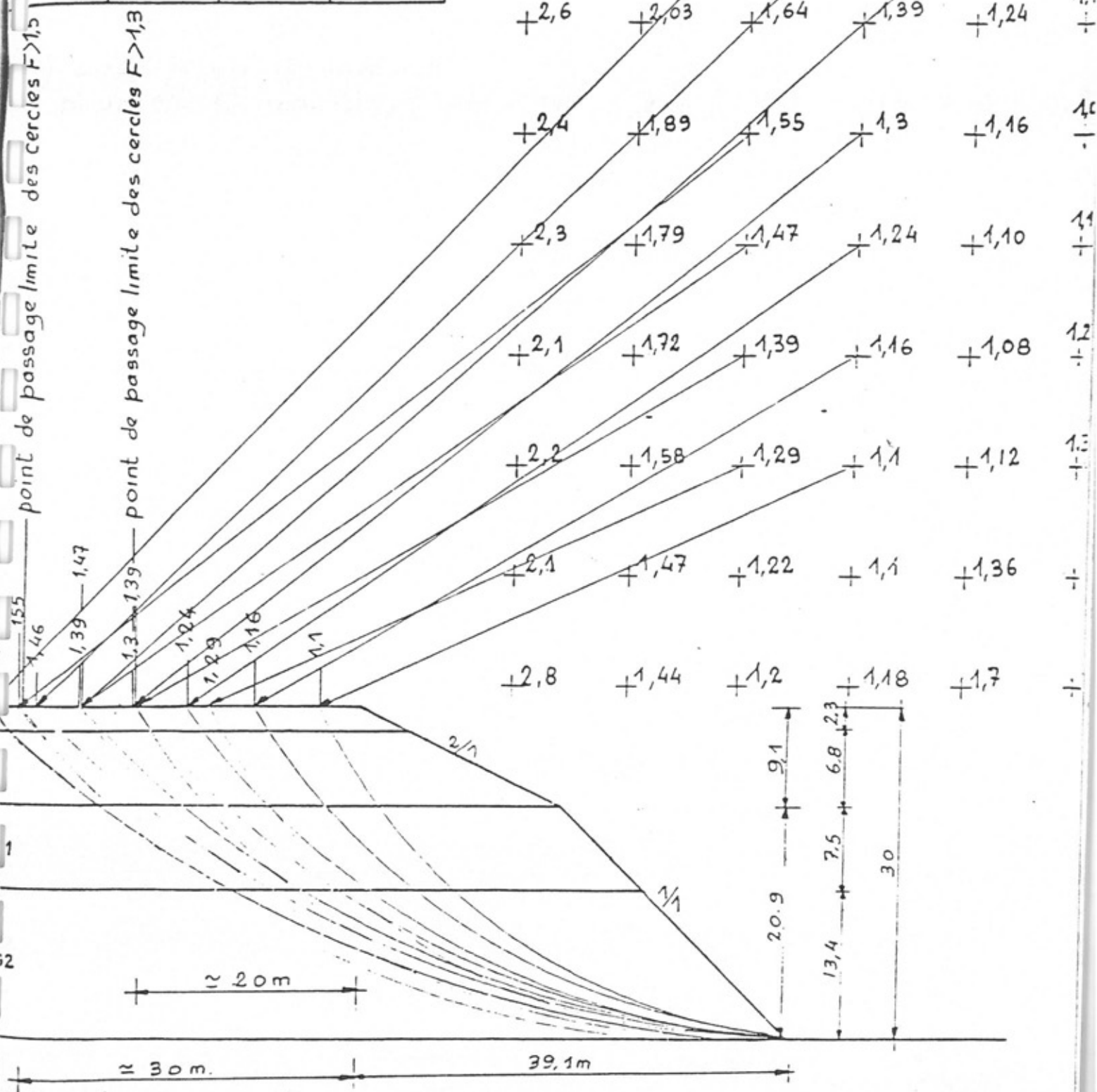
tranchée drainante
avoir en présence
au niveau du
travertin de Brie.



Caracteristiques			
Couche	γ KN/m ³	c' KPa	ϕ °
TB	20	10	30
GV	20	10	18

Figure (4)

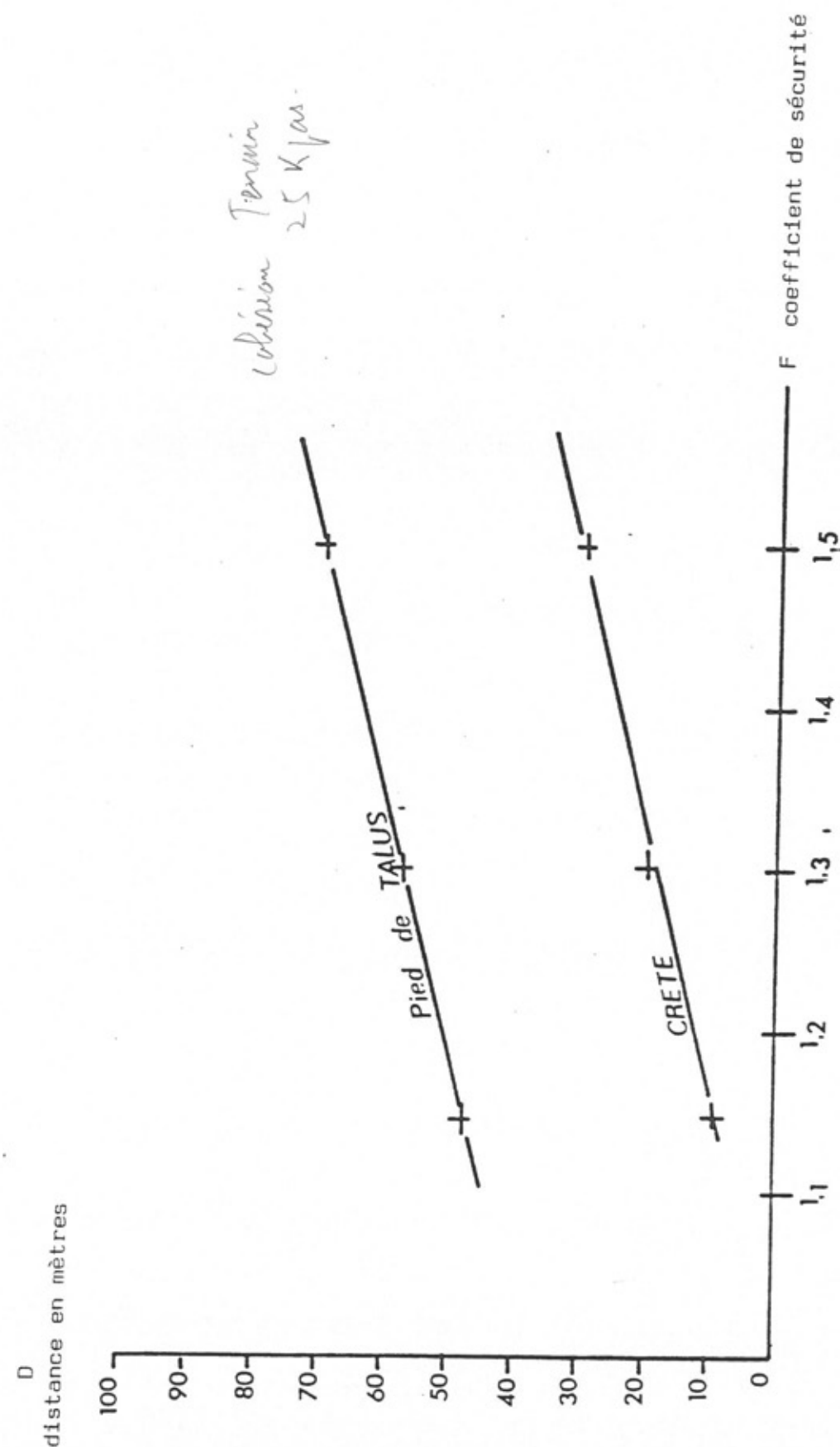
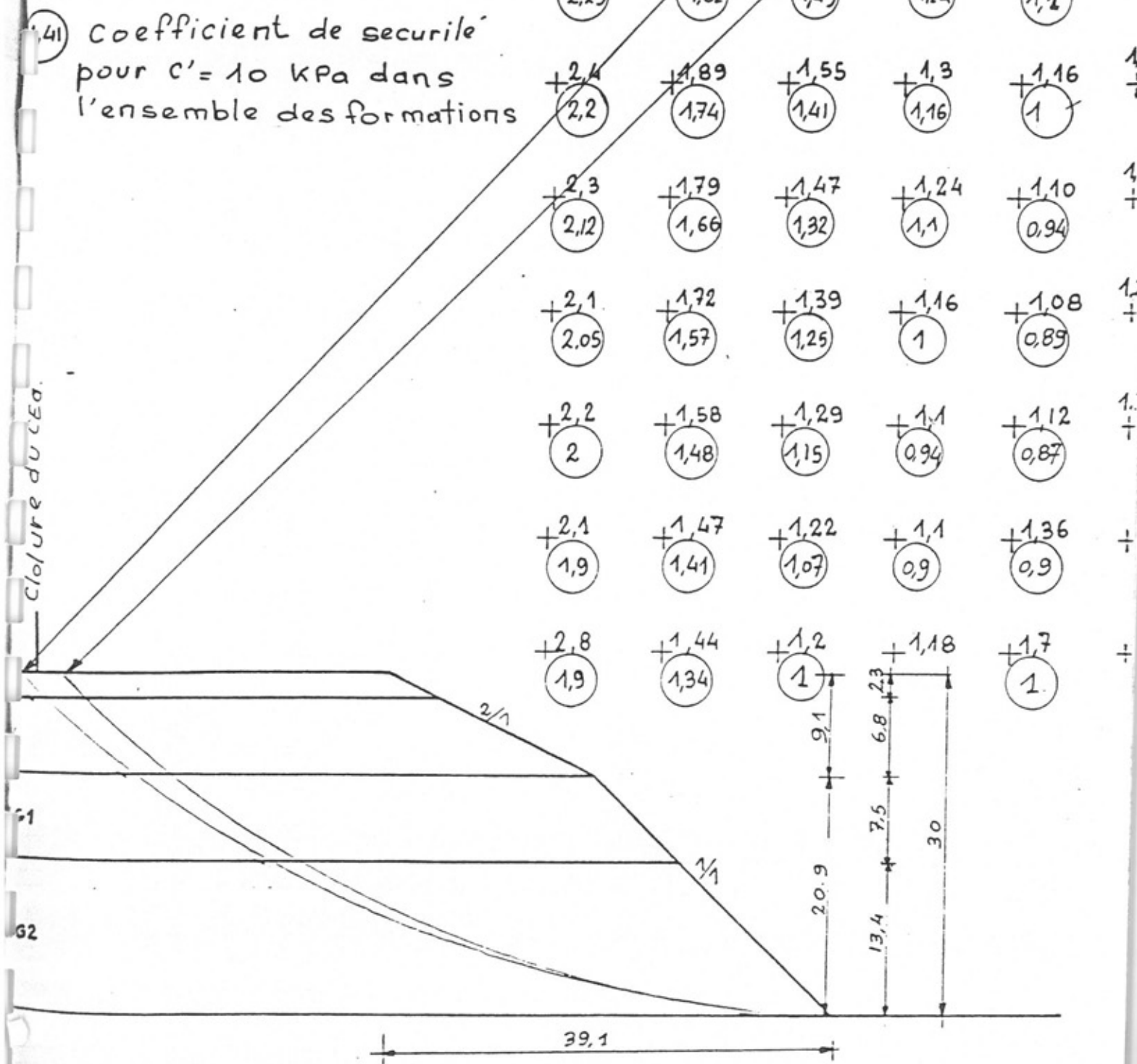
Caracteristiques			
Couche	γ KN/m ³	c' KPa	ϕ °
TB	20	10	30
GV	20	10	18
MSG2	20	25	30
MSG1	20	25	26



Caracteristiques

Couche	γ KN/m ³	C' KPa	ϕ' °
TB	20	10	30
GV	20	10	18
MSG2	20	10	30
MSG1	20	10	26

41) Coefficient de sécurité pour $c' = 10$ kPa dans l'ensemble des formations



VALEURS DE F EN FONCTION DE LA DISTANCE A LA CLOTURE C.E.A

EN CRETE ET EN PIED DE TALUS.

avec 2/1 dans GV-TB
et 1/1 dans MSG

ANNEXE 2 - CARRIÈRE DE GYPSE DE MONTZAIGLE STABILITÉ LREP - PHASES 1 ET 2



Direction
Régionale de
l'Équipement

Ile-de-France

Laboratoire
Régional
de l'Est Parisien

113-01
260

Le Bourget, le 10 avril 2001

Groupe "Géologie-Mécanique des Sols"



CARRIÈRE DE GYPSE
DE MONTZAIGLE (LE PIN)

Etude de la stabilité des talus

1^{ère} Phase

Affaire n° : 2.0.16691

DEMANDEUR :
GYPSE LAMBERT
105, route d'Argenteuil

95240 CORMEILLES-EN-PARISIS
M. ARMANGE

DESTINATAIRES :

M. ARMANGE	2 ex.
Classement Archives	1 ex.
Classement Groupe	2 ex.

LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES DE L'EST PARISIEN

319, av. Georges Clémenceau - BP 505
Vaux-le-Pénail - 77015 Melun Cedex
Tél. : 01 60 56 64 00 - Fax : 01 60 56 64 01



Rue de l'Égalité Prolongée - BP 134
93352 Le Bourget Cedex
Tél. : 01 48 38 81 00 - Fax : 01 48 38 81 01

e.mail : LREP.DREIF@equipement.gouv.fr

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION
2	ANALYSES DE RAPPORTS LREP DE 1984
	2.1. Terre végétale + limon
	2.2. Le Travertin-de-Brie (TB)
	2.3. Les Glaises Vertes (GV)
	2.4. Les Marnes à Cyrènes (MC)
	2.5. Les Marnes de Pantin (MSG2)
	2.6. Les Marnes d'Argenteuil (MSG1)
	2.7. Le gypse 1 ^{ère} Masse (G1)
3	LE SITE DE MONTZAIGLE
4	ANALYSE DETAILLEE DES DESORDRES
	4.1. Montzaigle
	4.2. Aiguisy
5	LES SITES DE VAUJOURS
6	CONCLUSION

1 – INTRODUCTION

En 1984, les Gypses Lambert ont envisagé d'exploiter à ciel ouvert la carrière souterraine de gypse d'Aiguisy (Vaujours).

Cette nouvelle phase d'exploitation étant riveraine des installations du CEA, le Commissariat a demandé au LREP de définir les pentes de talus de la nouvelle excavation afin d'assurer la pérennité de ses installations.

Cette étude, basée sur des données géotechniques bibliographiques et notre expérience régionale, a mené à proposer la géométrie de talus suivante :

- Travertin-de-Brie : 1/2
- Glaises Vertes : 1/2
- Marnes de Pantin : 1/1
- Marnes d'Argenteuil : 1/1

Une tranchée drainante ancrée dans le Travertin-de-Brie était prévue afin d'éviter toute venue d'eau dans les talus.

Plus de 15 ans après la réalisation de l'excavation, la stabilité des talus a été globalement conservée (on note toutefois quelques loupes de glissement affectant les Glaises Vertes et consécutives aux fortes pluviométries 2000 – 2001).

Dans le cadre de la création d'une nouvelle carrière à ciel ouvert sur le site de Montzaigle (Le Pin), les gypses Lambert ont reconduit la géométrie des talus proposée par le Laboratoire. Or, le comportement des talus de cette excavation réalisée à partir de 1996 n'est en rien comparable à celui du site de Vaujours.

Dans la mesure où le périmètre du site exploitable est borné (en particulier à l'Ouest par l'A 104 et au nord par un lotissement) les gypses Lambert sont confrontés à des choix de plans de terrassements des stériles garantissant la stabilité des talus périphériques de l'exploitation en cours.

L'adoption de pentes de talus sécuritaires conduisant à une perte de la ressource, l'exploitant a missionné le LREP pour une première phase d'étude qui porte sur les points suivants :

- l'analyse des rapports du LREP établi pour la carrière d'Aiguisy (Vaujours – 1984)
- l'analyse géomorphologique comparative des sites d'Aiguisy et de Montzaigle à partir de documents cartographiques
- la visite et l'examen des deux sites réalisés par deux ingénieurs géotechniciens (Mécanique des Sols et Géologie)

La visite s'est poursuivie par un examen rapide des sites de Vaujours – Villeparisis pour lesquels les travaux de réaménagement sont également affectés par des ruptures de talus.

- la production d'un rapport de visite permettant de mettre en évidence les origines de la différence de comportement des deux sites, de proposer sommairement des remèdes simples aux désordre et de fixer les axes principaux d'études de terrain à entreprendre.

2 – ANALYSES DE RAPPORTS LREP DE 1984

Rappelons la description des terrains :

2.1. Terre végétale + limon

Il s'agit d'un sol de type brun d'épaisseur réduite : 0,30 m à 1 m maximum.

2.2. Le Travertin-de-Brie (TB)

Cette formation marno-calcaire avec présence de meulière ne se présente plus que sous une puissance résiduelle de l'ordre de 2 m suite aux phénomènes d'érosion quaternaire. De plus, localement des poches argileuses peuvent l'entamer plus ou moins profondément.

En réalité, cet horizon, bien visible sur le talus de la route stratégique est épais de 5 à 6 m (voir photo 9).

2.3. Les Glaises Vertes (GV)

Elles correspondent à un horizon argileux homogène de couleur verte dont l'épaisseur atteint 6 à 7 mètres.

2.4. Les Marnes à cyrènes (MC)

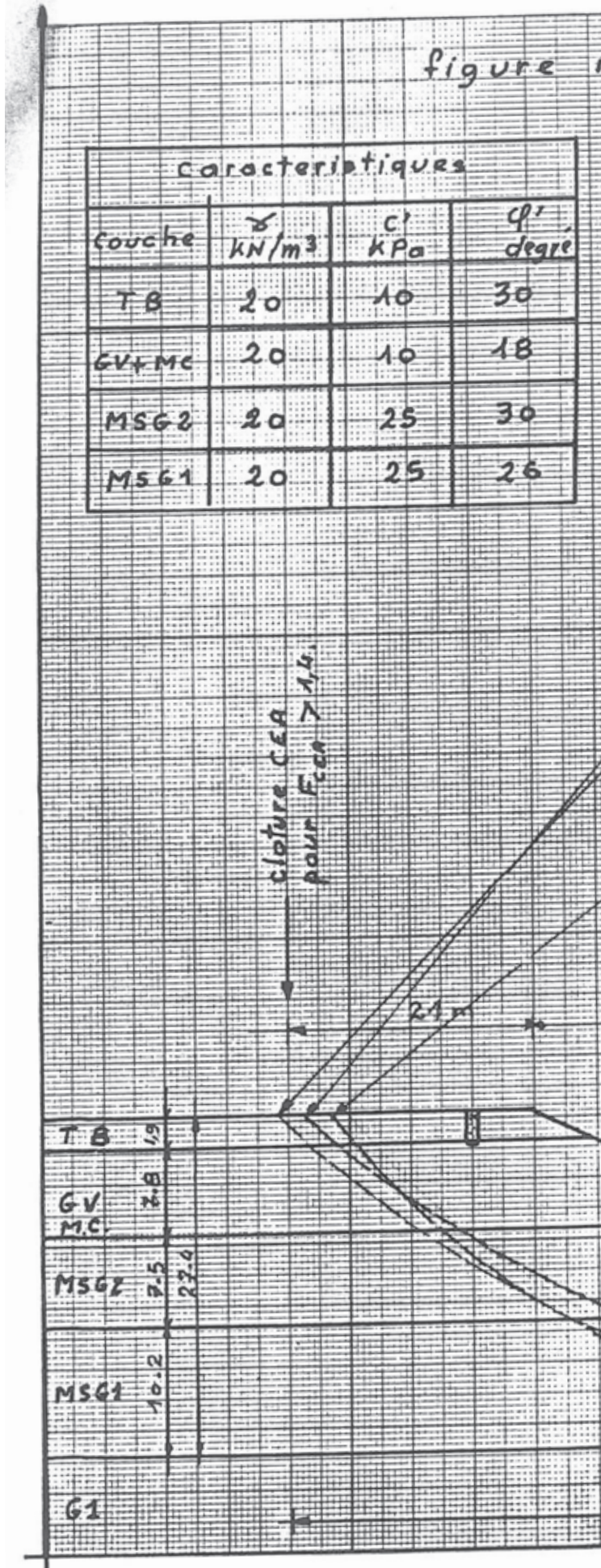
De nature sensiblement identique aux Glaises sus-jacentes, elles se distinguent par leur couleur bariolée vert, kaki et jaune et leur structure litée liée à la présence de lits silteux millimétriques. Leur épaisseur moyenne est de 1,50 – 2,00 mètres.

2.5. Les Marnes de Pantin (MSG2)

D'une puissance totale de l'ordre de 5 à 6 mètres, elles sont représentées dans leur partie supérieure par des marnes calcaires blanchâtres et dans leur partie inférieure par des marnes argileuses blanc-verdâtres.

2.6. Les Marnes d'Argenteuil (MSG1)

C'est un ensemble marneux puissant de 9 à 10 mètres constitué pour sa partie supérieure par des marnes gris-bleutées et pour sa partie inférieure par des marnes beiges entrecoupées d'un ou de deux bancs gypseux décimétriques (bancs de chien).



2.7. Le gypse 1^{ère} Masse (G1)

La puissance de cet horizon atteint ici près de 20 mètres. C'est un gypse saccharoïde de couleur blanc-jaunâtre. Au bois d'Eguisy, le gypse 1^{ère} Masse a fait l'objet d'une exploitation souterraine précisément sur les zones 2 – 3 et 5 de la carrière situées en bordure Ouest du Centre d'Etude de Vaujours.

Les caractéristiques de cisaillement des différentes couches retenues pour les calculs figurent sur le schéma ci-après.

On observe que les calculs réalisés ne concernaient que la stabilité au grand glissement qui, seule, intéressait le CEA ; les ruptures n'intéressant que les Glaises Vertes, voire les Marnes de Pantin, n'avaient pas été relevées.

La structure horizontale des couches est confirmée par la visite du site effectuée en mars 2001.

La présence d'une nappe dont le toit est constitué par les Glaises Vertes imperméables est classique.

3 – LE SITE DE MONTZAIGLE

Sur le plan stratigraphique, nous disposons d'un log stratigraphique-type (forage LPV1) issu d'un enregistrement RAN particulièrement peu contrasté qui en limite une fine interprétation.

En première approximation, les épaisseurs des couches sont similaires à celles d'Aiguisy ; on peut penser que le Travertin est moins épais (< 2 m) et disparaît totalement dans la partie Est du site.

Sur le plan géomorphologique, les différences fondamentales entre les deux sites résident dans le fait que le site de Montzaigle est situé sur le flanc d'un versant dont la couverture de Travertin-de-Brie est faible voire nulle tandis que le site d'Aiguisy – prolongement d'exploitation entamant largement le massif de l'Aulnaye – intéresse le Plateau protégé par un épais Travertin.

Dans le cadre d'une étude spécifique de talus de déblai intéressant les Glaises Vertes (interconnexion TGV), nous avons proposé des valeurs de cohésion c' variant en fonction de la position du site par rapport au plateau ; de fait, on note une chute notable de la pression limite qui, sous fort recouvrement de Travertin, est de l'ordre de 1,5 MPa et passe à des valeurs inférieures à 0,7 MPa en milieu de versant.

- zone de Plateau ($1,2 < Pl < 1,5$ MPa), $c' = 10$ kPa
- tête de versant $c' = 5$ kPa

- versant $c' = 0$

On notera que la référence au pressiomètre est utilisé ici, dans un objectif de corrélation.

Dans notre cas, eu égard à une mauvaise protection des argiles vis-à-vis de l'eau une valeur de cohésion nulle est à retenir.

En considérant un angle de frottement à long terme - ϕ' – constant (18 à 20°), le passage d'une cohésion de 10 kPa à 0, pour des talus de même pente (1/2), mène à la rupture des talus.

4 – ANALYSE DETAILLÉE DES DESORDRES

Nous appuierons nos descriptions sur des photographies positionnées sur des documents géométriques.

Des remèdes simples seront proposés.

4.1. Montzaigle

Photos 1 et 2 bis : rupture de talus dans les Marnes de Pantin

Origine : moitié inférieure des Marnes de Pantin à faciès argileux, présence d'eau

Remède : capter les eaux en crête, pente de talus dans la moitié inférieure à 1/2

Photo 2 : fossé non débouchant (infiltration des eaux météoriques, idem côté A 104), merlon de terre surchargeant le talus

Remède : comblement du fossé avec les terres compactées du merlon.

Photo 3 : coulée des Glaises Vertes sur une plateforme de Marnes de Pantin

Les Glaises Vertes ont été imbibées en masse par l'eau de la crête.

Remède : - idem photo 2

- végétaliser le talus (la photo 2 bis souligne l'efficacité du procédé)

La plate- forme en Marnes de Pantin est gorgée d'eau qui, de surcroît, ne peut s'évacuer en raison du merlon situé à l'aval (photo 4) dont l'utilité des discutables ce qui réduit la stabilité des couches inférieures.

Photos 4 et 5 : rupture généralisée des Glaises Vertes ; cette couche est à l'affleurement et aucun captage des eaux n'est réalisé ; la cohésion de ce massif argileux étant proche de zéro, à équilibre $tg\beta = tg\varphi' = 0,36$ soit 1/2,7 à comparer à la pente retenue ($\beta = 1/2$)

Remède : fossé captant doté d'une pente d'au moins 2 % (nécessité de réaliser plusieurs descentes d'eau sous peine de réaliser des tranchées profondes difficiles à entretenir.

- déboiser au dernier moment (maintenir l'évapotranspiration et le renforcement dû aux racines utiles quand $F \cong 1$).
- ces mesures peuvent s'avérer insuffisantes ; la mise en place d'un masque stabilisateur peut s'avérer nécessaire pour conserver des talus pentus. Le seul matériau utilisable sur le site serait les Marnes de Pantin à traiter à la chaux vive et éventuellement au ciment.

Compte tenu des enjeux, cette solution demanderait une étude élaborée à réaliser en collaboration avec une entreprise de terrassement spécialisée.

Globalement, la protection des sols argileux vis-à-vis des eaux a été occultée voire mal adaptée ; c'est, sans nul doute une des conclusions à retenir de notre visite du site de Montzaigle. De plus, la transposition du profil d'Aiguisy au site du Pin est difficile eu égard à l'environnement géomorphologique plus défavorable (cohésion moindre, voire nulle des Glaises Vertes de Montzaigle).

De plus, l'étude du LREP de 1984 était destinée à évaluer la stabilité globale du talus vis-à-vis des installations (grand glissement) et non la stabilité locale des Glaises Vertes.

4.2. Aiguisy (Vaujours – CEA)

On notera que seul le site Est a été dressé selon les propositions du LREP avec deux adaptations dont les effets peuvent se compenser :

- absence de tranchée drainante à l'interface Travertin/Glaisses Vertes
- risberme large de quelques mètres au contact Glaises Vertes/Marnes de Pantin.

La photo 7 illustre le comportement globalement satisfaisant de ce talus de 15 ans d'âge (noter la végétalisation plus ou moins naturelle de la partie supérieure de talus (Travertin-de-Brie et Glaises Vertes).

La photo 8 souligne cependant des ruptures localisées dans les Glaises Vertes, non drainées, sans conséquence sur la stabilité au grand glissement qui serait préjudiciable aux installations du CEA.

La photo 9 concerne le talus Sud dont nous ne connaissons pas la géométrie initiale. On observe que la rupture du talus de Glaises Vertes a dégradé le Travertin dont la pente de talus est actuellement subverticale (épaisseur de l'ordre de 5 m).

Malgré les récentes conditions pluviométriques très défavorables, le site ne présente pas de signe d'instabilité inquiétante au-delà de l'emprise de l'exploitation. La proximité de la route stratégique nécessitera cependant une surveillance du site.

5 – LES SITES DE VAUJOURS

La visite de ces sites n'était pas prévue initialement ; il s'agit d'anciennes exploitations, en cours de réhabilitation dont le site sera, à terme, ouvert au public.

On observe l'existence de plusieurs ruptures de talus récemment reprofilés et végétalisés dressés selon des pentes de l'ordre de 1/3.

Ces terres argileuses n'ayant pas été compactées, on peut leur attribuer des « caractéristiques résiduelles » ($c' = 0$, $\varphi' = 15^\circ$ selon la plupart des auteurs). En conséquence, pour obtenir $F \cong 1$, il conviendrait de dresser des talus selon une pente $\beta \cong tg^{-1} \varphi' \cong 1/4$.

En présence d'eau due essentiellement à l'absence de compactage, des talus instables dressés à 1/5 voire 1/6 ont déjà été observés (assimilés à des « coulées boueuses »).

6 – CONCLUSION

Plusieurs causes sont à l'origine des différents désordres observés sur les sites :

- absence de protection des talus argileux vis-à-vis des eaux
- caractéristiques de cisaillement des sols argileux non transposables d'un site à l'autre eu égard à leur position géomorphologique différente.

A l'instar de l'étude de 1984, il ne paraît pas nécessaire, a priori, de réaliser une reconnaissance géotechnique « classique » basée sur des sondages et des essais de laboratoire.

Il apparaît plus réaliste de baser la suite éventuelle de notre mission sur une approche pragmatique basée sur l'observation de la « vie du site ».

Il s'agira essentiellement :

- d'adopter une stratégie visant à limiter l'alimentation en eau des sols argileux (réduction de la pression interstitielle).
- d'adapter la géométrie des talus aux caractéristiques de cisaillement présumées des horizons instables
- de mettre en œuvre des masques stabilisateurs dans le cas où éventuellement, des talus plus pentus que la nature ne l'autorise seraient nécessaires.

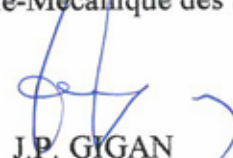
Dossier établi par A. HIRSCHAUER et S. FAUCHET

Le Chef de la Section
"Géologie"



A. HIRSCHAUER

Le Directeur du Laboratoire
par délégation
Le Chef du Groupe
"Géologie-Mécanique des Sols"



J.P. GIGAN

ANNEXES

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES PLAN DE SITUATION DES PHOTOS

Carrières LAMBERT de Vaujours et du Pin
Stabilité des talus – 1^{ère} phase d'étude
LREP – Affaire n° 2.0.16691 – avril 2001



PHOTO 1 : Site de Montzaigle
Rupture de talus dans les Marnes de Pantin



PHOTO 2 : Site de Montzaigle
Crête de l'exploitation – Merlon et fossé de tête

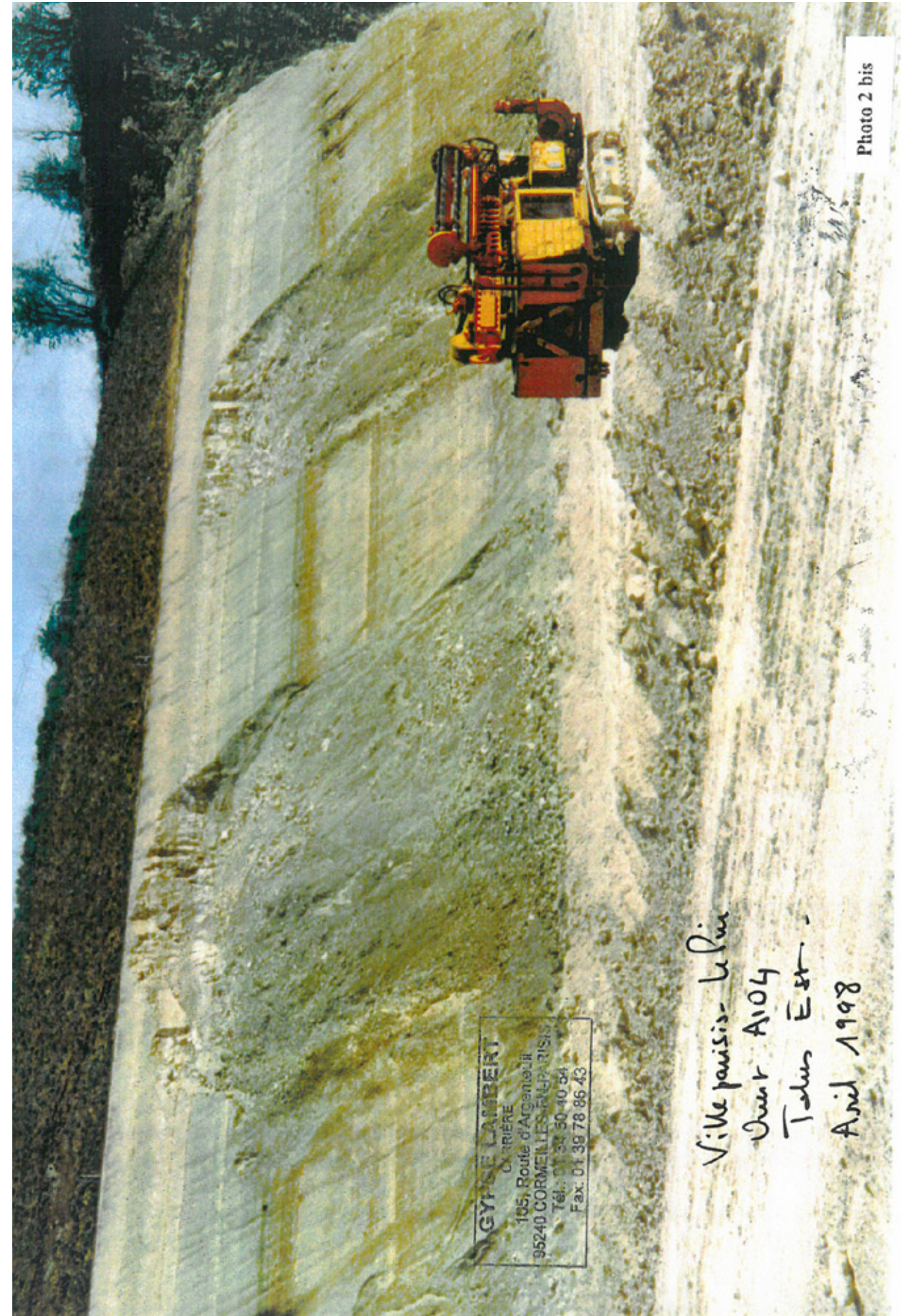




PHOTO 3 : Site de Montzaigle
Plateforme de Marnes de Pantin – Coulées d'Argiles Vertes
Présence d'eau à noter



PHOTO 4 : Ruptures généralisées des talus
(Argiles Vertes – Marnes de Pantin)



PHOTO 5 : Site de Montzaigle
Ruptures généralisées



PHOTO 6 : Site de Montzaigle
Vue générale – Ruptures locales dans les Marnes de Pantin
au-dessus des entrées en cavage



PHOTO 7 : Site d'Aiguisy (CEA)
Vue générale du talus Est



PHOTO 9 : Site d'Aiguisy
Talus Sud – ruptures régressives affectant le Travertin-de-Brie



PHOTO 8 : Site d'Aiguisy
Rupture localisée dans les Glaises Vertes



PHOTO 10 : Site d'Aiguisy
Vue latérale du talus Sud
Noter l'emplacement des entrées en cavage dû aux coulées d'Argile Verte



Direction
Régionale de
l'Équipement

Ile-de-France

Laboratoire
Régional
de l'Est Parisien

Le Bourget, le 1er octobre 2001

Groupe "Géologie-Mécanique des Sols"

**CARRIERE DE GYPSE
DE MONTZAIGLE**

Etude de la stabilité des talus

**2ème phase
annexe au rapport principal**

Affaires n° : 2.1.16858

DEMANDEUR :
GYPSE LAMBERT
105, route d'Argenteuil
95240 CORMEILLE EN PARISIS
Mr ARMANGE

DESTINATAIRES :

M. ARMENGUE	2 ex.
classement Archives	1 ex.
Classement Groupe	2 ex.

LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES DE L'EST PARISIEN

319, av. Georges Clémenceau - BP 505
Vaux-le-Pénil - 77015 Melun Cedex
Tél. : 01 60 56 64 00 - Fax : 01 60 56 64 01



Rue de l'Égalité Prolongée - BP 134
93352 Le Bourget Cedex
Tél. : 01 48 38 81 00 - Fax : 01 48 38 81 01

e.mail : LREP.CREIF@equipement.gouv.fr

Rappel de la justification des recommandations du rapport principal « 2nd phase »

Les préconisations du rapport principal « 2nd phase » ont été établies en considérant la géométrie type du site, à savoir 2m de Travertin de Brie, 8m d'Argiles Vertes et Marnes à Cyrènes aux caractéristiques dégradées ($C' = 0$ kPa, $\phi' = 18^\circ$), 6m de Marnes de Pantin et 10m de Marnes d'Argenteuil.

Cette géométrie type a été définie en considérant les zones les plus critiques sur le terrain afin de pouvoir étendre les résultats du calcul au site dans son ensemble.

En l'absence de mesures précises sur le terrain, il ne nous a pas été non plus possible d'adopter des caractéristiques mécaniques de sol plus élevées.

Par contre, nous avons fait l'hypothèse favorable et réaliste que la stabilité des excavations n'était pénalisée par aucune action de l'eau, que cela soit au niveau du ruissellement de surface ou de l'action de la nappe.

Dans ces conditions, nous recommandons les pentes de talus suivantes, applicables à l'ensemble du site :

- | | |
|--|----------|
| - Travertin de Brie (si existant) : | 1V/2H, |
| - Glaises Vertes et Marnes à Cyrènes : | 1V/3.5H, |
| - Marnes de Pantin : | 1V/1H, |
| - Marnes d'Argenteuil : | 1V/1H, |

Une telle géométrie permet ainsi de rester proche d'un coefficient de sécurité au glissement de 1.3.

Limite des calculs et compléments d'étude permettant de préciser les études de stabilité

Toutefois, dans le cas où une analyse locale de la géologie permettrait de valider une coupe géologique plus favorable et/ou que des essais de sol permettraient de justifier de caractéristiques de sols supérieures, il devrait être possible d'adopter des pentes de talus plus raides que 1V/3.5H.

A titre informatif, des calculs supplémentaires de coefficient de stabilité ont été menés en considérant dans les argiles vertes $C'=5$ kPa et $\phi'=18^\circ$ avec deux géométries de talus des Argiles Vertes, à 1V/2H et 1V/3H.

La même hypothèse hydraulique a été reconduite, à savoir que la stabilité des excavations n'était pénalisée par aucune action de l'eau, que cela soit au niveau du ruissellement de surface ou de l'action de la nappe.

En première approche, ces calculs montrent qu'une pente de 1V/3H dans les Argiles Vertes assure la stabilité des excavations, alors qu'une pente de 1V/2H ne le permet pas, conformément à ce qui a été constaté sur le site.

Le cas échéant, les coefficients de sécurité obtenus devront être précisés par une phase de calcul complète.

En résumé, les calculs réalisés lors du rapport précédent avaient utilisé des caractéristiques régionales minimales. Une campagne d'essais sur place pourrait permettre de mieux caractériser les Argiles Vertes et peut-être d'affiner la géométrie des talus.

Rapport rédigé par F. DEBORTOLI. et A.HIRSCHAUER

Le Chef de la Section
"Mécanique des Sols"



S. FAUCHET

Le Directeur du Laboratoire
Par délégation
Le Chef du Groupe
"Géologie-Mécanique des Sols"



J.P. GIGAN

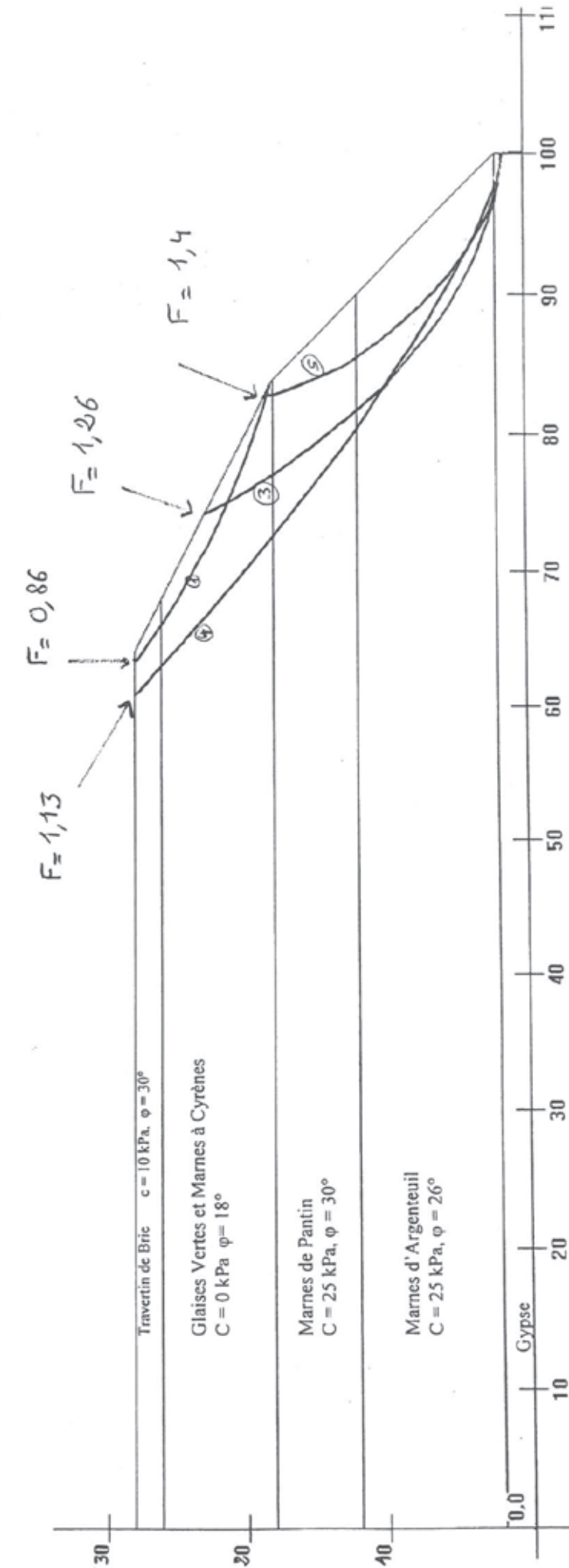
Annexe 1

Calcul de stabilité de talus

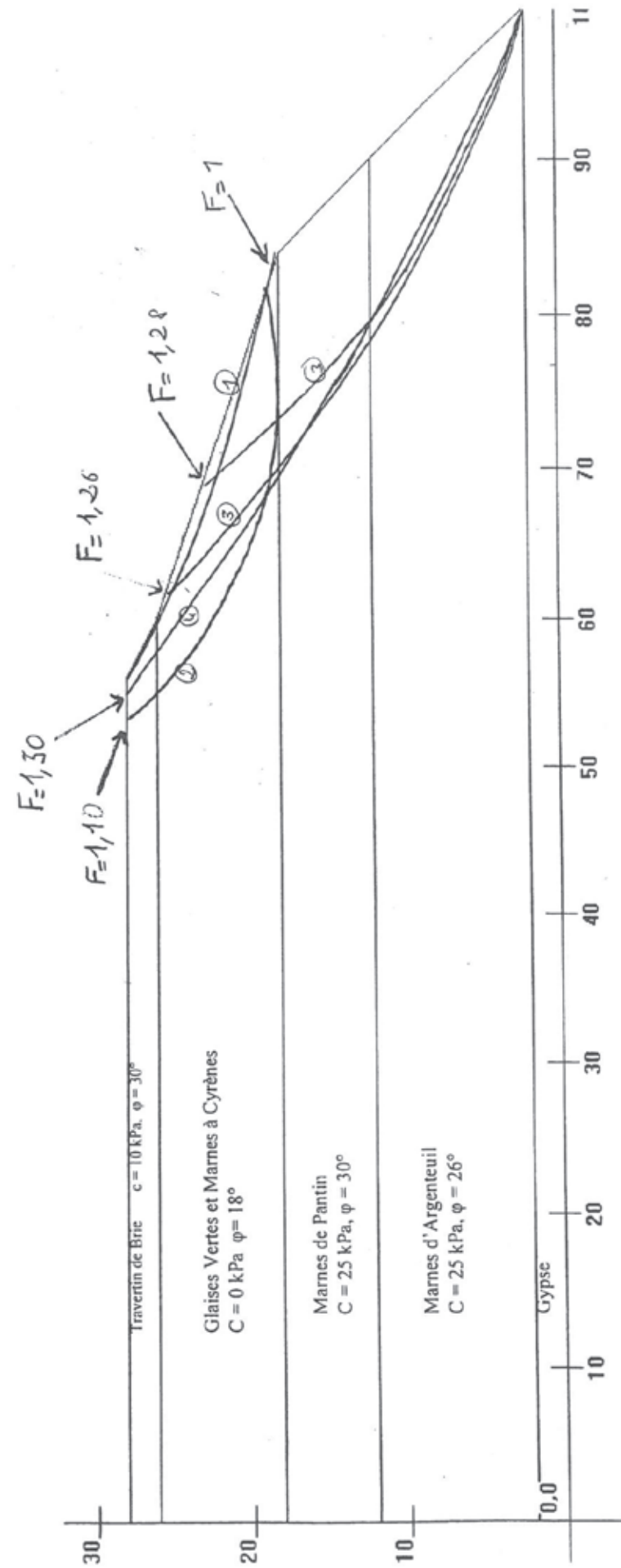
Présentation des Coupe types et des coefficients de sécurité

Glaises Vertes talutées à 1V/2H ou 1V/3H
Caractéristiques Glaises Vertes : $C'=0$ kPa, $\phi'=18^\circ$

Profil avec Glaises vertes talutées à 1V/2H et couche de Travertin de Brie



Profil avec Glaises vertes talutées à 1V/3H et couche de Travertin de Brie



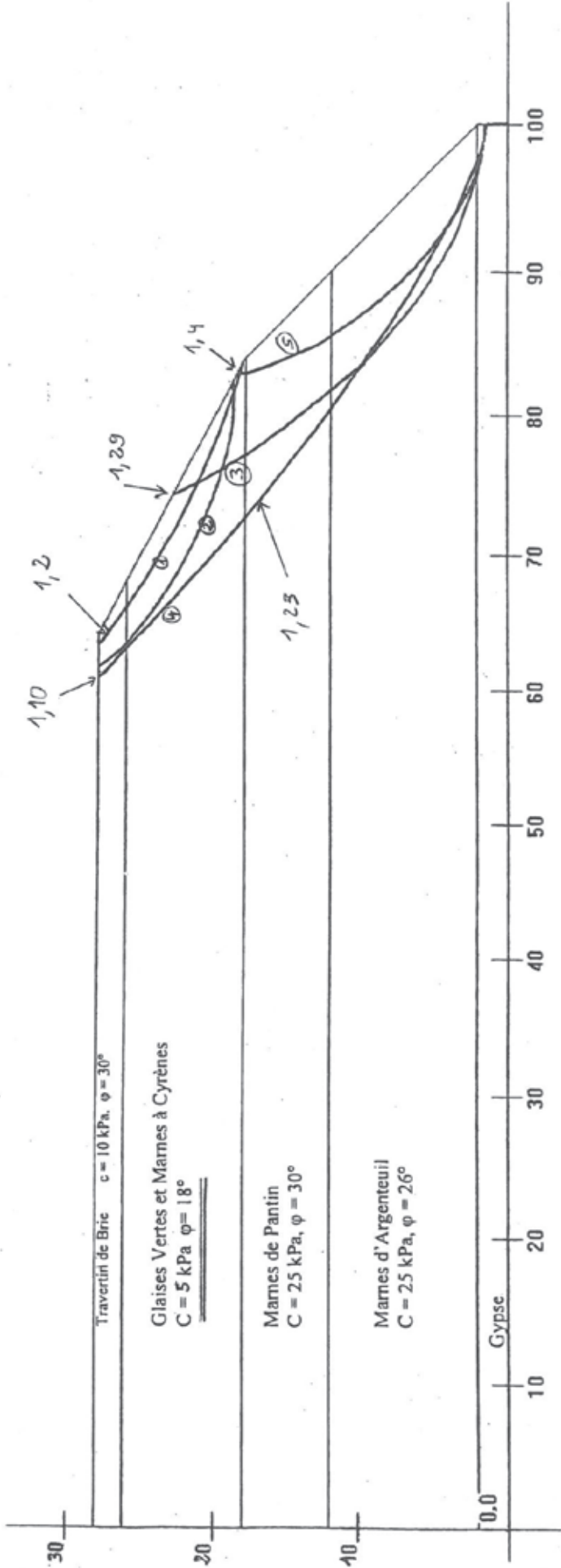
Annexe 2

Calcul de stabilité de talus

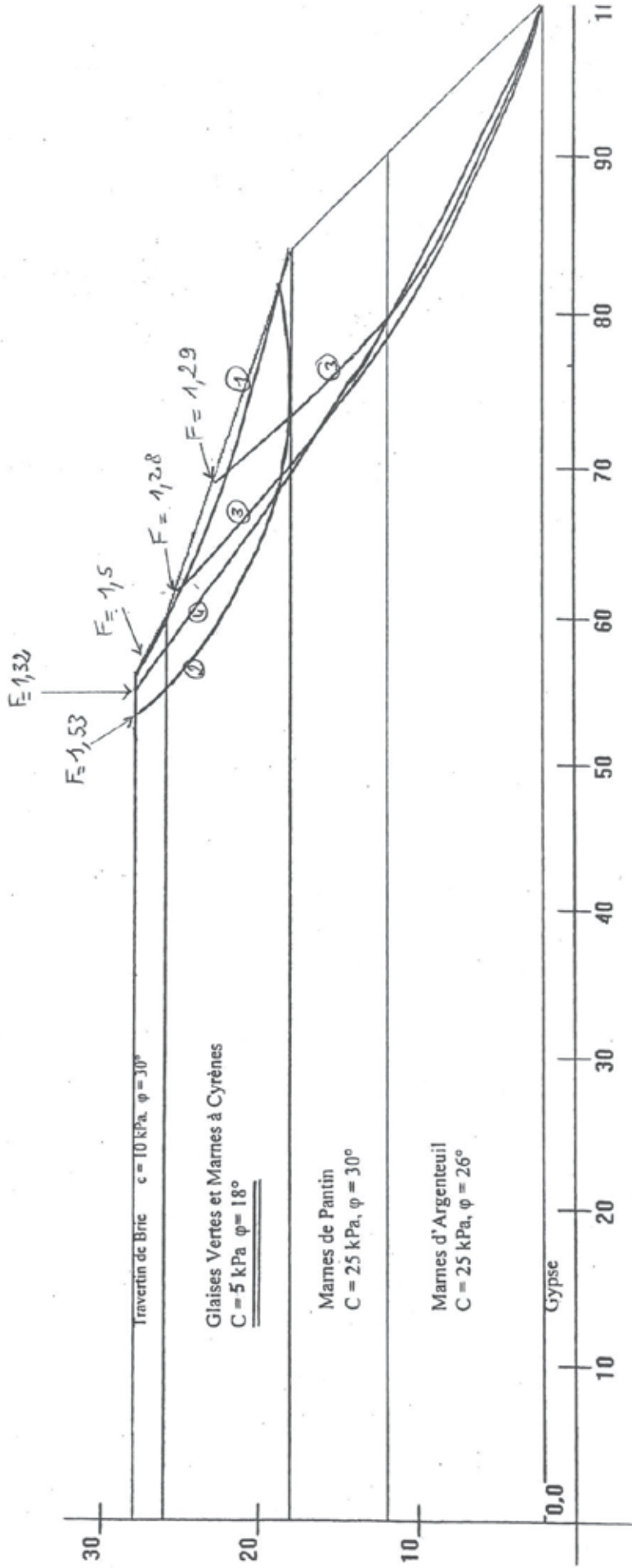
Présentation des Coupe types et des coefficients de sécurité

Glaises Vertes talutées à 1V/2H ou 1V/3H
Caractéristiques Glaises Vertes : $C' = 5 \text{ kPa}$, $\phi' = 18^\circ$

Profil avec Glaises vertes talutées à 1V/2H et couche de Travertin de Brie



Profil avec Glaises vertes talutées à 1V/3H et couche de Travertin de Brie



ANNEXE 3 - RECOMMANDATIONS POUR LA TRANSFORMATION DES VIEUX CAVAGES NORD ET OUEST (BG)

RECOMMANDATIONS POUR LA TRANSFORMATION DES VIEUX CAVAGES NORD

NOTE TECHNIQUE

1. Contexte

Placoplatre souhaite exploiter un secteur situé à l'Ouest et sous le fort de Vaujours, partiellement exploité par le passé en souterrain puis à ciel ouvert (fosse d'Aiguisy). La Figure 1 présente les différents périmètres du projet.



Figure 1 : carte des différents périmètres du projet

Dans le cadre de l'élaboration du dossier de demande d'exploitation, il est prévu un certain nombre de mesures compensatoires pour la faune locale. Parmi elles, il est prévu de conserver un cheminement laissé vide dans les cavages Nord de l'ancienne carrière pour servir de nichoirs et de lieu de reproduction aux chiroptères.

BG a été sollicité pour rédiger une note visant à fournir des recommandations en vue de la pérennisation de ces vides et leur mise en sécurité pendant la durée de l'exploitation (environ 30 ans).

Une visite de ces vieux cavages a été réalisée le 23 juillet par François Martin (BG) et Eric Royer (Placoplatre).

2. État général des vieux cavages

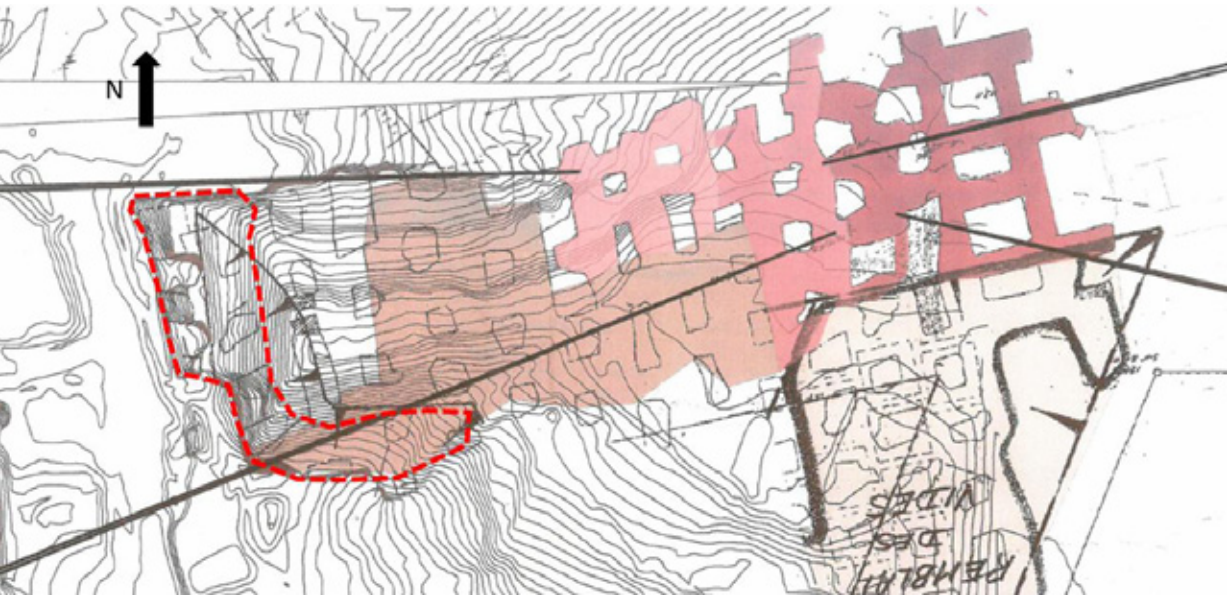


Figure 2 : Plan des vieux cavages Nord. En pointillés les zones les plus altérées et endommagées.

Les piliers des anciens cavages Nord sont globalement en bon état malgré quelques signes de vieillissement. Seuls les piliers en bordure Ouest et Sud-Ouest présentent des signes d'altération et d'endommagement du fait de leur proximité avec l'extérieur. La partie sud est partiellement remblayée. Plus en profondeur, seuls quelques blocs au sol témoignent d'une dégradation progressive, lente mais normale des coins de pilier.

Les toits de l'ancienne carrière semblent être en plus mauvais état que les piliers. Des plaques de gypse ont localement chuté au sol depuis la fin de l'exploitation. La faible hauteur de couverture des terrains ne joue pas en faveur du confinement et donc de la stabilité à long terme de ces planches au toit. L'inspection visuelle des toits ne peut être que partielle dans la mesure où il est actuellement impossible de s'en rapprocher.

La carrière est sèche ce qui signifie que les marnes sus-jacentes sont en bon état et jouent pleinement leur rôle de couche imperméable.

3. Recommandations

Compte-tenu des observations précédentes, le maintien de vides dans les vieux cavages Nord est possible sous certaines conditions.

Les toits devront être inspectés régulièrement et, le cas échéant, pourront nécessiter des confortements complémentaires ou une condamnation locale du passage. L'état actuel de la carrière ne permet pas d'inspecter facilement et rapidement les toits. Il conviendra donc de procéder à un remblaiement partiel

des vides, pour laisser une hauteur entre sol et toit d'environ 5 mètres maximum. Ce remblaiement permettra également de stabiliser à long terme la base des piliers et le processus de vieillissement. Il sera favorable à la stabilité d'ensemble du secteur.

Des inspections biannuelles permettront de détecter les zones évolutives et évaluer la vitesse de vieillissement des vides.

Les inspections géotechniques biannuelles préconisées s'inscrivent complètement dans la logique de suivi post-exploitation. Ces visites devront être réalisées par un ingénieur d'exploitation Placoplatre ou un ingénieur géotechnicien justifiant de suffisamment d'expérience en carrière souterraine. La fréquence de ces visites pourra être adaptée selon l'évolution de la situation.

Les rapports de visite devront contenir a minima les points suivants :

- Synthèse des points de vigilance précédents (rapports antérieurs) ;
- Inspection de la zone d'entrée (tympa, talus, état de la galerie à l'entrée) ;
- Inspection des toits (bombements, fissures, chutes de plaquettes, venues d'eau) ;
- Inspection de la partie haute et de la face visible des piliers sur la base d'une échelle de dégradation progressive (dégradation des coins, puis du parement, fissuration et chutes de blocs) ;
- Recommandations pour assurer la pérennité de la galerie (mise à jour de la fréquence de suivi, besoin en visite d'expert extérieur, travaux à prévoir...)

Le tracé de la galerie pour chiroptères devra être confirmé postérieurement à la première inspection des toits afin d'éviter le plus de zones sensibles.

Enfin les deux rangées de pilier situées les plus à l'Ouest, de par leur niveau d'altération avancé, devront être soit rasées soit complètement remblayées. Le tympan et les premiers mètres de la future entrée de la carrière devront également être correctement confortés.

VERSION	a	
DOCUMENT	6784.13-RN001	6784.13-RN001
DATE	21 septembre 2018	18 novembre 2020
ELABORATION	François MARTIN	François MARTIN
VISA	Emmanuel RIGAUD	Emmanuel RIGAUD
COLLABORATION		
DISTRIBUTION	Placo (1 ex) BG (1 ex)	Placo (1 ex) BG (1 ex)

PLACOPLATRE SAINT-GOBAIN

PROJET DE CARRIÈRE AU BOIS D'AIGUISY

RECOMMANDATIONS POUR LA TRANSFORMATION DES VIEUX CAVAGES OUEST

NOTE TECHNIQUE

1. Contexte

Placoplatre souhaite exploiter un secteur situé à l'Ouest et sous le fort de Vaujours, partiellement exploité par le passé en souterrain puis à ciel ouvert (fosse d'Aiguisy). La Figure 1 présente les différents périmètres du projet.

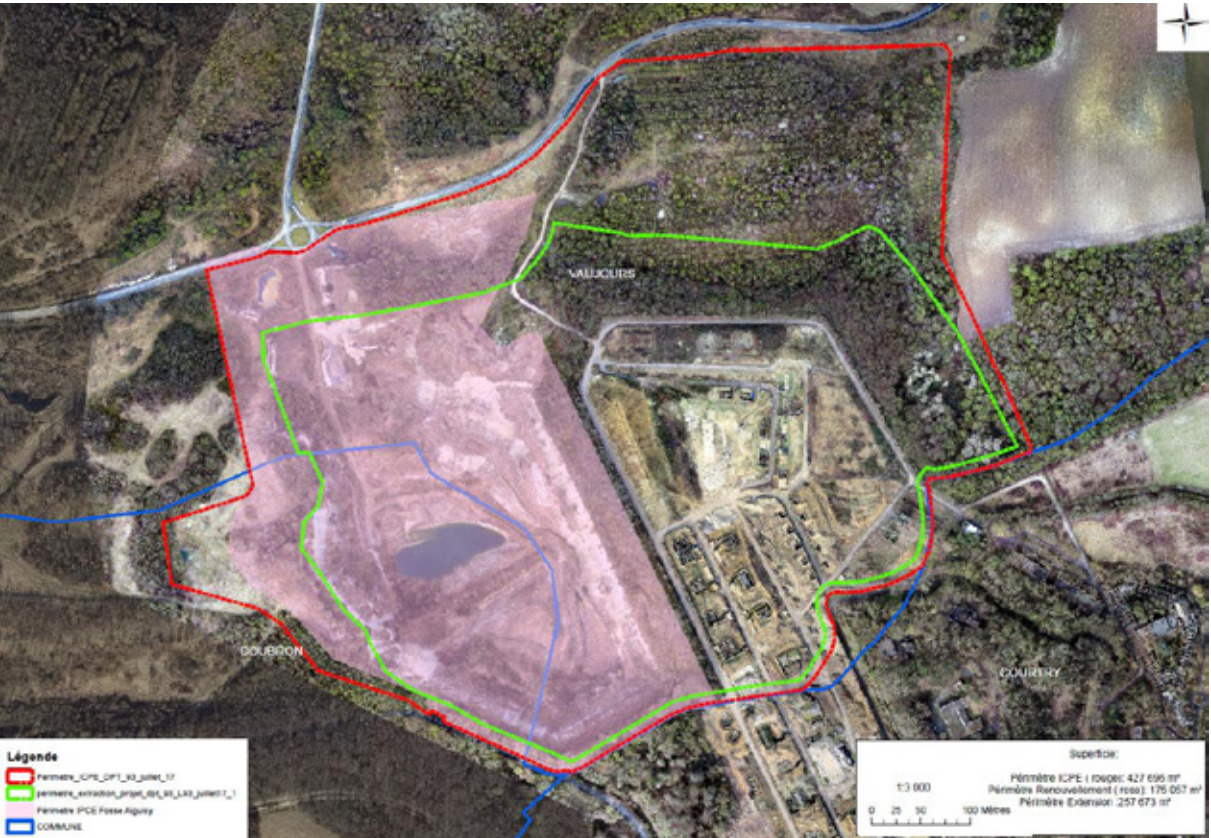


Figure 1 : carte des différents périmètres du projet

Dans le cadre de l'élaboration du dossier de demande d'exploitation, il est prévu un certain nombre de mesures compensatoires pour la faune locale. Parmi elles, il est prévu de conserver un certain nombre de cavités souterraines pour les chiroptères. Une partie des anciennes carrières souterraines doit être conservée : il s'agit des vieux cavages Nord et Ouest. Les vieux cavages Nord ont été visités par BG

en juillet 2018 et ont fait l'objet d'un rapport de visite (6784.13-RN001). Lors de la visite de 2018, les vieux cavages Ouest n'avaient pas été inspectés.

BG a ainsi été sollicité pour rédiger une note visant à fournir des recommandations en vue de la pérennisation des vides situés à l'Ouest et leur mise en sécurité pendant la durée de l'exploitation (environ 30 ans). Une visite de ces vieux cavages a été réalisée le 17 février 2020 par François Martin (BG), Eric Royer (Placoplatre) et Damien Garçon (Placoplatre).

2. État général des vieux cavages



Figure 2 : Plan indicatif des vieux cavages Ouest. En orange les zones qui seront conservées et en transparent les zones qui seront remblayées.

Seule la partie Nord des vieux cavages Ouest sera conservée, comme illustré sur la Figure 2. Le reste sera remblayé.

La carrière est sèche ce qui signifie que les marnes sus-jacentes sont en bon état et jouent pleinement leur rôle de couche imperméable.

Les piliers sont larges comparativement aux piliers des autres carrières souterraines du secteur, et la géométrie des chambres est triangulaire, favorisant une bonne répartition et une bonne diffusion des contraintes issues du poids des terres sus-jacentes. Les toits ont été tracés de manière régulière et avec des portées bien maîtrisées (pas de hors-profils observés).

Localement, des vides de dissolution karstique traversent les piliers et ont localement occasionné quelques instabilités lors du creusement. Mais ces vides ont été créés à la faveur de fractures verticales qui n'ont pas évolué depuis la période d'exploitation. En d'autres termes, ces zones n'ont pas engendré de désordres évolutifs jusqu'à ce jour.

Le cheminement dans la carrière se fait sur des matériaux de remblais, mis en place sur des hauteurs variables selon l'emplacement.

Le secteur Nord visité est dans un très bon état de conservation (Figure 3 et Figure 5). Les piliers et les toits ne présentent pas de signes d'évolutions à l'exception de la première allée, proche du front actuel de la carrière. Cette dernière est en effet soumise aux altérations climatiques, ainsi qu'au déconfinement du rocher généré par la présence de la fosse (Figure 4). Les piliers et les toits sont à cet endroit dans un état d'endommagement et d'altération avancé.



Figure 3 : Vue des piliers et du toit des vieux cavages Ouest au niveau de l'allée K



Figure 4 : Base d'un pilier de la première allée, soumis aux altérations climatiques



Figure 5 : Toits de la carrière entre les repères F et H

3. Recommandations

La première allée parallèle au front de la carrière devra être partiellement remblayée pour conforter la base des piliers et accéder plus facilement au toit si des confortements doivent être installés (hauteur résiduelle de 4 à 5 m). Le reste de la carrière peut être laissé en l'état car aucun signe de vieillissement et de d'endommagement n'a été détecté.

Un cheminement piéton au sol permettra de réaliser des inspections régulières afin de confirmer l'absence d'évolution sur plusieurs années. Une visite tous les deux ans est conseillée.

Les tirs à l'explosif réalisés dans la nouvelle exploitation à ciel ouvert, à l'Est de la fosse, seront situés à environ 300 m des vieux cavages Ouest, dans la première masse de gypse uniquement. Les vibrations

solidiennes qui arriveront jusqu'aux cavages Ouest devront donc traverser la fosse remblayée, et seront fortement atténuées. Compte-tenu du bon état de conservation de ces vieux cavages, BG estime que les tirs n'auront aucun impact sur la stabilité des vieux vides.

VERSION	a	
DOCUMENT	200030.14-RN001	200030.14-RN001
DATE	20 février 2020	24 février 2020
ELABORATION	François MARTIN	François MARTIN
VISA	Emmanuel RIGAUD	Emmanuel RIGAUD
COLLABORATION		
DISTRIBUTION	Placo (1 ex) BG (1 ex)	Placo (1 ex) BG (1 ex)

ANNEXE 4 - AVIS SUR LA STABILITÉ D'UN VERSANT DE LA FOSSE D'AIGUISY (BRGM)



Document public

Rapport d'expertise :

Avis sur la stabilité d'un versant de la Fosse d'Aiguisy (93) à la suite de phénomènes de glissements de terrain

BRGM/RP-69293-FR
Septembre 2019

Cadre de l'expertise :

Appuis aux administrations ☒ Appuis à la police de l'eau ☐

Date de réalisation de l'expertise : le 22 août 2019

Localisation géographique du sujet de l'expertise : Ile-de-France, Seine-Saint-Denis, Vaujours, Coubron, Fosse d'Aiguisy

Auteur BRGM : C. Myr

Demandeur : DRIEE d'Ile-de-France

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001. Contact : qualite@brgm.fr

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Aucune diffusion du présent document vers des tiers identifiés ne sera volontairement engagée par le BRGM sans notification explicite du demandeur.

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

Après examen, il est ressorti qu'il n'existait aucun lien d'intérêt :

- entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise,
- entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.

susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise.

Ce document a été vérifié et approuvé par :

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Colas B.	Nom : E. Gomez
Date : 30/09/2019	Directeur régional Ile-de-France :
Signature : 	Date : 02/10/2019
	Signature : 

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par
AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : expertise, appuis aux administrations, mouvement de terrain, glissement de terrain, marnes, argiles, carrière à ciel ouvert, gypse, Ile-de-France, Seine-Saint-Denis, Vaujours, Coubron, Fosse d'Aiguisy.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Myr C. (2019) – Avis sur la stabilité d'un versant de la fosse d'Aiguisy (93) à la suite de phénomènes de glissements de terrain. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-69293-FR. 38 p., 18 ill., 2 ann.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Sommaire

1. Introduction	5
2. Contexte général	7
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	7
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE	8
2.3. HISTORIQUE.....	11
3. Constat.....	17
4. Diagnostic.....	25
5. Risque résiduel.....	27
6. Recommandations	29
7. Bibliographie	31
8. Annexes	33

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation de la fosse d'Aiguisy sur le scan25 de l'IGN (www.infoterre.brgm.fr)	7
Illustration 2 : Parcelles concernées par les phénomènes sur l'orthophographie de l'IGN et le fond de plan cadastral (www.infoterre.brgm.fr)	8
Illustration 3 : Extrait de la carte géologique de France au 1/50 000, feuille de Lagny (n°184) (source : BRGM).....	10
Illustration 4 : Indices de cavités recensés sur le secteur dans la base de données nationale des cavités (www.infoterre.brm.fr)	12
Illustration 5 : Aléa retrait-gonflement des argiles dans le secteur de la fosse d'Aiguisy (93) (www.georisques.gouv.fr)	13
Illustration 6 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Vaujours (www.georisques.gouv.fr)	14
Illustration 7 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Coubron (www.georisques.gouv.fr).....	15
Illustration 8 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Courtry (www.georisques.gouv.fr)	16
Illustration 9 : Ancienne galerie de la carrière souterraine de gypse.....	17
Illustration 10 : Exemples d'instabilités observés sur le front de taille (Première Masse de gypse), géologie approximative d'après la photographie faite d'accès direct au versant	18
Illustration 11 : Zone du glissement de terrain dans les argiles et marnes sus-jacentes à la Première Masse de gypse (phénomène 1).....	19
Illustration 12 : Fissures sur la route stratégique D129, sur la voie la plus éloignée de la fosse d'Aiguisy	20
Illustration 13 : Photographie annotée de la fosse d'Aiguisy.....	21
Illustration 14 : Coupe schématique du versant après chaque événement.....	22
Illustration 15 : Photographie annotée des deux zones de glissement dans la fosse d'Aiguisy	23
Illustration 16 : Carte postale d'une ancienne carrière de gypse à ciel ouvert. La carrière des Lilas (source IGC)	25
Illustration 17 : Extrait 1 du rapport technique du PPR relatif aux carrières des Lilas décrivant les prédispositions de ce type d'exploitations aux glissements de terrain (source IGC).....	26
Illustration 18 : Extrait 2 du rapport technique du PPR relatif aux carrières des Lilas définissant les niveaux d'aléas retenus dans le cadre de ce PPR (source IGC)	26

1. Introduction

La DRIEE d'Ile-de-France a sollicité le 20 août 2019 le BRGM pour réaliser un diagnostic de risques suite à l'apparition de phénomènes de glissements de terrain, constatés depuis 2017 par l'exploitant de la fosse d'Aiguisy, sur le territoire des communes de Vaujours et Coubron (93). Le bureau d'études BG a été mandaté par l'exploitant pour réaliser un diagnostic de stabilité du site. Un rapport succinct avec les principales recommandations a été réalisé par BG en août 2019. Les objectifs de la mission sont les suivants :

- Identifier si possible la cause des instabilités constatées ;
- Evaluer le niveau de risques résiduels ;
- Donner un avis sur les conclusions du bureau d'études BG et si besoin établir des recommandations complémentaires en matière de sécurisation.

Ce diagnostic a été établi par un intervenant du BRGM Normandie. Il s'appuie sur des observations visuelles effectuées lors d'une visite du site réalisée le 22 août 2019, en présence notamment de représentants de la DRIEE d'Ile-de-France ainsi que de représentants de la société exploitante de la fosse d'Aiguisy. En complément, une analyse des informations disponibles relatives au contexte général est menée au travers de la consultation des bases de données accessibles.

Au-delà, l'expertise s'est appuyée sur la consultation des documents suivants :

- L'arrêté préfectoral n°2019-1937 du 18 juillet 2019 de mise en demeure à l'encontre de la société PLACOPLATRE ;
- Un courrier de compte-rendu de l'inspection du 7 août 2019 réalisé par la DRIEE daté du 8 août 2019 à destination de la Préfecture ;
- Le rapport du bureau d'études BG, concernant la stabilité du talus sud-ouest en aval de la RD 129, du 9 août 2019.

Un débriefing de l'expertise a été réalisé à l'issue de la visite, au cours duquel les principales mesures de sécurisation recommandées ont été formulées aux participants. Ces mesures ont par ailleurs fait l'objet d'un message électronique transmis à la DRIEE le 27 août 2019 (cf. annexe).

L'expertise s'inscrit dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations menées par le BRGM au titre de l'année 2019.

Ce rapport d'expertise ne constitue pas une étude géotechnique de détail mais pointe les éléments pouvant porter atteinte à la sécurité des personnes en particulier et des biens au droit du site expertisé. Il vise également à apporter les premières recommandations en matière de sécurisation, sur la base du diagnostic établi, recommandations qui ont pour partie au moins vocation à être complétées/précisées dans le cadre d'études complémentaires spécifiques.

2. Contexte général

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Deux phénomènes de glissements de terrain se sont produits sur la fosse d'Aiguisy, sise sur les communes de Vaujours et Coubron (93) au niveau des parcelles OA 117, 118 et 119 sur la commune de Coubron (Illustration 1 et Illustration 2).

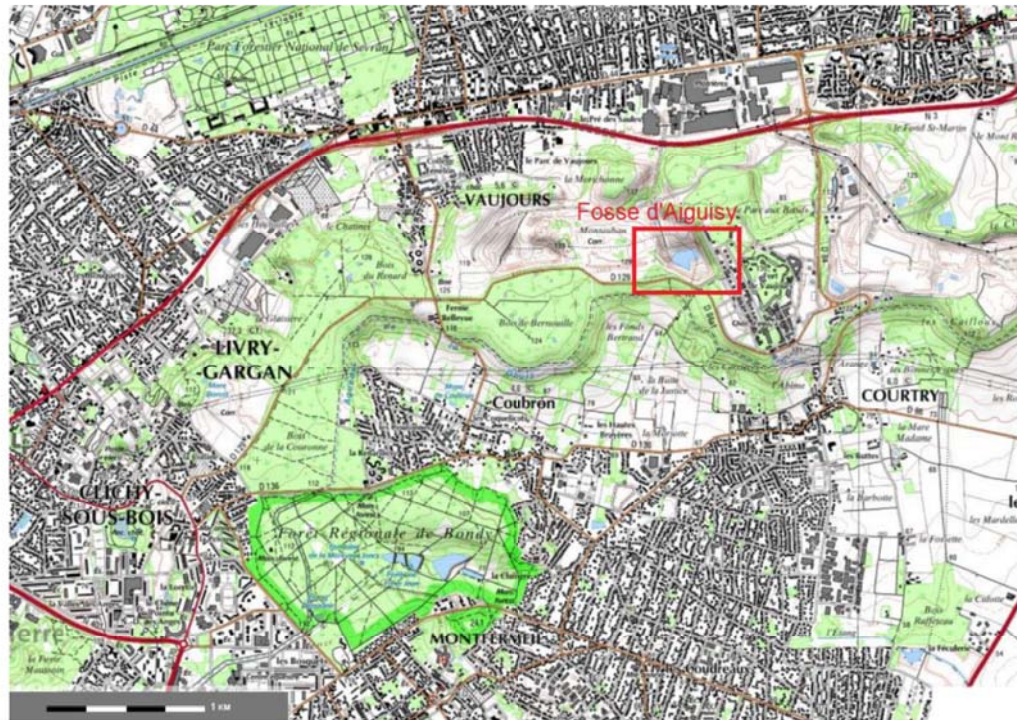


Illustration 1 : Localisation de la fosse d'Aiguisy sur le scan25 de l'IGN (www.infoterre.brqm.fr)

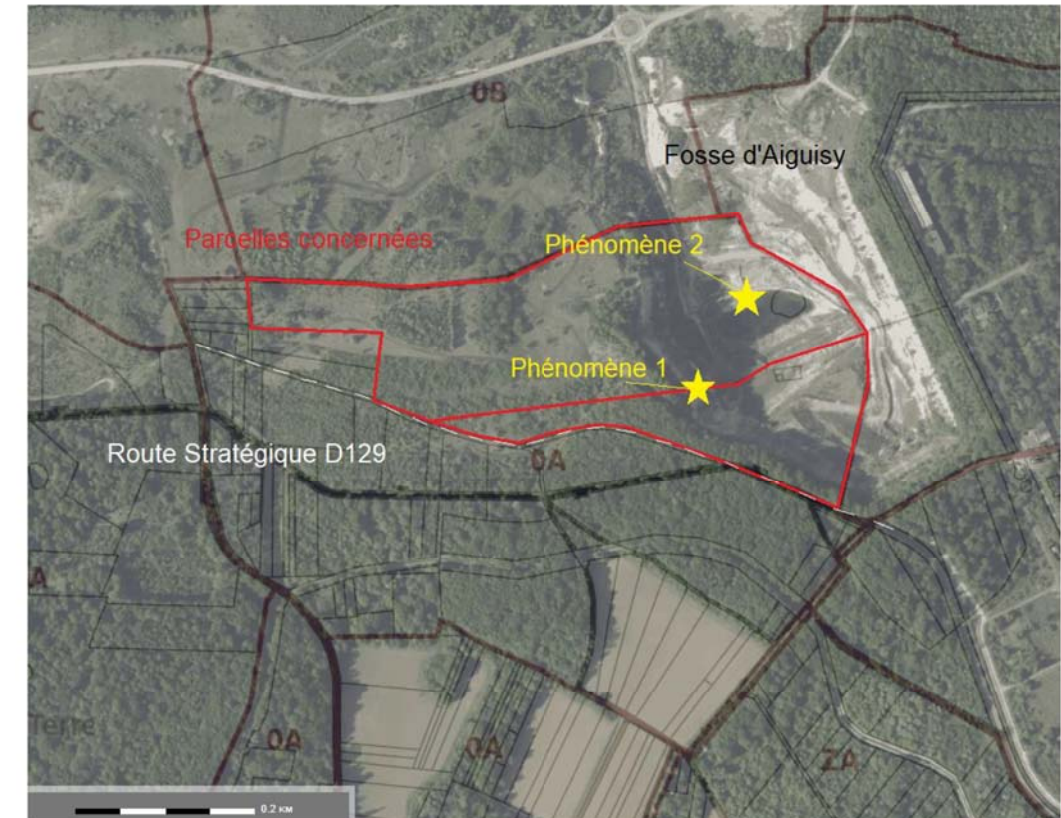


Illustration 2 : Parcelles concernées par les phénomènes sur l'orthophotographie de l'IGN et le fond de plan cadastral (www.infoterre.brqm.fr)

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE

D'après la carte géologique de France au 1/50 000, feuille de Lagny (n°184, C. POMEROL, L. FEUGUEUR, 1968 - Illustration 3), ce secteur est concerné par la succession lithologique suivante :

- **X – Remblais** : il s'agit principalement de remblais mis en place pour combler les anciennes carrières de gypse. Ils ont des épaisseurs très variables et sont essentiellement composés de matériaux naturels comme des limons, marnes, ou sables ainsi que de matériaux de démolition ;
- **Ce7b-a – Colluvions marno-gypseuses des versants** : il s'agit de dépôts hétérogènes dont les matériaux sont issus des formations supragypseuses. Ces colluvions, très meubles, ont été alimentés par des produits d'altération du gypse et montrent une alternance de lentilles argileuses, marneuses et sableuses. Elles coiffent généralement des bancs de gypse non altérés. Leur épaisseur peut dépasser 10 m ;
- **LP – Les limons des plateaux** : il s'agit de dépôts hétérogènes comprenant des formations résiduelles, des cailloutis, et des limons. Dans le secteur de la fosse d'Aiguisy, ces limons des plateaux correspondent à des complexes d'argile et de sables quartzeux à concrétions calcaires ou ferrugineuses. Ils peuvent contenir des poches de sables issus de dépôts résiduels de Sables de Fontainebleau, ainsi que des fragments de meulières, des éclats de silex ou des paquettes calcaires. Leur épaisseur varie de 1,5 à 5 m environ ;
- **g1b – Stampien inférieur : Sannoisien. Calcaire de Brie** : la base de cette formation montre une succession de lits marno-calcaires blanchâtres entrecoupés de niveaux argileux bruns ou de passées sablo-gréseuses. Vers le haut, la série passe graduellement à des bancs disloqués de calcaire siliceux, compact ou de calcaire marneux et latéralement à la meulière compacte. Son épaisseur est d'environ 10 m en bordure de plateau et croît vers le Sud-Est en s'éloignant de l'axe anticlinal de Meudon ;

- **g1a – Stampien inférieur : Sannoisien – Argiles vertes et Glaises à Cyrènes** : les argiles sannoisiennes constituent un horizon repère remarquable de par leur coloration verte intense. Sèches, les Argiles vertes se débitent en petits blocs ; humides, elles deviennent plastiques. Leur puissance est de l'ordre de 6 à 7 mètres. Un banc de marne blanchâtre de 30 à 40 cm d'épaisseur s'intercale dans la partie supérieure. Les Argiles vertes reposent sur les Glaises à Cyrènes. Il s'agit d'un banc d'argiles feuilletées verdâtres à brunâtres de 1 à 2 m d'épaisseur, avec des varves sableuses, blanchâtres ou rousses et fossilifères. En bordure de coteaux, la faible consistance des marnes et des argiles facilite la formation de loupes de glissement et de remaniements marno-argileux qui recouvrent alors les affleurements des terrains sous-jacents sur une épaisseur pouvant atteindre 10 mètres ;
- **e7b – Bartonien supérieur : Ludien supérieur. Marnes supragypseuses** : cet étage est composé de deux assises marneuses d'extension uniforme et d'épaisseur régulière :
 - o **Les marnes blanches de Pantin** : il s'agit de formations marno-calcaires, gris verdâtres à la base, blanchâtres au sommet, plus ou moins indurées qui se débitent en blocs prismatiques par dessiccation. Ces formations sont souvent fissurées ce qui favorise la circulation des eaux en profondeur et peuvent devenir le siège de petits aquifères. Certains niveaux caractéristiques sont repérables, il s'agit de niveaux de gypse, argiles et de niveaux très fossilifères. L'épaisseur des marnes blanches de Pantin est comprise entre 5 et 7 m ;
 - o **Marnes bleues d'Argenteuil** : il s'agit d'une formation beaucoup plus argileuse que la précédente. Ces marnes ont une teinte gris-bleutée dans leur partie supérieure et vert ocre à grise dans leur partie inférieure. La structure de ces marnes est souvent feuilletée. Elles sont fréquemment interrompues par des niveaux calcaires, et par des feuilletés sableux, ligniteux. A la base s'intercalent parfois des lits de gypse saccharoïde impurs. Leur épaisseur est d'une dizaine de mètres. Comme les Argiles vertes, ces marnes glissent en bordure de versant ;
- **e7aG – Bartonien supérieur : Ludien moyen et inférieur. Masses et Marnes du Gypse** : le Ludien correspond à l'installation d'un régime lagunaire qui se traduit par une alternance de masses de gypse saccharoïde et de bancs de marnes. On distingue de haut en bas :
 - o **La Première Masse** : elle est constituée de bancs stratifiés de gypse saccharoïde, blond roux, avec des niveaux peu épais de marnes feuilletées, sur une vingtaine de mètres ;
 - o **Les Marnes d'entre-deux-masses** : il s'agit d'une formation très litée montrant une succession de bancs de marnes calcaires, dolomitiques ou gypseuses au milieu desquels se sont développés irrégulièrement des cristaux de gypses. Ces marnes prennent souvent un aspect marbré, leur épaisseur est d'environ 6/7 m ;
 - o **La Deuxième Masse** : elle a une épaisseur d'environ 10 m et est constituée de bancs de gypse saccharoïde séparés par plusieurs lits de gypse et par quelques lits marneux ;
 - o **Les marnes à Lucines** : ce sont des marnes calcaireuses grises, jaunâtres ou gris-bleuté, entrecoupées de bancs de gypse lenticulaire. Leur épaisseur est comprise entre 3 et 4 m ;
 - o **La Troisième Masse** : cette masse est plus marneuse que les deux précédentes et comporte de nombreux cristaux de gypse pied d'alouette. Le gypse se présente sous un aspect blanc laiteux, translucide et fibreux. Son épaisseur varie de 1 à 6 m.

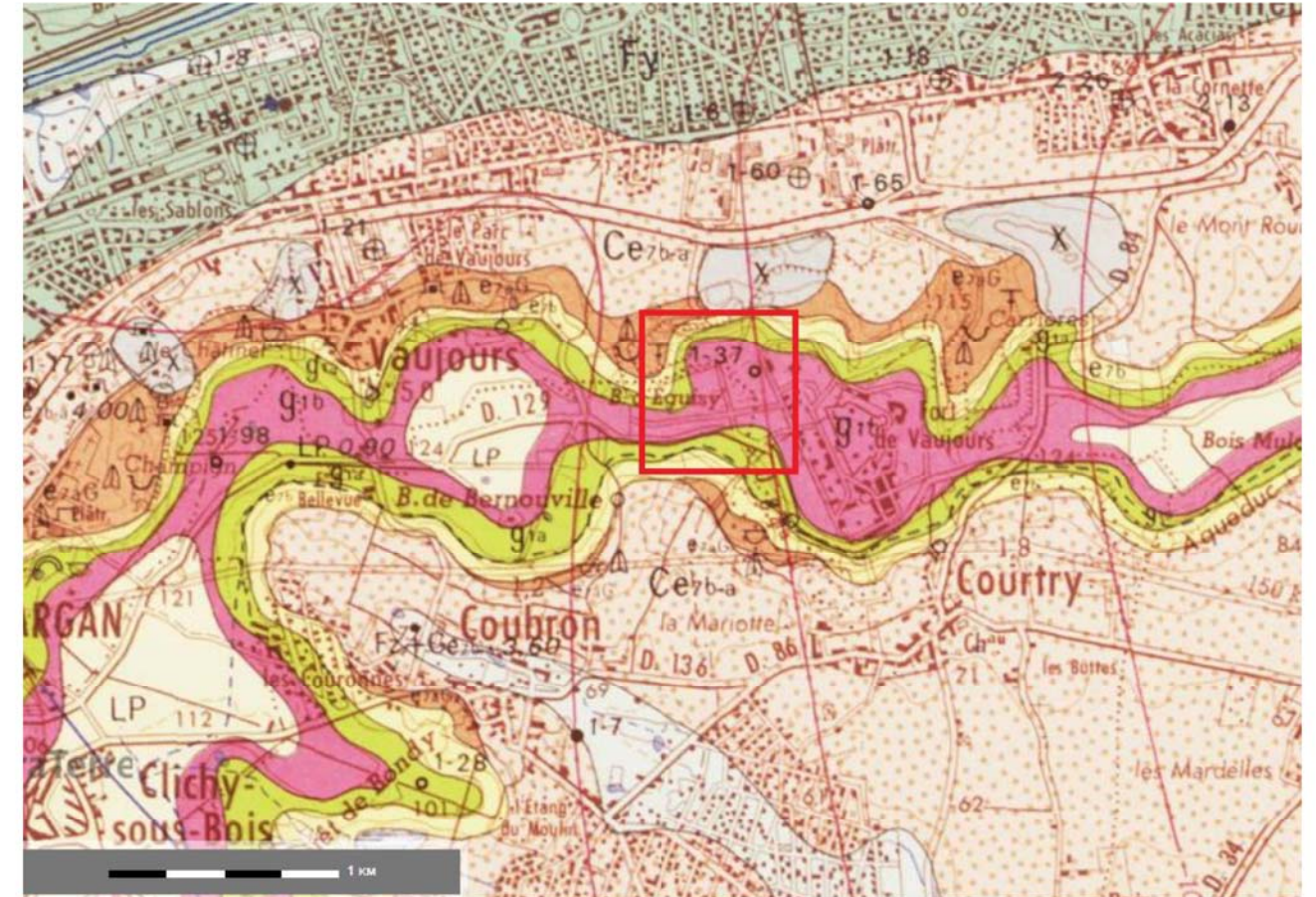


Illustration 3 : Extrait de la carte géologique de France au 1/50 000, feuille de Lagny (n°184) (source : BRGM)

Le sondage BSS000PKUG (ancien numéro : 01841X0239/PIF004), situé à environ 1,5 km à l'ouest de la fosse d'Aiguisy, extrait de la Banque des Données du Sous-sol (BSS) a mis en évidence :

- Environ 11,5 m d'Argile verte et de Glaise à Cyrènes ;
- Environ 5,5 m de Marnes de Pantin ;
- Environ 15 m de Marnes Bleues d'Argenteuil ;
- Environ 24 m de gypse correspondant à la Première Masse ;
- Environ 5,5 m de Marnes d'entre-deux-masses ;
- Environ 8,5 m de gypse de Deuxième Masse ;
- Au-delà des Marnes à Lucines.

Notons que ce sondage donne une information sur les épaisseurs des formations très localement. Les variations latérales de faciès et d'épaisseur des couches ne permet pas de conclure de manière précise sur les épaisseurs de formation sur la fosse d'Aiguisy.

Du point de vue morphologique, le site est marqué par une fosse d'une profondeur maximale d'environ 60 m par rapport aux terrains « naturels » alentours. La fosse a une morphologie particulière, à savoir (de bas en haut, du plus profond de la fosse au plus haut en bord de plateau) :

- Dans le fond de la fosse, on note un petit plan d'eau. Il s'agit de la zone la plus basse de l'exploitation, elle est composée de marnes imperméables (Marnes à Lucines), et est un lieu de stockage de l'eau après chaque phénomène de pluie ;

- Le bas de versant est marqué par la présence de remblais essentiellement constitués de terre et mélangés à des matériaux de démolition (fers à béton, morceaux de béton etc.). Ces remblais ont été mis en place sur une petite partie de la deuxième masse de gypse et sur des marnes. La pente est variable avec la pente la plus forte en bas de versant d'environ 30 à 35° et plus haut dans le versant une zone relativement plane ;
- En haut des remblais, le versant prend la forme d'une paroi rocheuse abrupte, subverticale, correspondant à l'épaisseur de la Première Masse de gypse. Ces parois ont une hauteur d'environ 10 à 15 m de hauteur et sont découpées par de nombreuses cavités. Ces cavités sont quasiment entièrement comblées, seules quelques galeries subsistent. Elles sont issues des « résidus » de galerie de l'exploitation en souterrain, la majeure partie de la carrière ayant été reprise à ciel ouvert ;
- La partie haute du versant est composée d'une superposition de matériaux meubles, de type marnes, et d'argiles. Cette zone montre une pente d'environ 40° et a une épaisseur d'environ 15 à 20 m. La végétation peine à s'y installer ;
- En tête de versant, sur le plateau, on note la présence d'une épaisseur d'environ 50/60 cm de limons qui forment parfois des surplombs ou « casquettes végétales » en tête de versant.

2.3. HISTORIQUE

La base de données nationale sur les mouvements de terrains (www.georisques.gouv.fr), gérée par le BRGM mentionne :

- Commune de Vaujours (93) : aucun indice de mouvement de terrain. Toutefois, la commune est concernée par un PPR mouvement de terrain prescrit en 2001 ;
- Commune de Coubron (93) : aucun indice de mouvement de terrain. Toutefois, la commune est concernée par un PPR mouvement de terrain prescrit en 2001 ;
- Commune voisine de Courtry (77) : aucun indice de mouvement de terrain. Toutefois, la commune est concernée par un PPR sécheresse/réhydratation des sols prescrit en 2001.

La base de données nationale sur les cavités souterraines (www.georisques.gouv.fr) identifie la présence de 20 cavités souterraines sur la commune de Courtry (77), dont 2 caves, 5 puits et 13 cavités d'origine militaire. Aucune cavité n'est recensée dans cette base de données sur les communes de Vaujours et de Coubron (93) (Illustration 4). Toutefois, le secteur est connu pour ses anciennes carrières souterraines d'exploitation de gypse. Il semblerait que la plupart de ces anciennes cavités aient été comblées dans le secteur de la fosse d'Aiguisy ou que les galeries aient été reprises à ciel ouvert plus récemment.

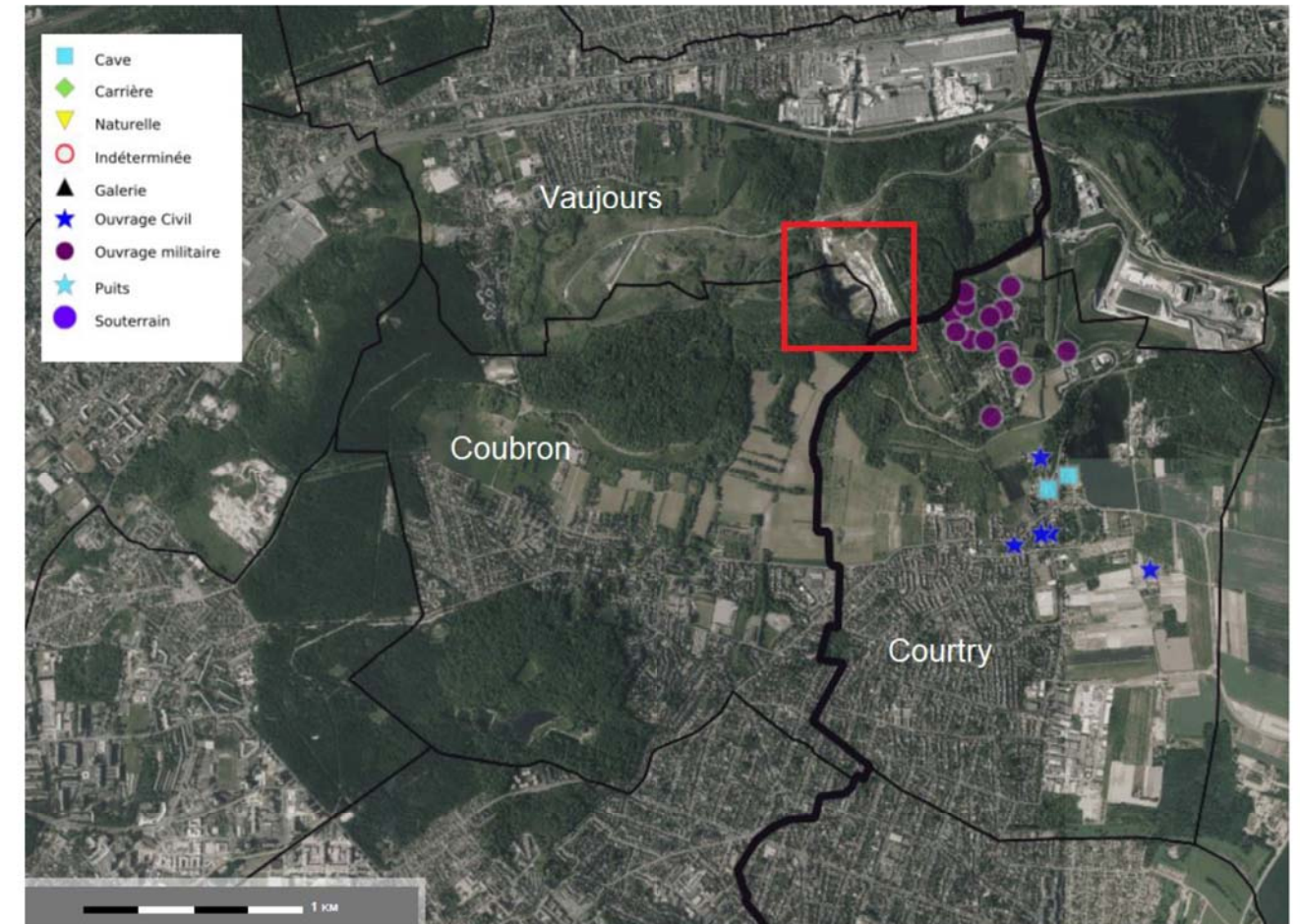


Illustration 4 : Indices de cavités recensés sur le secteur dans la base de données nationale des cavités (www.infoterre.brm.fr)

Les communes de Vaujours, Coubron et Courtry sont toutes les trois concernées par un niveau d'aléa retrait/gonflement des argiles fort (Illustration 5).

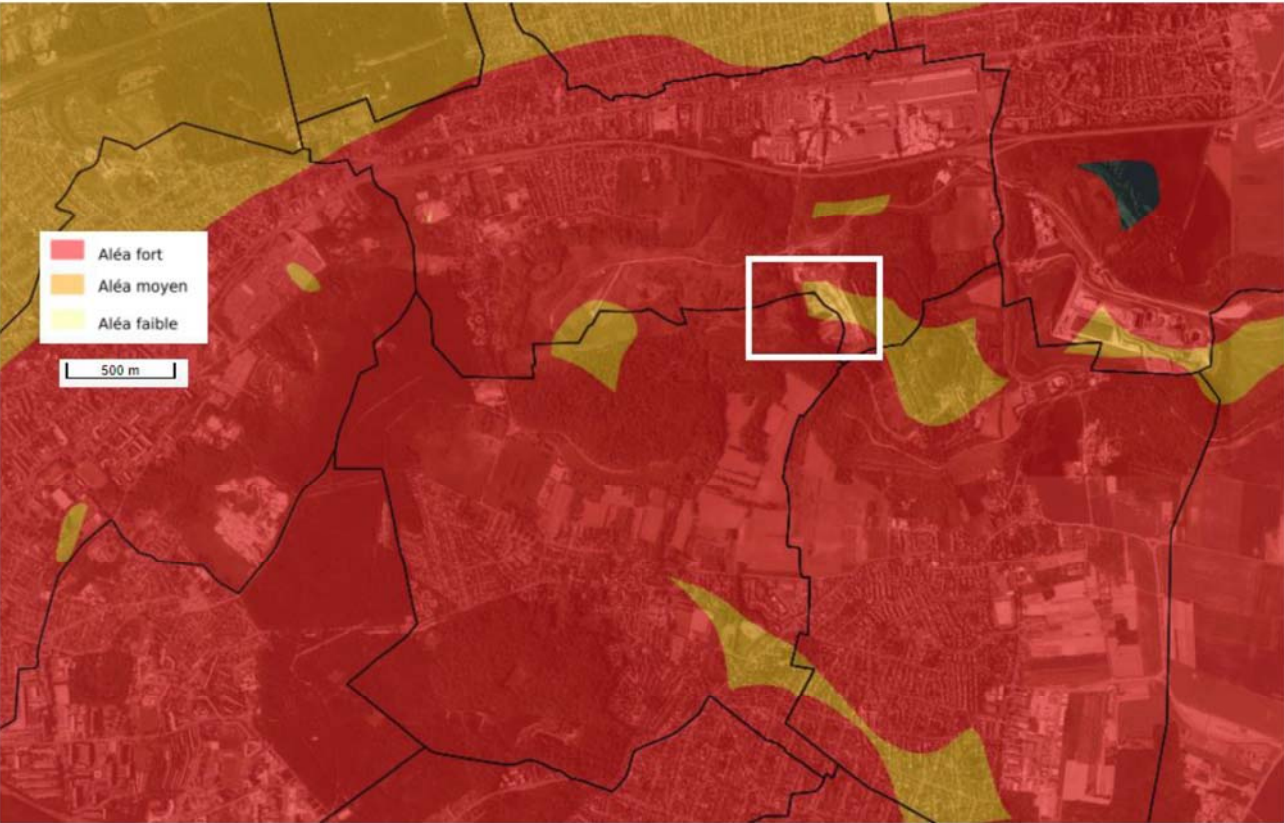


Illustration 5 : Aléa retrait-gonflement des argiles dans le secteur de la fosse d'Aiguisy (93) (www.georisques.gouv.fr)

La commune de Vaujours a fait l'objet, à ce jour, de 8 arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvements de terrain liés à la problématique « retrait-gonflement des argiles » et à des mouvements de terrains et coulées de boue liés à des inondations (Illustration 6).

La commune de Coubron a fait l'objet, à ce jour, de 11 arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvements de terrain liés à la problématique « retrait-gonflement des argiles » et à des mouvements de terrains et coulées de boue liés à des inondations (Illustration 7).

La commune de Courtry a fait l'objet, à ce jour, de 14 arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvements de terrain liés à la problématique « retrait-gonflement des argiles » et à des mouvements de terrains et coulées de boue liés à des inondations (Illustration 8).

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles : 8

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19990056	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 5

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19830039	11/04/1983	23/04/1983	16/05/1983	18/05/1983
93PREF19830063	24/06/1983	26/06/1983	03/08/1983	05/08/1983
93PREF19910003	26/06/1990	27/06/1990	25/01/1991	07/02/1991
93PREF19950026	23/08/1995	23/08/1995	24/10/1995	31/10/1995
93PREF20010027	27/06/2001	27/06/2001	03/12/2001	19/12/2001

Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19910024	01/06/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991

Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19980010	01/01/1991	31/03/1997	12/03/1998	28/03/1998

Illustration 6 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Vaujours (www.georisques.gouv.fr)

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles : 11

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19990028	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 7

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19830011	11/04/1983	23/04/1983	16/05/1983	18/05/1983
93PREF19830048	24/06/1983	26/06/1983	03/08/1983	05/08/1983
93PREF19900009	26/06/1990	27/06/1990	07/12/1990	19/12/1990
93PREF19960005	02/07/1995	02/07/1995	17/06/1996	09/07/1996
93PREF20010017	27/06/2001	27/06/2001	03/12/2001	19/12/2001
93PREF20140001	28/09/2013	29/09/2013	27/02/2014	01/03/2014
93PREF20180012	11/06/2018	12/06/2018	23/07/2018	15/08/2018

Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19910015	01/06/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991

Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
93PREF19980008	01/01/1991	31/05/1997	12/03/1998	28/03/1998
93PREF20050053	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005

Illustration 7 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Coubron
(www.georisques.gouv.fr)

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles : 14

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
77PREF19990187	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 5

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
77PREF20170460	08/12/1982	31/12/1982	11/01/1983	13/01/1983
77PREF19830346	08/04/1983	10/04/1983	16/05/1983	18/05/1983
77PREF19900006	27/06/1990	27/06/1990	07/12/1990	19/12/1990
77PREF20170674	19/12/1993	15/01/1994	12/04/1994	29/04/1994
77PREF20180187	12/06/2018	12/06/2018	23/07/2018	15/08/2018

Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
77PREF19910020	01/05/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
77PREF19930022	01/01/1991	31/12/1992	16/08/1993	03/09/1993

Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 6

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
77PREF19980079	01/01/1993	31/08/1998	19/11/1998	11/12/1998
77PREF19970025	01/01/1993	30/11/1996	08/07/1997	19/07/1997
77PREF20040009	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
77PREF20080006	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008
77PREF20130242	01/04/2011	30/06/2011	11/07/2012	17/07/2012
77PREF20130265	01/04/2011	30/06/2011	11/07/2012	17/07/2012

Illustration 8 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur la commune de Courtry
(www.georisques.gouv.fr)

3. Constat

Le présent diagnostic est basé sur les observations réalisées sur site le 22 août 2019. Compte tenu de l'impossibilité d'accès au pied de la zone glissée pour des raisons d'interdiction d'accès par l'entreprise exploitante pour cause de dangerosité du site, tout ou partie des conclusions qui suivent demeurent soumises à une visite complémentaire de la zone glissée.

La fosse d'Aiguisy est issue de l'exploitation du gypse, d'abord en souterrain puis ensuite à partir des années 1980/1990 en exploitation aérienne avec reprise des anciennes galeries jusqu'en 2004.

Sur le pourtour de la fosse, il subsiste quelques galeries peu profondes. La plupart des galeries ont été remblayées avec toute sorte de matériaux. Les quelques galeries restantes visitées ont une hauteur de 10 à 15 m et ne présentent aucun signe de vieillissement prématuré. Aucune fissure, diaclase, ni instabilité ponctuelle n'ont été observées dans les galeries accessibles visitées. Par ailleurs, la plupart des galeries ont été comblées avec des matériaux de remblais divers.



Illustration 9 : Ancienne galerie de la carrière souterraine de gypse

Les parois de gypse de la Première Masse montrent quelques instabilités de type écailles de plusieurs m³. Des traces de ruissellement des marnes sus-jacentes sont visibles sur les parois. Aucune fracture ou diaclase majeure n'a été observée sur le secteur d'expertise.

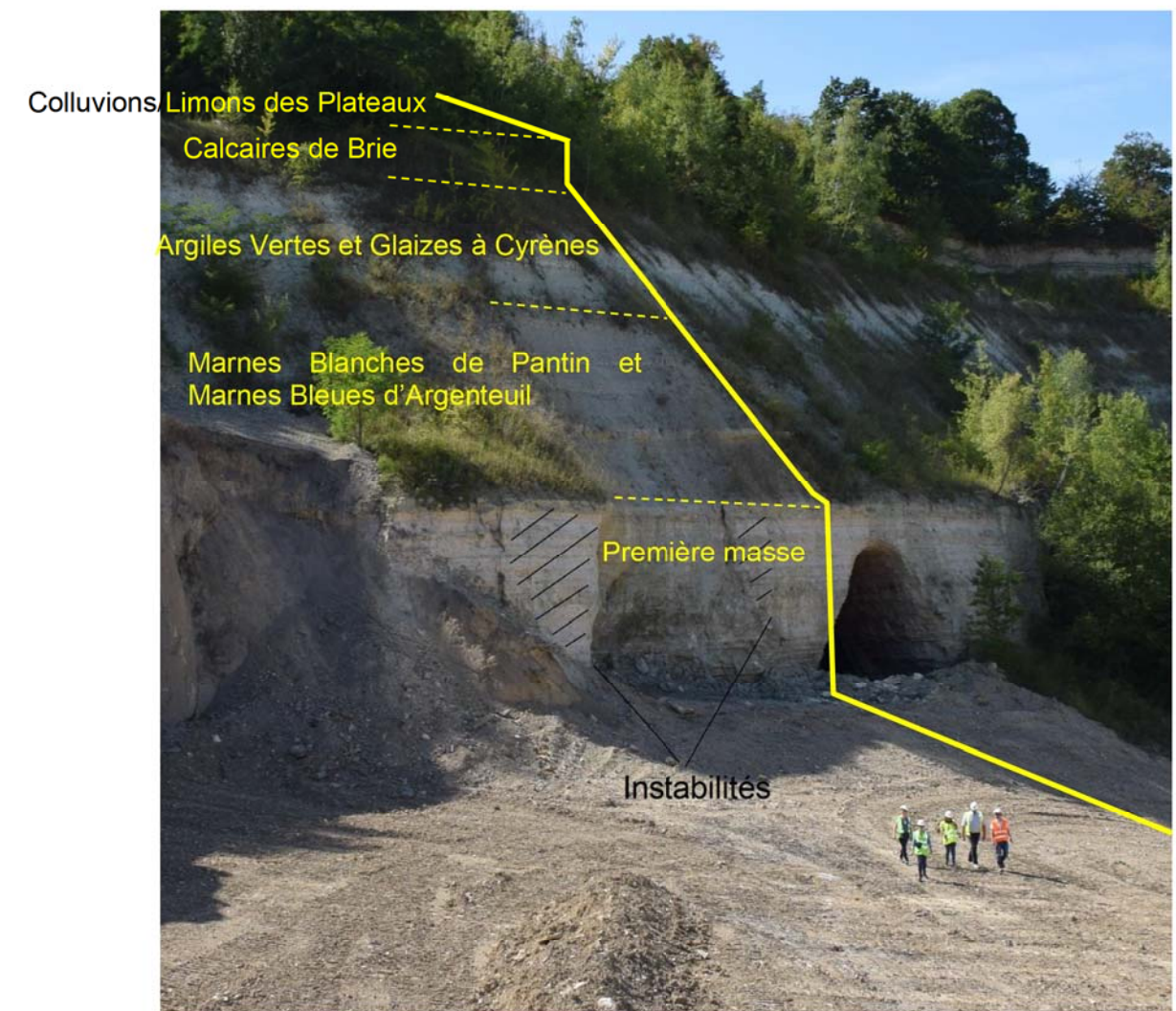


Illustration 10 : Exemples d'instabilités observées sur le front de taille (Première Masse de gypse), géologie approximative d'après la photographie faite d'accès direct au versant

La végétation peine à s'installer sur les terrains sus-jacents aux parois de gypse. Il s'agit de matériaux argileux et marneux, probablement les Marnes bleues d'Argenteuil, les Marnes blanches à Pantin, les Argiles Vertes et les Glaizes à Cyrènes, prenant une pente d'environ 40°. Le secteur d'expertise est marqué par une loupe de glissement d'environ 35/40 m de large sur 20/25 m de hauteur.

En tête de versant, les terrains sont boisés et les limons forment des casquettes végétales en bordure de la fosse. Les glissements de marnes ne semblent pas affecter les terrains limoneux de surface.

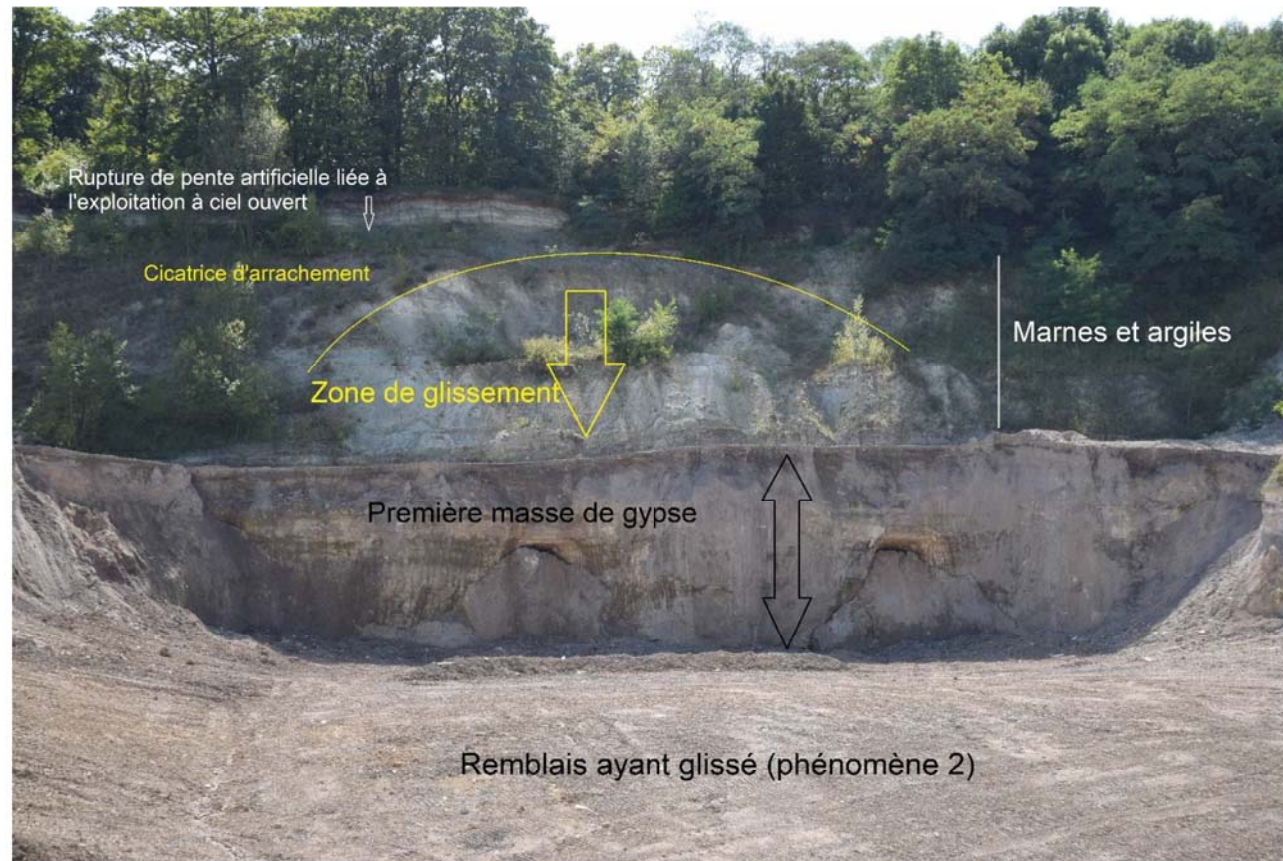


Illustration 11 : Zone du glissement de terrain dans les argiles et marnes sus-jacentes à la Première Masse de gypse (phénomène 1)

Aucun affaissement ni aucune fissure n'ont été constatés entre la rupture de pente en tête du versant de la fosse d'Aiguisy et la route départementale D129. En revanche, la route elle-même présente des fissures longitudinales principalement visibles sur la voie la plus éloignée de la fosse. Dans cette zone, la D129, « route stratégique », reliant Livry-Gargan à Courtry, se situe sur le plateau à 10/12 m de la rupture de pente majeure en tête de versant. La route est légèrement surélevée par rapport aux terrains naturels et aucun aménagement pour la gestion de l'eau n'a été repéré sur le secteur expertisé.

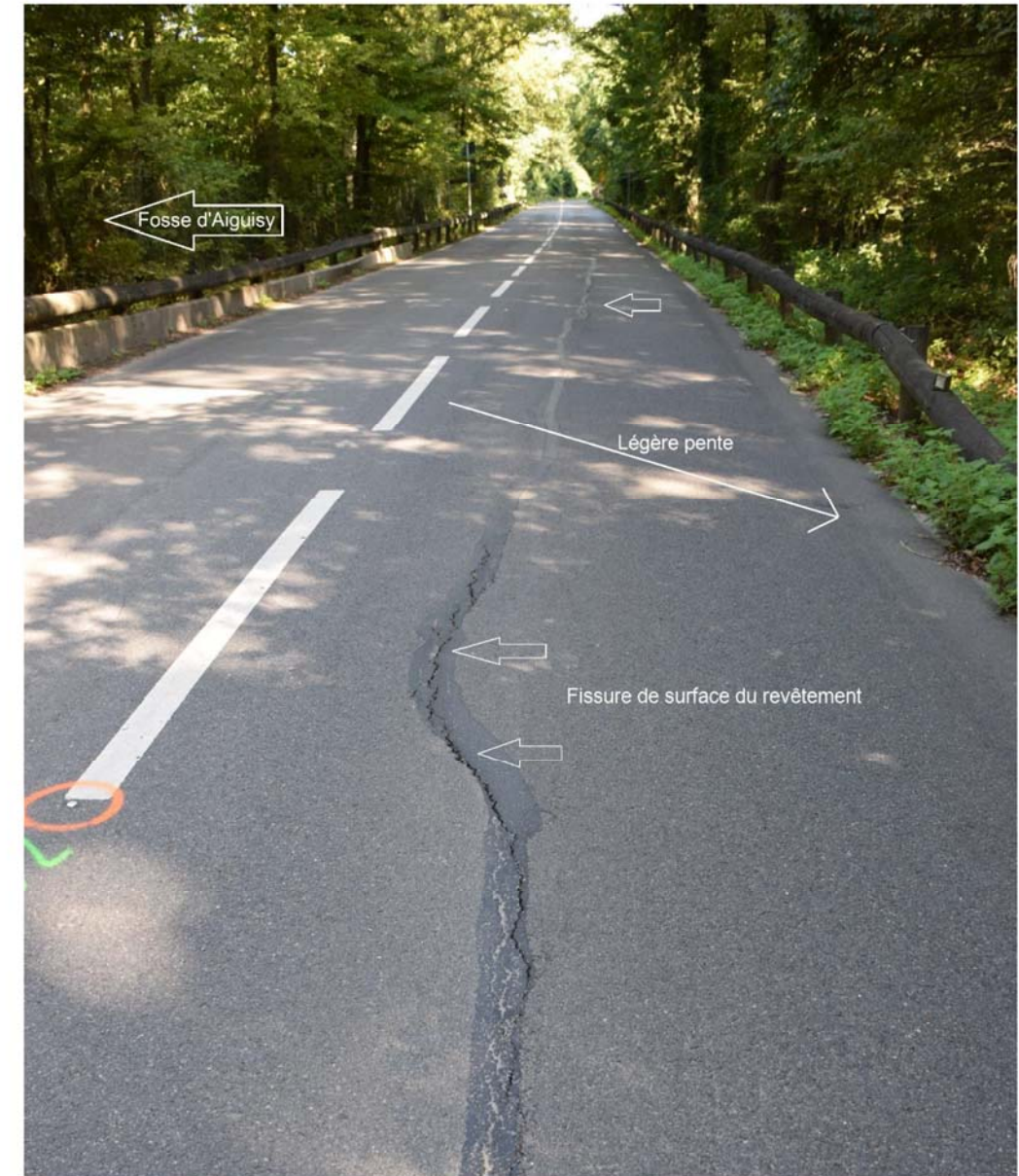


Illustration 12 : Fissures sur la route stratégique D129, sur la voie la plus éloignée de la fosse d'Aiguisy

Dans le fond de la fosse, on note la présence de remblais meubles et non compactés ainsi qu'une zone humide (petit plan d'eau) au niveau du point le plus bas sur des terrains marneux (Marnes à Lucines). Les remblais meubles ont un volume d'environ 70 000 m³ d'après la société exploitante. Ils ont fait l'objet d'un glissement de terrain/coulée de boue important fin juillet 2019. Lors de la visite du BRGM, ils avaient déjà été retravaillés, « aplanis » avec la création de deux talwegs pour évacuer l'eau de pluie vers le fond de la fosse. Ces remblais n'ont pas été compactés à la suite de ce nouveau nivellement. La pente maximale de ces remblais est d'environ 30°. Aucune butée n'a actuellement été mise en place en pied de versant.



Illustration 13 : Photographie annotée de la fosse d'Aiguisy

Chronologie des événements (Illustration 14)

Deux phénomènes de glissements de terrain ont eu lieu sur le site de la fosse d'Aiguisy. Le premier (phénomène 1) a démarré en octobre 2017 sur la partie haute du versant, les terrains naturels argileux et marneux situés au-dessus de la paroi de gypse ont commencé à glisser. Ces mouvements ont été mesurés par plusieurs acquisitions topographiques successives entre 2012 et 2019 (2012, février 2017, mai 2019 et août 2019). Les résultats de ces acquisitions topographiques n'ont pas été analysés en détail par le BRGM (dimensionnement de la zone de glissement, etc.).

A la suite du début de glissement d'octobre 2017, la société exploitante de la fosse a mis en place 40 000 m³ de remblais contre les parois de gypse dans le but de stabiliser la partie haute du versant. La verse ainsi mise en place n'a pas fait l'objet d'un dimensionnement par un géotechnicien et les remblais n'ont pas fait l'objet d'un compactage.

Début juillet 2019, la société exploitante de la fosse a ajouté 30 000 m³ de remblais sur la verse créée en 2018 à la suite du premier glissement (phénomène 1). Le talus de remblais ainsi formé n'a pas non plus été compacté et n'a pas fait l'objet d'un dimensionnement géotechnique précis.

Le 28 juillet, la fosse d'Aiguisy a été marquée par un fort orage qui a déclenché un deuxième glissement de terrain/coulée de boue. Les 70 000 m³ de remblais apportés en 2018 et en juillet 2019 ont glissé jusque dans le fond de la fosse (phénomène 2).

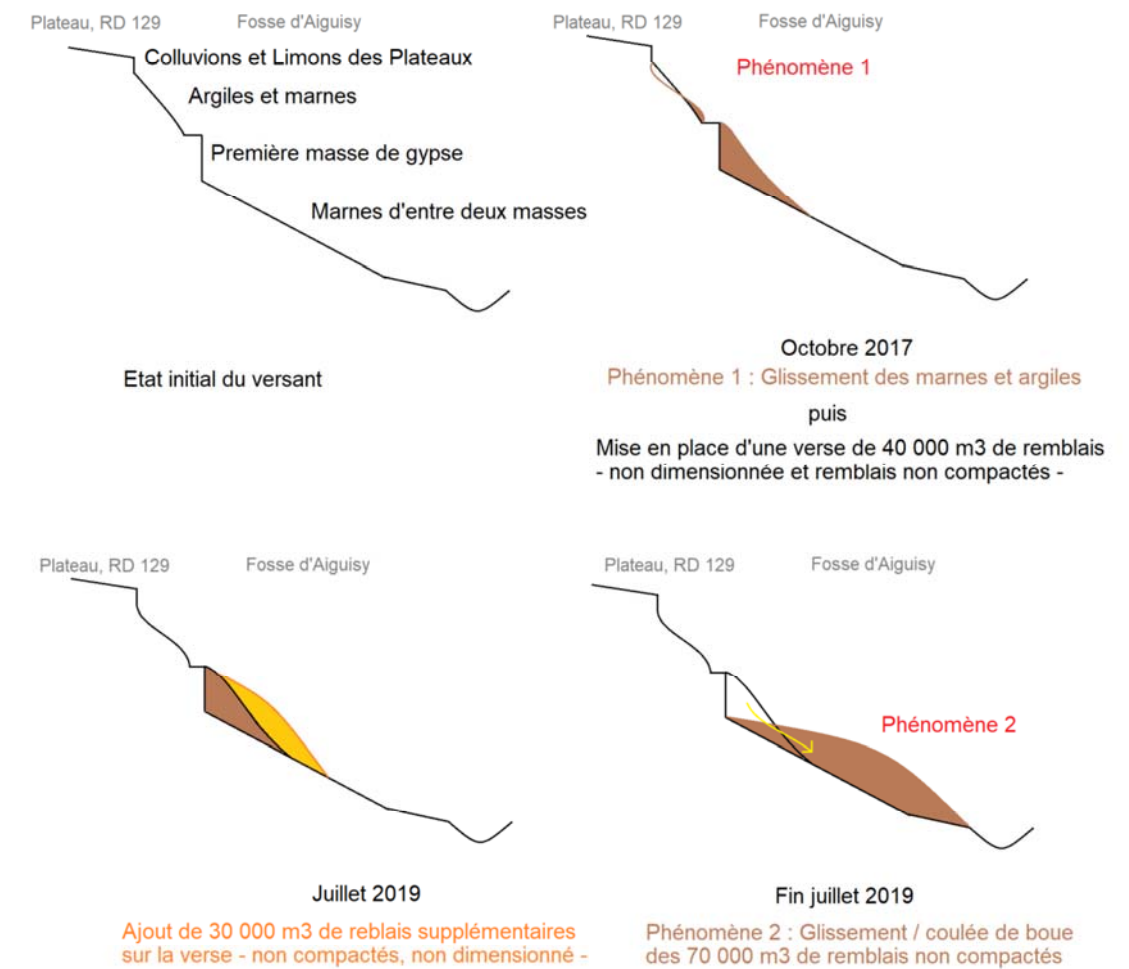


Illustration 14 : Coupe schématique du versant après chaque événement



Illustration 15 : Photographie annotée des deux zones de glissement dans la fosse d'Aiguisy

A la suite de ces événements, des questions sur la stabilité de la route à court, moyen et long terme se sont posées. Le bureau d'études BG a été mandaté par la société exploitante de la fosse pour réaliser un premier diagnostic rapide de la stabilité du versant dans sa partie haute et de la potentielle vulnérabilité de la route stratégique.

D'après les conclusions du rapport de BG :

1. la possibilité d'un glissement du haut de versant n'est pas exclue mais reste peu probable à court terme ;
2. aucun signe de début de glissement entre la fosse et la route départementale n'a été observé ;
3. les fissures sur la route seraient liées au passage de véhicules lourds (>3.5t) sur une voirie non adaptée.

Le bureau d'études BG préconise de réaliser un suivi visuel quotidien, opéré par les agents de la société exploitante de la fosse d'Aiguisy, pour repérer d'éventuelles fissures, affaissement etc. au niveau de la chaussée (RD 129) et sur le haut de versant pour le suivi à court terme.

Le bureau d'études doit réaliser un diagnostic plus précis de la stabilité de la fosse dans son ensemble d'ici fin septembre 2019 à la suite duquel d'autres recommandations pour la stabilisation sur le long terme seront proposées. Il serait notamment important de chercher l'origine d'un déclenchement de glissement de terrain des marnes (phénomène 1) de manière localisée alors que la configuration est semblable sur l'ensemble de la fosse.

D'après les représentants de la société exploitante présents lors de la visite, le contrôle visuel mis en place depuis début aout 2019 n'a pas révélé d'évolution du glissement du haut du versant ni l'apparition de nouvelles fissures sur la chaussée.

Par ailleurs, la création d'une butée composée de matériaux de démolition compactés dans le fond de la fosse en pied des matériaux de remblais glissés et retravaillés est prévue très prochainement. Ses dimensions, sa position et sa composition finale ne sont actuellement pas connues. Cette butée aura pour but de stabiliser le bas de versant (remblais) en attendant de remblayer complètement la fosse.

4. Diagnostic

Il s'agit de deux phénomènes indépendants, à savoir :

- **Phénomène 1** : le glissement du haut de versant qui semble être un phénomène évoluant de manière progressive depuis 2017. Ce glissement concerne les terrains argileux et marneux naturels qui coiffent la Première Masse de gypse ;
- **Phénomène 2** : le glissement/coulée de boue des 70 000 m³ de remblais du bas de versant (sous-jacents à la première masse de gypse), survenu en juillet 2019, qui est un phénomène rapide et brutal déclenché à la suite d'un épisode de pluie intense.

Le phénomène 1 est lié à la nature des matériaux naturels surplombant la Première Masse de gypse. Il s'agit d'Argiles Vertes, de Glaises et de marnes qui sont des matériaux propices au déclenchement de glissements de terrain et sensibles aux apports d'eau. Les pluies répétées de l'hiver 2017/2018 constituent très probablement le facteur de déclenchement principal du phénomène.

Par ailleurs, l'absence de « butée » en pied des marnes favorise le déséquilibre du versant qui a, de ce fait, tendance à glisser vers les points plus bas sous l'effet de la gravité. Les casquettes végétales présentes en tête de versant au niveau des épaisseurs de limons et les terrains en tête de versant sont encore en place (abrupt artificiel lié à l'exploitation à ciel ouvert). Cela laisse supposer que les Marnes Bleues d'Argenteuil et les Marnes blanches de Pantin sus-jacentes à la Première masse de gypse ont entamé un mouvement de glissement qui entraîne les terrains argileux sus-jacents : le glissement des marnes ne touche pas les terrains limoneux de surface ni l'abrupt artificiel en tête de versant mais débute au niveau du contact marnes/Calcaire de Brie/Limons.

D'après des études menées par l'Inspection Générale des Carrières dans le cadre d'établissement de Plans de Prévention des Risques (PPR) en contexte géologique similaire, les carrières de gypse à ciel ouvert présentent un niveau d'aléa fort vis-à-vis des mouvements de terrain (de type glissement de terrain) lorsqu'elles n'ont pas fait l'objet de sécurisation et comblement.

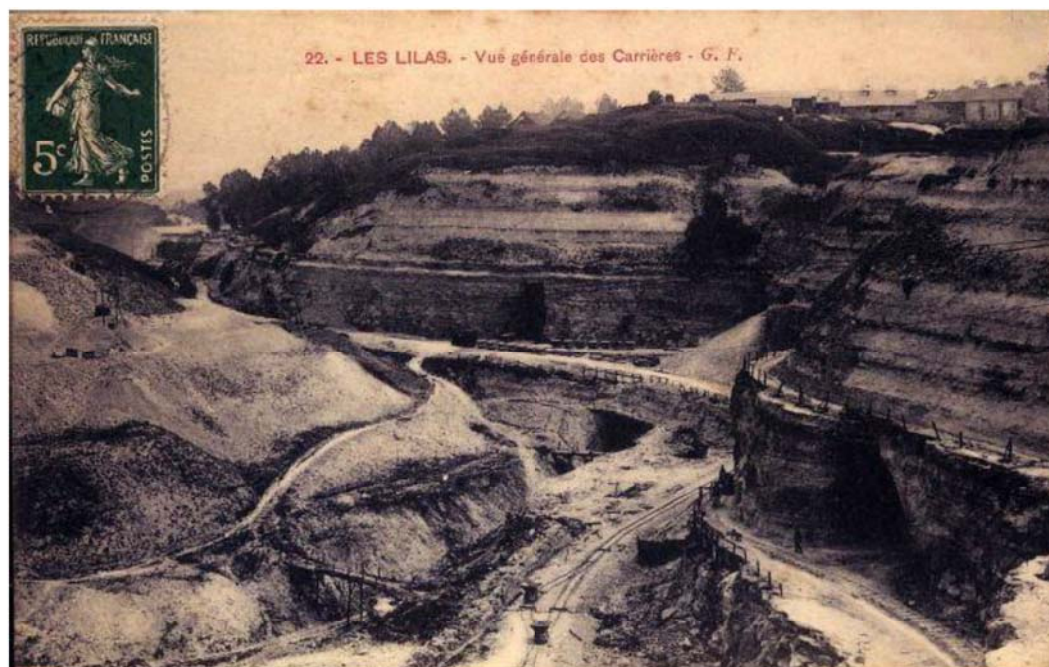


Illustration 16 : Carte postale d'une ancienne carrière de gypse à ciel ouvert. La carrière des Lilas (source IGC)

3 1 2 Les falaises et les glissements de terrain (liés aux carrières)

Des risques significatifs de mouvements de sol peuvent être liés en partie à l'exploitation des carrières à ciel ouvert et souterraines de gypse ludien qui a généré l'existence de falaises. Les entrées en cavage sont des endroits fragiles, qui risquent de s'effondrer s'ils sont soumis à de fortes contraintes.

Outre ces falaises, des talus de déblais trop raides, parfois situés au-dessus des fronts de taille, ou des mises en dépôt anarchiques de stériles, accompagnés de terrains de recouvrement déstructurés et argileux, sont aussi à l'origine de glissements de terrain répétitifs.

En bordure de versant, à proximité des entrées en cavage ou des talus, il est fréquent de rencontrer des diaclases ouvertes dans les premiers mètres de l'exploitation. S'ajoutent à ces diaclases, un ripage et une dissolution des bancs de gypse, ce qui explique que les entrées en cavage sont généralement renforcées par des voûtes ou remblayées.

Illustration 17 : Extrait 1 du rapport technique du PPR relatif aux carrières des Lilas décrivant les prédispositions de ce type d'exploitations aux glissements de terrain (source IGC)

Sont classées en **aléa fort** :

- ✓ Les carrières de gypse à ciel ouvert dont les limites sont connues et n'ayant pas fait l'objet d'aucun traitement particulier,
- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse non consolidées, non « remblayées », quand le recouvrement est important ;
- ✓ Les zones de carrières souterraines « remblayées » du gypse sous faible recouvrement ;
- ✓ Les zones où l'existence de cavités, dans le gypse, sous faible recouvrement, est probable (ancien plan, indices en surface...) mais dont les limites n'ont pas été reconnues, et où le risque de fontis et/ou d'affaissement est grand ;
- ✓ Les zones de protection correspondant aux carrières souterraines classées en aléa fort ;
- ✓ Les marges de reculement autour des carrières souterraines classées en aléa très fort (du fait de la décompression éventuelle des terrains en cas de fontis).

Illustration 18 : Extrait 2 du rapport technique du PPR relatif aux carrières des Lilas définissant les niveaux d'aléas retenus dans le cadre de ce PPR (source IGC)

Le phénomène 2 est également lié à la nature des matériaux, à savoir des matériaux de remblais meubles et non compactés. Par ailleurs la pente artificielle forte créée lors de la mise en place de la 1^{ère} verse n'était pas propice à sa stabilisation. L'élément déclencheur du phénomène est le fort orage survenu fin juillet 2019.

5. Risque résiduel

Dans la configuration actuelle du site, seul le phénomène 1 pourrait impacter la route départementale située en tête de versant. Toutefois, aucune trace d'extension de la loupe de glissement n'est visible entre la rupture de pente en tête de versant et la chaussée (RD129) sur le plateau. Aussi, la route ne semble pas menacée dans l'immédiat (2/3 mois).

Le versant nécessitera tout de même des travaux pour améliorer sa stabilité sur le très court terme ou le court terme (dans les années qui viennent).

Le phénomène 2 impacte principalement le fond de la fosse.

Les galeries visitées et non comblées de l'ancienne exploitation en souterrain ne montrent aucun signe d'instabilité. Sur la base des quelques observations, sous réserves d'homogénéité des zones exploitées et de la qualité de remblaiement, la probabilité qu'un événement, de type remontée de fontis ou encore d'effondrement généralisé, se produise est très faible à court et moyen terme et faible à long terme. Ceci dit, l'extension du réseau souterrain, largement exploité à ciel ouvert aujourd'hui, n'est pas connu précisément du BRGM au moment de l'expertise.

Quelques écailles de plusieurs m³ ont été observées sur les parois de gypse, en cas de chute elles pourraient menacer les terrains en pied de paroi (terrains de réception). En revanche il est peu probable qu'un tel phénomène impacte la stabilité générale des matériaux sus-jacents aux parois à court terme. Sur le long terme, des chutes répétées pourraient faire reculer la tête du front de taille et à terme déstabiliser les terrains sus-jacents.

L'étude géotechnique plus poussée du bureau d'études BG, prévue pour le mois de septembre 2019, permettra sans doute d'en savoir plus sur l'état de stabilité de l'ensemble de la fosse d'Aiguisy, et ainsi de dimensionner les actions de sécurisation adaptées.

6. Recommandations

Suite à ces observations, le BRGM recommande :

- De poursuivre le suivi visuel quotidien. Celui-ci doit s'effectuer à la fois depuis la fosse pour observer d'éventuelles modifications topographiques de la zone de glissement ainsi que sur les terrains en tête de glissement jusqu'à la route (route comprise). L'objectif est de repérer d'éventuelles anomalies de type affaissement, apparition de nouvelles fissures sur la route ou sur les terrains en tête de versant, ou encore agrandissement des fissures observées sur la route ;
- Dans la mesure du possible, de compléter ce suivi visuel par des relevés topographiques de cibles implantées dans le versant et sur la chaussée. Les levés hebdomadaires dans un 1^{er} temps sont conseillés. Cette expertise pourra également être réalisée plus fréquemment en cas de fortes pluies ou de pluies moins intenses mais répétées, et permettra de mieux connaître les déplacements de matériaux au cours du temps et donc de mieux appréhender l'évolution possible du glissement ;
- De compacter les remblais disposés dans le fond de la fosse et de faire dimensionner de manière précise la butée à mettre en place dans le fond de la fosse pour stabiliser les 70 000 m³ de remblais ;
- D'attendre les conclusions du bureau d'études BG (rendues courant septembre 2019) concernant la stabilité générale de la fosse. L'objectif étant de pouvoir ensuite dimensionner les actions de sécurisation nécessaires pour sécuriser le site (fosse et terrains limitrophes) sur le long terme.

A minima, le glissement impactant les marnes (phénomène 1) devra faire l'objet de travaux pour assurer sa stabilisation sur le long terme. Ces travaux devront faire l'objet d'un dimensionnement précis réalisé par un bureau d'études spécialisé en géotechnique. Dans l'immédiat il est recommandé de s'assurer avec les services du Département de la bonne gestion des eaux de ruissellement et d'infiltration en amont de la zone de glissement.

Notons que compte-tenu de la nature lithologique des formations ainsi que de la morphologie générale de la fosse d'Aiguisy, et des avis et retours d'expérience retrouvés dans la bibliographie, d'autres glissements du type « phénomène 1 » pourraient avoir lieu à court, moyen ou long terme et ainsi menacer la route stratégique (D129). Il est donc conseillé de surveiller, le reste des versants de la fosse d'Aiguisy (une fois par mois environ) pour repérer tout début de mouvement et prendre les mesures qui s'imposent.

7. Bibliographie

POMEROL C., FEUGUEUR L. (1968) - Carte géologique de France au 1/50 000, feuille de Lagny (n°184) et notice explicative associée.

8. Annexes

Annexe 1 : Fiche de demande d'intervention

BRGM DR IDF	Appui aux Administrations - Fiche de demande d'intervention
Objet de l'appui sollicité : <i>Analyse du BRGM sur le rapport d'expertise de la société BG et recommandations</i> <i>Le cas échéant, préciser sur papier libre en PJ le contexte de l'intervention (motif de la sollicitation, contraintes techniques et réglementaires, personnes concernées, etc....).</i>	Demandeur Administration : DRIEE Direction : Service : Interlocuteur : Donatienne POLVECHE
Mission demandée au BRGM : Une loupe de glissement est apparue le long de la route stratégique (RD129) en octobre 2017 sur la moitié supérieure du talus sud-ouest de la carrière dite d'Aiguizy située sur les communes de Courbon et Vaujours (93). Récemment, les matériaux de remblais de la carrière voisine de Bernouille (Placoplatre) ont été déroutés sur le site d'Aiguizy et ont été placés au pied du talus à des fins de confortement et de sécurisation de la RD129. Le week-end du 28 juillet, les terres et remblais mis en place ont glissé à la suite d'un fort orage survenu le vendredi 28/07 (environ 70 000 m ³ de terres et remblais). La DRIEE, informée en août, souhaite avoir un avis sur le rapport d'expertise de la société BG et s'assurer que les recommandations du bureau d'études sont adaptées en vue de prendre un arrêté de mesures d'urgence, notamment en termes d'instrumentation et de dispositions pour surveiller et éviter un nouveau glissement.	Typologie de l'action : ☐ Type 1 : Rassembler des connaissances existantes ☒ Type 2 : Expertise avec processus de vérification systématique du rapport ☐ Type 3 : Informer, communiquer, participer à réunions
Date de la demande: 19/08/2019 Date de réponse souhaitée: 23/08/2019	
Proposition BRGM : Descriptif : <i>visite sur site et avis sur les recommandations</i> Lien d'intérêt institutionnel (2) : ☐ Non ☐ Oui cf. note en PJ Durée de réalisation : 3-5 jours Délai de réalisation : Nature du rendu : Intervenant (3) : C. MYR Date : 19/08/2019 Signature : E. GOMEZ	Format souhaité : ☒ rapport (obligatoire si type 2) ☐ autre (préciser) : ☐ documents annexés : Accès : ☒ public immédiat (1) ☐ public différé (délai : n mois) Accord du demandeur : A : <i>20/08/19</i> Le : Le chef du service de la prévention des risques et des nuisances Visa : de la D.R.I.E.E. Ile-de-France Copie DREA <i>Bédric MERMENT</i>

(1) En application des dispositions de la loi « CADA » du 17 juillet 1978 modifiée en 2000 et 2002, tous les dossiers d'appui aux administrations font l'objet de rapports publics à accès immédiat, à l'exception de ceux qui sont préparatoires à une décision administrative, lesquels ne sont rendus accessibles qu'une fois cette décision prise.
(2) Liens entre l'objet de l'expertise ou le demandeur d'une part et le BRGM d'autre part, susceptibles de compromettre sa neutralité.
(3) Après vérification de l'absence de lien d'intérêt individuel ou déclaration d'un lien (IM 352 EXP) porté à la connaissance des parties prenantes (cf note en PJ) et accepté par le demandeur car ne compromettant pas la neutralité du BRGM.

IM288 – Version du 23 Décembre 2016

Annexe 2 : Mail de recommandation transmis à la DRIEE le 27/08/19

De : Gomez Eric <E.Gomez@brgm.fr>
Envoyé : mardi 27 août 2019 11:37
À : POLVECHE Donatienne - DRIEE IF/SPRN/PRA <donatienne.polveche@developpement-durable.gouv.fr>
Cc : HERMENT Cédric (Chef du service) - DRIEE IF/SPRN <cedric.herment@developpement-durable.gouv.fr>; LAVALLART Caroline (Adjointe au Chef DBSN) - DRIEE IF/DBSN <caroline.lavallart@developpement-durable.gouv.fr>; Myr Claire <C.Myr@brgm.fr>
Objet : Compte-rendu et recommandations suite à la visite du 22/08/19 sur la fosse d'Aiguisy.

Bonjour,
Vous trouverez ci-dessous le compte-rendu établi par ma collègue en copie de ce message.

Le BRGM est intervenu le 22 aout 2019 sur la fosse d'Aiguisy, sise sur les communes de Vaujours (93) et Coubron (93) à la demande de la DRIEE d'Ile-de-France à la suite de phénomènes de glissements de terrain constatés depuis 2017.
L'objectif de ce mail est de faire un récapitulatif succinct des observations et recommandations énumérées aux participants lors de la visite sur site. Ce mail sera suivi d'un rapport d'expertise prochainement.

CONSTAT

Voir photographie annotée téléchargeable à l'adresse suivante :

https://dl.brgm.fr/liens/75tliC3q0g3cqqkJ/Fosse_Aiguisy.pdf.

Les observations et le diagnostic réalisé par le BRGM lors de la visite du 22 aout 2019, concernant le glissement des marnes en haut du talus (voir phénomène 1 ci-dessous) reste assez approximatif faute d'accessibilité directe au pied du glissement.

La fosse d'Aiguisy est issue de l'exploitation du gypse, d'abord en souterrain puis ensuite à partir des années 1980/1990 en exploitation aérienne avec reprise des anciennes galeries jusqu'en 2004.

Sur le pourtour de la fosse, il subsiste quelques galeries peu profondes. La plupart des galeries ont été remblayées avec toute sorte de matériaux. Les quelques galeries restantes ont une hauteur de 10 à 15 m et ne présentent aucun signe de vieillissement prématuré. Aucune fissure, diaclase, ni instabilités ponctuelles n'ont été observées dans les galeries accessibles visitées.

La fosse a une profondeur maximale d'environ 60 m par rapport aux terrains « naturels » alentours. La fosse a une morphologie particulière, à savoir (de bas en haut, du plus profond de la fosse au plus haut en bord de plateau) :

- Dans le fond de la fosse, on note un petit plan d'eau. Il s'agit de la zone la plus basse de l'exploitation, elle est composée de marnes imperméables, et est un lieu de stockage de l'eau après chaque phénomène de pluie ;
- Le bas de versant est marqué par la présence de remblais essentiellement constitués de terre et mélangés à des matériaux de démolition (fers à béton, morceau de béton etc.). Ces remblais ont été mis en place sur une petite partie de la deuxième masse de gypse et sur des marnes. La pente est variable avec la pente la plus forte en bas de versant d'environ 30 à 35° et plus haut dans le versant une zone relativement plane ;
- En haut des remblais, le versant prend la forme d'une paroi rocheuse abrupte, subverticale, correspondant à l'épaisseur de la première masse de gypse. Ces parois ont une hauteur d'environ 10 à 15 m de hauteur et sont découpées par de nombreuses cavités. Ces cavités sont quasiment entièrement comblées, seules quelques galeries subsistent. Elles sont issues des « résidus » de galerie de l'exploitation en souterrain, la majeure partie de la carrière ayant été reprise à ciel ouvert ;

- La partie haute du versant est composée d'une superposition de matériaux meubles, de type marnes, et d'argiles. Cette zone montre une pente d'environ 40° et a une épaisseur d'environ 15 à 20 m. La végétation peine à s'y installer ;
- En tête de versant, sur le plateau, on note la présence d'une épaisseur d'environ 50/60 cm de limons qui forment parfois des surplombs ou « casquettes végétales » en tête de versant.

La nature géologique locale des terrains n'est pas connue de manière précise, aucune donnée BSS concernant la géologie n'est disponible à proximité immédiate du secteur d'expertise.

La route départementale D129, « route stratégique », reliant Ivry-Gargan à Courtry, passe en bordure de la fosse d'Aiguisy. Au plus près elle se situe à 10/12 m de la rupture de pente majeure en tête de versant. Celle-ci montre un certain nombre de fissures longitudinales principalement visibles sur la voie la plus éloignée de la fosse.

Aucun affaissement ni aucune fissure n'ont été constatés entre la rupture de pente en tête du versant de la fosse d'Aiguisy et la route.

Chronologie des événements

Deux phénomènes de glissement de terrain ont eu lieu sur le site de la fosse d'Aiguisy. Le premier a démarré en octobre 2017 sur la partie haute du versant, les terrains naturels argileux et marneux situés au-dessus de la paroi de gypse ont commencé à glisser. Ces mouvements ont été mesurés par plusieurs acquisitions topographiques successives entre 2012 et 2019 (2012, février 2017, mai 2019 et aout 2019). Les résultats de ces acquisitions topographiques n'ont pas été analysées en détail par le BRGM (dimensionnement de la zone de glissement, etc.).

A la suite du début de glissement d'octobre 2017, la société exploitante de la fosse a mis en place 40 000 m³ de remblais contre les parois de gypse dans le but de stabiliser la partie haute du versant. La verse mise en place n'a pas fait l'objet d'un dimensionnement par un géotechnicien et les remblais n'ont pas fait l'objet d'un compactage.

Début juillet 2019, la société exploitante de la fosse a ajouté 30 000 m³ de remblais sur la verse créée en 2018 à la suite du premier glissement. Le talus de remblais ainsi formé n'a pas non plus été compacté et n'a pas fait l'objet d'un dimensionnement géotechnique précis.

Le 28 juillet, la fosse d'Aiguisy a été marquée par un fort orage qui a déclenché un deuxième glissement de terrain. Les 70 000 m³ de remblais apportés en 2018 et en juillet 2019 ont glissé jusque dans le fond de la fosse.

A la suite de ces événements, des questions sur la stabilité de la route à court, moyen et long terme se sont posées. Le bureau d'études BG a été mandaté par la société exploitante de la fosse pour réaliser un premier diagnostic rapide de la stabilité du versant dans sa partie haute et de la potentielle vulnérabilité de la route stratégique.

D'après les conclusions du rapport de BG :

- la possibilité d'un glissement du haut de versant n'est pas exclu mais reste peu probable à court terme ;
- aucun signe de début de glissement entre la fosse et la route départementale n'a été observé
- les fissures sur la route seraient liées au passage de véhicules lourd (>3.5t) sur une voirie non adaptée.

Le bureau d'études BG préconise de réaliser un suivi visuel quotidien, opéré par les agents de la société exploitante de la fosse d'Aiguisy, pour repérer d'éventuelles fissures, affaissement etc. au niveau de la chaussée (RD 129) et sur le haut de versant pour le suivi à court terme.

Le bureau d'études doit réaliser un diagnostic plus précis de la stabilité de la fosse dans son ensemble d'ici fin septembre 2019 à la suite duquel d'autres recommandations pour la stabilisation sur le long terme seront proposées.

D'après les représentations de la société exploitante présents lors de la visite, le contrôle visuel mis en place depuis début août 2019 n'a pas révélé d'évolution du glissement du haut du versant ni l'apparition de nouvelles fissures sur la chaussée.

Par ailleurs, la création d'une butée composée de matériaux de démolition compactés dans le fond de la fosse en pied des matériaux de remblais glissés et retravaillés est prévue très prochainement. Ses dimensions, sa position et sa composition finale ne sont actuellement pas connues. Cette butée aura pour but de stabiliser le bas de versant (remblais) en attendant de remblayer complètement la fosse.

DIAGNOSTIC et RISQUES RESIDUELS

Il s'agit de deux phénomènes indépendants, à savoir :

- Phénomène 1 : le glissement du haut de versant qui semble être un phénomène évoluant de manière progressive depuis 2017. Ce glissement concerne les terrains argileux et marneux naturels qui coiffent la première masse de gypse ;
- Phénomène 2 : le glissement des 70 000 m³ de remblais du bas de versant (sous-jacents à la première masse de gypse), survenu en juillet 2019, qui est un phénomène rapide et brutal déclenché à la suite d'un épisode de pluie intense.

Le phénomène 1 est lié à la nature des matériaux naturels surplombant la première masse de gypse. Il s'agit d'argiles gonflantes et de marnes qui sont des matériaux propices au déclenchement de glissements de terrain et sensibles aux apports d'eau. Les pluies répétées de l'hiver 2017/2018 constituent très probablement le facteur de déclenchement principal du phénomène. Par ailleurs, l'absence de « butée » en pied des marnes favorise le déséquilibre du versant qui a, de ce fait, tendance à glisser vers les points plus bas sous l'effet de la gravité. Les casquettes végétales présentes en tête de versant au niveau des épaisseurs de limons laisse supposer que le talus est sujet aux phénomènes de suffosion : le glissement des marnes ne touche pas les terrains limoneux de surface mais débute au niveau du contact marnes/limons.

Le phénomène 2 est également lié à la nature des matériaux, à savoir des matériaux de remblais meubles et non compactés. Par ailleurs la pente artificielle forte créée lors de la mise en place de la verse n'était pas propice à sa stabilisation. L'élément déclencheur du phénomène est le fort orage survenu fin juillet 2019.

Seul le phénomène 1 pourrait impacter la route. Toutefois, aucune trace d'extension de la loupe de glissement n'est visible entre la rupture de pente en tête de versant et la chaussée (RD129) sur le plateau. Aussi, la route ne semble pas menacée à court terme (2/3 mois). L'étude géotechnique plus poussée du bureau d'études BG permettra sans doute d'en savoir plus sur l'état de stabilité de l'ensemble de la fosse d'Aiguisy. Le versant nécessitera tout de même des travaux pour améliorer sa stabilité sur le moyen et le long terme.

Le phénomène 2 impacte principalement le fond de la fosse. Toutefois, si plusieurs glissements répétés ont lieu, la stabilité des parois abruptes de gypse ne sera peut-être plus assurée.

Les galeries résiduelles de l'ancienne exploitation de gypse en souterrain, visitées le 22 août 2019 par le BRGM, ne montrent pas de signe d'instabilité. Par ailleurs, la plupart des galeries ont été comblées avec des matériaux de remblais divers. La probabilité qu'un événement, de type effondrement généralisé, se produise est très faible à court et moyen terme et faible à long terme.

RECOMMANDATIONS.

Suite à ces observations, le BRGM recommande :

- De poursuivre le suivi visuel quotidien. Celui-ci doit s'effectuer à la fois depuis la fosse pour observer d'éventuelles modifications topographiques de la zone de glissement ainsi que sur les terrains en tête de glissement jusqu'à la route (route comprise). L'objectif est de repérer d'éventuelles anomalies de type affaissement, apparition de nouvelles fissures sur la route ou sur les terrains en tête de versant, ou encore agrandissement des fissures observées sur la route ;
- Dans la mesure du possible, de compléter ce suivi visuel par une expertise hebdomadaire plus fine qui pourra consister en un suivi topographique réalisé par un géomètre. Cette expertise pourra également être réalisée plus fréquemment en cas de fortes pluies ou de pluies moins intenses mais répétées et permettra de mieux connaître les déplacements de matériaux au cours du temps et donc de mieux appréhender l'évolution possible du glissement ;
- De compacter les remblais disposés dans le fond de la fosse et de faire dimensionner de manière précise la butée à mettre en place dans le fond de la fosse pour stabiliser les 70 000 m³ de remblais ;
- D'attendre les conclusions du bureau d'études BG (rendues courant septembre 2019) concernant la stabilité générale de la fosse.

Notons que le glissement impactant les marnes (phénomène 1) devra faire l'objet de travaux pour assurer sa stabilisation sur le long terme. Ces travaux devront faire l'objet d'un dimensionnement précis réalisé par un bureau d'études spécialisé en géotechnique.

Par ailleurs, compte-tenu de la nature lithologique des formations ainsi que de la morphologie générale de la fosse d'Aiguisy, d'autres glissements du type « phénomène 1 » pourraient avoir lieu à court, moyen ou long terme et ainsi menacer la route stratégique (D129). Il est donc conseillé de surveiller, le reste des versants de la fosse d'Aiguisy (une fois par mois environ) pour repérer tout début de mouvement et prendre les mesures qui s'imposent.

Nous restons à votre disposition pour tout complément d'information,
Cordialement,



Claire MYR
Ingénieur Risques Naturels et Littoral

Direction des Actions Territoriales
DIRECTION REGIONALE NORMANDIE
Parc de la Votine, 14 route d'Houpeville
76130 Mont Saint Aignan - France
Tél : +33 (0)2 35 60 12 00
c.myr@brgm.fr

BRGM - SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
www.brgm.fr | [Newsletter BRGM Infos](#)



ANNEXE 5 - STABILITÉ DU TALUS SUD-OUEST EN AVAL DE LA RD129 (BG)



200030.04/Krm/Mnae
9 août 2019

PLACO - U.CORMEILLES - PLACOPLATRE

CARRIERES DE GYPSE D'AIGUISY SUR LES COMMUNES DE COURBON ET VAUJOURS

STABILITE DU TALUS SUD-OUEST EN AVAL DE LA RD129

AVIS TECHNIQUE ET RECOMMANDATIONS

1. Objet de l'avis

La société Placoplatre exploite depuis 2010 à ciel ouvert la fosse d'Aiguisy ouverte depuis le milieu des années 1980. Le site se situe sur les communes de Courbon et Vaujours dans le département de la Seine-Saint Denis et a fait l'objet de porter à connaissance puisque le terrain se situe dans une ancienne carrière régie par l'arrêté 06-5015 du 19/12/2006.

Le rapport de confortement du talus d'Aiguisy du 08/2018 établi par PLACO à l'attention de la DRIEE de Seine et Marne indique qu'une loupe de glissement est apparue le long de la route stratégique (RD129) en octobre 2018 sur la moitié supérieure du talus sud-ouest de la carrière.

Haut à une trentaine de mètres du point bas de la carrière, le glissement évolue en périodes d'hiver et sa largeur impactée a atteint 40m avec une pente sub-verticale sur 15m environ. La distance de recul de la crête de talus par rapport à la route est de 12m environ et est rognée sur 4-5m de profondeur par rapport à la topographie originale (Photos ci-dessous pour illustration).

VERSION	-	a	b
DOCUMENT	200030.04/Krm/Mnae		
DATE	9 août 2019		
ELABORATION	Jean Paul KARAM		
VISA	Jean Paul KARAM		
COLLABORATION	Mohammad MONFARED		
DISTRIBUTION	PLAC - U.Cormeilles PLACOPLATRE		



AVIS TECHNIQUE SUR LA STABILITE DU TALUS SUD-OUEST EN AVAL DE LA RD129 ET RECOMMANDATIONS

4/6



Toutefois on note l'absence de nappe au droit de ces formations.

Aléa Glissement

Si le glissement est supposé, on détermine sa probabilité d'occurrence (ou aléa), s'il est passé, on détermine sa probabilité de réactivation, s'il est en cours, on détermine son activité. Dans tous les cas, l'évaluation de l'aléa suit la même démarche : identification des facteurs de prédisposition au phénomène et de déclenchement du phénomène.

Facteurs de prédisposition	Facteurs de déclenchement
- la nature, l'épaisseur, l'altération des terrains et leurs propriétés ; - l'existence de discontinuités (failles, couche savon, etc.) ; - morphologie du site (pente, etc.) ; - hydrogéologie (circulations d'eau souterraine) et drainage du site.	- d'origine naturelle (forte pluviométrie, fonte des neiges, etc.), sollicitations sismiques, érosion, crues ; - d'origine anthropique (terrassment (voir l'article sur la stabilisation des glissements de terrain, vibration / explosion, fuite d'eau, surcharge, pompage, etc.).

Avis technique

- L'argile ou glaise verte constitue un facteur de prédisposition
- La morphologie du site (pente quasi-verticale) constitue un facteur de prédisposition
- Les fortes pluviométries constituent un facteur de déclenchement
- Les phénomènes d'érosion constituent un facteur de déclenchement



AVIS TECHNIQUE SUR LA STABILITE DU TALUS SUD-OUEST EN AVAL DE LA RD129 ET RECOMMANDATIONS

5/6

Dans les conditions sus mentionnées et dans l'absence de mesures de suivi de mouvement et de protection provisoires et/ou permanentes, le risque de glissement est avéré.

Toutefois, ce risque n'est pas dans l'immédiat (court terme) notamment dans l'absence de travaux de terrassements dans les alentours du talus.

D'ailleurs, après les forts orages de juillet précédents le 2^{ème} glissement, nous avons inspecté la chaussée de la route (au point le plus proche de la crête du talus) ainsi que les pentes de talus en question.

Nous n'avons pas constaté ni des fissures ni des affaissements au niveau de la chaussée ni dans les alentours symptomatiques de mouvement dus à un glissement. Les seules fissures observées étaient de contresens et symptomatiques d'une chaussée supportant de voiries lourdes.



4. Proposition de mesures à court termes < 3 mois

Ci-dessous une mesure à mettre en place de manière à surveiller la stabilité du talus sur une période de 3 mois environ.

- Mettre en place un système d'observation visuelle (méthode observationnelle) continue sur cette période. Il s'agit d'effectuer des visites régulières (y compris les weekends) au niveau de la chaussée et de la pente en question afin de constater des signes d'instabilité (fissures, craquement, affaissement, etc.). Ces visites doivent être intensifiées après de fortes pluies. Ces constats doivent être documentés et dessinés sur des plans. Les fiches de constats doivent être diffusés en interne à Placo et au bureau BG Ingénieurs Conseils.

Le bureau BG ingénieur Conseils doit être continuellement mis au courant des activités qui se tiennent dans la zone.



AVIS TECHNIQUE SUR LA STABILITE DU TALUS SUD-OUEST EN AVAL DE LA RD129 ET RECOMMANDATIONS

6/6

5. Proposition de mesures à long termes < 12 mois

- Bâchage pour la protection de la surface de la zone supérieure jusqu'au toit des gypses contre les intempéries, à l'origine des glissement constatés (voir photo ci-dessous). La bâche doit être ancrée dans le terrain par un système adapté (type croche métallique).

Cette mesure et/ou d'autres mesures confortatives seront à confirmer dans l'attente des résultats d'étude que nous menons actuellement sur la stabilité de la fosse d'Aiguisy pendant la première phase. Ces futures mesures devront permettre dans un premier temps d'éviter l'évolution d'un éventuel glissement voir l'empêcher et réduire le phénomène d'érosion (la solution retenue sera confirmée par l'étude géotechnique en cours).



Exemple de bâchage d'une zone glissée

ANNEXE 6 - ETUDE DE SÉCURISATION DES TRAVAUX DE- REMBLAIEMENT (BG)



200030.07-RN002-Sécurisation des travaux de remblaiement
29 avril 2020



ETUDE DE SÉCURISATION DES TRAVAUX DE
REMBLAIEMENT

CARRIERE DE GYPSE
D'AIGUISY

Immeuble METROSUD, 1, bd Hippolyte Marques - F-94200 Ivry sur Seine
BG Ingénieurs Conseils SAS - Immeuble METROSUD, 1, bd Hippolyte Marques - 94200 Ivry sur Seine
SAS au capital de 1 516 800 € - R.C.S Créteil 2007B04453 - SIRET 303 559 249 00162 - Code APE 7112B
T +33 1 56 20 64 60 – F +33 1 56 20 65 09 – paris@bg-21.com – www.bg-21.com
FR 493 035 592 49 TVA

■ INGENIOUS SOLUTIONS



ETUDE DE SÉCURISATION DES TRAVAUX DE REMBLAIEMENT

CARRIERE DE GYPSE D'AIGUISY

VERSION	-	a	b
DOCUMENT	200030.07-RN002- Sécurisation des travaux de remblaiement		
DATE	29 avril 2020		
ELABORATION	Mehrdokht MOHAJERANI		
VISA	Jean Paul KARAM		
COLLABORATION			
DISTRIBUTION	PLACOPLATRE		



TABLE DES MATIERES

	Page
1. Objet de l'étude	2
2. Travaux de remblaiement	2
2.1 Matériaux de remblaiement	2
2.2 Caractéristiques des matériaux de remblaiement	3
2.2.1 Remblais extérieurs	3
2.2.2 Marnes de découverte	4
2.2.3 Points particuliers	5
2.3 Séquençage des travaux	6
2.3.1 Principe du comblement	6
2.4 Définition des profils types des futurs remblais	9
2.4.1 Profil type I	10
2.4.2 Profil type II	10
3. Dispositions constructives et d'amélioration à respecter	11
3.1 Dispositions constructives	11
3.1.1 Préparation des surfaces supports existantes des remblais	11
3.1.2 Drainage du corps des remblais	12
3.2 Dispositions d'amélioration	13
3.2.1 Compactage	13
3.2.2 Traitement	14
4. Justification de la stabilité des deux profils types proposés	1
4.1 Méthode et hypothèses de calcul	1
4.2 Calculs de stabilité	4
4.2.1 Profil type I : Compactage moyen et absence de traitement préalable	4
4.2.2 Profil type II : Compactage intense et sans traitement à la chaux	7
4.2.3 Profil type II : Compactage moyen et avec traitement préalable	11
5. Recommandations	14

1. Objet de l'étude

Cette étude est établie dans le cadre du projet de comblement et de remise en état de la carrière exploitée d'Aiguisy. La société Placoplatre prévoit trois phases de réaménagement du site :

- Remblayage de la carrière selon une topographie et un mode opératoire de mise en place des remblais à définir (objet de cette étude) ;
- Remise en état définitive du site ;
- Entretien des plantations qui auront été réalisées au fur et à mesure de l'avancement des travaux de remblayage.

L'objectif de cette étude, défini en accord avec Placoplatre, consiste à définir une méthode généralisée de remblaiement permettant d'atteindre les objectifs de comblement de la carrière en toute sécurité (réduire les risques de formation de glissement). L'étude est déclinée comme suit :

- Précision sur la nature des matériaux utilisés dans le cadre des travaux de remblaiement ;
- Définition de deux profils types de remblayage, le premier étant basé sur les caractéristiques géotechniques minimales des matériaux utilisés et le second sur des paramètres géotechniques améliorés de ces mêmes matériaux ;
- Description des dispositions constructives permettant de maintenir des conditions de stabilité optimales des remblais réalisés ainsi que des mesures à mettre en œuvre dans le cadre des travaux préparatifs des surfaces existantes (cf. figure 1) pour la réception des futurs remblais ;
- Description des dispositions d'amélioration permettant le passage du premier au second profil type.

Ces dispositions doivent respecter les modalités de mise en place des remblais selon la nature des matériaux utilisés et être compatibles avec le phasage d'exploitation et de remblayage de la carrière.

Nous précisons enfin que les modalités de mise en place des remblais de comblement ne concernent pas la création in fine de plateformes routières. Les terrains remblayés seront réaménagés en espaces verts.

2. Travaux de remblaiement

2.1 Matériaux de remblaiement

En termes de matériaux, Placoplatre nous a précisé que deux grandes catégories de matériaux seront utilisées pour le comblement de la carrière : des produits de découvertes du gypse constitués de marnes (supra gypseuses et intercalaires marneux dans les formations gypseuses) et du calcaire de Brie puis des remblais extérieurs au site provenant de chantiers de terrassement en région parisienne.

Les terres en provenance d'autres chantiers parisiens ne seront utilisées qu'une fois que l'exploitation aurait généré un vide suffisant pour l'acceptation de matériaux extérieurs venant progressivement en substitution des marnes de découverte.

Les matériaux seront mis en place dans la fosse selon le schéma de principe ci-dessous et dans l'ordre suivant :

- 1) Marnes de découverte ;
- 2) Mélange de marnes de découverte et de terres extérieures jusqu'à consommation totale des marnes ;
- 3) Terres extérieures qui seront utilisées pour le comblement final de la carrière.



Figure 1 : Schéma conceptuel de l'utilisation des matériaux pour comblement de la carrière

2.2 Caractéristiques des matériaux de remblaiement

2.2.1 Remblais extérieurs

Les remblais extérieurs sont des matériaux issus de chantiers de terrassement en région parisienne, ils sont par nature hétérogènes. Ils sont acheminés sur le site de remblaiement par camions bâchés et mis en œuvre dès réception. Aucun stock intermédiaire n'est présent sur la carrière. Leur état hydrique dépend donc des conditions au chargement du camion et est contrôlé à réception par l'opérateur recevant les camions. S'il est constaté un aspect des terres très humide, l'approvisionnement par le chantier concerné est stoppé jusqu'à remédiation.

Selon les données mises à notre disposition (cf. Tableau 1 ci-dessous), des essais en laboratoire de type identification y compris classification GTR ont été réalisés sur ces remblais. Les résultats obtenus montrent que les remblais peuvent être classés comme des matériaux de classes B5 et A1, A2 et A3 au sens du GTR (sols fins).

À noter que par leur nature ces sols appartenant à ces deux classes sont très sensibles aux conditions météorologiques et donc aux variations de leur teneur en eau.

Nous notons aussi que les remblais hétérogènes contiennent une fraction non négligeable de limons et d'argiles plastiques. D'une manière générale, les limons et les argiles plastiques ne possèdent pas de résistance à la rupture élevée et nécessitent des conditions de mise en place adaptées à leur utilisation comme dans le cas de remblais de forte épaisseur ($h > 15\text{m}$).

Il est donc nécessaire de mettre en place des dispositions constructives permettant d'empêcher l'infiltration des eaux dans le corps de ces matériaux.

Sur la base de notre expérience, nous avons retenus les paramètres de ruptures "apparents" suivants pour les remblais extérieurs :

$$C_{\text{app}} = 5 \text{ kPa}, \varphi_{\text{app}} = 23^\circ$$

La notion "apparent" a été attribuée aux paramètres de rupture vu leur variabilité en fonction de la sensibilité de ces matériaux à l'eau. Sans traitement particulier, la cohésion peut devenir nulle en cas de saturation de ces matériaux et l'angle de frottement peut diminuer en conséquence.

Les paramètres proposés ne tiennent pas compte des dispositions constructives envisageables pour améliorer leur résistance à la rupture comme leur compactage ou bien leur traitement à la chaux ou aux liants hydrauliques (des précisions sont apportées sur ces dispositions au chapitre 3).

Référence de l'échantillon / nature	Code	W _p (%)	D _{max} (mm)	<50mm (%)	<2mm (%)	<80µm (%)	V ₈₅ (%)	W _p (%)	W _p (%)	IP (%)	IC (%)	GTR (-)	W _p (%)	IP (-)	S _u (kPa)	S _u (kPa)
	Symbole															
BT1 Sable graveleux friable, gris noirâtre. Présence de brique, de mâchefer, bris de verre et bois calciné, probable remblai.		12,1	27	100,0	66,9	22,7	0,5	(*)	(*)	(*)	(*)	B _s	15,0	30,8	51	670
BT2 Sable argileux orangé à éléments siliceux centimétriques. Présence de lentilles argileuses "lie-de-vin" et gris bleuté.		10,4	28	100,0	88,4	17,3	1,2	44	21	23	1,5	B _{ym}	11,2	28	46	530
BT3 Sable argileux grisâtre.		16,7	8	100,0	98,8	39,2	1,7	35	25	10	1,8	A _h	16,4	5,6	35	460
BT4 Mélange de limon argileux plastique marron, de marne plastique à indurée beige et d'argile plastique bleutée. Présence d'éléments calcaires beiges centimétriques et de mâchefer, probable remblai.		18,2	14	100,0	95,8	52,8	2,6	42	21	21	1,1	A _h	17,5	2,9	60	240
BT5 Limon grisâtre à éléments pluri-centimétriques de brique, roche siliceuse et calcaire, probable remblai.		19,4	25	100,0	63,8	32,3	0,9	43	21	22	1,1	B _{yh}	21,9	11,7	55	490
C1 Sable argileux grisâtre à lentilles argileuses gris bleuté et éléments siliceux centimétriques à pluri-centimétriques.		10,0	24	100,0	64,1	18,0	0,6	33	20	13	1,8	B _{ym}	10,1	13,2	41	620
C2 Sable limoneux grisâtre à éléments siliceux centimétriques à pluri-centimétriques.		9,2	26	100,0	61,1	27,7	0,6	28	19	9	2,1	B _{ym}	10,1	13,2	(***)	530
C3 Marne calcaire pulvérulente à éléments crayeux gris blanchâtre. Présence d'éléments de béton et mâchefer, probable remblai.		18,0	21	100,0	83,6	51,1	0,9	75	38	37	1,5	A _{ys}	17,7	20,2	(***)	1030(****)
C4 Argile sableuse plastique à friable à éléments siliceux et calcaires centimétriques à pluri-centimétriques blanchâtre à beige jaunâtre. Présence d'un bloc calcaire Dmax > 60 mm.		15,2	60 ^(*) 27	100,0	79,1	35,4	0,8	39	21	18	1,3	A _h	15,7	4,9	(***)	420
C5 Sable limono-graveleux à lentilles argileuses gris brun et éléments siliceux centimétriques.		11,1	26	100,0	67,4	29,1	1	40	23	17	1,7	B _{ym}	9,9	22,4	(***)	460

Tableau 1 : Identification et classification GTR des matériaux des remblais (extrait du rapport Lab18114_Matériaux remblaiement_IDFP180863_Rapport du 07.12.2018)

2.2.2 Marnes de découverte

Selon le rapport LREP, la lithologie de couverture de la carrière en exploitation de la fosse de Vaujours (FDV) ainsi que les caractéristiques mécaniques des formations rencontrées sont les suivantes :

Formation	γ [kN/m ³]	C _{app} [kPa]	φ _{app} [°]
Calcaire de Brie (TB)	20	10	30
Argile verte (GV)	20	10	18
Marne de Pantin (MP)	20	25	30
Marne d'Argenteuil (MA)	20	25	26

D'après le rapport LREP

Les marnes issues des chantiers de terrassement du site sont générées selon une activité saisonnière (entre Mars et Octobre de chaque année). Elles sont extraites avec des pelles mécaniques avec des godets d'une capacité de l'ordre de 4 m³ à 6 m³ et directement transférées vers leur site de mise en remblai par tombereau de 40 T. Placoplatre nous a précisé qu'en cas de pluie, les chantiers sont

arrêtés pour des raisons de sécurité, les pistes devenant glissantes. Les marnes ne sont donc jamais mises en place en condition humide.

D'après le rapport d'INERIS, ces matériaux sont de classes GTR A3 et A4 et donc ils sont également des matériaux très sensibles aux conditions météorologiques et hydriques. Ils ne peuvent pas être utilisés en conditions très humides ou très sèches. Un système de gestion des écoulements superficiels par drainage devra être prévu afin d'assurer une condition hydrique stable à long-terme.

Il est à noter que les marnes de découvertes seront foisonnées après leur extraction et pourront contenir à différentes teneurs, des argiles vertes. Cela conduit à une perte de leur résistance apparente. Pour cette raison, des paramètres de ruptures apparents dégradés sont retenus pour la justification de leur stabilité (matériau foisonné et mélangé) :

C_{app}=5 kPa, φ_{app}= 23°

Les paramètres proposés ne tiennent pas compte des dispositions constructives envisageables pour améliorer leur résistance à la rupture comme leur compactage ou bien leur traitement à la chaux ou aux liants hydrauliques (des précisions sont apportées sur ces dispositions chapitre 3).

2.2.3 Points particuliers

Pour les formations constituant les sols d'assise des futurs remblais, nous avons retenus les paramètres de rupture issus du rapport LREP afin de mener les calculs de stabilité. Toutefois, ces calculs doivent être revérifiés avec une réévaluation de leur impact sur la stabilité générale des talus le cas échéant dès réception des résultats des essais en laboratoire prévus dans le cadre des travaux de bâchage du talus sud-ouest de la carrière (en cours).

Les calculs de stabilité qui vont suivre (cf. chapitre 4) respectent le schéma conceptuel de mise en place des matériaux présentés sur la figure 1 selon le matériau au comportement le plus défavorable parmi ceux listés précédemment et le plus favorable (après dispositions constructive d'amélioration) et en fonction du séquençage projeté. Ils visent à justifier la stabilité des talus des futurs remblais en englobant tous les cas de figures qui pourraient se présenter lors de la réalisation du remblaiement.

Des aménagements de ces dimensionnements pourraient être proposés dans le cas où les contraintes de l'exploitation le nécessiteraient (ex : manque de place pour l'assise des remblais ou assise dégradée...). Ces aménagements seront prescrits au cas par cas par un géotechnicien après une réévaluation des données d'entrées (ex. changement de la nature des matériaux de remblaiement...)

Avant le début de la mise en place des matériaux de découvertes et pour confirmer les résultats des calculs de dimensionnement, les essais mécaniques (type Identification, classification GTR, triaxial, Proctor, etc.) seront réalisés afin de déterminer leur vraie résistance à la rupture, leur aptitude au traitement (par la chaux ou par des liants hydrauliques) ainsi que la teneur en eau optimale (et donc la densité sèche optimale) à respecter sur chantier. De la même façon, une étude de caractérisation des remblais extérieurs sera réalisée sur la base d'un panel d'échantillons représentatifs en préalable à leur première mise en œuvre. Par ailleurs, pour bien définir les bonnes conditions de compactage, nous recommandons de déterminer à minima la teneur en eau des matériaux de remblaiement avant chaque mise en place.

Les résultats de ces essais permettront de préciser voire optimiser les paramètres retenus dans le cadre de cette étude en particulier leurs paramètres géotechniques ainsi que la géométrie des talus à mettre en place.

Leurs conditions de mise en place devront être validées par des planches d'essais afin de valider le nombre de passes pour leur compactage ainsi que les conditions optimales de densité (cf. chapitre 3).

2.3 Séquençage des travaux

2.3.1 Principe du comblement

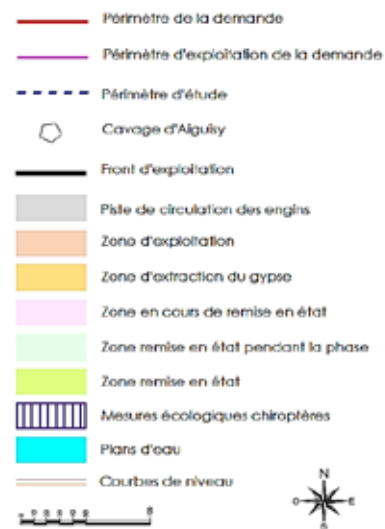
Selon les plans de principe de comblement mis à notre disposition, la carrière d'Aiguisy sera remblayée en dix phases depuis son état actuel jusqu'à un niveau maximal situé à environ 120 m NGF en 2050.

Il est prévu de remblayer la carrière au fur et à mesure depuis l'extérieur (dépôt de remblais sur les parois des talus de la carrière) vers l'intérieur de la fosse (centre de la fosse) en réalisant des remblais latéralement disposés par plusieurs étapes sur les versants existants.

Les différentes phases de remplissage sont reprises ci-dessous :

Principe de comblement projeté jusqu'en 2050

(Les valeurs des épaisseurs indiquées sont les valeurs différentielles maximales des courbes des niveaux entre chaque deux phases consécutives)



Phase 1 en 2023 : remblaiement de la zone nord-ouest, soit 6 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 2 en 2025 : remblaiement des zones sud-ouest et centrale, soit 41 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 3 en 2028 : remblaiement des zones sud-ouest et centrale, soit 26 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 4 en 2030 : remblaiement de la zone nord, soit 27 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 5 en 2033 : remblaiement de la zone nord, soit 62 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 6 en 2035 : remblaiement de la zone nord, soit 39 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 7 en 2038 : remblaiement de la zone est, soit 44 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 8 en 2040 : remblaiement de la zone sud-est ; soit 18 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase

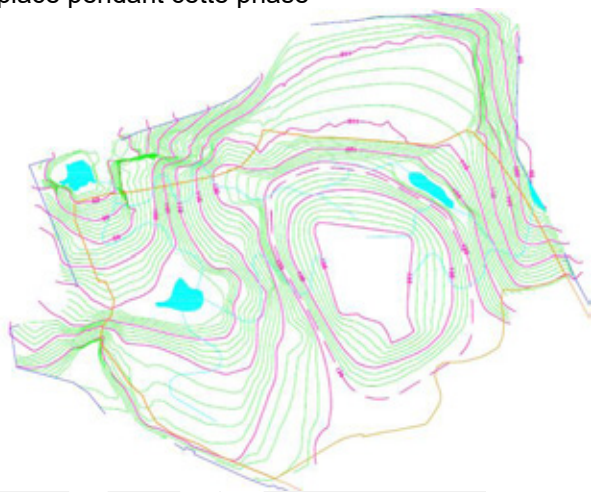


Phase 9 en 2045 : comblement de la carrière ; soit 48 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Phase 10 en 2050 : comblement de la carrière ;

soit 79 m d'épaisseur max du remblai mis en place pendant cette phase



Dans la mise en place des remblais, le séquençage des travaux doit respecter la géométrie des deux profils types précisés au § 2.4 (en fonction des contraintes de chantier) avec la création des redans entre profils ce qui permet d'assurer l'accrochage entre remblais et garantir une meilleure stabilité (cf. figure 2 ci-dessous, les nouveaux remblais sont représentés en couleur verte).

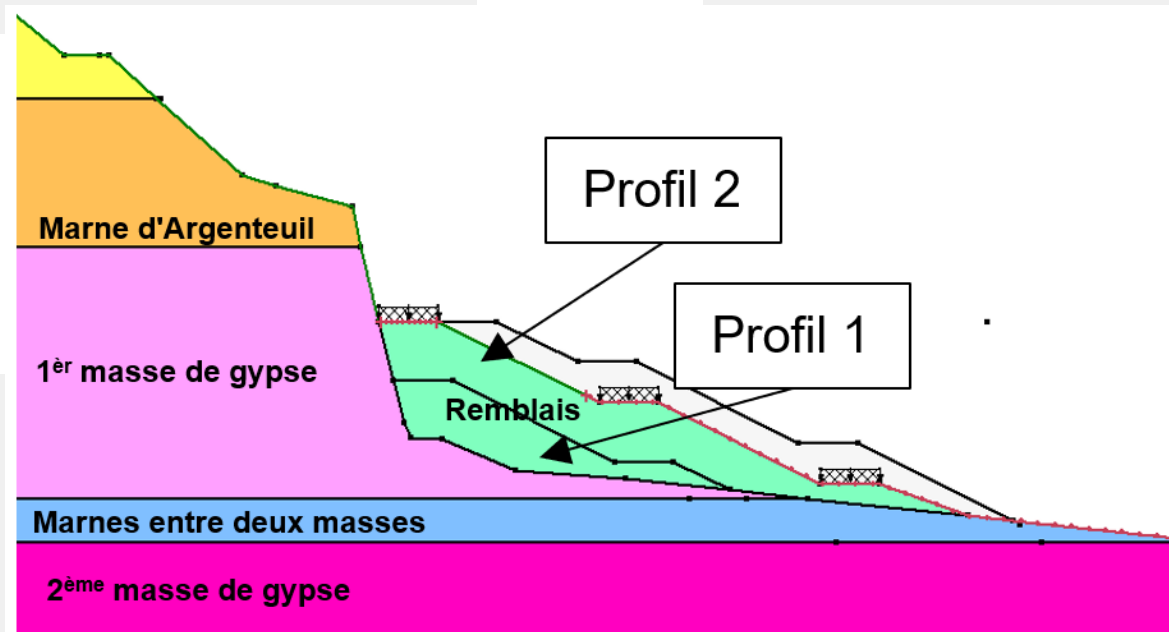


Figure 2 : Mise en place Création des redans entre les profils

Sur la figure 3, nous présentons l'évolution de la hauteur des remblais de la carrière qui sera comblée jusqu'au niveau 90 m NGF environ d'ici 2025 (soit sur une hauteur totale maximale de 28 m environ), puis qui ensuite sera remblayée jusqu'au niveau final compris entre 110-120 m NGF (soit sur une hauteur finale maximale de 58 m environ).

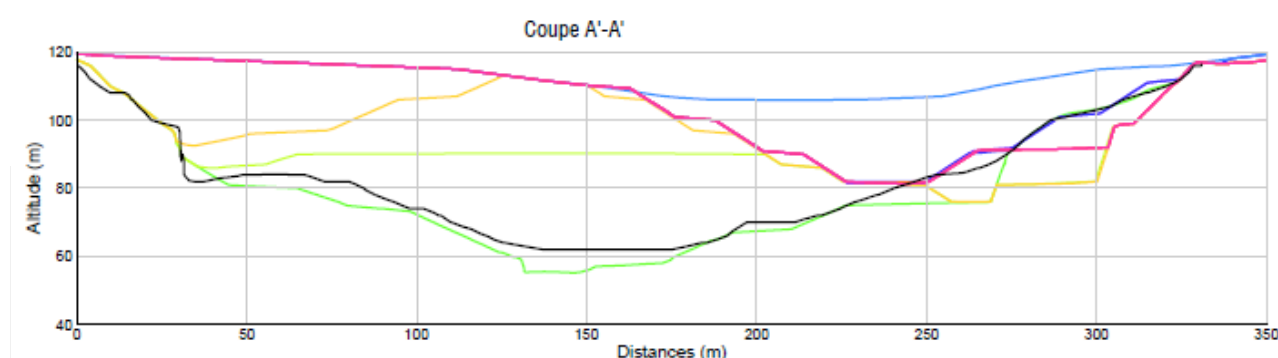
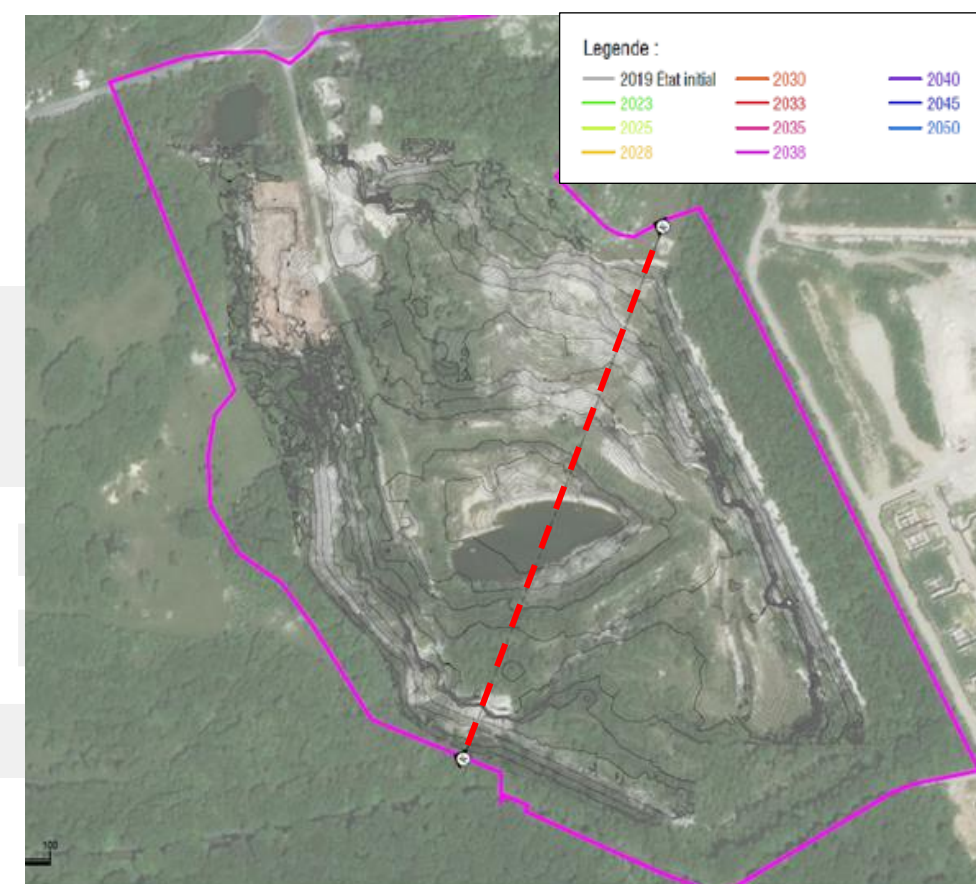


Figure 3 : Évolution de la hauteur des remblais jusqu'en 2050 – Coupe réalisée au droit du talus sud-ouest

2.4 Définition des profils types des futurs remblais

Comme discuté précédemment, deux profils types sont présentés et étudiés dans le cadre de cette étude : le premier étant basé sur les caractéristiques géotechniques minimales des matériaux utilisés et le second sur des paramètres géotechniques améliorés de ces mêmes matériaux après traitement.

Le passage du premier au second profil type est discuté dans le paragraphe §2.5.

Ces profils types doivent être répétitifs et intégrer ou bien englober les différents paramètres influant sur la stabilité générale des matériaux utilisés, à savoir leur nature ainsi que leurs caractéristiques géotechniques, la hauteur maximale possible à atteindre (cote finale du réaménagement), la pente du remblai ainsi que les contraintes d'exploitation (emprises nécessaires en fond de carrière).

Pour établir un profil type de remblais certains aspects doivent être considérés et des critères respectés pour garantir leur stabilité à court (séquençage des travaux) et à long termes (hauteur totale des remblais), à savoir :

- La nature ainsi que les caractéristiques des matériaux de remblaiement ;
- La géométrie du profil à construire (hauteur maximale à atteindre, pente de talus à respecter, etc.)
- Les dispositions constructives à mettre en place pour améliorer la stabilité locale et/ou générale du remblai (cf. chapitre 3) ;
- Les dispositions d'amélioration par compactage ou par traitement préalables.

Les profils définis ci-après tiennent compte de ces différents aspects en intégrant les données mises à notre disposition concernant les matériaux qui seront utilisées dans le cadre des travaux de remblaiement. Toutefois, nous recommandons de réaliser des essais en laboratoire complémentaires sur un panel d'échantillons représentatifs des matériaux de remblaiement pour confirmer la stabilité des profils envisagés.

Enfin, le profil type I concerne les matériaux de découvertes et les terres extérieures foisonnés et/ou mélangés avec des caractéristiques mécaniques minimales. Les dispositions constructives à respecter pendant leur mise en place sont décrites au chapitre 3.

Le profil type II concerne les mêmes matériaux que ceux du profil type I mais après avoir subi un traitement préalable (par compactage ou par chaulage) afin d'améliorer leur stabilité générale. Les dispositions d'amélioration ainsi que les dispositions constructives à respecter pendant leur mise en place sont décrites au chapitre 3.

2.4.1 Profil type I

La géométrie proposée dans le cas du profil type I est présentée sur la figure 4. Il s'agit d'un remblaiement avec :

- Une pente en remblai : $26,5^\circ$
- Une pente génératrice : 20°
- Une risberme : 4 m de large tous les 5 m de hauteur

Ce profil est compatible avec l'espace consacré aux travaux de remblaiement et le phasage d'exploitation et de comblement de la carrière.

Nous démontrons au chapitre 4 qu'avec les caractéristiques mécaniques proposées pour ces matériaux ($C_{app}=5 \text{ kPa}$, $\varphi_{app}=23^\circ$), la hauteur maximale des remblais ainsi que la pente génératrice du profil doivent être limitées respectivement à 5 m et $2H/1V$. une risberme de 4m de large est donc nécessaire tous les paliers de 5m de hauteur.

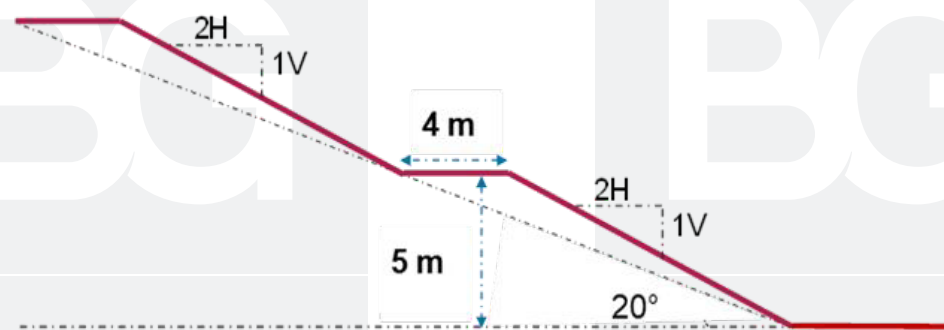


Figure 4 : Profil type I - Hauteur et pente génératrice limites des remblais – matériaux non-traités, non-compactés

2.4.2 Profil type II

Pour des questions de gestion des contraintes de chantier et d'optimisation du phasage des travaux, Placoplatre envisage de mettre en place les remblais avec la géométrie proposée ci-dessous. Ce

profil noté profil type II est compatible avec l'espace consacré aux travaux de remblaiement et le phasage d'exploitation et de comblement de la carrière.

Il s'agit d'un remblaiement avec :

- Une pente en remblai : 33°
- Une pente génératrice : 22°
- Une risberme : 10 m de large tous les 10 m de hauteur

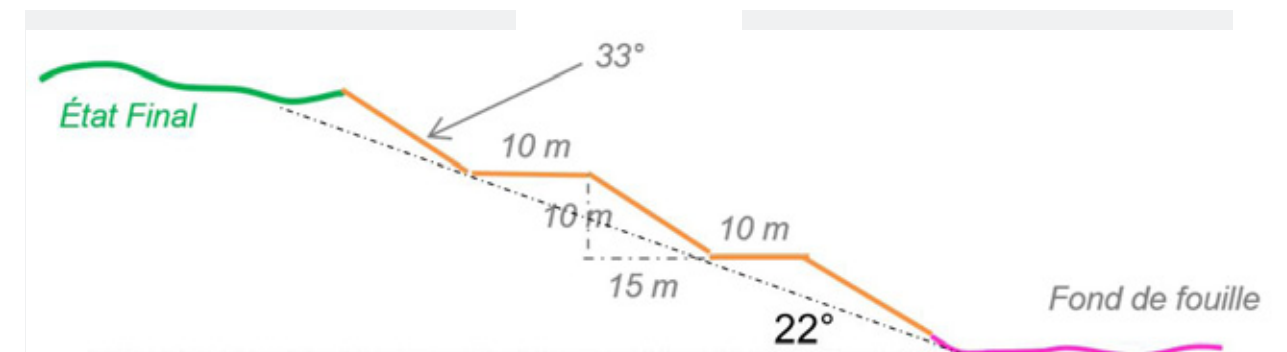


Figure 5 : Profil type II - Hauteur et pente génératrice des remblais proposés par Placoplatre – matériaux avec les caractéristiques mécaniques améliorées

Notons que la réalisation de risbermes (plateformes intermédiaires) a l'avantage d'améliorer la stabilité générale par rapport à une pente unique et permet de créer des voies d'accès pour l'entretien des talus.

Toutefois, les caractéristiques mécaniques du profil type I ne permettent pas d'atteindre cet objectif en l'état et des traitements préalables des sols doivent être envisagés de manière à améliorer sensiblement les paramètres de rupture.

Nous avons recherché par l'intermédiaire d'une retro-analyse (cf. chapitre 4) les paramètres de rupture à atteindre après traitement pour garantir la stabilité de ce profil à court ainsi qu'à long termes, ces paramètres sont :

$$C_{app}=16 \text{ kPa}, \varphi_{app}=23^\circ \text{ ou } C_{app}=5 \text{ kPa}, \varphi_{app}=34^\circ$$

Les dispositions d'amélioration envisageables et à respecter dans ce cas sont discutées au chapitre 3.

3. Dispositions constructives et d'amélioration à respecter

3.1 Dispositions constructives

Les dispositions constructives décrites dans ce chapitre sont à mettre en place quel que soit le profil type étudié. Il s'agit de travaux préparatoires préalables aux travaux de remblayage ainsi que des travaux assurant le drainage des corps des remblais contre les écoulements de surface. Ces dispositions ont pour objectif d'améliorer et de maintenir les conditions de stabilité générale des remblais avec le temps.

Nous avons étudié aussi le cas de créer une butée en pied de talus. Les résultats de calcul ont montré que l'efficacité de cette butée est limitée puisqu'elle ne prévient pas les glissements locaux survenant au niveau des talus intermédiaires des remblais.

3.1.1 Préparation des surfaces supports existantes des remblais

D'une manière générale, il convient de préparer et de vérifier le comportement du sol support sous la charge qui lui sera appliquée par le futur remblai et ceci avant le démarrage des travaux de

remblaiement (période début Mars – début Octobre de l'année N) et à la fin des travaux de remblaiement (début Octobre – fin Février de l'année N+1). Pour se faire, les règles suivantes doivent être respectées à minima :

- Purger les couches d'argiles ou de marnes saturées ou de consistance molles en surface (à la suite de fortes pluies, ou de phénomène de gel-dégel) ou bien après plusieurs mois d'arrêt de chantier si la qualité des talus est dégradée. Dans ce cas, il est nécessaire de décaper ces terrains de surface jusqu'à atteindre les terrains plus stables avant le démarrage des travaux de remblaiement ;
- Dans l'impossibilité de décaper ces terrains, considérer de les traiter préalablement notamment à la chaux (car elles peuvent jouer le rôle de couches savon) ;
- Créer des redans à l'avancement dans les pentes marneuses ou argileuses au-dessus de la première masse de gypse permettant l'accrochage des futurs remblais au remblai existant (le fascicule 2 du CCTG stipule 15 % comme valeur maximale de pente au-delà de laquelle des redans sont imposés). Les profils types proposés dans le cadre de l'étude respectent cette consigne ;
- Dans le cas d'une présence de résurgence, créer un réseau temporaire de drainage sur les redans avant remblaiement ;
- S'assurer de la disponibilité des matériaux de remblais adéquats pour la constitution des premières couches. **Les argiles vertes ne peuvent en aucun cas être positionnées en pied ou à la base des remblais.** Si possible, privilégier plutôt leur stockage temporaire pour leur réutilisation en tête des remblais, sinon des dispositions constructives particulières peuvent être prévues (mélange, confinement, etc.). Ces dispositions seront dimensionnées au cas par cas ;
- Compacter le sol ou la surface support des futurs remblais si la portance du terrain en place constatée le nécessite (dans ce cas aucun engin ne peut accéder au site sans interposition préalable d'une couche portante qui sera évidemment la première compactable).
- La base des remblais sur pente doit être protégée contre les écoulements. Ceux-ci peuvent être très réduits par un système de drainage interceptant les écoulements à l'amont et conduisant l'eau à travers le remblai.

3.1.2 Drainage du corps des remblais

Comme les remblais sont constitués des marnes de découverte ou de mélanges de marnes et de terres extérieures, leur comportement reste toujours sensible à l'eau. Il est donc nécessaire de limiter les infiltrations d'eau dans le corps de ces remblais pour ne pas dégrader leurs paramètres et donc fragiliser leur stabilité générale.

En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans les zones de faible pente et engendrer ainsi une instabilité amorcée. Nous rappelons que la principale source de venue d'eau dans la zone est météorologique.

Le système de drainage peut se faire de différentes manières, soit en réalisant un système de collecte des eaux de surfaces accompagnés des ouvrages de collecte comme cela est généralement fait dans le cadre de la bonne gestion d'un chantier de terrassement, et/ ou bien en réalisant des tranchées drainantes (ou équivalent) en pied ou tout le long de chaque talus construit afin d'évacuer les eaux infiltrées et/ou en provenance du corps des remblais, etc.

L'objectif étant de récolter les eaux de toute provenance et de les diriger vers un puisard pour évacuation hors zone de remblayage.

Les techniques qui peuvent être utilisées pour le drainage de surface sont des caniveaux, des fossés étanches ou bien des tranchées ou éperons drainants, etc. Le type d'ouvrage (souple ou constitué d'éléments rigides) doit être adapté au terrain : fossés étanches, éléments de limitations de débits, buses et demi-buses, plaquage en argiles du fond, etc. Les drains agricoles, dont la profondeur maximale est de 1,5m peuvent être associés aux caniveaux et aux fossés. Ils contribuent au drainage de surface et limitent les infiltrations.

Dans tous les cas, il est recommandé que le système de drainage retenu par Placoplatre soit validé préalablement par un géotechnicien expérimenté qui jugera ou pas de son efficacité à court ainsi qu'à long termes avant sa mise en place.

À titre d'exemple, ci-dessous une représentation schématique d'un système de drainage par éperons drainants. Le remplissage inhérent des couches drainantes doit être effectué avec de la grave propre exempte de fines est nécessaire au bon fonctionnement de la couche en lui assurant une forte perméabilité pour la gestion des écoulements.

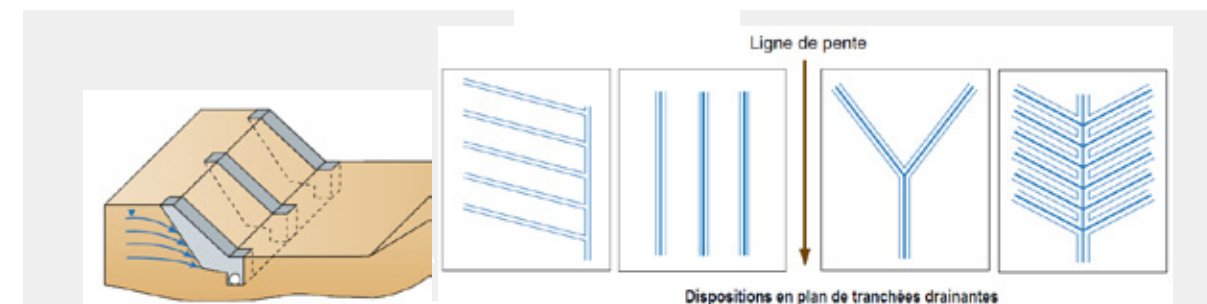


Figure 6: Principe de drainage des remblais par éperons ou tranchées drainantes

À noter aussi qu'au fur et à mesure que le corps des remblais s'épaissit, les réseaux créés dans le corps du remblai vont permettre de l'assainir et d'améliorer sa tenue avec le temps. Pendant la période annuelle qui suit l'arrêt des travaux de remblayage, il est de la responsabilité de l'entreprise de vérifier et de veiller à ce que le système de drainage mis en place fonctionne correctement.

3.2 Dispositions d'amélioration

Les deux mesures d'amélioration qu'on propose dans le cadre du projet de comblement de la carrière sont le compactage et le traitement des sols à la chaux ou bien aux liants hydrauliques. À ce stade de l'étude, le compactage concerne les deux profils type alors que le traitement ne concerne que le profil type II uniquement. Dans tous les cas, cette consigne doit être validée en phase travaux.

3.2.1 Compactage

Le compactage permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés (résistance au cisaillement), de réduire leur perméabilité ainsi que d'améliorer leur traficabilité. Il est donc indispensable de mettre en place les remblais par compactage et de bien choisir les engins à utiliser ainsi que l'énergie de compactage. Chaque couche doit être compactée selon un nombre de passes défini et le type de compacteur utilisé bien choisi (respect des consignes du GTR fascicule II, réalisation des remblais notamment le chapitre 4).

En termes de machine de compactage, nous recommandons les compacteurs vibrant à cylindre (Vi) ou bien à pied dameurs (Vpi) dans le cas de sols fins (selon la classification GTR des sols à compacter).

Dans le cas du profil type I

Pour ce profil, les objectifs minimums recherchés en termes de compactage sont :

- Energie de compactage moyenne (travaux à réaliser hors journées pluvieuses)
- Épaisseur de compactage : $e = 40 \text{ cm à } 50 \text{ cm}$
- Nombre de passes : 6
- Portance moyenne : $Ev2 \geq 25 \text{ MPa}$ à contrôler par un essai à la plaque
- Densité sèche selon Optimum Proctor normal ou modifié : $95\% \text{ de } \gamma_{dOPN} \geq 19 \text{ kN/m}^3$. Cette valeur sera contrôlée par des essais au gammadensimètre (cf. figure ci-dessous).

Ces critères devraient permettre d'atteindre la résistance à la rupture recherchée des matériaux comme évoqué précédemment :

$$C_{app} = 5 \text{ kPa}, \varphi_{app} = 23^\circ$$



Dans le cas du profil type II

Pour ce profil, les objectifs minimums recherchés en termes de compactage sont :

- Energie de compactage intense (travaux à réaliser hors journées pluvieuses)
- Épaisseur de compactage : $e = 40 \text{ cm}$
- Nombre de passes : 6 à 8
- Portance moyenne : $Ev2 \geq 50 \text{ MPa}$ à contrôler par un essai à la plaque
- Densité sèche selon Optimum Proctor normal ou modifié : 95% de $\gamma_{dOPN} \geq 20$ à 21 kN/m^3 . Cette valeur sera contrôlée par des essais au gammadensimètre.

Ces critères devraient permettre d'atteindre la résistance à la rupture recherchée des matériaux comme évoqué précédemment :

$$C_{app} = 16 \text{ kPa}, \varphi_{app} = 23^\circ \text{ ou } C_{app} = 5 \text{ kPa}, \varphi_{app} = 34^\circ$$

Toutefois, ces critères restent indicatifs et il est de la responsabilité de Placoplatre de réaliser une planche d'essai avec des mesures en laboratoire préalablement aux travaux de remblaiement afin de les valider et le cas échéant les réadapter.

3.2.2 Traitement

Parfois les conditions hydriques des matériaux fins ne permettent pas leur compactage ou bien lorsque les besoins de l'exploitation nécessitent un raidissement important des pentes de talus (profil type II par exemple). Dans ces cas, une autre solution existe pour améliorer les caractéristiques mécaniques de ces matériaux (souvent en complément du compactage) et assurer leur stabilité à long terme et en forte hauteur. Il s'agit d'un traitement préalable à la chaux, ou bien à la chaux mélangée au ciment (type Durgéosol) ou aux liants hydrauliques.

La stabilisation ne doit pas être menée sur l'ensemble des corps remblayés (impact coût, planning et environnement (phénomène de lessivage) mais sur certaines tranches « support ».

Elle peut être appliquée soit en "sandwich" soit par zones ciblées. Dans tous les cas, la stabilité des remblais traités doit être justifiée. Si malgré le traitement, la stabilité du remblai n'est pas assurée, d'autres solutions de confortement doivent être étudiées au cas par cas et avec l'appui d'un géotechnicien expérimenté.

Nous avons réalisé au chapitre 4 des calculs de stabilité sur des remblais traités à la chaux par couches d'1m d'épaisseur tous les 4m de remblais. Les paramètres de rupture à atteindre et retenus pour les couches traitées sont :

$$C_{app} = 108 \text{ kPa}, \varphi_{app} = 28^\circ (R_c = 360 \text{ kPa})$$

Ces paramètres seront obtenus pour un taux de dosage à la chaux de 3% environ et après 7 jours de cure et avant la poursuite des travaux de remblayage.

Nous nous sommes basés sur les résultats des essais réalisés par NGUYEN (2011-2014) sur les matériaux du type A selon le GTR, qui montrent qu'une résistance à la compression (R_c) d'environ 500 kPa est obtenue après un temps de cure de 7 jours. Cette valeur reste supérieure à la valeur minimale nécessaire pour assurer la stabilité des talus.

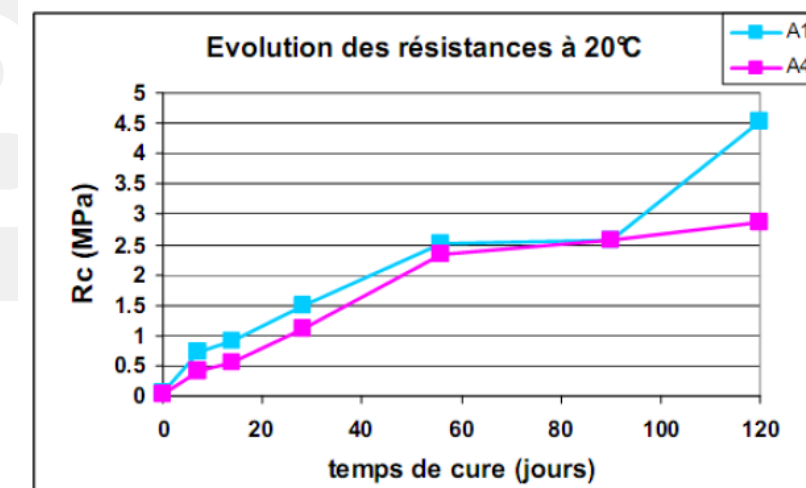


Figure 7 : Évolution de la résistance à la compression des matériaux avec le temps de cure à la chaux

Toutefois, ces critères restent indicatifs et il est de la responsabilité de Placoplatre de réaliser une planche d'essai de sols traités et compactés avec des mesures en laboratoire et préalablement aux travaux de remblaiement afin de les valider et le cas échéant les réadapter.

4. Justification de la stabilité des deux profils types proposés

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de calcul de stabilité effectués pour la justification des deux profils types de remblaiement proposés en fonction des dispositions constructives décrites précédemment. Les calculs ont été menés dans les cas suivants :

- Profil type I
 - Les matériaux sont mis en place avec un compactage moyen et sans traitement préalable en respectant la hauteur et la pente génératrice limitées à 5m et 2H/1V respectivement. Les calculs de stabilité ont été menés sur la base des paramètres de rupture suivants :
- Profil type II
 - Trois cas de figure ont été étudiés :
 - Cas N°1 : Les matériaux sont mis en place avec compactage intense et sans traitement préalable, amélioration de la cohésion (C_{app}) des matériaux ;
 - Cas N°2 : Les matériaux mis en place avec compactage intense et sans traitement préalable, amélioration de l'angle de frottement (φ_{app}) des matériaux ;
 - Cas N°3 : Les matériaux sont mis en place avec un compactage moyen mais avec des bandes traitées à la chaux en "sandwich" d'1m d'épaisseur tous les 4m de remblais.

$C_{app} = 5 \text{ kPa}$, $\varphi_{app} = 23^\circ$

Les calculs de stabilité qui ont été menés dans les trois cas avaient pour objectif de chercher les paramètres de rupture minimum des matériaux à atteindre pour justifier la stabilité du profil.

Les calculs doivent être remis à jour en cas de modification des profils de remblais projetés.

4.1 Méthode et hypothèses de calcul

Des calculs de stabilité ont été réalisés à l'aide du logiciel GEOSLOPE en utilisant la méthode de Bishop au niveau d'une coupe passant par le glissement observé au niveau du talus sud-ouest (implantation présentée sur la Figure 3).

Les calculs sont réalisés pour deux niveaux min et max de remblaiement qui sont respectivement à 90 m NGF (soit une hauteur maximale de 28 m) atteints en 2025 et environ à 120 m NGF en 2050 (soit une hauteur maximale de 50 m).

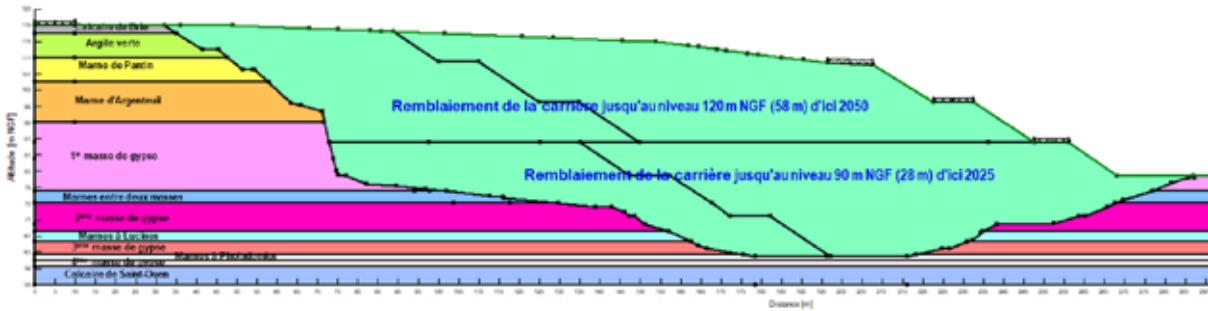


Figure 8 : Coupe de calcul choisie au droit du glissement observé au niveau du talus sud-ouest

Nous avons retenu les paramètres ci-dessous pour les sols supports des futurs remblais (Tableau 2) sur la base de notre expérience du secteur des travaux ainsi que celui du bassin parisien.

La réalisation d'essais en laboratoire complémentaires tels que les essais triaxiaux type consolidés non drainés (CU) est recommandée pour déterminer de façon précise les paramètres géotechniques notamment les paramètres de rupture des différentes couches géologiques nécessaires au calcul de stabilité. Cela permettrait d'affiner le modèle ainsi que les caractéristiques du profil type.

Formation	$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$C_{app} \text{ [kPa]}$	$\varphi_{app} \text{ [}^\circ\text{]}$
Calcaire de Brie (TB)	20	10	30
Argile verte (GV)	20	10	18
Marne de Pantin (MP)	20	25	30
Marne d'Argenteuil (MA)	20	25	26
1 ^{er} masse de gypse	22	290	35
Marnes entre deux masses	20	20	30
2 ^{ème} masse de gypse	22	40	35
Marnes à Lucines	20	20	30
3 ^{ème} masse de gypse	22	40	35
Marnes à Pholadomies	20	20	30
4 ^{ème} masse de gypse	22	40	35
Calcaire de Saint-Ouen (SO)	19	5	30
Remblais (sans compactage et sans traitement)	20	5	23

Tableau 2: Paramètres géotechniques proposés pour les différentes lithologies rencontrées

La stabilité des remblais est exprimée par un facteur de sécurité contre le glissement (F.S.). Ce facteur de sécurité est le ratio entre les efforts résistants et les actions motrices de glissement. Plus ce ratio est élevé plus la sécurité du massif contre le glissement est assurée.

La stabilité des remblais est vérifiée selon l'approche 3 de l'Eurocode 7, la stabilité générale doit être justifiée en prenant en compte les coefficients partiels suivants.

	Actions	Symbole	Coefficients approche 3
Charge	Permanente	γ	1
	Variable	γ_Q	1.3
Paramètres du sol	Angle de frottement interne	$\gamma_{\varphi'}$	1.25
	Cohésion effective	$\gamma_{C'}$	1.25
	Poids volumique	γ_Y	1
	Pression limite pressiométrique	γ_{pl}	1.4
Résistance globale au cisaillement sur une surface de rupture		γ_{Re}	1
Méthode de calcul		γ_{Rd}	1
Facteur de sécurité global à rechercher			1.1

Tableau 3: Facteurs partiels selon l'approche 3 de l'EC 7

Une surcharge de chantier de 20 kPa est appliquée au niveau des risbermes.



4.2 Calculs de stabilité

4.2.1 Profil type I : Compactage moyen et absence de traitement préalable

Cette solution consiste à réaliser un remblai avec les caractéristiques suivantes, elle sera appliquée dans le cas où aucune amélioration des matériaux n'est envisageable :

- Pentes des talus = 2H/1V
- Hauteur des talus = Max 5 m
- Largueur des risbermes = 4m
- Pas de traitement à la chaux ou liants, compactage moyen

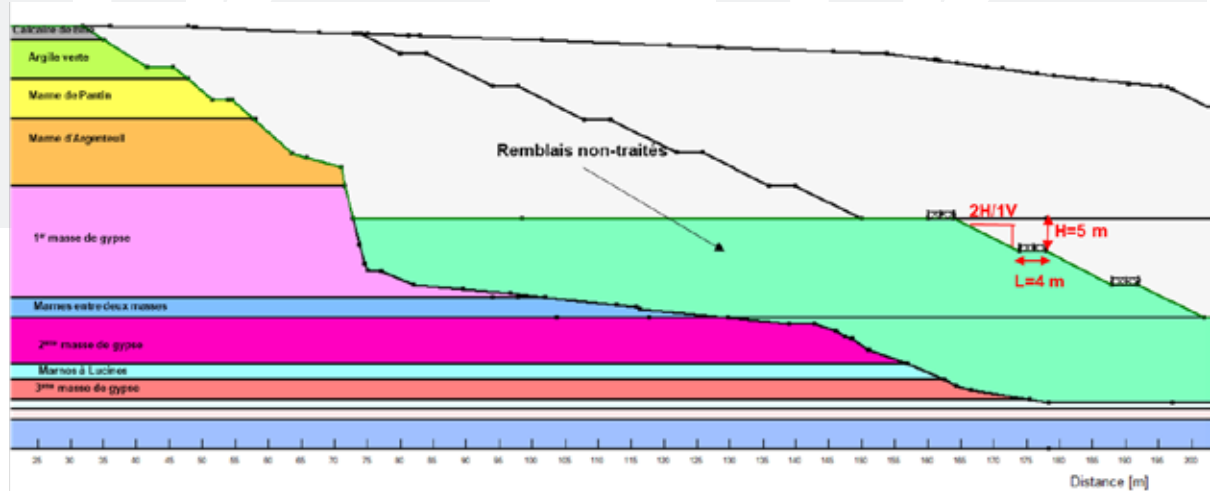


Figure 9 : Modèle de calcul choisie pour le remblai non-compacté et non traité à la chaux

Les résultats de calcul montrent que les remblais sont stables (F.S.>=1.1) pour toutes les étapes avec les pentes et les hauteurs préconisées (2H/1V, h=5 m) en considérant une cohésion apparente de 5 kPa (présence continue d'un système de drainage efficace).

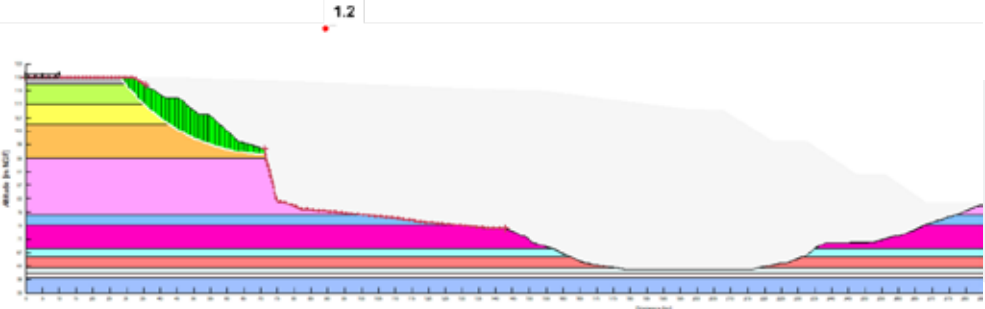
Comme indiqué dans le tableau ci-dessous, le facteur de sécurité minimum recherché (F.S.>=1.1) est respecté pour chaque phase (présentation des résultats de calcul Geoslope sur le tableau suivant).

N°	Phase	F.S.
1	Reprofilage du talus et Mise en place des remblais initiaux au fond de la fosse	1.2
2	Mise en place des remblais jusqu'à 90 m NGF (soit une hauteur maximale de 28 m)	1.1(local) - 1.1 (général)
3	Remblayage à 90 m NGF en 2025 (28 m de remblai) et Mise en place des remblais jusqu'à environ 120 m NGF	1.1(local) - 1.1 (général)
4	Remblayage à 120 m NGF en 2038 (soit une hauteur maximale de 58 m)	1.1(local) - 1.1 (général)

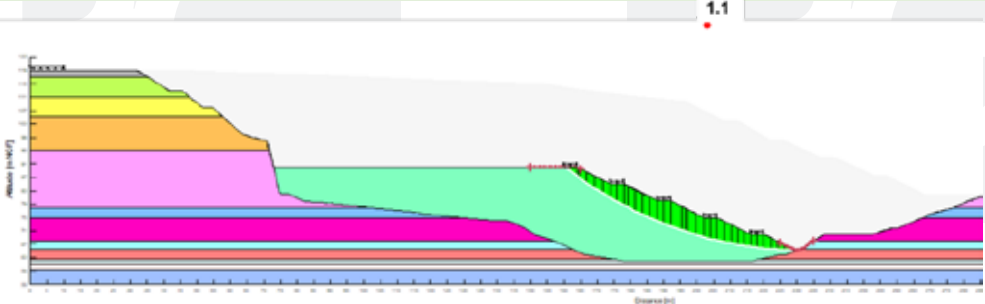
Profil type I sans traitement : résultats de calcul de stabilité

Surface de glissement critique général

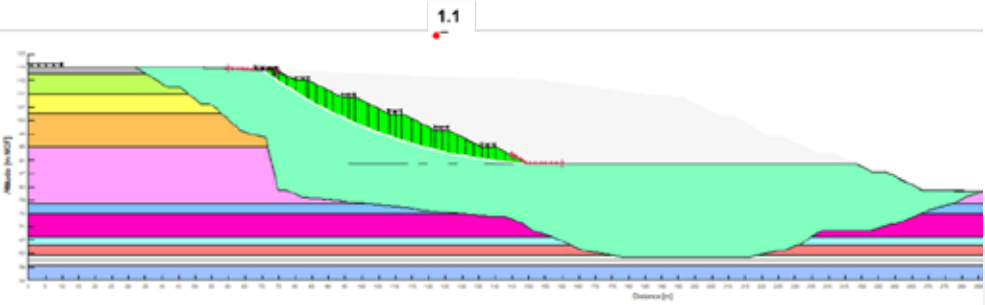
1 : Reprofilage des talus existants de la carrière



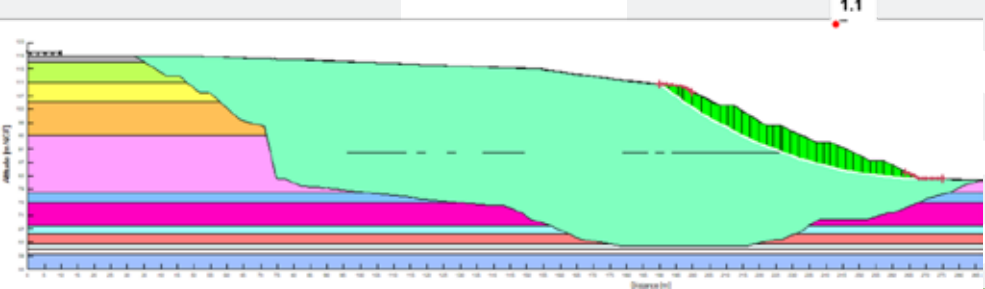
2 : Remblaiement de la carrière jusqu'au niveau 90 m NGF (Hauteur des remblais : 28 m)



3 : Remblaiement de la carrière jusqu'au niveau 120 m NGF (Hauteur des remblais : 30 m)



4 : Suite de remblaiement de la carrière jusqu'au niveau 120 m NGF (Hauteur des remblais : 30 m)



Surface de glissement critique local

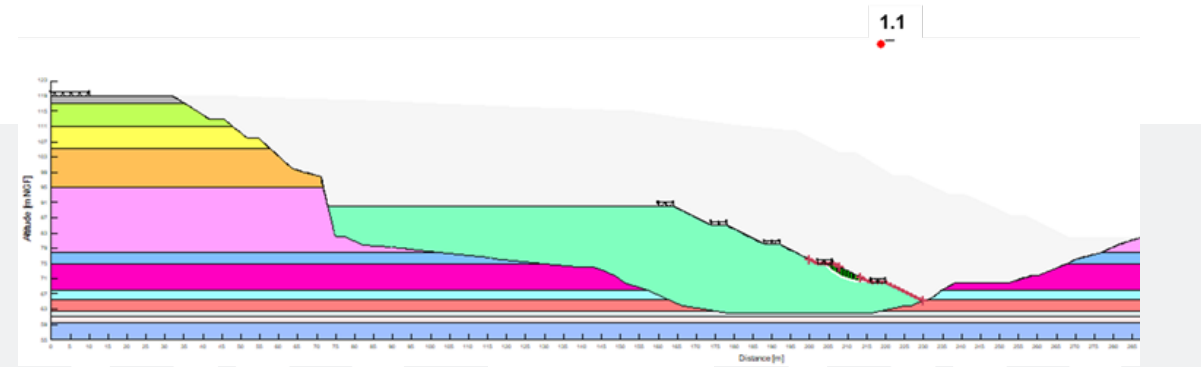


Figure 10 : Résultats des calculs de stabilité des remblais au droit de la coupe choisie : Profil type I (2H/1V), compactage moyen et sans traitement à la chaux ou liants

Ces calculs de stabilité présentés ci-dessus constituent une première base de justification et doivent être adaptés en fonction d'éventuelles modifications du profil et phasage de remblaiement étudiés. De même, ils seront réévalués en fonction du retour d'expérience du chantier (en fonction des caractéristiques mécaniques mesurés des matériaux mis en place).

4.2.2 Profil type II : Compactage intense et sans traitement à la chaux

Les résultats de calcul des trois cas cités précédemment au chapitre 4 sont présentés dans ce paragraphe.

La première solution envisagée consiste à réaliser un remblai avec les caractéristiques suivantes :

- Pente des talus = 15H/10V
- Hauteur des talus = Max 10 m
- Largeur des risbermes = 10 m
- Compactage intense pour atteindre les caractéristiques mécaniques améliorées suivantes :
 - Cas N°1 - l'amélioration porte sur la cohésion uniquement : $C_{app}=16\text{ kPa}$, $\varphi_{app}=23^\circ$
 - Cas N°2 - l'amélioration porte sur l'angle de frottement uniquement : $C_{app}=5\text{ kPa}$, $\varphi_{app}=34^\circ$
- Pas de traitement à la chaux

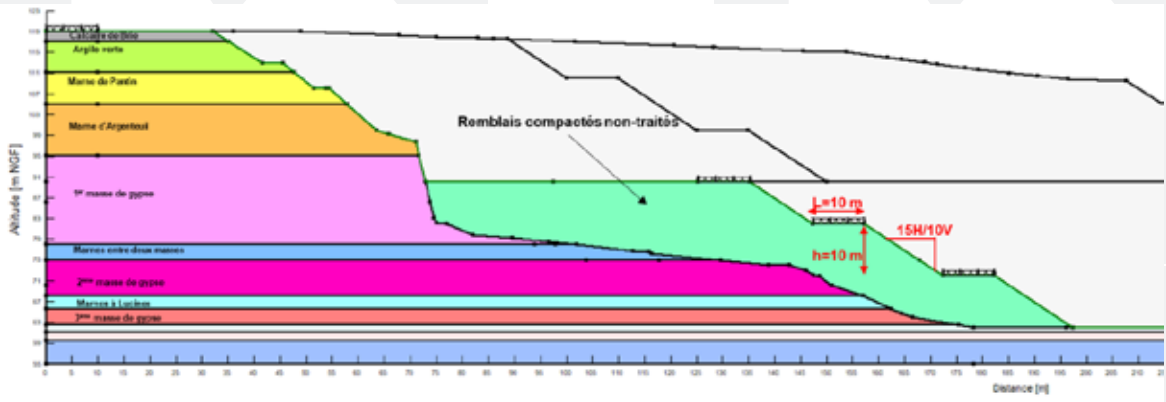


Figure 11 : Profil type II - Modèle de calcul choisi pour le remblai non traité à la chaux

Profil type II : Résultats de calcul pour cas N°1

Amélioration de la cohésion ($C_{app}=16\text{ kPa}$, $\varphi_{app}=23^\circ$)

Surface de glissement critique général

1 : Reprofilage des talus existants de la carrière

Les résultats de calcul montrent que les remblais sont stables ($F.S.>=1.1$) pour toutes les étapes avec les pentes et les hauteurs préconisées (15H/10V, $h=10\text{ m}$) en considérant une cohésion apparente de 16 kPa (présence continue d'un système de drainage efficace) et un angle de frottement de 23° pour les remblais compactés.

Comme indiqué dans les tableaux ci-dessous, le facteur de sécurité minimum recherché ($F.S.>=1.1$) est respecté pour chaque phase (présentation des résultats de calcul Geoslope sur les tableaux suivant).

Cas N°1 : Amélioration de la cohésion ($C_{app}=16\text{ kPa}$, $\varphi_{app}=23^\circ$)

N°	Phase	F.S.
1	Reprofilage du talus et Mise en place des remblais initiaux au fond de la fosse	1.2
2	Mise en place des remblais jusqu'à 90 m NGF (soit une hauteur maximale de 28 m)	1.1(local) - 1.2 (général)
3	Remblayage à 90 m NGF en 2025 (28 m de remblai) et Mise en place des remblais jusqu'à environ 120 m NGF	1.1(local) - 1.2 (général)
4	Remblayage à 120 m NGF en 2038 (soit une hauteur maximale de 50 m)	1.1(local) - 1.2 (général)

Cas N°2 : Amélioration de l'angle de frottement ($C_{app}=5\text{ kPa}$, $\varphi_{app}=34^\circ$)

N°	Phase	F.S.
1	Reprofilage du talus et Mise en place des remblais initiaux au fond de la fosse	1.2
2	Mise en place des remblais jusqu'à 90 m NGF (soit une hauteur maximale de 28 m)	1.1(local) - 1.5 (général)
3	Remblayage à 90 m NGF en 2025 (28 m de remblai) et Mise en place des remblais jusqu'à environ 120 m NGF	1.1(local) - 1.5 (général)
4	Remblayage à 120 m NGF en 2038 (soit une hauteur maximale de 50 m)	1.1(local) - 1.5 (général)

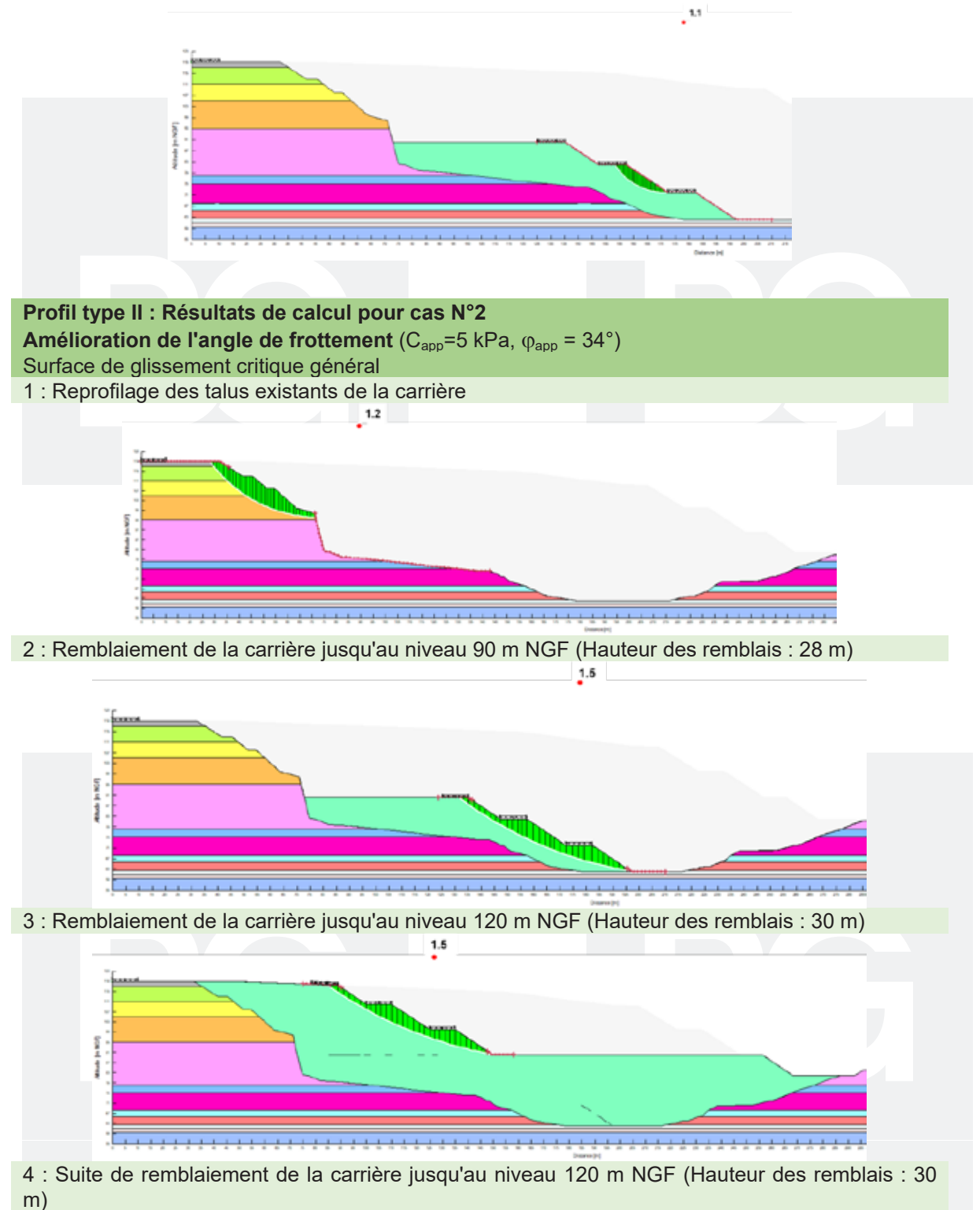
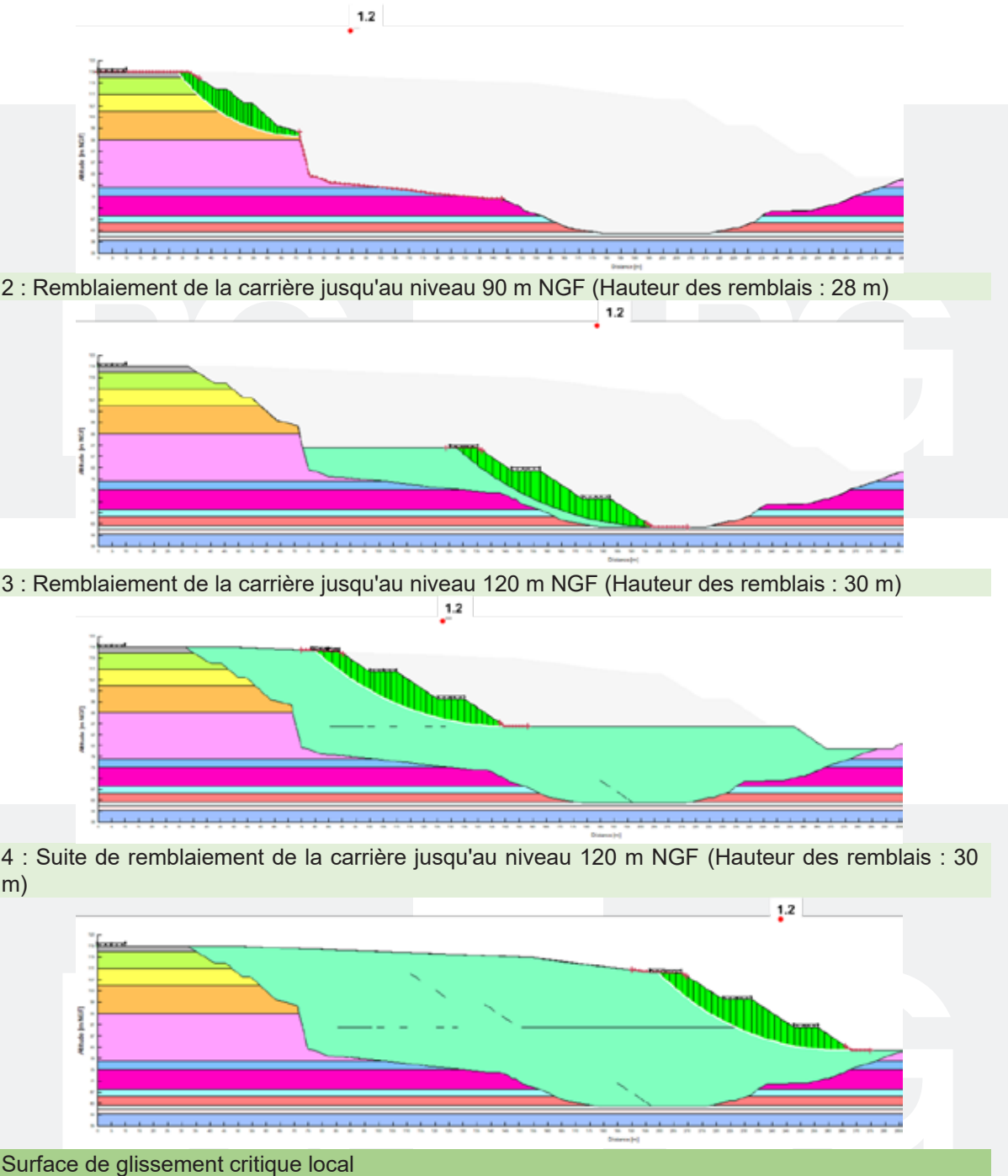


Figure 12 : Résultats des calculs de la stabilité des remblais au droit de la coupe choisie : Profil type II - Avec compactage intense et Sans traitement des matériaux (cas N°1 - amélioration de la cohésion)

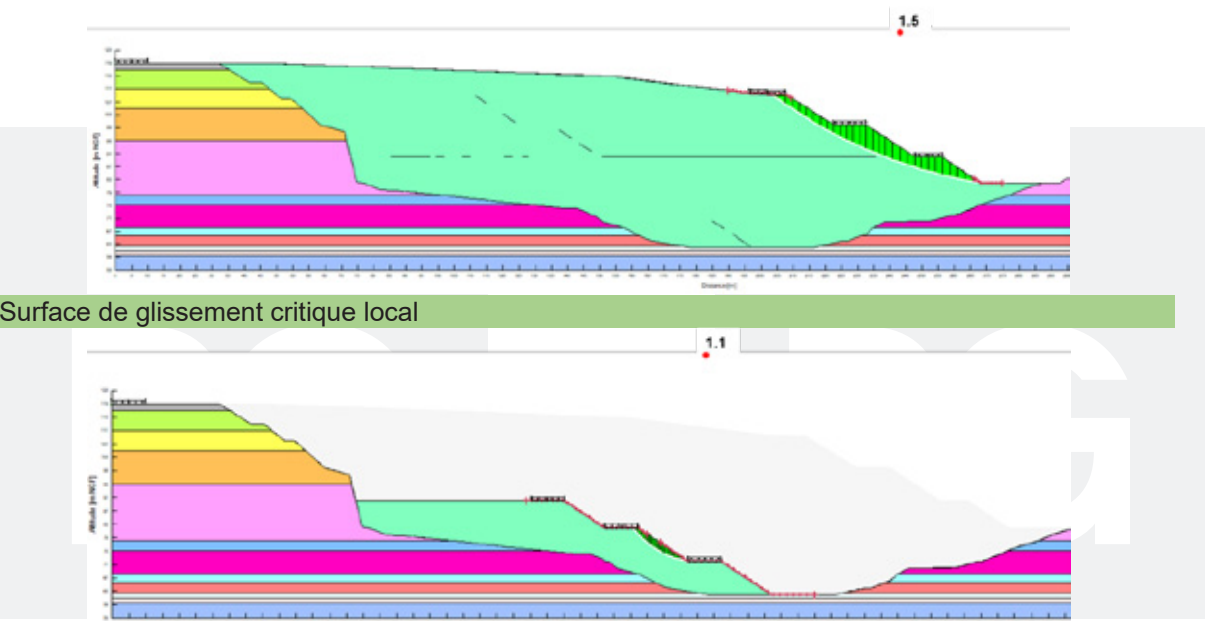


Figure 13 : Résultats des calculs de la stabilité des remblais au droit de la coupe choisie : Profil type II - Avec compactage intense et sans traitement des matériaux (cas N°2 - amélioration de l'angle de frottement)

4.2.3 Profil type II : Compactage moyen et avec traitement préalable

La deuxième solution envisagée consiste à réaliser un remblai avec les caractéristiques suivantes :

- Pentes des talus = 15H/10V
- Hauteur des talus = Max 10 m
- Largeur des risbermes = 10 m
- Traitement des matériaux de remblaiement à la chaux sur 1 mètre d'épaisseur tous les 4 mètres d'hauteur (dosage max 3% et temps de cure d'au moins 7 jours) et compactage moyen pour atteindre les caractéristiques mécaniques améliorées suivantes :
 - Cas N°3 - l'amélioration porte sur les deux paramètres simultanément :
 $C_{app}=16 \text{ kPa}$, $\varphi_{app}=23^\circ$

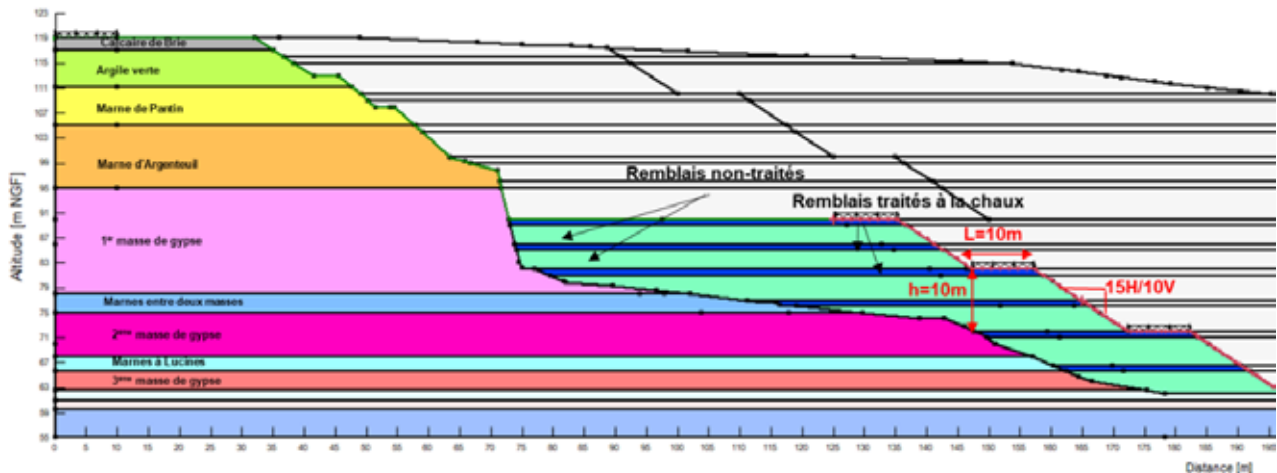


Figure 14 : Profil type II - Modèle de calcul choisie pour le remblai traité à la chaux

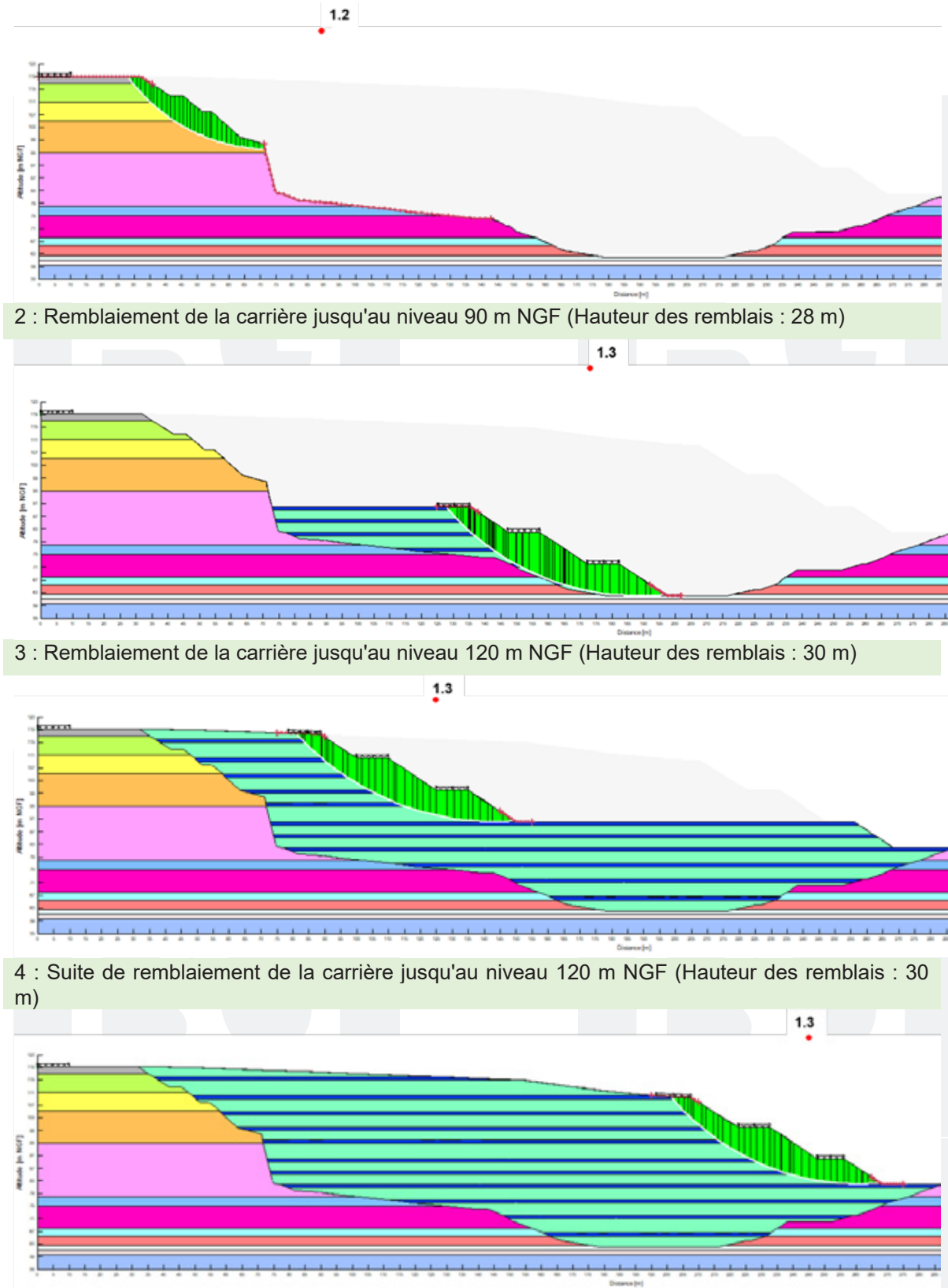
Les résultats de calcul montrent que les remblais sont stables ($F.S. \geq 1.1$) pour toutes les étapes avec les pentes et les hauteurs préconisées (15H/10V, $h=10 \text{ m}$) en considérant une cohésion apparente de 126 kPa (présence continue d'un système de drainage efficace) et un angle de frottement de 28° pour les couches traitées à la chaux.

Comme indiqué dans le tableau ci-dessous, le facteur de sécurité minimum recherché ($F.S. \geq 1.1$) est respecté pour chaque phase (présentation des résultats de calcul Geoslope sur le tableau suivant).

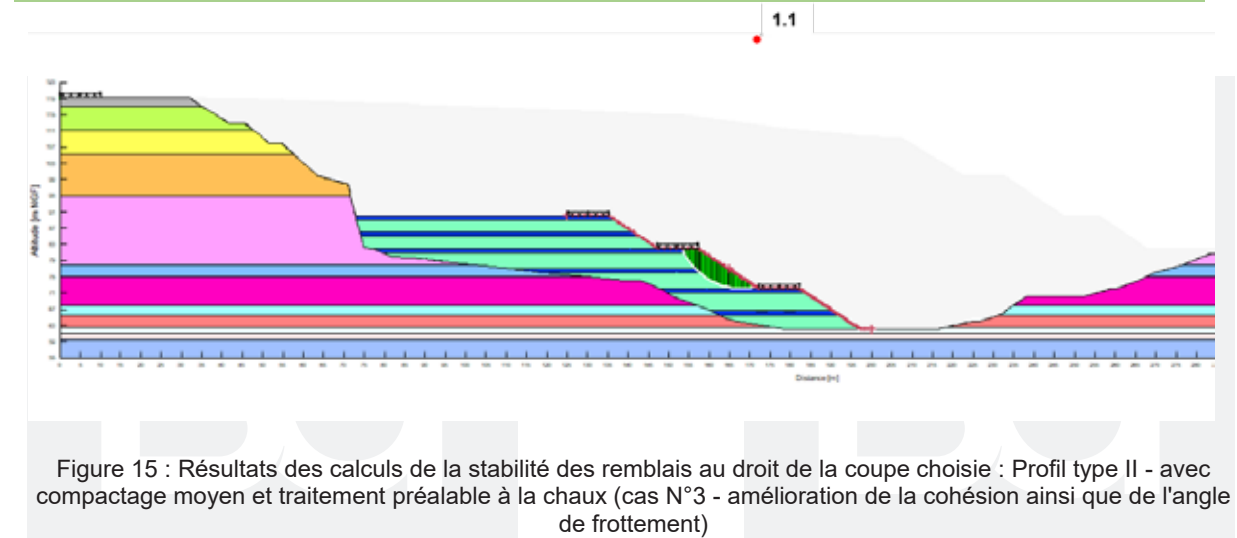
Cas N°3 : Amélioration des paramètres par traitement ($C_{app}=108 \text{ kPa}$, $\varphi_{app}=28^\circ$)

N°	Phase	F.S.
1	Mise en place des remblais initiaux au fond de la fosse	1.2
2	Mise en place des remblais jusqu'à 90 m NGF (soit une hauteur maximale de 28 m)	1.1(local) - 1.3 (général)
3	Remblayage à 90 m NGF en 2025 (28 m du remblais) et Mise en place des remblais jusqu'à environ 120 m NGF	1.1(local) - 1.3 (général)
4	Remblayage à 120 m NGF en 2038 (soit une hauteur maximale de 50 m)	1.1(local) - 1.3 (général)

Profil type II : Résultats de calcul pour cas N°3
Amélioration par traitement à la chaux en sandwich ($C_{app}=108 \text{ kPa}$, $\varphi_{app}=28^\circ$)
Surface de glissement critique général
1 : Reprofilage des talus existants de la carrière



Surface de glissement critique local



5. Recommandations

Nos recommandations citées ci-dessous portent sur les moyens à mettre en œuvre pour assurer la stabilité des deux profils types de remblaiement à court terme (durée inférieure à 3 ans) et à long terme (3 ans à 30 ans) prévus dans le cadre des travaux de comblement de la carrière.

Pour rappel, le premier profil type concerne la mise en place des remblais par compactage moyen et sans traitement préalable à la chaux (ou d'autres liants) sous faible pente génératrice (20°) et faible hauteur (5m) alors que le second profil type est plus raide et concerne la mise en place de ces remblais soit par compactage intense soit par compactage moyen après traitement préalable à la chaux sur 1 m d'épaisseur tous les 4 m de remblais. Dans ce cas la pente génératrice peut être augmentée à 22° et une hauteur de 10m avant la réalisation d'une risberme.

Les contraintes principales du remblaiement sont d'une part, inhérentes à la nature hétérogène des matériaux fins à mettre en place et très sensibles à l'eau, à la hauteur totale importante de ces remblais à atteindre (de l'ordre de 50 m) ainsi que les conditions de leur mise en place.

Ces contraintes imposent une conception sérieuse de manière à garantir la stabilité de ces remblais.

Recommandations à court et long-termes :

1. Il est nécessaire de mettre en place un système de collecte et/ou de drainage capable de capter et d'évacuer les eaux de surface pendant les travaux et en périodes d'arrêt de chantier. Une surveillance continue du bon fonctionnement du système de drainage ainsi que de son entretien est indispensable (notamment pendant les intempéries) et doit être effectuée par le surveillant de chantier. Des fiches de visites complétées par des observations constatées sur place doivent être créées et documentées. Placoplatre doit informer le géotechnicien qui suit le chantier de toute dégradation du système de drainage.
2. Les paramètres de rupture de ces sols hétérogènes ainsi que les calculs de stabilité ont été effectués sur la base de notre retour d'expérience sur des projets similaires dans la région parisienne. Toutefois, malgré toute vigilance prise dans notre démarche, il se peut que ces terrains présentent des caractéristiques plus faibles ou différentes que celles prévues (notamment

en atteignant les paramètres de rupture résiduels à cause des fortes contraintes générées par la hauteur des remblais). Avant le démarrage des premiers travaux de remblaiement, il est nécessaire d'effectuer d'une part des essais en laboratoire (identification GTR et essais mécaniques type triaxiaux) sur des échantillons reconstitués et compactés dans les conditions de chantier tel que stipulé au chapitre 3 et d'autre part des planches d'essais de manière à confirmer les critères de compactage pour la mise en place (épaisseur, densité sèche optimale, nombre de passes, etc.).

3. Nous recommandons la mise en place d'une surveillance continue constituée de relevés topographiques tous les 6 mois (Février / Juillet), d'une inspection hebdomadaire et après chaque épisode de fortes précipitations à effectuer par le surveillant de chantier avec des rapports et constats sur l'état de surface des talus ainsi que le bon fonctionnement du système de drainage des écoulements et d'autre part d'une surveillance détaillée à effectuer par un expert en géotechnique tous les 2 mois, (par exemple pour un chantier de découverte saisonnier d'Avril à Octobre : au début du démarrage des travaux, puis deux fois pendant l'avancement des travaux et enfin à la fin des travaux de l'année en cours avant fermeture du chantier).
4. Il est indispensable que le surveillant de chantier établisse pendant ses inspections un constat des lieux (présence de fissures, d'affaissement, etc., effectuer un relevé de ces fissures, ou bien constater et relever un glissement superficiel). Ces inspections doivent être renforcées pendant les périodes de fortes pluies. Si des fissures importantes ont été constatées, Placoplatre doit informer le géotechnicien qui suit le chantier.
5. Pour garantir un bon suivi sur la gestion de la stabilité des remblais à court et à long termes il est nécessaire de documenter les hauteurs des remblais atteintes et validées par un topographe pour chaque étape de remblaiement ainsi que les contrôles de la densité des matériaux compactés au gammadensimètre y compris les essais de plaque.
Nous rappelons aussi qu'un contrôle de la compacité des gradins (ou plateformes intermédiaires) sur plusieurs points par des essais à la plaque est nécessaire.
6. Concernant les profils à risque (profils où des fissures ou mouvements de terrain ont été constatés), nous recommandons d'instrumenter le corps de ces remblais pour suivre leur évolution (inclinomètre, tassomètre, etc.) avec le temps.

Enfin, et en accord avec le géotechnicien qui suit le chantier, une réévaluation éventuelle des caractéristiques des profils type des remblais décrit aux chapitres 2 et 3 peut être effectuée si les résultats de laboratoire ainsi que les conditions de compactage montrent une meilleure tenue des remblais traités ou non traités avec le temps.



Siège social

40, rue Moreau Duchesne
77910 Varreddes

 01 64 33 18 29



Bureau de Coulommiers

87, Avenue Jehan de Brie
77120 Coulommiers

 01 64 03 02 05



Bureau de La Ferté-sous-Jouarre

64, rue Pierre Marx
77260 La Ferté-sous-Jouarre

 01 60 22 02 38



Bureau de Crépy-en-Valois

2, bis rue Louis Armand
60800 Crépy-en-Valois

 03 44 59 10 81

environnement@cabinet-greuzat.com
<http://www.cabinet-greuzat.com>

