

Annexe 5 Etude de stabilité de la plateforme de lançage – Arcadis – Février 2015

GROUPEMENT MAITRISE D'ŒUVRE



AGENCE
L'ANTON & ASSOCIÉS

Strates



ETUDES GEOTECHNIQUES - PLATEFORME DE LANCAGE - BASSIN DE RETENTION

MAITRE D'OUVRAGE



SANEF- SAPN
Direction de la Construction et du Patrimoine
BP 50073
60304 Senlis cedex

Emetteur **Arcadis**
 Agence de NANTES
 17 Place Magellan
 Le Ponant 2 - Zone Atlantis
 BP 10121
 44817 St Herblain Cedex
 Tél. : +33 (0)2 40 92 19 36
 Fax : +33 (0)2 40 92 76 20

Réf affaire Emetteur **13-002773**
 Directeur de Projet **A.NAEL**
 Auteur principal **C. RIEU**

Nombre total de pages **17**

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	30/03/2015	Première diffusion	CRI	PHL	AN
B01	02/07/2015	Mise à jour suite au contrôle extérieur d'EGIS	PHL	AN	AN
C01	16/07/2015	Mise à jour logo	PHL	AN	AN
D01	30/09/2015	Modifications suite aux remarques LAFARGE	PHL	AN	AN

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive d'ARCADIS ESG.
 Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

Table des Matières

A. Généralités	4	E.2.4 Surcharges en tête.....	15
A.1 Contexte de l'étude.....	4	E.2.5 Renforcements.....	15
A.2 Présentation de la zone d'étude.....	4	E.2.6 Calculs TALREN et résultats.....	15
A.3 Présentation des ouvrages étudiés : plateforme de lancement et bassin de rétention.....	5	F. Terrassements et protection contre l'eau lors des travaux	16
A.4 Phasage des travaux.....	5	F.1 Travaux préparatoire.....	16
B. Examen du front de taille par l'INERIS – Zone d'Influence Géotechnique	6	F.1.1 Déboisement.....	16
B.1 Rappels des constats de l'INERIS.....	6	F.1.2 Décapage des remblais de surface et de la terre végétale.....	16
B.2 Zone d'Influence Géotechnique (ZIG).....	6	F.1.3 Traitement des galeries potentielles au droit de l'éperon rocheux et risque pyrotechnique.....	16
B.3 Solutions à apporter pour se prémunir du risque de propagation de blocs dans l'emprise de la plateforme de lancement.....	7	F.2 Extraction.....	16
C. Synthèse des investigations géotechniques	7	F.3 Stabilité des ouvrages existants.....	16
C.1 Coupe des sols.....	7	F.4 Réemploi des matériaux.....	16
C.2 Synthèse des sondages géotechniques.....	8	F.5 Protection contre l'eau.....	16
C.3 Niveaux d'eau.....	8	G. Assise des plateformes	16
C.4 Constitution des sols au droit de la plateforme de lancement et du bassin de rétention.....	8	G.1 Partie supérieure des terrassements (PST) et arases (AR).....	16
C.4.1 Sondages géotechniques effectués dans l'emprise de ces deux ouvrages.....	8	G.2 Amélioration de la PST0-AR0 dans les zones en déblai et en remblai de faible hauteur (H < 1 m).....	17
C.4.2 Synthèse.....	8	G.3 Couche de forme.....	17
D. Stabilité de la plateforme de lancement	9	G.4 Tableau de synthèse.....	17
D.1 Partie en déblais : étude de stabilité vis-à-vis du glissement.....	9		
D.1.1 Analyse de la stabilité des pentes de talus par la méthode observationnelle.....	9		
D.1.2 Analyse de la stabilité des pentes de talus par la méthode calculatoire.....	11		
D.2 Partie en remblais.....	13		
D.2.1 Tassements du sol sous le corps de la plateforme de lancement en remblais.....	13		
D.2.2 Stabilité au poinçonnement.....	13		
D.2.3 Stabilité vis-à-vis du glissement.....	14		
D.2.4 Conclusion.....	14		
E. Stabilité du bassin de rétention	14		
E.1 Méthode de calcul.....	14		
E.2 Hypothèses.....	14		
E.2.1 Localisation du profil de calcul.....	14		
E.2.2 Stratigraphie et caractéristiques géomécaniques considérées.....	15		
E.2.3 Niveau de l'eau.....	15		

A. Généralités

A.1 Contexte de l'étude

Ce document fait suite aux campagnes d'investigations géotechniques réalisées au sein de la carrière Lafarge de Guerville, partie ouest, en octobre 2014 et en février 2015 et à l'étude de la stabilité des pentes de la plateforme de lancement que nous avons réalisée en février 2015 (document ARCADIS référencé AFR AVP 11017 RPT A02 de février 2015) et qui a été suivie par INERIS.

INERIS a effectué également une étude de dangers relative aux risques liés à la modification des servitudes d'utilité publiques en vigueur sur la zone d'étude. Le rapport relatif à cette étude de dangers est référencé DRS 15-148745 – 01300A PROJET, transmis le 25 février 2015.

A.2 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée au sein de la carrière Lafarge, sur la commune de Guerville. Plus précisément, elle se limite à la partie de la carrière Lafarge de Guerville située à l'ouest des bâtiments logistiques, entre l'A13 au Nord et un front de taille au Sud, dont la hauteur résiduelle peut atteindre près de 50 m à l'extrémité est.

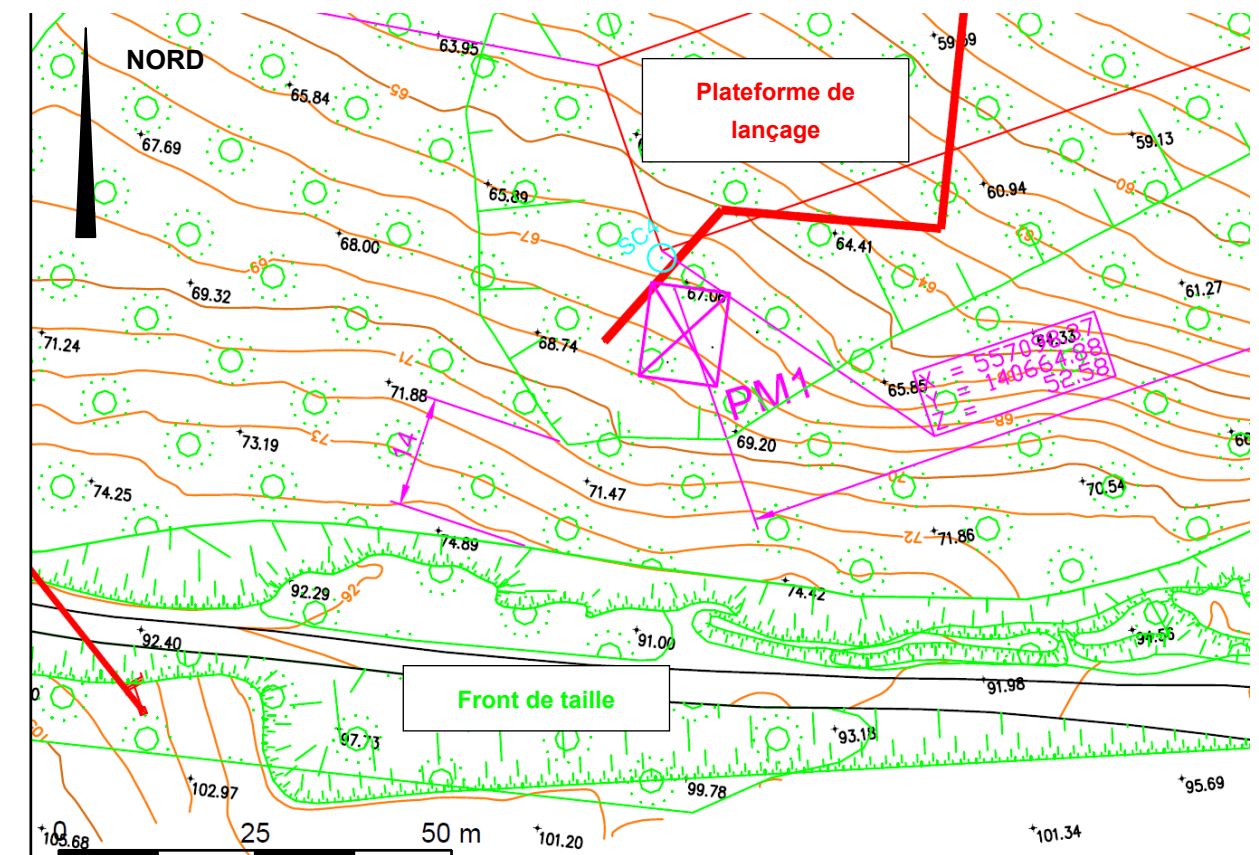


Vue aérienne de la zone d'étude

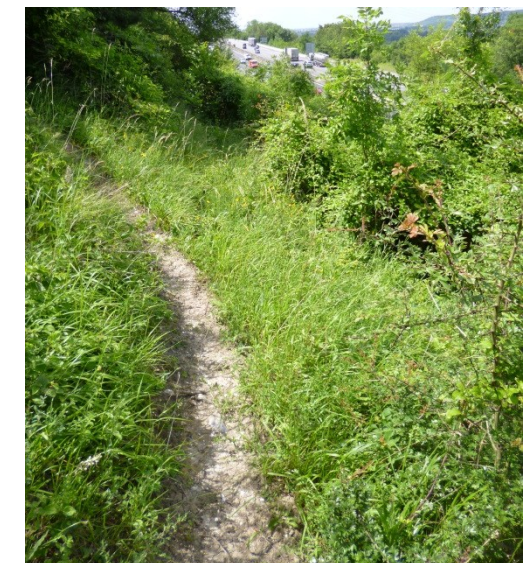
Nous précisons que la zone d'étude, d'une emprise de l'ordre de 40 000 m² (400 m par 100 m), résulte du comblement partiel de l'ancienne carrière avec des matériaux décapés au-dessus de la couche de craie du Campanien de la zone Est de la carrière pendant son exploitation (marnes et caillasses et calcaires du Lutécien, sables de Cuise, marnes et argiles du Sparnacien et sables du Dano-montien). Les sondages réalisés au niveau des zones de déblais projetés pour le projet de 3ème tablier du viaduc ont confirmé la nature des matériaux et ont mis en évidence l'absence de matériaux anthropiques

dans les remblais (béton, etc.) et d'indice de pollution (odeur ou couleur suspecte). Les analyses, de type acceptation en installation de stockage de déchets inertes (ISDI), conformément à l'arrêté du 12 décembre 2014), réalisées sur les échantillons prélevés dans les sondages, ont confirmé le caractère inerte des terrains. »

Signalons également qu'au plus proche, la distance entre le front de taille résiduel et la plateforme de lancement est de 14 m (cf. plan ci-après).



Vue de la zone d'étude depuis le nord, en arrière-plan le front de taille



Vue de la zone d'étude depuis le front de taille

Du point de vue de la topographie, la zone admet une pente principale, descendante, orientée du sud-ouest vers le nord-est, entre les cotes +74 NGF et +35 NGF, soit une pente moyenne de 10 %. Nous notons la présence d'un éperon rocheux dans le nord de la zone d'étude du fait de la non exploitation de cette zone. Au droit de cette éperon, les cotes sont comprises entre +53,5 NGF et +45,0 NGF, selon une pente descendante dirigée du sud-ouest vers le nord-est et de 14 % en moyenne. Des galeries sont cependant présentes au droit de cet éperon (tracé et profondeur non connus).

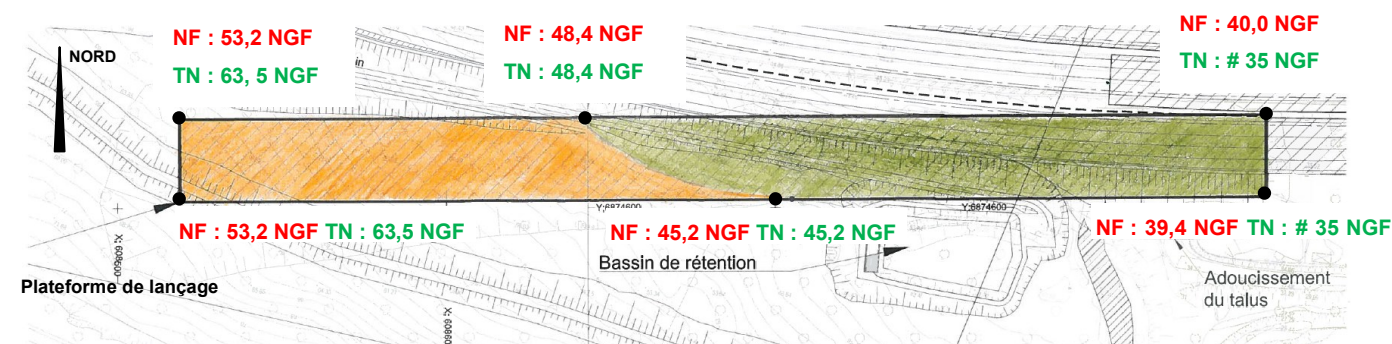
A.3 Présentation des ouvrages étudiés : plateforme de lancement et bassin de rétention

A.3.1.1 Plateforme de lancement

La plateforme de lancement présente les caractéristiques suivantes :

Longueur : 330 m – Largeur : 25 m –
 Pente de 4 % dans le sens de la longueur et pente de 2,5 % dans le sens de la largeur
 Niveau fini entre +53,2 NGF dans l'angle nord-ouest et +39,4 NGF dans l'angle sud-est
 Ouvrage à terme remblayé

Du fait de la topographie initiale du site, dans sa partie ouest, la plateforme de lancement sera réalisée en déblai dans sa partie ouest et en remblai dans sa partie est. A l'extrémité ouest de la plateforme de lancement, les déblais atteindront 14 m de hauteur (au droit de la plateforme) ; quant aux remblais, leur hauteur sera de l'ordre de 5 m à l'extrémité est de la plateforme.



- Partie en déblais
- Partie en remblais

A.3.1.2 Bassin de rétention

Caractéristiques du bassin de rétention :

Surface du fond de bassin : # 700 m²
 Fond du bassin : +37,00 NGF
 Haut du bassin : +39,4 NGF
 Absence de surcharge en tête
 Fond et talus recouverts de 0,2 m de béton
 Talus pentés à 3/2 (base/hauteur)
 Ouvrage définitif

Il est prévu de réaliser un cheminement piétonnier en tête du bassin de rétention, ce dernier se trouvant lui-même au pied d'un talus en déblai. Le pied du talus en déblais se trouve à +39,4 NGF et la tête du talus à +47 NGF au maximum.

A.4 Phasage des travaux

La zone d'études comprend un phasage des travaux complexe qu'il convient d'appréhender. Les plans de phasage (document A13GUERV-AFR-PRO-11600-PLA) et le planning des travaux (document A13GUERV-AFR-PRO-11050-PLA) explicitent plus en détail l'enchaînement des phases de travaux.

B. Examen du front de taille par l'INERIS – Zone d'Influence Géotechnique

B.1 Rappels des constats de l'INERIS

Sur la base de l'étude de dangers, suite aux observations du front de craie effectuées entre les 3 et 7 novembre 2014, le front de taille résiduel, d'une hauteur comprise entre 15 m à l'extrémité ouest (zone de localisation de notre étude) et 50 m à l'est, est soumis à une érosion progressive.

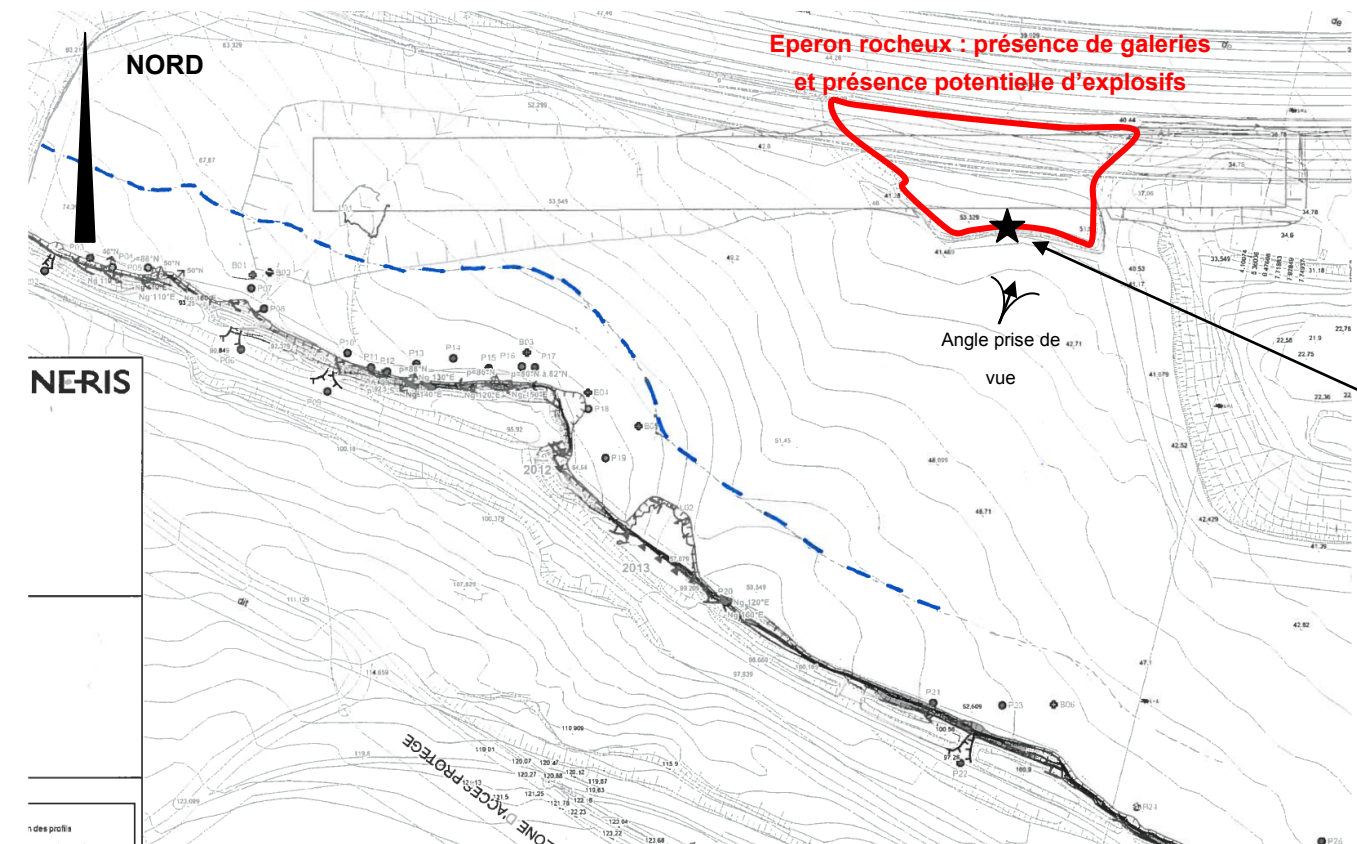
Ainsi, l'INERIS évalue la propagation de blocs à une distance pouvant atteindre 20 m voire 30 m de la falaise, la présence d'arbres limitant cependant l'occurrence de ces phénomènes.

L'étude de dangers dresse la liste des aléas suivants dans la zone de la plateforme :

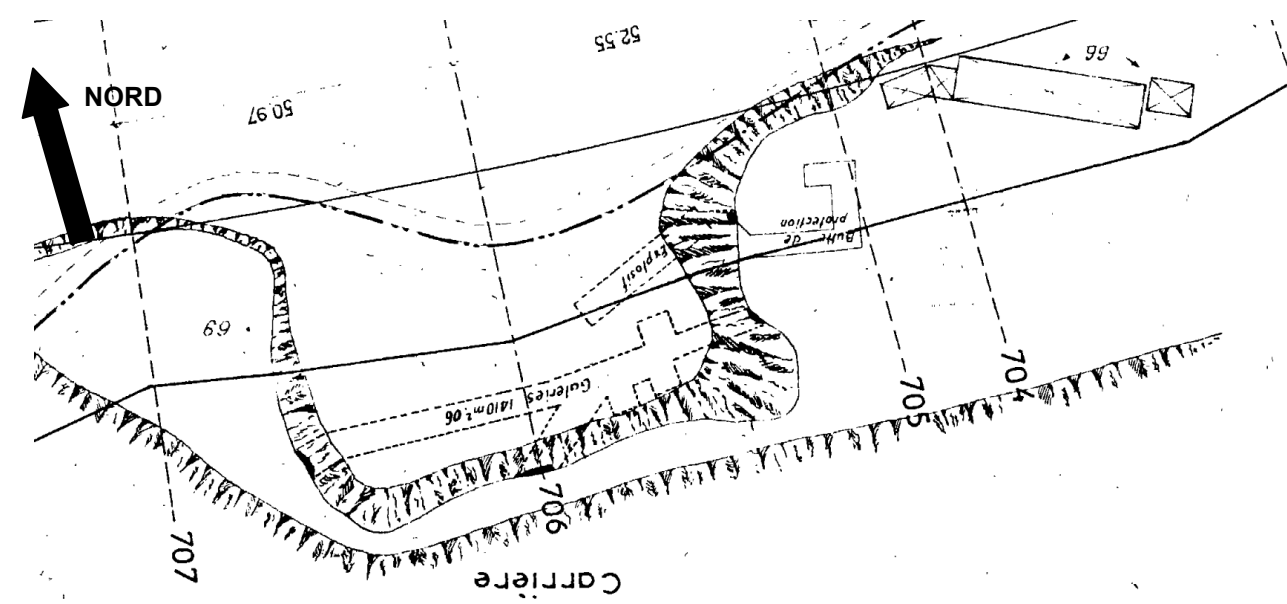
- chute de pierre avec formation d'éboulis en pied de falaise d'emprise variable. L'INERIS note deux intérêts à ce phénomène : 1. limitation de la hauteur du front de taille résiduel et 2. confortement du pied de falaise (butée)
- érosion préférentielle au droit des quais de jetée non protégés par des merlons, notamment au point d'observation P7 (cf. carte géotechnique établie par INERIS au 1/10 000^{ème} en novembre 2014). L'INERIS ne classe cependant ce point en risque imminent ;
- blocs (décimétriques) et écaillés (plurimétriques) instables. Les premiers sont observés régulièrement le long de la falaise (cf. carte géotechnique), les secondes principalement en P21 à l'est de la zone d'étude.

B.2 Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)

Outre l'actuelle A13, le front de taille résiduel de la carrière Lafarge se situe dans la ZIG de la plateforme de lancement. Rappelons qu'au plus proche, la crête du talus se situera à 14 m du front de taille. En conséquent, des blocs pourraient se propager dans l'emprise du futur ouvrage ; à titre indicatif, nous avons tracé, sur le fond de carte géotechnique, la parallèle au front de taille, translatée de 30 m vers le nord (trait pointillé bleu sur la carte ci-dessous).



Plan des galeries et localisation éventuelle des explosifs :



D'après Plan n° 2 - 151 879 G28 de l'A13 Sondages - section Flins Mantes – Viaduc de Guerville



Photographie de l'entrée d'une galerie au droit de l'éperon rocheux
(localisation prise de vue ★)

B.3 Solutions à apporter pour se prémunir du risque de propagation de blocs dans l'emprise de la plateforme de lançage

Sur la durée de service de la plateforme de lançage, le risque de la propagation de blocs dans son emprise ne pouvant pas être écartée, il conviendra d'envisager des solutions de mise en sécurité.

Le document DRS-15-148745-01300A, rédigé par l'INERIS et daté du 12/03/2015, préconise des mesures relatives à la falaise de craie afin « d'exclure toute propagation de blocs ou de panneaux vers la zone d'activité de la future plateforme » ; il pourra s'agir :

- soit d'une couverture grillagée anti-épanchage avec fixation en crête et lestage en pied ;
- soit d'un confinement par filet ou câble et serre-câble avec épinglage pour les blocs et boulonnage pour les plaques.

Ces mesures seront complétées, dans le cas d'un maillage trop grossier, par la mise en œuvre d'un pare-blocs en crête du talus de la plateforme en déblai.

Par ailleurs, il recommande également de :

- conserver et entretenir la végétation du site entre la falaise et la plateforme ;
- procéder à une gestion rigoureuse des eaux en amont de la falaise de craie notamment au droit des anciennes plateformes en béton de déchargement pour le comblement de la carrière.

Il conviendra d'instrumenter la falaise (pendant les travaux sur la plateforme de lançage), par des radars de détection des mouvements des blocs, qui sont reliés à un téléphone portable du chef de chantier. Ce type d'instrumentation existe déjà et équipe certains talus rocheux situés au-dessus des axes routier alpins.

C. Synthèse des investigations géotechniques

Dans la suite du présent document, toutes les profondeurs sont données en mètres, par rapport à la surface topographique telle qu'elle se présentait lors du déroulement de la campagne d'investigations géotechniques en octobre 2014 et en février 2015.

C.1 Coupe des sols

La campagne d'investigations géotechniques a mis en évidence la présence :

- REMBLAIS

Sous une couche de 0,1 m à 0,5 m de terres végétales ou de limons de recouvrement, les remblais de comblement se présentent soit sous la forme :

- d'une alternance de couches de marnes, de couches de craies et calcaires plus ou moins sableux et de couches d'argiles plastiques, le tout de couleur beige, beige-jaunâtre, beige-verdâtre, beige-marron, marron et contenant des cailloux et petits blocs de calcaire et craie ainsi que des silex plus ou moins gros.
- de matériaux jaunâtres, argileux et contenant des petits blocs de calcaire.
- de matériaux argileux jaunâtres, soit à partir de 16,6 m de profondeur (+38,49 NGF), des argiles grisâtres.

Les sondages réalisés au droit de l'extrémité est de la future plateforme de lançage (SP12, SP14, SD14 et SP15) n'ont pas rencontré de remblais de comblement, les sols de recouvrement se limitant à une couche de 0,3 m à 0,5 m de terre végétale ou de limons.

Au droit des autres sondages, l'épaisseur totale des remblais est comprise entre 17,0 m et plus de 30 m. Notons que l'ancien carreau de la carrière étant situé vers +25 NGF, cette épaisseur peut vraisemblablement atteindre localement 50 m.

Les 52 essais pressiométriques réalisés au sein des remblais de comblement de différentes lithologies donnent les résultats suivants :

$$0,68 \text{ MPa} \leq p_i^* \leq 3,71 \text{ MPa} \text{ et } 3,4 \text{ MPa} \leq E_M \leq 72,9 \text{ MPa}$$

Valeurs caractéristiques au sens de l'Eurocode 7 :

$$(E_M)_k = 17,3 \text{ MPa} \text{ et } (p_i^*)_k = 1,22 \text{ MPa}$$

Les huit essais d'identification (NF P 11-300) menés sur les remblais permettent de classer les remblais en classe A1 (3) et en classe A2 (5, tous réalisés au droit de SP25) tel que défini dans le GTR. Les remblais sont donc constitués de matériaux fins [ici, 75 % à 85 % de fines (passant à 80 μ m) pour 15 % à 25 % d'éléments plus grossiers (sables fins à graviers, D_{max} < 50 mm).

Les remblais de comblement observés apparaissent comme des matériaux fins, tendres à raides voire ponctuellement très raides.

▪ CRAIE

Directement sous les sols de surface ou sous les remblais de comblement, les sondages ont rencontré le substratum constitué de craie beige, contenant quelques silex.

La compacité de la craie est élevée à très élevée, et pour les sondages ayant reconnu la craie directement sous les remblais type TV/LR ponctuellement moyenne en tête. En SP10, là où a été mis en évidence du sous-cavage, la compacité est moyenne à élevée.

Vingt-sept essais pressiométriques : $2,30 \text{ MPa} \leq p_i^* \leq 8,7 \text{ MPa}$ et $35,5 \text{ MPa} \leq E_M \leq 646,0 \text{ MPa}$
 Valeurs caractéristiques au sens de l'Eurocode 7 :
 $(E_M)_k = 182 \text{ MPa}$ et $(p_i^*)_k = 6,5 \text{ MPa}$

Enregistrement des paramètres de foration : PO # 65 à 75 bars
 PI # 0 à 20 bars
 VIA # 300 à 1000 m/h, ponctuellement VIA # 0 m/h

C.2 Synthèse des sondages géotechniques

Sondage n°	Cotes NGF	Remblais		Craie	
		Profondeur du sondage m/TN	Epaisseur en m	Profondeur du toit (m/TN)	Cote NGF du toit
SC4	+68,54	30,00	> 30,00	< 30,00	< +38,54
SC5	+46,93	8,00	> 8,00	< 8,00	< +38,93
SC6	+43,51	7,00	> 7,00	< 7,00	< +36,51
SP7	+49,91	29,05	17,00	17,00	+32,91
SP8	+55,09	23,37	> 23,37	< 23,37	< +31,72
SP10	+45,81	17,56	6,8 m, entre 7,9 m et 14,7 m	entre 0,5 m et 7,9 m puis à partir 14,7 m	NF carreau à # 31,1 NGF
SP12	+36,54	15,52	0,50	0,50	+36,04
SP13	+40,33	11,42	> 11,42	< 11,42	< +28,91
SP14	+34,90	15,06	0,30	0,30	+34,60
SP15	+36,53	30,22	0,30	0,30	+36,23
SP25	# 69,5	10,10	> 10,10	< 10,10	< +59,4
SD7	+56,39	27,16	23,00	23,00	+33,39
SD9	+47,93	23,64	20,00	20,00	+27,93
SD10	+44,93	10,68	1,3 m, entre 5,8 m et 7,1 m	de 0,2 m à 5,8 m puis à partir de 7,1 m	NF carreau à 38,4 NGF
SD12	+42,03	11,70	> 11,70	< 11,7	< +30,33
SD14	+35,00	35,08	0,30	0,30	+34,70

C.3 Niveaux d'eau

Nous rappelons qu'aucune venue d'eau n'a été observée en SP25, réalisé en février 2015. De plus, les piézomètres installés en SC5 et SC6 (profondeur respective de 7,4 m et 6,1 m) demeuraient secs lors du dernier relevé en décembre 2014

Néanmoins nous rappelons la présence d'une nappe dans la craie qui constitue un aquifère important dans cette région, dont la perméabilité est liée aux interstices et à la fissuration, dont les niveaux les plus hauts mesurés, au droit de la carrière, se situent entre + 20 NGF, à l'est et à + 25 NGF, à l'ouest (nappe située à une profondeur très voisine de l'ancien carreau).

C.4 Constitution des sols au droit de la plateforme de lancement et du bassin de rétention

C.4.1 Sondages géotechniques effectués dans l'emprise de ces deux ouvrages

Sondages effectués au droit de la plateforme de lancement et dans l'emprise des déblais /remblais liés à sa mise en œuvre :

- Sondages pressiométriques : SP8 – SP10 – SP12 – SP14 – SP15 – SP25
- Sondages destructifs : SD7
- Sondages carottés : SC4 – SC5 – SC6

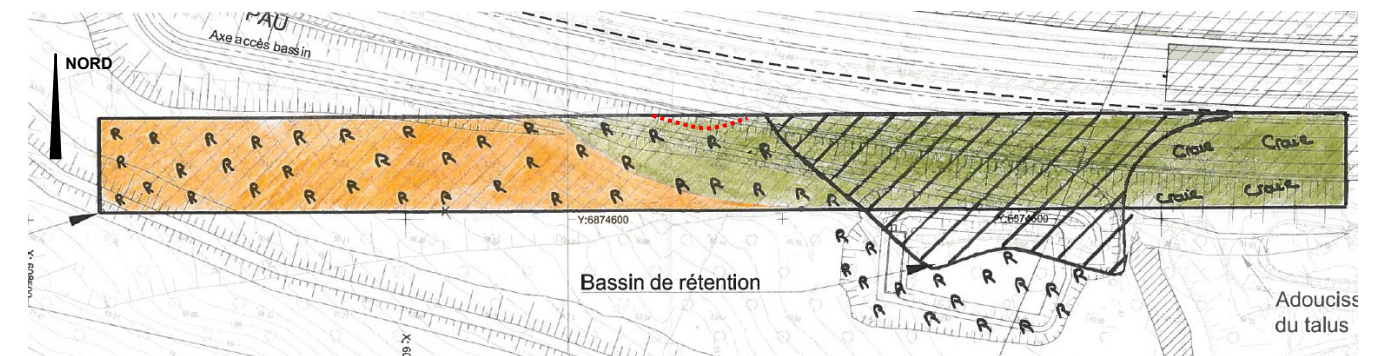
Sondages effectués au droit du bassin de rétention :


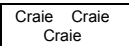


- Sondages pressiométriques : SP13 – SP10 – SP12 – SP14 – SP15 – SP25
- Sondages destructifs : SD12

C.4.2 Synthèse

Les différentes campagnes d'investigations qui ont été réalisées ont permis d'établir que les sols présents au droit de la plateforme de lancement sont constitués par des remblais de comblement de la carrière (partie de la plateforme réalisée en déblais et extrémité ouest de la plateforme réalisée en remblais de très faible hauteur (de l'ordre de 1 m au maximum)), ou par de la craie (dont celle due à l'éperon rocheux où des galeries sont rencontrées).

Au droit du bassin, les sols sont constitués par des remblais de comblement de la carrière ou par la craie constitutive de l'éperon rocheux.



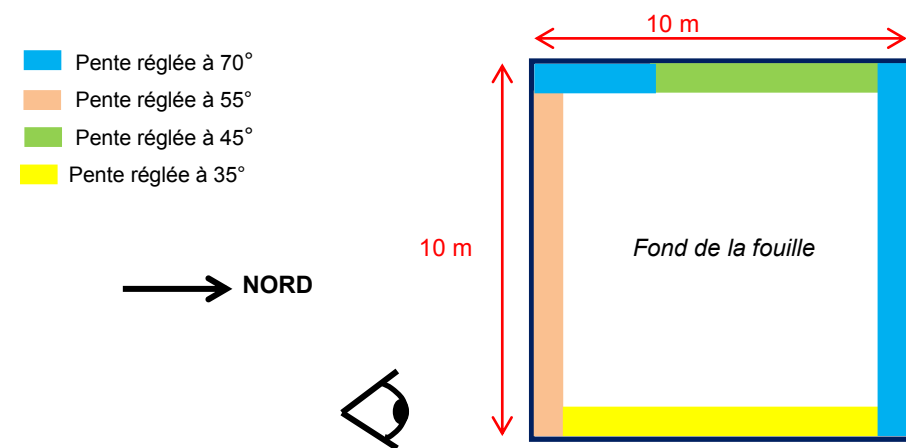
-  Sols constitué de remblais de comblement de la carrière
-  Sols constitué de craie (sous 0,3 m à 0,5 m de remblais de surface)
-  Eperon rocheux (craie, avec galeries en profondeur)
-  Sous-cavage possible

D. Stabilité de la plateforme de lancement

D.1 Partie en déblais : étude de stabilité vis-à-vis du glissement

D.1.1 Analyse de la stabilité des pentes de talus par la méthode observationnelle

Une fouille au tractopelle a été terrassée le 6 novembre 2014, son implantation figure sur le plan joint en annexe. La profondeur de la fouille est de 4,0 m au plus profond. L'emprise de la fouille en fond d'ouvrage est de 10 m par 10 m. Les parois de la fouille ont été réglées chacune avec un fruit différent, à savoir : 35°, 45°, 55° et 70°.



Angle de la prise de vue ci-dessous



Autres prises de vue :



L'objectif de cette fouille est de permettre l'observation du comportement des différentes parois dans le temps et de mesurer la pente naturelle des sols après que les parois se seront éboulées.

Lors de notre dernière visite, le 2 février 2015, nous notons l'apparition de deux glissements de peau localisés sur les pentes réglées à 70° et 45°. La pente réglée à 35° ne présentait pas de glissement.

Les photographies sont présentées ci-après.

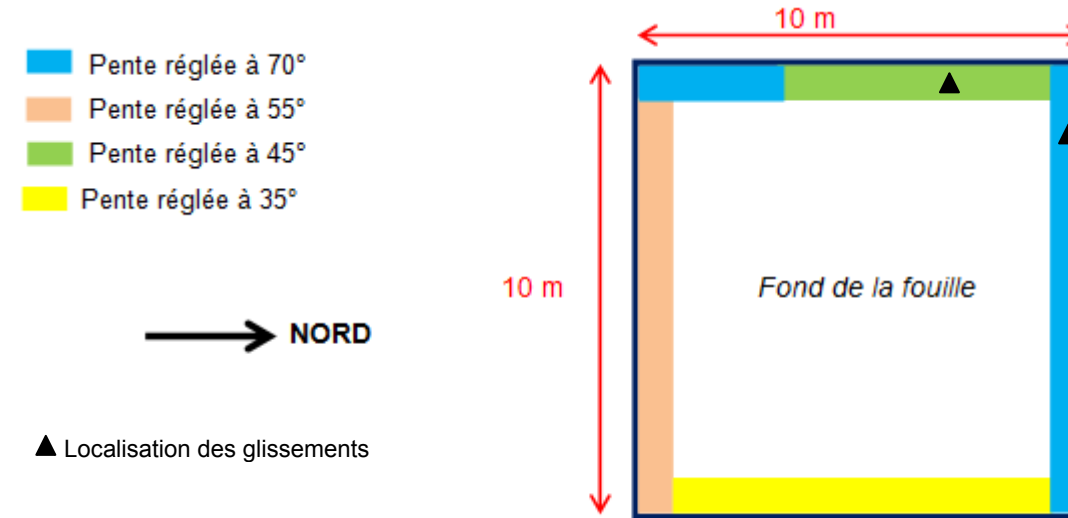


Photographie sans légende (luminosité et contraste augmentés)



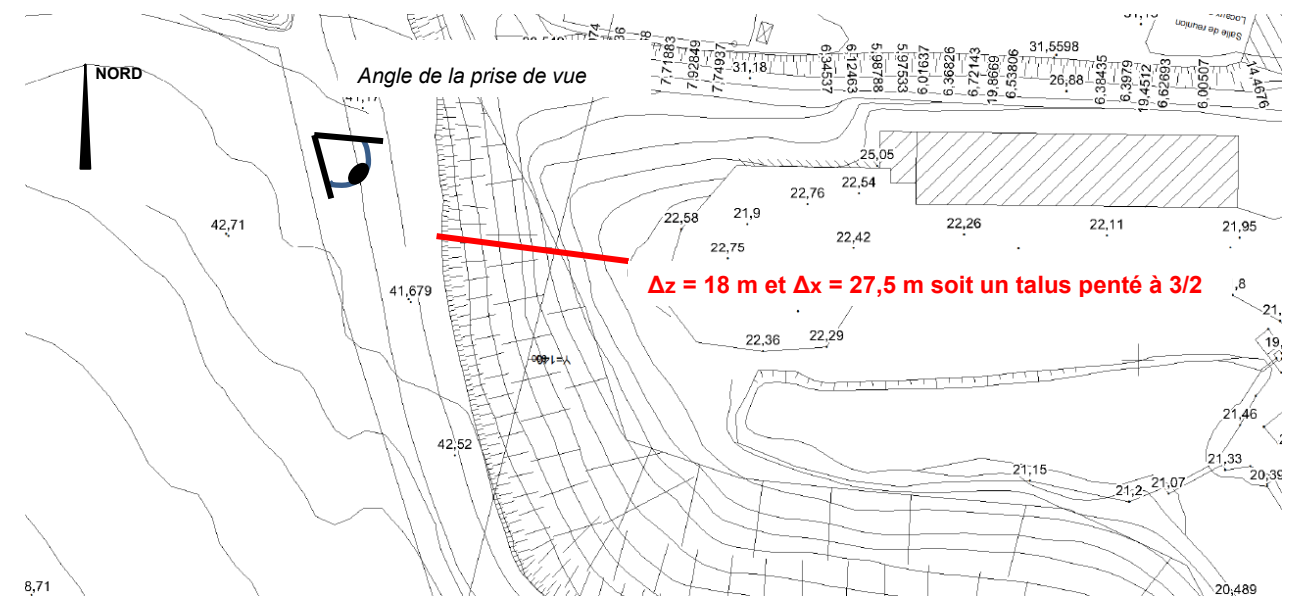
Photographie avec légende (luminosité et contraste normaux)

Prise de vue du 2 février 2015 : apparition de 2 de glissement de peau



Localisation schématique des glissements

Le 15 décembre 2014, nous avons observé un talus ancien, d'une hauteur de l'ordre de 18 m et situé au nord de la plateforme logistique, constitué de remblais divers, présentant une pente de l'ordre de 3/2 (3 unités de longueur en base pour 2 unités en hauteur).



Localisation du talus



Vue du talus (15/12/2014)

D.1.2 Analyse de la stabilité des pentes de talus par la méthode calculatoire

D.1.2.1 Méthode de calcul

L'étude de la stabilité des ouvrages (vérification au glissement) est réalisée à partir du logiciel TALREN 4 pour une rupture circulaire et suivant la méthode des tranches de BISHOP.

Le principe consiste à calculer l'ensemble des efforts moteurs le long d'une ligne de rupture circulaire et de les comparer aux efforts résistants.

Les combinaisons d'action ont été définies selon l'approche 2 de l'Eurocode 7 :

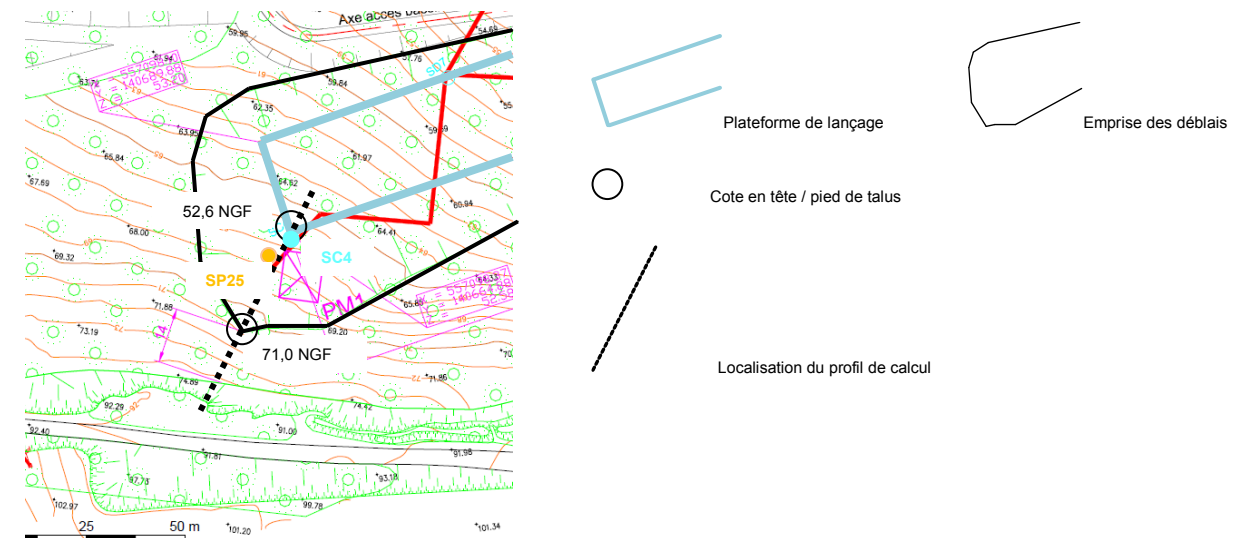
- les paramètres de sol ne sont pas pondérés (coefficient de 1),
- surcharges pondérées par 1,5 (actions variables défavorables),
- coefficient de modèle = 1.

Le coefficient $\Gamma = \frac{\sum \text{efforts résistants}}{\sum \text{efforts moteurs}}$ doit être supérieur ou égal à 1,5 à long terme afin que la stabilité soit assurée.

D.1.2.2 Hypothèses

Localisation du profil de calcul

Nous avons choisi de réaliser le calcul là où la situation est la plus défavorable, c'est-à-dire à l'extrémité sud-ouest de la plateforme de lancement, là où la hauteur à soutenir est la plus grande ($\Delta z = 18,4 \text{ m}$) et là où le talus en déblais est au plus près du front de taille résiduel (14 m). Les effets d'angle ne sont pas pris en compte.



Ouvrage	Localisation de la coupe de calcul	Sondage de référence	Hauteur à soutenir	Pente de talus
Plateforme lancement	Extrémité ouest, angle sud-ouest	SP25	18,4 m	3/2

Stratigraphie et caractéristiques géomécaniques considérées

Compte-tenu des cotes en tête (+71,0 NGF au plus haut) et en pied de talus (entre +52,6 NGF), les sols interceptés seront exclusivement des remblais de comblement homogènes, constitués de marnes tendres (entre +64 NGF et +68 NGF) à raides (en tête et au-dessous de +64 NGF), brunes à verdâtres, à grains de calcaire millimétriques et de classe GTR A2.

Niveau de l'eau

Le niveau de l'eau dans la partie Est de la carrière est situé vers +25 NGF. Aucune prise en compte dans la modélisation.

Surcharges en tête

Aucune surcharge n'est appliquée en tête de talus.

Renforcements

Aucun renforcement n'est appliqué.

D.1.2.3 Analyse

Rappels des principaux résultats de la campagne d'investigations géotechniques et des observations effectuées dans la carrière Lafarge

- Matériaux constitutif des remblais : marnes à grains calcaire millimétriques
- Pression limite nette minimale: $(p_l^*)_k = 0,76$ MPa
- Classe GTR des remblais : A2
- Teneur en eau (20 u) : 20 valeurs entre 14,9 % et 27,1 %
- Nappe vers : +25 NGF (pas d'eau dans SP25)
- Observation d'un talus existant taillé dans les remblais :
Stable, pente à 3/2 (Base/Hauteur), pour une hauteur de talus de l'ordre de 18 m
- PM1, pente à 35° : Stable sur 12 semaines au minimum.

Estimation de la cohésion à long terme

▪ Détermination de la teneur en eau des remblais à saturation :

Pour rappel des formules : $S_r = w / w_{sat}$, respectivement teneur en eau naturelle des remblais (mesurée, 25 % en moyenne) et teneur en eau à saturation, matériau saturé pour $S_r \geq 1$, soit $w \geq w_{sat}$

$w_{sat} = \gamma_w (1/\gamma_d - 1/\gamma_s)$, γ_w : poids volumique de l'eau (10 kN/m³), γ_d : poids volumique sec (à déterminer), γ_s : poids volumique des grains (25 kN/m³)

$\gamma_d = \gamma / (1 + w)$, γ : poids volumique des remblais pris à 18 kN/m³ (valeurs courantes pour ce type de sol)

$w_{sat} = \gamma_w (1/\gamma_d - 1/\gamma_s)$

De ces formules ressort : $\gamma_d = 14,4$ kN/m³ donc $w_{sat} = 29$ %.

Les remblais sont saturés lorsque w est supérieure ou égale à 29 %.

Globalement les remblais sont constitués de matériaux non saturés (pour rappel, la teneur en eau maximale des remblais au droit de SP25 est de 27,1 % (valeur observée en tête) et ce malgré une période de forte pluviosité dans le mois précédent la réalisation du forage.

▪ Détermination du coupe cohésion et angle de frottement interne à court terme (c ; ϕ)

Estimation de la valeur N (SPT) des remblais : A partir de l'étude sur les corrélations entre le SPT et le pressiomètre menée par Vandangeon & Al. en 1991, sur des terrains caractéristiques du Bassin Parisien
Pour des marnes $N = 23 p_l^*$,
soit **N = 17** pour $p_l^* = 0,76$ MPa dans les remblais (valeur minimale mesurée dans les remblais au droit de SP25)

Estimation de c à partir de la formule de Ménard :

$c = p_l^* / 12 + 0,03$ (en MPa) avec $p_l^* = 0,76$ MPa
c = 95 kPa, valeur classique pour ce type de sols selon l'étude de Vandangeon citée auparavant
La même étude donne la corrélation entre N et ϕ selon le pourcentage en éléments fins (figure 2) du rapport d'étude : **$\phi = 33^\circ$**

A court terme, on retiendra $c = 95$ kPa et $\phi = 33^\circ$

▪ Passage à long terme

Globalement, à long terme, la cohésion des sols fins baisse ; inversement l'angle de frottement interne augmente. Signalons toutefois que les propriétés mécaniques des sols cohérents humides mais non saturés (cas des remblais en présence) sont du même ordre de grandeur.

D.1.2.4 Calculs TALREN

Nous avons effectué un passage TALREN, afin de déterminer la cohésion à long terme correspondant à un angle de frottement $\phi' = 33^\circ$ (valeur de l'angle de frottement à court terme déterminé par Vandangeon) et un facteur de sécurité de 1,5. On obtient ainsi une cohésion à long terme, c' , de 11 kPa, soit un rapport c/c' de 7,9.

D.1.2.5 Conclusion

Les talus de la future plateforme de lancement pourront être réglés à 3/2 (3 en base pour 2 en hauteur) ce qui cohérent à la fois avec les observations effectuées au sein de la carrière Lafarge (cf. § D) et avec les la prise en compte de valeurs sécuritaires pour la cohésion et l'angle de frottement interne à long terme dans les remblais (cf. § E).

Compte tenu des risques identifiés dans le document DRS-15-148745-01300A rédigé par l'INERIS et daté du 12/03/15, il conviendra en premier lieu de vérifier l'homogénéité du remblai constitutif des talus de la future plateforme lors de son excavation afin de valider les hypothèses formulées grâce aux campagnes de reconnaissance réalisés.

Par ailleurs, il conviendra de mettre en œuvre les éléments courants permettant d'assurer la stabilité des talus :

- une gestion rigoureuse des eaux afin d'éviter, en particulier, les écoulements d'eau sur les pentes susceptibles d'entraîner des mouvements superficiels et pelliculaires de remblais ainsi que les zones d'accumulation d'eau ;
- une protection des talus (paillage, enherbement,...ou tout autre solution évitant l'érosion du talus) pendant la durée du chantier qui limitera l'impact d'épisodes climatiques ;
- l'exclusion de toute surcharge en tête de talus (machines, merlon lourd...);
- une inspection régulière du talus pour y déceler des indices d'évolution est également garante d'une bonne prévention. En cas d'apparition d'indices, une analyse et des moyens devront être envisagés rapidement.

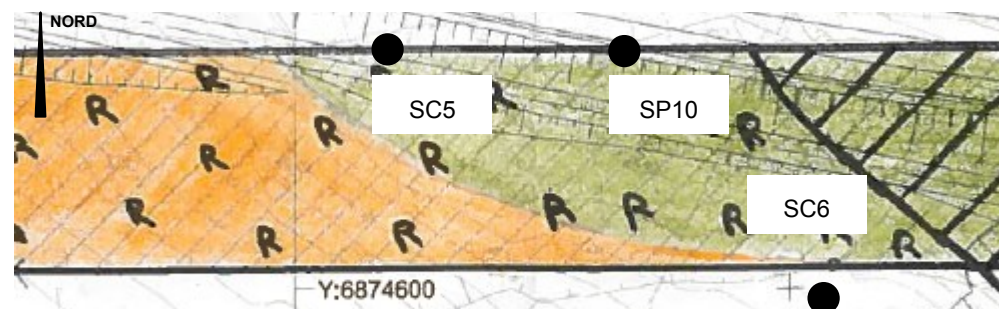
D.2 Partie en remblais

D.2.1 Tassements du sol sous le corps de la plateforme de lanpage en remblais

D.2.1.1 Zone remblayée à l'ouest de l'éperon

Hypothèses

Sol d'assise : Remblais de comblement de la carrière
 Hauteur du remblai d'apport : 1 m
 Sondages de référence : SC5 et SC6 (SP10 : sous-cavage)



Estimation des tassements

La formule ci-après permet d'estimer (fourchette haute) les tassements du sol à partir d'un modèle basé sur un comportement linéaire des sols

$$S = \frac{\alpha \cdot P \cdot H}{E_M}$$

Avec :

S : le tassement
 α : le coefficient rhéologique des sols on retiendra ici $\alpha = 1/2$ dans les remblais de comblement
 P : la contrainte ajoutée au sol (ou $\Delta\sigma$) = 20 kPa (1 m de remblais d'apport)
 H : la hauteur de sol déformable = 20 m (TN vers +45 NGF et carreau de la carrière vers +25 NGF)
 E_M : le module de déformation pressiométrique = 17,3 MPa (valeur caractéristique du module pressiométrique des remblais de comblement)

Résultats

$$S = 1,2 \text{ cm}$$

Les tassements absolus des remblais de comblement sous l'effet de la plateforme réalisée en remblai seront de l'ordre du centimètre. De plus, les remblais hors nappe ayant un comportement élastique, les tassements se produiront au fur et à mesure de la montée du remblai.

Compte tenu de la présence possible de problématique de sous-cavage dans ce secteur, il devra être procédé au stade des études d'EXE par l'entreprise à des reconnaissances géophysiques et par sondage destructifs avec enregistrement des paramètres de foration à l'absence de vide (sous-cavage non comblés).

D.2.1.2 Zone remblayée à l'est de l'éperon

Hypothèses

Sol d'assise : Craie (remblais de surface purgés)
 Hauteur du remblai d'apport : 5 m
 Sondages de référence : SP12 – SP15 – SD14

Estimation des tassements

$$S = \frac{\alpha \cdot P \cdot H}{E_M}$$

Avec :

S : le tassement
 α : le coefficient rhéologique des sols on retiendra ici $\alpha = 1/2$ dans la craie
 P : la contrainte ajoutée au sol (ou $\Delta\sigma$) = 100 kPa (5 m de remblais d'apport)
 H : la hauteur de sol déformable = 20 m
 E_M : le module de déformation pressiométrique = 182 MPa (valeur caractéristique du module pressiométrique des remblais de comblement)

Résultats

$S < 1 \text{ cm}$

D.2.2 Stabilité au poinçonnement

Méthode de calcul

Le poinçonnement est une rupture des sols d'assise des remblais caractérisée par le fait que le remblai s'affaisse sans subir de cisaillement tandis que deux bourrelets se forment au niveau du terrain naturel, de part et d'autre du talus.

Le calcul de la pression maximale de la rupture q_{max} est réalisé selon les formules suivantes :

$$q_{max} = 0,8 \times p_i^*$$

avec :

p_i^* : pression limite nette du sol

Les coefficients de sécurité recherchés sont : $F \geq 1,5$, avec

$$F = q_{max} / (\gamma_r \times H_r)$$

où γ_r : poids volumique des matériaux constituant le remblai (20 kN/m³)

H_r : hauteur de remblai

Résultats

Pour un remblai réalisé sur un sol constitué par des remblais de comblement ($p_1^* = 1,26 \text{ MPa}$), la hauteur critique (Hr) au-dessus de laquelle il existe un risque de poinçonnement ($F < 1,5$) :

Hr = 33 m

Pour un remblai réalisé sur un sol constitué par des remblais de comblement ($p_1^* = 6,5 \text{ MPa}$), la hauteur critique (Hr) au-dessus de laquelle il existe un risque de poinçonnement ($F < 1,5$) :

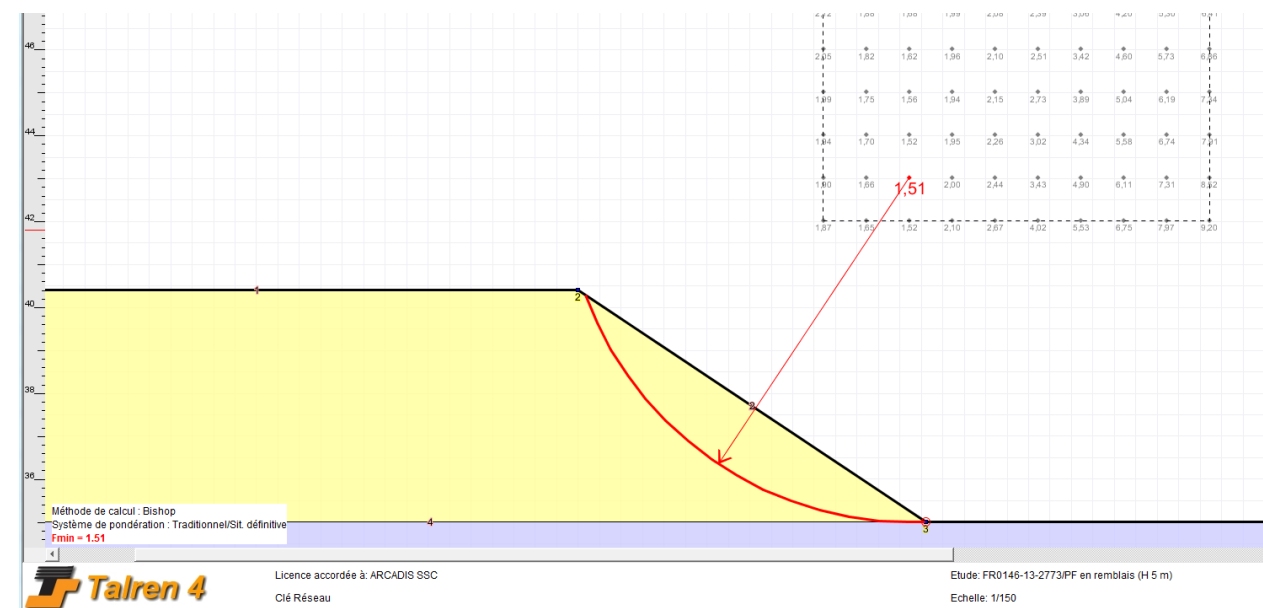
Hr = 173 m

Aucun risque de poinçonnement au droit de la plateforme de lancement dans le cas présent.

D.2.3 Stabilité vis-à-vis du glissement

Hypothèses

Hauteur du remblai : 5 m
 Pente des talus : 3/2
 Matériau d'apport constitutif du remblai : Matériau granulaire compacté, $c' = 0 \text{ kPa}$; $\phi' = 39^\circ$
 Support du remblai : Craie, $c' = 0 \text{ kPa}$; $\phi' = 36^\circ$



Facteur de sécurité minimal, $F_{min} = 1,51$

D.2.4 Conclusion

Les pentes de la plateforme de lancement réalisées en remblais et réglées à 3/2 (B/H) sont stables.

E. Stabilité du bassin de rétention

E.1 Méthode de calcul

L'étude de la stabilité des ouvrages (vérification au glissement) est réalisée à partir du logiciel TALREN 4 pour une rupture circulaire et suivant la méthode des tranches de BISHOP.

Le principe consiste à calculer l'ensemble des efforts moteurs le long d'une ligne de rupture circulaire et de les comparer aux efforts résistants.

Les combinaisons d'action ont été définies selon l'approche 2 de l'Eurocode 7 :

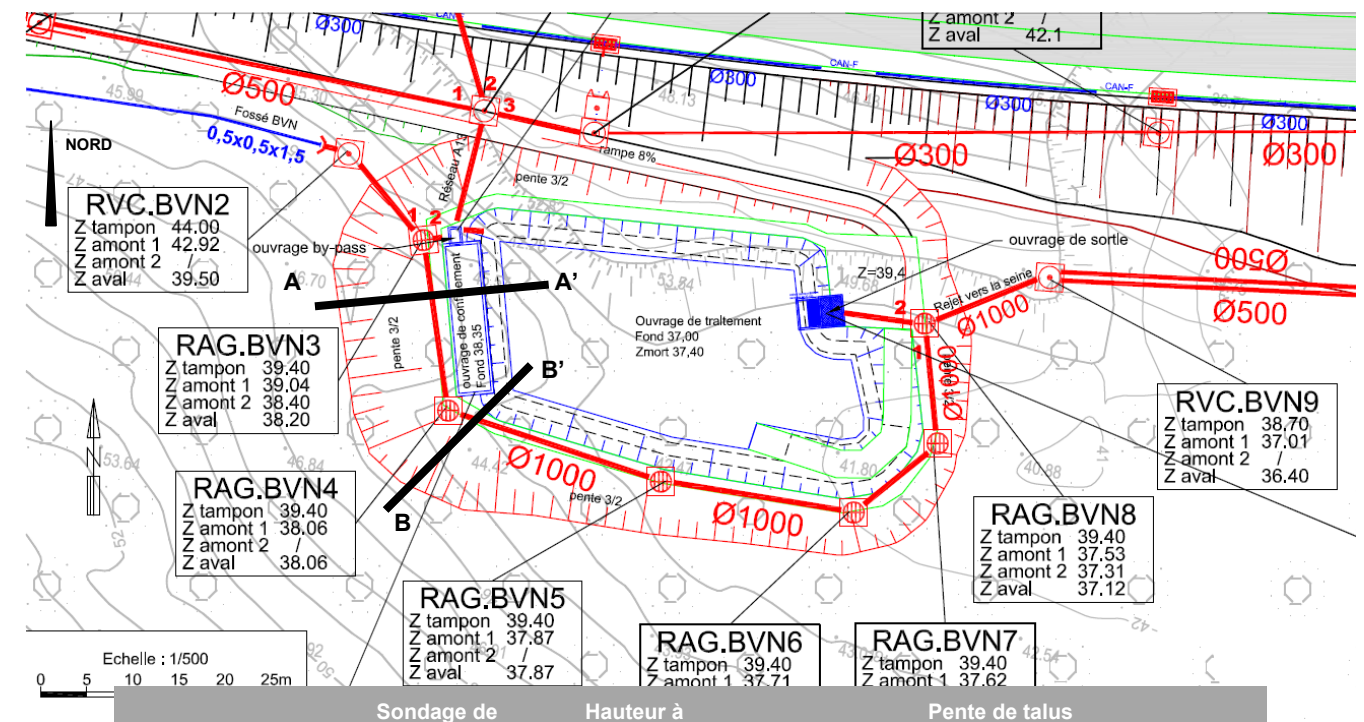
- les paramètres de sol ne sont pas pondérés (coefficient de 1),
- surcharges pondérées par 1,5 (actions variables défavorables),
- coefficient de modèle = 1.

Le coefficient $\Gamma = \frac{\sum \text{efforts résis} \tan ts}{\sum \text{efforts moteurs}}$ doit être supérieur ou égal à 1,5 à long terme afin que la stabilité soit assurée.

E.2 Hypothèses

E.2.1 Localisation du profil de calcul

Nous avons choisi de réaliser le calcul là où la situation est **la plus défavorable avec (Coupe AA') ou sans ouvrage de confinement (Coupe BB')**, c'est-à-dire à l'extrémité ouest du bassin, là où la hauteur à soutenir est la plus grande ($\Delta z = 10 \text{ m}$). Les effets d'angle ne sont pas pris en compte.



	référence	soutenir	
Coupe AA'	SD12 et SP13	9,7 m	3/2 avec risberme pour chemin piétonnier de 1,5 m (+40,4 m NGF) et ouvrage BA de confinement de 4 m de largeur (fond à +38,35 m NGF),
Coupe BB'	SD12 et SP13	9,0 m	3/2 avec risberme pour chemin piétonnier de 1,5 m (+40,4 m NGF)

E.2.2 Stratigraphie et caractéristiques géomécaniques considérées

Sur la base des sondages effectués, les sols sont constitués par des remblais de comblement. On retiendra les valeurs de c' et ϕ' établies au paragraphe D.1.2.4, à savoir :

$$c' = 11 \text{ kPa et } \phi' = 33^\circ$$

E.2.3 Niveau de l'eau

Le niveau de l'eau dans la partie Est de la carrière est situé vers +25 NGF. Aucune prise en compte dans la modélisation (coupes AA' et BB').

E.2.4 Surcharges en tête

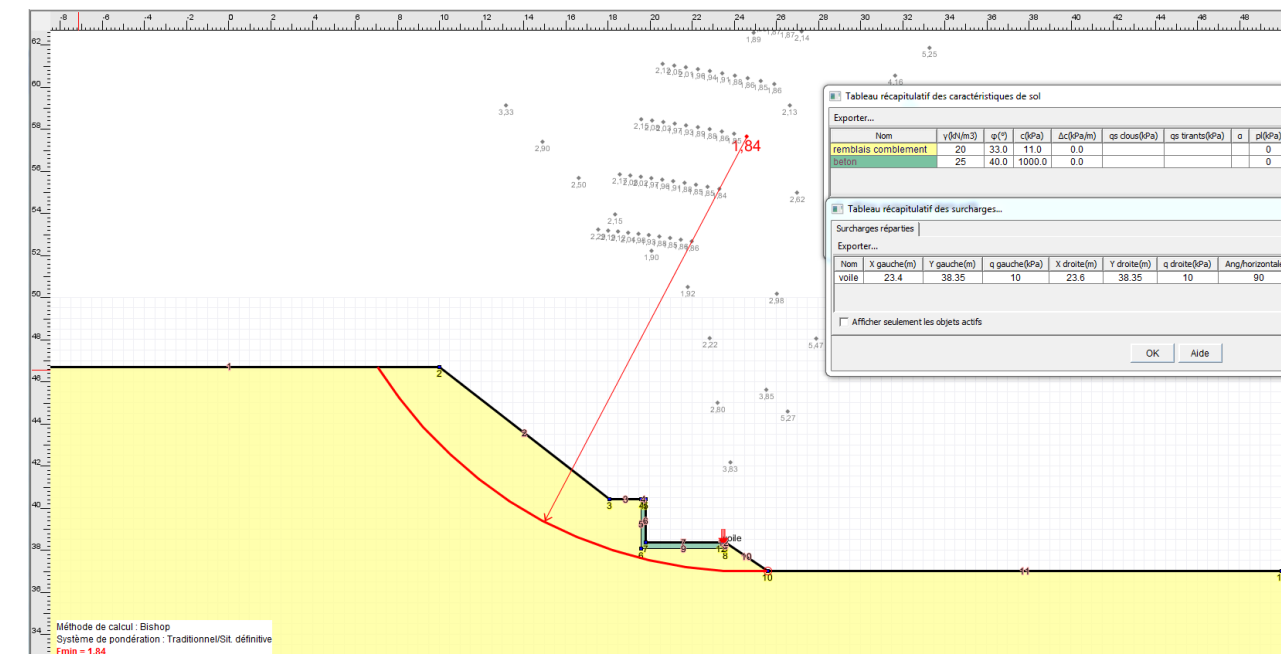
Coupe AA' : application d'une surcharge de 10 kPa sur 0,2 m de largeur en tête de la partie inférieure du talus pour modéliser le voile de l'ouvrage de confinement en BA de 0,2 m de largeur et de 2 m de hauteur (tête : +40,4 m NGF, base +38,35 m NGF).

Coupe BB' : aucune surcharge n'est appliquée en tête de talus, ni sur la risberme pour la.

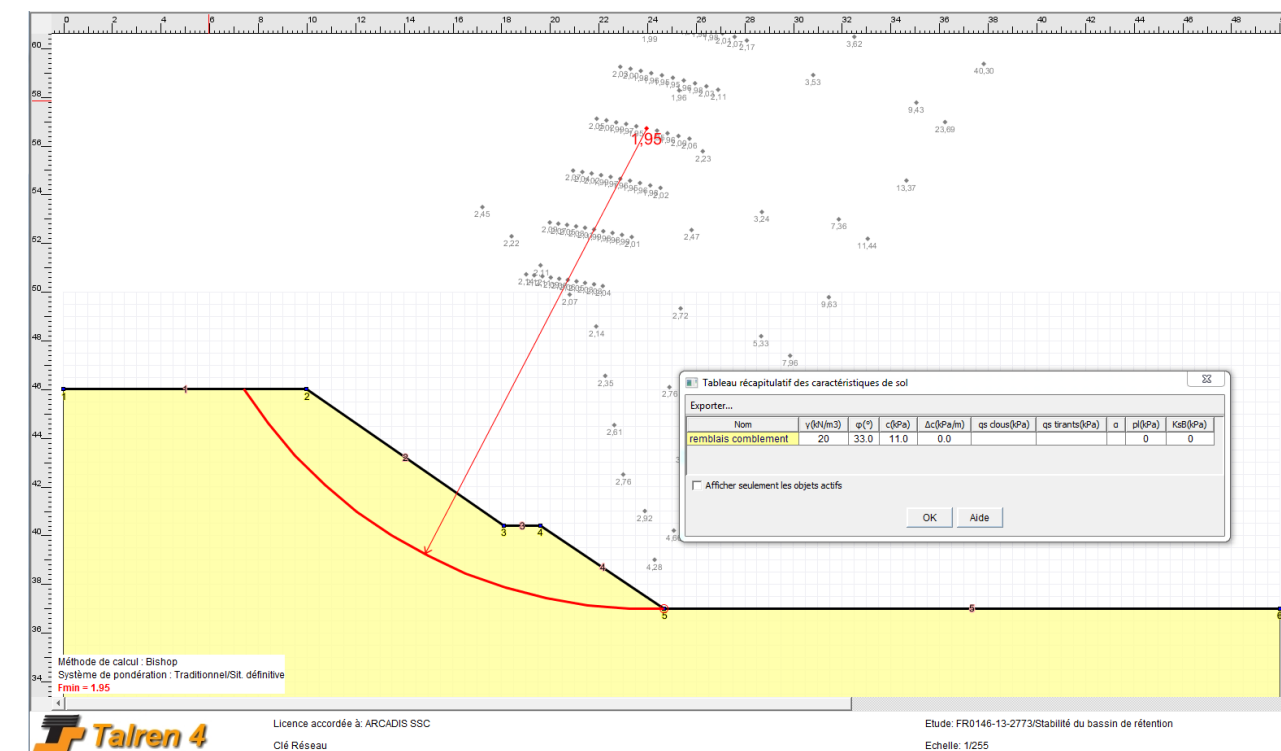
E.2.5 Renforcements

Aucun renforcement n'est appliqué.

E.2.6 Calculs TALREN et résultats



COUPE AA' (Passage de la coupe par l'ouvrage de confinement) : Facteur de sécurité minimal, $F_{min} = 1,84$ pour F recherché de 1,5 .



COUPE BB' (Coupe la plus défavorable sans passage par l'ouvrage de confinement) : Facteur de sécurité minimal, $F_{min} = 1,95$ pour F recherché de 1,5.

Les pentes du bassin de rétention sont stables pour des pentes réglées à 3/2 (3 unités de longueur en base pour 2 en hauteur) y compris là où l'ouvrage de confinement est présent

F. Terrassements et protection contre l'eau lors des travaux

F.1 Travaux préparatoire

F.1.1 Déboisement

Le projet de plateforme de lancement traverse une zone densément boisée. Le projet nécessitera un déboisement partiel de la partie ouest de la carrière Lafarge.

F.1.2 Décapage des remblais de surface et de la terre végétale

Préalablement aux travaux la terre végétale (notamment dans les zones boisées) et les remblais présents en surface au droit des sondages SP12, SP14 et SP15 devront être décapés au droit de la future plateforme de lancement.

F.1.3 Traitement des galeries potentielles au droit de l'éperon rocheux et risque pyrotechnique

Avant le début des terrassements, les galeries présentes au droit de l'éperon rocheux devront être répertoriées et leur tracé précisément reconnu. Elles devront alors être comblées avec des moyens adaptés. Compte-tenu de la présence potentielle d'explosifs au droit de l'éperon, un diagnostic pyrotechnique devra être prévu au démarrage des travaux.

F.2 Extraction

Pour la mise en œuvre de la plateforme de lancement et du bassin de rétention, les terrassements en déblais rencontreront des remblais de comblement de la carrière ainsi que la craie constitutive de l'éperon rocheux.

Les terrassements pourront être effectués au moyen d'engins mécaniques courants au sein des remblais (surface et comblement). La présence de blocs n'est cependant pas à exclure au sein de ces matériaux.

Au sein de la craie et à la rencontre de blocs, voire de vestiges au niveau de la plate-forme à l'est de l'éperon, des moyens de terrassements devront être prévus (pelle puissante, BRH voire engins munis de dents de ripper pour l'éperon).

Nous rappelons que l'emploi de matériels générateurs de nuisances vis-à-vis de l'environnement (bruit, vibrations, ...) imposera un respect scrupuleux des réglementations en vigueur. Ils nécessitent notamment un suivi spécifique, comme la mesure des vibrations (capteurs sur les avoisinants), la définition de seuil de tolérance en fonction des mitoyens (notamment A13, front de taille résiduel...).

F.3 Stabilité des ouvrages existants

Au plus proche la tête du talus en déblais liés à la mise en œuvre de la plateforme de lancement se situera à une trentaine de mètres de l'actuelle A13 et que l'éperon rocheux qui sera complètement arasé du fait du creusement du bassin de rétention est distant de 150 m environ du front de taille résiduel.

F.4 Réemploi des matériaux

La terre végétale qui sera décapée dans les zones boisées est généralement impropre à une réutilisation. Elle devra être mise en dépôts ainsi les déblais constitués de remblais de comblement de la carrière.

Les matériaux qui seront extraits de l'éperon rocheux seront de classe GTR R1. Les conditions de réutilisation de ces matériaux en remblais est fonction de leur état hydrique au moment des travaux ainsi que des conditions météorologiques lors des terrassements, ce qui pourra nécessiter un traitement avec un réactif adapté.

F.5 Protection contre l'eau

Afin de limiter l'infiltration des eaux météorologiques dans les sols supports d'assise de plateforme, sensibles à l'eau et aux variations hydriques, il conviendra de :

- mettre en œuvre un revêtement de type enduit superficiel sur la future plateforme de lancement,
- réaliser des formes de pente adaptées,
- mettre en œuvre des cunettes périphériques.

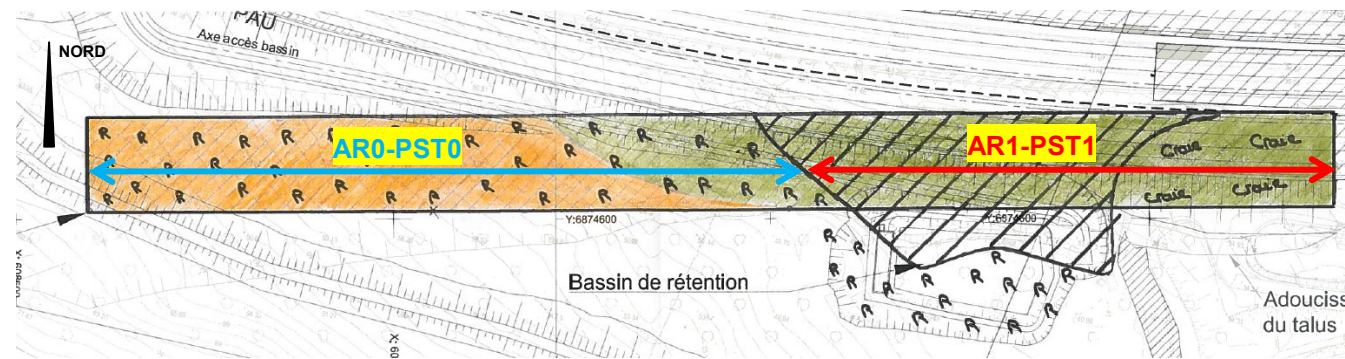
G. Assise des plateformes

G.1 Partie supérieure des terrassements (PST) et arases (AR)

Rappelons que pour la plateforme de lancement, l'objectif est d'avoir une PST1/AR1 pour une classe visée PF2 et que la portance à long terme de la craie est de l'ordre de 20 MPa à moins de 50 MPa, ce qui correspond à une classe d'arase de terrassement AR1. Ainsi, pour des fonds de fouille situé au sein de la craie (au droit de l'éperon rocheux après comblement des galeries et à l'extrémité est de la plateforme de lancement), on pourra considérer une PST1-AR1.

Pour les fonds de fouille situé au sein des remblais de comblement, on considérera en revanche une PST0-AR0. Il y a aura lieu de prévoir une amélioration de la PST

Plateforme de lancement			
Zone de projet	Déblai et remblais H < 1 m	Eperon	Remblai
Nature de la PST	Remblai de comblement de carrière	Craie	Craie de l'éperon + D2 ou D3
Couple PST / Arase initiale	PST 0 / AR 0 → Amélioration de la PST à prévoir	PST 1 / AR 1	PST 1 / AR 1



G.2 Amélioration de la PST0-AR0 dans les zones en déblai et en remblai de faible hauteur (H < 1 m)

Pour l'amélioration de la PST, il convient de prévoir, après décapage de la terre végétale et purge des souches d'arbres et matériaux évolutifs :

- la pose d'un géotextile anticontaminant en fond de fouille,
- la mise en œuvre soignée d'un matériau d'apport D2 ou D3 ou autre matériau peu sensible à l'eau et conforme au GTR, correctement compacté avec pour objectif une couche de 0,2 m d'épaisseur et une PST1-AR1 (EV2 ≥ 20 MPa). Nous rappelons que compte-tenu du phasage des travaux (réalisation de la plateforme en remblai avant la plateforme en déblai), il ne sera pas possible de réaliser la couche de forme avec les déblais issus des terrassements au sein de la craie de la Zone Natura 2000).

G.3 Couche de forme

Un géotextile sera inséré à la base de la couche de forme. Conformément au GTR, pour un objectif de PF2, l'épaisseur de la couche constituée en matériaux D21 ou D31 sera de 0,6 m, avec intercalation d'un géotextile.

Les matériaux seront correctement compactés et mis en œuvre par couches de faibles épaisseurs. Un contrôle strict de la qualité des matériaux et de la compacité obtenue devra être prévu lors de l'exécution de chaque couche par des essais à la plaque. Les critères de réception sur la PF finie seront les suivants :

- EV2 ≥ 50 MPa
- EV2/EV1 ≤ 2,2.

G.4 Tableau de synthèse

Plateforme de lancement			
Zone de projet	Déblai et profil rasant	Eperon	Remblai
Sol support	Remblai de comblement de carrière	Craie du site	Craie de l'éperon + D2 ou D3
Couple PST / Arase initiale	PST 0 / AR 0	PST 1 / AR 1	PST 1 / AR 1
Amélioration PST	Géotextile + 20 cm D2 ou D3	-	-
Couple PST / Arase	PST 1 / AR 1 (EV2 ≥ 20 MPa)		
Couche de forme	Géotextile + 60 cm D21 ou D31		
Classe de plateforme	PF2 (EV2 ≥ 50 MPa)		

GROUPEMENT MAITRISE D'ŒUVRE



AGENCE
L'ANTON & ASSOCIÉS

Strates



ETUDES GEOTECHNIQUES TALUTAGE ZONE NATURA 2000 ETUDE DE LA STABILITE DES PENTES

MAITRE D'OUVRAGE



SANEF- SAPN
Direction de la Construction et du Patrimoine
BP 50073
60304 Senlis cedex

Emetteur **Arcadis**
 Agence de NANTES
 17 Place Magellan
 Le Ponant 2 - Zone Atlantis
 BP 10121
 44817 St Herblain Cedex
 Tél. : +33 (0)2 40 92 19 36
 Fax : +33 (0)2 40 92 76 20

Réf affaire Emetteur **13-002773**
 Directeur de Projet **A.NAEL**
 Auteur principal **C. BOUREAU**

Nombre total de pages **9**

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	13/04/2015	Première diffusion	CHL	PHL	AN
B01	02/07/2015	Mise à jour suite Kext EGIS	PHL	AN	AN
C01	16/07/2015	Mise à jour logo	PHL	AN	AN

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive d'ARCADIS ESG.
 Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

Table des Matières

A. Généralités	3
A.1 Présentation de la zone d'étude	3
A.2 Présentation de l'ouvrage étudié et de l'étude.....	4
A.3 Contexte sismique	4
B. Campagne d'investigations géotechniques	4
B.1 Contenu de la campagne - Implantation et nivellement des sondages.....	4
B.1.1 Contenu partiel de la campagne d'investigations géotechniques	4
B.1.2 Implantation et nivellement des sondages utilisés	4
B.2 Présentation des résultats	5
B.2.1 Terrains de recouvrement.....	5
B.2.2 Craie du substratum.....	5
B.3 Synthèse des sondages géotechniques	5
B.4 Analyses en laboratoire	5
B.5 Niveaux d'eau.....	6
C. Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)	6
D. Analyse de la stabilité des pentes de talus	7
D.1.1 Méthode observationnelle.....	7
D.1.2 Méthode de calcul.....	7
D.1.3 Données d'entrée.....	7
D.1.4 Calculs TALREN.....	7
E. Conclusion	8
Annexe : Graphiques TALREN	8

A. Généralités

A.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la zone NATURA 2000 appartenant à l'entreprise Calcia, à l'ouest de la carrière Lafarge, sur la commune de Guerville.



Vue aérienne de la zone d'étude

Nous précisons que la zone d'étude, d'une emprise de l'ordre de 40 000 m² (400 m par 100 m), est aujourd'hui boisée.

Du point de vue de la topographie, un talus penté à 3H/2V, d'une hauteur maximale d'environ 40 m, avec une risberme intermédiaire de 4,5 m, a été créé dans les années 60 dans le cadre des travaux de l'autoroute actuelle.

Les terrains surmontant ce talus présentent une pente descendante vers l'actuelle autoroute, plus ou moins forte sur le linéaire.

Les cotes de la crête du talus actuel varient entre 79 NGF et 84 NGF.

A.2 Présentation de l'ouvrage étudié et de l'étude

La note porte sur l'étude de la stabilité des pentes de talus liés à la mise en œuvre des futures voies pour le troisième tablier.

La zone de talutage présente les caractéristiques suivantes :

Longueur : 400 m – Largeur : 60 m
Pente de 3H/2V,

avec risberme intermédiaire de 4,5 m localisée à une distance de 15 m du fossé extérieur du futur tracé et à 8,5 m de hauteur par rapport au niveau des futures voiries.

L'objet de cette note est donc de définir les pentes maximales des talus afin d'en assurer la stabilité à court terme et à long terme.

A.3 Contexte sismique

La commune se situe en zone sismique 1 (aléa très faible).

B. Campagne d'investigations géotechniques

B.1 Contenu de la campagne - Implantation et nivellement des sondages

B.1.1 Contenu partiel de la campagne d'investigations géotechniques

Sur l'ensemble des investigations géotechniques réalisées, neuf sondages géotechniques sur trois profils ont été réalisés au niveau de la zone d'étude, en tête du futur talus. Il s'agit de :

- **quatre (4) sondages destructif de reconnaissance**, notés SD1 à SD4, poursuivis jusqu'à 10m à 35 m de profondeur et permettant l'enregistrement en continu de quatre paramètres de foration à savoir, la Vitesse Instantanée à l'Avancement (VIA), la Pression sur l'Outil (PO), la pression d'Injection (PI) et le Couple de Rotation (CR), SD1 a été incliné à 37° ;
- **cinq (5) sondages pressiométriques**, notés SP1 à SP5, arrêtés entre 5,12 m et 36,5 m de profondeur avec la réalisation de 94 essais pressiométriques (norme NF P 94-110) répartis dans ces sondages, afin de déterminer la nature des terrains en place (prélèvement d'échantillons) et de préciser leurs caractéristiques mécaniques (le module pressiométrique E_M , la pression limite nette p_i^* et la pression de fluage nette p_f^*). Ces sondages ont également permis l'enregistrement en continu de quatre paramètres de foration (la Vitesse Instantanée à l'Avancement (VIA), la Pression sur l'Outil (PO), la pression d'Injection (PI) et le Couple de Rotation (CR)) ;
- **trois (3) sondages carottés**, notés SC1 à SC3, poursuivis jusqu'entre 25 m et 32 m de profondeur, SC1 incliné à 30° et SC2 incliné à 20°.

Des essais en laboratoire ont également été effectués sur des échantillons de sols prélevés au droit des sondages carottés SC1 à SC3 ; ils ont consisté en :

- **douze (12) séries d'essais** comprenant chacune une teneur de la teneur en eau naturelle, une mesure de la masse volumique, une mesure de la valeur au bleu et une analyse granulométrique afin de **déterminer la classe GTR du sol testé** ;
- **trois (3) essais triaxiaux CU+U** ;
- **deux (2) essais triaxiaux CD** ;
- **trois (3) essais de cisaillement UU**.

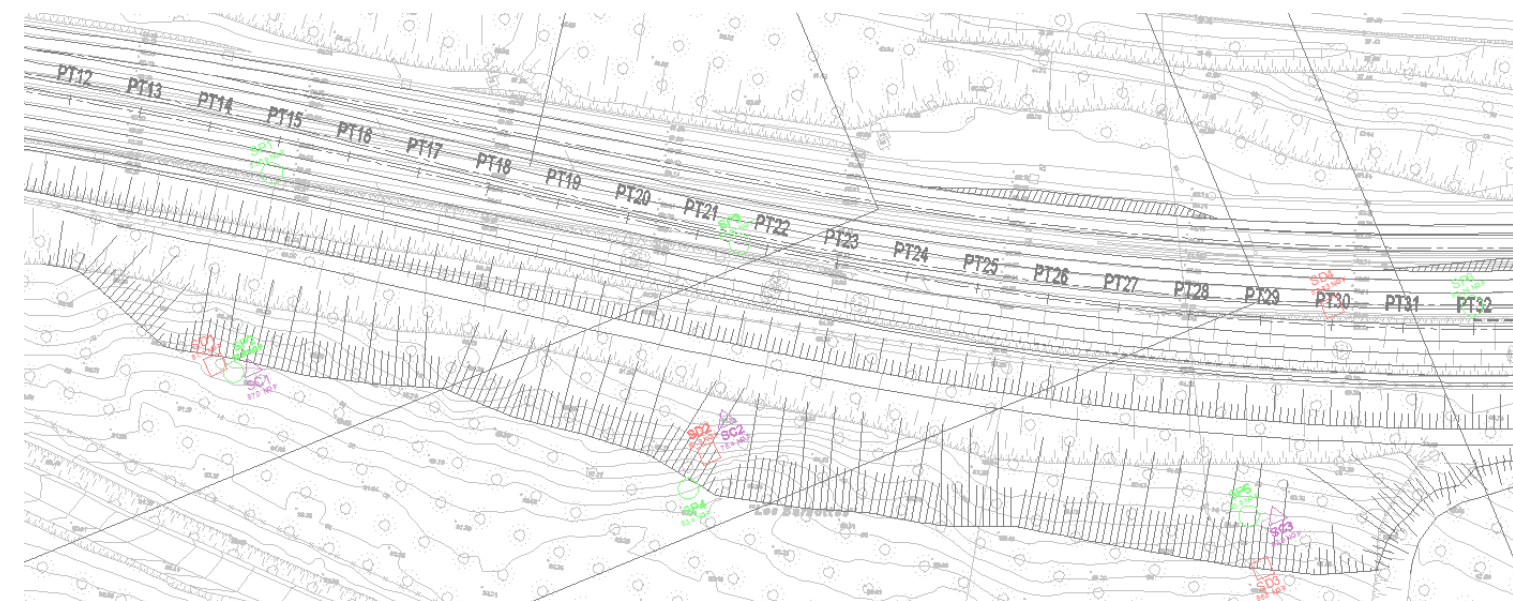
B.1.2 Implantation et nivellement des sondages utilisés

L'ensemble des sondages a fait l'objet d'une implantation au GPS, à l'exception des sondages situés sur la BAU de l'actuelle A13 (SP1, SP3 et SD4).

Le tableau ci-après précise les cotes NGF des sondages.

	Sondage n°	Cotes NGF
Profil 1	SC1	87.0
	SD1	87.4
	SP1	59.6
	SP2	87.5
Profil 2	SC2	78.4
	SD2	80.9
	SP3	57.6
	SP4	83.4
Profil 3	SC3	83.9
	SD3	86.5
	SP5	83.8

Le plan d'implantation des sondages est le document A13GUERV-AFR-PRO-11400-PLA.



B.2 Présentation des résultats

Dans la suite du présent document, toutes les profondeurs sont données en mètres, par rapport à la surface topographique telle qu'elle se présentait lors du déroulement de la campagne d'investigations géotechniques en février 2015.

Les sondages ont rencontré la succession des horizons ci-dessous.

B.2.1 Terrains de recouvrement

Dès la surface, les sondages ont rencontré des remblais ou des limons végétalisés, voire localement des limons sableux, sur 0,4 à 0,8 m (profils 1 et 2), ou sur 1,6 m à 2,3 m au droit du profil 3.

Seuls deux essais ont été réalisés dans les limons sableux au droit de SP5 :

$$0,64 \text{ MPa} \leq p_i^* \leq 1,49 \text{ MPa}$$

$$5,6 \text{ MPa} \leq E_M \leq 39,5 \text{ MPa}$$

Des enregistrements de paramètres de foration ont été également effectués dans les remblais et ils indiquent une certaine variabilité de compacité de ces terrains :

$$50 \text{ bars} \leq PO \leq 75 \text{ bars}$$

$$30 \text{ m/h} \leq VIA \leq 1000 \text{ m/h}$$

B.2.2 Craie du substratum

Sous ces terrains de recouvrement, les sondages ont rencontré le substratum constitué de craie beige, contenant des passages de silex.

La compacité de la craie est en premier lieu moyenne à bonne sur 0,8 m à 3,5 m d'épaisseur (5 essais pressiométriques) :

$$0,97 \text{ MPa} \leq p_i^* \leq 2,37 \text{ MPa}, \text{ moyenne géométrique de } 1,36 \text{ MPa}$$

$$11 \text{ MPa} \leq E_M \leq 64,2 \text{ MPa}, \text{ moyenne harmonique de } 18,3 \text{ MPa}$$

Puis, à partir de 2,0 à 3,9 m de profondeur, la compacité devient élevée à très élevée :

$$87 \text{ essais pressiométriques : } 3,1 \text{ MPa} \leq p_i^* \leq 8,8 \text{ MPa et } 59,9 \text{ MPa} \leq E_M \leq 938,2 \text{ MPa}$$

Valeurs caractéristiques au sens de l'Eurocode 7 :

$$(E_M)_k = 221,9 \text{ MPa et } (p_i^*)_k = 7,74 \text{ MPa}$$

Enregistrement des paramètres de foration : PO # 60 à 80 bars

PI # 0 à 20 bars

VIA # 50 à 75 m/h

Ces valeurs montrent la présence d'une craie compacte.

NOTA : Au droit des sondages carottés sont identifiés des passages de « craie molle » et des passages de « craie compacte ».

B.3 Synthèse des sondages géotechniques

Localisation	Sondage n°	Cote NGF	Profondeur du sondage m/TN	Inclinaison °	Terrains de recouvrement Epaisseur en m	Craie molle en tête Epaisseur en m	Craie compacte (SD et SP), avec des passages de craie moins compacte (SC)	
							Profondeur du toit (m/TN)	Cote NGF du toit
Profil 1	SC1	87.0	30	30	0.35	4.85	5.2	81.8
	SD1	87.4	35	37	0.4	3.5	3.9	83.9
	SP1	59.6	5.12	0	0.8	-	0.8	58.8
	SP2	87.5	30	0	0.4	1.6	2.0	85.5
Profil 2	SC2	78.4	30	20	0.95	0.75	1.7	76.7
	SD2	80.9	30	0	0.8	1.5	2.3	78.6
	SP3	57.6	5.41	0	1.0	-	1.0	56.6
	SP4	83.4	35	0	0.5	2.2	2.7	80.7
Profil 3	SC3	83.9	25	0	0.7	1.8	2.5	81.4
	SD3	86.5	30	0	1.6	2.0	3.6	82.9
	SD4	53.8	10.31	0	1.2	-	1.2	52.6
	SP5	83.8	25	0	2.3	0.8	3.1	80.7

B.4 Analyses en laboratoire

Les résultats des analyses réalisées en laboratoire sont les suivants :

Sondage	Profondeur (m)	Nature	w nat (%)	MVA ρ_d (t/m ³)	VBS (g/100 g)	Granulométrie				Classe GTR
						< 50 mm (%)	< 5 mm (%)	< 2 mm (%)	< 80 μ m (%)	
SC1	10,00/11,00	Craie blanchâtre à silex noirs	15.9	1.59	0.15	100.0	99.2	97.7	91.1	A1 - R12ts
SC2	5,00/6,00	Craie blanchâtre	17.8	1.68	0.20	100.0	95.1	94.2	87.6	A1 - R12ts
	10,00/11,00	Craie blanchâtre à silex noirs	12.9	1.75	0.13	100.0	80.2	74.0	59.4	A1 - R12ts
	12,50/13,50	Craie blanchâtre à silex noirs	23.4	1.52	0.21	100.0	92.7	90.1	73.8	A1 - R12ts
	15,00/16,00	Craie blanchâtre à silex noirs	21.5	1.69	0.12	100.0	67.3	64.3	59.7	A1 - R12ts
	20,00/21,00	Craie blanchâtre à silex noirs	16.0	1.72	0.17	100.0	92.1	91.1	84.4	A1 - R12ts
	22,50/23,50	Craie blanchâtre à silex noirs	16.4	1.83	0.23	100.0	92.9	91.8	66.1	A1 - R12ts
SC3	5,00/6,00	Craie blanchâtre à silex noirs	16.3	1.68	0.26	100.0	82.8	80.3	74.4	A1 - R12ts
	10,00/11,00	Craie blanchâtre à silex noirs	16.2	1.86	0.19	100.0	91.2	88.4	77.4	A1 - R12ts
	15,00/16,00	Craie blanchâtre à silex noirs	19.4	1.70	0.24	100.0	38.4	97.0	91.0	A1 - R12ts
	17,50/18,50	Craie blanchâtre à silex noirs	20.5	1.58	0.23	100.0	98.7	97.2	89.7	A1 - R12ts
	20,00/21,00	Craie blanchâtre à silex noirs	17.2	1.72	0.19	100.0	96.9	95.9	85.6	A1 - R12ts

La classification GTR permet de distinguer deux types de craies :

- les craies R11 sont identifiées comme des craies denses ;
- les craies R12 sont identifiées comme des craies de moyenne densité.

Sondages	Profondeur des EI	Teneur en eau naturelle	Masse volumique humide ph	Masse volumique sèche pd	Saturation
	(m)	%	kN/m ³	kN/m ³	%
SC1	10,00/11,00	15.9	18.4	15.9	61.6
SC2	5,00/6,00	17.8	19.8	16.8	78.8
	10,00/11,00	12.9	19.7	17.5	64.0
	12,50/13,50	23.4	18.8	15.2	81.9
	15,00/16,00	21.5	20.5	16.9	96.4
	20,00/21,00	16.0	20.0	17.2	76.4
SC3	22,50/23,50	16.4	21.3	18.3	92.5
	5,00/6,00	16.3	19.6	16.8	73.0
	10,00/11,00	16.2	21.6	18.6	97.0
	15,00/16,00	19.4	20.3	17.0	89.1
	17,50/18,50	20.5	19.0	15.8	77.7
	20,00/21,00	17.2	20.2	17.2	82.1

La carte ci-dessous est extraite de la cartographie dynamique relative au PPRI de la DDT des Yvelines.



Elle indique une cote qui correspond au PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) au niveau de la zone Natura 2000 de 21.28 m NGF.

Sondage	EI	Description de l'échantillon	Classe GTR	Prélèvement pour essai	Essai	c' (kPa)	φ' (°)	C _{uu} pic (kPa)	Φ _{uu} pic (°)	C _{uu} résiduel (kPa)	Φ _{uu} résiduel (°)
SC1	10-11	Craie blanchâtre à silex noir	R12	10.78-11.00	UU	-	-	50.4	33.5	31.0	32.5
SC2	15-16	Craie blanchâtre moyennement dure	R12	15.26-15.40	CU+u	14.9	37.0	-	-	-	-
						12	37.7	-	-	-	-
SC2	10-11	Craie blanchâtre raide	R11	10.15-10.30	CD	9.9	36.8	-	-	-	-
				10.3-10.4	UU	-	-	40.8	34.7	36.6	32.3
SC3	10-11	Craie blanchâtre à passage dur et mou	R11	10-11	CU+u	0	36.3	-	-	-	-
						23.1	35.5	-	-	-	-
SC3	20-21	Craie blanchâtre raide	R12	20.20-20.40	CU+u	7.2	33.3	-	-	-	-
						8.2	34.9	-	-	-	-
SC3	5-6	Craie blanchâtre à passage dur et mou	R12	5.3-5.5	CD	0.6	37.5	-	-	-	-
				5.45-5.67	UU	-	-	32.1	31.2	22.1	29.4

B.5 Niveaux d'eau

Du fait de l'utilisation de l'eau comme fluide de forage, le niveau de l'eau dans les sondages en cours et en fin de forage n'a pas été relevé.

Néanmoins nous rappelons la présence d'une nappe dans la craie qui constitue un aquifère important dans cette région, dont la perméabilité est liée aux interstices et à la fissuration, dont les niveaux les plus hauts mesurés, au droit de la carrière, se situent entre + 20 NGF, à l'est et + 25 NGF, à l'ouest (nappe située à une profondeur très voisine de l'ancien carreau).

Ainsi, au vu de l'état hydrique des craies prélevées dans un période climatique défavorable, on peut considérer que la nappe présente dans la craie se situe à un niveau inférieur à la base des sondages les plus profonds.

C. Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)

En premier lieu, nous attirons l'attention sur la présence d'ouvrages existants, (autoroute actuelle y compris voiries, réseaux, poteau électrique...), entrant dans la ZIG du projet, dont il convient d'assurer la stabilité, tant en phase travaux qu'en phase définitive.

La photographie ci-après a été prise dans la zone du future déblais et montre le talus actuel avec une pente globalement de 3 de base pour 2 de hauteur avec risberme intermédiaire. Il n'y a pas actuellement de cunette en tête de talus et il n'y a pas eu de désordre observé ou ayant été signalé. Le maintien des conditions hydriques est assuré par la végétalisation actuelle.



La circulation sur l'A13 sera adaptée aux travaux qui seront à réaliser et les réseaux déviés.

D. Analyse de la stabilité des pentes de talus

D.1.1 Méthode observationnelle

Les talus de l'A13 qui seront concernés par les futures travaux et présentés ci-avant sont pour rappel penté à 3/2 (B/H), avec une risberme intermédiaire, par ailleurs les talus observés dans le secteur dans le substratum crayeux sont quasi subverticaux (Ancienne carrière, RD113). Les talus actuels sont végétalisés et plantés d'arbustes hydrophiles sans autre forme de drainage.

La craie présente un comportement complexe notamment en présence d'eau, c'est pourquoi le maintien des conditions hydriques par une végétalisation des pentes et la plantation d'arbres hydrophiles, une fois les terrassement terminés, est indispensable.

D.1.2 Méthode de calcul

L'étude de la stabilité des ouvrages (vérification au glissement) est réalisée à partir du logiciel TALREN 4 pour une rupture circulaire et suivant la méthode des tranches de BISHOP.

Le principe consiste à calculer l'ensemble des efforts moteurs le long d'une ligne de rupture circulaire et de les comparer aux efforts résistants.

Les combinaisons d'action ont été définies selon l'approche 2 de l'Eurocode 7 :

- les paramètres de sol ne sont pas pondérés (coefficient de 1),
- surcharges pondérées par 1,5 (actions variables défavorables),
- coefficient de modèle = 1.

Le coefficient $\Gamma = \frac{\sum \text{efforts résistants}}{\sum \text{efforts moteurs}}$ doit être supérieur ou égal à 1,3 à court terme et à 1,5 à long terme afin que la stabilité soit assurée.

D.1.3 Données d'entrée

D.1.3.1 Profil de calcul et géométrie retenue

Le calcul est réalisé le calcul au droit de la zone où la situation est la plus défavorable, c'est-à-dire pour la hauteur de déblai la plus importante : il s'agit du PT22.

Pente : 3H/2V

Hauteur du déblai : 34 m.

Une risberme est prise en compte vers la cote de 64 NGF, avec une largeur d'environ 4,5 m.

D.1.3.1 Niveau de l'eau

Le niveau de l'eau dans la partie est de la carrière est situé vers +25 NGF. Aucune prise en compte dans la modélisation.

D.1.3.2 Réflexion sur les caractéristiques géomécaniques à prendre en compte

A noter que la craie est un matériau spécifique en géotechnique par sa nature et la complexité de son comportement, notamment en état de saturation.

L'angle de frottement retenu est de 36°, correspondant à la moyenne des angles de frottement à long terme obtenus par les essais triaxiaux.

Concernant la cohésion, il est à noter que les essais triaxiaux CD et CU+u ont été réalisés sur des matériaux saturés, ce qui n'est pas représentatif du comportement des matériaux qui vont constituer le futur talus.

Ainsi, nous avons privilégié la cohésion issue des essais de cisaillement UU, réalisés à teneur en eau naturelle, pour lesquels la valeur de la cohésion résiduelle est plus réaliste. De plus, nous appliquons sur cette dernière une minoration sécuritaire de 15 %. Ainsi nous obtenons une cohésion à long terme de 25 kPa.

Ainsi, nous retenons les caractéristiques suivantes :

- A court terme :

c_u : cohésion à court terme,	$c_u = 35$ kPa
φ_u : angle de frottement interne à court terme,	$\varphi_u = 33^\circ$
- A long terme :

c' : cohésion à long terme,	$c' = 25$ kPa
φ' : angle de frottement interne à long terme,	$\varphi' = 36^\circ$

D.1.3.3 Surcharges en tête

Aucune surcharge n'est appliquée en tête de talus.

D.1.3.4 Renforcements

Aucun renforcement n'est appliqué.

D.1.4 Calculs TALREN

Il ressort du calcul TALREN les coefficients de sécurité suivant :

- A court terme $F = 1.82 > 1.3$
- A long terme $F = 1.79 > 1.5$

Conclusion : la stabilité du talus est assurée pour une pente à 3H/2V, avec une risberme d'environ 4,5 m.

Les graphiques TALREN les plus défavorables figurent en annexe.

E. Conclusion

La stabilité du talus est assurée pour une pente à 3H/2V à court terme et à long terme avec une risberme comme l'indiquent les calculs qui il faut le souligner sans à prendre avec du recul s'agissant du comportement de la craie. Des précautions ont été prises sur les valeurs notamment de cohésion à long terme (valeurs résiduelles de l'essai de cisaillement).

Ainsi, le talus de la future zone de déblai pourra être réglé à 3/2 (3 en base pour 2 en hauteur) avec une risberme telle que décrite précédemment, ce qui est en cohérence avec le talus actuel, ne présentant pas de signe d'instabilité.

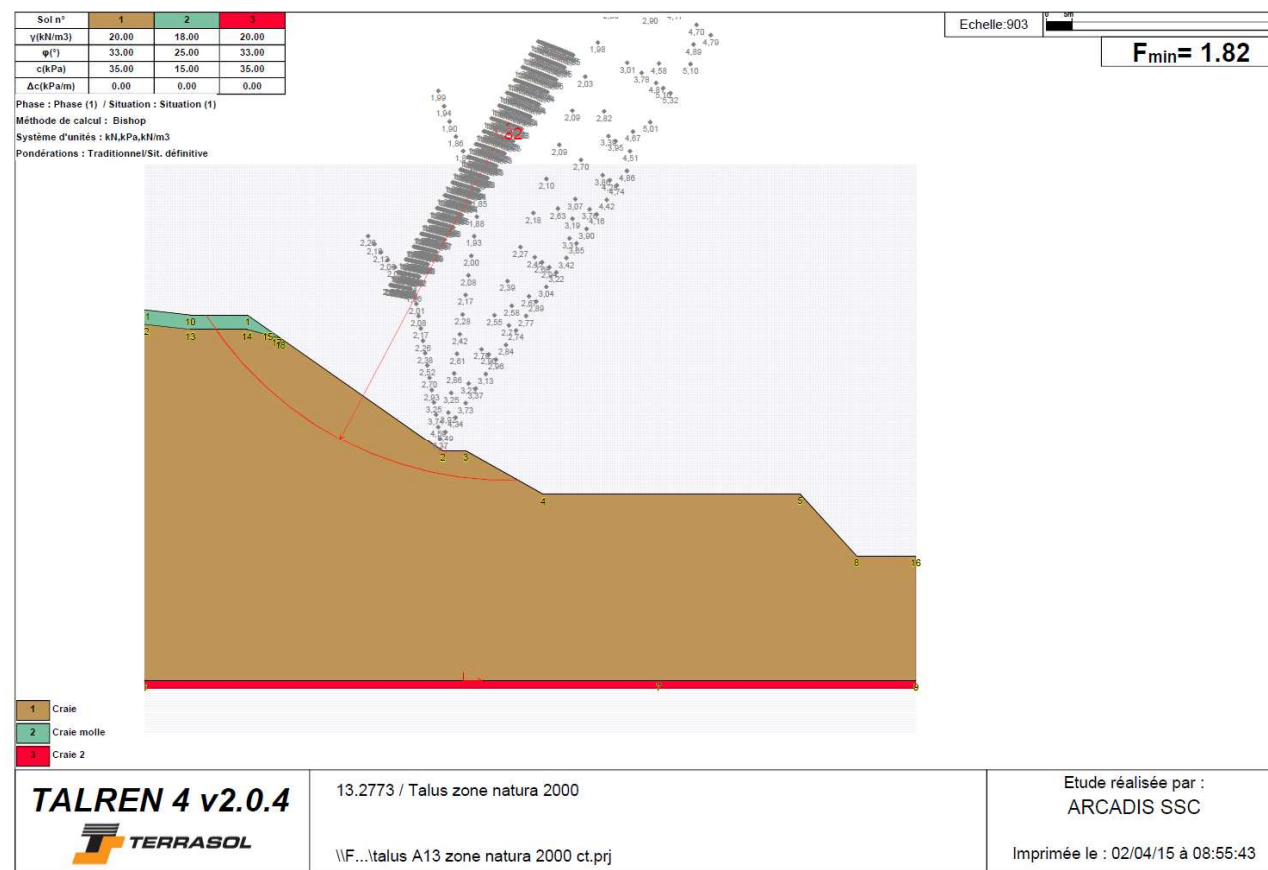
Les talus devront être protégés dès la fin de la réalisation des travaux de terrassement par une végétalisation mise en œuvre par projection et par une plantation d'arbuste hydrophile.

ANNEXES

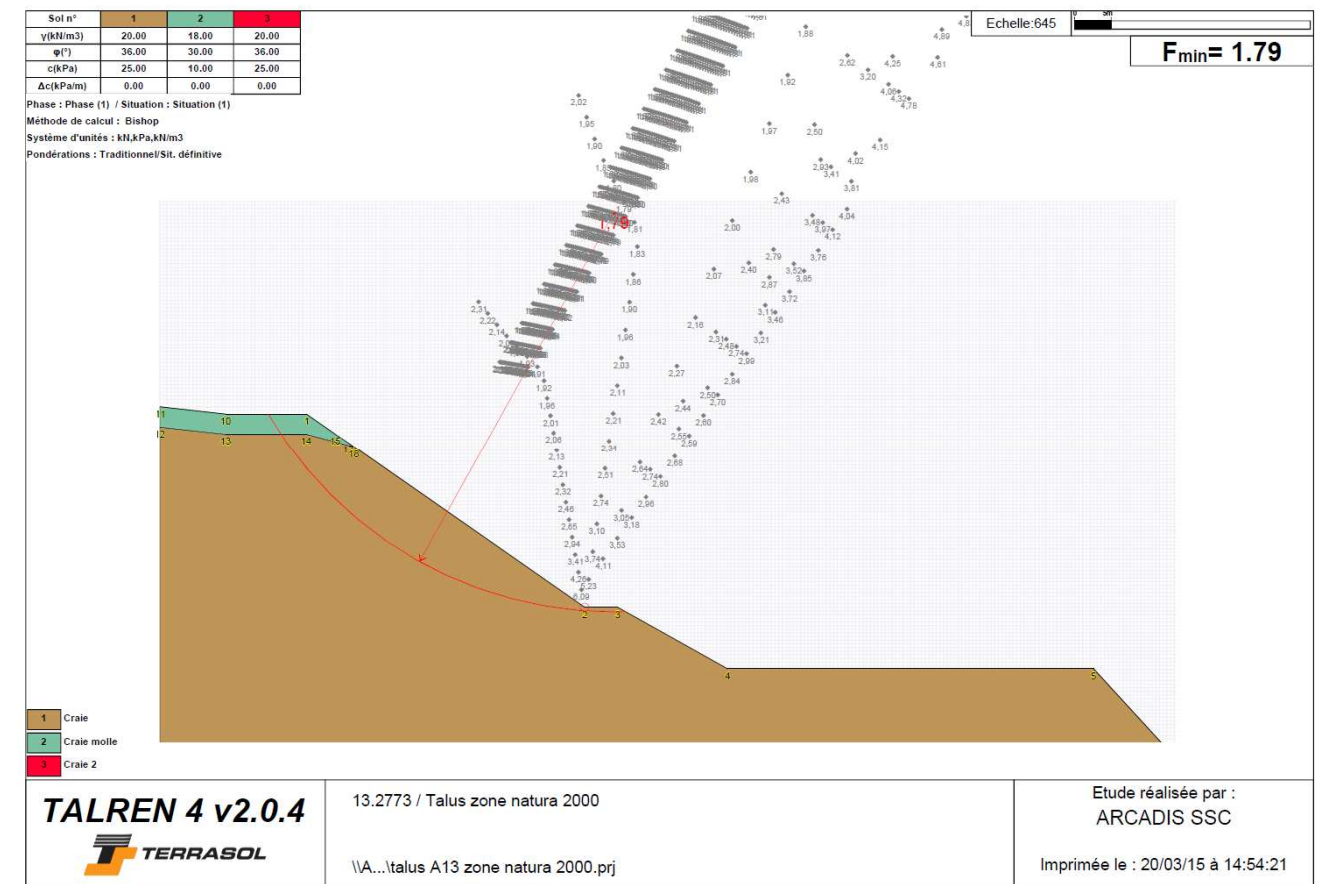
* Graphiques TALREN

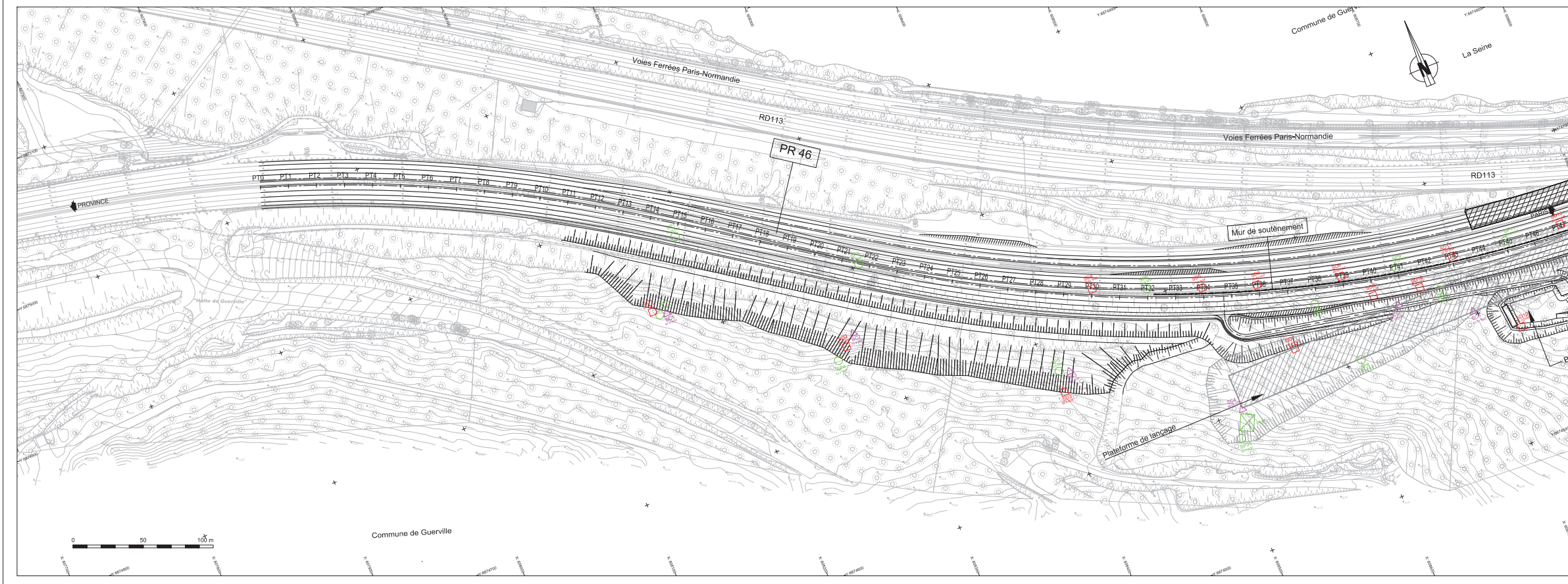
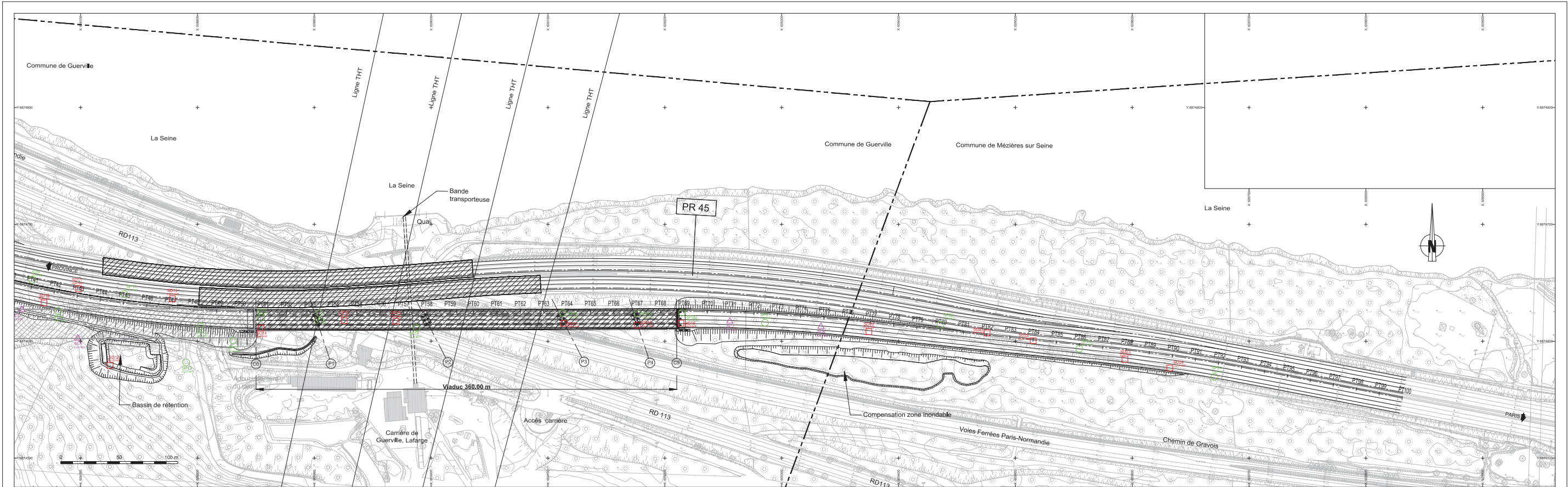
8

A court terme :



A long terme :





Légende		REFERENCES EXTERNES	
	Sondages pressiométriques	S11.043	
	Sondages reconnaissance géologique	S11.044	
	Sondages carotés	S11.045	
	Puits	S11.046	

A13 - VIADUC DE GUERVILLE - 3ème TABLIER
 PROJET - DCE
 GEOTECHNIQUE
 PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

Abbré	Date	Objet de Modification	Elabé	Verifié	Approuvé
ADJ	25/04/2015	Première imposition	LFE	NM	AN
B01	15/07/2015	Approuvé par le DCE	AN	NM	AN