



**Novembre 2014**



**SARL Louis BORGHESE et  
Cie**

# **Étude de stabilité de Digue**



**SIEGE SOCIAL**  
PARC DE L'ILE - 15/27 Rue DU PORT  
92022 NANTERRE CEDEX



**Directions Délégée Centre Est**  
Agence de Chambéry  
Savoie Technolac - BP 318  
73377 LE BOURGET-DU-LAC CEDEX

Version : V1

Nom Prénom et VISA du responsable : Y.VIEL





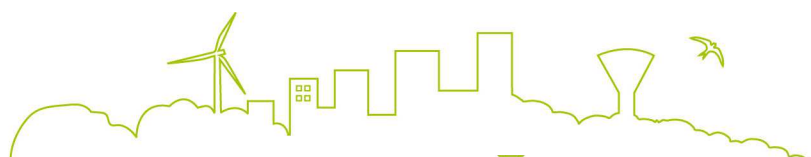
## Sommaire

<b>1</b>	<b>Préambule .....</b>	<b>5</b>
	<b>1.1 Contexte et objectif .....</b>	<b>5</b>
	<b>1.2 Localisation .....</b>	<b>5</b>
	<b>1.3 Méthodologie .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Prospections géophysiques .....</b>	<b>8</b>
	<b>2.1 Préambule .....</b>	<b>8</b>
	<b>2.2 Localisation .....</b>	<b>8</b>
	<b>2.3 Résultats .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Prospections géotechniques .....</b>	<b>12</b>
	<b>3.1 Préambule .....</b>	<b>12</b>
	<b>3.2 Localisation .....</b>	<b>12</b>
	<b>3.3 résultats des investigations .....</b>	<b>13</b>
	3.3.1 Récapitulatif des investigations .....	13
	3.3.2 Coupes lithologiques .....	14
<b>4</b>	<b>Interprétation générale de la digue .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Etude de stabilité .....</b>	<b>17</b>
	<b>5.1 préambule .....</b>	<b>17</b>
	<b>5.2 Etude de stabilité au grand glissement .....</b>	<b>17</b>



---

5.2.1	Hypothèses de calcul.....	17
5.2.2	Les résultats .....	23
6	Conclusion générale .....	29





## Tables des illustrations

Figure 1 : Localisation de la carrière Borghèse – Carte IGN – <a href="http://ww.geoportail.gouv.fr">ww.geoportail.gouv.fr</a> .....	5
Figure 2 : Localisation de la carrière Borghèse – Image Aérienne – <a href="http://ww.geoportail.gouv.fr">ww.geoportail.gouv.fr</a> .....	6
Figure 3 : Localisation du projet d’extension de l’exploitation – Image Aérienne – <a href="http://ww.geoportail.gouv.fr">ww.geoportail.gouv.fr</a> .....	6
Figure 4 : Localisation des panneaux électriques .....	9
Figure 5 : Profil de résistivité apparente .....	9
Figure 6: Résistivités des principales lithologies.....	11
Figure 7 : Coupes lithologiques des deux ouvrages PR1 et PR2. Paramètres enregistrés à l’avancement (vitesse de foration, pression de poussée, couple de rotation) .....	15
Figure 8 : Coupe interprétative des formations lithologiques constitutives de la digue .....	16
Figure 9 : Zonage sismique en Rhône Alpes .....	19

## Table des tableaux

Tableau 1 : Principales caractéristiques des ouvrages et des essais.....	13
Tableau 2 : Interprétation générale des matériaux de la digue .....	16
Tableau 3 : Situations de projet .....	17
Tableau 4 : Résultats de stabilité – Digue routière .....	24
Tableau 5 : Résultats de stabilité – Remblai ferroviaire.....	27

## Table des annexes

Annexe 1 Investigations géotechnique – Rapport KAENA
Annexe 2 Résultats graphiques – Digue routière
Annexe 3 Résultats graphiques – Remblai ferroviaire



## 1 PRÉAMBULE

### 1.1 CONTEXTE ET OBJECTIF

Cette étude s'inscrit dans un projet d'extension de la carrière BORGHESE, située sur la commune de Chamousset en Savoie.

Le Maître d'Ouvrage souhaite étendre son exploitation alluvionnaire en bordure d'un remblai routier de protection contre les crues de l'Isère et d'un remblai SNCF.

Ce présent document est une étude de sensibilité dont l'objectif est définir les limites d'extension de l'exploitation (en superficie et en profondeur) garantissant une parfaite stabilité de la digue et du remblai ferroviaire.

### 1.2 LOCALISATION

La localisation du site d'étude est visible sur les figures suivantes. La carrière se situe sur la commune de Chamousset, en rive droite de l'Isère et à environ 800 mètres en aval de sa confluence avec l'Arc.

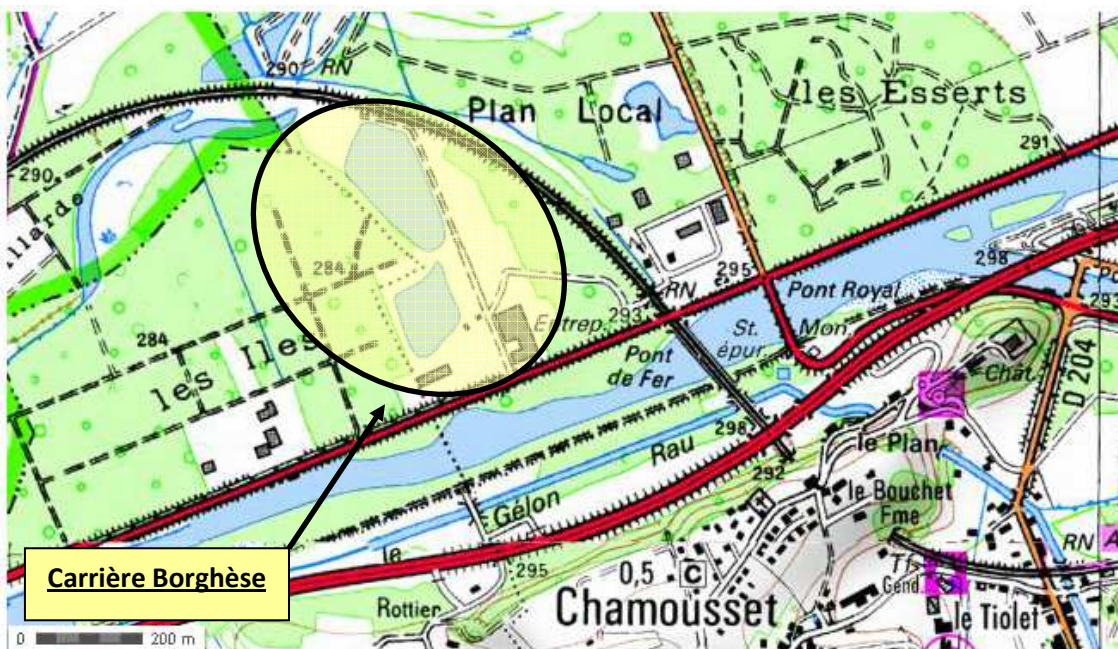


Figure 1 : Localisation de la carrière Borghèse – Carte IGN – [www.geoportail.gouv.fr](http://www.geoportail.gouv.fr)

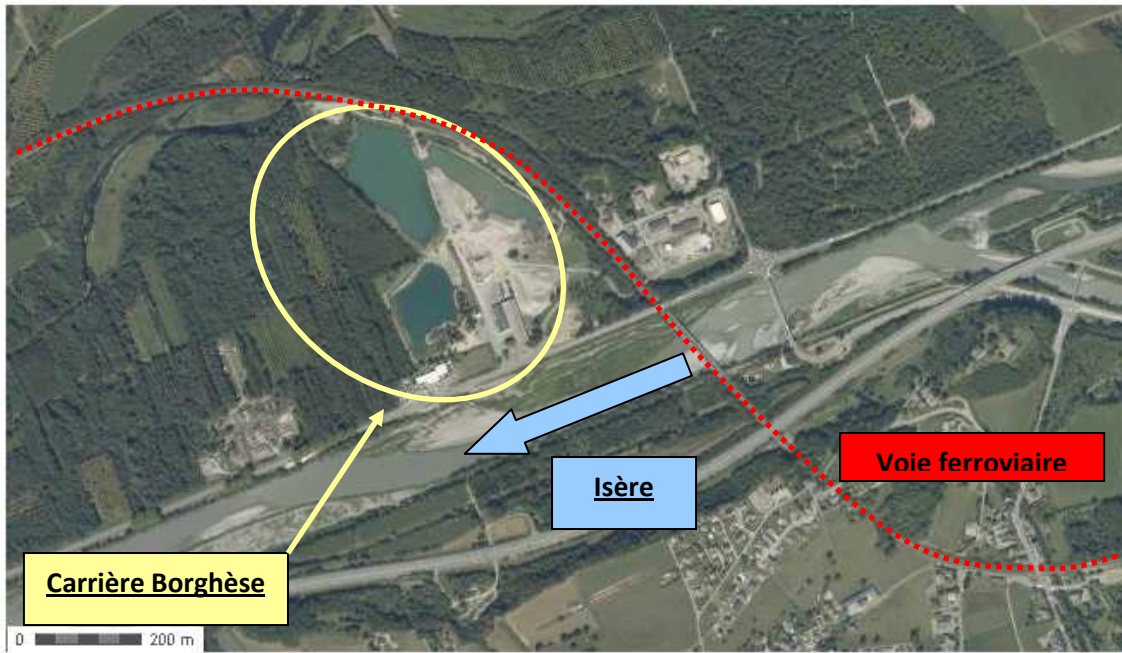


Figure 2 : Localisation de la carrière Borghèse - Image Aérienne - [www.geoportail.gouv.fr](http://www.geoportail.gouv.fr)

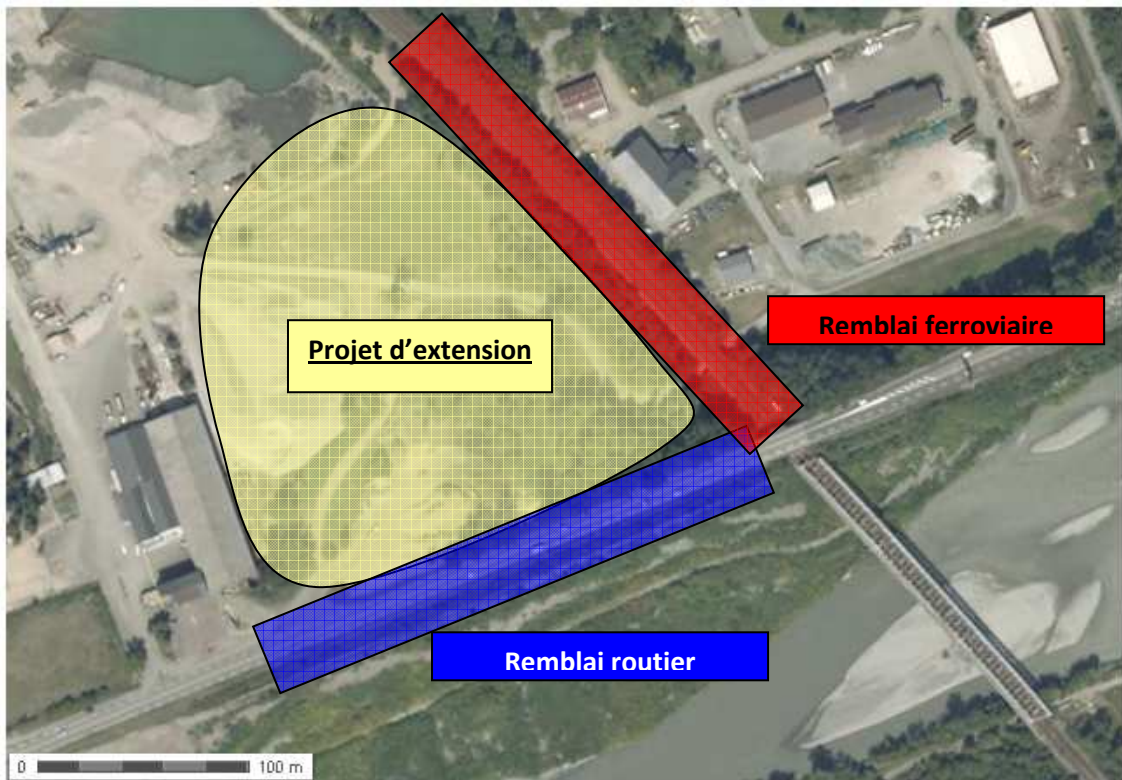


Figure 3 : Localisation du projet d'extension de l'exploitation - Image Aérienne - [www.geoportail.gouv.fr](http://www.geoportail.gouv.fr)



## 1.3 MÉTHODOLOGIE

Cette étude se décompose en plusieurs prestations :

- Mission de reconnaissance géophysique par panneau électrique ;
- Mission de reconnaissance géotechnique (forages, essais de perméabilité, essais pressiométriques) ;
- Modélisation via le logiciel GEO-SLOPE – étude de stabilité au grand glissement.





## 2 PROSPECTIONS GÉOPHYSIQUES

### 2.1 PRÉAMBULE

Une prospection géophysique par panneau électrique a été menée par SAFEGE le 14 octobre 2014.

Il s'agit de mesurer la résistivité apparente des terrains à partir d'un dispositif multi-électrodes émission/réception. Pour cette mission, l'exécution des panneaux électriques a été faite au moyen d'un système LUND disposant d'une capacité de mesures de 62 électrodes permettant ainsi de réaliser des profils de résistivité apparente de 244 m de longueur.

Douze niveaux de mesures ont été effectués selon la méthode d'acquisition Schlumberger. Le dispositif de mesure de base était constitué par 62 électrodes espacées de 4 mètres. Elles sont affectées soit à l'injection (A et B), soit à la réception ou mesure de potentiel (M et N) par l'équipement de gestion automatique des électrodes, qui déroule la séquence de mesures.

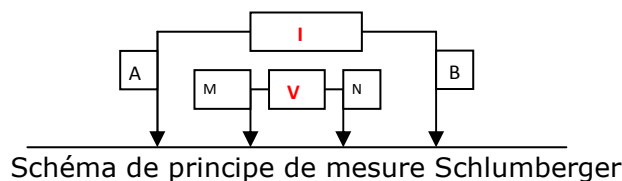


Schéma de principe de mesure Schlumberger

Chaque planche présente en annexe montre les résistivités apparentes mesurées, les résistivités apparentes calculées et l'inversion des mesures à partir du modèle calculé, donnant les résistivités en fonction des profondeurs.

### 2.2 LOCALISATION

Cette prospection a été réalisée sur la digue (remblai routier) en rive droite de l'Isère. Elle a été menée plus précisément derrière la glissière de sécurité, du poteau électrique (emplacement de l'électrode N°1) au pont de la voie ferroviaire (électrode N°62).



Figure 4 : Localisation des panneaux électriques

## 2.3 RÉSULTATS

Les résultats d'une prospection géophysique par panneau électrique se présentent sous la forme de profils de résistivités apparentes des terrains sous-jacents. Ce profil est présenté ci-après.

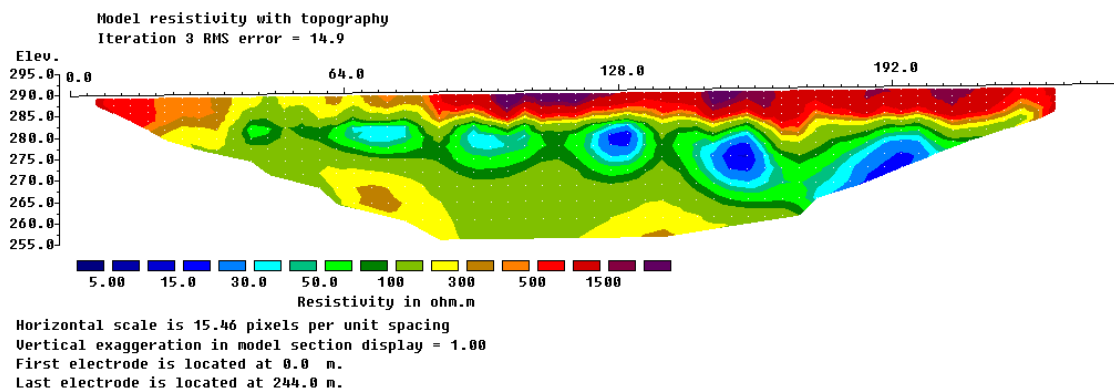


Figure 5 : Profil de résistivité apparente

L'observation du profil de résistivité apparente à travers le remblai routier appelle aux commentaires suivants :



- Présence d'un horizon de forte résistivité (de 500 à 2000  $\Omega.m$ ) en surface et d'une puissance de l'ordre de 5 à 10m ;

⇒ **Horizon 1**

- Présence d'un horizon d'une résistivité moyenne (de 50 à 300  $\Omega.m$ ) en profondeur. Cet horizon présente une puissance de l'ordre de 30 m (limite de la profondeur d'investigation) ;

⇒ **Horizon 2**

- Présence de lentilles très peu résistive au sein de cet horizon 1 (résistivité inférieure à 50  $\Omega.m$ ). Ces lentilles présentent une épaisseur de l'ordre de 5 à 10m.

⇒ **Horizon 3**

Des investigations géotechniques par sondages destructifs sont réalisées suite à ces prospections géophysiques. Celles-ci permettent une identification ponctuelle des matériaux en profondeur (lithologie, compactage,...).

Les différentes lithologies rencontrées via ces sondages sont ensuite extrapolées sur l'ensemble du linéaire de digue via les résultats de géophysique (gammes de résistivité apparente).



Figure 6: Résistivités des principales lithologies

## 3 PROSPECTIONS GÉOTECHNIQUES

### 3.1 PRÉAMBULE

Des prospections géotechniques par sondages destructifs ont été menées par KAENA du 27 au 28 octobre 2014.

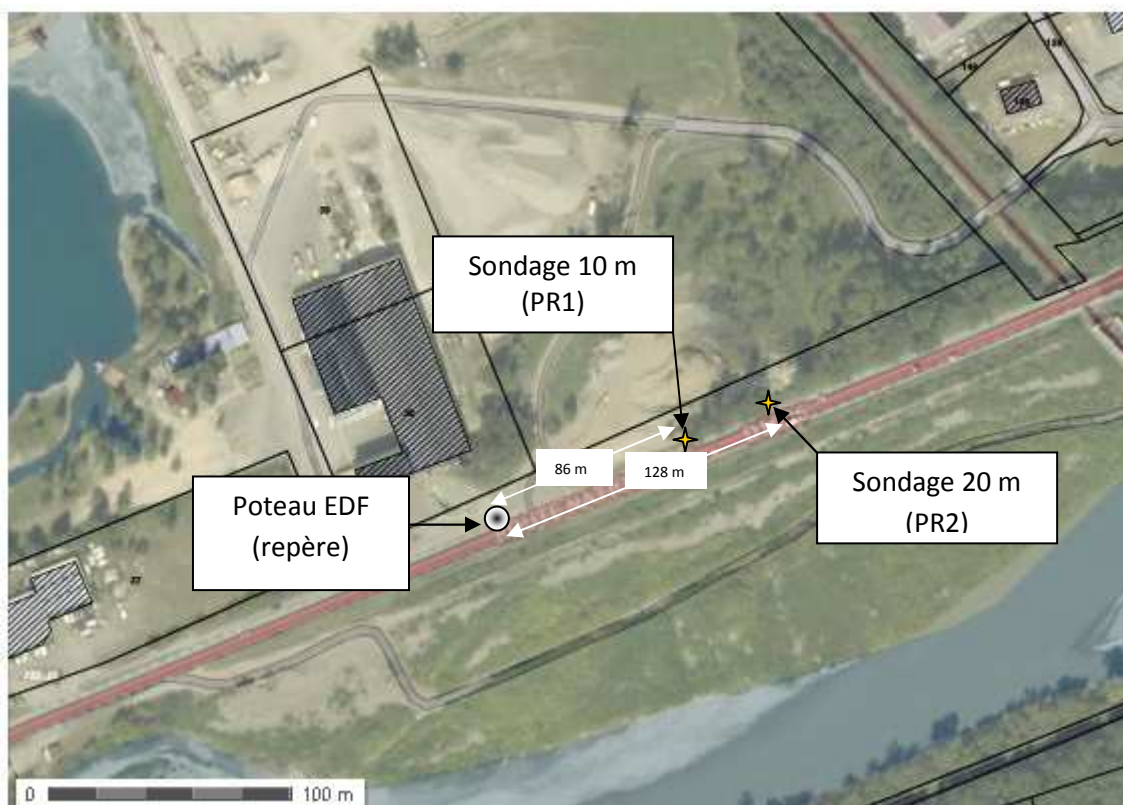
Ces prospections comprenaient les éléments suivants :

- Réalisation de deux sondages destructifs (12 et 20m) ;
- Réalisation de 2 essais pressiométriques par sondage ;
- Réalisation d'un essai de perméabilité (type Nasberg) par sondage.

### 3.2 LOCALISATION

Ces prospections ont été réalisées sur la digue (remblai routier) en rive droite de l'Isère.

L'implantation des sondages a été définie suite aux investigations géophysiques. La localisation de ces sondages est visible sur la figure ci-dessous.



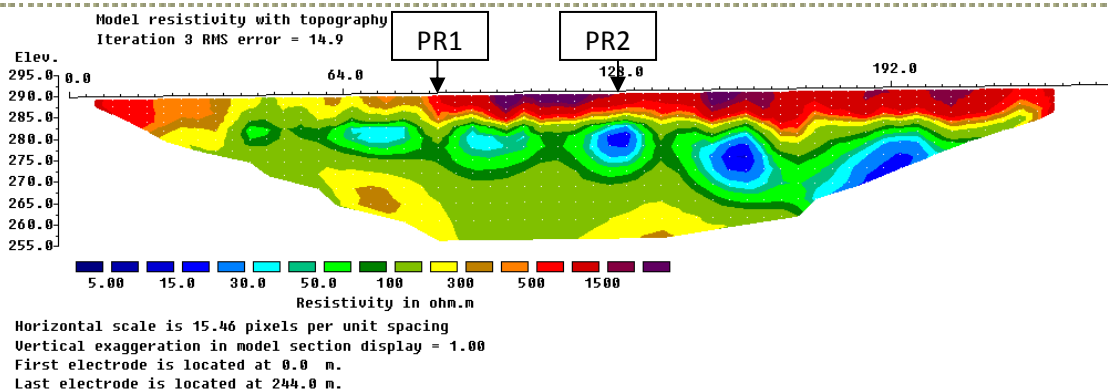


Figure 1 : Localisation des deux sondages PR1 et PR2

## 3.3 RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

Ces informations sont issues du rapport d'investigation géotechnique de l'entreprise Kaena. Ce rapport géotechnique de Kaena est annexé à ce présent document.

### 3.3.1 RÉCAPITULATIF DES INVESTIGATIONS

Tableau 1 : Principales caractéristiques des ouvrages et des essais

	Forage PR1	Forage PR2
<b>Cote du TN</b>	294,96 m NGF	296,07 mNGF
<b>Profondeur d'investigation</b>	12 m	20 m
<b>Niveau statique</b>	Absence d'eaux souterraines	12 m / TN
<b>Profondeur des essais pressiométrique</b>	1 <sup>er</sup> : 3,5 m 2 <sup>nd</sup> : 10 m	1 <sup>er</sup> : 4 m 2 <sup>nd</sup> : 15 m
⇒ <b>Pression limite (PI)</b>	1 <sup>er</sup> : 1,86 MPa 2 <sup>nd</sup> : 4,10 MPa	1 <sup>er</sup> : 1,32 MPa 2 <sup>nd</sup> : 2,80 MPa
⇒ <b>Module pressiométrique (Em)</b>	1 <sup>er</sup> : 15,5 MPa 2 <sup>nd</sup> : 43,2 MPa	1 <sup>er</sup> : 10,8MPa 2 <sup>nd</sup> : 24,4 MPa
<b>Profondeur des essais de perméabilité</b>	Entre 8 et 9 m	Entre 10 et 11 m
⇒ <b>Perméabilité (K)</b>	$1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s	$7,7 \cdot 10^{-5}$ m/s



## 3.3.2 COUPES LITHOLOGIQUES

Les coupes lithologiques issues de ces deux forages de reconnaissances sont présentées sur la figure ci-après.

Ces coupes lithologiques appellent aux commentaires suivant :

- Présence d'un horizon limoneux d'une puissance de 0,15 m, visible sur les deux sondages ;  
⇒ **Horizon A**
  
- Présence d'un horizon gravelo-sablo-limoneux de couleur grise, moyennement compacté et uniquement visible sur le sondage PR2 ;  
⇒ **Horizon B**
  
- Présence d'un horizon gravelo-sableux de couleur grise, présentant des passages très compactés à moyennement compactés, visible sur les deux sondages ;  
⇒ **Horizon C**
  
- Présence d'un horizon graveleux à gravelo-sableux de couleur grise, très compacté et uniquement visible sur le sondage PR1 ;  
⇒ **Horizon D**

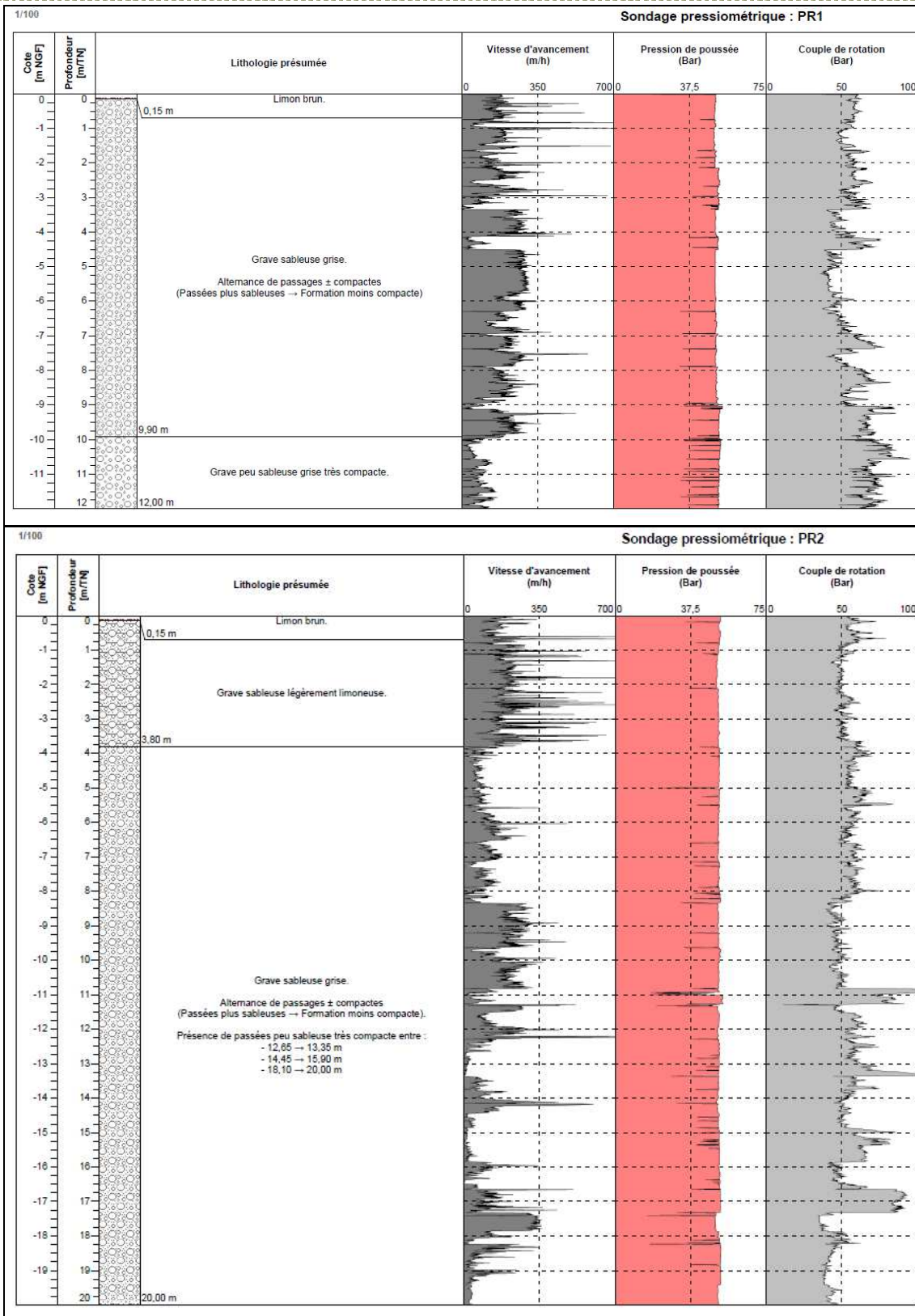


Figure 7 : Coupes lithologiques des deux ouvrages PR1 et PR2. Paramètres enregistrés à l'avancement (vitesse de foration, pression de poussée, couple de rotation)

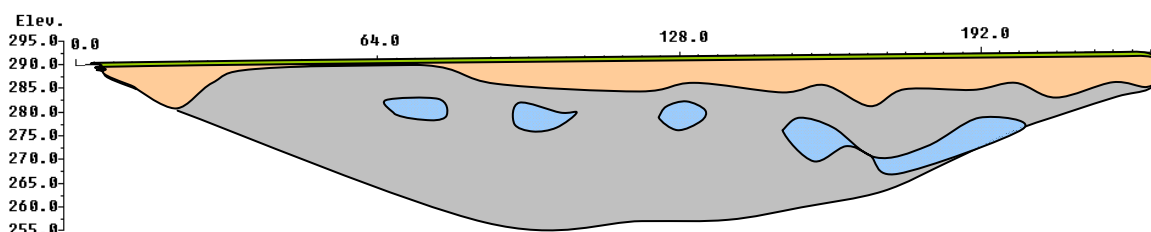


## 4 INTERPRÉTATION GÉNÉRALE DE LA DIGUE





En associant les observations par prospection géotechnique et par prospection géophysique, l'interprétation des matériaux constitutifs de la digue est la suivante :

**Tableau 2 : Interprétation générale des matériaux de la digue**

	Définition	Puissance	Nature des matériaux	Commentaires
<b>1<sup>er</sup> horizon</b>	Terre végétale	0,15 m	Limoneux	Horizon présent sur l'ensemble de la digue
<b>2<sup>ème</sup> horizon</b>	Remblai routier	~10 à 0m	Grave-sablo limoneuse	L'épaisseur du remblai diminue en s'éloignant de la voie ferroviaire
<b>3<sup>ème</sup> horizon</b>	Corps de digue	> à 10m	Grave-sableuse	Ces matériaux présentent des passages plus sableux et moins compactés pouvant être associés à des circulations d'eaux souterraines



**Légende :**

-  Terre végétale - Limons
-  Remblai routier –Graves-sablo-limoneuses
-  Corps de digue – Graves sableuses
-  Passages aquifère

**Figure 8 : Coupe interprétative des formations lithologiques constitutives de la digue**



## 5 ETUDE DE STABILITÉ

### 5.1 PRÉAMBULE

Afin de définir les cotes d'exploitation de la carrière, une étude de stabilité de la digue et du remblai ferroviaire est nécessaire.

Cette étude, dite de « sensibilité », vise à définir la profondeur d'exploitation et la distance d'approche maximale vis-à-vis du remblai ferroviaire et de la digue, tout en assurant la parfaite stabilité de ces deux derniers ouvrages.

La vérification de la stabilité au grand glissement a été effectuée via le logiciel GEO-SLOPE 2007.

La vérification de la stabilité au grand glissement a été effectuée selon les recommandations du Comité Français des Barrages Réservoirs, applicables aux digues. Ces recommandations empruntent la méthode semi-probabiliste utilisée dans les Eurocodes en appliquant des coefficients de sécurité partiels sur les différentes caractéristiques des matériaux et sur le modèle. Ces recommandations sont plus sécuritaires que l'Eurocode 7 : « calcul géotechnique », lorsque des doutes subsistent sur les caractéristiques géotechniques des matériaux en présence, lorsque peu ou pas d'essai géotechnique de caractérisation des matériaux n'a été réalisé.

### 5.2 ETUDE DE STABILITÉ AU GRAND GLISSEMENT

#### 5.2.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL

##### 5.2.1.1 Situations de projet

Les situations de projet représentent les conditions réelles auxquelles la digue routière et le remblai ferroviaire et leurs environnements sont soumises. Ces situations correspondent donc à des chargements pour lesquels l'ouvrage est susceptible de se retrouver durant sa vie.

SAFEGE a défini les situations de projet en tenant compte de l'environnement auquel chaque ouvrage est soumis.

Les états limites à vérifier pour chaque situation de projet sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3 : Situations de projet**



<u>Situations de projet</u>	<u>Commentaires</u>	<u>États limites</u>
<b>Digue routière</b>		
Situation normale	Niveau de nappe	Glissement talus
Situation rare de crue	Crue Q100	Glissement talus
Situation accidentelle	Séisme SES (avec niveau d'eau de nappe)	Glissement talus
<b>Remblai ferroviaire</b>		
Situation normale	Niveau de nappe	Glissement talus
Situation accidentelle	Séisme SES (avec niveau d'eau de nappe)	Glissement talus

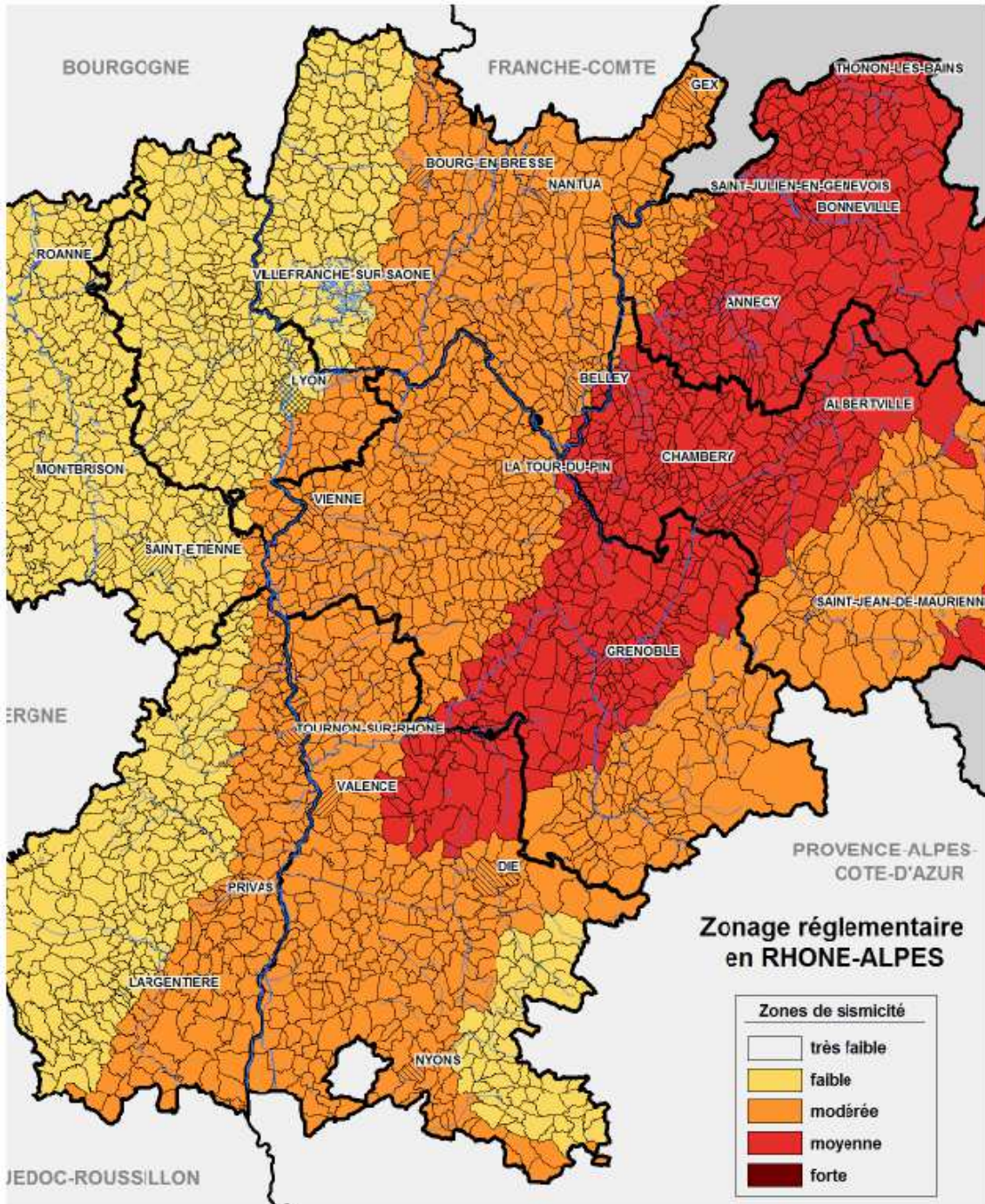
## 5.2.1.2 Surcharge en crête

Les surcharges en crêtes pour la digue routière et le remblai ferroviaire sont les suivantes :

- Il est considéré une surcharge de 10 kN/m<sup>2</sup> en crête de digue routière sur 10 m de large relatif à la circulation sur la route départementale ;
- Il est considéré une surcharge de 30 kN/m<sup>2</sup> en sommet du remblai ferroviaire sur 5 m de large relatif à l'emplacement des voies et à la circulation des trains.

## 5.2.1.3 Séisme

Le site étudié est situé dans une zone sismique moyenne (Zone 4), conformément au zonage sismique en France (Art 563-8-1 du code de l'environnement).



**Figure 9 : Zonage sismique en Rhône Alpes**

Les recommandations du CFBR recommandent d'étudier la stabilité des remblais pour un séisme de type SES (Séisme d'Évaluation de la Sécurité).

Conformément aux recommandations du CFBR, la digue routière est classée C. Les recommandations du CFBR ne définissent pas de classe pour les remblais ferroviaires. Cependant, à la vue des caractéristiques géométriques et des enjeux



que représente le remblai ferroviaire nous choisissons de l'assimiler à un ouvrage de classe C.

En fonction de la zone sismique et de la classe de l'ouvrage on retiendra les accélérations suivantes dans les études de stabilité :

- Accélération horizontale :  $a_h = 2 \text{ m}^2/\text{s}$  ;
- Accélération verticale :  $a_v = 1,6 \text{ m}^2/\text{s}$ .

## 5.2.1.4 Les hypothèses du modèle

Le modèle de stabilité est établi par le couplage de 3 modèles :

### ■ Modèle géotechnique :

Le modèle géotechnique a été basé sur les sondages pressiométriques réalisés par le BE de géotechnique Kaéna le 3 Novembre 2014.

Quatre sondages pressiométriques ont été réalisés et ont permis de mettre en évidence les couches de sols en présence dans la zone sud est de la carrière. Il s'avère que la lithologie est homogène et est composée de grave sableuse plus ou moins compacte (passage plus ou moins sableux).

De plus, 2 essais Lefranc ont aussi été réalisés donnant une perméabilité moyenne de  $1.10^{-4} \text{ m/s}$  aux graves sableuses.

Les caractéristiques géotechniques retenues pour la stabilité sont les suivantes :

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$\rho$ (m/s)
Graves sableuses	18	0	35	$1.10^{-4}$

**Par l'absence de certaines données ( $c$ ,  $\varphi$  et  $\gamma$ ), les caractéristiques ont été choisies de manière sécuritaire en s'appuyant sur des retours d'expériences et sur la littérature.**

Les propriétés de résistance des matériaux sont prises en compte dans les calculs à partir des valeurs caractéristiques exposées ci dessus, auxquelles sont appliqués des **coefficients partiels de sécurité** en fonction de la situation de projet considérée.

Les coefficients partiels et de modèle sont les suivants :



Situation	Coefficient partiel $\gamma_m$ sur $c'$ et $\tan \varphi'$	Coefficient partiel $\gamma_m$ sur $\gamma$	Coefficient de modèle $\gamma_d$
Normale	1,25	1	1,2
Transitoire ou rare	1,1	1	1,2
Accidentelle	1	1	1

## ■ Modèle hydraulique :

L'objectif du modèle hydraulique est de déterminer le **champ des pressions interstitielles** et le champ des gradients hydrauliques au sein de l'ouvrage en fonction des conditions aux limites hydrauliques appliquées et des actions de l'eau.

Le choix de la modélisation doit donc s'adapter à la **situation de chargement hydraulique** dans le temps. Aussi, les différentes situations hydrauliques modélisées correspondent aux situations suivantes :

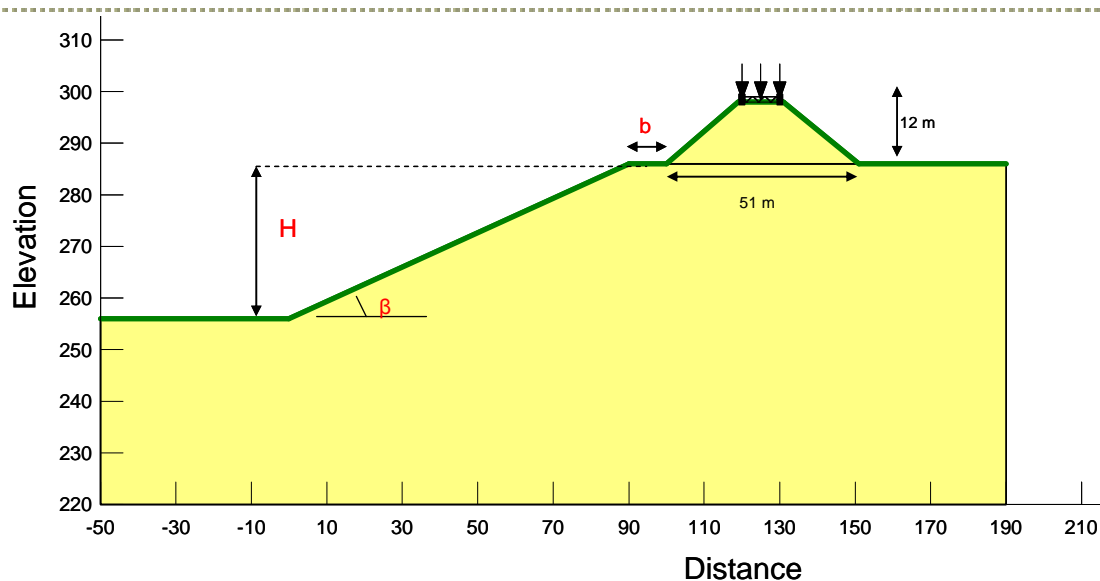
- Situation normale et sismique : Niveau de napper relevé lors des sondages en Novembre 2014 soit à la cote 284 m NGF ;
- Situation de crue : Niveau de la crue Q100, soit la cote 289,78 m NGF.

## ■ Modèle géométrique :

- Digue routière

Afin d'étudier le cas le plus critique, nous avons choisie d'étudier le profil où la digue routière représentait le plus de contraintes, c'est à dire qu'elle appliquait le plus de poids en tête du futur talus d'extraction.

Le profil ci dessous a donc été retenu (situé près de l'angle sud est de la carrière) :



Une étude paramétrique est réalisée sur les paramètres  $H$ ,  $b$  et  $\beta$  afin de déterminer les caractéristiques du talus d'excavation qui ne déstabilisera pas l'aval de la digue routière.

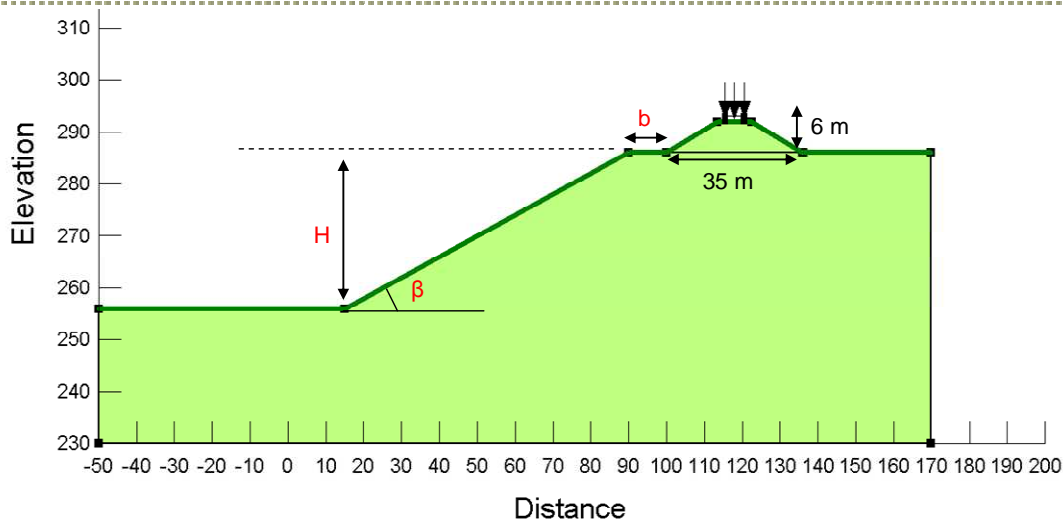


## A noter

Une distance minimum  $b = 10$  m est prise par précaution en pied aval de la digue. En effet il s'agit d'une digue classée C et est donc soumise à la réglementation en vigueur du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques, imposant une surveillance de la digue. Le pied aval doit donc rester accessible pour toute inspection et/ou travaux de confortement.

- Digue ferroviaire :

Le profil ci dessous est le profil type de la voie ferrée situé au sud est de la carrière.



Une étude paramétrique est réalisée sur les paramètres  $H$ ,  $b$  et  $\beta$  afin de déterminer les caractéristiques du talus d'excavation qui ne déstabilisera pas le remblai ferroviaire.

## 5.2.2 LES RÉSULTATS

### 5.2.2.1 Digue routière

Une étude paramétrique a donc été menée afin de déterminer les trios de caractéristiques ( $H$ ,  $b$  et  $\beta$ ) apportant une stabilité à l'ensemble talus d'excavation et digue, conformément aux recommandations du CFBR.

Le tableau ci dessous synthèse les résultats de l'étude paramétrique :

b	H	béta	Facteur de sécurité		
			Crue Q100	Situation Normale	Séisme
10	30	26	1,365	1,26	0,795
10	20	26	1,446	1,438	0,818
20	20	26	1,535	1,468	0,819
10	15	26	1,64	1,428	0,838
10	20	22	1,878	1,625	0,965
10	15	22	1,964	1,606	0,97
<b>10</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	1,972	1,908	1,006
<b>10</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	2,052	1,92	1,016
<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	2,131	1,673	1,034





## Conclusion :

*L'angle maximal d'excavation est de 20° quelque soit la hauteur d'excavation. La distance minimale par rapport au pied aval de la digue routière est de 10 m.*

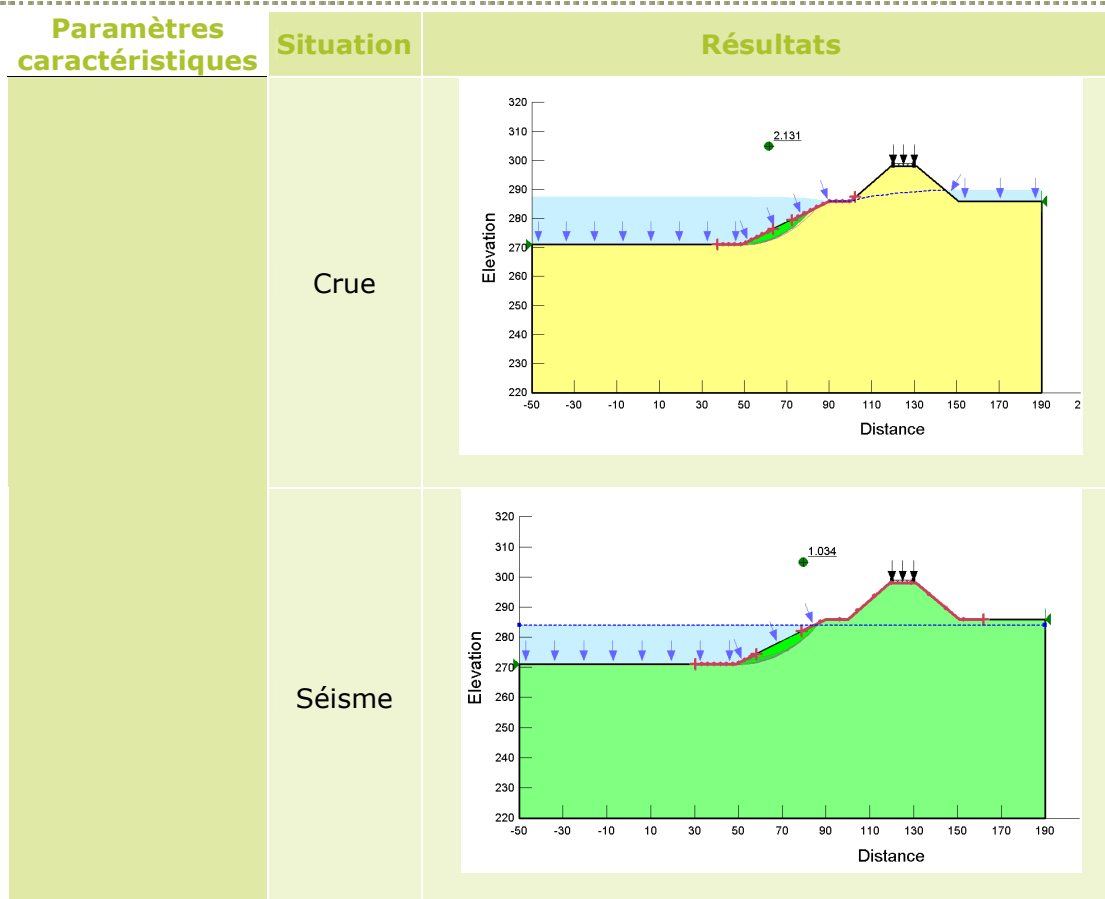
Ci dessous les résultats graphiques des tris de caractéristique respectant les critères de stabilité (ces figures sont disponible en annexe 2) :

**Tableau 4 : Résultats de stabilité – Digue routière**

Paramètres caractéristiques	Situation	Résultats
$H = 30\text{ m} - b = 10\text{ m} - \beta = 20^\circ$	Normale	
	Crue	
	Séisme	



Paramètres caractéristiques	Situation	Résultats
$H=20\text{ m} - b=10\text{ m} - \beta=20^\circ$	Normale	
	Crue	
	Séisme	
$H=15\text{ m} - b=10\text{ m} - \beta=20^\circ$	Normale	



## 5.2.2.2 Remblai ferroviaire

Une étude paramétrique a été menée afin de déterminer les trios de caractéristiques (H, b et  $\beta$ ) apportant une stabilité à l'ensemble talus d'excavation et remblai ferroviaire conformément aux recommandations du CFBR. Le tableau ci dessous synthèse les résultats de l'étude paramétrique.

b	H	béta	Coefficient de sécurité	
			Situation Normale	Séisme
10	30	26	1,238	0,795
20	30	26	1,241	0,798
10	20	26	1,262	0,82
20	20	26	1,262	0,82
10	15	26	1,329	0,839
10	20	22	1,556	0,957
10	30	22	1,544	0,94
10	15	22	1,608	0,97
10	30	20	1,7	1,004
10	20	20	1,722	1,019
10	15	20	1,744	1,031



## Conclusion :

*L'angle maximal d'excavation est de 20° quelque soit la hauteur d'excavation. La distance minimale par rapport au pied aval de la digue routière est de 10 m.*

Ci dessous les résultats graphiques des duos de caractéristique respectant les critères de stabilité (ces figures sont disponible en annexe 3) :

**Tableau 5 : Résultats de stabilité – Remblai ferroviaire**

Paramètres caractéristiques	Situation	Résultats
$H = 30 \text{ m} - b = 10 \text{ m} - \beta = 20^\circ$	Normale	
	Séisme	



Paramètres caractéristiques	Situation	Résultats
$H=20\text{ m} - b = 10\text{ m} - \beta = 20^\circ$	Normale	
	Séisme	
$H=15\text{ m} - b = 10\text{ m} - \beta = 20^\circ$	Normale	
	Séisme	



## 6 CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude de stabilité de digue vis-à-vis du projet d'extension de l'exploitation met en évidence les éléments suivants :

- Stabilité de la digue routière et du remblai ferroviaire pour :
  - Une distance d'exploitation supérieure ou égale à 10 mètres par rapport au pied de talus ;
  - Un angle de terrassement inférieur ou égal à 20°, soit un fruit de 2/5,5 (V/H).

Ces éléments vérifient une stabilité des deux ouvrages en situation :

- Dite « normale » ;
- De crue Q100 de l'Isère ;
- De séisme.







# ANNEXE 1

## INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUE – RAPPORT KAENA





**SAFEGE**  
-----  
**INVESTIGATIONS - CARRIERE  
BORGHESE**  
-----

**CHAMOUSSET (73)**

**INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES**  
-----

**DOSSIER N° 14.3610.A**

3			
2			
1	03/11/2014	Jérôme SERT	Guillaume CHAMEL
<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Chargé du dossier</b>	<b>Contrôle externe</b>

# SOMMAIRE

**Sommaire** ..... **2**

**Presentation** ..... **3**

1. Intervenants, missions, documents communiqués ..... 3

2. Investigations géotechniques ..... 3

**Description du site et du contexte** ..... **4**

3. Etat des lieux ..... 4

4. Aléas géotechniques ..... 4

**Annexes** ..... **5**

# PRESENTATION

## 1. Intervenants, missions, documents communiqués

### 1.1. Intervenants

Les intervenants dans l'acte de construire sont :

Client
SAFEGE

### 1.2. Mission du B.E. de géotechnique Kaéna

Contrat de prestation géotechnique entre Kaéna et SAFEGE : contrat référencé n°14.3610.A en date du 09/10/2014 et accepté le 20/10/2014.

#### ▶ Investigations géotechniques :

- Procéder à l'exécution de sondages, d'essais et de mesures géotechniques selon un programme défini par Kaéna.
- Fournir la coupe des sondages, les résultats des essais et des mesures.

Les limites de cette mission et les enchaînements des missions géotechniques qui sont recommandés par la norme NF P 94-500, sont rappelés dans les extraits joints en annexe.

## 2. Investigations géotechniques

### 2.1. Implantation – Nivellement

#### ▶ Implantation des sondages :

Les sondages ont été implantés par .

La position de ces sondages est repérée sur le plan joint en annexe.

#### ▶ Altimétrie de la tête des sondages :

L'altimétrie des sondages a été extrapolée à partir du fond de plan topographique.

Le système altimétrique de référence est le NGF normal.

### 2.2. Reconnaissances in-situ

#### ▶ Sondages et mesures de caractéristiques géomécaniques par :

- 2 forages destructifs PR1 et PR2 descendus respectivement à 12 et 20 m avec 2 essais pressiométriques / forage selon la norme NF P 94-110-1.

#### ▶ Essais de perméabilité par :

- 2 essais de perméabilité de type Nasberg réalisés dans :
  - le forage PR1 entre 8 et 9 m de profondeur,
  - le forage PR2 entre 10 et 11 m de profondeur.

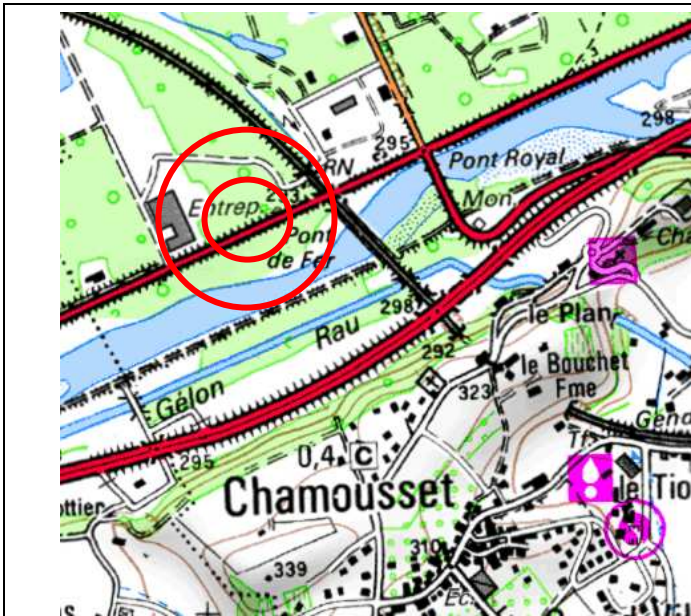
## DESCRIPTION DU SITE ET DU CONTEXTE

### 3. Etat des lieux

#### 3.1. Localisation

Commune : CHAMOUSSET (73)

RD 1006



Vue éloignée – Source « Carto Explorer »

Vue rapprochée – Source Google Earth

### 4. Aléas géotechniques

- ▶ Les reconnaissances de sol procèdent par sondages ponctuels, les résultats ne sont pas rigoureusement extrapolables à l'ensemble du site. Il persiste des aléas (exemple : hétérogénéité locale) qui peuvent entraîner des adaptations tant de la conception que de l'exécution qui ne sauraient être à la charge du géotechnicien.
- ▶ Des modifications dans l'implantation, la conception ou l'importance des constructions ainsi que dans les hypothèses prises en compte et en particulier dans les indications de la partie «*Présentation*» du présent rapport peuvent conduire à des remises en cause des prescriptions. Une nouvelle mission devra alors être confiée à KAÉNA afin de réadapter ces conclusions ou de valider par écrit le nouveau projet.
- ▶ De même des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des travaux et n'ayant pu être détectés au cours des reconnaissances de sol (exemple dissolution, cavité, hétérogénéité localisée, venues d'eau etc.) peuvent rendre caduques certaines des recommandations figurant dans le rapport.

## ANNEXES

**Extrait de la norme AFNOR sur les missions d'ingénierie géotechnique**

**Diagrammes des sondages au pénétromètre**

**Coupe des forages pressiométriques**

**Feuilles de résultat essais NASBERG**

**Plan d'implantation des sondages**

## ANNEXE EXTRAIT DE LA NORME FRANCAISE SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P 94 500 de novembre 2013)

### CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES

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

#### **ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)**

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

##### **Phase Étude de Site (ES)**

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

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

##### **Phase Principes Généraux de Construction (PGC)**

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

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

#### **ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)**

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

##### **Phase Avant-projet (AVP)**

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

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

##### **Phase Projet (PRO)**

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

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

##### **Phase DCE / ACT**

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

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

### **ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)**

#### **ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

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

Elle comprend deux phases interactives :

##### **Phase Étude**

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

##### **Phase Suivi**

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

#### **SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

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

Elle comprend deux phases interactives :

##### **Phase Supervision de l'étude d'exécution**

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

##### **Phase Supervision du suivi d'exécution**

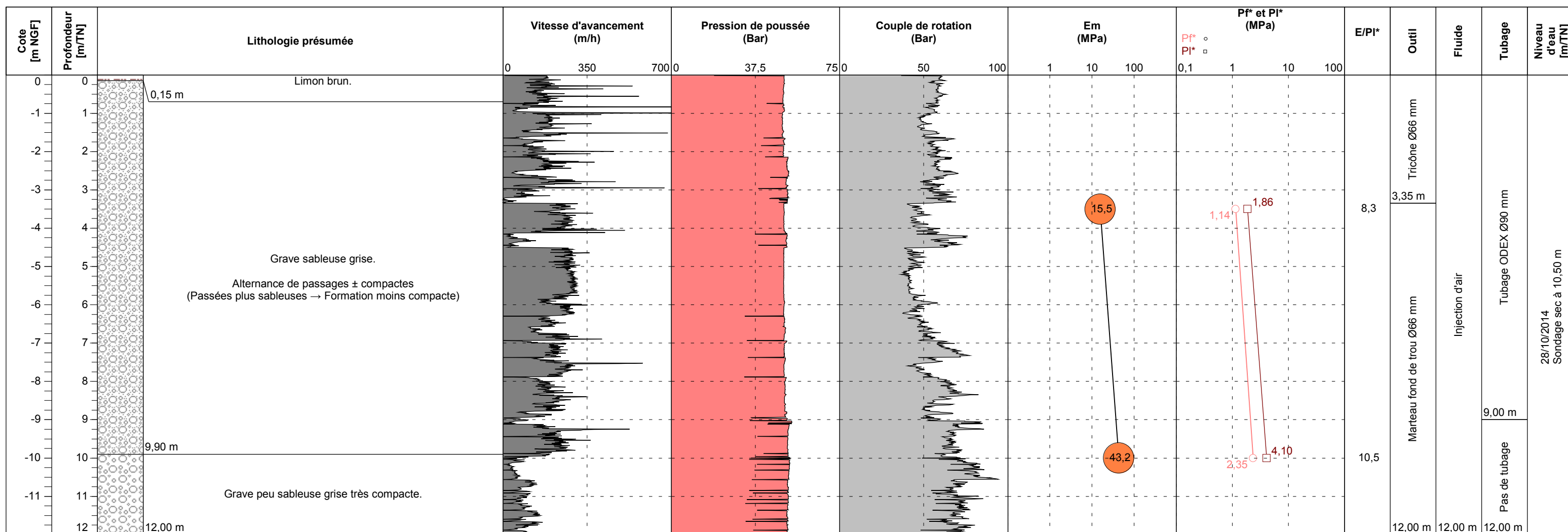
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique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

#### **DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

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

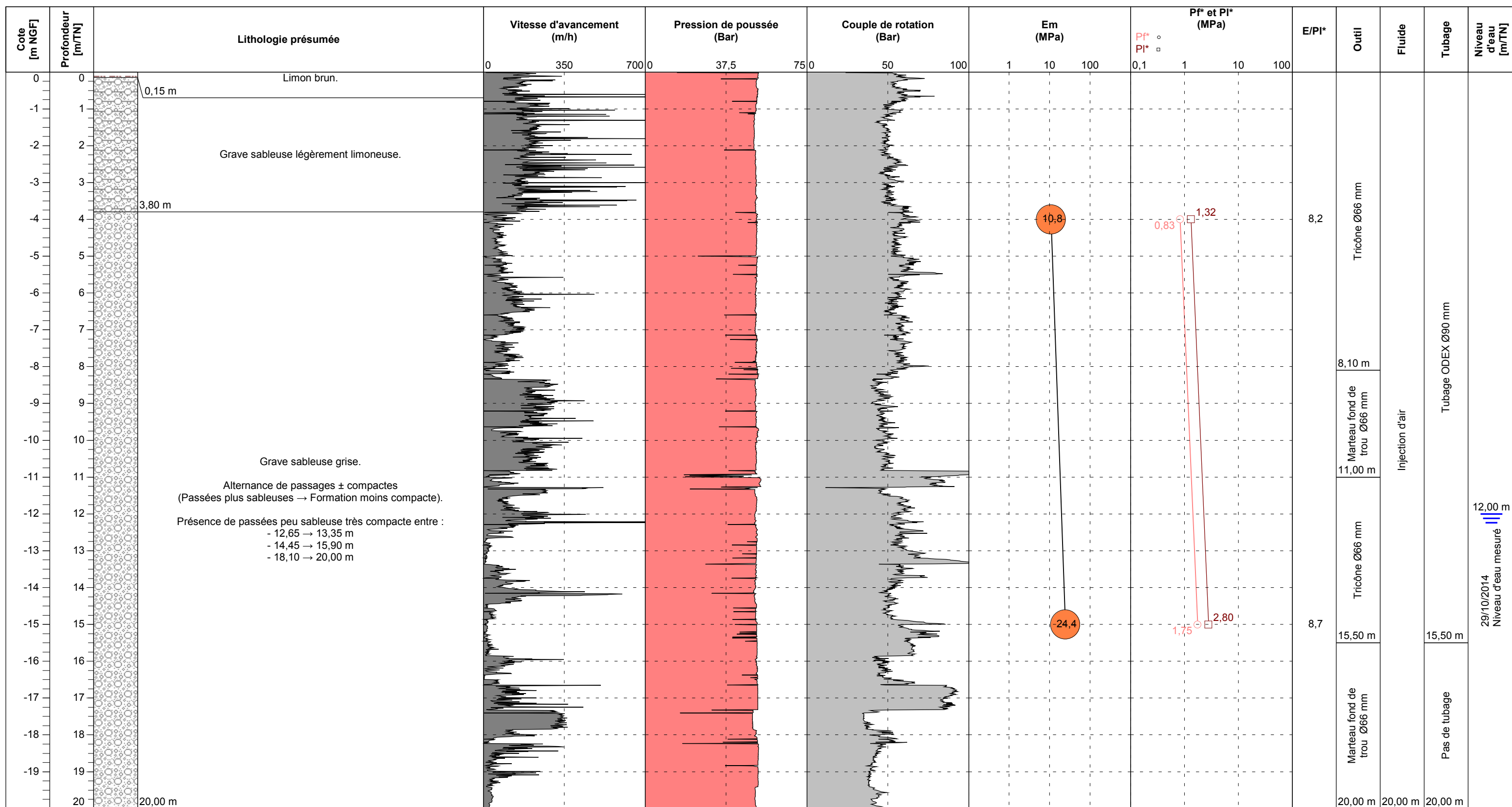
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre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

**Sondage pressiométrique : PR1**





**Sondage pressiométrique : PR2**



29/10/2014  
Niveau d'eau mesuré

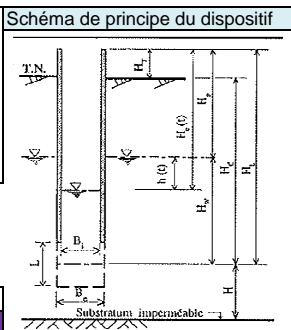
# Mesure de perméabilité Essai NASBERG

**NUM. ETUDE :** 14.3610.A      **DATE :** 27/10/14  
**DESIGNATION :** Investigations - carrière Borghèse      **OPERATEUR:** GME  
**COMMUNE :** CHAMOUSSET (73)      **REFERENCE :** Sondage n° PR1  
**Essai n° 1**

### CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI

Dispositif utilisé:	Injection d'eau
Altimétrie du sondage :	_____ m (NGF)
Hauteur du tubage/T.N. (H <sub>t</sub> ) :	1 m
Profondeur initiale de l'eau (H <sub>e(0)</sub> ):	8.7 m
Niveau statique de la nappe (H <sub>p</sub> ):	13.0 m
Distance à la base de l'aquifère (H)	50 m/ T.N.

Cavité :	bas / T.N. (H <sub>b</sub> ) :	9 m
	haut / T.N. (H <sub>c</sub> ) :	8 m
	Soit Longueur (L)	1 m
	diamètre intérieur tubage (B <sub>i</sub> ) :	0.078 m
	diamètre extérieur tubage (B <sub>e</sub> ) :	0.09 m
	diamètre du forage (B) :	0.09 m
	section du forage (S) :	0.006361538 m <sup>2</sup>
c = L/B	11.1111111	
m <sub>0</sub>	22.5117776	



Réalisation de l'essai:	Par prélèvement :	Par apport d'eau :	Par prélèvement unique d'eau :	Par vidange du forage :
	Q (l/min) = _____	Q (l/min) = 11.0	H <sub>s</sub> (m) = _____	H <sub>L+0.5L</sub> (m) = _____

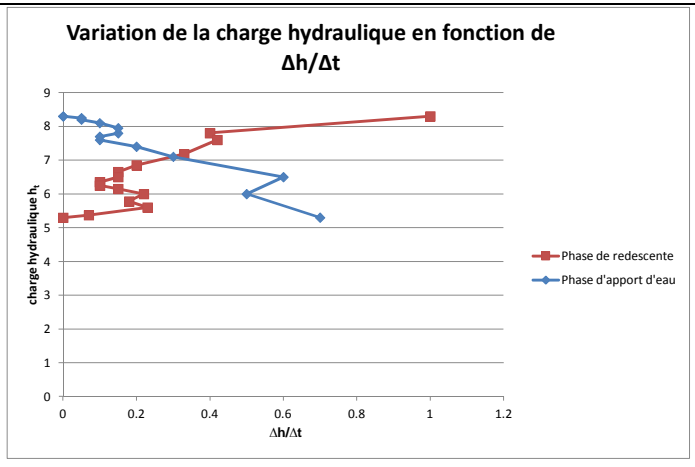
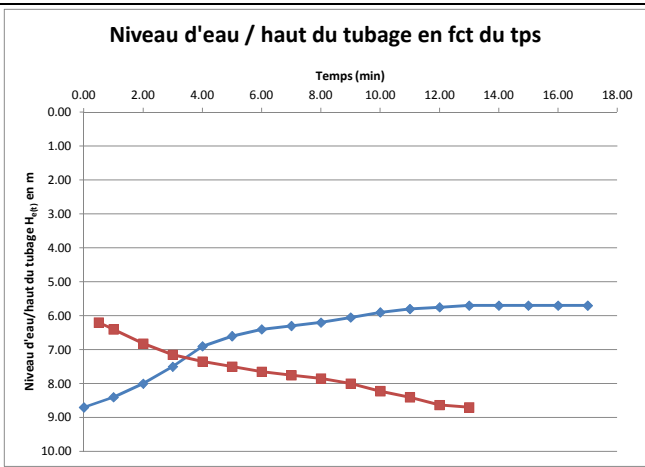
### MESURES EFFECTUÉES

Phase d'apport d'eau	
t (mn)	0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 8.00 9.00 10.00 11 12 13 14 15 16 17
Q <sub>ij</sub> (l/min)	11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0 11.0
H <sub>e(t)</sub>	8.70 8.40 8.00 7.50 6.90 6.60 6.40 6.30 6.20 6.05 5.90 5.80 5.75 5.70 5.70 5.70 5.70
h <sub>t</sub>	5.30 5.60 6.00 6.50 7.10 7.40 7.60 7.70 7.80 7.95 8.10 8.20 8.25 8.30 8.30 8.30 8.30

H<sub>e(t)</sub> correspond à la hauteur entre le haut du tubage et le niveau d'eau à un instant t et h<sub>t</sub> correspond à la différence entre le niveau statique de la nappe et le niveau d'eau dans le forage à un instant aussi appelé charge hydraulique

Phase de descente	
t (mn)	0 0.5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 25 30
Q <sub>ij</sub> (l/min)	- -
H <sub>e(t)</sub>	5.7 6.20 6.40 6.82 7.15 7.35 7.50 7.65 7.75 7.85 8.00 8.22 8.40 8.63 8.70
h <sub>t</sub>	8.3 7.8 7.6 7.18 6.85 6.65 6.5 6.35 6.25 6.15 6 5.78 5.6 5.37 5.3

### GRAPHIQUE ASSOCIÉ



**K<sub>L</sub> = 1.2E-04 m/s**      Essai NASBERG dépouillé en régime non permanent et à la descente

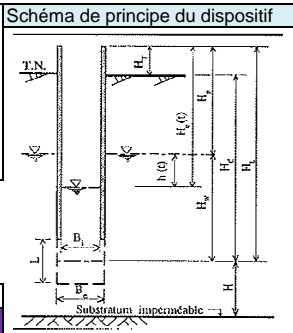
# Mesure de perméabilité Essai NASBERG

**NUM. ETUDE :** 14.3610.A      **DATE :** 29/10/14  
**DESIGNATION :** Investigations - carrière Borghèse      **OPERATEUR:** GME  
**COMMUNE :** CHAMOUSSET (73)      **REFERENCE :** Sondage n° PR2  
**Essai n° 2**

### CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI

Dispositif utilisé:	Injection d'eau
Altimétrie du sondage :	_____ m (NGF)
Hauteur du tubage/T.N. ( $H_t$ ):	1 m
Profondeur initiale de l'eau ( $H_{e(0)}$ ):	10 m
Niveau statique de la nappe ( $H_p$ ):	13.0 m
Distance à la base de l'aquifère ( $H$ ):	50 m/ T.N.

<b>Cavité :</b>	bas / T.N. ( $H_b$ ):	11 m
	haut / T.N. ( $H_c$ ):	10 m
	Soit Longueur ( $L$ ):	1 m
	diamètre intérieur tubage ( $B_i$ ):	0.078 m
	diamètre extérieur tubage ( $B_e$ ):	0.09 m
	diamètre du forage ( $B$ ):	0.09 m
	section du forage ( $S$ ):	0.006361538 m <sup>2</sup>
$c = L/B$	11.1111111	
$m_0$	22.5117776	



Réalisation de l'essai:	Par prélèvement :	Par apport d'eau :	Par prélèvement unique d'eau :	Par vidange du forage :
	Q (l/min) = _____	Q (l/min) = 12.0	$H_s$ (m) = _____	$H_L+0.5L$ (m) = _____

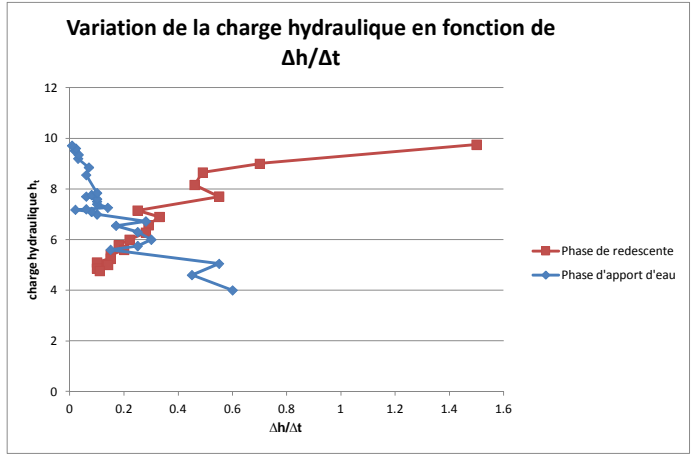
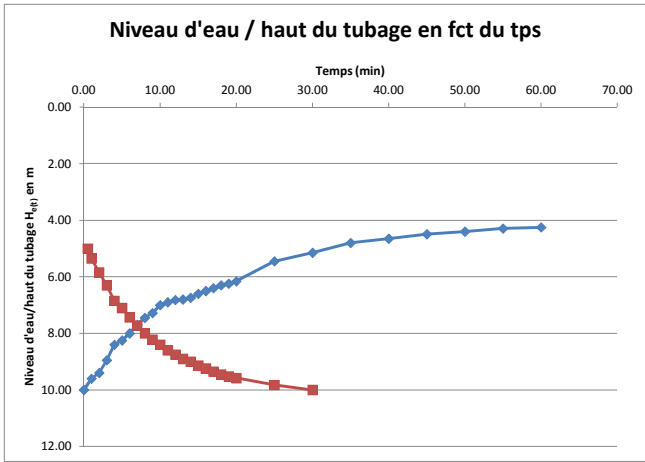
### MESURES EFFECTUÉES

Phase d'apport d'eau	
t (mn)	0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 8.00 9.00 10.00 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 25 30 35 40 45 50 55 60
$Q_{(t)}$ (l/min)	12.0 12.0
$H_{e(t)}$	10.00 9.60 9.40 8.95 8.40 8.25 8.00 7.70 7.45 7.28 7.00 6.90 6.82 6.80 6.74 6.60 6.50 6.40 6.30 6.24 6.16 5.45 5.15 4.80 4.65 4.49 4.40 4.29 4.25
$h_t$	4.00 4.40 4.60 5.05 5.60 5.75 6.00 6.30 6.55 6.72 7.00 7.10 7.18 7.20 7.26 7.40 7.50 7.60

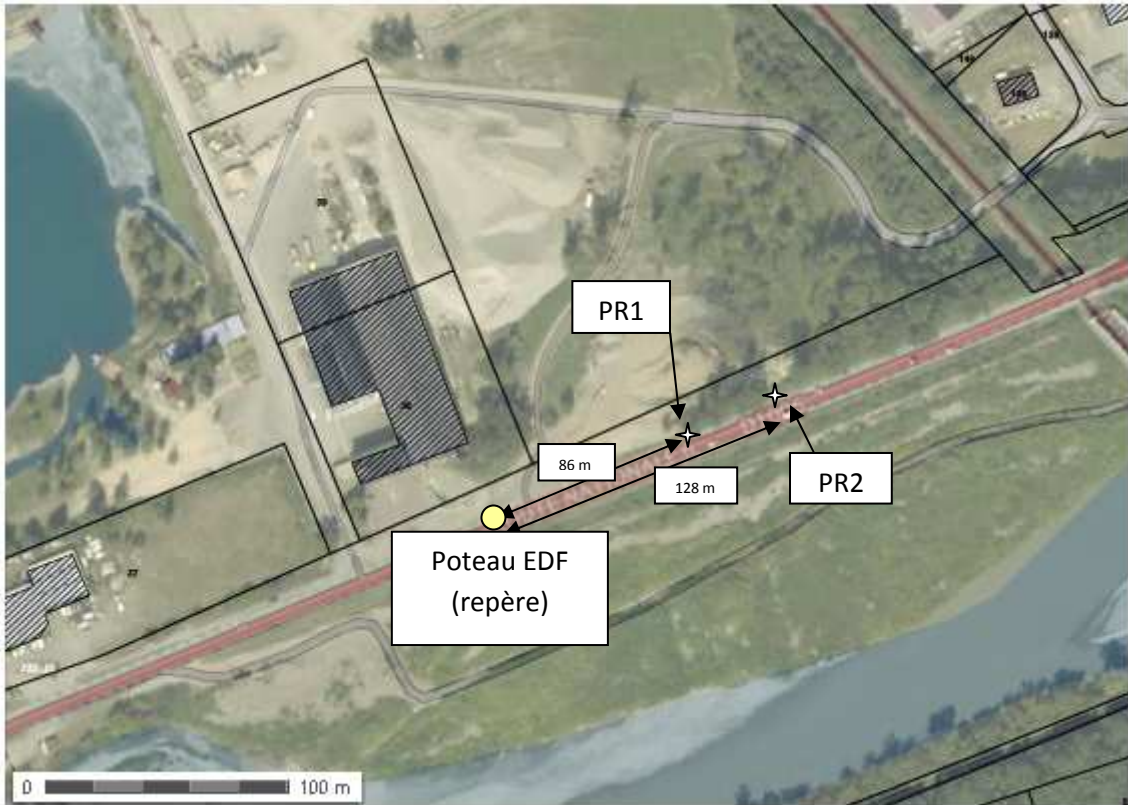
$H_{e(t)}$  correspond à la hauteur entre le haut du tubage et le niveau d'eau à un instant t et  $h_t$  correspond à la différence entre le niveau statique de la nappe et le niveau d'eau dans le forage à un instant aussi appelé charge hydraulique

Phase de redescente	
t (mn)	0 0.5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 25 30
$Q_{(t)}$ (l/min)	- -
$H_{e(t)}$	4.25 5.00 5.35 5.84 6.30 6.85 7.10 7.43 7.72 8.00 8.22 8.40 8.60 8.75 8.90 9.00 9.14 9.24 9.35 9.45 9.52 9.58 9.82 10
$h_t$	9.8 9 8.65 8.16 7.7 7.15 6.9 6.57 6.28 6 5.78 5.6 5.4 5.25 5.1 5 4.86 4.76 4.65 4.55 4.48 4.42 4.18 4

### GRAPHIQUE ASSOCIÉ



$K_L = 7.7E-05 \text{ m/s}$       Essai NASBERG dépouillé en régime non permanent



**PLAN D'IMPLANTATION DES FORAGES PRESSIOMETRIQUES**





# ANNEXE 2

## RÉSULTATS GRAPHIQUES

### – DIGUE ROUTIÈRE

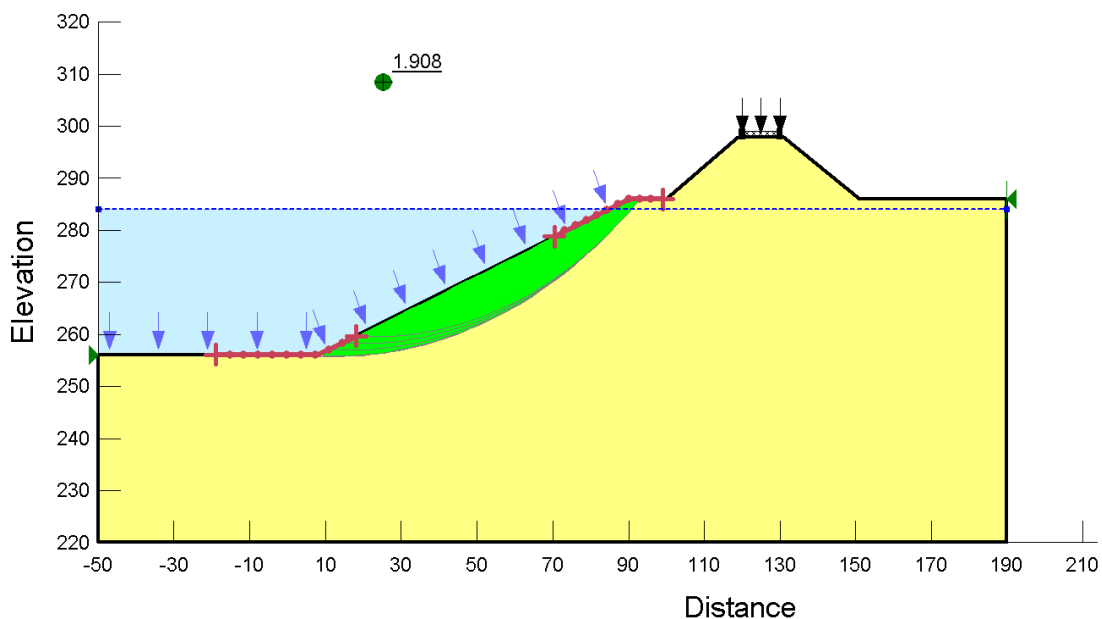




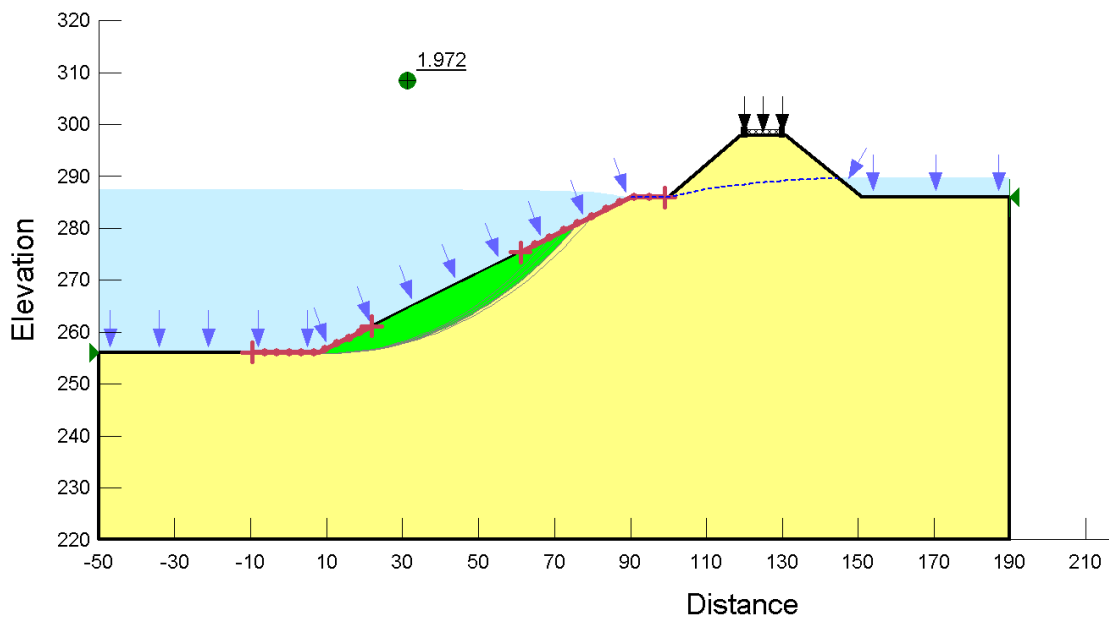


■ **CAS : H = 30 m – b=10 m –  $\beta = 20^\circ$**

- Situation normale :



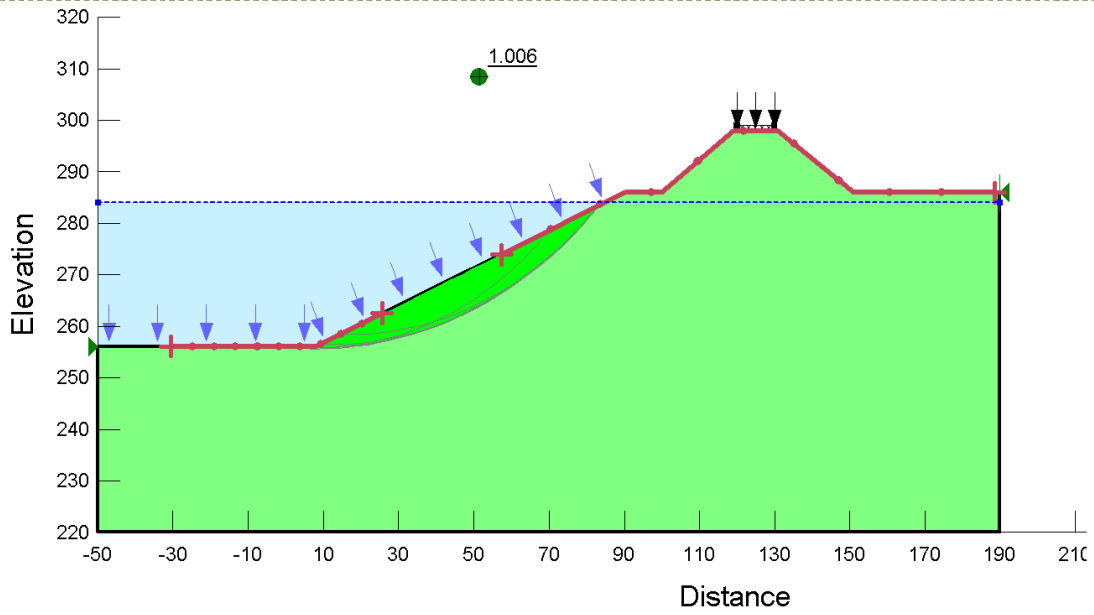
- Situation de crue :



- Situation accidentelle : Séisme

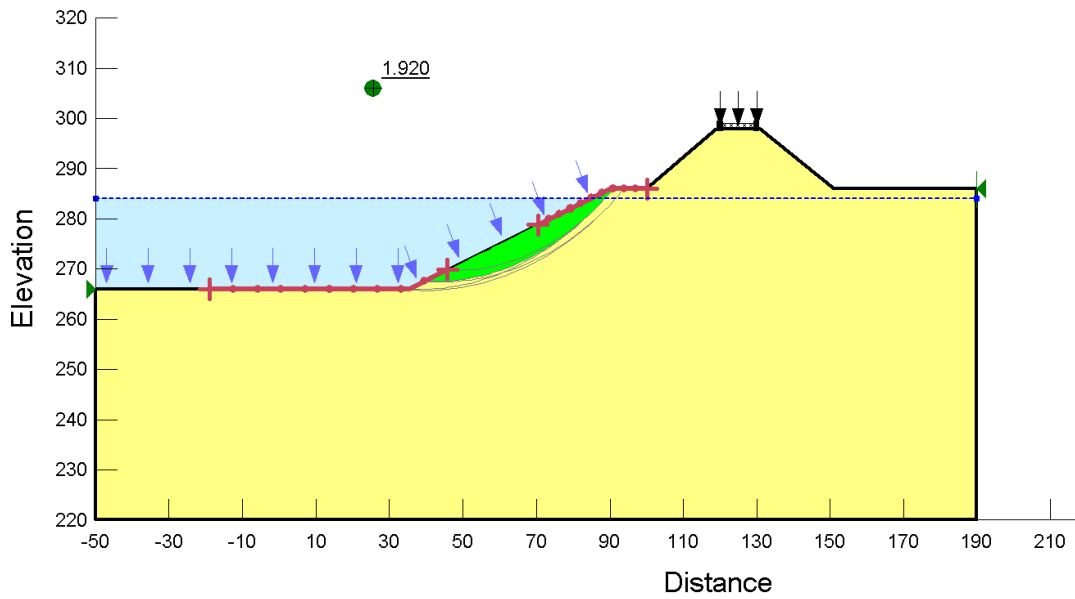






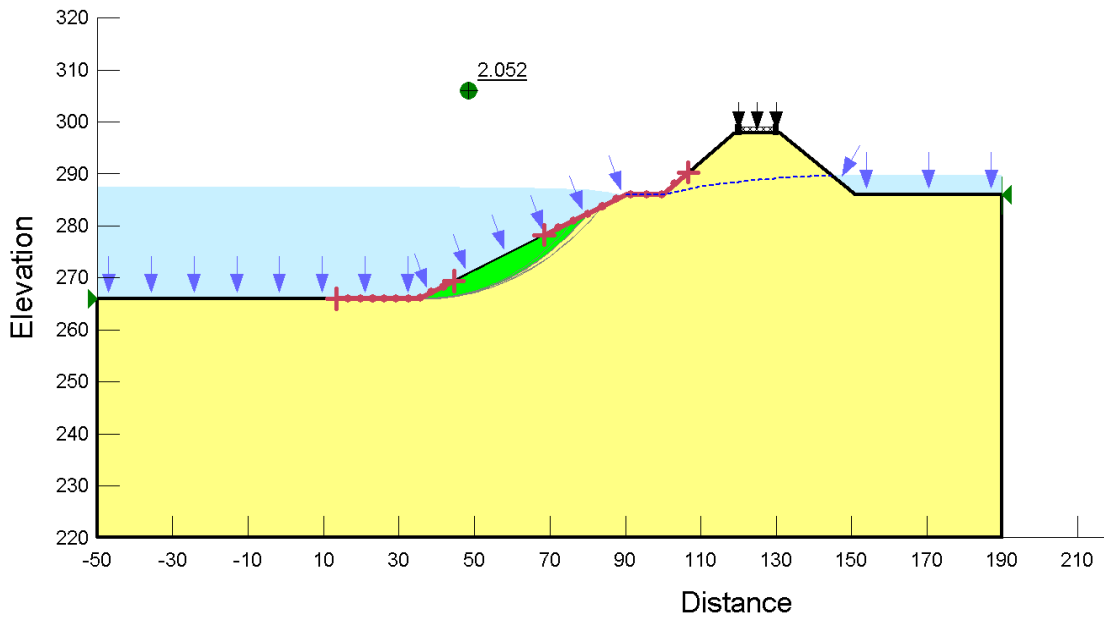
■ **CAS :  $H=20\text{ m} - b = 10\text{ m} - \beta = 20^\circ$**

- Situation normale :

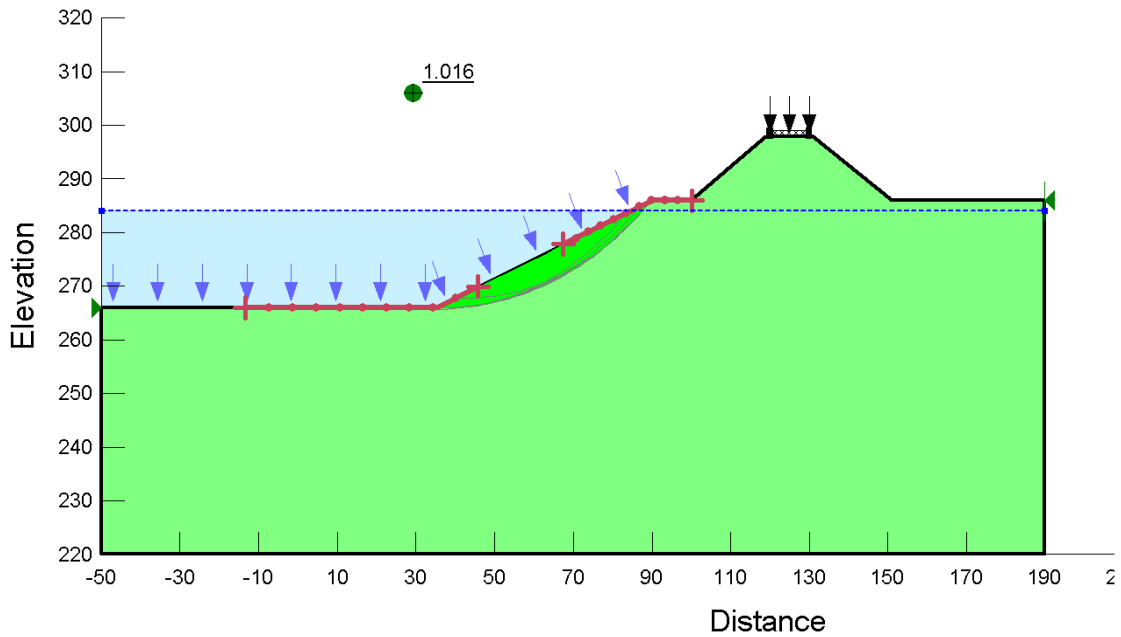


- Situation de crue :





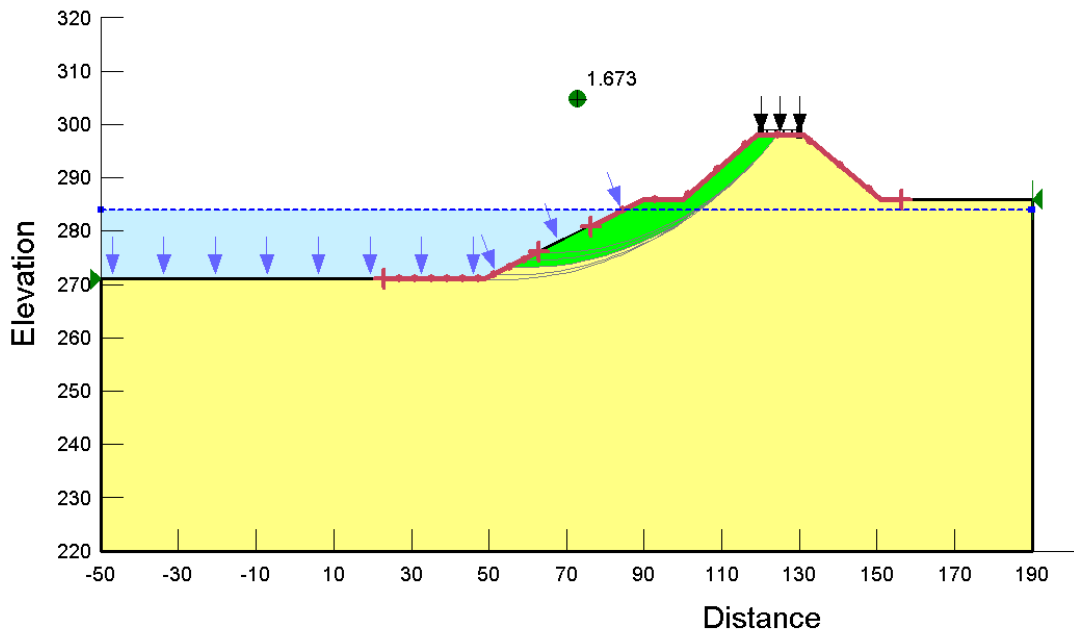
● Situation accidentelle séisme :



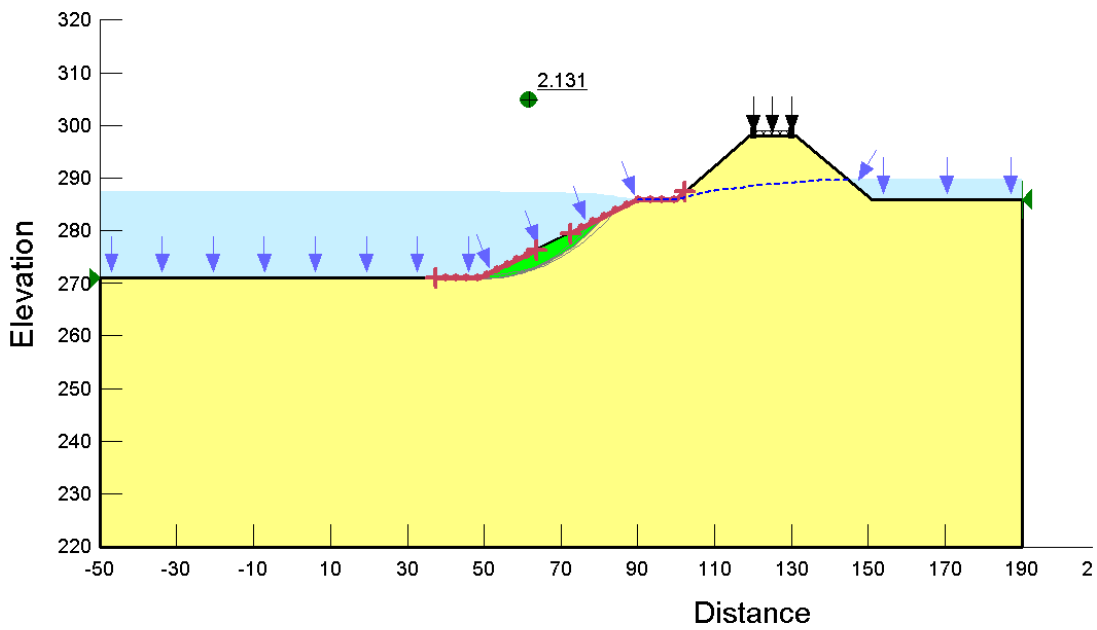
■ **CAS : H=15 m - b = 10 m -  $\beta = 20^\circ$**

● Situation normale



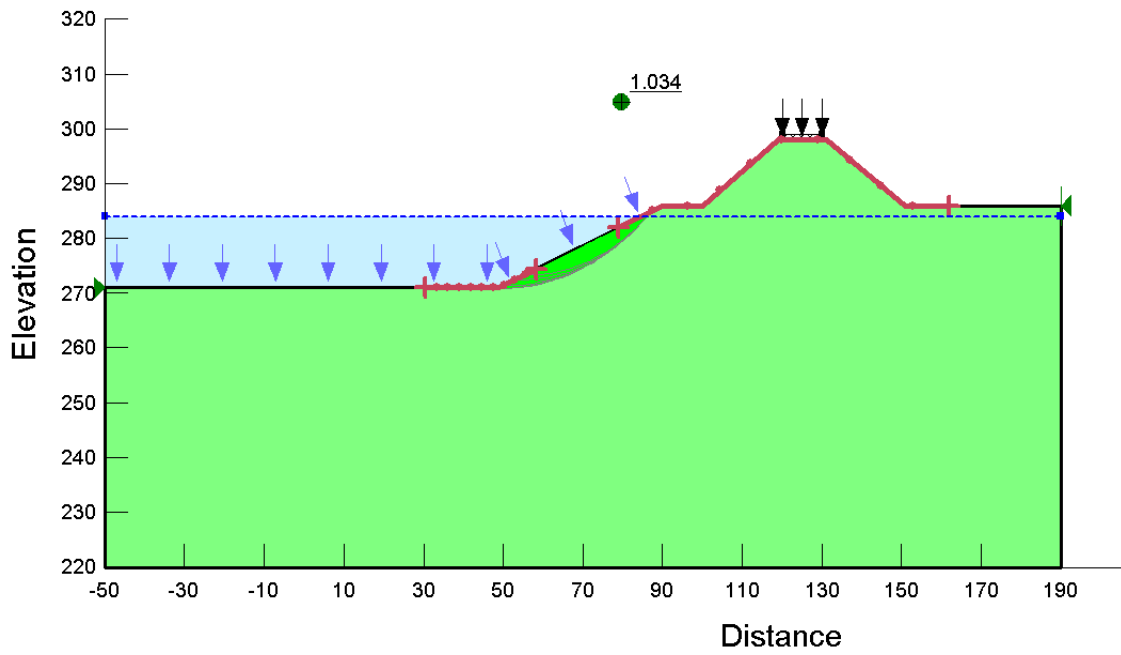


- Situation de crue



- Situation accidentelle : séisme









# ANNEXE 3

## RÉSULTATS GRAPHIQUES

### – REMBLAI FERROVIAIRE

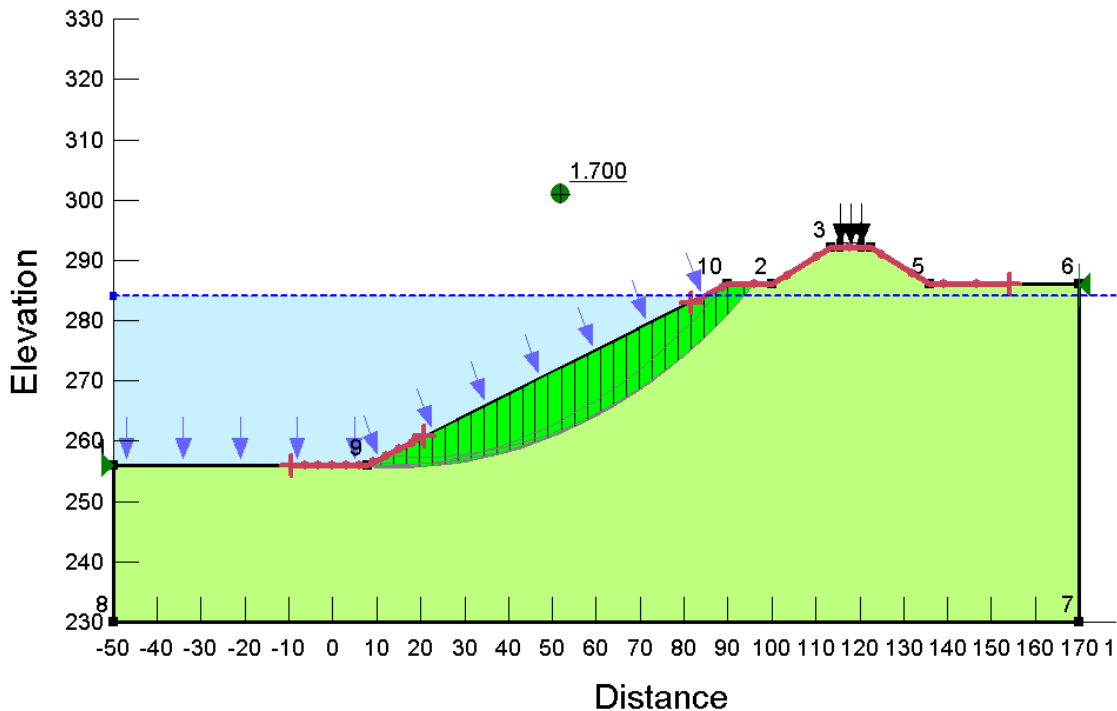




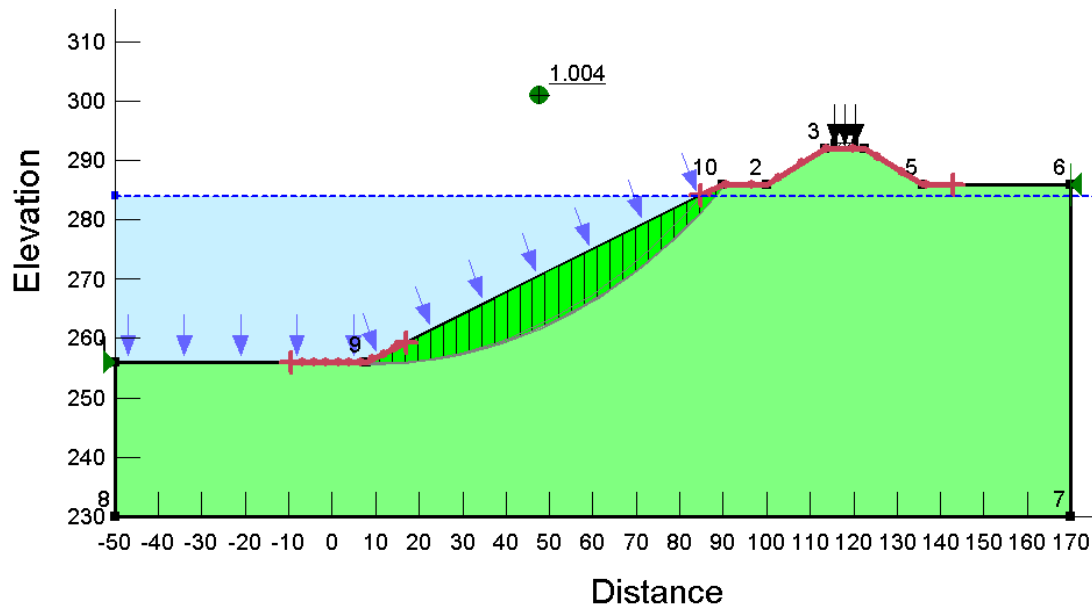


## ■ CAS : H = 30 m – b=10 m – $\beta = 20^\circ$

- Situation normale



- Situation accidentelle : Séisme

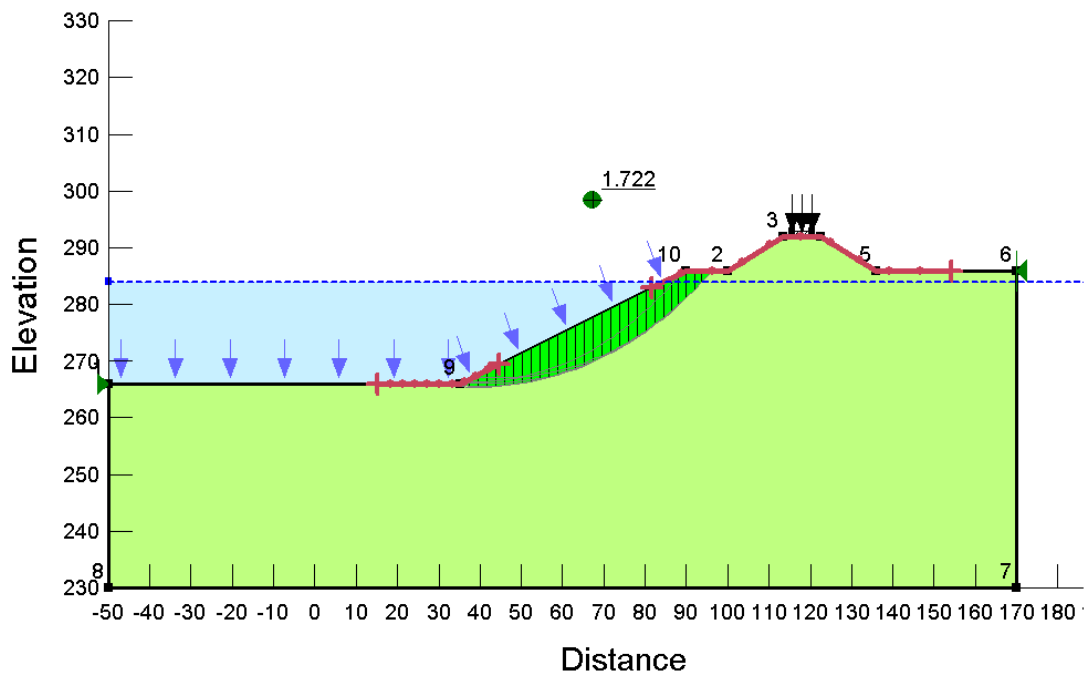


## ■ CAS : H=20 m – b = 10 m – $\beta = 20^\circ$

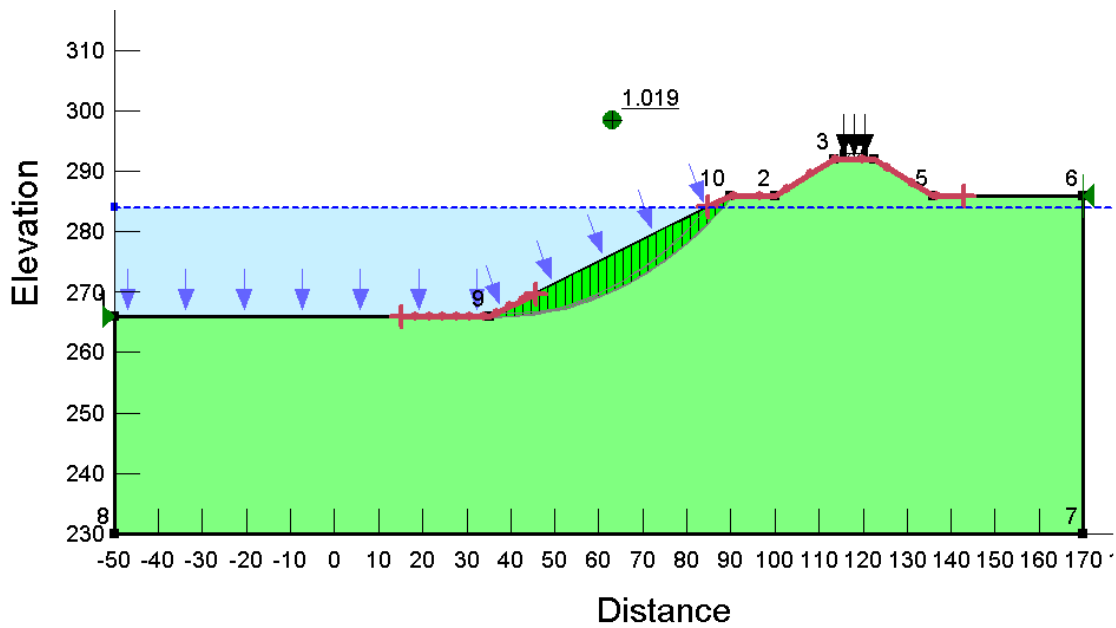
- Situation normale







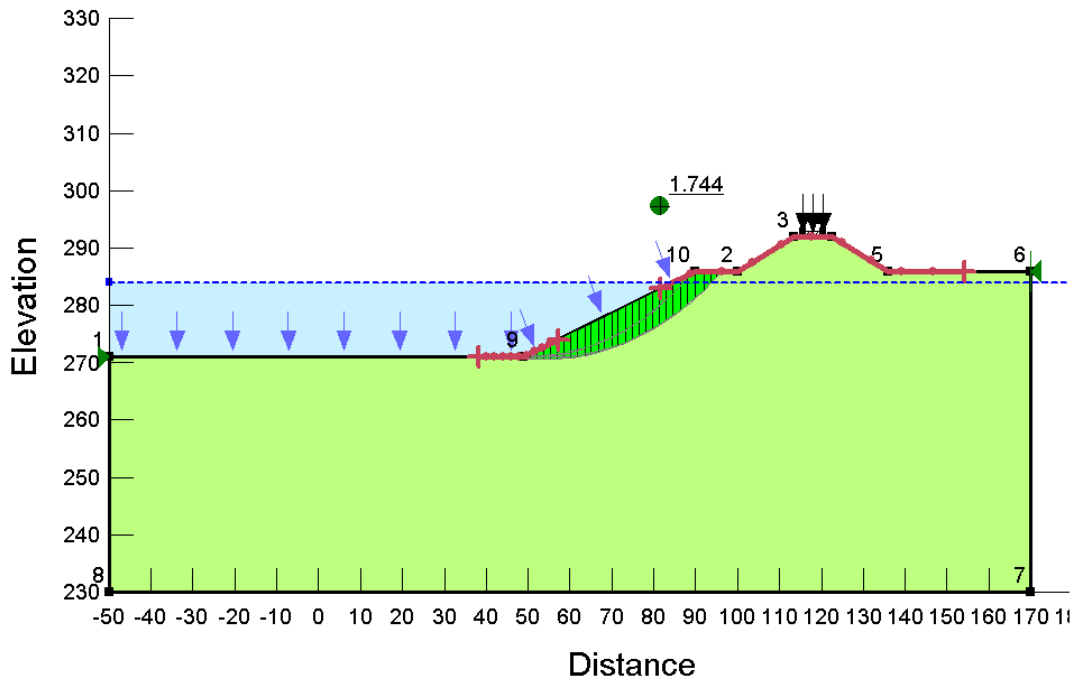
● Situation accidentelle séisme



■ **CAS : H=15 m - b = 10 m -  $\beta = 20^\circ$**

● Situation normale





● Situation accidentelle : séisme

