

# Carrière de Lepuix-Gy

*Mise à jour de l'étude de stabilité de l'extension selon le scénario d'exploitation d'octobre 2014*

*(Additif au rapport A75231/A d'avril 2014)*

*Novembre 2014*

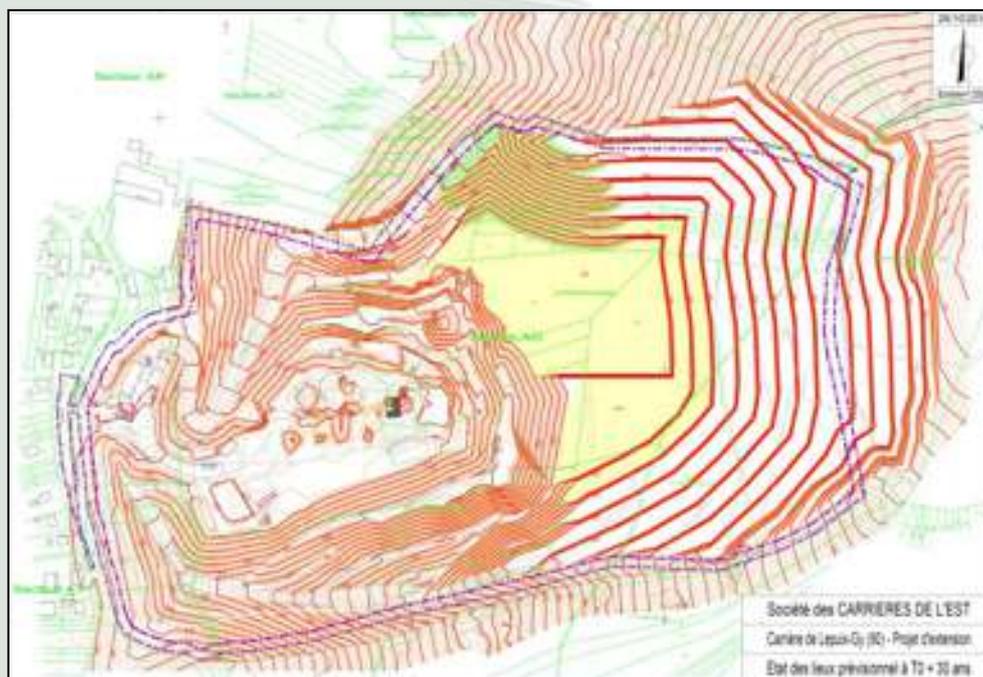
*A77588/A*

**Société des Carrières de l'Est**

20, route de Belfort

90200 Lepuix-Gy

03 84 46 60 10



Agence *NORD-EST* - Implantation Lorraine

18 Allée de la Forêt de la Reine – 54600 VILLERS-LES-NANCY

Tél. :03.83.44.81.44

## Sommaire

	<b>Pages</b>
<b>1. Introduction et objectifs.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Présentation du projet d'exploitation.....</b>	<b>4</b>
2.1. Principes géométriques généraux du projet d'octobre 2014.....	4
2.2. Phasage du projet d'octobre 2014.....	4
<b>3. Conformité du projet vis-à-vis des recommandations .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Conclusion et recommandations .....</b>	<b>7</b>

### Liste des annexes

Annexe 1 : Phasage d'exploitation de 2009 correspondant à l'arrêté préfectoral en vigueur (arrêté n°2010048-02 du 17 février 2010)

Annexe 2 : Phasage d'exploitation - Projet de mars 2014

Annexe 3 : Phasage d'exploitation - Projet d'octobre 2014

## **1. Introduction et objectifs**

Antea Group a réalisé en avril 2014, pour le compte de la société des carrières de l'Est (SCE), une étude de vérification de la stabilité générale du projet d'extension de la carrière de Lepuix-Gy datée de mars 2014 (rapport A75231/A).

Suite aux modifications du projet d'exploitation en date d'octobre 2014, le présent rapport a pour objectif de vérifier :

- que la stabilité reste assurée à l'échelle des gradins comme à grande échelle,
- que le projet reste conforme aux recommandations émises par Antea Group et GIPEA en 2011 (ces recommandations sont développées dans le rapport A75231/A).

Le présent rapport est donc indissociable du rapport A75231/A qu'il complète.

## 2. Présentation du projet d'exploitation

Le projet d'exploitation d'octobre 2014 présente de grandes similitudes avec les projets antérieurs dont la stabilité avait déjà été vérifiée. C'est pourquoi il est apparu utile de faire référence à ces différents projets qui sont à nouveau présentés en annexes du présent rapport :

- **Annexe 1** : Projet d'exploitation correspondant à l'Arrêté préfectoral d'autorisation en vigueur (vérifié dans le cadre du rapport Antea Group A55102/A de juillet 2009 « Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension de la carrière - Etude de stabilité des fronts Nord et Est ») ;
- **Annexe 2** : projet d'exploitation de mars 2014 (vérifié dans le cadre du rapport Antea Group A75231/A) ;
- **Annexe 3** : « Nouveau » projet d'exploitation d'octobre 2014.

### 2.1. Principes géométriques généraux du projet d'octobre 2014

Les principes géométriques généraux du « nouveau » projet d'exploitation d'octobre 2014 sont identiques à ceux du projet de mars 2014. Ces principes sont rappelés succinctement ci-dessous :

- Les formations superficielles (arènes et rhyodacites altérées à très altérées) seront talutées avec des pentes de l'ordre de 50° sur le front est et des pentes inférieures ou égales à 62° sur les fronts nord, nord-est et sud-est ;
- L'exploitation du gisement sain sera réalisée en gradins séparés par des banquettes :
  - les gradins présenteront une hauteur de 15 m ;
  - les banquettes présenteront une largeur de 15 m (10 m sur le front Nord-Ouest) ;
  - La pente des gradins sera d'environ 75-78° ;
  - La pente générale de l'exploitation (pente enveloppe) sera de 37° ;
  - Deux banquettes sont élargies sur le front Est à la cote 680 (30 m de largeur) et à la cote 605 (20 m de largeur) ;
- Le projet entrainera un recul de la partie supérieure du front est. A T0+30 ans, ce recul sera d'environ 150 m par rapport à sa position actuelle, dégageant ainsi un vaste carreau intermédiaire à la cote 560.

### 2.2. Phasage du projet d'octobre 2014

Le projet d'exploitation d'octobre 2014 diffère légèrement du projet de mars 2014 qui prévoyait une exploitation par larges gradins s'étendant du nord au sud et qui comprenait donc des durées importantes de décapage et d'extraction de matériaux altérés.

Afin d'accéder plus rapidement au matériau bleu de meilleure qualité, le « nouveau » projet comporte un approfondissement rapide du secteur nord entre T0 et T0+5 ans avant de basculer sur le côté sud.

Phase T0 à T0+5 ans : cette première phase d'approfondissement jusqu'à la cote 575 m NGF sera entièrement incluse dans le périmètre du projet de 2009 (AP en vigueur), modifié ponctuellement par un recul de 60 m de la limite sud. **La position et la géométrie des fronts de taille créés pendant cette première phase sont donc identiques à celles qui ont été vérifiées** dans le rapport Antea A55102/A de juillet 2009 et autorisées par l'arrêté préfectoral de 2010.

Cette phase inclut également l'arasement de l'éperon situé au nord-ouest de l'exploitation **dans les mêmes conditions et selon la même géométrie que celles prévues et vérifiées** pour le projet de mars 2014.

Au cours de cette première phase, il est prévu la mise en remblai provisoire de matériaux de découverte en partie haute du front est. Ce remblai sera créé à une distance suffisante du front pour ne pas influencer sa stabilité.

Phase T0+10 à T0+20 ans : cette seconde phase fait apparaître, dans le front Est, de larges fronts d'orientation Nord-Sud entre les cotes 770 et 635 NGF. **La position et la géométrie des fronts de taille créés au cours de cette phase sont identiques à celles qui avaient été prévues et vérifiées** jusqu'à la phase T0+15 ans dans le projet de mars 2014.

Phase T0+25 à T0+30 ans : cette dernière phase correspond à la poursuite de l'approfondissement de l'exploitation jusqu'à la cote 560. **La position et la géométrie des fronts de taille créés au cours de cette phase sont identiques à celles qui avaient été prévues et vérifiées** dans le projet de mars 2014 et aboutit à la même fosse ultime.

Remblaiement des gradins créés dans les pélites : Les gradins aménagés dans les pélites (secteur Nord-Ouest) seront remblayés par des matériaux de scalpage **selon la même géométrie et dans les mêmes conditions que ce qui avait été prévu dans le projet de mars 2014 et dont la stabilité avait été vérifiée**.

### 3. Conformité du projet vis-à-vis des recommandations

De même que le projet d'exploitation de mars 2014, le « nouveau » projet d'octobre 2014 présente des caractéristiques, favorables à sa stabilité, qui sont conformes aux recommandations émises dans le rapport Antea Group A63300/A, mais également aux propositions émises dans le rapport Gipéa de février 2011.

On retiendra notamment :

- **Une exploitation du haut vers le bas.** Ce mode d'exploitation permet un déchargement rapide de la tête de front favorable à la stabilité ;
- **Un phasage intermédiaire qui respecte directement la géométrie finale de la fosse ultime** (création de grands gradins d'orientation Nord-Sud, sans autres orientations intermédiaires). Cette exploitation en **fronts de grande extension** favorise en outre le drainage naturel du massif, ce qui évite le développement de pressions interstitielles néfastes à la stabilité ;
- **Le recul de l'exploitation vers l'intérieur du massif** (recul de 150 m de la partie supérieure du front Est par rapport au front actuel). Ce recul permet de s'éloigner de la zone de décompression des terrains où la fracturation est la plus dense. A ce titre, on rappelle que les diagraphies montraient une diminution de la densité des fractures vers -20 à -30 m de profondeur. Cet éloignement des zones à fortes fracturation permet de réduire le risque d'éboulement en série (dièdres en série) ;
- **Une exploitation en gradins 15 m x 15 m.** Le front Est était jusqu'alors exploité d'un seul tenant le long des plans glissoirs à pendage Ouest. Une exploitation en gradin de la partie supérieure de ce front permettra de réduire la pente générale de l'exploitation et donc de réduire le volume des blocs potentiellement instables. Le facteur de stabilité globale du front Est se retrouvera ainsi augmenté (cf. calculs ci-après). Seul le secteur Nord-Ouest de l'exploitation (secteur d'arasement de l'éperon du Mont Jean) présente une géométrie adaptée du fait de la présence des pélites (voir détails au paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La géométrie générale (15 m x 15 m) est conforme aux recommandations d'Antea Group et à l'Arrêté Préfectoral en vigueur. Les calculs de stabilité exposés ci-après permettent d'évaluer les facteurs de stabilité propres à chaque direction d'exploitation.
- **Un talutage des formations superficielles entre 50 et 62°**, en conformité avec les recommandations émises en 2011.

## **4. Conclusion et recommandations**

Le projet d'exploitation d'octobre 2014 présente de grandes similitudes avec les projets antérieurs dont la stabilité avait déjà été vérifiée, et particulièrement avec le projet de mars 2014 :

- Les principes géométriques généraux restent identiques au projet de mars 2014. Le projet respecte notamment les recommandations émises en 2011 par Antea Group et par GIPEA ;
- La géométrie des fronts qui seront créés pendant les cinq premières années est presque identique à celle des fronts prévus par le projet de 2009, dont la stabilité avait déjà été vérifiée par Antea Group (rapport A55102/A) et qui avait été autorisé par l'arrêté préfectoral de 2010 ;
- La géométrie des fronts qui seront créés entre T0+5ans et jusqu'à la fosse ultime à T0+30 ans est presque identique à celle des fronts prévus par le projet de mars 2014 dont la stabilité avait été vérifiée par Antea Group (rapport A75231/A).

Par conséquent, les conclusions et recommandations du rapport A75231/A (relatif à la stabilité du projet d'exploitation de mars 2014) restent valables pour le nouveau projet d'exploitation d'octobre 2014.

Comme le projet précédent, ce nouveau projet d'octobre 2014 constitue une amélioration de la stabilité à grande échelle de l'exploitation par rapport à la situation actuelle, notamment du fait de l'exploitation en gradin du front Est plus favorable que l'exploitation en miroir suivant les fractures de pendage Ouest et en raison de l'arasement de l'éperon situé au nord-ouest de l'exploitation.

### **Observations sur l'utilisation du rapport**

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe 1 : Phasage d'exploitation de 2009 correspondant à l'arrêté préfectoral en vigueur  
(arrêté n°2010048-02 du 17 février 2010)

(3 plans A3)



# Carrière de Lepuix-Gy

Plan d'exploitation - Fin de phase 1= T0 + 5 ans

Echelle = 1/2500

316 250

316 250

316 000

316 000

315 750

315 750

936 000

936 250

936 500

936 750

936 000

936 250

936 500

936 750



20/04/2009



Echelle=1/2500



# Carrière de Lepuix-Gy

Plan d'exploitation - Fin de phase 2 = T0 + 10 ans

Echelle = 1/2500



20/04/2009



Echelle=1/2500



# Carrière de Lepuix-Gy

Plan d'exploitation - Fin de phase 3 = T0 + 13 ans

Echelle = 1/2500

316 250

316 250

316 000

316 000

315 750

315 750

936 000

936 250

936 500

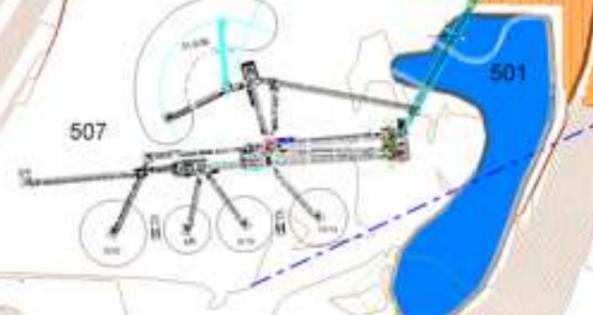
936 750

936 000

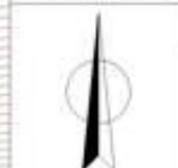
936 250

936 500

936 750



20/04/2009

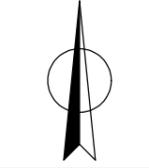


Echelle=1/2500

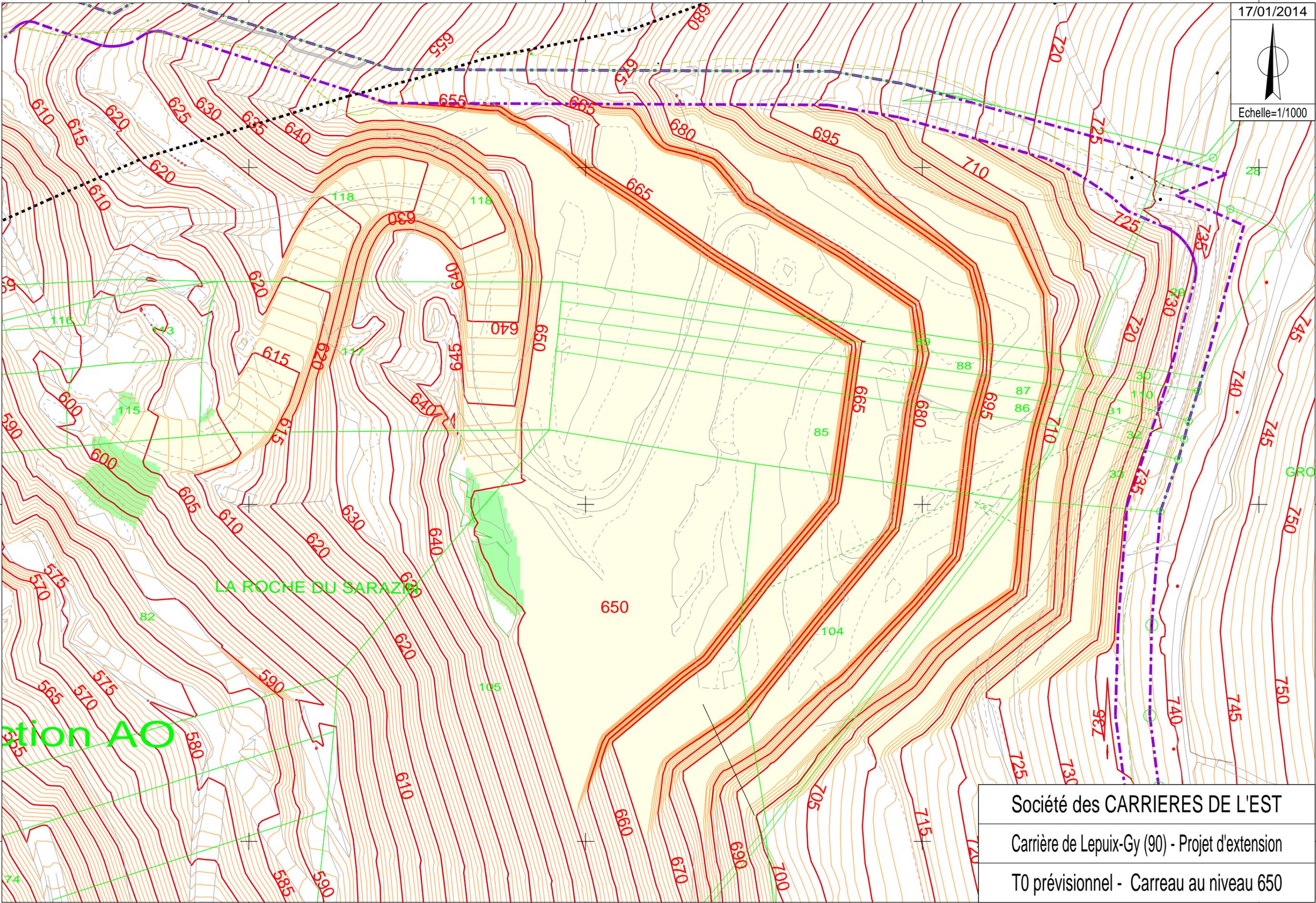
Annexe 2 : Phasage d'exploitation - Projet de mars 2014

(7 plans A3)

17/01/2014



Echelle=1/1000



ation AO

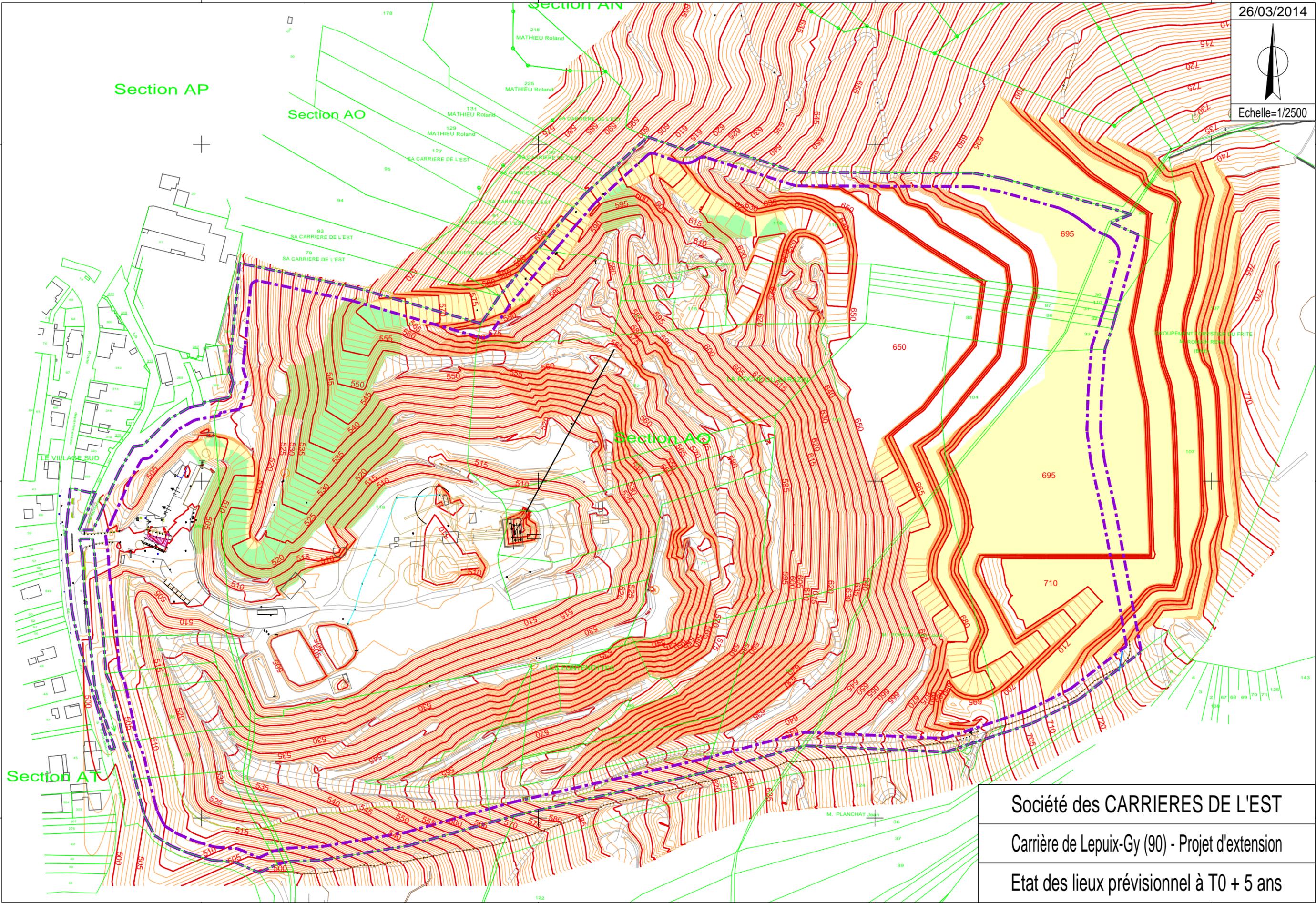
LA ROCHE DU SARAZIN

Société des CARRIERES DE L'EST
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension
T0 prévisionnel - Carreau au niveau 650

26/03/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST

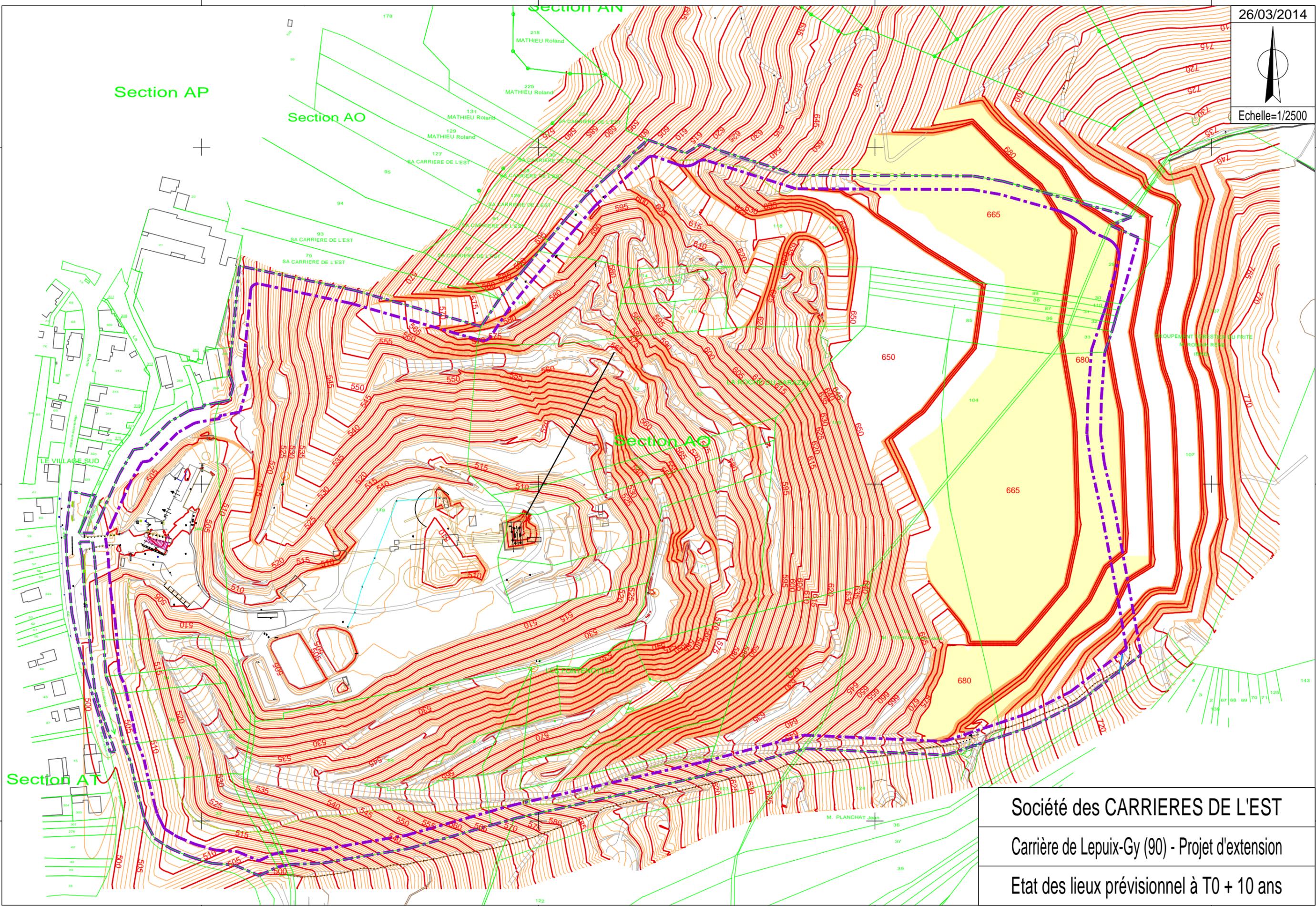
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 5 ans

26/03/2014



Echelle=1/2500

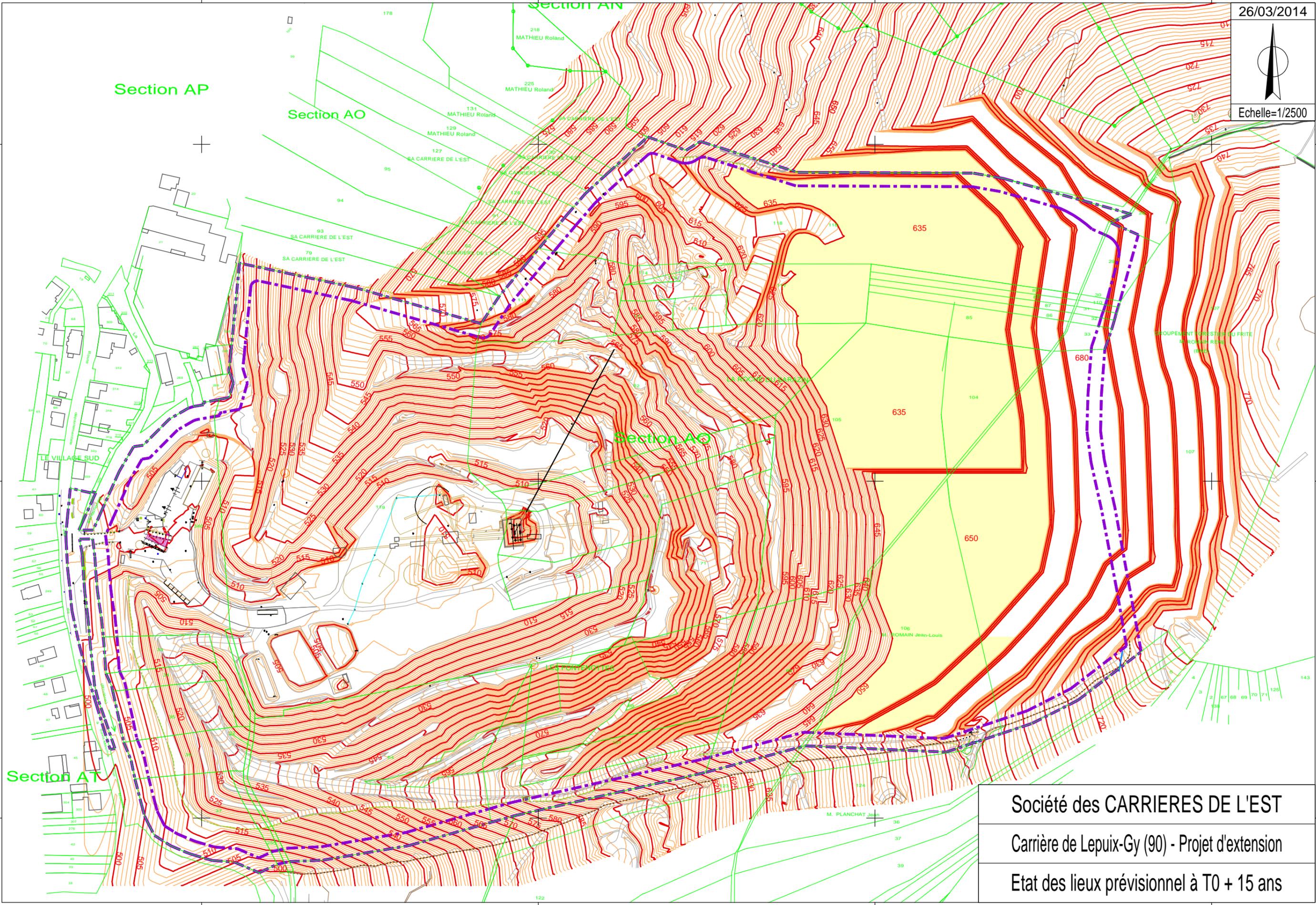


Société des CARRIERES DE L'EST  
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
Etat des lieux prévisionnel à T0 + 10 ans

26/03/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST

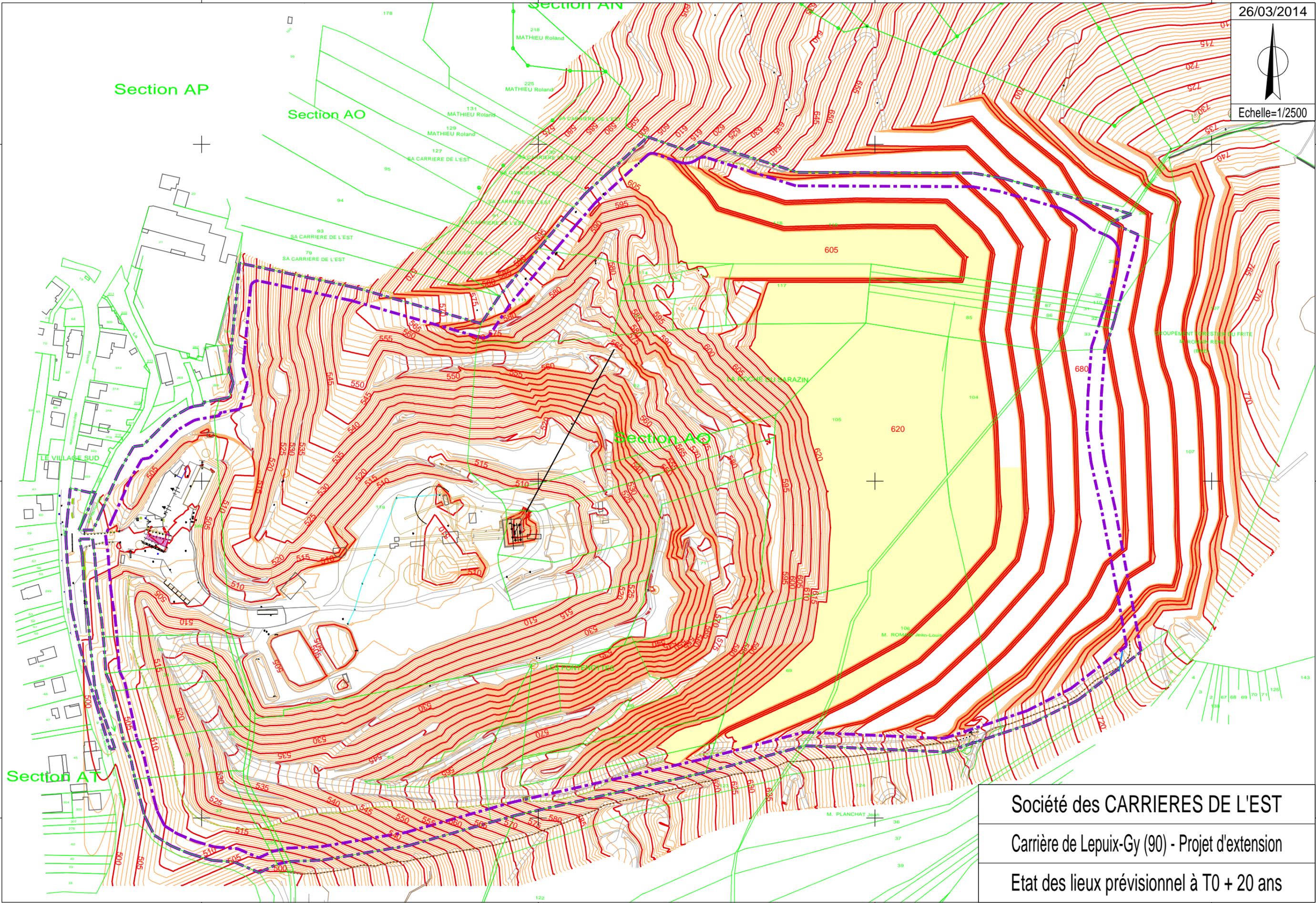
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 15 ans

26/03/2014



Echelle=1/2500

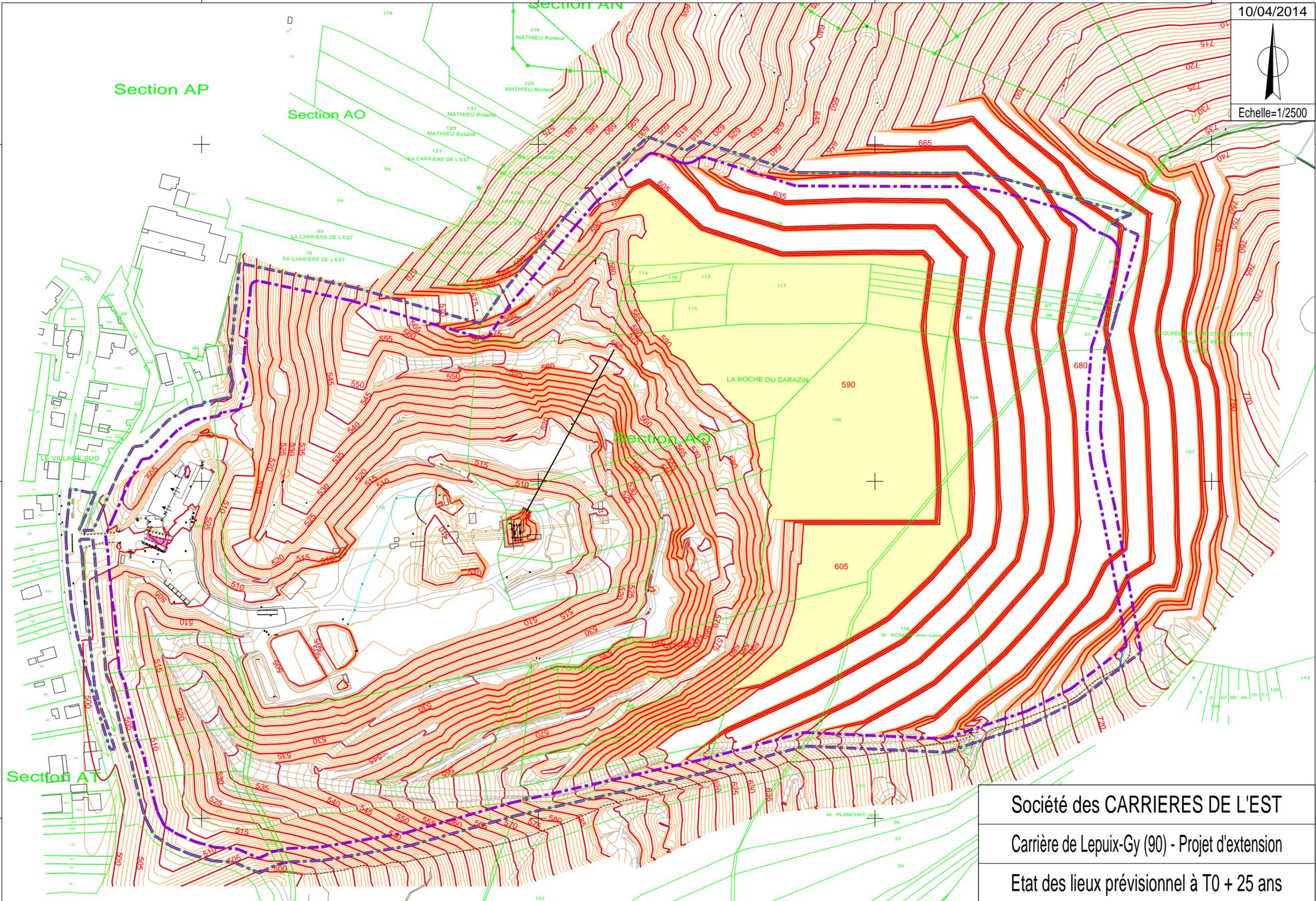


Société des CARRIERES DE L'EST  
 Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
 Etat des lieux prévisionnel à T0 + 20 ans

10/04/2014



Echelle=1/2500



Section AP

Section AO

Section AO

Section AT

Société des CARRIERES DE L'EST

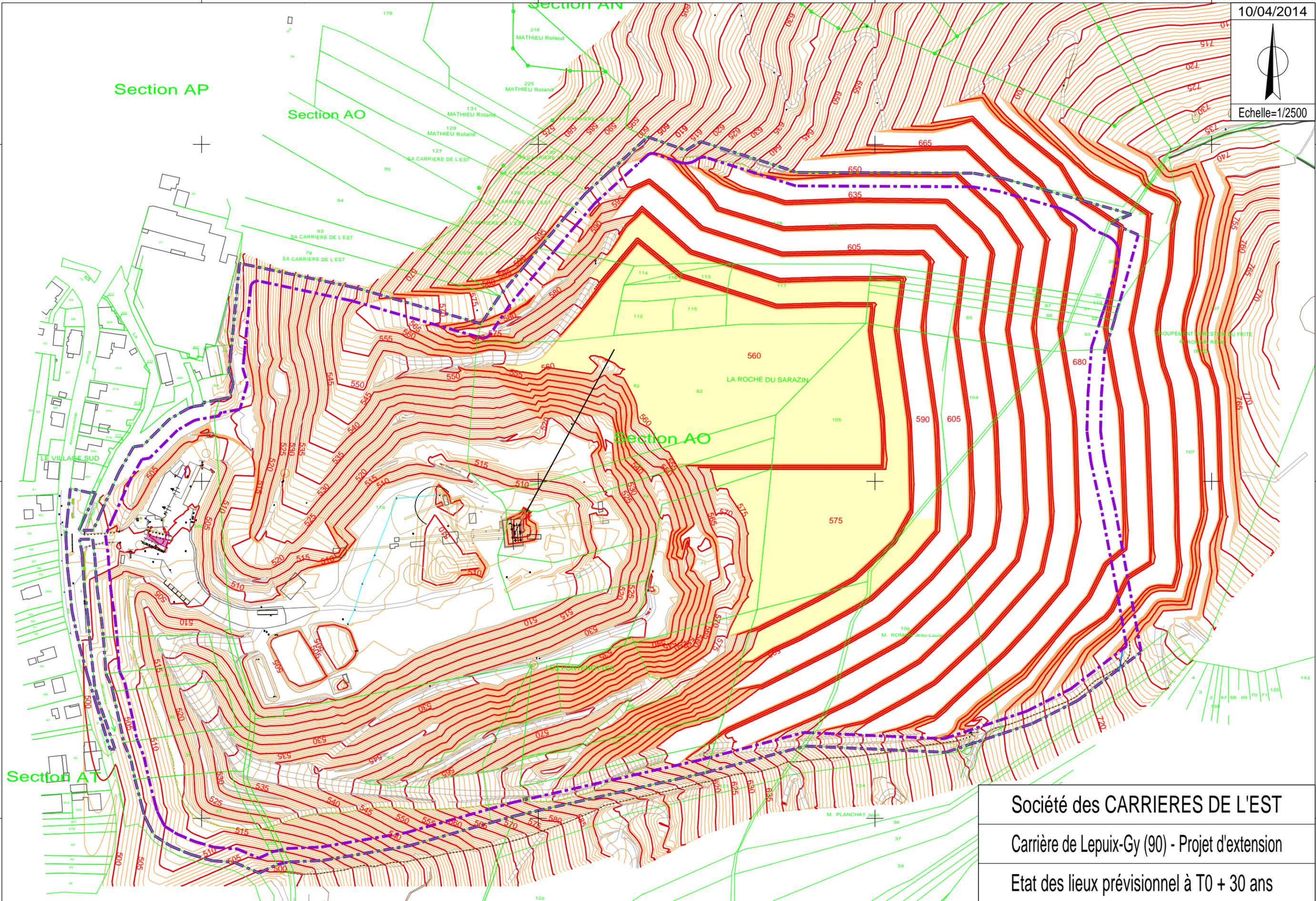
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 25 ans

10/04/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST

Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 30 ans

Annexe 3 : Phasage d'exploitation - Projet d'octobre 2014

(8 plans A3)

23/10/2014



Echelle=1/2500

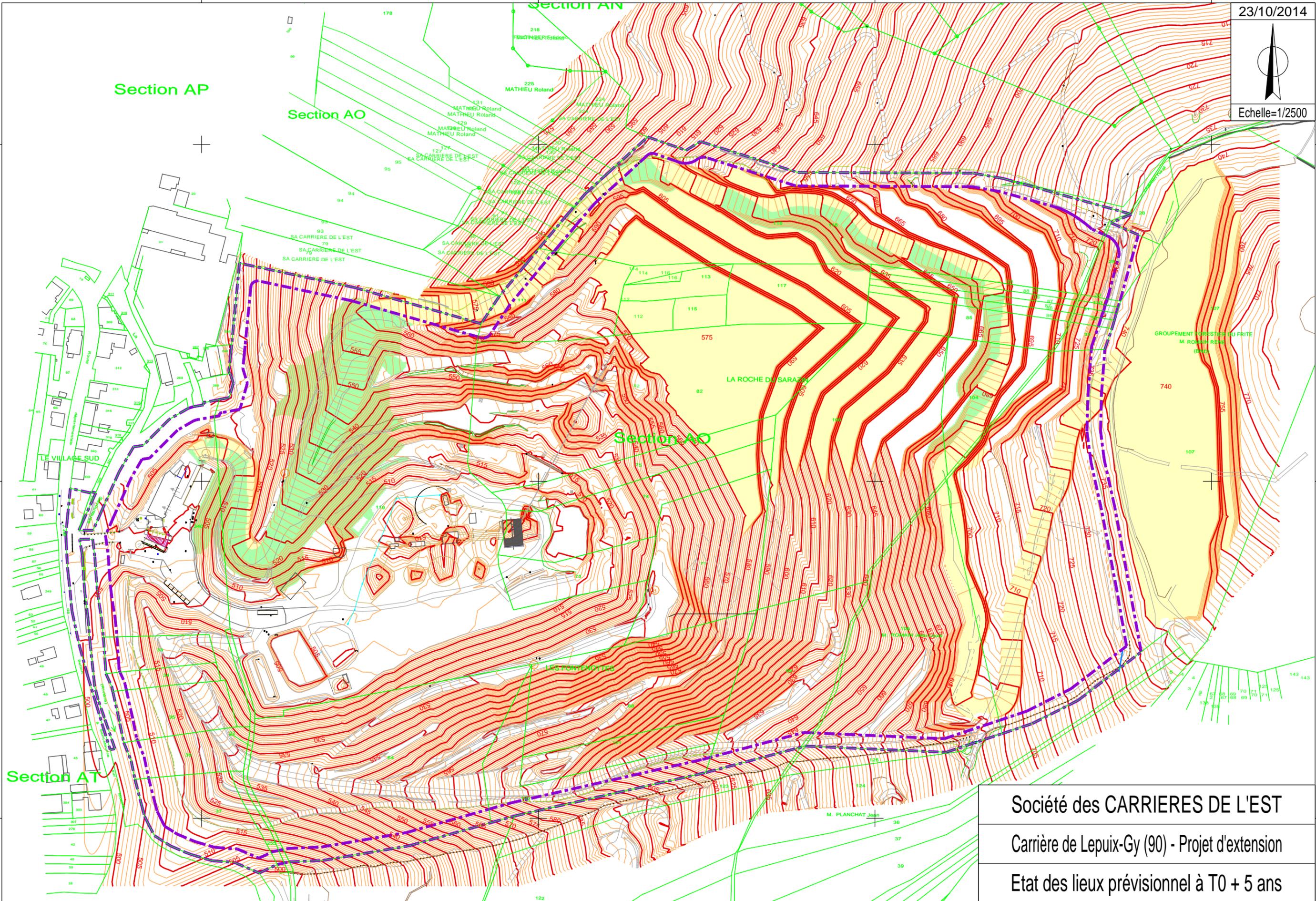


Société des CARRIERES DE L'EST  
 Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
 T0 prévisionnel - Carreau au niveau 650

23/10/2014



Echelle=1/2500



Section AP

Section AO

Section AO

Section AT

Société des CARRIERES DE L'EST  
 Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
 Etat des lieux prévisionnel à T0 + 5 ans

936 000

936 250

936 500

936 750

316 250

316 250

316 000

316 000

315 750

315 750

936 000

936 250

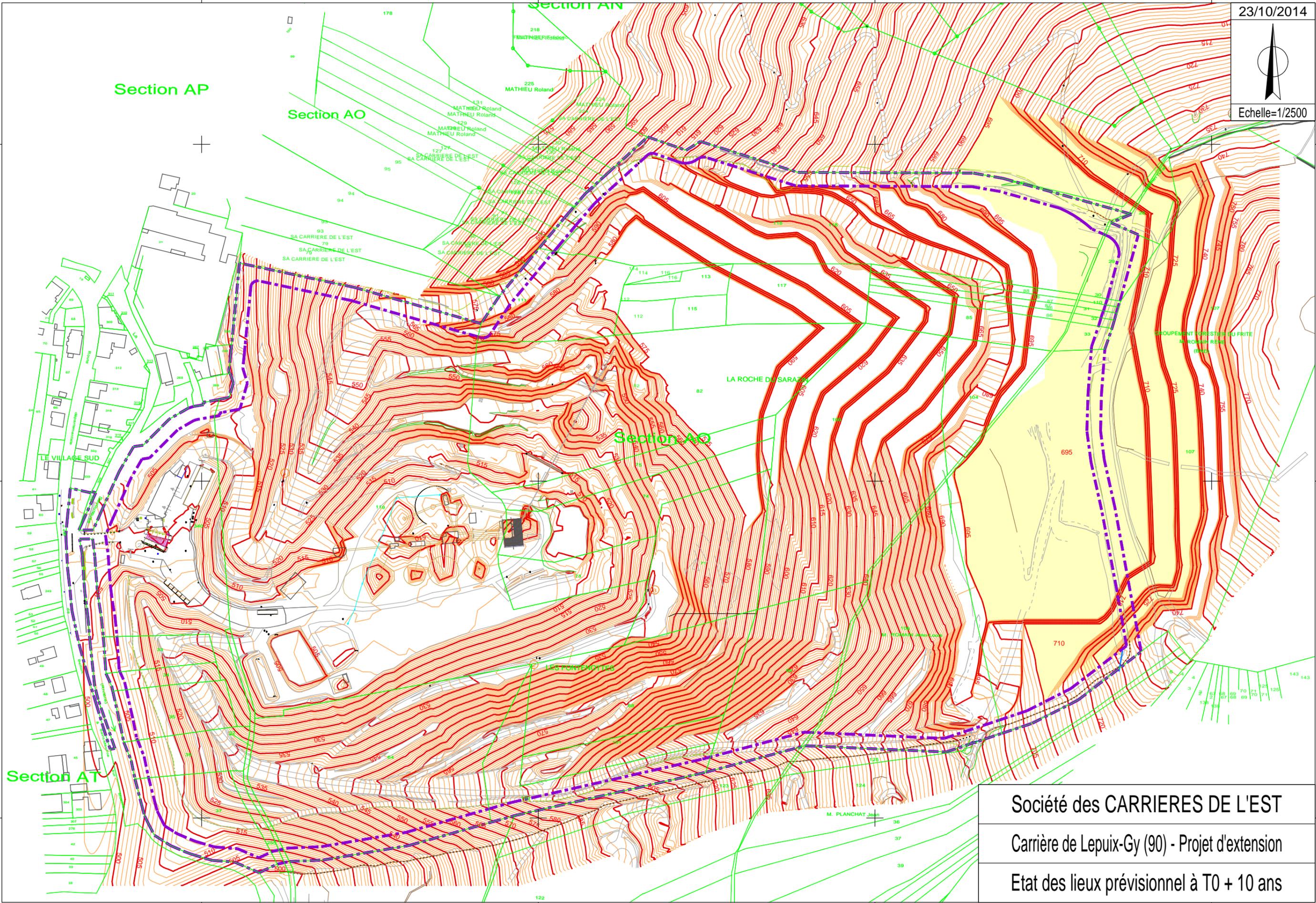
936 500

936 750

23/10/2014



Echelle=1/2500



Section AP

Section AO

Section AO

Section AT

Société des CARRIERES DE L'EST

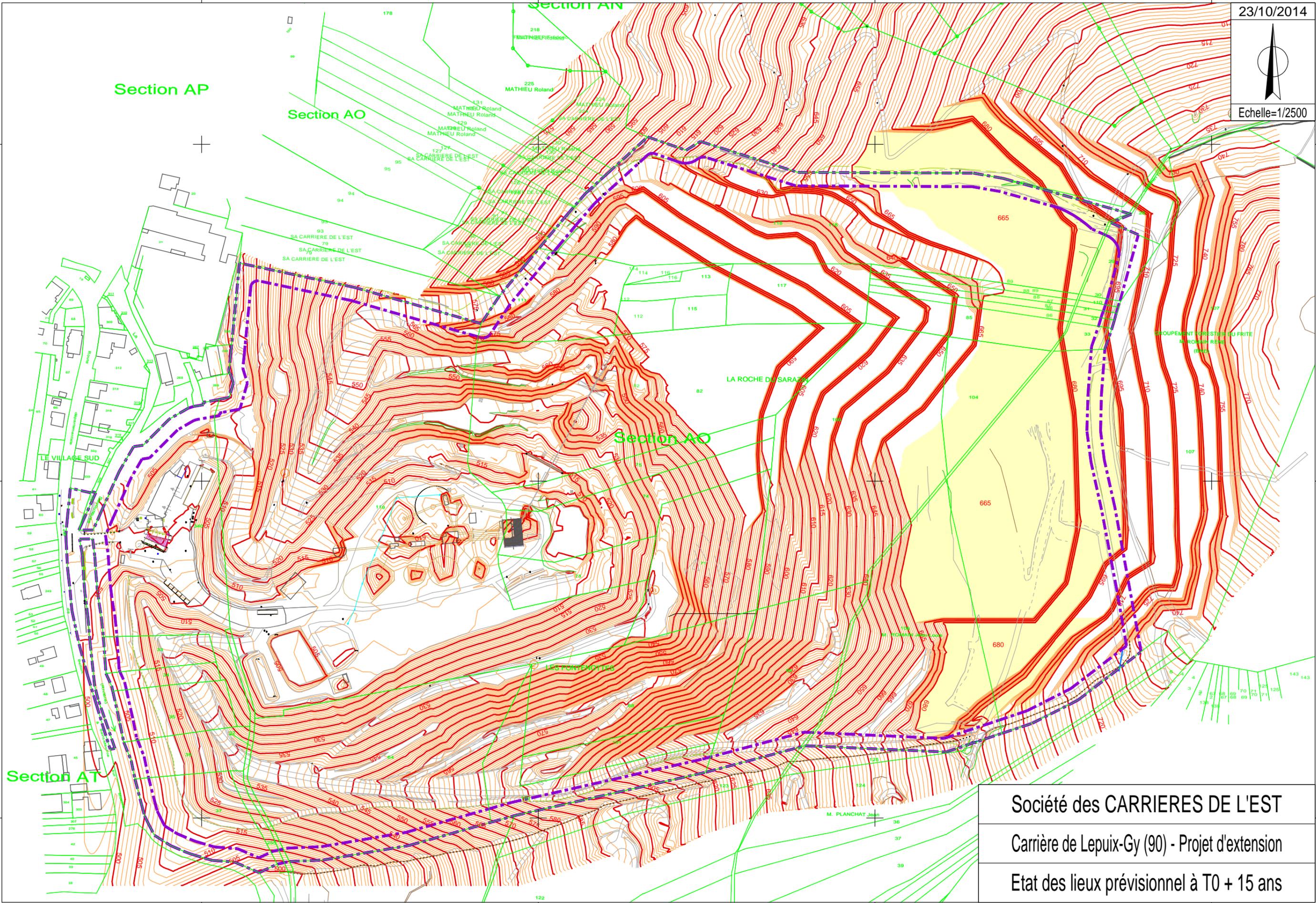
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 10 ans

23/10/2014



Echelle=1/2500



Section AP

Section AO

Section AO

Section AT

Société des CARRIERES DE L'EST

Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 15 ans

23/10/2014



Echelle=1/2500

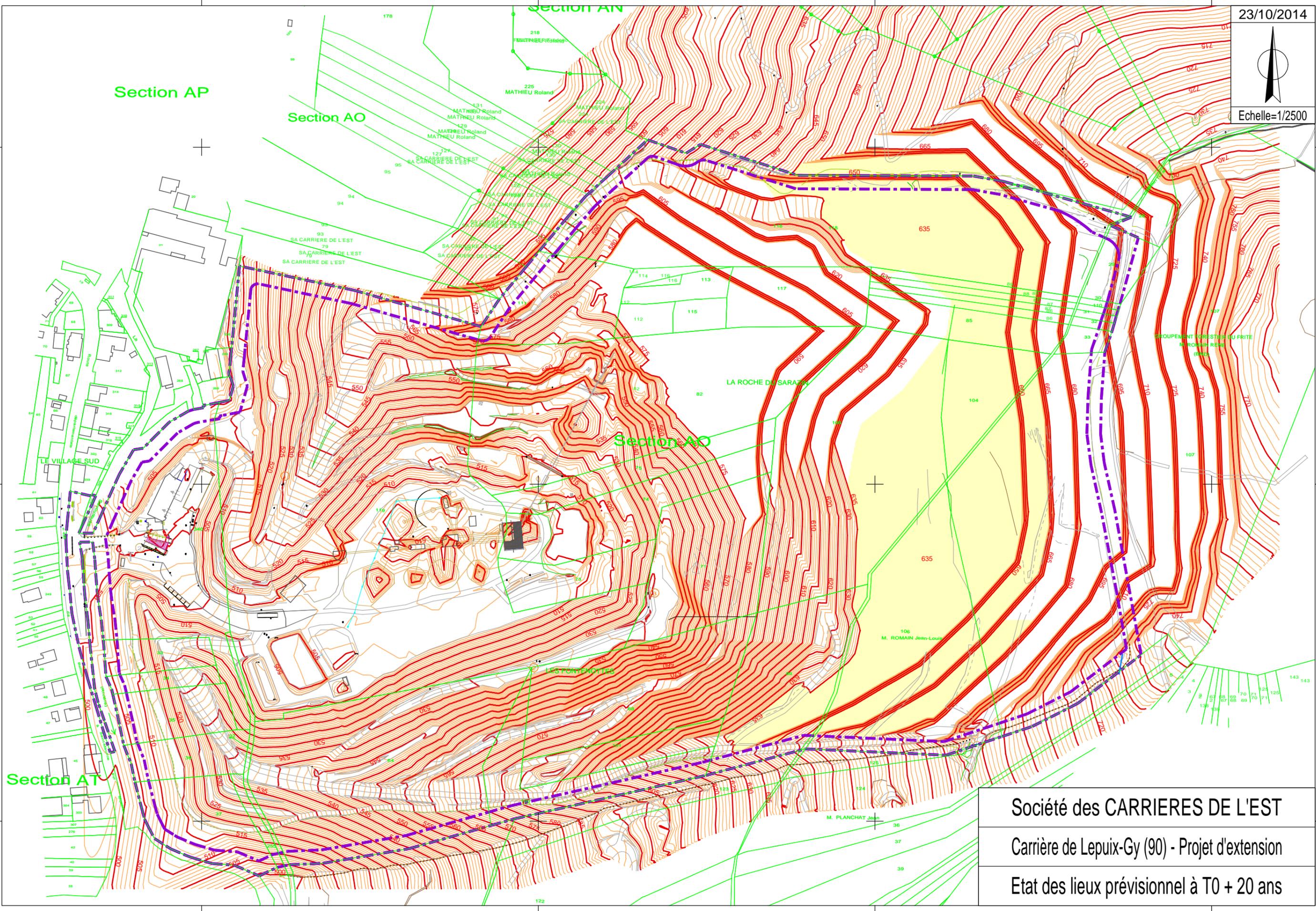
Section AP

Section AO

Section AO

Section AT

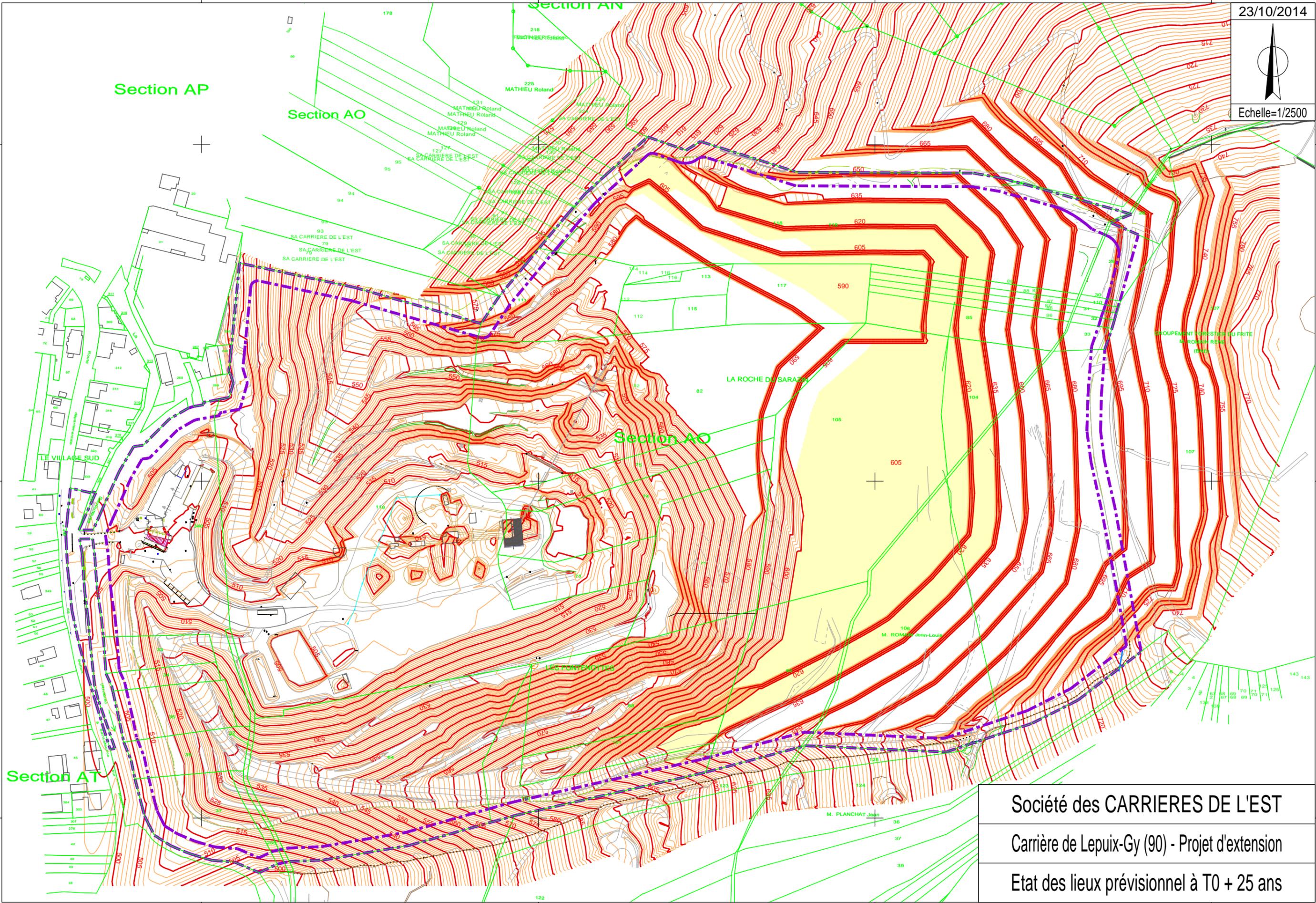
Société des CARRIERES DE L'EST  
 Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
 Etat des lieux prévisionnel à T0 + 20 ans



23/10/2014



Echelle=1/2500

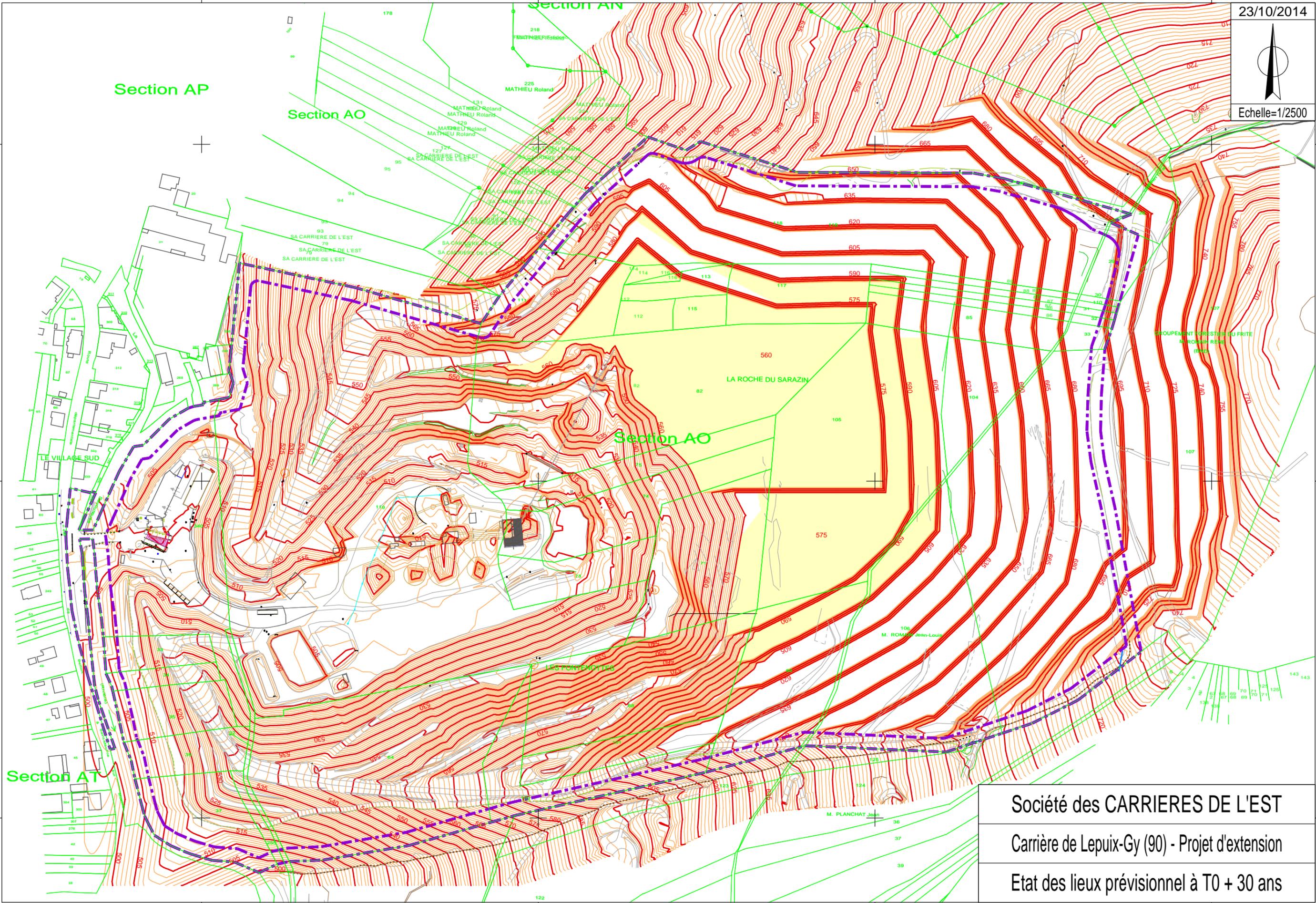


Société des CARRIERES DE L'EST  
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
Etat des lieux prévisionnel à T0 + 25 ans

23/10/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST

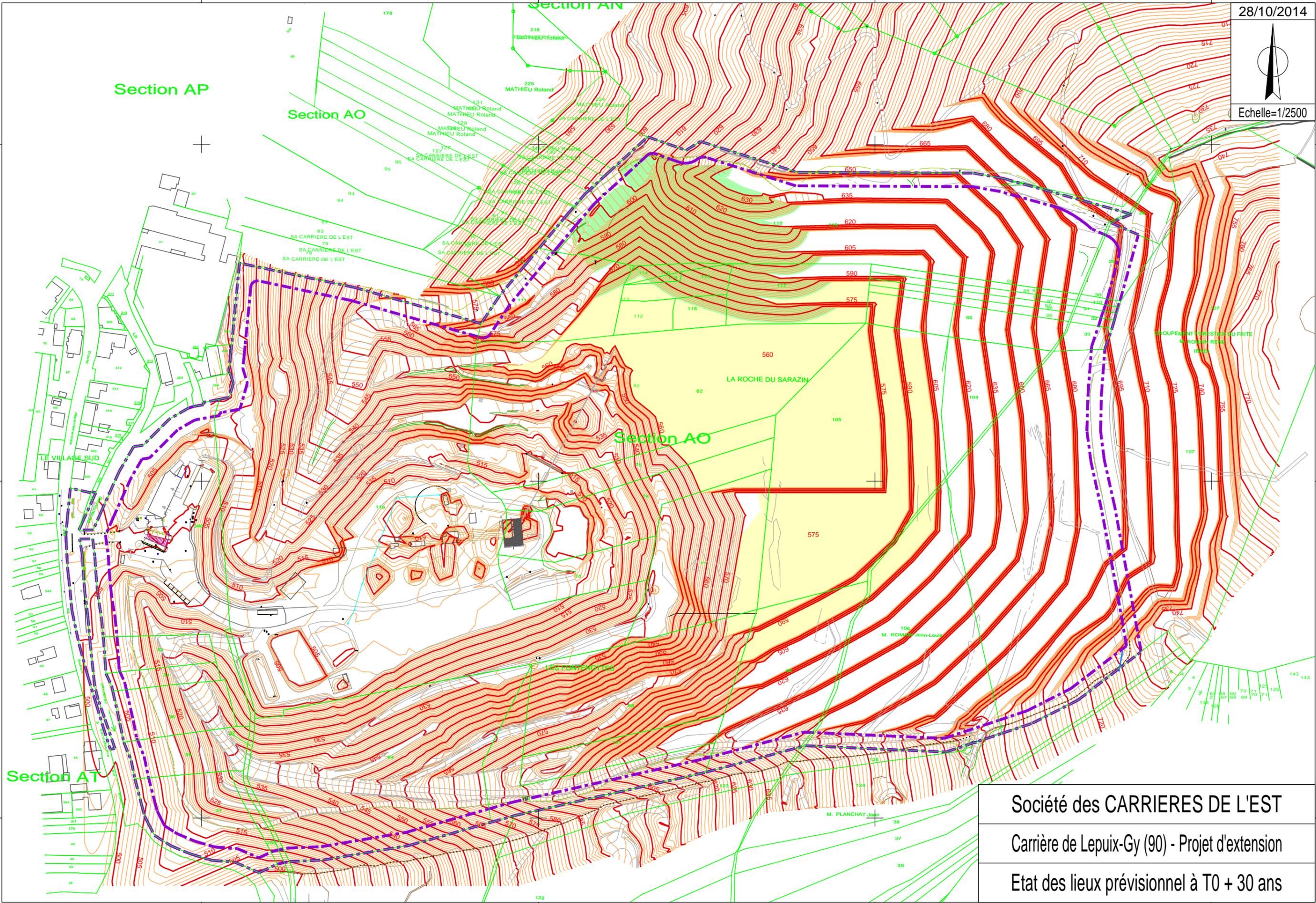
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 30 ans

28/10/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST  
Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension  
Etat des lieux prévisionnel à T0 + 30 ans



## Fiche signalétique

Titre : Carrière de Lepuix-Gy - Mise à jour de l'étude de stabilité de l'extension selon le scénario d'exploitation d'octobre 2014 (additif au rapport A75231/A d'avril 2014)

Numéro et indice de version : A77588/A

Date d'envoi : novembre 2014

Nombre d'annexes dans le texte : 3

Nombre de pages : 8

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

Diffusion (nombre et destinataires) :

2 ex. Client dont 1 reproductible + 1 CD ROM  
1 ex. auteur

### Client

---

Coordonnées complètes :

Société des carrières de l'Est  
20, rue de Belfort  
90200 Lepuix-Gy

Téléphone : 0384466010

Télécopie : 0384290979

Nom et fonction des interlocuteurs : MM. Corduant et Moreira

### Antea Group

---

Unité réalisatrice : NINF

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

CHRISTIAN OLLION , interlocuteur commercial

CHRISTIAN OLLION , responsable du projet

OLLION.C., auteur

Secrétariat :

### Qualité

---

Contrôlé par : C.Clément

Date : - Version A

N° du projet : FRCP140033

Références et date de la commande : 03/11/2014

**Mots-clés** : LEPUIX-GY, TERRITOIRE-DE-BELFORT, CARRIERE, STABILITE, ASSISTANCE-A-MAITRE-D'OUVRAGE

# *Carrière de Lepuix-Gy*

*Projet d'extension 2014*

*Vérification de la stabilité générale*

*Avril 2014*

*A75231/A*

**Société des Carrières de l'Est**

20, route de Belfort

90200 Lepuix-Gy

03 84 46 60 10



*Agence NORD-EST - Implantation Lorraine*

*18 Allée de la Forêt de la Reine – 54600 VILLERS-LES-NANCY*

*Tél. :03.83.44.81.44*

# Sommaire

	Pages
<b>1. Introduction et objectifs.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Contexte .....</b>	<b>7</b>
2.1. Contexte général.....	7
2.2. Contexte géomécanique .....	8
2.2.1. Arènes et matériaux altérés.....	8
2.2.2. Pélites.....	8
2.2.3. Réseau de fractures – Gisement sain.....	8
<b>3. Projet d'exploitation .....</b>	<b>15</b>
3.1. Caractéristiques du projet d'exploitation .....	15
3.2. Rappel des principes géométriques recommandés dans l'étude Antea Group A63300/A de juillet 2011 .....	18
3.3. Conformité du projet d'exploitation vis-à-vis des recommandations.....	19
<b>4. Calcul de stabilité .....</b>	<b>20</b>
4.1. Principe du calcul .....	20
4.2. Démarche mise en œuvre.....	21
4.3. Paramètres mécaniques .....	22
4.4. Extension du front Nord.....	23
4.4.1. Stabilité des gradins du front Nord - Glissement de type dièdres .....	24
4.4.2. Stabilité des gradins du front Nord - Glissement de type plan.....	28
4.4.3. Stabilité globale du front Nord .....	29
4.4.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord .....	29
4.5. Extension du front Nord-Est .....	30
4.5.1. Stabilité des gradins du front Nord-Est - Glissement de type dièdres .....	32
4.5.2. Stabilité des gradins du front Nord-Est - Glissement de type plan .....	34
4.5.3. Stabilité globale du front Nord-Est .....	34
4.5.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord-Est .....	35
4.6. Extension du front Est.....	36
4.6.1. Stabilité des gradins du front Est - Glissement de type dièdres.....	39
4.6.2. Stabilité des gradins du front Est - Glissement de type plan.....	41
4.6.3. Stabilité globale du front Est.....	42
4.6.4. Evolution du Coefficient de Sécurité du front Est.....	43
4.6.5. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Est .....	44
4.7. Extension du front Sud-Est.....	45
4.7.1. Stabilité des gradins du front Sud-Est - Glissement de type dièdres.....	46
4.7.2. Stabilité des gradins du front Sud-Est - Glissement de type plan.....	47

4.7.3. Stabilité globale du front Sud-Est .....	48
4.7.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Sud-Est .....	48
4.8. Extension du front Sud.....	49
4.8.1. Stabilité des gradins du front Sud - Glissement de type dièdres.....	50
4.8.2. Stabilité des gradins du front Sud - Glissement de type plan.....	51
4.8.3. Stabilité globale du front Sud .....	52
4.8.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Sud .....	52
4.9. Front Nord-ouest (secteur de l'éperon du Mont Jean) .....	53
4.9.1. Présentation de l'aménagement .....	53
4.9.2. Analyse de la stabilité de la partie sud de l'éperon .....	55
4.9.3. Stabilité des gradins du front Nord-Ouest - Glissement de type dièdres..	58
4.9.4. Stabilité des gradins du front Nord-Ouest - Glissement de type plan.....	59
4.9.5. Stabilité globale du front Nord-Ouest .....	60
4.9.6. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord-Ouest	61
<b>5. Conclusion et recommandations .....</b>	<b>62</b>

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Familles de discontinuités sur le flanc Nord.....	10
Tableau 2 : Familles de discontinuités sur le flanc Est.....	10
Tableau 3 : Caractéristiques des familles de fracture observées en forages.....	12
Tableau 4 : Caractéristiques des formations altérées.....	18
Tableau 5 : Paramètres mécaniques des fractures issus du rétrocalage 2006.....	22
Tableau 6 : Paramètres mécaniques – Rétrocalage local 2011 .....	22
Tableau 7 : Familles de discontinuités sur le front Nord et familles principales .....	23
Tableau 8 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord.....	25
Tableau 9 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord.....	28
Tableau 10 : Familles de discontinuités sur le front Nord-Est (FNE) et familles principales .....	30
Tableau 11 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord-Est.....	32
Tableau 12 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord-Est.....	34
Tableau 13 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front est. ....	39
Tableau 14 : Bilan des glissements de type plan sur le front Est. ....	41
Tableau 15 : Familles principales et Faille Majeure Est-Ouest (front Est) .....	42
Tableau 16 : Familles de discontinuités sur le front Sud- Est (FSE) et familles principales .....	45
Tableau 17 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front sud-est. ....	46
Tableau 18 : Bilan des glissements de type plan sur le front sud-est. ....	47
Tableau 19 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Sud.....	50
Tableau 20 : Bilan des glissements de type plan sur le front Sud.....	51
Tableau 21 : Familles de discontinuités sur le front Nord-Ouest et familles principales .	56
Tableau 22 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord-Ouest.....	58
Tableau 23 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord-Ouest.....	59
Tableau 24 : Familles principales .....	60

## Liste des figures

Figure 1 : Plan de situation.....	7
Figure 2 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures du flanc Nord (à gauche) et Est (à droite).....	10
Figure 3 : Synthèse des diagraphies.....	11
Figure 4 : Coupe type front Nord-Ouest (d'extension très limitée).....	16
Figure 5 : Coupe type fronts Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est et Sud.....	16
Figure 6 : Orientations des fronts de taille – Fosse ultime .....	17
Figure 7 : Types d'instabilité .....	20
Figure 8 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord (FN).....	23
Figure 9 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord. ....	24
Figure 10 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités N3 et N1 sur le front Nord orienté N110° .....	26
Figure 11 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP3 et N3 sur le front Nord orienté N110° .....	26
Figure 12 : Glissement plan sur N2 lors de son intersection avec N1 sur le front Nord orienté N110° .....	28
Figure 13 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale des différents tronçons du front Nord.....	29
Figure 14 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord-Est (FNE).....	30
Figure 15 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage S5.....	31
Figure 16 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord-Est. ....	32
Figure 17 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et FP3 sur le front Nord-Est.....	33
Figure 18 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP2 et FP3 sur le front Nord-Est.....	33
Figure 19 : Glissement plan sur E3 lors de son intersection avec FP1 sur le front Nord-Est. ....	34
Figure 20 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale de gradin du front Nord-Est (FNEG).....	35
Figure 21 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Est (FE).....	36
Figure 22 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage NS2bis (FE).....	37
Figure 23 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage NS1 (FE) .....	37
Figure 24 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage S39 (FE).....	38
Figure 25 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front est.....	39
Figure 26 : Dièdre formé par l'intersection des discontinuités FP1 et E3 sur le front est.....	40
Figure 27 : Dièdre formé par l'intersection des discontinuités E2 et E3 sur le front est. ....	40
Figure 28 : Glissement plan sur FP1 lors de son intersection avec FP3 sur le front est. ....	41
Figure 29 : Glissement plan sur FP2 lors de son intersection avec E2 sur le front est. ....	42
Figure 30 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Est (FEG).....	42

Figure 31 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Sud-Est (FSE) .....	45
Figure 32 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front sud-est....	46
Figure 33 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et E3 sur le front sud-est. ....	47
Figure 34 : Glissement plan sur E2 lors de son intersection avec E3 sur le front sud-est.	48
Figure 35 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale de gradin du front Sud-Est (FSEG).....	48
Figure 36 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures du front Sud (FS) et des familles principales .....	49
Figure 37 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Sud (FS)...	50
Figure 38 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et E3 sur le front Sud. ....	51
Figure 39 : Glissement sur E4 lors de son intersection avec E3 sur le front Sud. ....	51
Figure 40 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Sud. ....	52
Figure 41 : localisation de l'éperon du Mont Jean (plan topographique octobre 2011) ..	53
Figure 42 : Zoom sur le front Nord-Ouest et trace de la limite des pélites .....	54
Figure 43 : profils type de l'éperon arasé .....	55
Figure 44 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord-Ouest (FNW) .....	57
Figure 45 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord-Ouest. ....	58
Figure 46 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP3 et N4 sur le front Nord-Ouest. ....	59
Figure 47 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités N4 et N1 sur le front Nord-Ouest. ....	59
Figure 48 : Glissement plan sur N2 lors de son intersection avec N1 sur le front Nord-Ouest. ....	60
Figure 49 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Nord-Ouest (FNWG) .....	60

### Liste des annexes

Annexe A :	Vue en plan de la fosse finale
Annexe B :	Liste des études disponibles
Annexe C :	Extraits de l'étude REDLAND de 1998

## 1. Introduction et objectifs

La Société des Carrières de l'Est (SCE) a confié à Antea Group l'étude de la stabilité du projet d'exploitation de la carrière de Lepuix-Gy, qui sera intégrée au dossier de demande d'autorisation 2014.

*Le présent rapport annule et remplace le rapport A68148/A du mois d'août 2012, suite à la modification du plan d'exploitation.*

Les principes géométriques de l'extension ont fait l'objet du rapport GIPEA de Février 2011 et du rapport Antea Group A63300/A de juillet 2011. Cette dernière étude se base notamment sur les reconnaissances par sondages et diagraphies réalisées en juin/juillet 2011.

Les objectifs de la présente étude sont :

- de vérifier la conformité du projet d'exploitation vis-à-vis des recommandations émises par Antea Group et GIPEA en 2011 ;
- d'analyser les conditions de stabilité des fronts, à l'échelle des gradins et à grande échelle, et par conséquent de vérifier la faisabilité du projet d'exploitation.

Du fait de sa nature rocheuse, la stabilité du massif est essentiellement contrôlée par le réseau de fractures et par la géométrie de l'exploitation. La stabilité des fronts sera donc évaluée par calcul à l'équilibre limite (ou calcul à la rupture) sur la base du plan de la fosse ultime du projet fournis par la Société des Carrières de l'Est (voir Annexe A). Les instabilités de type glissement plan et glissement dièdres seront respectivement évalués et des recommandations émises.

## 2. Contexte

### 2.1. Contexte général

La carrière de Lepuix-Gy est située à 15 km de Belfort, au pied du massif des ballons des Vosges (cf. Figure 1). La carrière exploite un gisement de roches volcaniques de type tufs et ignimbrites rhyodacitiques datées du Viséen (Carbonifère).

Il s'agit de roches de texture massive, de matrice résistante, ce qui permet l'emploi du gisement en matériau de ballast. Le massif est parcouru d'un réseau de fractures, décrit au paragraphe suivant, et peut être altéré dans certaines zones.

Ce matériau est recouvert par des dépôts superficiels sur une épaisseur qui reste inférieure à 10 m au Sud de l'emprise envisagée pour l'extension, et entre 10 et 20 m dans le secteur Nord-Est de cette emprise. Sur ces dépôts superficiels s'est développé un bois qui surplombe la carrière. En 2013, l'exploitation a confirmé des épaisseurs maximales de 20 m dans la partie haute (extrême nord-est de l'exploitation actuelle).

Au niveau de sa pointe Nord-ouest, l'exploitation intercepte un niveau de petites noires fortement indurées.

Plusieurs études ont été menées précédemment sur le site de la carrière de Lepuix-Gy par ANTEA, SEGGE, BRGM, GIPEA et ARMINES. La liste des documents disponibles pour cette étude est donnée en Annexe B.



Figure 1 : Plan de situation

## 2.2. Contexte géomécanique

### 2.2.1. Arènes et matériaux altérés

La partie supérieure de l'exploitation est formée par des matériaux altérés, comprenant les matériaux de découverte proprement dits et le gisement altéré. Ces matériaux altérés présentent une épaisseur inférieure à 10 m au centre et au Sud de l'exploitation et peuvent atteindre 20 m au Nord-Est.

3 niveaux d'altération ont été retenus pour qualifier cette formation superficielle :

- Arène (A) ou Arène sableuse ;
- Rhyodacite Très Altérée (RTA) ou Arène structuré ;
- Rhyodacite altérée (RA).

Du point de vue de leur stabilité, les matériaux altérés ou très altérés peuvent être considérés comme des matériaux relativement homogènes dont le comportement moyen est contrôlé par des caractéristiques de cohésion et de frottement.

### 2.2.2. Pélites

Dans le secteur Nord-Ouest de l'exploitation, celle-ci intercepte une formation constituée de pélites. Dans ces matériaux, la stabilité est gouvernée par la résistance au cisaillement de la matrice et non par la fracturation.

Le retour d'expérience dans ces matériaux montre la stabilité sur plusieurs années de fronts talutés à 50° sur 25 m de hauteur.

### 2.2.3. Réseau de fractures – Gisement sain

Le réseau de fractures du gisement sain a été appréhendé au moyen :

- des expertises visuelles menées de 2006 à 2013 par Antea Group ;
- des relevés photogrammétriques réalisées par GIPEA en Février 2011 ;
- d'une campagne de sondages carottés et de diagraphies optiques confiée par SCE à la société SEMM-LOGGING en Juin/Juillet 2011.

**NOTA :** la convention de notation des pendages adoptée pour l'interprétation des diagraphies réalisées par Semm Logging est différente de celle employée par Antea Group :

Antea Group : Notation "*Strike-Dip-Quadrant*": direction de l'horizontale du plan / angle du vecteur pendage / Quadrant vers lequel pend le plan. (Exemple : FP1 = N0 – 45W).

Semm Logging : Notation « *Clar* »: direction du vecteur pendage / angle du vecteur pendage. (Exemple : FP1 = N270 – 45).

Les représentations stéréographiques utilisent également des conventions différentes :

Antea Group : représentation de la trace des plans sur l'hémisphère inférieur.

Semm Logging : représentation polaire sur l'hémisphère supérieur (UH).

### 2.2.3.1. Rappel des données de fracturation antérieures

Le site présente une fracturation à différentes échelles :

- Des discontinuités majeures de grande extension (hm à km) sont notées dans les études antérieures. Ces discontinuités correspondraient à des zones altérées et bréchiques. Il est notamment noté la présence :
  - d'une faille majeure d'azimut Nord-Sud et plongeant à 70° vers l'Ouest, au centre de la carrière et parcourant les fronts Nord et Sud.
  - d'une faille d'orientation N100/75°E sur le flanc Est, coté Nord, de l'exploitation. L'existence de cette faille est néanmoins remise en cause (voir discussion au paragraphe 2.2.3.3).
- Trois familles de fractures de grande densité, ou familles directionnelles, qui contrôlent la stabilité du massif :
  - FP1, d'orientation N10 ( $\pm 10^\circ$ ) et de pendage 41°W ( $\pm 4^\circ$ ). Cette famille, visible notamment au niveau du front Est, forme des plans de glissements plans de type miroirs
  - FP2, d'orientation N175 ( $\pm 10^\circ$ ) et de pendage 57°W ( $\pm 8^\circ$ ), de grande extension,
  - FP3, d'orientation N77 ( $\pm 8^\circ$ ) et de pendage 76°S ( $\pm 8^\circ$ ) de fréquence importante sur le front Nord
- Des fractures d'orientation très diverses, mais pouvant être impliqués dans de nombreux glissements de type dièdres.

Le réseau de fractures observé sur le terrain et utilisé dans le cadre des études de stabilité antérieures est rappelé dans les tableaux ci-dessous et à l'aide des projections hémisphériques inférieures présentées dans les figures ci-après.

	Familles relevées sur le front Nord (étude ANTEA 2006)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
N1	N60 – 60SE	
N2	N100 – 60SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
N3	N160 – 60SW	(≈FP2 : N0 - 70W)
N4	N170 – 60NE	

Tableau 1 : Familles de discontinuités sur le flanc Nord

	Familles relevées sur le front Est (étude ANTEA 2006)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
E1	N40 – 80SE	
E2	N10 – 60NW	(≈FP2 : N0 - 70W)
E3	N110 – 75SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
E4	N40 – 30NW	
E5	N150 – 65NE	

Tableau 2 : Familles de discontinuités sur le flanc Est

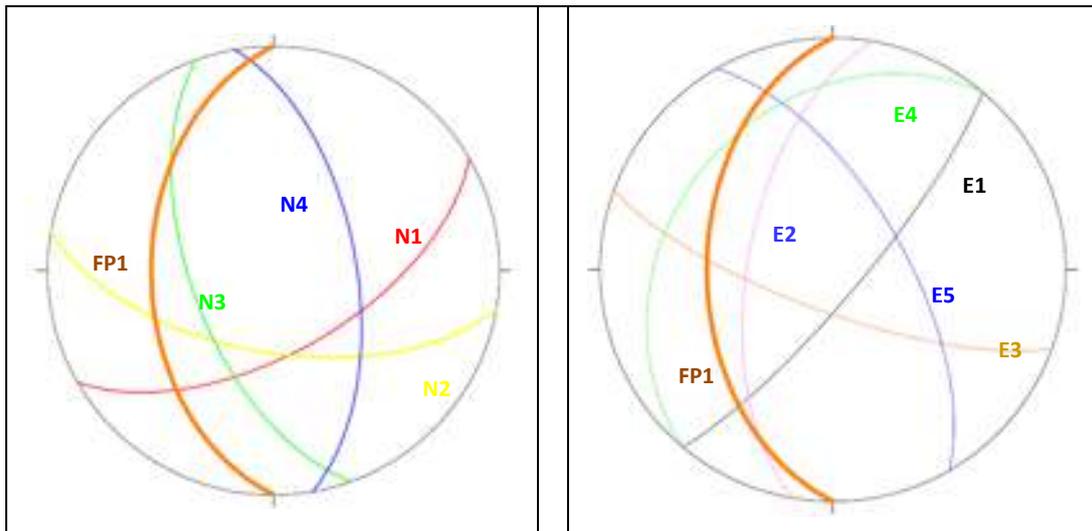


Figure 2 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures du flanc Nord (à gauche) et Est (à droite)

2.2.3.2. Données de fracturation observées dans les diagraphies optiques

Les diagraphies optiques et ultrasonique réalisées en sondage lors de la campagne de Juin/Juillet 2011 (sondages S5, S39, NS1 et NS2bis) ont permis d'estimer la fréquence et la répartition spatiale du réseau de fractures. Les résultats sont synthétisés sur les diagrammes de Schmidt présentés en Figure 3 (Rapport Antea Group A63300/A de juillet 2011) et dans le Tableau 4.

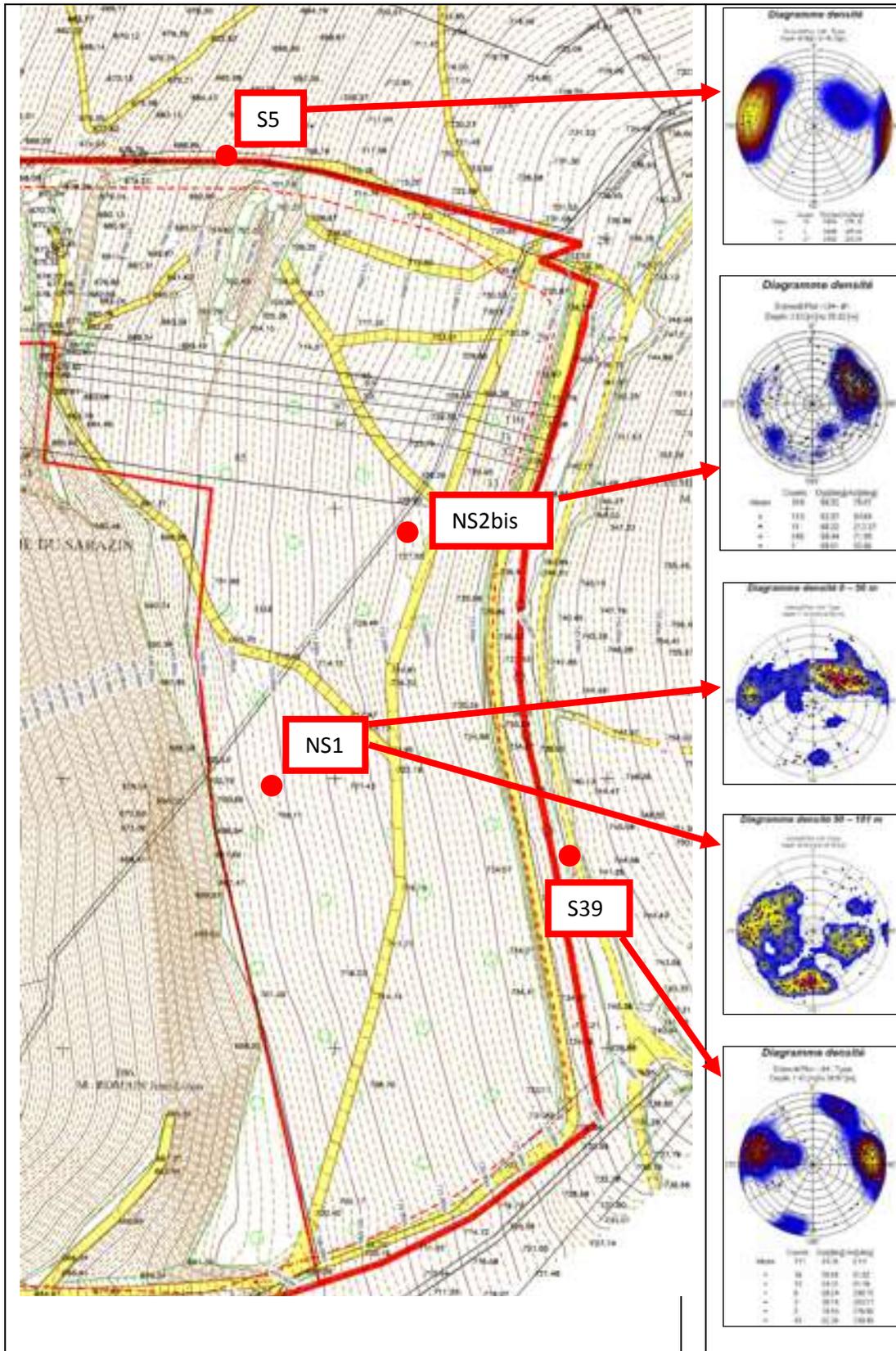


Figure 3 : Synthèse des diagraphies

Le tableau suivant synthétise, pour chacun des sondages ayant fait l'objet des diagraphies, les caractéristiques des familles de fracture observées :

Famille	Correspondance données antérieures	Nombre de structures	Nombre de fractures ouvertes ou traversantes
<b>Sondage S5 (25 m)</b>			
N170 à N30 / 60-85W	FP2 (N0 - 70W)	≈50-60% (≈150)	3 (entre 8 et 10 m/TN)
<b>Sondage NS2bis (42 m)</b>			
N120 à 190 (10) / 35-75 NE et SE	E5 (N150 – 65NE)	≈50-60% (≈15)	3 (entre 18 et 24 m/TN)
N160-210 (30) / 55-75W		≈5-10%	3 (entre 9 et 18 m)
N120-150 / 50-75SW	≈FP3 (N90 - 60S)	≈5-10%	2 (couplées à 9 m/TN)
N45-75 / 30-50SE		≈5-10%	0
<b>Sondage NS1 – partie supérieure (0 - 50 m)</b>			
N90-170 / 20-65NE	E5 (N150 – 65NE)	≈30-40% (≈110)	24 (entre 13 et 40 m/TN)
N0-15 / 60-80W	FP2 (N0 - 70W)	≈5-10% (≈20)	5 (entre 23 et 48 m/TN)
<b>Sondage NS1 – partie inférieure (50 - 100 m)</b>			
N70-120 / 45-75S	FP3 (N90 - 60S)	≈25% (≈85)	2 (entre 54 et 56 m/TN)
N0-45 / 20-65E	Non	≈20% (≈70)	11 (entre 71 et 79 m/TN)
N170-240 / 30-80W (forte dispersion)	FP1 (N0 - 45W) et FP2 (N0 - 70W)	≈30-35% (≈110)	8 (entre 59 et 85 m/TN) Dont 5 fractures FP1 de pendage 30 à 45°
<b>Sondage S39 (39 m)</b>			
N150-190 / 55-85E	E5 (N150 – 65NE)	≈25-30% (≈45)	12 (entre 10 et 21 m/TN)
N0-30 / 55-80W	FP2 (N0 - 70W)	≈25% (≈40)	8 (entre 10 et 16 m/TN)

Tableau 3 : Caractéristiques des familles de fracture observées en forages

Les principales observations tirées des données diagraphiques sont les suivantes :

- Les orientations relevées mettent en évidence l'existence réelle des 3 familles de fractures principales (FP1, FP2 et FP3) ;
- L'espacement moyen entre les discontinuités visibles dans les diagraphies est de l'ordre d'une dizaine de centimètres, toutes orientations confondues et de 25 cm pour les familles principales ;
- Les fractures ouvertes et/ou traversantes visibles sur ces diagraphies montrent des espacements moyens compris entre 2 à 25 m environ entre deux fractures ;
- L'espacement entre les discontinuités, notamment les discontinuités ouvertes et traversantes, tend à augmenter avec la profondeur. La densité des fractures tend ainsi à diminuer vers -20 à -30 m de profondeur au niveau des sondages S39, NS2bis et NS1 ;
- Les diagraphies ne révèlent pas la présence de zones brêchiques ou très altérées une fois traversés les terrains superficiels ;
- les fractures à pendage Ouest contrôlent plus particulièrement la stabilité du front Est. Les sondages réalisés (notamment S39 et NS1) mettent en évidence une pré-dominance des fractures assimilées à FP2 (pendage plus élevés compris entre 60 et 80°W) par rapport aux fractures FP1 (pendage 30-50°W). Cette proportion de fractures à pendage plus raide constitue un élément favorable à la stabilité. On note néanmoins, en partie inférieure du sondage NS1, l'existence de quelques fractures FP1 (30 à 45°W) qui pourraient créer des instabilités si leur extension était importante ;
- Les fractures à pendage Sud sont peu représentées, à l'exception du sondage NS1. Ces discontinuités ont une orientation homogène qui les rapproche de la famille FP3 décrite dans les études antérieures ;
- Les fractures à pendage Est et Nord-Est sont observées essentiellement dans les forages NS2bis, NS1-partie supérieure et S39. Compte tenu de la géométrie de l'exploitation, ces familles de discontinuités ont peu d'influence sur la stabilité des fronts puisqu'elles plongent vers l'intérieur du gisement.

### 2.2.3.3. Discussion sur l'existence de la faille majeure N100/75°E

Cette faille est mentionnée pour la première fois dans le rapport REDLAND GRANULATS de janvier 1998 dont quelques extraits sont donnés en annexe C du présent rapport.

Selon ce rapport, le plan de faille observé en 1998 délimitait une masse instable présente sur le front Est et dont le mouvement était alors surveillé par plusieurs inclinomètres et extensomètres situés de part et d'autre de ce plan de faille.

La trace de cette faille aurait par ailleurs été observée visuellement. Une photo (peu lisible malheureusement : voir en annexe C) montre cette trace.

D'après la description de 1998, la faille semble se présenter sous forme de miroirs et non comme une zone brêchique, ce qui laisse supposer qu'il pourrait s'agir d'une ou plusieurs diaclases (discontinuités sans mouvement relatif des épontes) plutôt que d'une faille ayant subi des mouvements.

L'orientation de la faille apparaît peu claire dans le rapport Redland :

- selon ce rapport, la faille appartient à la famille P4 mais cette famille décrite plus haut présente un pendage de l'ordre de 35°Est, très éloigné de celui de la faille (75°Est).
- le texte du rapport montre des confusions entre l'Est et l'Ouest (inclinomètres I2 et I4 signalé à l'Ouest de la faille alors que la figure les montre au Nord-Est).
- la photo de la faille, bien que peu lisible semble montrer des miroirs dont le pendage est orienté vers le photographe, donc vers le Sud ou le Sud-Ouest (et non vers le Nord-Est)

De nombreuses études postérieures ont ensuite rappelé l'existence de cette faille mais aucune nouvelle observation directe de cette faille ne semble avoir eu lieu.

Les diagraphies réalisées en Juin/Juillet 2012 n'ont pas mis en évidence de zones brêchiques pouvant correspondre à cette faille (mais la position de ces sondages n'était pas forcément bien adaptée à la recherche de cette faille). Par ailleurs, les zones fracturées rencontrées en NS1 (à 51 et 69 m de prof respectivement) sont d'épaisseurs très limitées, que l'on peut difficilement rattacher à une faille de cette importance (qui plus est, proche de la verticale).

Enfin, aucune discontinuité majeure n'est actuellement visible sur le site, les zones potentielles étant recouvertes par des éboulis.

En conclusion, il est possible que l'interprétation faite en 1998 soit erronée et que la trace supposée de la faille corresponde à un ensemble de plan appartenant une même famille de discontinuités (par exemple la famille FP3 : N90 - 60S que l'on observe régulièrement dans le secteur Nord-Est actuellement exploité). Cet ensemble de diaclases aurait en effet pu favoriser le découpage de la masse glissée observée en 1998

On peut probablement considérer en tout état de cause que la ou les discontinuités observées en 1998 ne sont pas reliées à une zone brêchique significative et que cette discontinuité ne posera pas de problème particulier lors de l'exploitation de cette zone.

L'existence réelle de cette faille sera néanmoins recherchée à l'avancement de l'exploitation, afin d'adapter le cas échéant les conditions d'exploitation.

## 3. Projet d'exploitation

### 3.1. Caractéristiques du projet d'exploitation

Le projet d'extension, établi par Carrières de l'Est et CORALIS, est présenté sous forme d'une vue en plan en Annexe A.

Le scénario d'exploitation prévoit une extension de la carrière vers le Nord, le Nord-Est, l'Est et le Sud-Est. Les caractéristiques générales sont les suivantes :

- L'aménagement d'une piste en façade Nord permettra d'atteindre la partie Est de l'emprise autorisée et de réaliser ensuite une exploitation du gisement du haut vers le bas, l'acheminement des matériaux extraits vers le carreau étant réalisé par un dispositif alternatif évitant l'utilisation de camions ;
- Les formations superficielles (arènes et rhyodacites altérées à très altérées) seront talutées avec des pentes de l'ordre de 50° sur le front est et des pentes inférieures ou égales à 62° sur les fronts nord, nord-est et sud-est ;
- Une fois atteint le toit du gisement sain, l'exploitation se développera en banquettes et gradins réalisés du haut vers le bas ;
- Le projet entrainera un recul de la partie supérieure du front est. A T0+30 ans, ce recul sera d'environ 150 m par rapport à sa position actuelle, dégageant ainsi un vaste carreau intermédiaire à la cote 560.

L'exploitation du gisement sain sera réalisée en gradins séparés par des banquettes :

- Au niveau des fronts Nord, Nord-Est, Sud-Est et Sud :
  - les gradins présenteront une hauteur de 15 m
  - les banquettes présenteront une largeur de 15 m.
  - La pente des gradins sera d'environ 75-78°
  - La pente générale de l'exploitation (pente enveloppe) sera de 37°.
- Au niveau du front Est, le principe est identique mais deux banquettes conserveront une largeur supérieure à 15 m :
  - Cote 680 : banquette de 30 m de largeur ;
  - Cote 605 : banquette de 20 m de largeur.

Ces banquettes élargies contribuent à améliorer la stabilité globale du front Est. En effet, elles permettent :

- de réduire la pente intégratrice globale du front à 35° environ)  
 de constituer un réceptacle pour d'éventuels matériaux éboulés. La création de merlons sur ces banquettes élargies permettra d'augmenter leur capacité de stockage.
- Un front Nord-Ouest de dimensions très limitées apparaîtra lors de la création des derniers gradins (590 et 560). Au niveau de ce front Nord-Ouest :
  - les gradins présenteront une hauteur de 15 m
  - les banquettes présenteront une largeur de 10 m
  - la pente des gradins sera d'environ 75-78°
  - La pente générale de l'exploitation sera de 49°.
  -

A noter que, pour le front Nord-Ouest, la géométrie d'exploitation bénéficie d'un retour d'expérience positif relatif à la stabilité des gradins (cf. étude du stock-pile – Rapport ANTEA A60536/B de mars 2011). On a donc retenu localement des paramètres mécaniques améliorés (voir le paragraphe 4.3 du présent rapport).

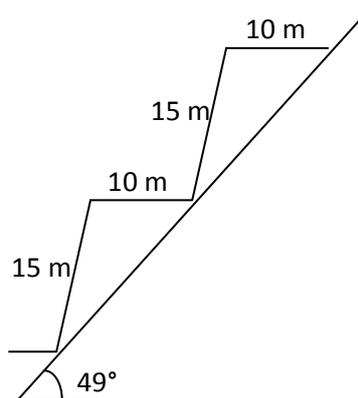


Figure 4 : Coupe type front Nord-Ouest (d'extension très limitée)

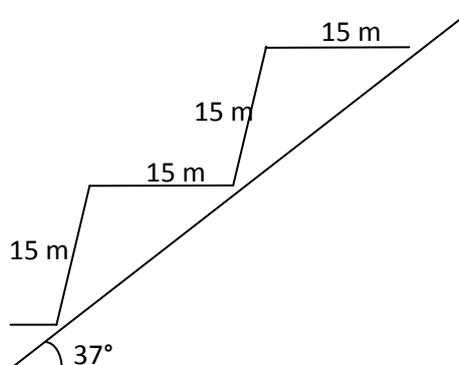


Figure 5 : Coupe type fronts Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est et Sud

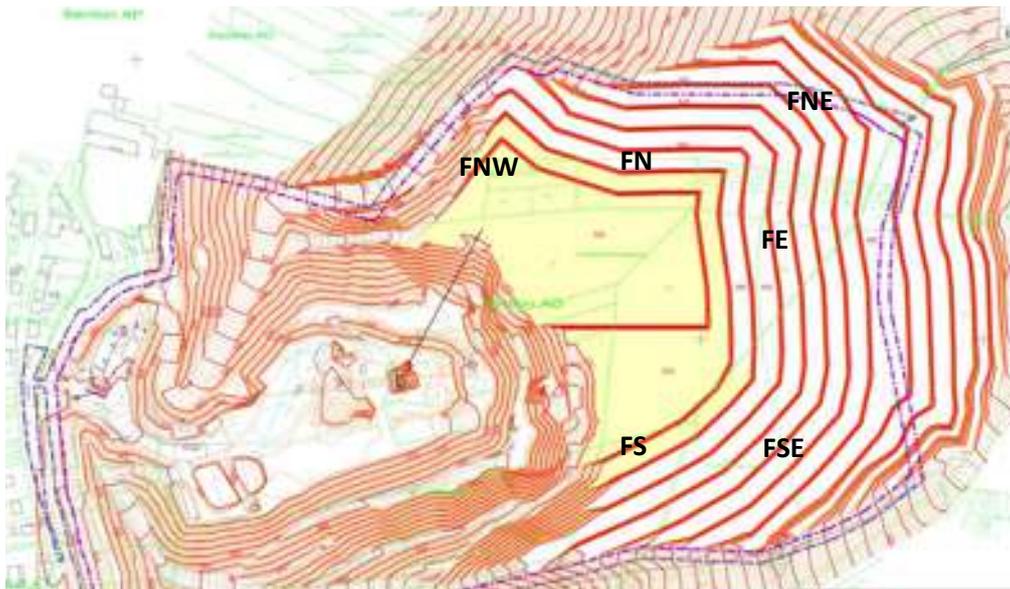


Figure 6 : Orientations des fronts de taille – Fosse ultime

### 3.2. Rappel des principes géométriques recommandés dans l'étude Antea Group A63300/A de juillet 2011

L'étude Antea Group A63300/A faisait suite aux observations, sondages et diagraphies réalisés en Juin/Juillet 2011. Les recommandations générales émises étaient les suivantes :

Dans les matériaux de découverte : Les pentes des talus pourront être les suivants : 50° dans les arènes ; 62° dans les Rhyodacites altérées et très altérées. La largeur des banquettes pourra être inférieure à 10 mètres.

Formation	Epaisseur (m)	Pente moyenne retenue (°)	Remarques
Arène	2 à 21	50	Egalement dénommée « arène sableuse »  La partie supérieure des arènes (environ 2 m d'épaisseur) est constituée par un « sol arénisé » qui doit être décapé avant tout début d'exploitation
Rhyodacite Très Altérée (RTA)	0 à 15	62	Arène « structurée ». Se présente parfois sous forme de « briquettes » avec tenue verticale à moyen terme
Rhyodacite Altérée (RA)	0 à 20	62	Se présente parfois sous forme de « briquettes » avec tenue verticale à moyen terme

Tableau 4 : Caractéristiques des formations altérées

Dans le gisement sain : la géométrie des gradins de l'exploitation dépendra de l'orientation des fronts :

- Les fronts Nord et Sud présentent une bonne stabilité dès lors qu'ils sont réalisés suivant une direction Est-Ouest. Par conséquent, pour les fronts d'azimut compris entre N90 et N110 : des gradins de hauteur 15 m et des banquettes de largeur 10 m sont envisageables. Cette géométrie est à valider par des calculs de stabilité ; (voir ces calculs dans le paragraphe 4 du présent rapport).
- Pour les Fronts Nord-est, Est et Sud-Est : il est préconisé de conserver des gradins de hauteur 15 m pour des banquettes de largeur 15 m. *La possibilité (évoquée dans le rapport 2011) de réduire localement la largeur de certaines banquettes sera finalement à déconseiller compte tenu de l'existence de quelques fractures ouvertes à faible pendage Ouest*.

### 3.3. Conformité du projet d'exploitation vis-à-vis des recommandations

Au regard des recommandations émises dans le rapport Antea Group A63300/A, mais également des propositions émises dans le rapport Gipéa de février 2011, le projet d'exploitation présente des caractéristiques favorables à sa stabilité.

On retiendra notamment :

- **Une exploitation du haut vers le bas.** Ce mode d'exploitation permet un déchargement rapide de la tête de front favorable à la stabilité. ;
- **un phasage intermédiaire qui respecte directement la géométrie finale de la fosse ultime** (création de grands gradins d'orientation Nord-Sud, sans autres orientations intermédiaires). Cette exploitation en **fronts de grande extension** favorise en outre le drainage naturel du massif, ce qui évite le développement de pressions interstitielles néfastes à la stabilité
- **Le recul de l'exploitation vers l'intérieur du massif** (recul de 150 m de la partie supérieure du front Est par rapport au front actuel). Ce recul permet de s'éloigner de la zone de décompression des terrains où la fracturation est la plus dense. A ce titre, on rappelle que les diagraphies montraient une diminution de la densité des fractures vers -20 à -30 m de profondeur. Cet éloignement des zones à fortes fracturation permet de réduire le risque d'éboulement en série (dièdres en série) ;
- **Une exploitation en gradins 15 m x 15 m.** Le front Est était jusqu'alors exploité d'un seul tenant le long des plans glissoirs à pendage Ouest. Une exploitation en gradin de la partie supérieure de ce front permettra de réduire la pente générale de l'exploitation et donc de réduire le volume des blocs potentiellement instables. Le facteur de stabilité globale du front Est se retrouvera ainsi augmenté (cf. calculs ci-après). Seul le secteur Nord-Ouest de l'exploitation (secteur d'arasement de l'éperon du Mont Jean) présente une géométrie adaptée du fait de la présence des pélites (voir détails au paragraphe 4.9). La géométrie générale (15 m x 15 m) est conforme aux recommandations d'Antea Group et à l'Arrêté Préfectoral en vigueur. Les calculs de stabilité exposés ci-après permettent d'évaluer les facteurs de stabilité propres à chaque direction d'exploitation.
- **Un talutage des formations superficielles entre 50 et 62°**, en conformité avec les recommandations émises en 2011.

## 4. Calcul de stabilité

### 4.1. Principe du calcul

Le matériau exploité est composé d'une matrice rocheuse résistante parcourue par des familles de fractures. Son comportement peut être assimilé à celui d'un massif rigide-plastique qui obéit aux lois classiques de la rupture par cisaillement. Le calcul sera donc de type calcul à la rupture.

Trois types d'instabilités peuvent être considérés (cf. Figure 7) :

- le glissement plan ;
- le glissement dièdre ;
- le fauchage.

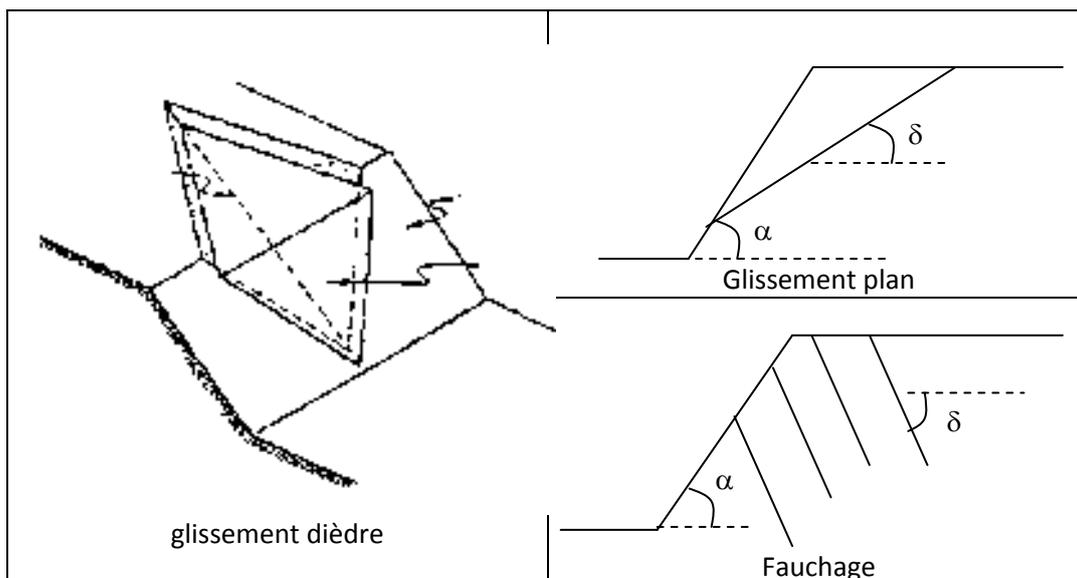


Figure 7 : Types d'instabilité

Au vu du réseau de fractures du massif et des aménagements projetés, les glissements de type plan et dièdres peuvent affecter le site. Ces instabilités peuvent être appréhendées à l'aide du logiciel SWEDGE, développé par la société Rocscience, et basé sur les techniques de projection stéréographique.

Par cette technique, la stabilité de tous les fronts est calculée au regard des orientations et pentes des excavations. Pour chaque instabilité potentielle, de type dièdres ou glissement plan, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Calcul du facteur de sécurité (FS), rapport entre les efforts résistants et moteurs est calculé. On considère que la stabilité du bloc rocheux est assurée à long terme pour  $FS > 1,5$  et à court terme pour  $FS > 1,3$ .
- Estimation de la géométrie du bloc potentiellement instable et notamment de ses dimensions maximales. Cette géométrie permet notamment d'évaluer le rétrécissement des gradins du à la chute du bloc.

## 4.2. Démarche mise en œuvre

La démarche suivante a été mise en œuvre :

- Calculs de stabilité à l'échelle du gradin : Recherche des dièdres potentiellement instables et évaluation de leur facteur de sécurité. Pour ces calculs, le réseau de fractures propre à chaque front est introduit, c'est-à-dire d'une part les trois grandes familles de discontinuités FP1, FP2 et FP3 et d'autre part les familles d'orientation variable spécifiques aux différents secteurs de la carrière ;
- Calculs de stabilité à l'échelle du front (stabilité globale – grands dièdres). Pour ces calculs, seules les familles directionnelles, de grande extension, sont introduites (FP1-FP2 et FP3).

Les trois grandes familles FP1, FP2 et FP3 se caractérisent d'une part par leur présence dans tous les secteurs de la carrière et d'autre part par l'extension importante de ces discontinuités.

Ces familles principales avaient déjà été utilisées dans les études de stabilité globale antérieures (notamment 2006 et 2009). Leur existence et leurs caractéristiques ont été confirmées :

- Par les prises de vues stéréoscopiques aériennes réalisées par Gipéa en 2011
- Par les diagraphies en forages réalisées par Semm-Logging en 2011

Les calculs de stabilité du présent rapport prennent donc en considération (cf. liste bibliographique en Annexe B) :

- Les calculs de stabilité d'Antea Group de 2006, 2009 et 2010 ;
- La Note Armines de Juillet 2009 ;
- La Note GIPEA de février 2011 ;
- Les résultats des sondages et diagraphies réalisés en Juin/Juillet 2011 et les recommandations d'Antea Group de Juillet 2011 qui en découlent ;
- Le retour d'expérience de l'exploitant.

Les calculs sont réalisés sur la base du plan d'exploitation final (ou fosse ultime) qui constitue la situation la plus pénalisante pour la stabilité compte tenu du mode d'exploitation. Les calculs de stabilité pour chaque direction des fronts de taille sont développés dans les paragraphes 4.4 à 4.9.

### 4.3. Paramètres mécaniques

Les paramètres mécaniques des fractures impliquées sont issus des retours d'expérience successifs (observation des dièdres stables/instables).

En 2009, l'étude ANTEA ref. A55102A préconisait des gradins de 15 m de haut pour des risbermes de largeur 15 m. Cette géométrie était valable pour l'ensemble des fronts et se basait sur les paramètres mécaniques issus d'un rétrocalage réalisé lors de l'étude ANTEA de 2006 (rapport A41151/A - cf. Tableau 5).

	Cohésion C (kPa)	Frottement $\varphi$ (degré)
Paramètres mécaniques	10	35

Tableau 5 : Paramètres mécaniques des fractures issus du rétrocalage 2006

Lors de l'étude de la stabilité du stock-pile en 2011 (étude ANTEA A60536/B de mars 2011), les paramètres mécaniques des fractures du secteur Nord de la carrière ont été ajustés pour tenir compte de la bonne stabilité des fronts d'orientation Est-Ouest dans le secteur Nord de la carrière. Cet ajustement concernait les plans de fracture N1, N2 et N4 (dièdres en état de stabilité apparent). Les paramètres mécaniques des discontinuités majeures FP1 et FP2 (N3) n'ont volontairement pas été modifiés (cf. Tableau 6).

Paramètres mécaniques	Cohésion C (kPa)	Frottement $\varphi$ (degré)
FP1	10	35
<b>N1</b>	<b>15</b>	<b>42</b>
<b>N2</b> ( $\approx$ FP3)	<b>15</b>	<b>42</b>
N3 ( $\approx$ FP2)	10	35
<b>N4</b>	<b>15</b>	<b>42</b>

Tableau 6 : Paramètres mécaniques – Rétrocalage local 2011

#### 4.4. Extension du front Nord

L'extension Nord sera exploitée suivant un front de taille en trois tronçons d'azimuts N90°, N110° et N130°. Les gradins présenteront une hauteur de 15 m et les banquettes une largeur de 15 m. La pente des gradins sera d'environ 75-78°.

Le réseau de fractures observé sur le front Nord est donné dans le tableau et la figure ci-dessous qui montre également les trois orientations du front nord.

	Familles relevées sur le front Nord (étude ANTEA 2011)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
FP2		FP3 : N90 - 60S
FP3		FP2 : N0 - 70W
N1	N60 – 60SE	
N2	N100 – 60SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
N3	N160 – 60SW	(≈FP2 : N0 - 70W)
N4	N170 – 60NE	

Tableau 7 : Familles de discontinuités sur le front Nord et familles principales

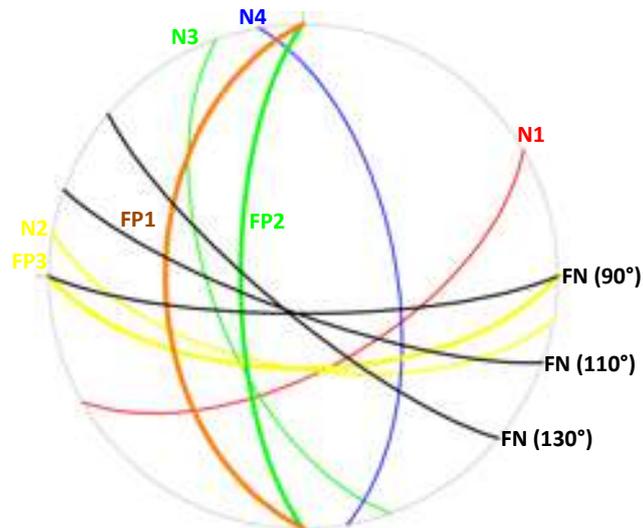


Figure 8 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord (FN)

#### 4.4.1. Stabilité des gradins du front Nord - Glissement de type dièdres

De nombreux glissements de type dièdres sont géométriquement possibles sur le front Nord. Les stéréogrammes ci-dessous permettent de visualiser les instabilités potentielles pour chaque orientation du front Nord (N90, N110 et N130).

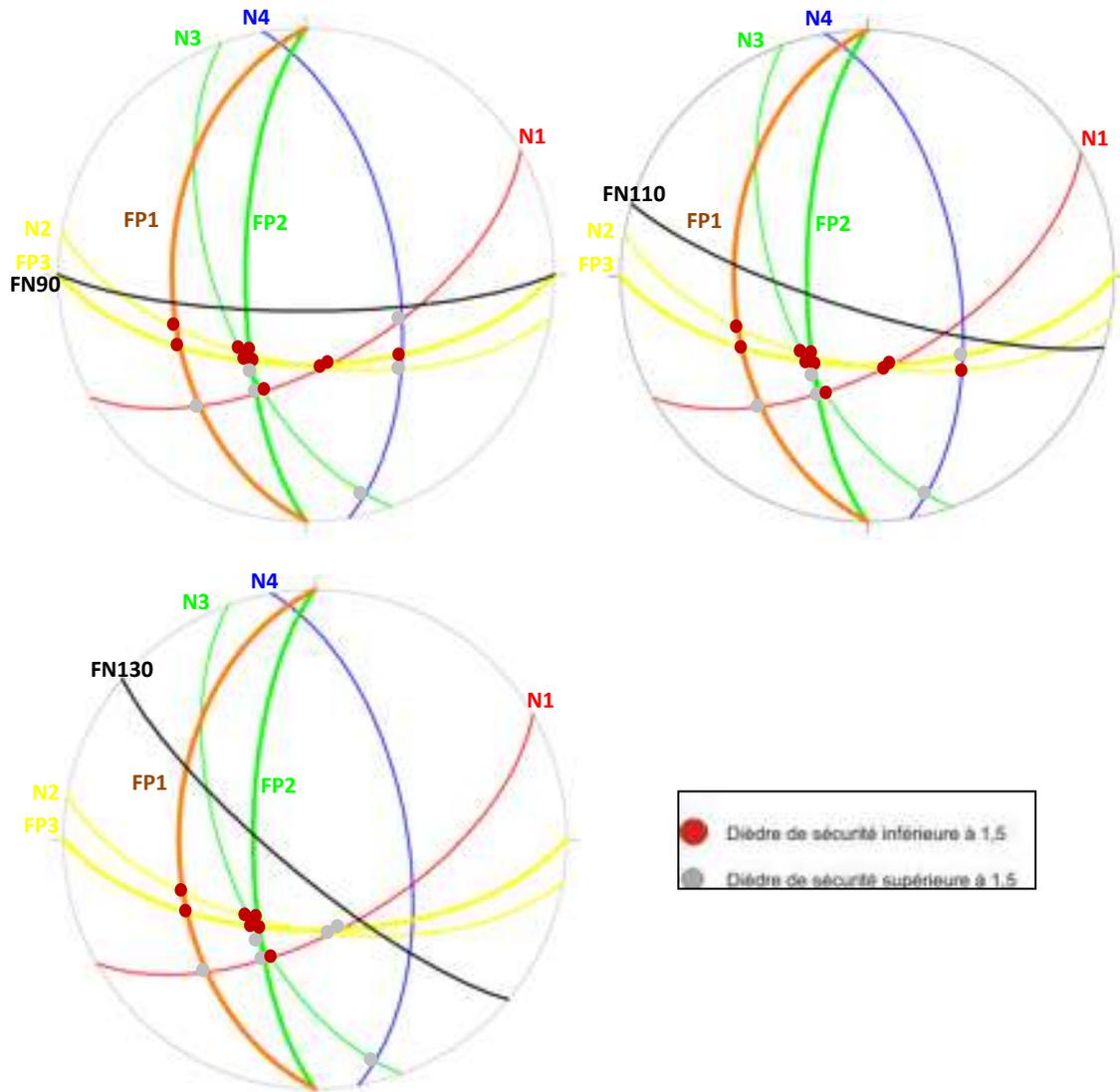


Figure 9 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord.

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre, sont données dans le tableau ci-dessous.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>Front Nord 90°</b>			
FP1-N1	2.10	2456	0
<b>N3-N2</b>	<b>1.0</b>	<b>2093</b>	<b>9.0</b>
<b>N3-N1</b>	<b>1.33</b>	<b>1222</b>	<b>5.5</b>
N3-N4	18.69	44	0
FP2-N3	4.18	120	7.9
FP2-N1	1.65	1118	5.0
<b>N1-N2</b>	<b>1.0</b>	<b>1668</b>	<b>9.1</b>
N4-N2	1.75	2002	7.5
<b>Front Nord 110°</b>			
<b>FP1-N2</b>	<b>1,36</b>	<b>2 751</b>	<b>7,9</b>
FP1-N1	2,14	1 426	3,2
<b>N3-N2</b>	<b>0,99</b>	<b>2 093</b>	<b>9</b>
<b>N3-N1</b>	<b>1,30</b>	<b>1 155</b>	<b>4,7</b>
N3-N4	20,48	66	0
<b>FP1-FP3</b>	<b>1,42</b>	<b>2 088</b>	<b>5,5</b>
<b>FP2-N2</b>	<b>1,05</b>	<b>1 909</b>	<b>9,1</b>
<b>FP2-FP3</b>	<b>1,13</b>	<b>1 040</b>	<b>8,3</b>
FP2-N3	3,84	199	6,7
FP2-N1	1,64	971	4
<b>FP3-N3</b>	<b>1,02</b>	<b>1 233</b>	<b>8,1</b>
<b>Front Nord 130°</b>			
<b>FP1-N2</b>	<b>1.23</b>	<b>2082</b>	<b>3.8</b>
FP1-N1	2.14	1272	0
<b>N3-N2</b>	<b>0.93</b>	<b>1044</b>	<b>8.2</b>
<b>N3-N1</b>	<b>1.28</b>	<b>1222</b>	<b>5.5</b>
N3-N4	15.25	220	0
<b>FP1-FP3</b>	<b>1.34</b>	<b>2261</b>	<b>1.9</b>
<b>FP2-N2</b>	<b>1.04</b>	<b>667</b>	<b>8.7</b>
<b>FP2-FP3</b>	<b>1.12</b>	<b>638</b>	<b>8.05</b>
FP2-N3	3.5	393	6.8
FP2-N1	1.64	845	4.6
<b>FP3-N3</b>	<b>0.97</b>	<b>1025</b>	<b>7.6</b>

Tableau 8 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord

Pour la partie du front Nord orientée  $N90^\circ$ , les dièdres présentant un risque à long terme sont ceux formés par les discontinuités N3-N1. Ils impliquent néanmoins des volumes faibles. Sous réserve d'une largeur initiale de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle reste supérieure à 5 m.

Les dièdres présentant un risque à court terme sont ceux formés par les discontinuités N3-N2, et N1-N2. Ils impliquent néanmoins des volumes faibles. Sous réserve d'une épaisseur de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle est d'environ 9 m.

Pour la partie du front Nord orienté  $N110^\circ$ , les dièdres présentant un risque à long terme sont ceux formés par les discontinuités FP1-N2, FP1-FP3 et N3-N1. Ils impliquent néanmoins des volumes faibles. Sous réserve d'une largeur initiale de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle reste comprise entre 4 et 8 m.

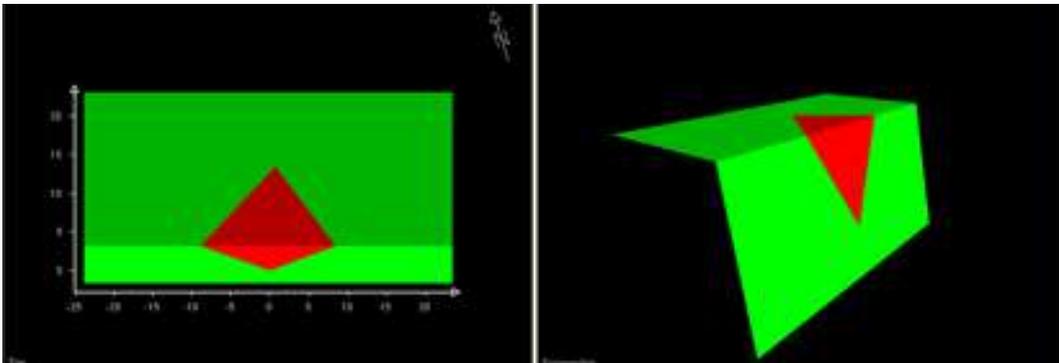


Figure 10 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités N3 et N1 sur le front Nord orienté  $N110^\circ$

Les dièdres présentant un risque à court terme sont ceux formés par les discontinuités N2-N3, , FP2-N2, FP2-FP3 et FP3-N3. Ils impliquent néanmoins des volumes faibles. Sous réserve d'une épaisseur de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle sera comprise entre 8 et 9 m.

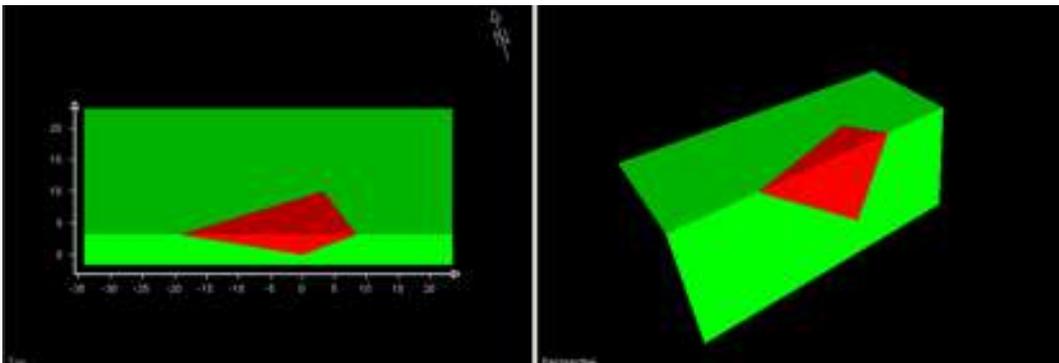


Figure 11 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP3 et N3 sur le front Nord orienté  $N110^\circ$

Pour la partie du front Nord orienté N130°, les dièdres présentant un risque à long terme sont ceux formés par les discontinuités FP1-FP3 qui peuvent atteindre environ 2200 tonnes et réduire à environ 2 m la largeur résiduelle de la banquette, pour une largeur initiale de 15 m.

Les dièdres présentant un risque à court terme sont ceux formés par les discontinuités FP1-N2, N3-N2, N3-N1, FP2-N2, FP2-FP3 et FP3-N3. Ils impliquent néanmoins des volumes relativement faibles. Sous réserve d'une épaisseur de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle sera comprise entre 4 et 9 m.

#### 4.4.2. Stabilité des gradins du front Nord - Glissement de type plan

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des compartiments rocheux potentiellement impliqués dans des glissements plans.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>Front Nord 90°</b>			
N1	2,41	20	13,7
FP3 <sup>1</sup>	3,2	43	14
<b>N2</b>	<b>1,02</b>	<b>795</b>	<b>10,4</b>
<b>Front Nord 110°</b>			
<b>FP3</b>	<b>1,28</b>	<b>296</b>	<b>11,6</b>
<b>N2</b>	<b>1,04</b>	<b>1 182</b>	<b>9,8</b>
<b>Front Nord 130°</b>			
FP3	2,74	20	13,1
N2	1,75	66	12,3

Tableau 9 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord

Les seuls plans présentant un risque de glissement à court terme (facteur de sécurité proche de 1) sont les plans N2 au niveau des fronts d'azimut 90 et 110° et les plans FP3 au niveau des fronts d'azimut 110°. Les volumes concernés seront néanmoins réduits (largeur des banquettes résiduelles de l'ordre de 10 m ou plus).

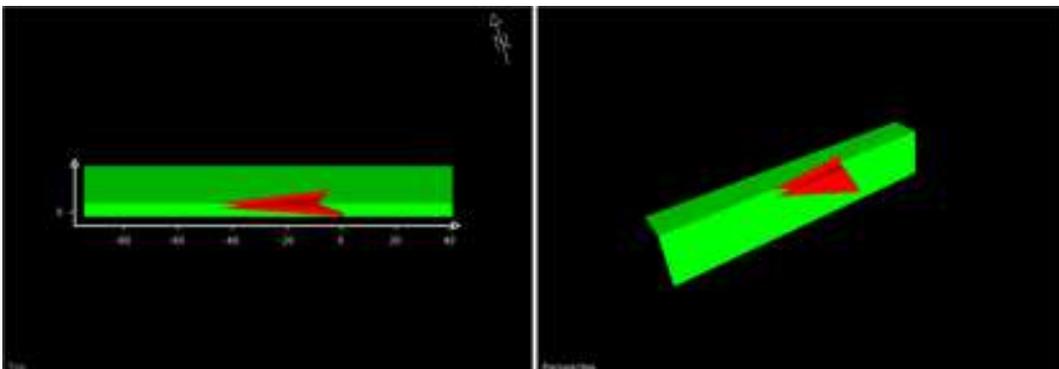


Figure 12 : Glissement plan sur N2 lors de son intersection avec N1 sur le front Nord orienté N110°

<sup>1</sup> Pour le glissement plan selon un plan FP3 sur le front d'azimut N90, la longueur des blocs considérés a été limitée à 50 m (dans l'axe du gradin) pour éviter des artefacts de calcul. Cette longueur reste très supérieure à l'espacement existant entre les plans susceptibles de délimiter les compartiments potentiellement instables.

#### 4.4.3. Stabilité globale du front Nord

Le front Nord présente une pente moyenne de 37° (pente enveloppe).

En considérant uniquement les familles principales (de grande extension), on n'identifie pas de glissement (de type grands dièdres ou glissement-plan) susceptible d'affecter le front Nord (cf. stéréogramme ci-dessous).

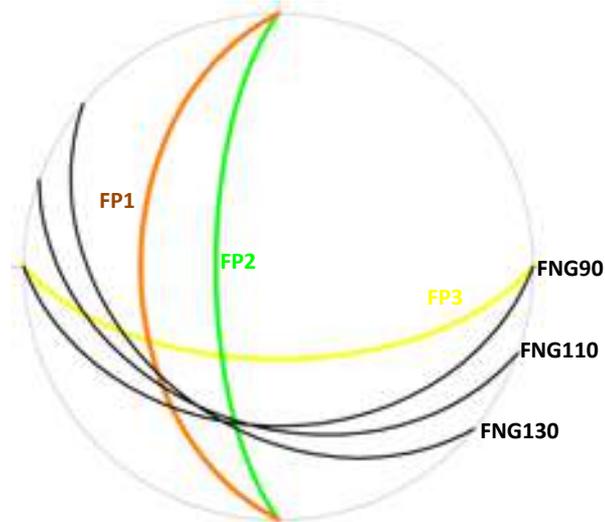


Figure 13 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale des différents tronçons du front Nord

#### 4.4.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord

Au niveau du front Nord, et à l'échelle du gradin, de nombreux dièdres sont géométriquement possibles. En cas de rupture, une largeur de gradin supérieure à 4-5 m sera conservée, à l'exception des dièdres impliquant les familles FP1 et FP3 au niveau des fronts d'azimut N130° qui sont susceptibles de réduire à 2 m la largeur résiduelle de la banquette.

En raison de la proximité de l'orientation du front (tronçons d'azimut N90 ou N110) avec les fractures d'orientation Est-Ouest, le principal risque réside dans les glissements plans le long de FP3 et N2. Les Facteurs de Sécurité sont faibles (proche de 1) mais les volumes impliqués sont faibles, avec une largeur de banquette résiduelle d'environ 10 m.

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan.

#### 4.5. Extension du front Nord-Est

L'extension Nord-Est sera exploitée suivant un front de taille N134° (FNE sur la Figure 14). Les gradins présenteront une hauteur de 15 m et les banquettes une largeur de 15 m. La pente des gradins sera d'environ 75-78°.

Le réseau de fractures considéré sur le front Nord-Est et les familles principales sont rappelés dans le tableau ci-dessous et à l'aide de la projection hémisphérique inférieure présentée sur la figure ci-après.

	Familles relevées sur le front Est (étude ANTEA 2006)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
FP2		FP2 : N90 - 60S
FP3		FP2 : N0 - 70W
E1	N40 – 80SE	
E2	N10 – 60NW	(≈FP2 : N0 - 70W)
E3	N110 – 75SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
E4	N40 – 30NW	
E5	N150 – 65NE	

Tableau 10 : Familles de discontinuités sur le front Nord-Est (FNE) et familles principales

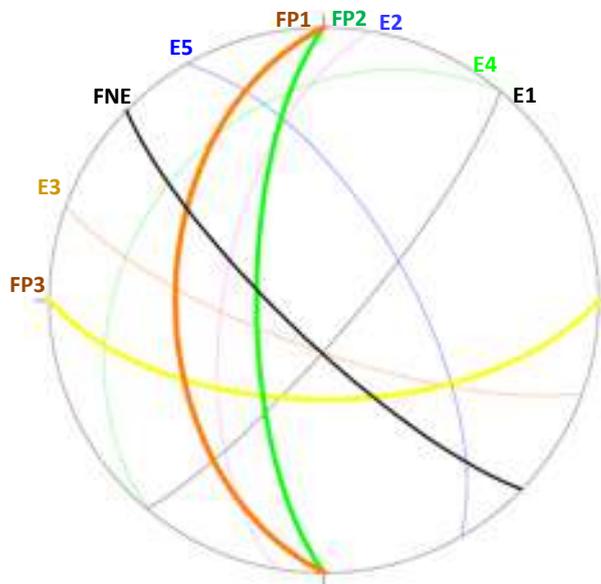


Figure 14 : Projection stéréographique (hémisphère inférieure) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord-Est (FNE)

Le sondage S5 réalisé en 2011 à l'aplomb du futur front Nord-Est apporte quelques indications complémentaires (voir en Figure ci-dessous le diagramme de Schmidt issu des diagraphies optiques et ultrasoniques). Ce sondage a une profondeur limitée de 25 m (entre les cotes 696 et 671 NGF) et les renseignements qu'il apporte sont donc limités à la partie supérieure du front. Les diagraphies réalisées dans ce sondage sont par ailleurs d'une qualité assez moyenne.

Les résultats de ces diagraphies mettent néanmoins en évidence la prédominance de fractures orientées N170 à N30 à pendage compris entre 60 et 90 ° (sub-vertical). Ces orientations sont assimilables à la famille FP2 à pendage Ouest.

Le diagramme met également en évidence des fractures à pendage Nord assimilables à la famille E5.

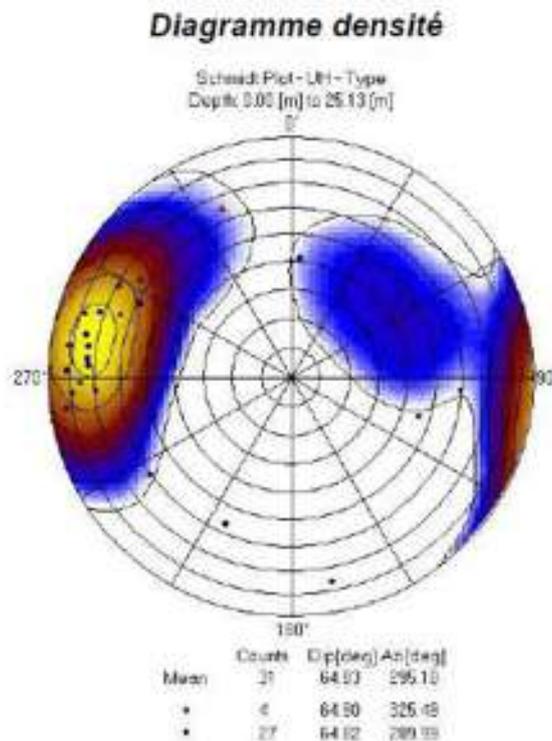


Figure 15 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage S5

#### 4.5.1. Stabilité des gradins du front Nord-Est - Glissement de type dièdres

Les glissements de type dièdres sont géométriquement possibles sur le front Nord-Est. Le stéréogramme ci-dessous permet de visualiser les instabilités potentielles.

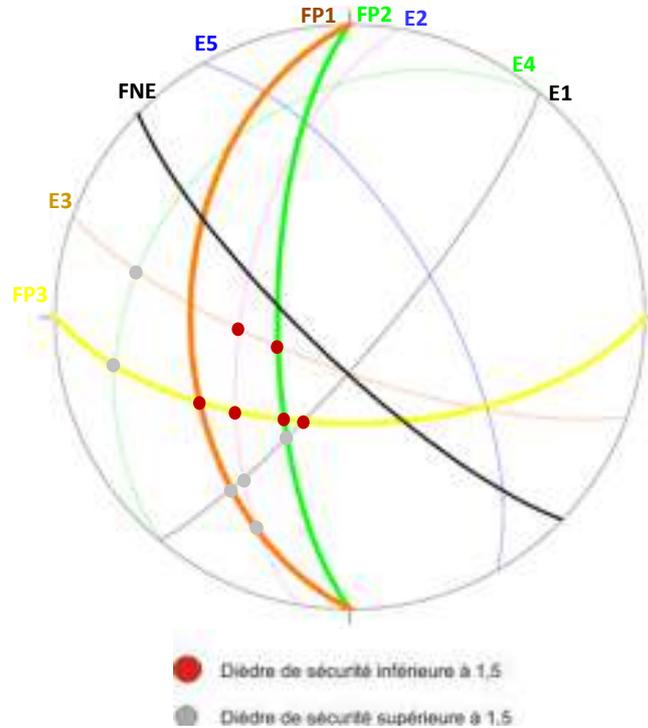


Figure 16 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord-Est.

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre sont données dans le tableau ci-dessous.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>FP1-FP3</b>	<b>1,19</b>	<b>2 357</b>	<b>1,53</b>
FP1-E1	2,65	852	0
FP1-E2	11,59	196	0
<b>FP2-E3</b>	<b>1,01</b>	<b>105</b>	<b>12,74</b>
<b>FP2-FP3</b>	<b>0,93</b>	<b>607</b>	<b>8,16</b>
FP2-E1	1,81	395	6,75
FP3-E4	3,27	766	0
<b>FP3-E2</b>	<b>1,11</b>	<b>1 158</b>	<b>4,79</b>
<b>FP3-E1</b>	<b>1,32</b>	<b>232</b>	<b>9,41</b>
<b>E2-E3</b>	<b>0,96</b>	<b>270</b>	<b>11,22</b>
E4-E3	2,04	2 286	0
E2-E1	2,95	717	2,82

Tableau 11 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord-Est

Le dièdre présentant un risque à long terme ( $FS=1,32$ ) est celui formé par les discontinuités FP3-E1. Il implique néanmoins des volumes faibles. Sous réserve d'une largeur initiale de la banquette de 15 m, la largeur résiduelle après rupture resterait de 9 m environ.

Les dièdres présentant un risque à court terme ( $FS$  de l'ordre de 1 à 1,3) sont ceux formés par les discontinuités FP1-FP3, FP2-E3, FP2-FP3, FP3-E2 et E2-E3. Les Facteurs de Sécurité sont proches de 1 mais les largeurs de banquette résiduelle restent supérieures à 4 m, à l'exception du dièdre formé par FP1-FP3 (banquette résiduelle de 1,5 m).

Malgré la représentativité et la qualité limitées du sondage S5, on peut néanmoins noter que les diagraphies montre la quasi-inexistence des familles FP1 et FP3, ce qui permet de relativiser les résultats de calcul.

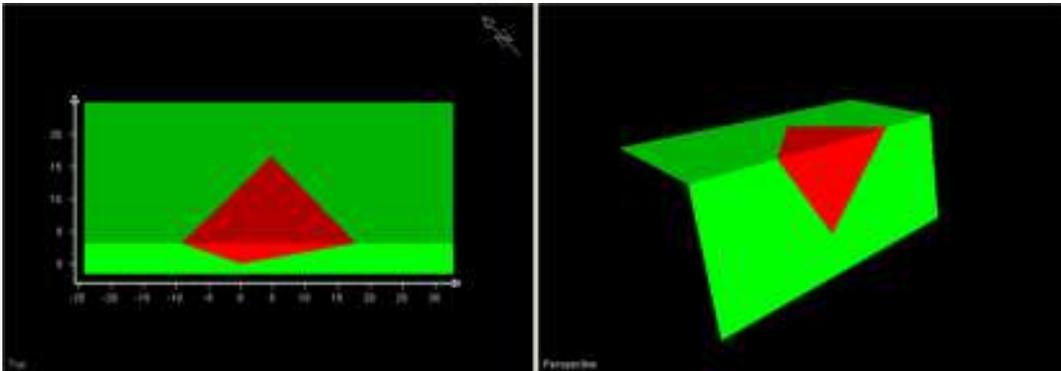


Figure 17 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et FP3 sur le front Nord-Est.

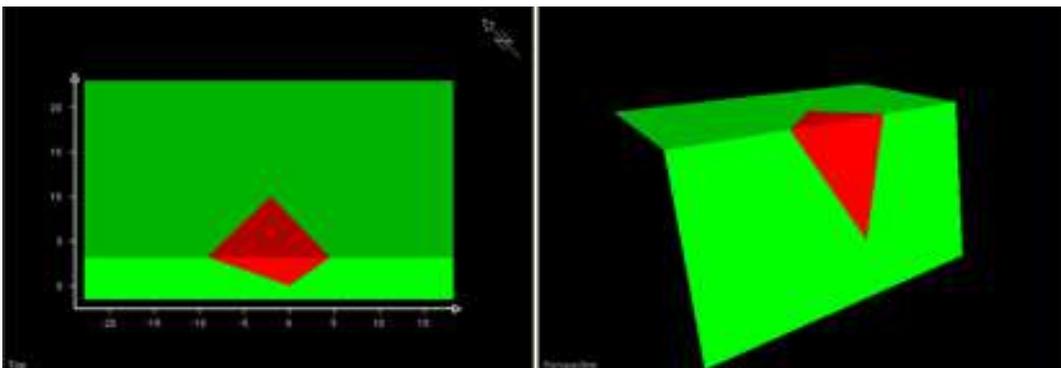


Figure 18 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP2 et FP3 sur le front Nord-Est.

#### 4.5.2. Stabilité des gradins du front Nord-Est - Glissement de type plan

Le plan de fracture pouvant être impliqué dans un glissement plan est la discontinuité E3. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques du bloc potentiellement instable.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>E3</b>	<b>0,85</b>	<b>850</b>	<b>8,61</b>

Tableau 12 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord-Est.

Notons que le glissement le long d'un plan de la famille E3 présente un risque à court terme (FS inférieur à 1) mais que le volume maximal impliqué restera réduit (largeur de la banquette résiduelle estimée à 8 m). De même que pour les glissements de type dièdres, aucune fracture de la famille E3 n'a été détectée par les diagraphies dans le sondage S5, ce qui permet de pondérer ce résultat.

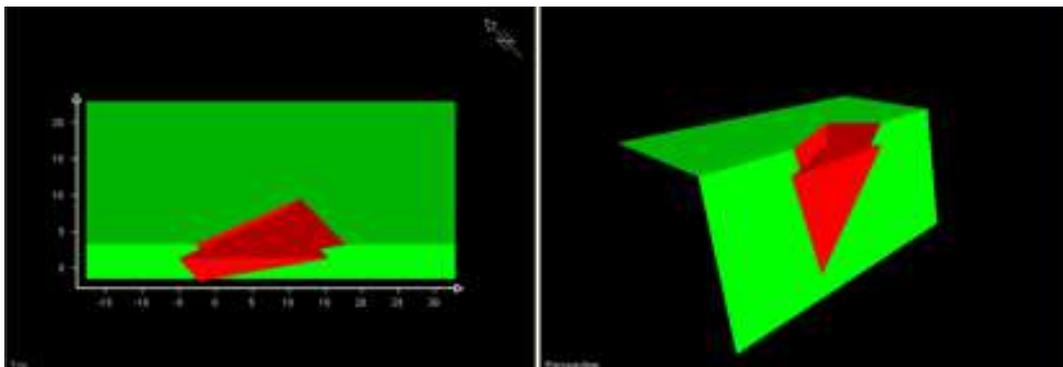


Figure 19 : Glissement plan sur E3 lors de son intersection avec FP1 sur le front Nord-Est.

#### 4.5.3. Stabilité globale du front Nord-Est

Le front Nord –Est présente une pente moyenne de 37° (pente enveloppe).

En considérant uniquement les familles principales (grande extension), on n'identifie pas de glissement (de type grands dièdres ou glissement-plan) susceptible d'affecter le front Nord-Est (cf. stéréogramme ci-dessous).

Cette analyse est également confirmée par les diagraphies dans le sondage S5 qui n'ont mis en évidence aucune discontinuité de pendage inférieur à 45°. Ce sondage n'a donc traversé aucune fracture de pendage inférieur à la pente globale du front.

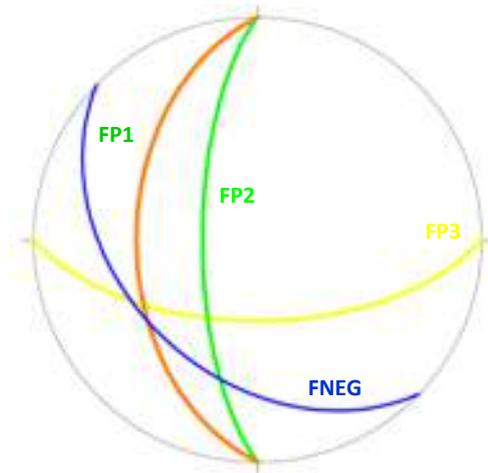


Figure 20 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale de gradin du front Nord-Est (FNEG)

#### 4.5.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord-Est

Au niveau du front Nord-Est, et à l'échelle du gradin, de nombreux dièdres sont géométriquement possibles. Néanmoins, en cas de rupture, une largeur de gradin supérieure à 4 m sera conservée.

Seul le dièdre formé par les familles FP1 et FP3 pourrait conduire à une largeur résiduelle plus faible (1,5 m minimum). Mais la probabilité semble très réduite puisqu'aucune de ces deux familles n'a été identifiée par le sondage S5.

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan.

#### 4.6. Extension du front Est

L'extension Est sera exploitée suivant un front de taille N180° (FE sur la Figure 21). Les gradins présenteront une hauteur de 15 m et les banquettes une largeur de 15 m. Le fruit des gradins sera d'environ 75-78°.

Les banquettes suivantes conserveront une largeur supérieure à 15 m :

- Cote 680 : banquette de 30 m de largeur ;
- Cote 605 : banquette de 20 m de largeur.

Le réseau de fracture observé sur le front Est est présenté dans le Tableau 10 et sur la figure ci-dessous.

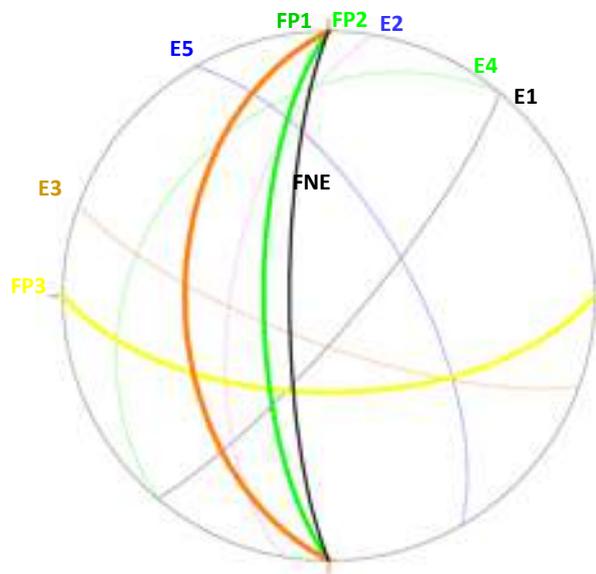


Figure 21 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Est (FE)

Les forages et les diagraphies NS2bis, NS1 et S39 ont été réalisés en 2011 au niveau du front Est. Leurs diagrammes de Schmidt sont donnés ci-après :

**Diagramme densité**

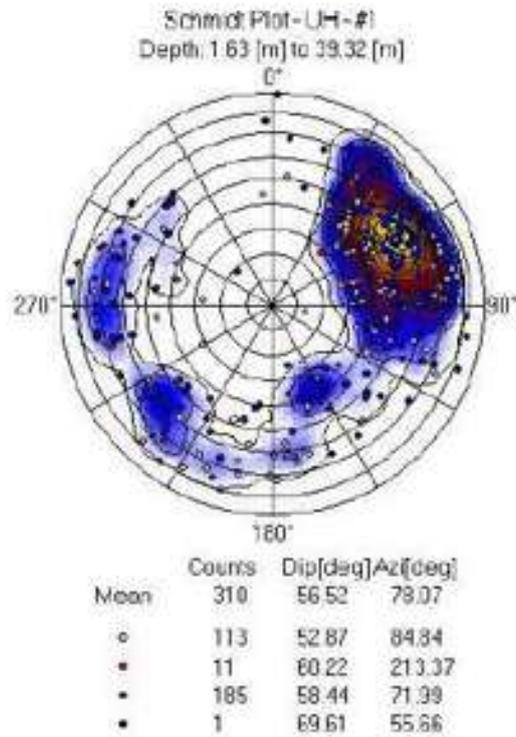


Figure 22 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage NS2bis (FE)

**Diagramme densité 0 – 50 m**

**Diagramme densité 50 – 101 m**

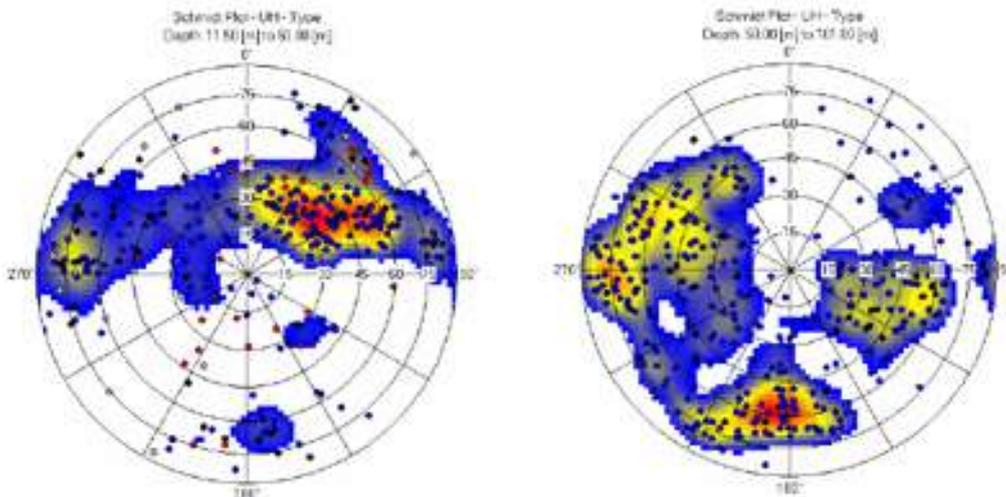


Figure 23 : Synthèse stéréographique des diagraphies du sondage NS1 (FE)

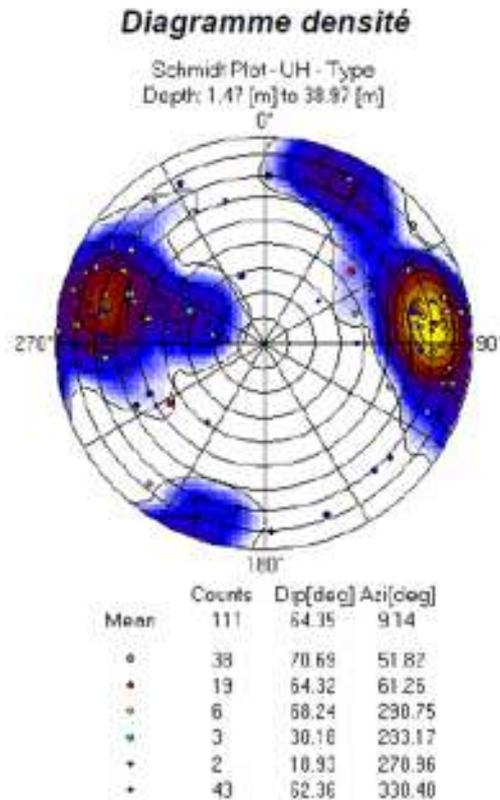


Figure 24 : Synthèse stéréographique des diagaphies du sondage S39 (FE)

Ces diagaphies mettent en évidence :

- la présence fréquente des familles à pendage Ouest assimilables à FP1, FP2, E2 et E4. La famille FP2 reste majoritairement représentée. On notera néanmoins que les discontinuités assimilables à FP1 présentent une forte dispersion des orientations et pendages. Des faibles pendages sont notamment notés dans la partie inférieure de NS1 (50 à 100 m de profondeur) ;
- la présence de fractures à pendage Sud assimilable à FP3 (E3) ;
- la présence de fractures à pendage Est à Nord-Est, assimilable à E5.

On rappelle également la présence potentielle de la faille majeure d'orientation N100/75°E décrite dans l'étude Redland de 1998. Comme on l'a vu au paragraphe 2.2.3.3, l'existence de cette faille est discutable et dans tous les cas, elle ne semble pas être accompagnée d'une zone brêchique. Pour les calculs de stabilité à l'échelle du front, on a donc tenu compte de cette faille, assimilée à la famille de fracture E3 dont l'orientation est comparable.

#### 4.6.1. Stabilité des gradins du front Est - Glissement de type dièdres

Les glissements de type dièdres sont possibles sur le front Est. Le stéréogramme ci-dessous permet de visualiser les instabilités potentielles.

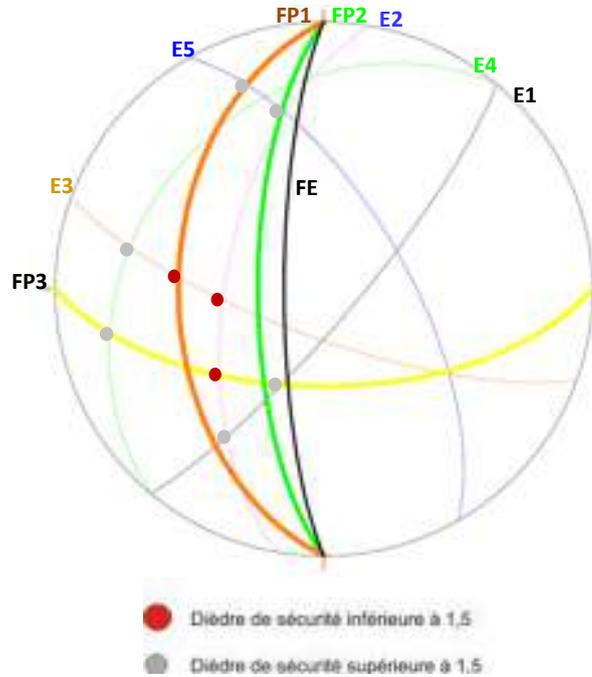


Figure 25 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front est.

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre sont données en Tableau 13.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
FP1-E5	3,62	21 752	3,50
<b>FP1-E3</b>	<b>0,96</b>	<b>51 801</b>	<b>3,17</b>
FP2-E5	3,41	2 596	12,32
FP3-E4	3,28	688	0
<b>FP3-E2</b>	<b>1,13</b>	<b>1 875</b>	<b>7,86</b>
FP3-E1	5,74	3	14,37
E3-E4	2,09	1 336	0
<b>E3-E2</b>	<b>0,78</b>	<b>1 312</b>	<b>9,21</b>

Tableau 13 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front est.

Trois dièdres présentent un risque à court terme :

- les dièdres FP3-E2 et E3-E2. Ces deux dièdres impliquent des volumes faibles avec une largeur de la banquette résiduelle supérieure à 7 m ;
- le dièdre FP1-E3 implique un volume important bien que la largeur de la banquette résiduelle reste supérieure à 3 m.

On notera que les diagaphies réalisées dans le front Est, notamment NS2bis, NS1 et S39 montrent que l'occurrence des discontinuités FP1 et E3 est plus probable dans la partie basse du front Est (NS1 inférieur - entre 50 et 100 m de profondeur).

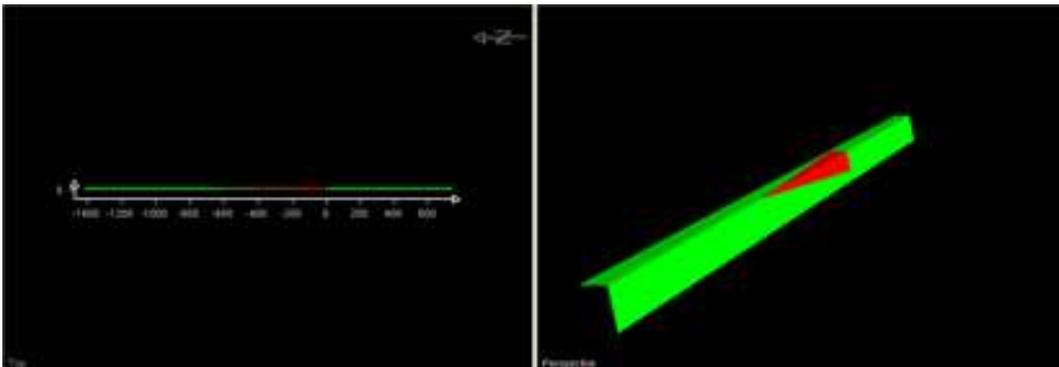


Figure 26 : Dièdre formé par l'intersection des discontinuités FP1 et E3 sur le front est.

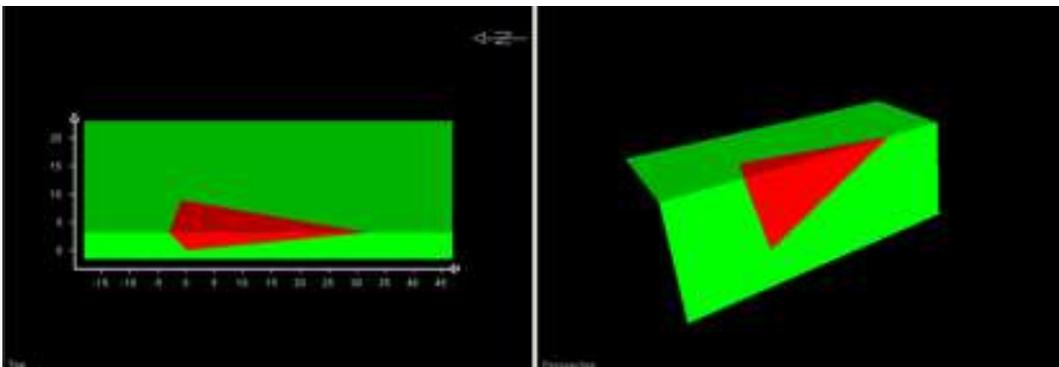


Figure 27 : Dièdre formé par l'intersection des discontinuités E2 et E3 sur le front est.

#### 4.6.2. Stabilité des gradins du front Est - Glissement de type plan

Les plans de fractures pouvant être impliqués dans un glissement plan sont les discontinuités FP1, FP2 et E2. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des blocs potentiellement instables.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>FP1</b>	<b>0,89</b>	<b>19 472</b>	<b>3,34</b>
<b>FP2</b>	<b>0,46</b>	<b>2 795</b>	<b>12,40</b>
<b>E4</b>	<b>1,22</b>	<b>56 646</b>	<b>2,80</b>
<b>E2</b>	<b>1,12</b>	<b>132</b>	<b>13,34</b>

Tableau 14 : Bilan des glissements de type plan sur le front Est.

Notons que les glissements le long de FP2 et E2 présentent un risque à court terme mais impliqueront des volumes réduits (largeur des banquettes résiduelles supérieure à 12 m).

Les glissements-plan le long de FP1 et E4 impliqueront des volumes plus importants (largeur de banquettes résiduelle d'environ 3 m).

Néanmoins, les diagraphies réalisées dans le front Est, montrent que l'occurrence des discontinuités FP1 et E4 est plus probable dans la partie basse du front Est (NS1 inférieur - entre 50 et 100 m de profondeur).

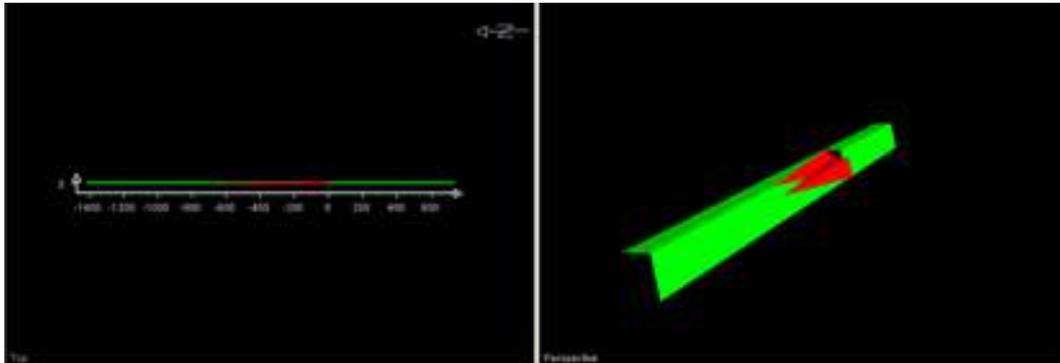


Figure 28 : Glissement plan sur FP1 lors de son intersection avec FP3 sur le front est.

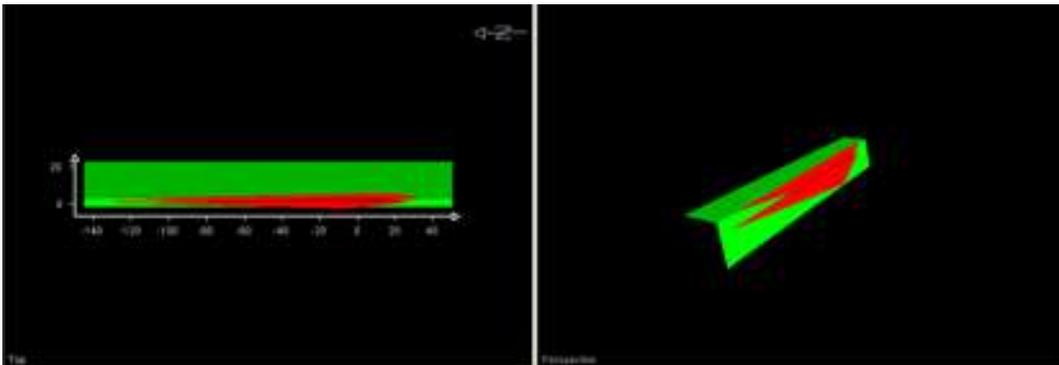


Figure 29 : Glissement plan sur FP2 lors de son intersection avec E2 sur le front est.

#### 4.6.3. Stabilité globale du front Est

Le front Est présente une pente moyenne de  $37^\circ$  (pente enveloppe).

Les familles de fractures principales sont considérées (FP1-FP2-FP3) mais également la faille majeure Est Ouest (FMEW) de pendage N100/75°E (cf. Tableau ci-dessous).

Familles principales	
FP1	N0 - 45W
FP2	N0 - 70W
FP3	N90 - 60S
Faille (FMEW)	N100 - 75

Tableau 15 : Familles principales et Faille Majeure Est-Ouest (front Est)

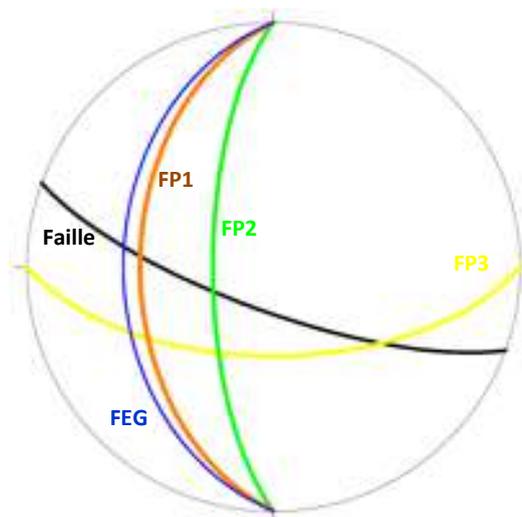


Figure 30 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Est (FEG)

Le stéréogramme ci-dessus montre que les glissements de type grands dièdres et glissement plan ne sont pas à considérer avec les orientations moyennes de grandes familles de fractures

Néanmoins, on notera que l'orientation du front est très proche de celle de la famille FP1. La diagraphie réalisée dans le sondage NS1-partie inférieure a montré la présence de 5 fractures traversantes à pendage Ouest compris entre 30 et 45°. Parmi ces fractures, on note en particulier la trace de deux fractures ouvertes dont la cote altimétrique est proche du niveau final des gradins à cet emplacement. Ces faibles pendages pourraient menacer la stabilité globale des fronts si les mesures en forages correspondaient à des fractures de grande extension.

La présence réelle de ces discontinuités à faibles pendages, et leur extension, sera donc à examiner lors de l'avancement.

Le cas échéant, les banquettes élargies prévues aux cotes 680 et 605 NGF pourraient être adaptées (modification de l'altitude de ces banquettes afin de bloquer en pied une éventuelle fracture de grande extension).

Plus généralement, on notera que ces banquettes élargies permettent de disposer d'une certaine marge de manœuvre pour adapter le plan d'exploitation en cas de ruptures localisée de gradins.

#### 4.6.4. Evolution du Coefficient de Sécurité du front Est

L'objet du présent paragraphe est d'évaluer le gain de stabilité apporté par le changement du mode d'exploitation :

##### Situation actuelle :

L'exploitation suit le pendage de la famille principale FP1 (45° vers l'ouest).

En supposant une cohésion nulle et l'absence de pressions interstitielles, le facteur de sécurité du glissement plan sur une fracture de la famille FP1 est donné par le ratio :

$F = \tan \varphi / \tan \beta$  (avec  $\varphi$  : angle de frottement et  $\beta$  : pente du front rocheux)

Pour un angle de frottement de 45°, on a un coefficient de sécurité  $F = 1$

##### Plan d'exploitation projeté :

La pente enveloppe des gradins est de 37° (et de 35° en considérant la totalité du front avec les deux banquettes élargies).

Dans les mêmes conditions de calcul, on aboutit à un coefficient de sécurité :

- de 1,32 pour une succession de gradins avec une pente enveloppe de 37°
- de 1,43 pour la stabilité de la totalité du front.

Par conséquent, par rapport à la situation actuelle, l'exploitation en gradin projetée permettra d'augmenter le facteur de sécurité globale du front Est vis-à-vis d'un grand glissement plan. Cette amélioration du coefficient de sécurité est évaluée :

- à 30% environ pour une succession de gradins avec une pente enveloppe de 37°
- A 40% environ pour la stabilité de la totalité du front.

#### 4.6.5. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Est

A l'échelle du gradin, et en raison de la proximité de l'orientation du front Est avec les fractures de pendage Ouest (FP1 – FP2 – E2 et E4), des glissements de type dièdres et plan sont possibles avec des facteurs de sécurité relativement faibles.

Pour autant, les discontinuités impliquées dans ces glissements (FP1, E3 et E4) sont peu représentées dans les données diagraphiques à l'exception du sondage NS1-Partie inférieure. L'occurrence de ces glissements semble donc plus probable pour la partie basse de l'exploitation.

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan pour les orientations moyennes des grands plans de fracture.

Une attention particulière devra être néanmoins être portée aux fractures de faible pendage Ouest repérées dans le sondage NS1-inférieur. En fonction de leur extension, ces fractures de faibles pendages (compris entre 30 et 45°) pourraient constituer un risque de glissement plan de grande ampleur.

La présence réelle de ces faibles pendages, et leur extension, sera à examiner lors de l'avancement.

Le cas échéant, les banquettes élargies prévues aux cotes 680 et 605 NGF pourraient être adaptées (modification de l'altitude de ces banquettes afin de bloquer en pied une éventuelle fracture de grande extension).

Si l'existence de la faille majeure N100/75°E est confirmée, celle-ci pourrait être impliquée dans des glissements de type dièdre à l'échelle du gradin. En revanche, elle ne compromet pas la stabilité du front à grande échelle. En tout état de cause, aucune zone bréchique ne semble associée à cette faille qui ne devrait donc pas causer d'instabilités ou de difficultés particulières d'exploitation.

De manière générale, la géométrie adoptée par le Front Est présente des éléments favorables à sa stabilité, notamment une augmentation du facteur de sécurité en raison de la diminution générale de sa pente-enveloppe.

#### 4.7. Extension du front Sud-Est

L'extension Sud-Est (FSE sur la Figure 6) sera exploitée suivant un front de taille N220°. Les gradins présenteront une hauteur de 15 m et les banquettes une largeur de 15 m. La pente des gradins sera d'environ 75-78°.

Pour ce front, les discontinuités observées sur le front Est, ainsi que les familles principales, sont considérées. Les orientations observées sur les diagraphies des sondages NS1 et S39 sont également introduites (fractures à pendage Est – E5 et E6).

	Familles relevées sur le front Est (étude ANTEA 2006)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
FP2		FP2 : N90 - 60S
FP3		FP2 : N0 - 70W
E1	N40 – 80SE	
E2	N10 – 60NW	(≈FP2 : N0 - 70W)
E3	N110 – 75SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
E4	N40 – 30NW	
E5	N150 – 65NE	
E6	N90 – 75E	

Tableau 16 : Familles de discontinuités sur le front Sud- Est (FSE) et familles principales

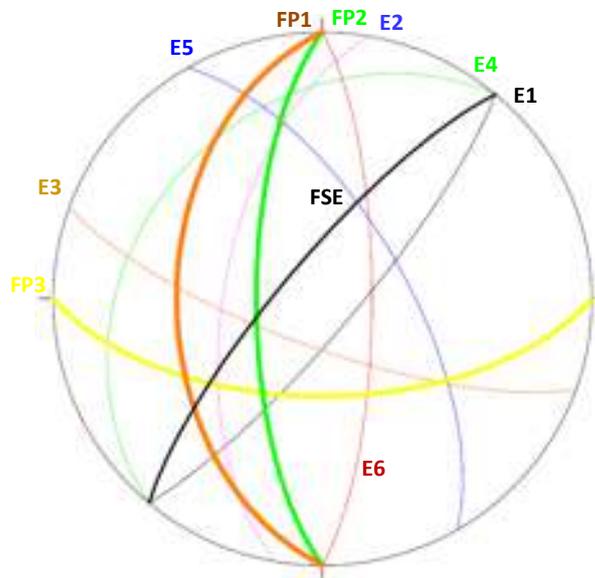


Figure 31 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Sud-Est (FSE)

#### 4.7.1. Stabilité des gradins du front Sud-Est - Glissement de type dièdres

Les glissements de type dièdres sont possibles sur le front Sud-Est. Le stéréogramme ci-dessous permet de visualiser les instabilités potentielles.

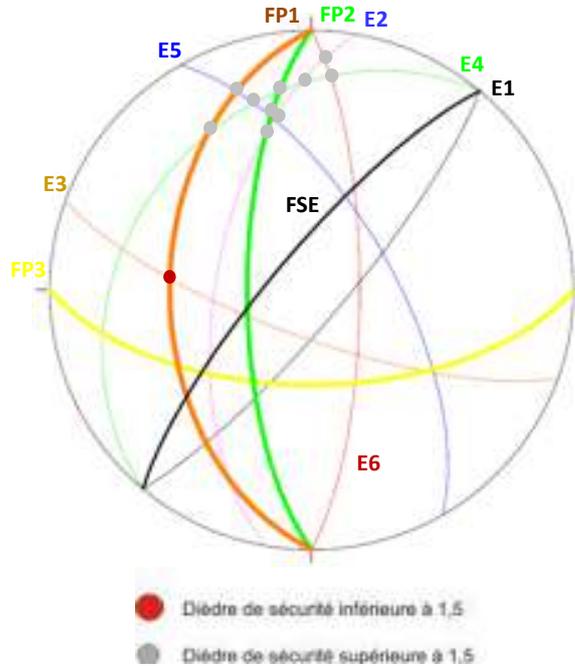


Figure 32 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front sud-est.

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre sont données dans le tableau ci-dessous.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
FP1-E5	4,15	534	0
FP1-E4	2,29	53 729	0
<b>FP1-E3</b>	<b>1,14</b>	<b>830</b>	<b>5,84</b>
FP2-E4	3,06	53 129	0
FP2-E5	2,98	1 130	0
FP2-E2	7,68	607	1,85
E4-E2	4,07	52 437	0
E4-E5	2,06	54 118	0
E2-E5	2,20	1 977	0,08
E6-E4	3,44	52 546	0
E6-E2	11,44	271	0

Tableau 17 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front sud-est.

L'unique dièdre présentant un risque à court terme est celui formé par les discontinuités FP1 et E3. Ce dièdre implique des volumes faibles avec une largeur de la banquette résiduelle supérieure à 5 m.

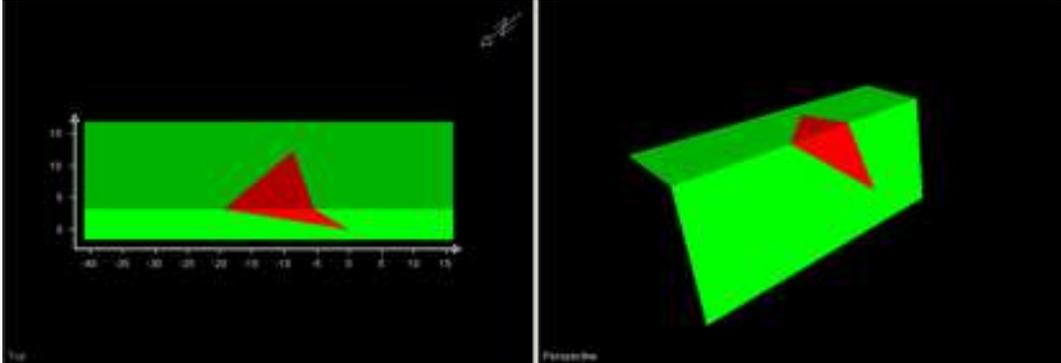


Figure 33 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et E3 sur le front sud-est.

#### 4.7.2. Stabilité des gradins du front Sud-Est - Glissement de type plan

Les plans de fracture pouvant être impliqués dans un glissement plan sont les discontinuités FP1, E4 et E2. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des blocs potentiellement instables.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>FP1</b>	<b>1,34</b>	<b>98</b>	<b>12,26</b>
E4	1,51	57 443	0
<b>E2</b>	<b>0,88</b>	<b>125</b>	<b>11,97</b>

Tableau 18 : Bilan des glissements de type plan sur le front sud-est.

Notons que les glissements le long de FP1 présentent un risque à long terme mais impliquent des volumes réduits (largeur de la banquette résiduelle supérieure à 12 m).

Le glissement le long de E2 présente un risque à court terme mais le volume mobilisé reste également faible (largeur de la banquette résiduelle proche de 12 m).

La masse mobilisée en cas de glissement le long de E4 serait supérieure à 55 000 tonnes et entraînerait une disparition totale de la banquette. Néanmoins, le facteur de sécurité correspondant est égal à 1,5 ce qui correspond à une stabilité à long terme. Par ailleurs, les diagrapies réalisées dans les forages NS1 et S39 proche du front Sud-Est, montrent que l'existence de cette famille de plans n'est pas généralisée. L'observation de la fracturation à l'avancement permettra de vérifier ce dernier point.

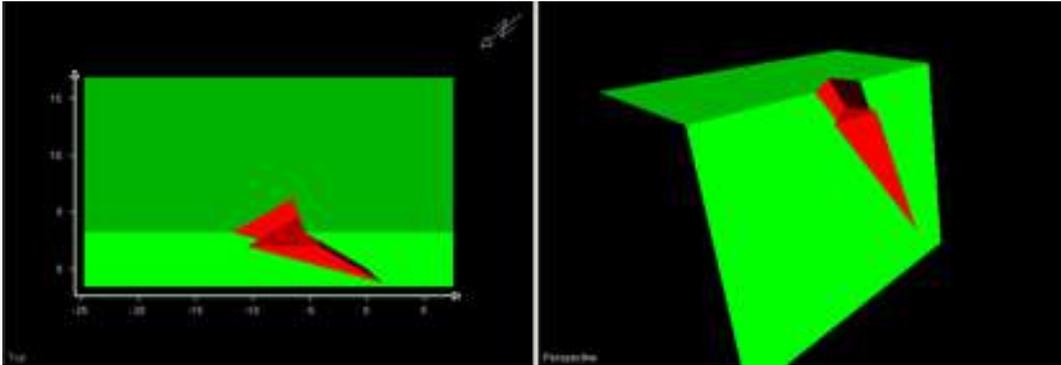


Figure 34 : Glissement plan sur E2 lors de son intersection avec E3 sur le front sud-est.

#### 4.7.3. Stabilité globale du front Sud-Est

En considérant uniquement les familles principales (de grande extension), on n'identifie pas de glissement (de type grands dièdres ou glissement-plan) susceptible d'affecter le front sud-est (cf. stéréogramme ci-dessous).

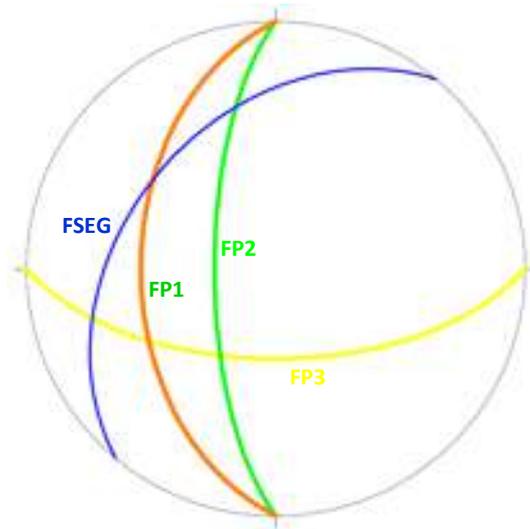


Figure 35 : Projection stéréographique (hémisphère inférieure) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale de gradin du front Sud-Est (FSEG)

#### 4.7.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Sud-Est

Peu de dièdres sont géométriquement possibles au niveau du Front Sud-Est. Le seul dièdre présentant un risque à court terme est celui formé par les discontinuités FP1 et E3, de faible volume.

Des glissements plans sont envisageables le long de FP1 et E2 mais impliquent également de faibles volumes.

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan suivant les grandes familles de fractures.

#### 4.8. Extension du front Sud

L'extension Sud (FS sur la figure 42) sera exploitée suivant un front de taille N243°. Les gradins présenteront une hauteur de 15 m et les banquettes une largeur de 15 m. La pente des gradins sera d'environ 75-78°.

SS

Le réseau de fractures considéré pour le front Sud est identique à celui pris en compte pour le front Sud-Est (cf. Tableau 16). Il est également rappelé sur la projection hémisphérique inférieure présentée à la figure ci-dessous.

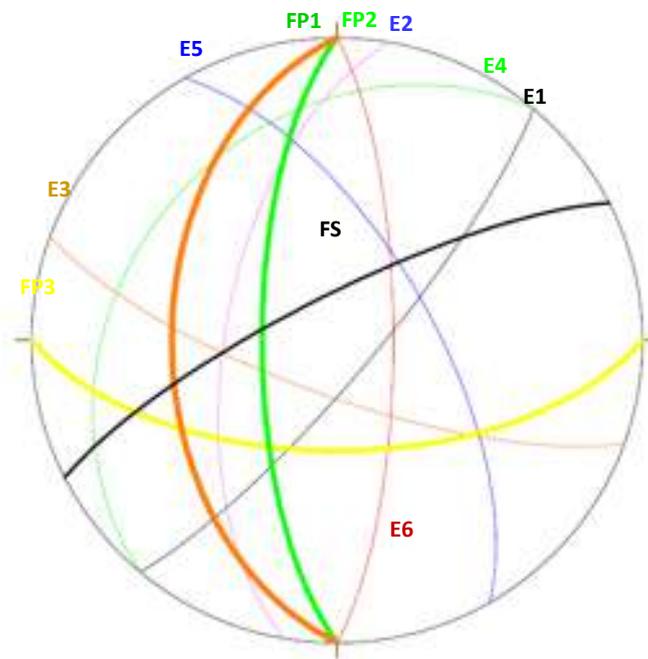


Figure 36 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures du front Sud (FS) et des familles principales

#### 4.8.1. Stabilité des gradins du front Sud - Glissement de type dièdres

Des glissements de type dièdres sont possibles sur le front Sud. Le stéréogramme ci-dessous permet de visualiser les instabilités potentielles.

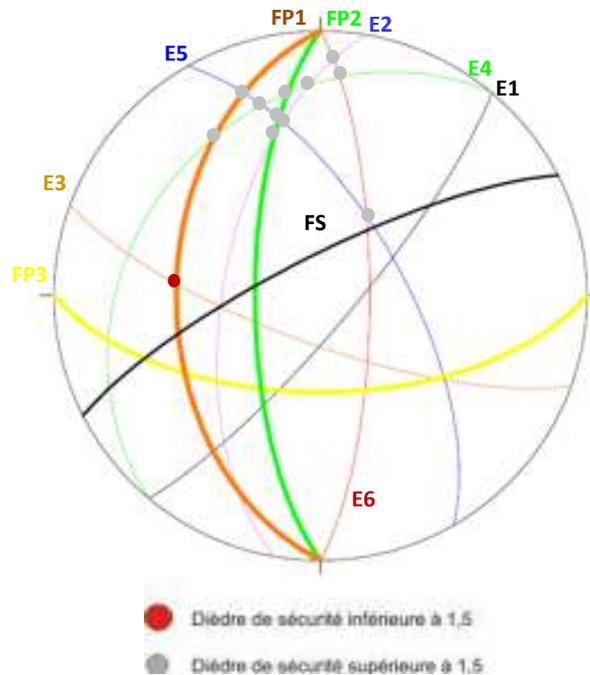


Figure 37 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Sud (FS)

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre sont données dans le tableau ci-dessous.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
FP1-E5	4,32	314	0
FP1-E4	2,54	1 708	0
<b>FP1-E3</b>	<b>1,49</b>	<b>204</b>	<b>10,32</b>
FP2-E4	3,32	1 372	0
FP2-E5	3,08	610	0
FP2-E2	8,00	331	0
E4-E2	4,49	1 114	0
E4-E5	2,17	1 933	0
E2-E5	2,38	932	0
E6-E5	5,22	5	13,75
E6-E4	3,77	1 148	0
E6-E2	12,68	89	0

Tableau 19 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Sud.

L'unique dièdre présentant un risque à long terme est celui formé par les discontinuités FP1 et E3 sur le front Sud.

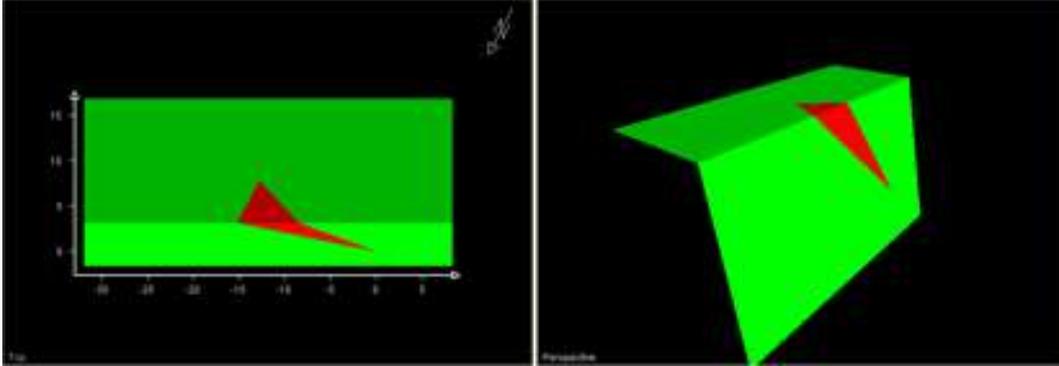


Figure 38 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP1 et E3 sur le front Sud.

#### 4.8.2. Stabilité des gradins du front Sud - Glissement de type plan

Le plan de fracture pouvant être impliqué dans un glissement plan est la discontinuité E4. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques du bloc potentiellement instable.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 15m)
<b>E4</b>	<b>1,45</b>	<b>4 696</b>	<b>0</b>

Tableau 20 : Bilan des glissements de type plan sur le front Sud.

Notons que les glissements le long de E4 présente un risque à long terme impliquant un volume de 4.696 t sans laisser de banquette résiduelle.

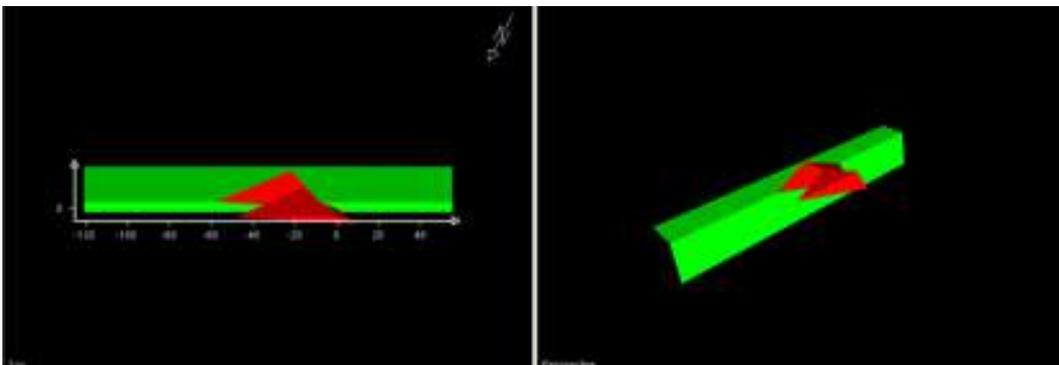


Figure 39 : Glissement sur E4 lors de son intersection avec E3 sur le front Sud.

#### 4.8.3. Stabilité globale du front Sud

En considérant uniquement les familles principales (de grande extension), on n'identifie pas de glissement (de type grands dièdres ou glissement-plan) susceptible d'affecter le front Nord-Ouest (cf. stéréogramme ci-dessous).

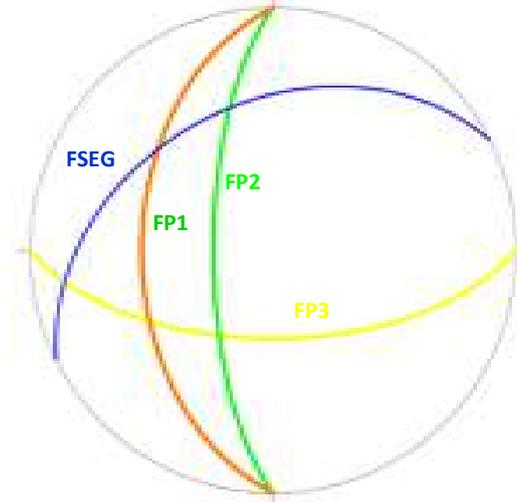


Figure 40 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Sud.

#### 4.8.4. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Sud

Le principal risque au niveau du front Sud réside dans un glissement plan à l'échelle du gradin, le long de E4. Néanmoins, les diagraphies réalisées dans les forages NS1 et S39 proche du front Sud-Est, montrent que l'existence de cette famille de plans n'est pas généralisée. L'observation de la fracturation à l'avancement permettra de vérifier ce point.

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan.

## 4.9. Front Nord-ouest (secteur de l'éperon du Mont Jean)

### 4.9.1. Présentation de l'aménagement

Dans le secteur Nord-Ouest de la carrière (cf. figure ci-dessous), l'encaissement de l'exploitation lié à l'existence de l'éperon du Mont Jean a conduit à adapter la géométrie de l'exploitation actuelle en augmentant la pente globale du front).

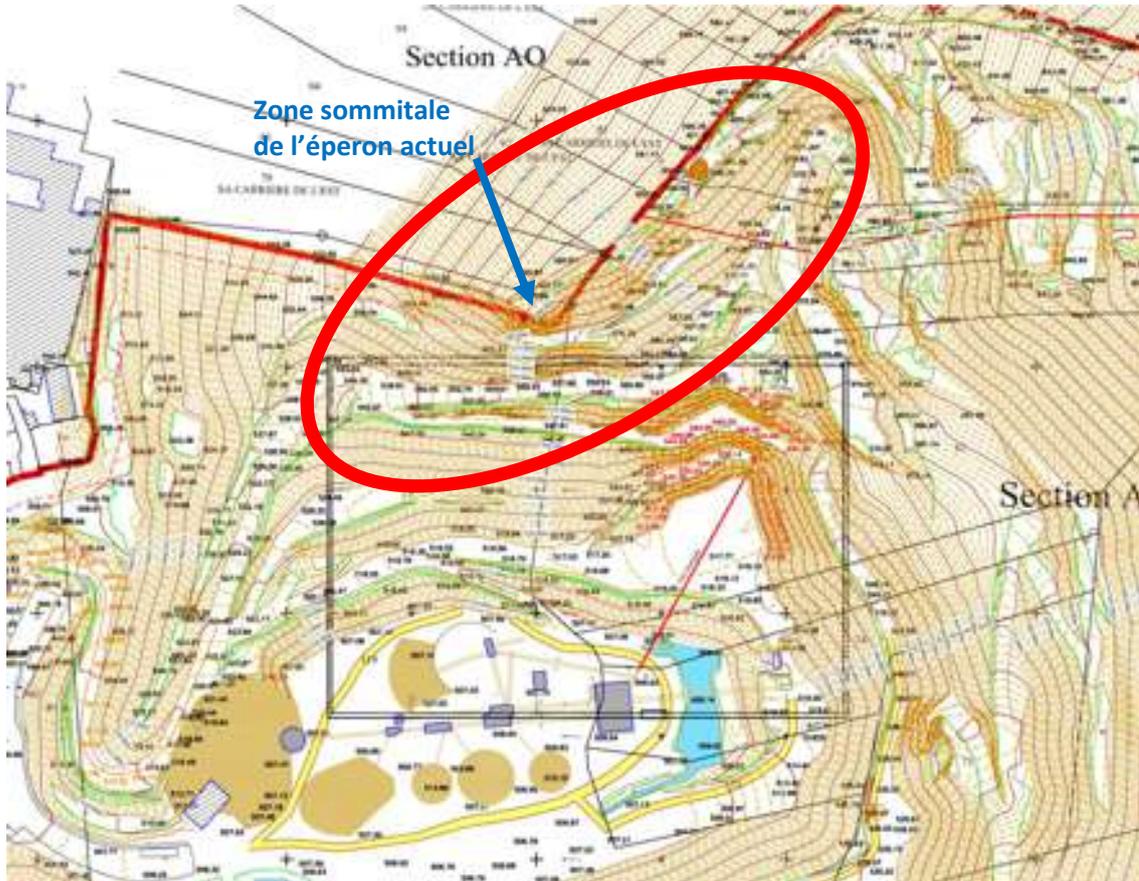


Figure 41 : localisation de l'éperon du Mont Jean (plan topographique octobre 2011)

Afin d'améliorer la stabilité dans ce secteur, le projet d'extension inclut le déplacement de la piste à l'emplacement actuel de l'éperon après arasement de celui-ci.

Le secteur de l'éperon correspond par ailleurs à la zone de contact entre le gisement de rhyodacite exploité et les pélites.

La géométrie projetée dans la zone de l'éperon est présentée sur les figures ci-dessous :

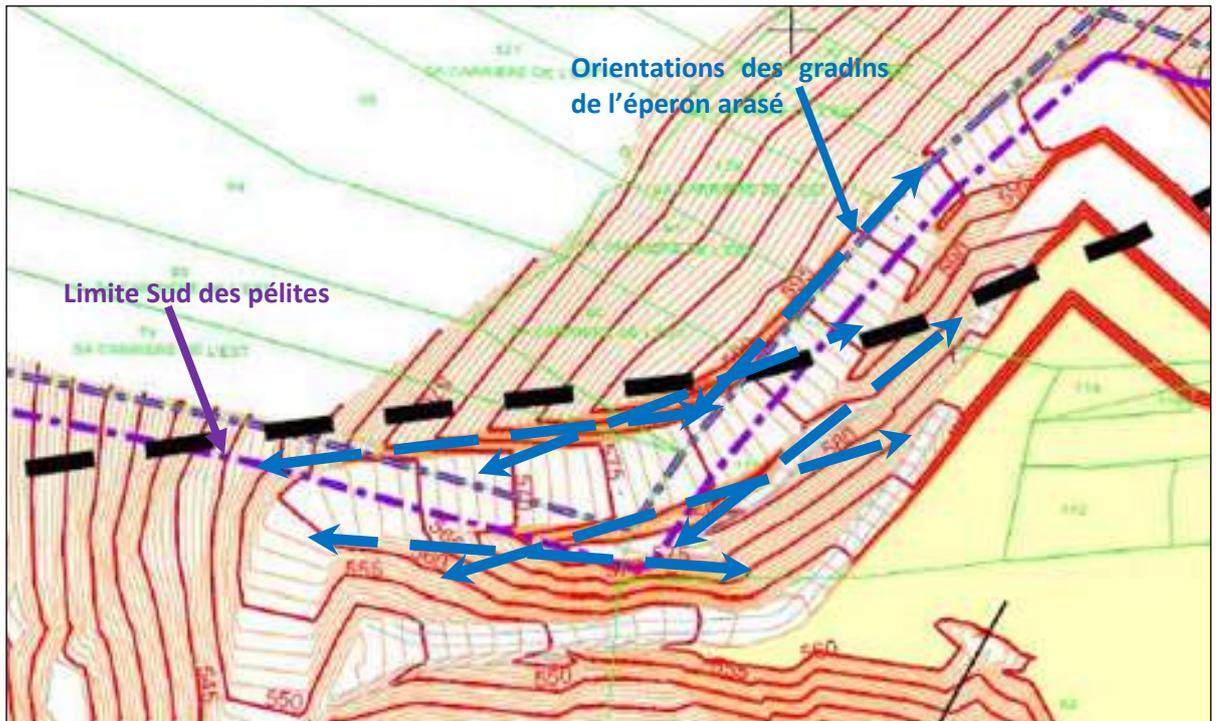


Figure 42 : Zoom sur le front Nord-Ouest et trace de la limite des pélites

#### Secteur Sud (rhyodacite) :

- la largeur de la piste principale (au sommet de l'éperon) est de 20 m ;
- la hauteur des gradins est de l'ordre de 15 m ;
- le 1<sup>er</sup> gradin supérieur (réalisé partiellement dans le gisement altéré) a une pente adoucie à 60°;
- le 2<sup>e</sup> gradin a une pente de l'ordre de 50°
- le gradin inférieur (560-575) présentera une hauteur de 15 m et la banquette inférieure une largeur de 10 m. La pente de ce gradin inférieur sera d'environ 75-78°. Il est rappelé que cette géométrie optimisée a pu être adoptée suite au rétrocalage local des paramètres mécaniques (cf. paragraphe 4.3) ;

#### Secteur Nord (pélites) :

- Les fronts actuels dans les pélites montrent une stabilité à long terme pour des fronts de 25 m de hauteur présentant des pentes de 50° (fronts aménagés il y a environ 4 ans).

- Les pélites seront aménagées en gradins de 15 m x 15 m avec une pente intégratrice de 40° environ.
- Pour assurer la stabilité de ces gradins, ils seront ensuite rapidement protégés des intempéries par la mise en place de remblais (matériau de scalpage primaire issu du gisement sain et compacté par le roulage des engins de chantier. La pente extérieure du remblai sera de 40° donc équivalente à la pente intégratrice des fronts. Ce remblai assurera la protection des banquettes contre les intempéries et le blocage des éventuelles instabilités locales.

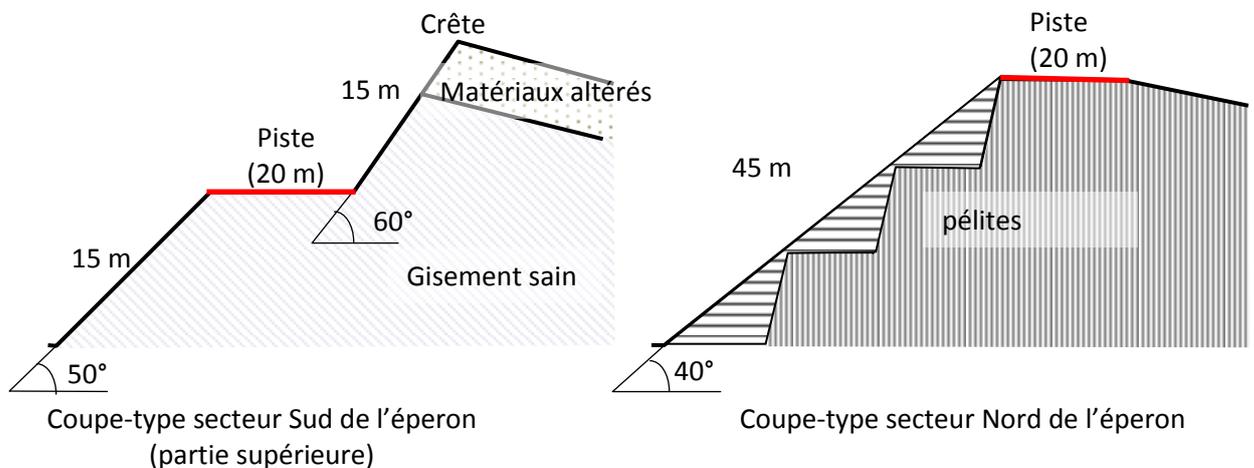


Figure 43 : profils type de l'éperon arasé

#### 4.9.2. Analyse de la stabilité de la partie sud de l'éperon

Dans ce secteur, l'éperon arasé sera constitué de matériau sain, hormis la partie haute qui sera constituée de matériaux altérés.

##### **Partie supérieure altérée :**

Dans la partie supérieure altérée, la pente des gradins supérieurs est inférieure ou égale à 60°, ce qui permettra d'assurer leur stabilité, conformément aux recommandations du rapport Antea A63300/A (62° recommandés dans les rhyodacites plus ou moins altérées).

##### **Partie inférieure saine :**

La partie inférieure de l'éperon sera constituée par le matériau sain du gisement.

L'éperon actuel montre une matrice rocheuse saine mais d'aspect décomprimé. Cette décompression est sans doute en grande partie une conséquence de l'exploitation mais elle peut également traduire une spécificité locale dans ce secteur de la carrière.

L'orientation des fronts projetés de l'éperon est comprise entre N30° (front Nord-Ouest) et N100 (front Nord).

La stabilité des fronts Nord est étudiée au paragraphe 4.4. Dans le cas de l'éperon, l'adoucissement du fruit des gradins à 60° ne supprime pas les glissements potentiels (dièdres et plans), mais les volumes concernés seront plus faible et les coefficients de sécurité plus élevés.

Le réseau de fractures observé sur les fronts Nord et Nord-Ouest ainsi que les familles principales sont rappelés dans le tableau et la figure ci-dessous.

	Familles relevées sur le front Nord (étude ANTEA 2011)	Familles principales
FP1		FP1 : N0 - 45W
FP2		FP3 : N90 - 60S
FP3		FP2 : N0 - 70W
N1	N60 – 60SE	
N2	N100 – 60SW	(≈FP3 : N90 - 60S)
N3	N160 – 60SW	(≈FP2 : N0 - 70W)
N4	N170 – 60NE	

Tableau 21 : Familles de discontinuités sur le front Nord-Ouest et familles principales

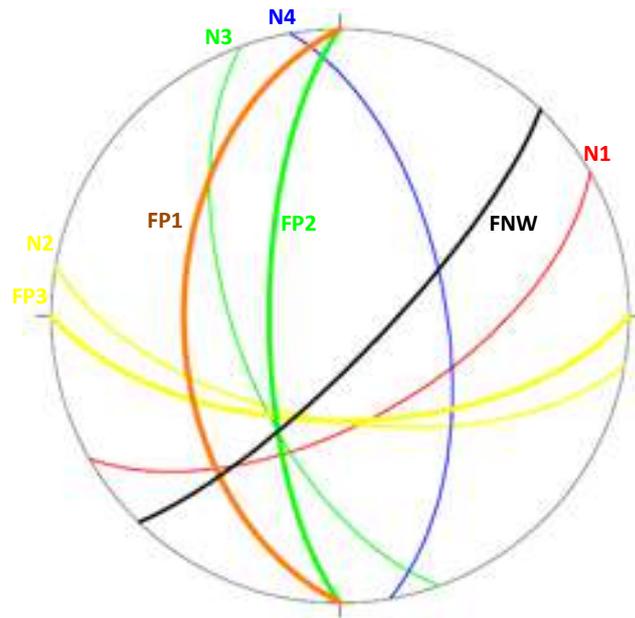


Figure 44 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau de fractures et des familles principales du front Nord-Ouest (FNW)

#### 4.9.3. Stabilité des gradins du front Nord-Ouest - Glissement de type dièdres

Les glissements de type dièdres sont possibles sur le front Nord-Ouest. Le stéréogramme ci-dessous permet de visualiser les instabilités potentielles pour le ou les gradins présentant un fruit de 75-78°.

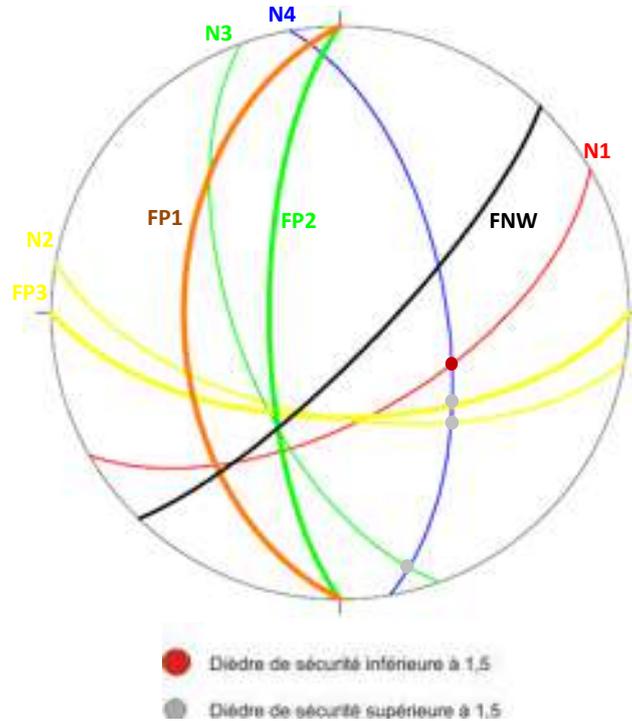


Figure 45 : Analyse stéréographique des instabilités potentielles sur le front Nord-Ouest.

Les caractéristiques des dièdres potentiellement instables, ainsi que la largeur résiduelle de la banquette en cas de rupture du dièdre sont données dans le Tableau 8.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 10m)
FP3-N4	1,5	1 156	0
<b>N4-N1</b>	<b>1,14</b>	<b>1 269</b>	<b>3,2</b>
N4-N2	1,7	1 291	0
N4-N3	17,8	63	0

Tableau 22 : Bilan des glissements de type dièdres sur le front Nord-Ouest.

Les dièdres potentiels sont notamment formés par les discontinuités FP3-N4 et N4-N2. Leur stabilité est assurée à long terme ( $FS > 1,5$ ). Si l'on observait néanmoins une rupture des dièdres délimités par ces familles de fractures, on pourrait aller jusqu'à une disparition totale de la banquette. Le coefficient de sécurité élevé, notamment issu de l'amélioration des paramètres mécaniques par rétrocalage, sera à confirmer par un suivi de la stabilité du front au cours de l'exploitation (relevé de la fracturation notamment).

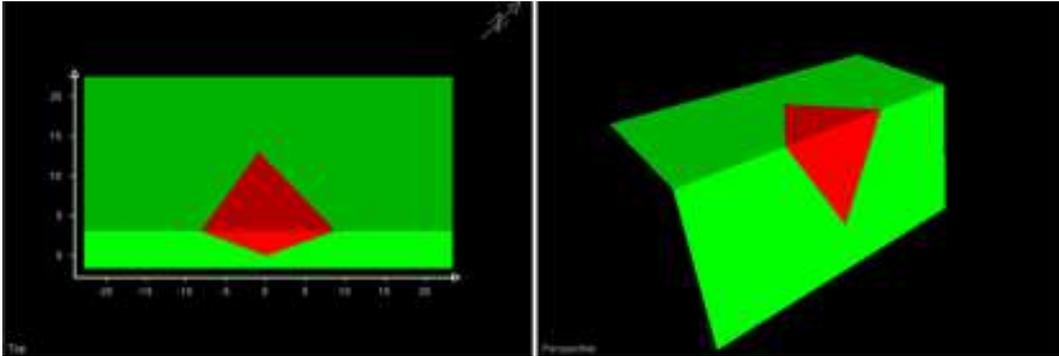


Figure 46 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités FP3 et N4 sur le front Nord-Ouest.

Le seul dièdre présentant un risque à court terme est celui formé par les discontinuités N4 et N1. Sous réserve d'une largeur initiale de 15 m, la largeur de la banquette résiduelle reste supérieure à 3 m.

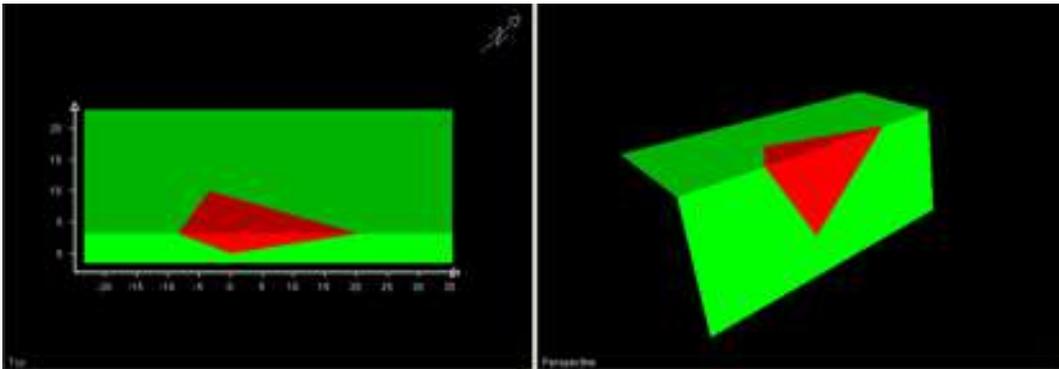


Figure 47 : Dièdre formé par les intersections des discontinuités N4 et N1 sur le front Nord-Ouest.

#### 4.9.4. Stabilité des gradins du front Nord-Ouest - Glissement de type plan

Les familles de fractures pouvant être impliquées dans un glissement plan sont les discontinuités FP3 et N1. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des blocs.

Discontinuités	Facteur de sécurité	Masse glissée (t)	Largeur résiduelle de la banquette (si 10m)
<b>FP3</b>	<b>1,25</b>	<b>331</b>	<b>5,5</b>
<b>N1</b>	<b>1,22</b>	<b>332</b>	<b>5,7</b>

Tableau 23 : Bilan des glissements de type plan sur le front Nord-Ouest.

Notons que les glissements le long de FP3 et de N1 présentent un risque à court terme mais impliqueront des volumes réduits (largeur des banquettes résiduelles estimée à 5 m).

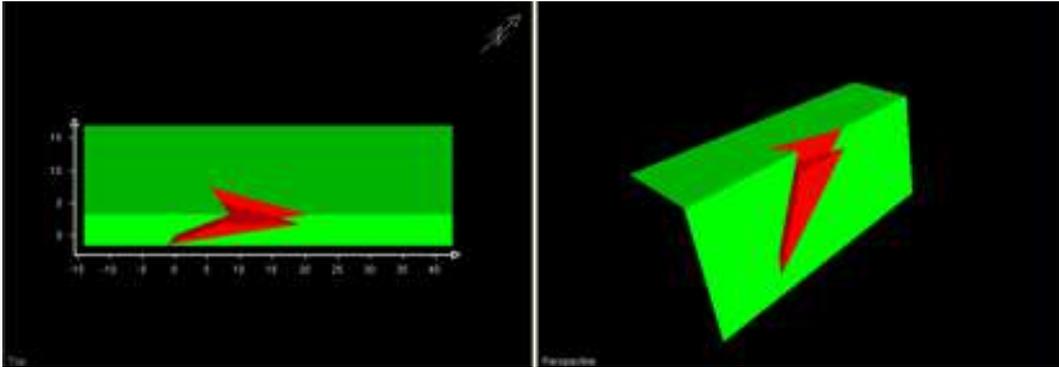


Figure 48 : Glissement plan sur N2 lors de son intersection avec N1 sur le front Nord-Ouest.

#### 4.9.5. Stabilité globale du front Nord-Ouest

La partie inférieure du front Nord-Ouest (partie basse de l'éperon arasé) présente une pente moyenne de  $49^\circ$  (pente enveloppe).

Seul le réseau de fractures de familles principales (grande extension) est introduit dans ce calcul. Ce réseau est rappelé dans le tableau ci-dessous et à l'aide de la projection hémisphérique inférieure présentée en Figure ci-après.

Familles principales	
FP1	N0 - 45W
FP2	N0 - 70W
FP3	N90 - 60S

Tableau 24 : Familles principales

En considérant uniquement les familles principales (de grande extension), on n'identifie pas de glissement (de type grands dièdres ou glissement-plan) susceptible d'affecter le front Nord-Ouest (cf. stéréogramme ci-dessous).

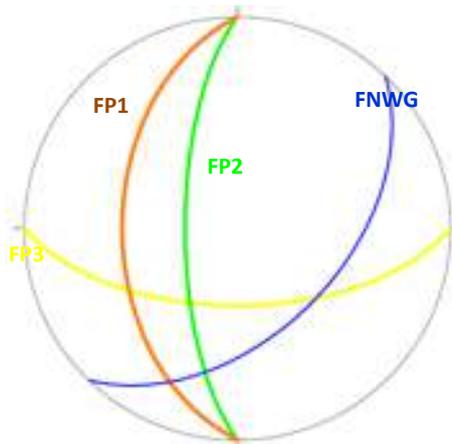


Figure 49 : Projection stéréographique (hémisphère inférieur) du réseau des familles principales de fractures et de la pente globale du front Nord-Ouest (FNWG)

#### ***4.9.6. Conclusions et recommandations pour l'extension du front Nord-Ouest***

Pour les parties du front Nord-Ouest aménagées dans le gisement de rhyodacites, des glissements de type dièdre et plan sont possibles à l'échelle du gradin. Néanmoins, en cas de rupture, une largeur de gradin supérieure à 3 m sera conservée. Le principal risque est porté par le dièdre formé par N1 et N4.

Ces résultats favorables, notamment issus de l'amélioration des paramètres mécaniques par rétrocalage, seront à confirmer par un examen soigné des conditions de stabilité du front (relevé de la fracturation notamment).

A l'échelle du front, l'analyse cinématique ne montre aucune possibilité de glissement de type grand dièdre ou glissement-plan.

Enfin, on rappelle que les calculs présentés sont très pénalisants puisque la partie supérieure de l'éperon arasé présente une géométrie plus favorable (gradins à 60° et banquette supérieure de 20 m de largeur).

Pour les parties du front aménagées dans les pélites, la stabilité est assurée par la mise en place rapide d'un remblai contre les gradins selon la pente intégratrice de 40° (protection des banquettes contre les intempéries et blocage des éventuelles instabilités locales).

## 5. Conclusion et recommandations

De manière générale, **le projet d'exploitation envisagé aboutit à une amélioration des conditions de stabilité, au regard de l'exploitation passée.** On retiendra notamment :

- **Une exploitation du haut vers le bas**, permettant de réduire la pente globale pendant l'exploitation (pas de perte de butée en pied – déchargement en tête) ;
- **Le recul de l'exploitation vers l'intérieur du massif**, permettant de s'éloigner des zones à fracturation dense, en cohérence avec les données diagraphiques. Cet éloignement permet notamment de réduire le risque d'éboulement en série ;
- **Un phasage de l'exploitation qui respecte directement la géométrie finale de la fosse ultime.** Cette exploitation en fronts de grande extension favorise en outre le drainage naturel du massif, ce qui évite le développement de pressions interstitielles néfastes à la stabilité ;
- **Une exploitation en gradins 15 m x 15 m.** Ce mode d'exploitation, en cohérence avec l'Arrêté Préfectoral en vigueur et en concordance avec les pendages des principales fractures permet d'améliorer le facteur de stabilité global du Front Est, point sensible de l'exploitation ;
- **Un talutage des formations superficielles entre 50 et 62°**, en conformité avec les recommandations émises en 2011.

**A l'échelle des gradins**, et en raison de la grande variabilité du réseau de fractures, les calculs de stabilité mettent en évidence le risque des glissements de type dièdres et plan. **Ces instabilités sont possibles à l'échelle d'un gradin et conduisent dans les configurations les plus pénalisantes à des largeurs résiduelles de banquettes de 2 m.** Pour un certain nombre de ces glissements potentiels identifiés, les familles de fractures impliquées semblent peu représentées.

**A l'échelle des fronts**, les directions moyennes des grandes familles de fractures ne sont pas susceptibles de causer des glissements (de type grands dièdres ou glissement-plan) englobant plusieurs gradins

Pour la majorité des fronts, c'est la pente enveloppe de 37° qui permet d'éviter ce risque. Pour le front Nord-Ouest, bien que la pente enveloppe soit plus élevée (49°), l'orientation du front permet également de s'affranchir de ce risque.

Le principal risque réside dans l'exploitation du Front Est, compte tenu de l'existence de fractures à faibles pendage Ouest (inférieures à 35-40°). Ces faibles pendages sont défavorables à la stabilité puisque les fractures correspondantes peuvent être impliquées dans des glissements plans englobant plusieurs gradins. Néanmoins, les diagraphies réalisées mettent en évidence une très faible densité de ces fractures à faible pendage. Seule la diagraphie NS1-partie inférieure révélait la présence de 5 fractures FP1 traversantes de pendage compris entre 30 et 45°.

Selon l'étude géotechnique GEOTEC (2014/00933/BESAN/01 du 16 avril 2014), sous réserve de vérifier la position effective des grandes discontinuités identifiées, les instabilités des gradins du front Est affecteraient uniquement la pointe de certains gradins. Il est naturellement difficile de prévoir avec une telle précision la position réelle de ces grandes fractures et c'est pourquoi nous rejoignons GEOTEC sur la nécessité d'un suivi permettant de vérifier à l'avancement la position réelle et l'extension des fractures.

Le cas échéant, les banquettes élargies prévues aux cotes 680 et 605 NGF pourraient être adaptées (modification de l'altitude de ces banquettes afin de bloquer en pied une éventuelle fracture de grande extension).

On notera par ailleurs que ces banquettes élargies permettent aussi de disposer d'une certaine marge de manœuvre pour adapter le plan d'exploitation en cas de ruptures localisées de gradins.

Enfin, ces banquettes élargies pourront servir de réceptacles pour d'éventuels matériaux éboulés. La création de merlons sur ces banquettes élargies permettra d'augmenter leur capacité de stockage.

Pour autant, l'exploitation en gradin du front Est **constitue une amélioration de sa stabilité à grande échelle**, au regard de sa géométrie actuelle (exploitation en miroir suivant les fractures de pendage Ouest).

La faille majeure N100/75°E (dont l'existence même est discutable) n'intervient pas de façon significative dans la stabilité du front Est compte tenu de son orientation. Par ailleurs, elle ne semble pas être accompagnée d'une zone brêchique et ne devrait donc pas causer de difficultés particulières d'exploitation.

A l'échelle du front, le risque d'éboulement en série (dièdre se propageant de gradins en gradins) est également à considérer. Ce risque est notamment à envisager pour des dièdres impliquant les familles à grande extension (cas de FP1-FP2 pour le Front Est, FP3 pour le Front Nord). Ce risque est difficilement quantifiable par des calculs, en raison de la diversité des géométries résultantes des chutes de blocs. La principale mesure réside en un suivi à l'avancement des conditions de stabilité : relevé de l'extension des fractures, examen des conditions géométriques après la rupture d'un dièdre, renforcement des zones ainsi fragilisées (boulons d'ancrage, grillage etc.).

Le cas particulier du secteur Nord-Ouest est également étudié :

- l'arasement de l'éperon actuel et l'adoucissement des pentes améliore sensiblement la sécurité par rapport à la situation actuelle.
- La présence des pélites ne modifie pas la géométrie du projet mais s'accompagne d'un remblaiement rapide des fronts pour éviter leur altération par les intempéries.

D'une manière générale, afin de pallier les risques mis en évidence par les calculs, il est recommandé :

- d'assurer un suivi à l'avancement : surveillance des fronts, topographie, relevé des venues d'eau, suivi de la fracturation par un organisme extérieur. Ce suivi se concentrera notamment sur les dièdres à faibles facteurs de sécurité de chaque front. Le front Est impliquera également une attention particulière afin de vérifier l'existence et l'extension des éventuels plans de fracture à faible pendage Ouest ;
- La purge des zones instables, au fur et à mesure de l'avancement ;
- L'adaptation éventuelle de l'orientation et de la géométrie des gradins en fonction de la fracturation (par exemple en augmentant la largeur des gradins ou en modifiant l'orientation des fronts).

### **Observations sur l'utilisation du rapport**

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

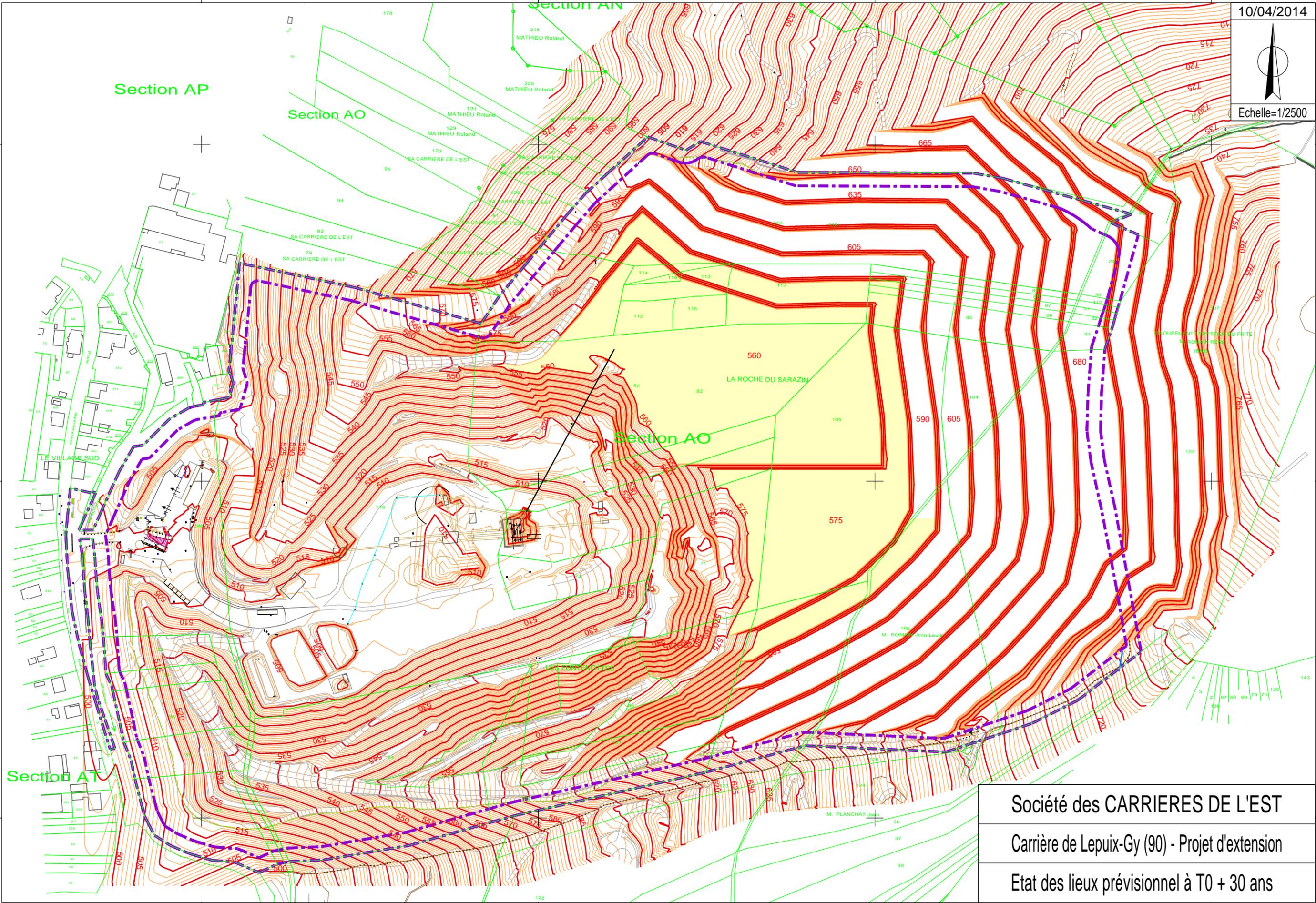
## **Annexe A : Vue en plan de la fosse finale.**

(1 plan A3)

10/04/2014



Echelle=1/2500



Société des CARRIERES DE L'EST

Carrière de Lepuix-Gy (90) - Projet d'extension

Etat des lieux prévisionnel à T0 + 30 ans

## **Annexe B : Liste des études disponibles.**

(2 pages)

Les données suivantes ont été consultées pour cette analyse :

- Carte géologique au 1/50 000 du BRGM – feuille de GIROMAGNY,
- Rapport BRGM R 30 882 (mai 1990) : « Exploitation de Lepuix-Gy (90) – actualisation de l'étude structurale et recommandations relatives à la poursuite de l'exploitation »,
- Rapport ANTEA A01875 (décembre 1995) : « Auscultation des fronts de taille - compte rendu d'installation des inclinomètres et des piézomètres »,
- Rapport ANTEA A02999 (avril 1995) : « Compte-rendu de l'intervention du 20/04/1995 » [1<sup>er</sup> relevé des inclinomètres et extensomètres],
- Rapport ANTEA A04177 (octobre 1995) : « compte rendu d'auscultation [par inclinomètres et extensomètres] des fronts de taille supérieurs Est 1994/1995 »,
- Rapport REDLAND GRANULATS (janvier 1998) : « changement des conditions d'exploitation et de réaménagement » [suite aux instabilités front Est],
- Rapport ANTEA A24750/A (octobre 2001) : « Etude de faisabilité pour l'extension de la carrière sur Lepuix-Gy » [extension vers le Nord],
- Rapport ANTEA A29 011/A (décembre 2002) : « Pose des extensomètres »,
- Rapport SEGEE (septembre 2004) : « Projet d'extension de la carrière de Lepuix-Gy – Reconnaissance géologique »,
- Rapport SEGEE (septembre 2004) : « Note technique relative aux glissements sur les fronts est »,
- Rapport SEGEE (janvier 2005) : « Visite du 14 janvier 2005 - Note technique relative à la reprise des fronts est »,
- Rapport SEGEE (octobre 2005) : « Visite des 10 et 11 octobre 2005 - Note technique relative à la reprise des fronts est »,
- Rapport ANTEA A41151/A (juillet 2006) : « Etudes de stabilité dans le cadre du projet d'extension de la carrière »,
- Rapport ECOLE DES MINES DE PARIS R070129RCOJ (janvier 2007) : « Rapport d'expertise géologique, géotechnique et hydrogéologique relatif à la carrière de Lepuix-Gy ».
- Tranchées de reconnaissance en partie Nord du gisement (26 février 2008) : 2 pages communiquées par SCREG EST (M. Koeberlé).

- Note technique ANTEA du 30 avril 2008 : « Carrière de Lepuix-Gy - Optimisation des scénarios d'exploitation - synthèse géologique et scénarios d'exploitation » (note jointe en annexe 3 du présent rapport ».
- Note technique ARMINES – CENTRE DE GEOSCIENCES (juillet 2009): « Note technique d'expertise géologique et géotechnique sur le projet d'extension NE (phases 1,2 et 3) de la carrière de Lepuix-Gy (Territoire de Belfort) ».
- Note intermédiaire GIPEA (février 2011) « Carrière de Lepuy-Gy (90) - Etude structurale du massif. Optimisation du schéma d'exploitation ».
- Rapport ANTEA A60536/B (mars 2011) : « Carrière Lepuy-Gy (90) – Création d'un stock-pile contre le front Nord – Etude de stabilité ».
- Rapport ANTEA A63300/A (juillet 2011) : « Projet d'extension de la carrière de Lepuy-Gy – Définition des principes géométriques de l'exploitation permettant de garantir la stabilité des fronts ».
- Rapport GEOTEC – Service Risques Naturels 2014/00933/BESAN/01 (16 avril 2014) « Etude géotechnique d'exécution – Carrière de Lepuix »

Essais sur matériaux :

- Rapport CETE 96-S-365 (décembre 1996) : « Matériau 0/20 – Identification géotechnique des matériaux – conditions de mise en œuvre des matériaux en remblai »
- Rapport CEBTP 99/172-6-138/2 (octobre 1999) : « Identification des matériaux » [tout-venant 0/20 et découverte calcaire]
- PV d'essai du 12 avril 2005 (laboratoire interne de la carrière de Lepuix-Gy) sur 0/20
- Note technique ANTEA LOR/68/2012/A – FRCP120021 : « Matériau 0/20 – Caractérisation mécanique de découverte 0/40 et 0/60 ».

## **Annexe C : extraits de l'étude REDLAND de 1998**

(3 pages A4 + 1 page A3)

Enfin, des observations sur le terrain ont pu déterminer que la masse rocheuse instable est localisée sur les fronts Est adossés au Mont-Jean. Elle est limitée par deux accidents principaux :

- le premier est caractérisé par un plan de glissement de Direction N10° et de Pendage 42°O appartenant à la famille de fracture P1 mentionnée ci-avant.
- le second est caractérisé par un plan de fracture de Direction N100° et de Pendage 75°E appartenant à la famille P4.

### 3. Volume de la masse instable

La masse rocheuse instable peut être évaluée actuellement à 100 000 m<sup>3</sup>. Elle correspond aux effondrements visibles mesurés en I1-E1 et I3-E3. Toutefois, à l'Ouest du plan de faille P4 mesuré en I2-E2 et I4-E4 mettent en évidence des mouvements d'ampleur beaucoup plus réduits mais qui soulignent la déstabilisation générale du massif.

Une visite des terrains limitrophes situés en amont du périmètre d'exploitation autorisé ne montre pas de désordres apparents au droit du glissement actuel.

### 4. Principes généraux d'exploitation

#### 4.1. Description du projet de fosse ultime

Le projet d'extraction prend en compte l'irréversibilité du glissement dans la partie Est. Il est inscrit dans les limites d'exploitation autorisées dans l'A.P. du 29 février 1980.

La fosse ultime présentera donc :

#### **↳ un seul et unique front Est**

Adossé au Mont-Jean, il sera limité en profondeur par le plan de fracture majeur qui a été découvert en cours d'exploitation. Ce plan correspond à la trace d'une faille de Direction N10° dont l'inclinaison est égale à 42°O.

Au Sud, ce plan de fracture disparaît dans le massif rocheux, sous le dépôt des matériaux de découverte.

Au Nord, il est interrompu par une faille subverticale de Direction N100° correspondant à la famille de plans P4.

La géométrie de ce plan de fracture a été relevée sur un plan topographique en date du 27 mai 1997 de manière détaillée. Y figurent ses limites physiques ainsi que les miroirs de faille dégagés par l'extraction.

La géométrie du front correspondra donc à un plan incliné de Direction N10° et d'inclinaison 42°O.

#### ↳ des fronts Sud et Nord classiques

Perpendiculaires au plan principal de glissement, ils ne présentent pas de désordre. Une géométrie classique sera donc adoptée :

- fronts d'une hauteur de 15 m,
- fruit égal à 4 m,
- banquette de 10 m.

#### ↳ une cote ultime d'extraction conforme à l'A.P. du 29/02/1980

La cote ultime d'extraction autorisée sera égale à 500 m NGF.

Une borne de nivellement relevée à la cote 499,51 NGF a été installée à l'entrée Sud du pont franchissant la Savoureuse.

#### 4.2 Evaluation des réserves exploitables

Le volume de matériaux marchands exploitables dégagés selon le projet sera égal à environ 1,837 millions de m<sup>3</sup>, soit un tonnage marchand égal à 4,75 millions de tonnes.

#### 4.3. Mise en sécurité des fronts pendant l'exploitation

La mise en pratique du nouveau projet d'extraction est assorti de consignes strictes relatives à la sécurité du personnel. Pour ce faire, il est envisagé de mener l'exploitation comme suit :

##### ➤ Dans un premier temps :

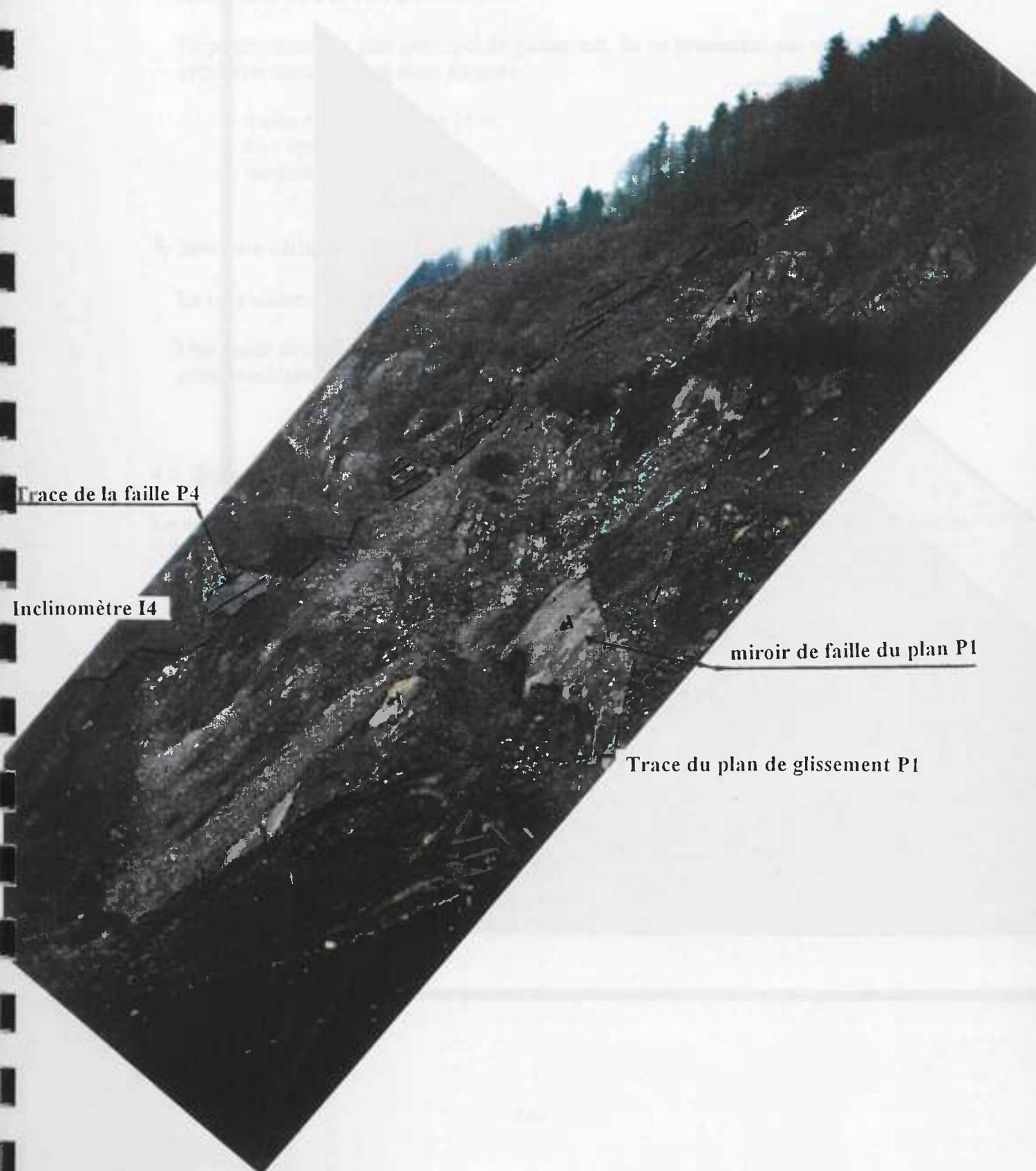
La zone instable encore accrochée le long du glissoir en partie découvert sera totalement purgée à l'aide d'une pelle hydraulique.

Cette purge comprendra deux ateliers qui travailleront alternativement jusqu'à la purge complète du glissoir.

COMMUNE DE LEPUIX-GY (90)

Carrière de LEPUIX-GY

Photo n° 1 : Vue générale de la zone instable.



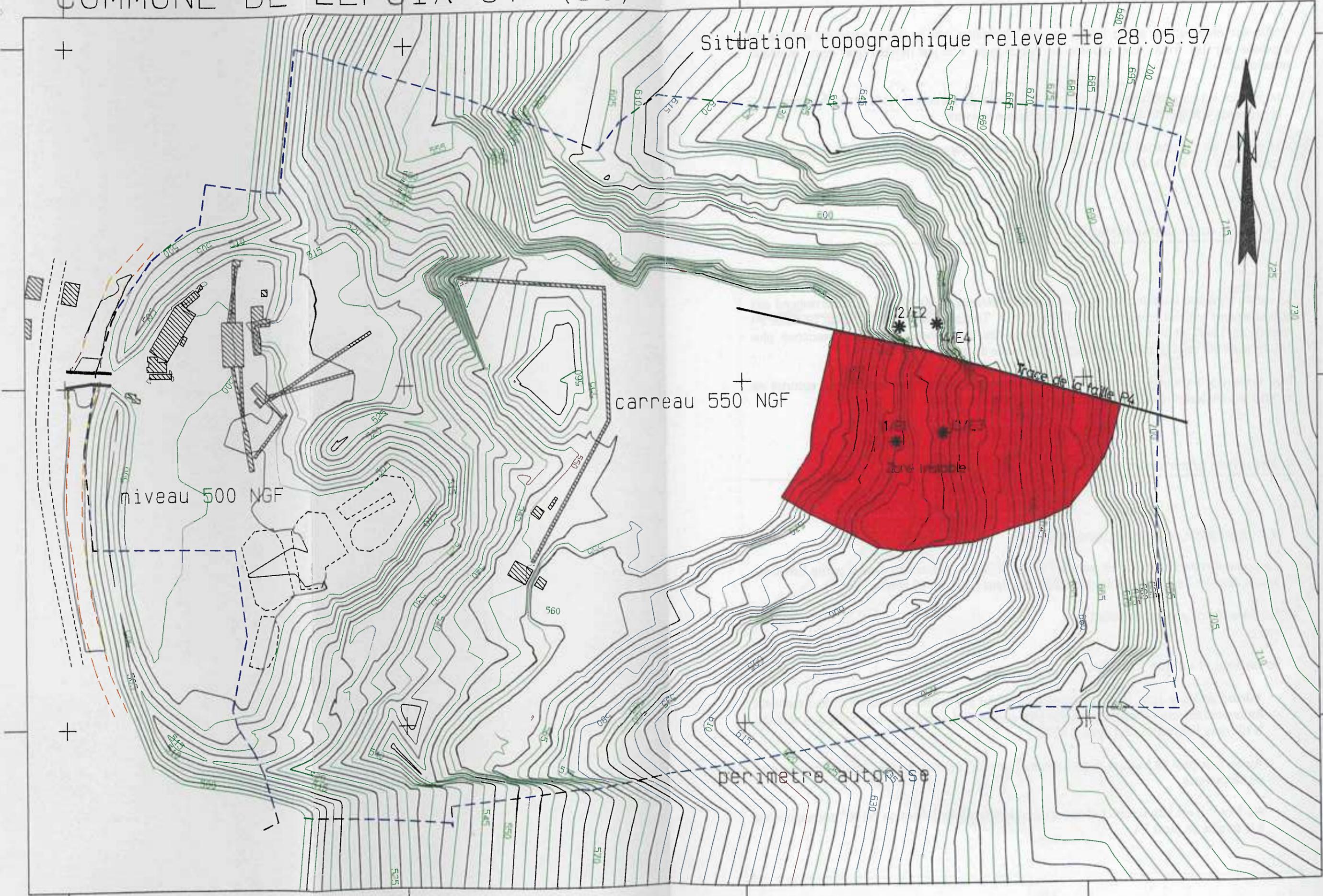
Trace de la faille P4

Inclinomètre I4

miroir de faille du plan P1

Trace du plan de glissement P1

Situation topographique relevee le 28.05.97



niveau 500 NGF

carreau 550 NGF

perimetre autorise

2/E2 \*  
\*  
E4

Tracé de la taille F4

zone inscrite



## Fiche signalétique

Titre : Carrière de Lepuix-Gy - Vérification de la stabilité générale du projet d'extension

Numéro et indice de version : A75231/A

Date d'envoi : avril 2014

Nombre d'annexes dans le texte : 3

Nombre de pages : 68

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

Diffusion (nombre et destinataires) :

2 ex. Client dont 1 reproductible + 1 CD ROM

1 ex. auteur

### Client

---

Coordonnées complètes :

Société des carrières de l'Est

20, rue de Belfort

90200 Lepuix-Gy

Téléphone : 0384466010

Télécopie : 0384290979

Nom et fonction des interlocuteurs : MM. Corduant et Moreira

### Antea Group

---

Unité réalisatrice : NINF

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

CHRISTIAN OLLION , interlocuteur commercial

CHRISTIAN OLLION , responsable du projet

OLLION.C., auteur

Secrétariat :

### Qualité

---

Contrôlé par : C. Clément

Date : - Version A

N° du projet : FRCP140016

Références et date de la commande : 15/04/2014

**Mots-clés** : LEPUIX-GY, TERRITOIRE-DE-BELFORT, CARRIERE, STABILITE, ASSISTANCE-A-MAITRE-D'OUVRAGE