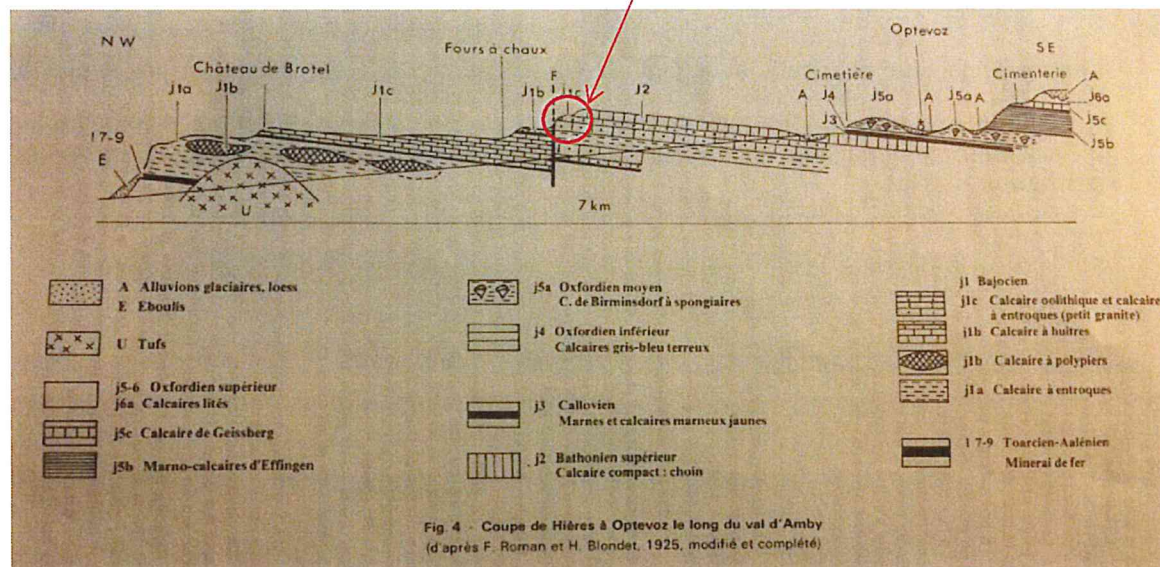


Carrière « Monsieur »



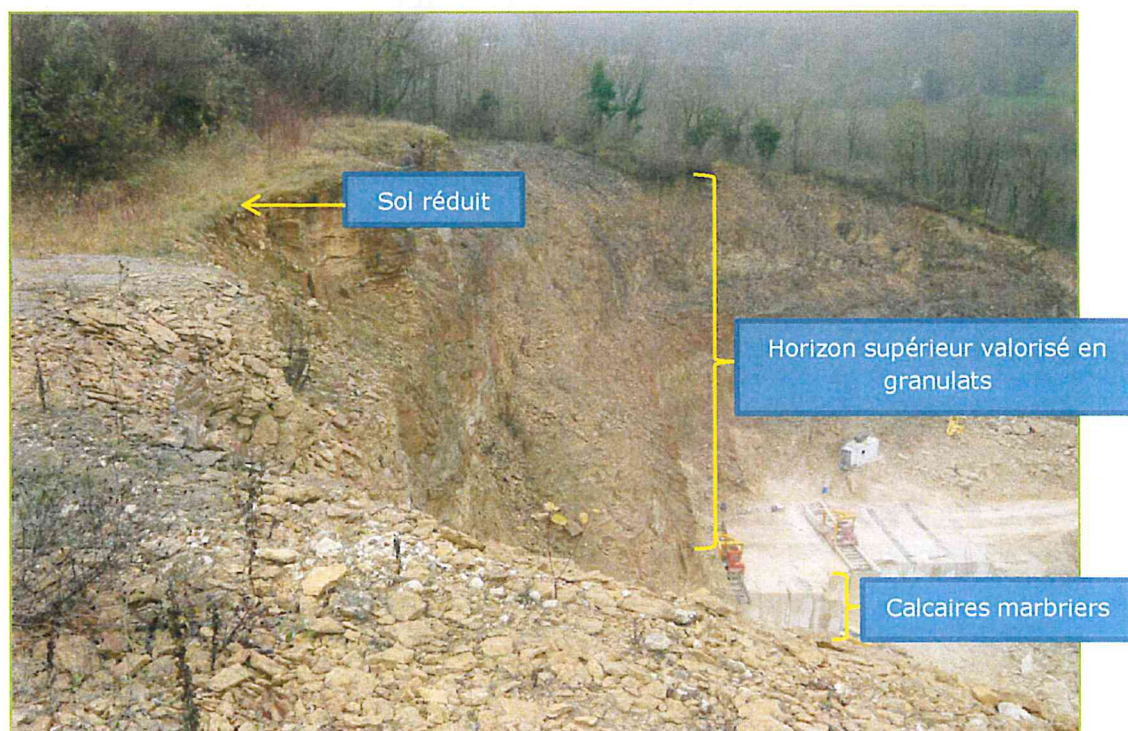
Localisation Carrière « Monsieur » sur extrait du carnet géologique associé à la carte BRGM 699 « Montluel XXXI-31 »

L'horizon géologique exploité au niveau de la carrière est le Bajocien supérieur venant à l'affleurement en bordure du val d'Amby (horizon j1c). De puissance variable (50 à 100m), l'horizon est composé de calcaires oolithiques blancs, gris-bleu, très gélifs à stratifications obliques et entrecroisées formant une masse uniforme.

Cet horizon est surmonté d'un sol brun calcique d'épaisseur variable de 10 à 20 cm car l'argile de décalcification, peu présente, rend la couverture peu épaisse.

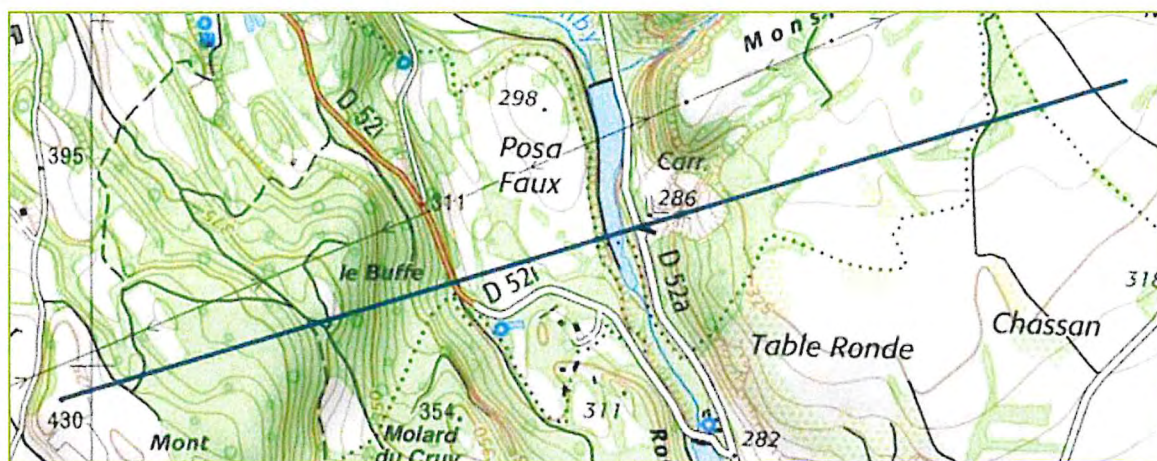
La puissance exploitée au niveau de la carrière est de 40 m, elle s'étage entre les niveaux NGF 282 et 323.

Le niveau supérieur, entre les cotes NGF 323 et 293, est exploité pour être valorisé en granulats. Cette exploitation permet la découverte des calcaires marbriers qui sont exploités sous la cote NGF 293 au niveau inférieur :

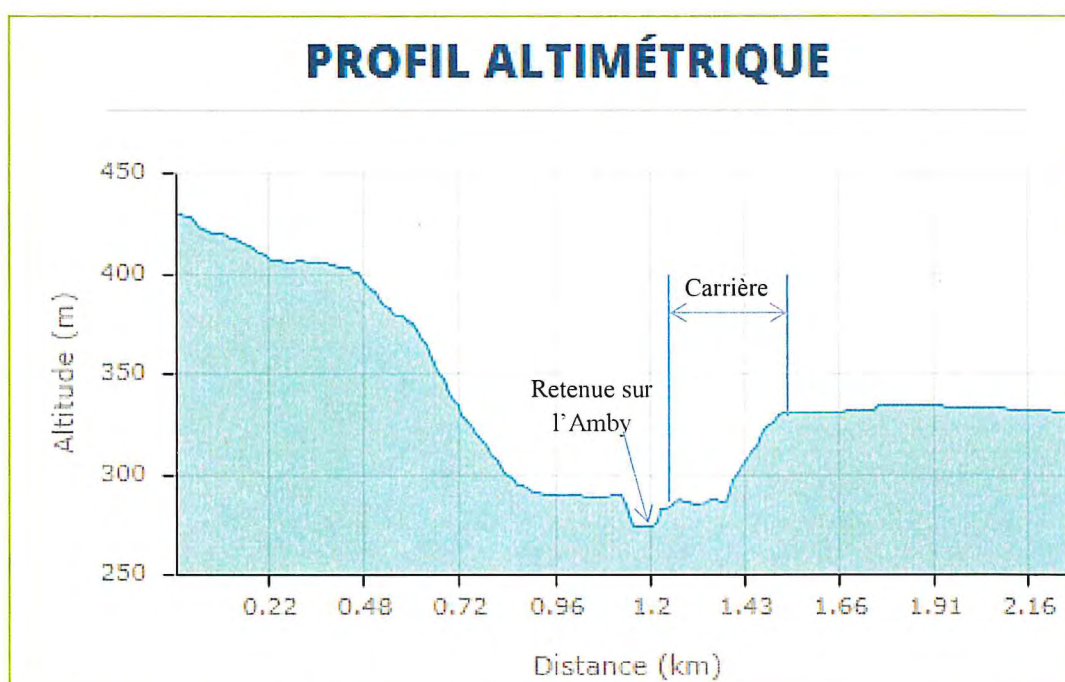


Vue générale sur les horizons exploités du front Sud depuis la zone sommitale, cote 320 m NGF

De façon complémentaire, le profil topographique de l'environnement immédiat de la carrière est traduit par le relevé ci-dessous extrait de Géoportail :



Trait de coupe sur carte IGN : source Géoportail



Profil correspondant : source Géoportail

Enfin la carrière est située en zone 3, sismicité modérée, conformément à l'article D.563-8-1 du code de l'environnement, applicable à compter du 1^{er} mai 2011.

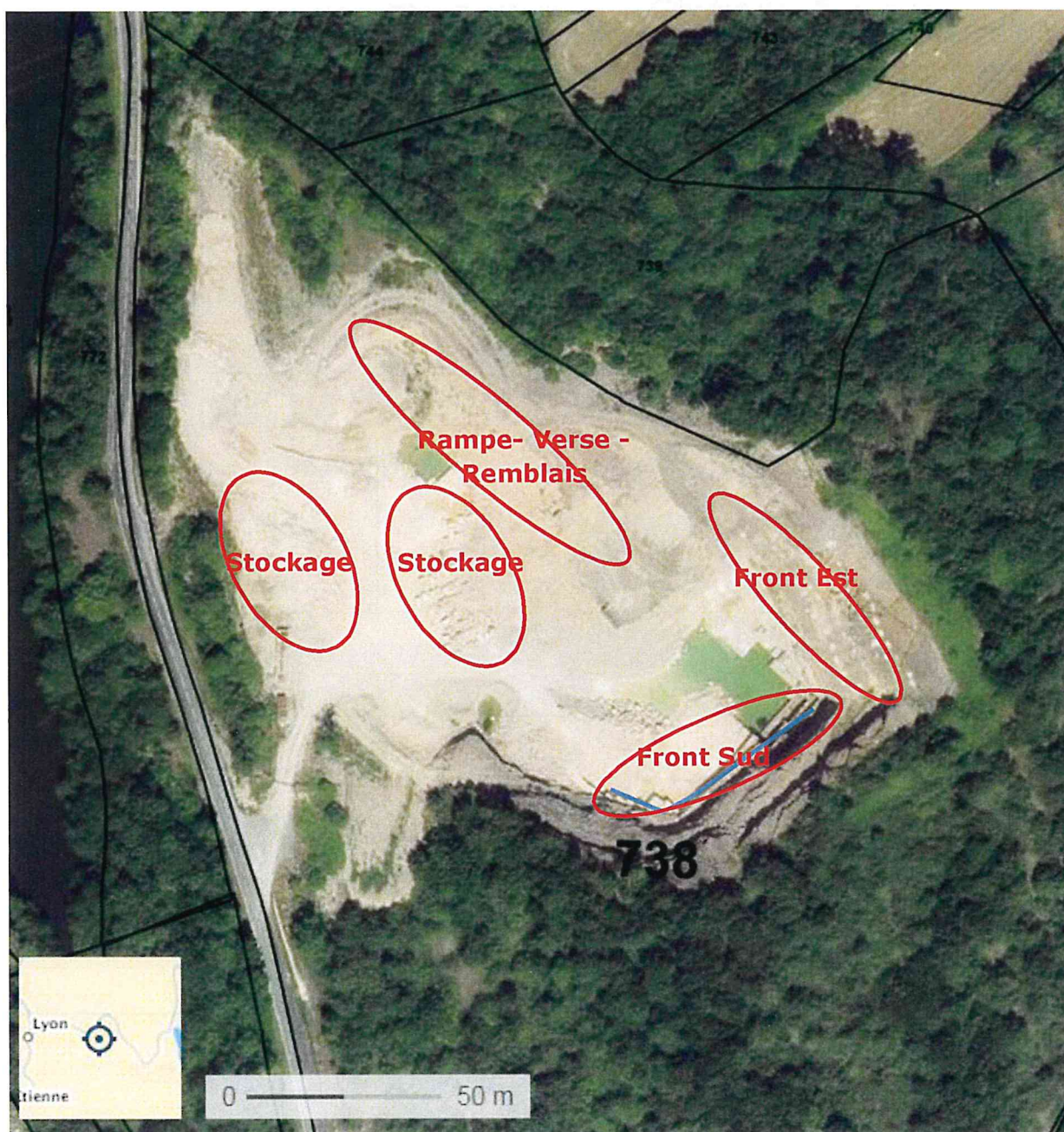
Dans cette classe, les paramètres de calcul à considérer sont les suivants :

Zone de sismicité	Catégorie d'importance de l'ouvrage	Coefficient d'importance γ_I	Accélération de référence (Sol rocheux de Classe A)	Accélération horizontale de calcul (Sol rocheux de Classe A)	SOLS	
			a_{gr}	$a_q = \gamma_I \times a_{gr}$	Classe	Paramètre de sol
3	II	1	1,1	1,1	A	1

2.2 EXTENSION DES TRAVAUX

Les travaux sont principalement concentrés sur 4 zones :

- un front Sud, s'inclinant en orientation générale N 45°, de hauteur variant de 22 à 36 m, d'Ouest en Est, cumulant une longueur de 83 m ;
- un front Est, d'orientation générale N 130 °, de hauteur 35 à 38 m, de longueur totale 70 m ;
- une zone au Nord-est comportant une rampe d'accès aux gradins supérieurs et dont les talus aval sont consacrés à une verse à stériles, contribuant au remblayage de la carrière ;
- deux zones de stockage des matériaux calcaires supérieurs et marbriers.



Les gradins supérieurs sont abattus par minage, les calcaires marbriers sont extraits au fil diamanté.

3. ETUDE DE STABILITE

3.1 RELEVÉS DE TERRAIN

Ils ont été effectués les 17 septembre et 5 décembre 2014 sur 3 zones et dans l'ordre suivant :

- le front Sud,
- la rampe d'accès Nord avec son talus amont et son talus aval constitué par la verse à stériles,
- le front Est.

Les investigations ont été conduites d'après le protocole suivant à chaque station repérée par une lettre sur l'extrait de plan topographique ci-dessous :

- relevé des données structurales : pente des talus, caractérisation des discontinuités,
- évaluation de l'altération du massif,
- identification des zones instables :



Les commentaires renvoient à un reportage photographique organisé suivant les stations et produit en annexe 1.

3.2 FRONT SUD

Les photos A1 et P1 restituent la configuration générale de ce front.

3.2.1 Gradin supérieur

Les situation et configuration de ce gradin sont illustrées par les photos A1, P1, P2 et N1. Sa hauteur varie entre 9 et 12 m de l'Ouest vers l'Est. Le fruit moyen de ce gradin est de 75 à 80°. Sur le sommet, le banc supérieur est découpé selon des plans subverticaux orientés N 95 à 105° et N 15 à 20°.

Des fissures ouvertes figurent aussi sur le plateau sommital en arrière du bord de l'excavation. Les bancs d'épaisseur pluri-décimétrique sont compacts dans la partie supérieure et en surplomb par rapport à la partie sous-jacente.

Une intercalation de calcaire beige d'épaisseur 40 cm avec joint argileux sous-jacent est présente dans cette partie immédiatement sous-jacente.

La partie inférieure de ce gradin est très déstructurée avec des blocs de dimensions centimétriques à pluri-décimétriques.

La banquette présente une largeur se réduisant de 5 à 2 m, de l'Est vers l'Ouest.

Les amas détritiques en pied de talus occupent une largeur de 1 m en moyenne.

Il est à noter que ce gradin ne comporte pas de merlon de sécurité.

3.2.2 Gradin intermédiaire

Il est illustré sur les photos A1, C1, C2, C3 et P2.

La hauteur du gradin est de 14 à 15 m, sur sa partie Est et sur un linéaire de 35 m environ.

Depuis l'angle Est et en direction de l'aval, sur une longueur de 15 m environ, apparaissent de nombreuses venues d'eau résurgentes 1 à 6 m sous le niveau de la banquette supérieure. Sur cette zone, la face du talus ne comporte pas de désordres particuliers et apparaît stable.

A l'Ouest de cette zone, d'autres venues d'eau sont identifiées avec une déstructuration importante du massif sous forme d'écaillage (photo C2).

Les matériaux détritiques accumulés au pied de ce gradin présentent une granulométrie faible (1 à 15 cm).

La banquette inférieure surplombant l'horizon de calcaires marbriers présente une largeur relativement constante de 1,5 m.

Elle ne comporte pas, non plus, de merlon de sécurité.

3.2.3 Gradins inférieurs

Ces 3 gradins sont constitués par les calcaires marbriers (photo C3). Ils présentent une très bonne stabilité. Le carreau est situé à la cote 282 m NGF.

3.3 RAMPE D'ACCES AUX NIVEAUX SUPERIEURS

Cette rampe supporte une piste qui permet d'accéder au niveau supérieur de la carrière sur le front Est ainsi que sur les banquettes intermédiaires.

Cette piste démarre du carreau (282 m NGF) et prend une direction N 45° sur 35 m environ. A ce niveau, elle s'oriente de 90° vers le Sud-est dans une direction N 140°.

Le talus amont de la piste, de hauteur variant de 2,5 à 8 m, présente des zones saines, sans désordre important, avec des bancs décimétriques et des zones où la fracturation est importante avec blocs de plusieurs centimètres à plusieurs décimètres.

Des venues d'eau ont été observées dans le virage à 90° du talus amont (photo F2).

De petites zones sont à purger (photo F1 par exemple) et des désordres à traiter (photo G2).

Le talus aval de la piste est réalisé avec des stériles de granulométrie 0-300 mm en mélange, déversés sur d'anciens gradins. La pente d'équilibre est de 50 ° environ.

3.4 FRONT EST

3.4.1 Plateforme sommitale

Se référer aux photos L1, P1, O1, N1, N2.

Cette plateforme est constituée par une dalle structurale.

Une fissuration ouverte importante chemine sur un linéaire de 14 m environ avec une orientation générale N 150°. Cette fissuration présente une ouverture de 4 cm sur un linéaire de 80 cm environ qui se referme ensuite vers le Sud.

A l'Est et à l'extrémité Sud-est de la plateforme apparaissent des linéations de fissures fermées qui prédécoupent la dalle structurale.

Aucun merlon de sécurité n'est présent en limite de talus.

3.4.2 Gradin supérieur

Se référer aux photos J1 à J5.

Ce gradin, de 16 à 18 m de haut, se compose d'une structure différente dans sa hauteur.

Sa partie supérieure (1/3 environ) est constituée de bancs décimétriques qui surmontent une zone de bancs pluri-décimétriques sur un tiers également.

Comme à d'autres endroits, nous retrouvons dessous le banc de calcaire beige surmontant le joint argileux.

Le tiers inférieur apparaît fracturé et déstructuré, présentant des blocs centimétriques à décimétriques.

Ce secteur de la carrière présente de nombreuses zones d'instabilité avec des ouvertures importantes dans le massif.

Les plans de fracturation, comme sur le front Sud, sont sub-verticaux avec des orientations générales N 25°, N 120° et N 140°.

Les venues d'eau épisodiques, ou plus ou moins permanentes, liées au caractère gélif des calcaires sus-jacents génèrent un risque certain de chutes de blocs et d'écaillés (gélivité).

L'observation des matériaux détritiques en pied de talus permet cependant de constater une largeur d'emprise limitée entre 1 et 2 m.

La banquette, de largeur variable entre 5 et 8,5 m, ne comporte pas de merlon de sécurité en bordure de talus.

3.4.3 Gradin intermédiaire

Se référer aux photos J6 et A3

Ce gradin présente une hauteur comprise entre 16 et 18 m avec un fruit de 80° environ.

La partie supérieure présente de fortes déstructurations ouvertes qui se manifestent par des fractures découpant les bancs supérieurs en blocs de dimensions décimétriques.

Quelques blocs instables sont parfois en surplomb.

Les fracturations, comme dans tout le massif analysé de la carrière, sont sub-verticales et suivent des orientations N 150 à 180°.

La partie inférieure de ce gradin est stable avec, cependant, un phénomène d'écaillage superficiel résultant de plans de fractures sub-verticaux.

3.4.4 Gradins inférieurs

Ces gradins sont occupés par les calcaires marbriers. Ils sont de hauteur limitée, comprise entre 2,5 et 4,5 m.

Leur très bonne stabilité est évidente.

3.5 SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS ET PRINCIPALES CONCLUSIONS

Les principaux constats effectués sont reportés sur 4 coupes structurales du massif, coupes 1 à 4 des pages suivantes, localisées sur le plan topographique du 15 février 2013 porté en annexe 2.

Ces 4 coupes, précédemment établies et mises à notre disposition par le maître d'ouvrage, sont reconduites car elles constituent une illustration représentative du massif que nous avons confirmée lors des investigations terrain des 17 septembre et 5 décembre 2014.

Les hauteurs des fronts investigués s'étagent entre 32 et 38 m avec une hauteur de gradins sur le front Est qui ne sont pas conformes à la prescription réglementaire des 15 m maximum (hauteurs de 16 et 18 m).

Les pentes des gradins se situent entre 75 et 85°.

Ceci permet de concourir à des pentes intégratrices comprises entre 55 et 65°, selon les fronts.

Les venues d'eau qui constituent un paramètre sensible sont présentes essentiellement sur le front Sud et accessoirement sur le talus amont de la rampe d'accès aux gradins du front Est.

Celles-ci ne génèrent pas de désordres particuliers même si, en complément des tirs de mine, elles contribuent à l'écaillage superficiel des gradins (gélivité).

Le pendage général du massif est sub-horizontale, légèrement penté Sud-est si la géologie régionale est considérée. Cette donnée confirme la stabilité générale du massif.

Les données structurales relevées aboutissent à identifier 3 classes d'orientations des discontinuités sub-verticales :

1. entre N10 et N 30°
2. entre N45 et N 60°
3. entre N95 et N 140°

sauf pour le front Est, gradin intermédiaire, où des orientations N 150 à N 180° ont été relevées.

Pour revenir à la carte géologique régionale, dont un extrait est présenté au § 2.2, les orientations des principales directions structurales sont rappelées ci-après.

Pour le plateau calcaire de Crémieu, ne sont reprises que les failles du plateau à l'exclusion des failles bordières, les failles dominantes sont N 20° E et N 110° E.

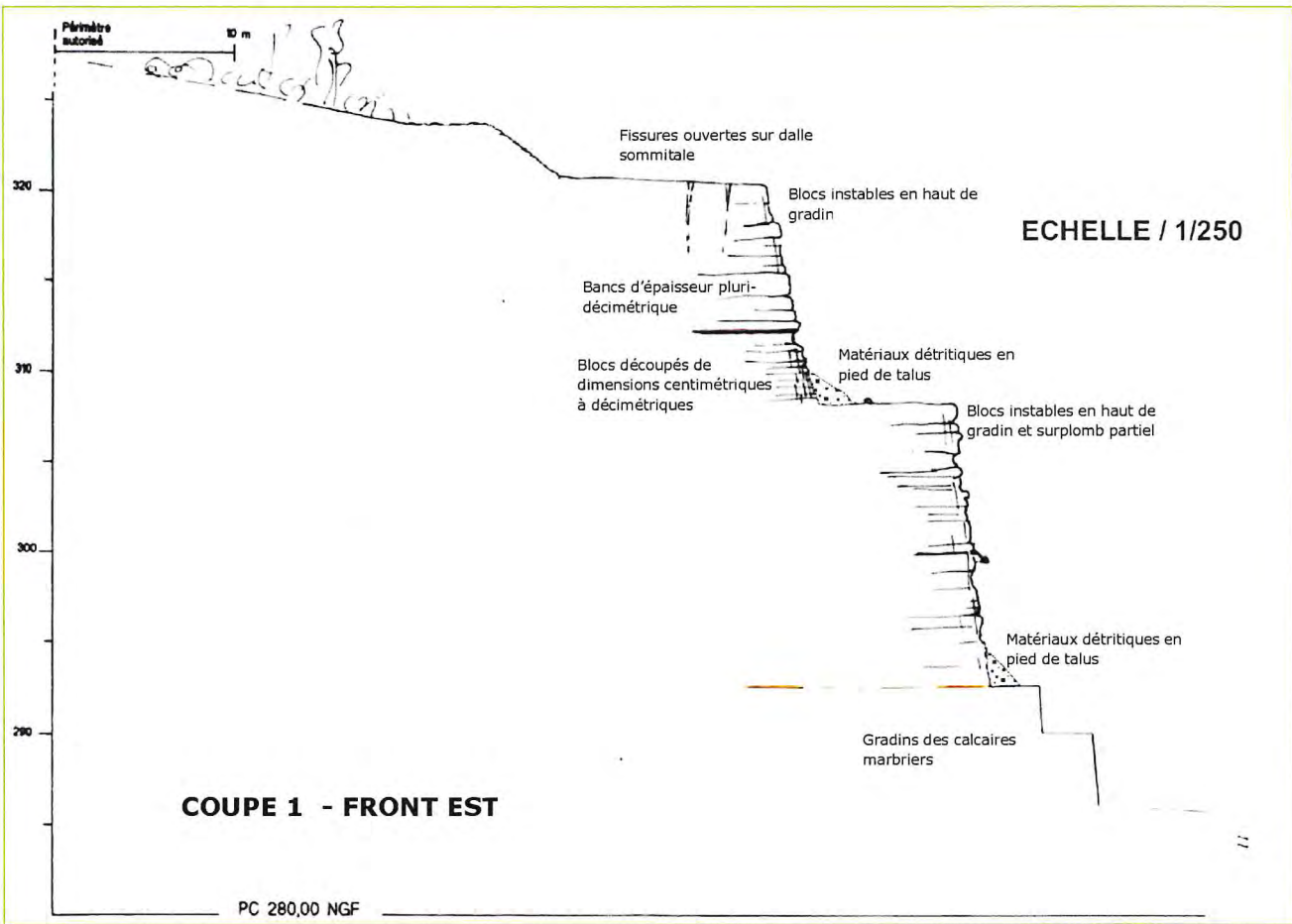
Pour la sous-entité du plateau calcaire bajocien-bathonien (la carrière est en bordure Sud au niveau du val d'Amby), les failles sont également de directions N 20° E et N 110° E avec une interférence des 2 systèmes dans le secteur du val d'Amby où sont confirmées ces deux directions de failles qui ont délimité une mosaïque de panneaux rigides.

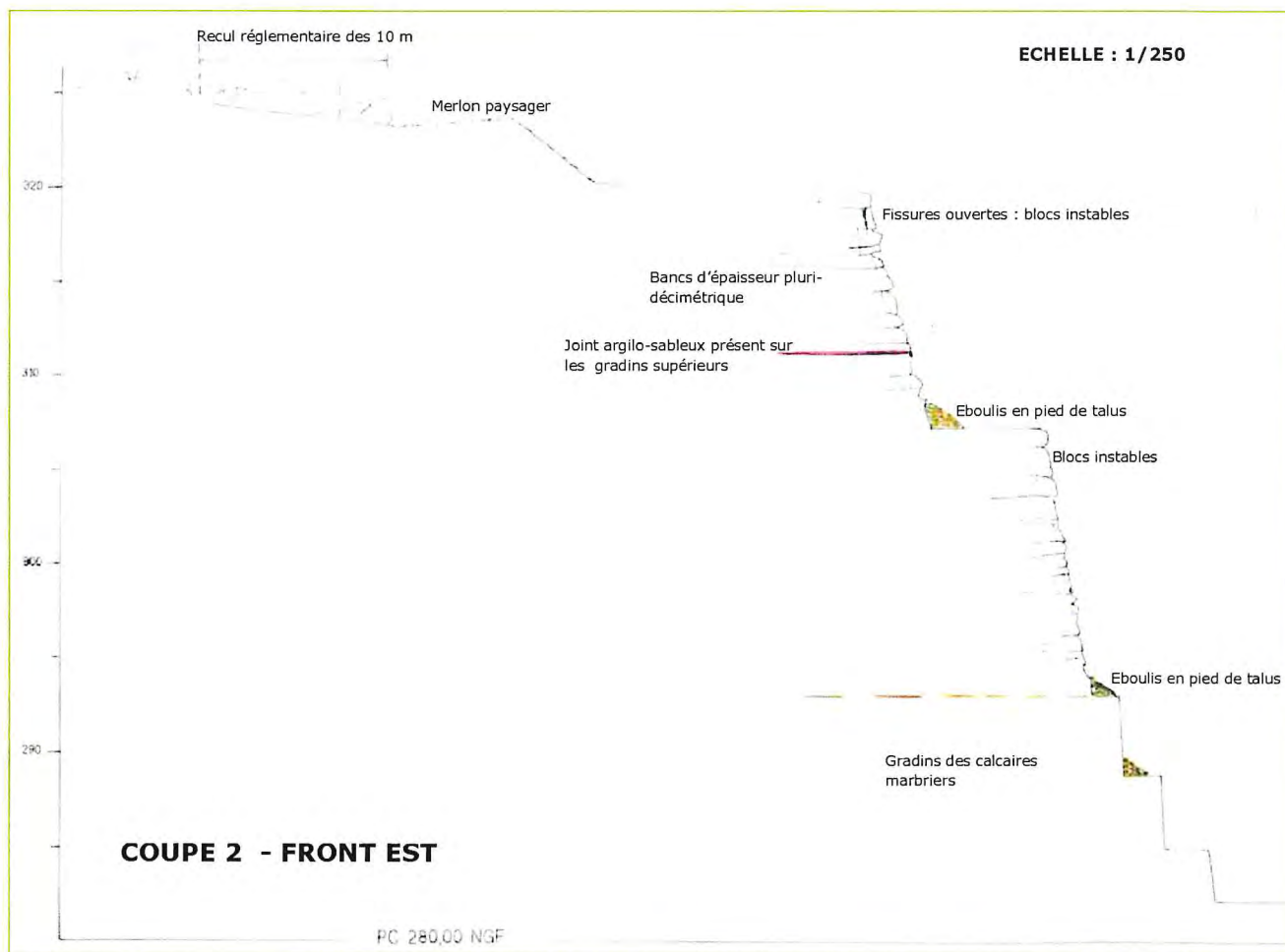
Il est à noter que la description structurale régionale mentionne également une faille, mineure, de direction N50° E.

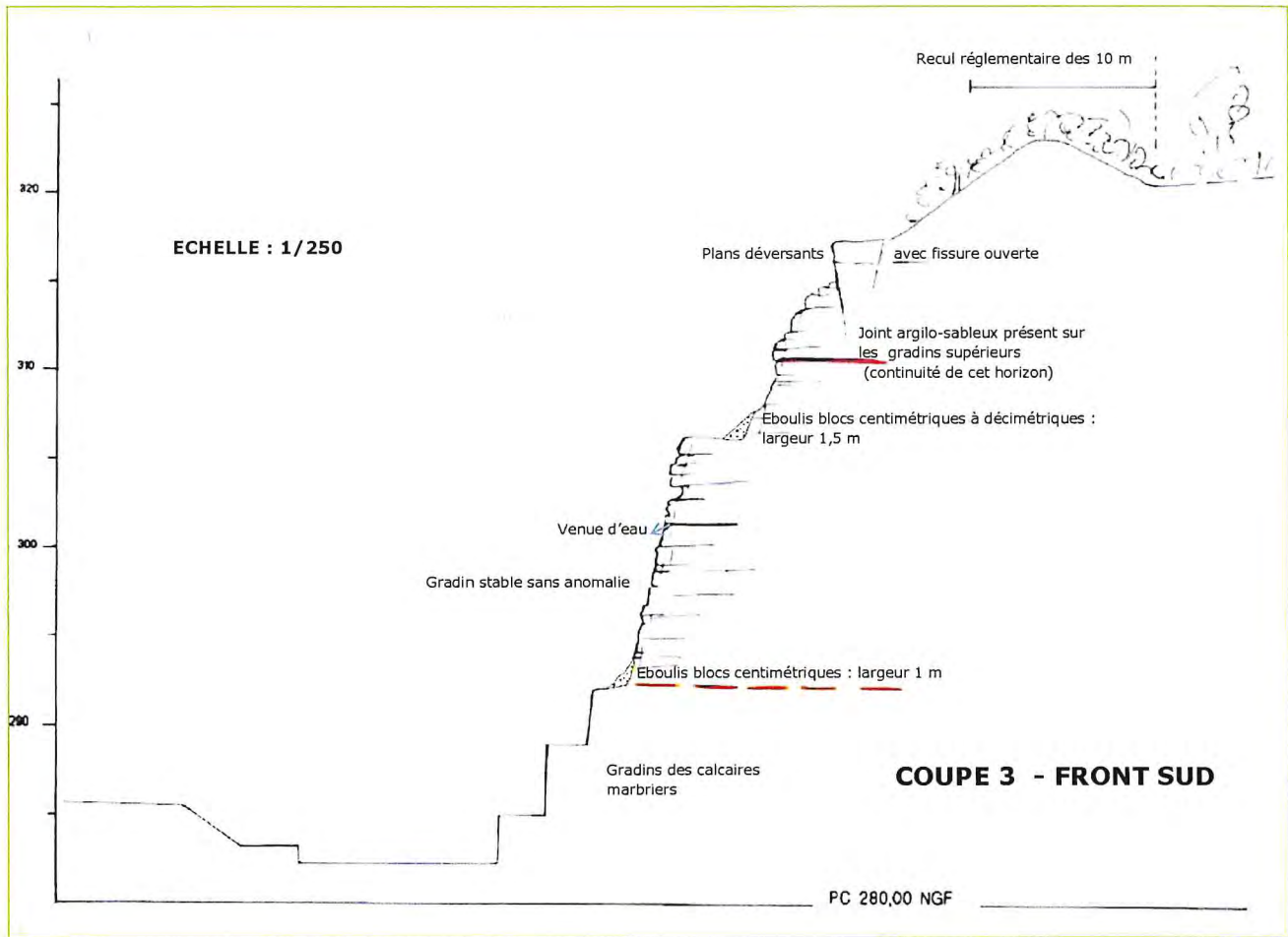
Il peut donc être constaté que les investigations conduites sur la carrière confirment les données générales.

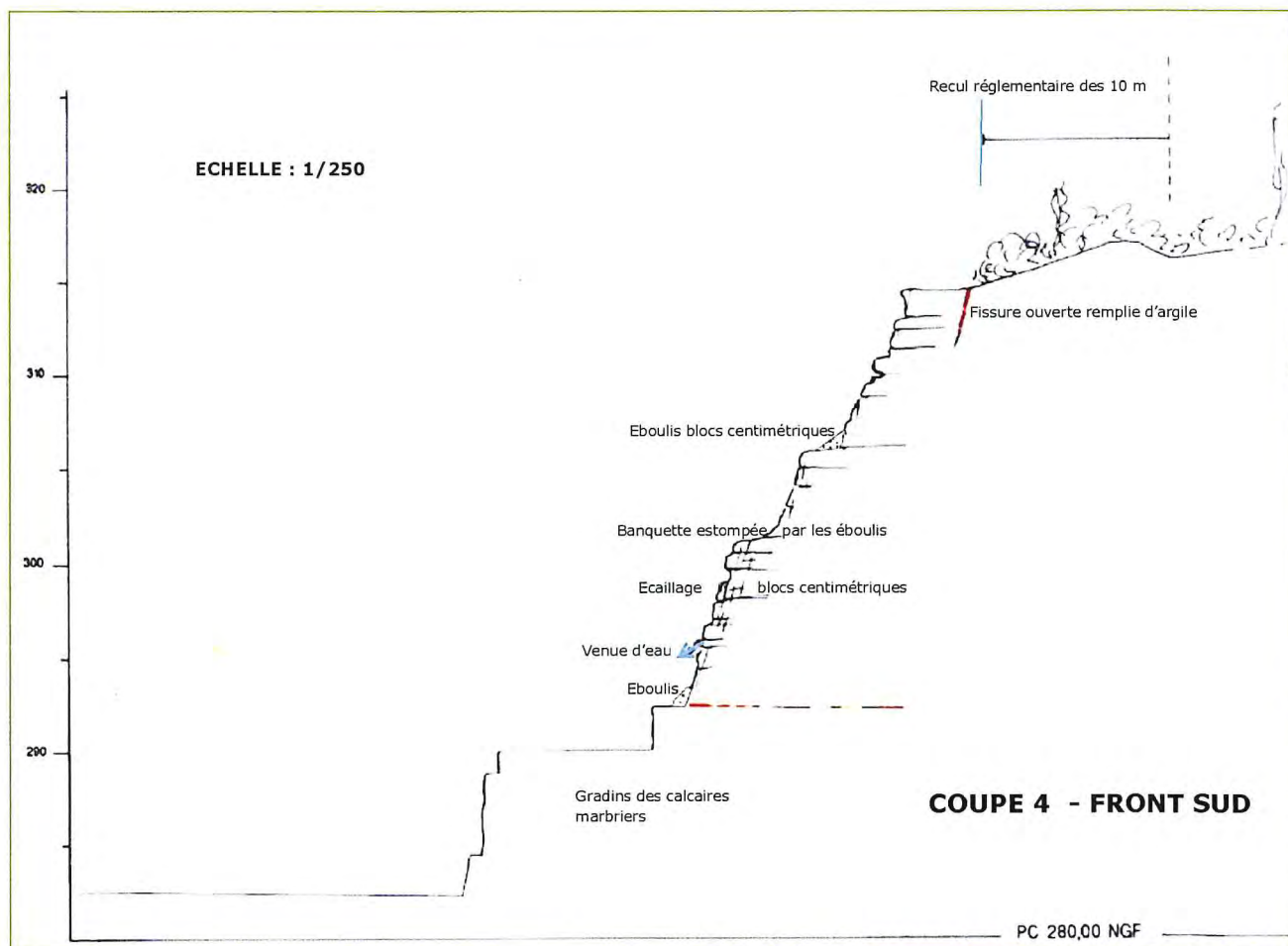
De façon globale, la configuration des discontinuités identifiées sur la carrière résulte essentiellement de la configuration structurale environnante.

Des particularités très localisées apparaissent cependant, résultant vraisemblablement de tirs de mines (marques des trains de tige de forage des trous de mines repérées à proximité).









3.6 CONCLUSIONS SUR LA STABILITE DES GRADINS ET FRONTS

L'assise des bancs de calcaire présents sur la carrière est subhorizontale, ce qui génère une stabilité d'ensemble du massif, ce en dépit de la présence de fissures ouvertes. Les plans inclinés (identification d'un miroir de faille) restent très réduits en nombre.

Dans la situation actuelle, les éléments instables identifiés représentent des volumes limités (quelques mètres-cube).

Il est à noter que la multiplicité des discontinuités directionnelles est un facteur favorable au débit du massif lors des tirs de mine.

Ainsi, les instabilités ponctuelles relevées semblent davantage résulter de la méthode de minage (production de blocs centimétriques et décimétriques et écailles).

Il sera cependant important de contenir d'éventuelles chutes de blocs instables identifiés dans la situation actuelle en pratiquant une purge localisée et en implantant des merlons de protection sur des banquettes suffisamment larges.

Au vu des données structurales relevées (pendage subhorizontal des bancs de calcaire, absence de plans inclinés) et de la nature du matériau en place, une approche de la stabilité par les méthodes de calcul habituellement employées (méthode de Fellenius, méthode de Rankine, méthode des cercles de Mohr, méthode de Lherminier) n'apportera pas d'éclairage supplémentaire si ce n'est qu'à confirmer les pentes générales conférées aux gradins et fronts.

Pour complément, est cependant reprise en annexe 3 l'application de la méthode de Fellenius à notre contexte, les principaux résultats en sont :

Pente intégratrice générale : 60° ;

Nombre de gradins : 5 gradins environ (y compris les gradins des calcaires marbriers) ;

Hauteur maximale des gradins : 15 m ;

Fruit minimum : 8° , retenu à 12° compte tenu de la fracturation superficielle possible

Largeur minimale de banquette libre assurant la stabilité: 6,6 m ;

Pied du gradin : 2,1 m ;

Largeur totale théorique de la banquette : 8,7 m (y compris pied de gradin) ;

Coefficient de sécurité : 2.

Largeur minimale de la banquette libre intégrant l'implantation de merlons de protection:
7,6 m

4 PRECONISATIONS DE CONFORTEMENT ET D'EXPLOITATION

4.1 PRESCRIPTIONS DES ARRETES D'AUTORISATION ET DE SUSPENSION

Conformément aux dispositions reprises en préambule et aux arrêtés préfectoraux mentionnés, les principales prescriptions à respecter sont :

- Une hauteur maximale de gradin de 15 m (conformité aux prescriptions de l'AM du 22 septembre 1994 et au RGIE) ;
- Une cote inférieure limite du carreau à 278m NGF ;
- Une purge et une surveillance régulières de fronts ;
- L'implantation de merlons de protection sur les banquettes ;
- Une remise en état basée sur un carreau arboré et de parois de gradins vieilles.

Les réponses prévues consistent en :

- Le respect d'une hauteur maximale de gradin de 15m ;
- Le carreau de la carrière est à sa cote minimale (282 m NGF), il ne sera pas descendu ;
- En termes de remise en état, le carreau, les pistes et les zones d'activité seront reboisés et les banquettes seront végétalisées.

4.2 PROFILS PRECONISES DES GRADINS ET DES FRONTS

Ces préconisations s'insèrent dans le périmètre actuellement autorisé. Elles sont susceptibles de révision dans le cadre d'une extension ultérieure du périmètre d'autorisation.

Les profils préconisés, repris en pages suivantes sur les schémas des profils en situation actuelle, prennent en compte la synthèse des observations réalisées ainsi que l'approche de la géométrie des gradins et fronts déterminée ci-avant au § 3.6.

Ces profils doivent concourir à :

- Réduire fortement voire éviter tout élément instable en parois ;
- Arrêter, en cas de chute, tout bloc sur la banquette immédiatement inférieure au moyen de l'implantation de merlons ;
- Assurer des conditions d'exploitation intégrant la sécurité permanente du personnel et l'absence d'impact sur l'environnement ;
- Proposer une configuration des banquettes permettant leur accessibilité pour tous travaux de purge, de confortement et d'entretien.

Le profil préconisé a été produit page précédente, il est rappelé ci-dessous :

Pente intégratrice générale : 60° ;

Nombre de gradins : 5 gradins environ (y compris les gradins des calcaires marbriers) ;

Hauteur maximale des gradins : 15 m ;

Fruit minimum de 8°, donc parement maxi de 82° par calcul, retenu à 78° ;

Largeur minimale de la banquette libre intégrant l'implantation de merlons de protection :
7,6 m

Pied du gradin : 2,1 m ;

Largeur totale théorique de la banquette : 9,7 m (y compris pied de gradin) ;

La pratique d'un découpage pseudo-vertical **dans les bancs de calcaire marbrier** nécessite, afin d'assurer la stabilité d'ensemble, de recouper les gradins et de ménager des banquettes de largeur 2 m minimum.

Compte tenu de la proximité du bord de l'excavation avec la limite du périmètre autorisé, le front Sud ne présente pas le recul suffisant à l'implantation de la géométrie des gradins préconisée.

Le recul présent pour pratiquer une banquette en haut de gradin supérieur ne dépasse pas les 5 m, la préconisation de 7,6 m ne peut donc être respectée dans toutes les étapes d'avancement. Il est donc proposé une variante consistant à pratiquer un gradin supérieur ou intermédiaire de 15 m selon le schéma de la coupe 4 ci-après.

Les crêtes de talus seront toutes munies d'un merlon de protection de 1 m de hauteur.

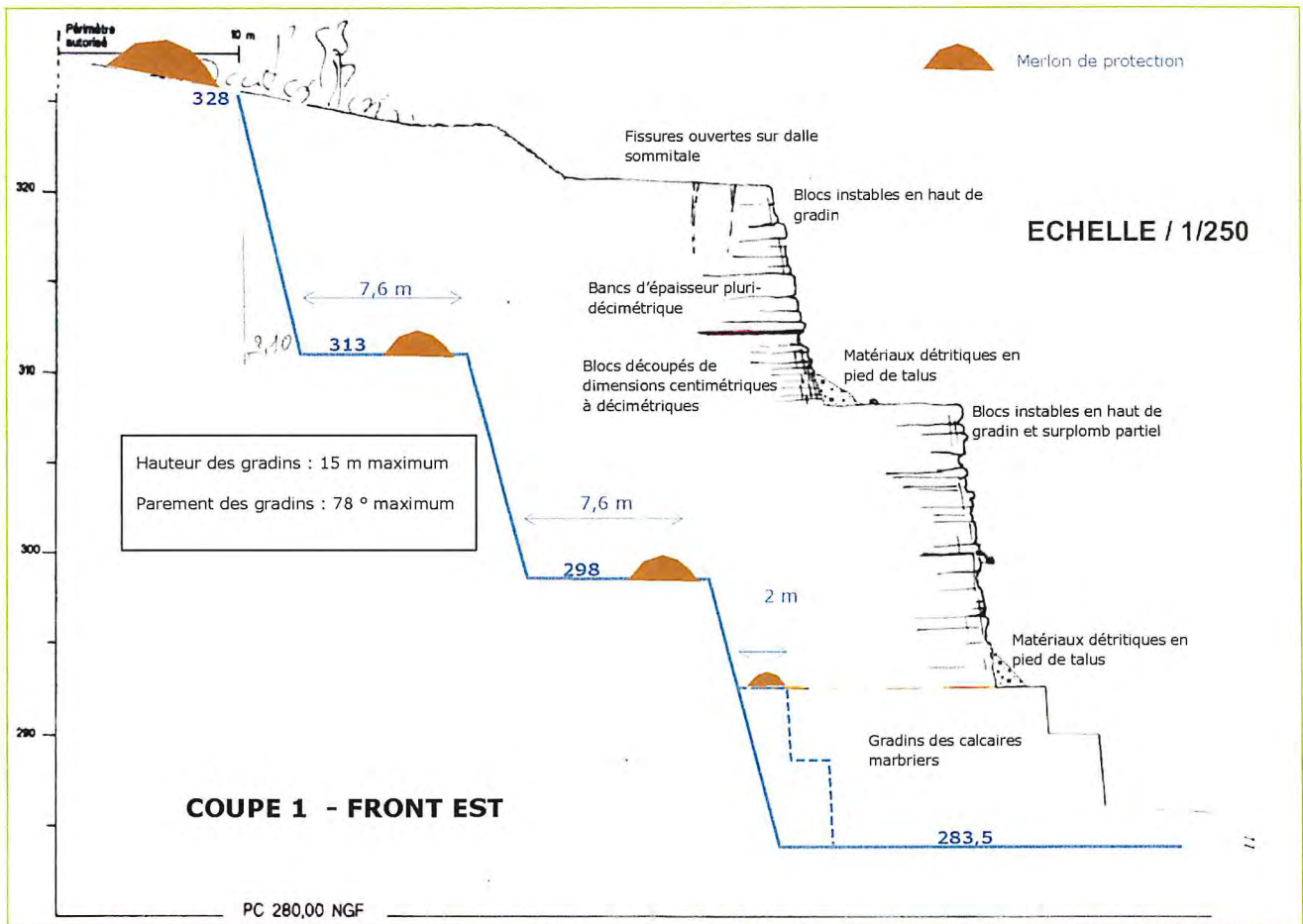
4.3 RECOMMANDATIONS CONTRIBUTIVES

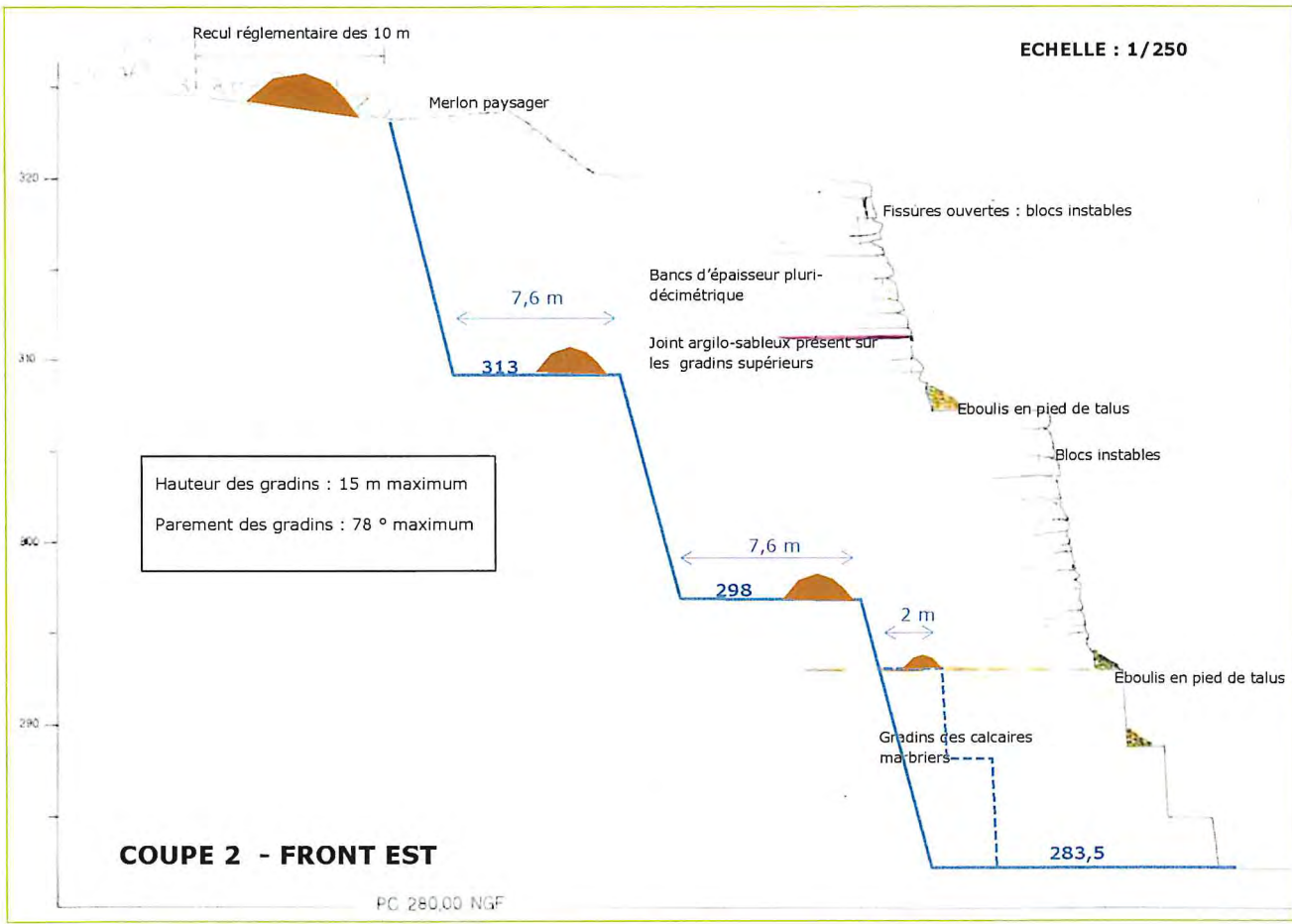
Les constats effectués sur le massif aboutissant à identifier une fracturation décimétrique importante laissent à penser que l'énergie consacrée aux tirs de mine a été excédentaire. En effet, la fracturation importante du massif et les fissurations ouvertes demandent à ce que l'énergie des tirs soit juste nécessaire.

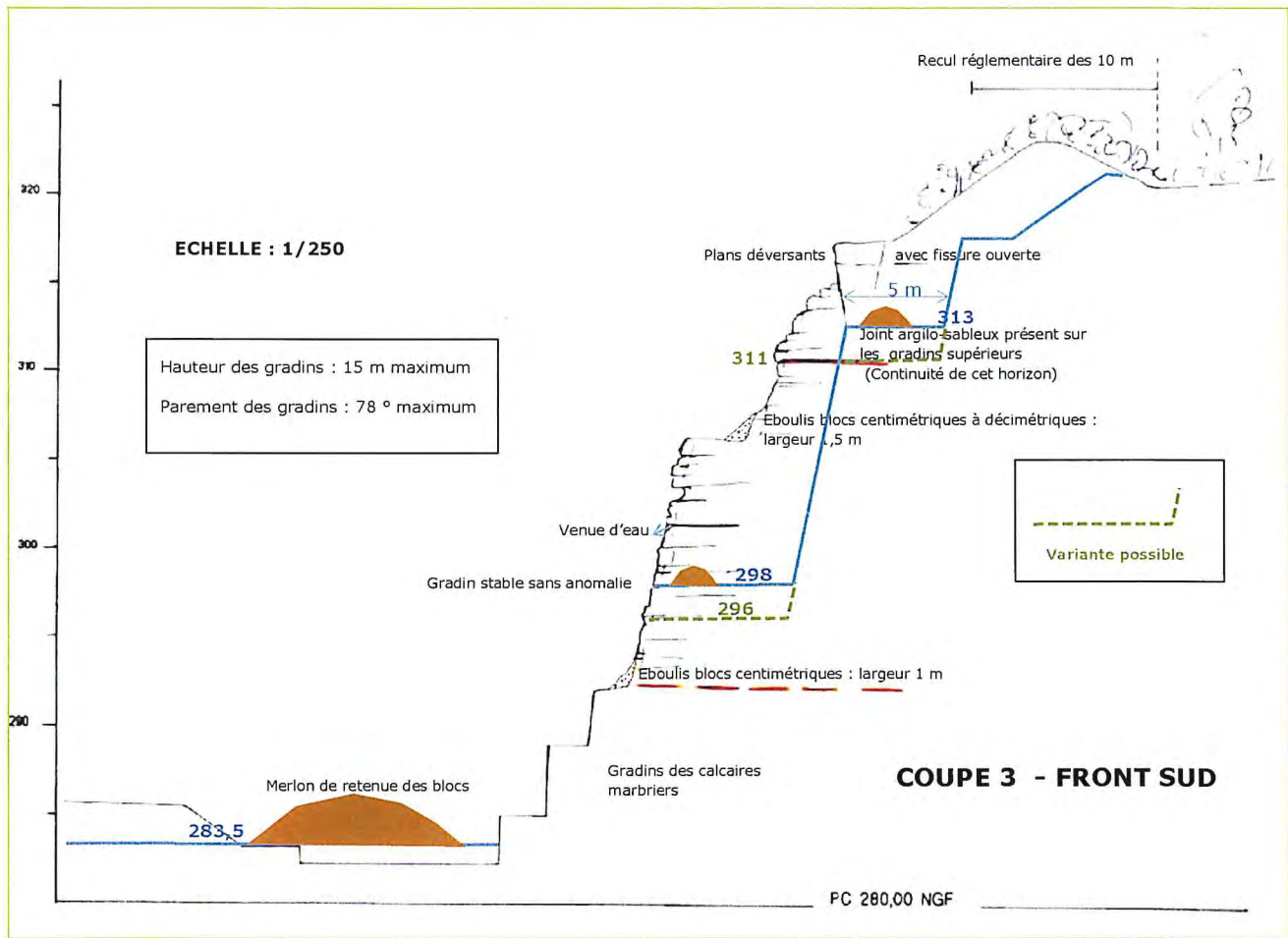
Le plan de tir doit être adapté à ces contraintes, la profondeur des trous de mine devrait rester en deçà des 7 m, les profondeurs de 12 à 15 m repérées sur le massif conduisent à un ébranlement excédentaire. Un pré-découpage de diamètre 25-30 mm est recommandé.

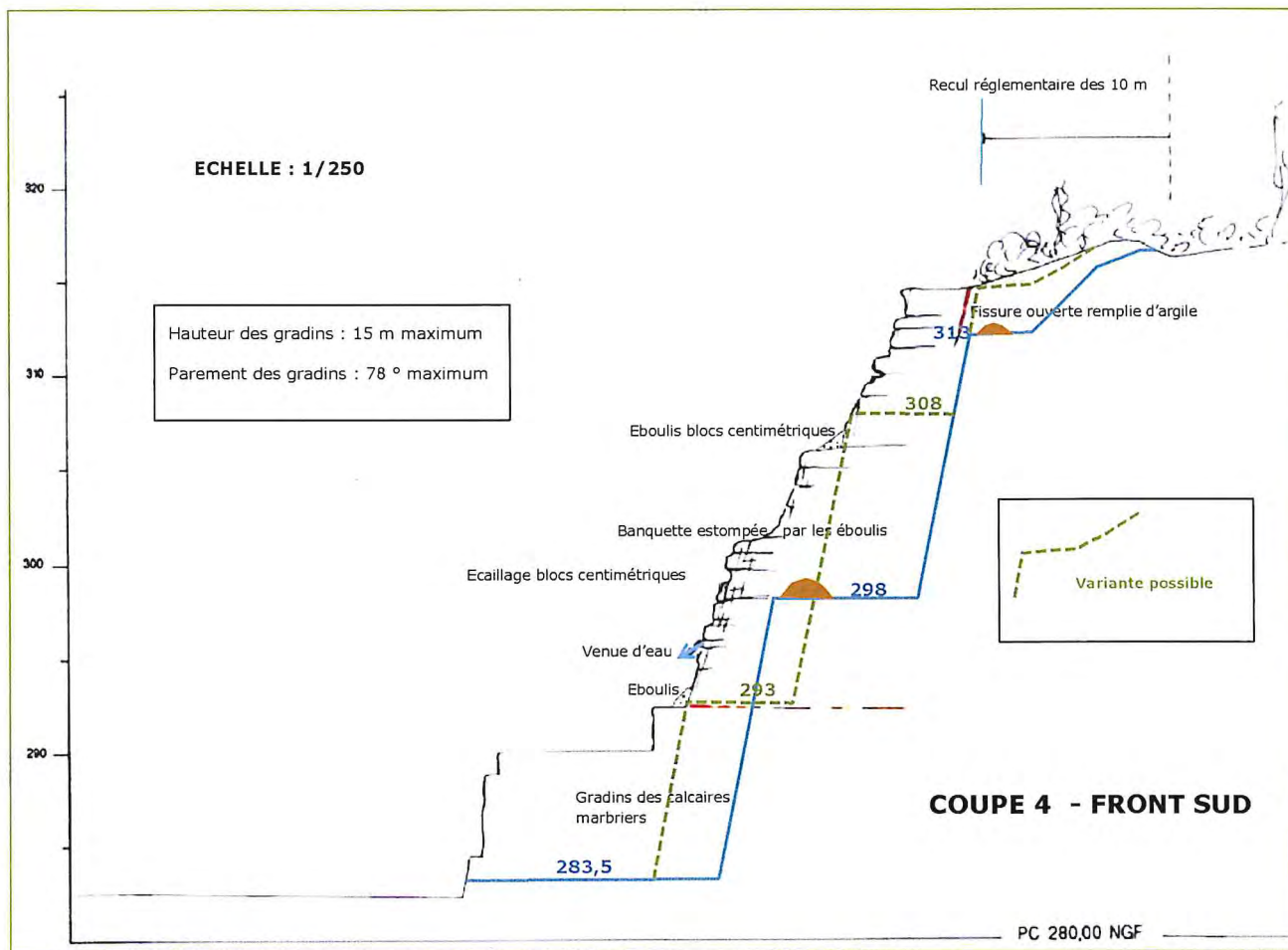
Les travaux de purge et d'entretien des gradins (leur capacité à accueillir des blocs derrière les merlons) sont à conduire à l'issue de chaque séance de tirs.

L'ensemble des lignes de crêtes des gradins sera munie d'un merlon de hauteur minimale 1 m, ce en respect des dispositions de l'article 20 du titre « Véhicules sur pistes » du RGIE.









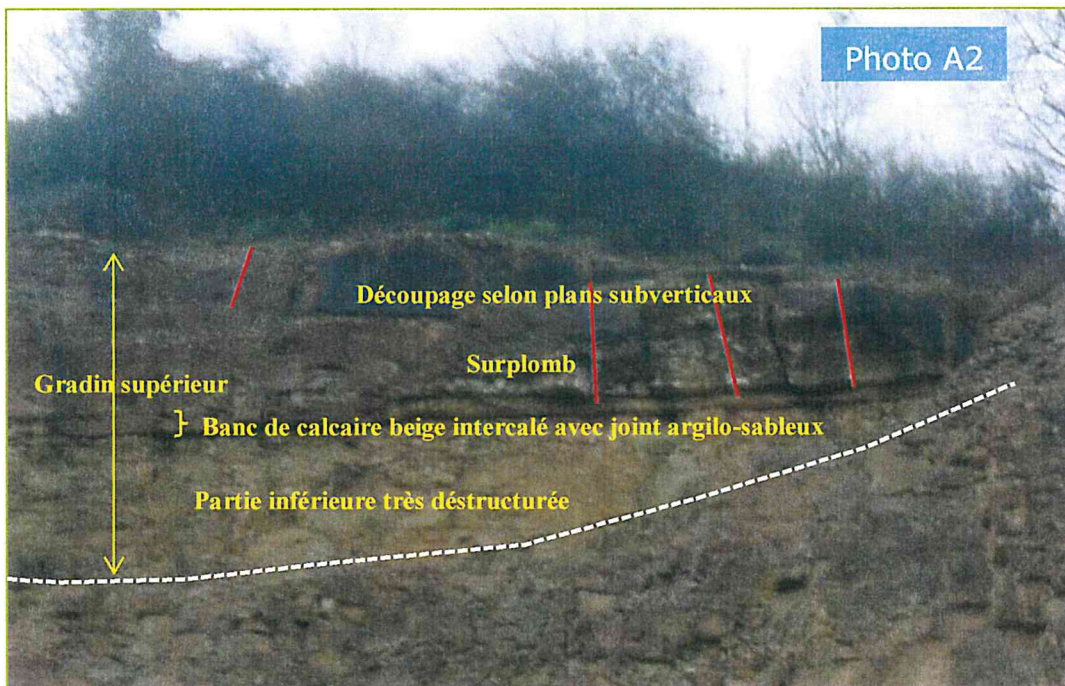
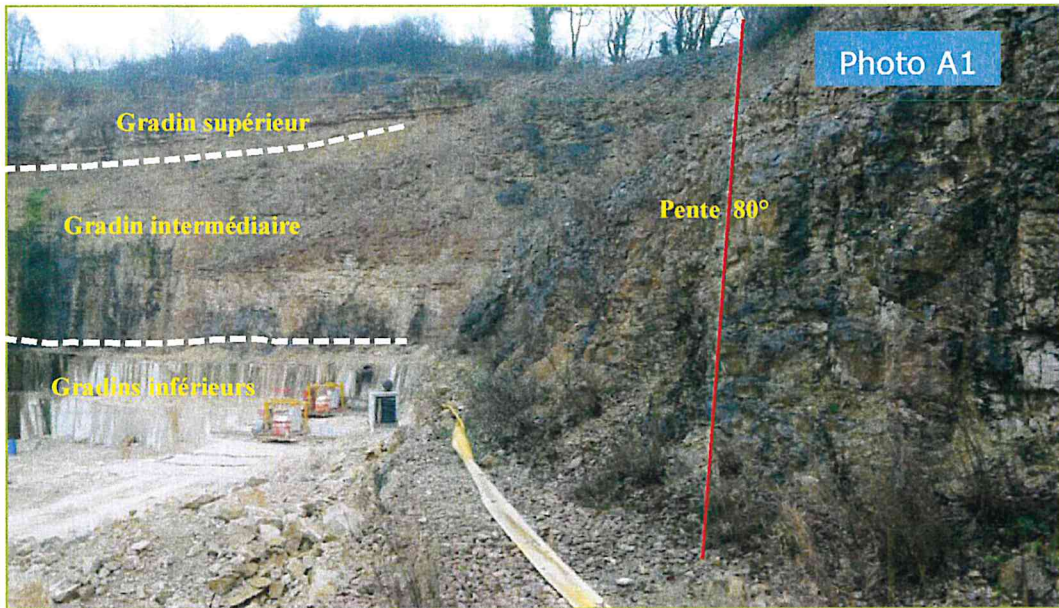
5 MISE EN CONFORMITE DES DOSSIERS DE PRESCRIPTIONS

Le tableau ci-dessous reprend les prescriptions du RGIE et les réponses apportées par la proposition de confortement des fronts de la carrière :

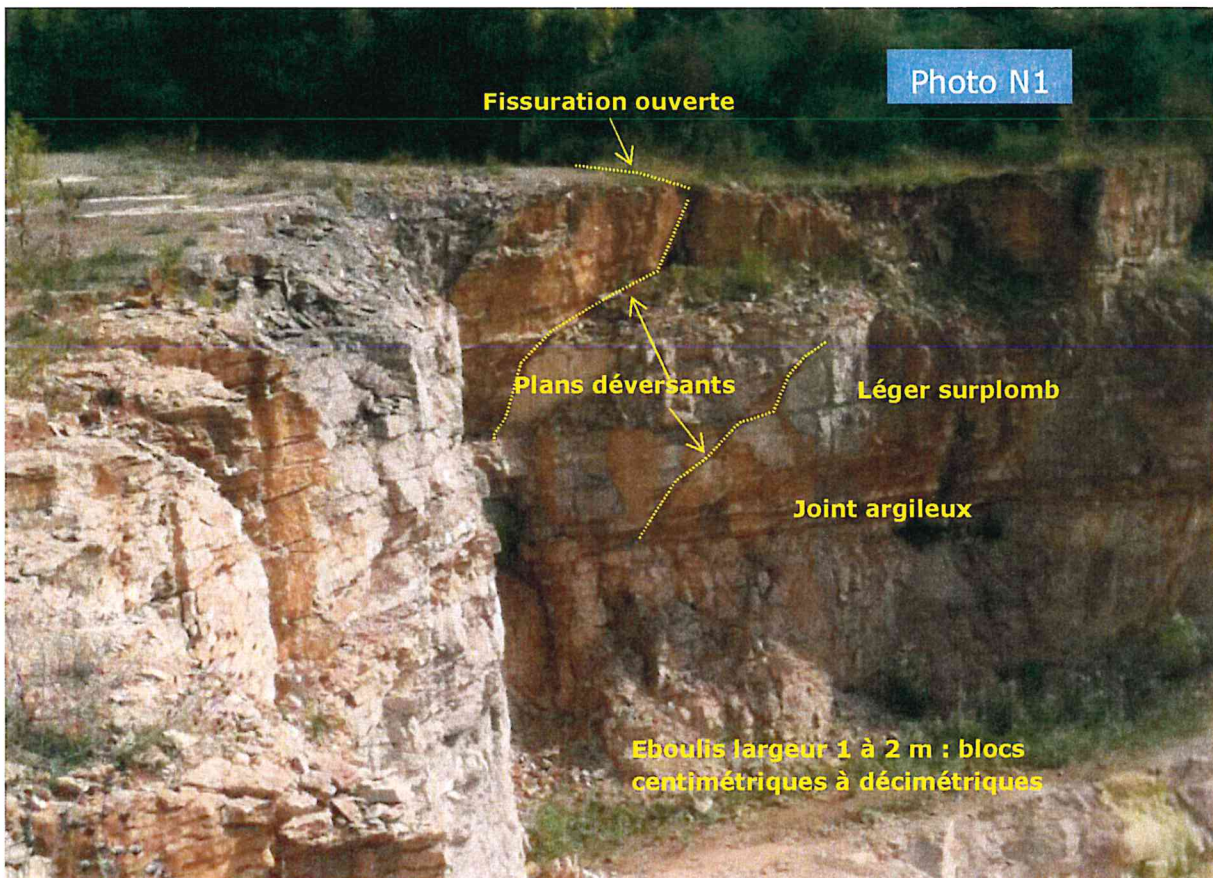
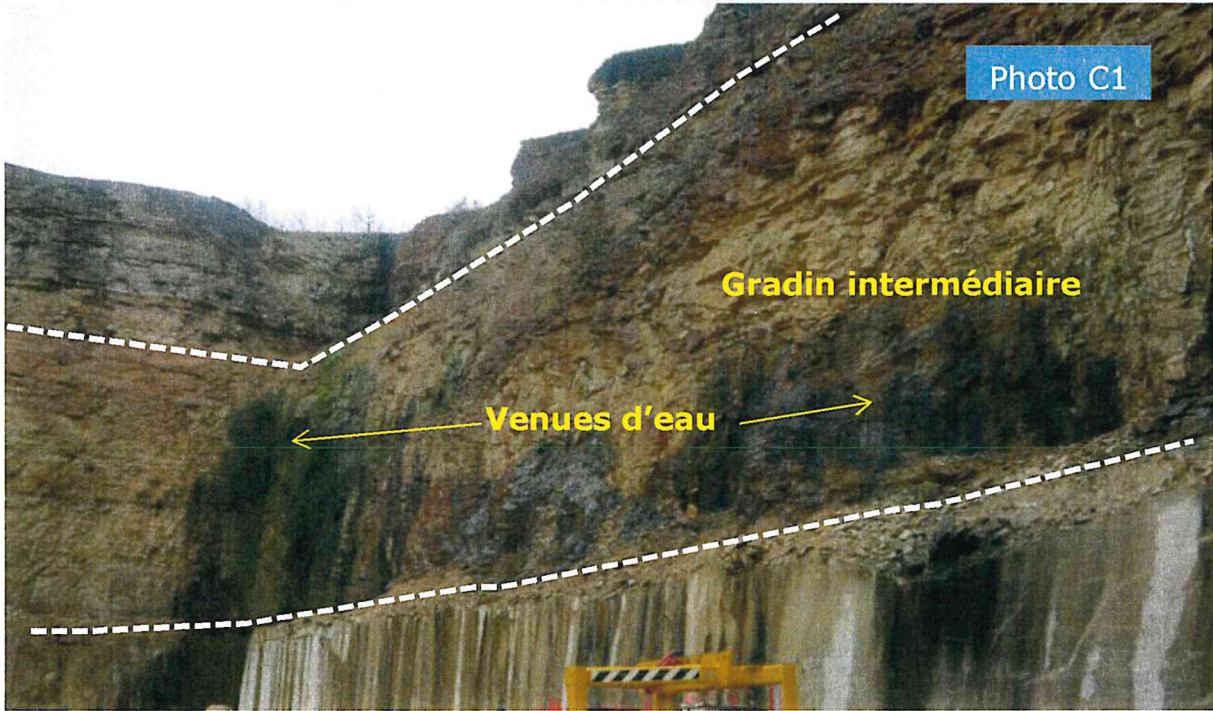
Prescriptions rappelées dans l'arrêté de suspension d'activité du 27 mars 2013	
Prescription	Dispositions proposées
<p>Article 63 du titre Règles Générales du RGIE</p> <p>Front d'abattage : <i>Le front d'abattage doit être constitué de gradins d'au plus 15 m de hauteur verticale</i></p>	<p>La présente étude de stabilité répond à cette prescription, elle propose un recoupage des gradins assurant la stabilité générale des fronts et gradins tout en respectant la hauteur maximale de gradin de 15 m. Des dispositifs de protection sous forme de merlons sont proposés ainsi que des mesures de surveillance et d'entretien régulières de ces dispositifs afin d'assurer leur efficacité dans le temps. Ces dispositions seront reportées dans le dossier de prescriptions « Règles Générales » avec un report dans le Dossier Santé Sécurité du site.</p>
<p>Article 65 du titre Règles Générales du RGIE</p> <p>Exploitation : <i>« Les fronts ou tas de déblais ne doivent pas être exploités de manière à créer une instabilité. Ils ne doivent pas comporter de surplombs. L'évacuation des produits abattus doit être organisée de manière que le personnel ne soit pas exposé au risque d'écrasement par les véhicules ou gêné par eux en cas d'éboulement ou de remise en mouvement d'un bloc »</i></p>	<p>Les investigations conduites sur la carrière au titre de la stabilité ont mis en évidence les zones d'instabilité et de surplomb. Les modalités de conformation proposées des fronts permettent de traiter ces particularités.</p> <p>Les stocks seront organisés pour assurer la libre circulation du personnel et son retrait rapide en cas de situation à risques.</p> <p>Ces dispositions ainsi que la localisation des désordres identifiés sur les fronts seront mentionnées dans le dossier de prescriptions « Règles Générales »</p>
<p>Article 66 du titre Règles Générales du RGIE</p> <p>Surveillance et purge des fronts d'abattage et des parois <i>« Le front d'abattage et les parois dominant les lieux de travail et les pistes doivent être régulièrement surveillés par un agent désigné à cet effet par l'exploitant et être purgés dès que cette surveillance en fait reconnaître la nécessité. Ces opérations doivent être effectuées notamment après chaque tir d'abattage à l'explosif, avant toute reprise de travail en période de gel, de dégel ou de fortes pluies et avant toute reprise de l'activité après un arrêt prolongé.</i></p> <p><i>Les mesures nécessaires doivent être prises pour que, pendant les opérations de purge, personne ne puisse stationner ou se déplacer dans la zone susceptible d'être atteinte par les blocs détachés »</i></p>	<p>Des dispositifs de protection contre la chute éventuelle de blocs sont proposés (merlons).</p> <p>Une consigne « Surveillance des fronts et purge des parois » alimentera de façon complémentaire le dossier de prescriptions.</p>
<p>Article 20 du titre Véhicules sur Piste du RGIE</p> <p>Pistes <i>« ...Lorsque cette distance est inférieure à cinq mètres, la piste doit être munie du côté du bord supérieur du talus ou de la paroi d'un dispositif difficilement franchissable par un véhicule circulant à vitesse normale et dont la hauteur minimale est égale au rayon des plus grandes roues des véhicules qui circulent sur la piste... »</i></p>	<p>L'ensemble des lignes de crêtes des gradins sera munie d'un merlon de hauteur minimale 1 m.</p> <p>Cette disposition ainsi que la consigne d'entretien des merlons de protection seront portées dans le dossier de prescriptions « Véhicules sur Pistes »</p>

ANNEXE 1 : PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

FRONT SUD



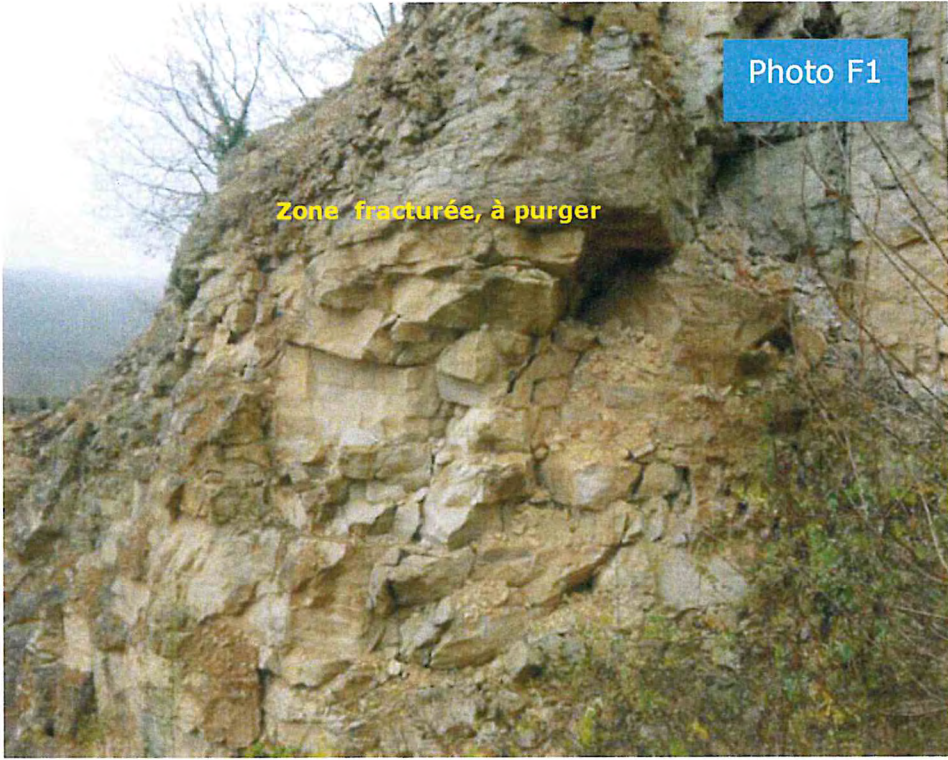






RAMPE D'ACCES AVEC TALUS AMONT ET AVAL









Talus aval de la piste : pente d'équilibre 50° environ



Front supérieur de talus à sécuriser

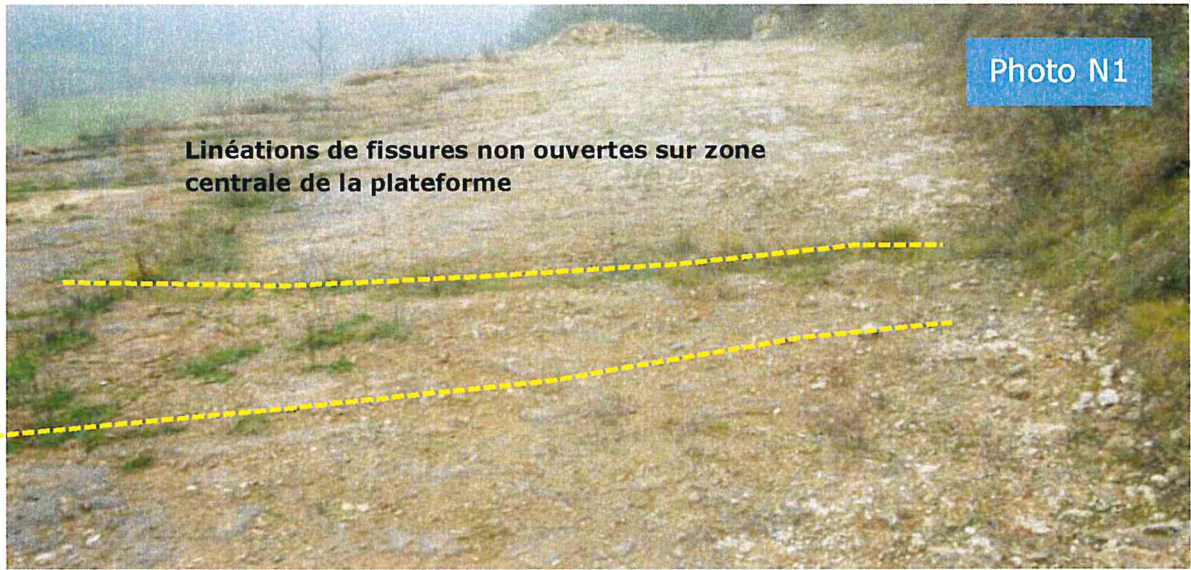


Photo H1

Talus aval de la piste sous banquette niveau 302

FRONT EST





Linéations de fissures non ouvertes sur zone centrale de la plateforme

Photo N1



Fissure ouverte de 4 cm, de
profondeur mesurée 2 m,
orientation générale N 150°
environ

Longueur globale de la fissure
identifiée : 14 m

Gradin supérieur front Est

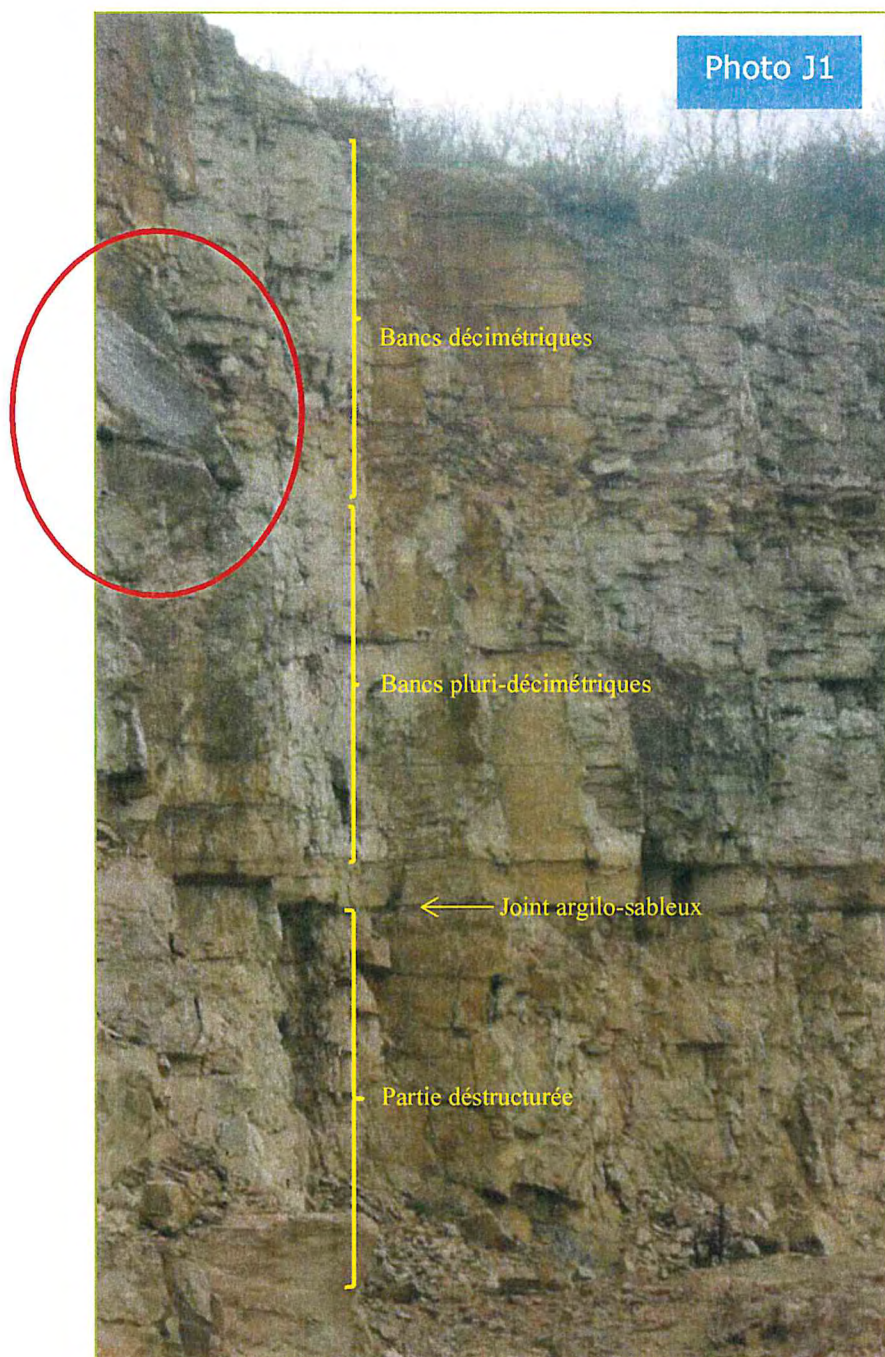




Photo J2

Miroir de faille générant un plan de glissement préférentiel

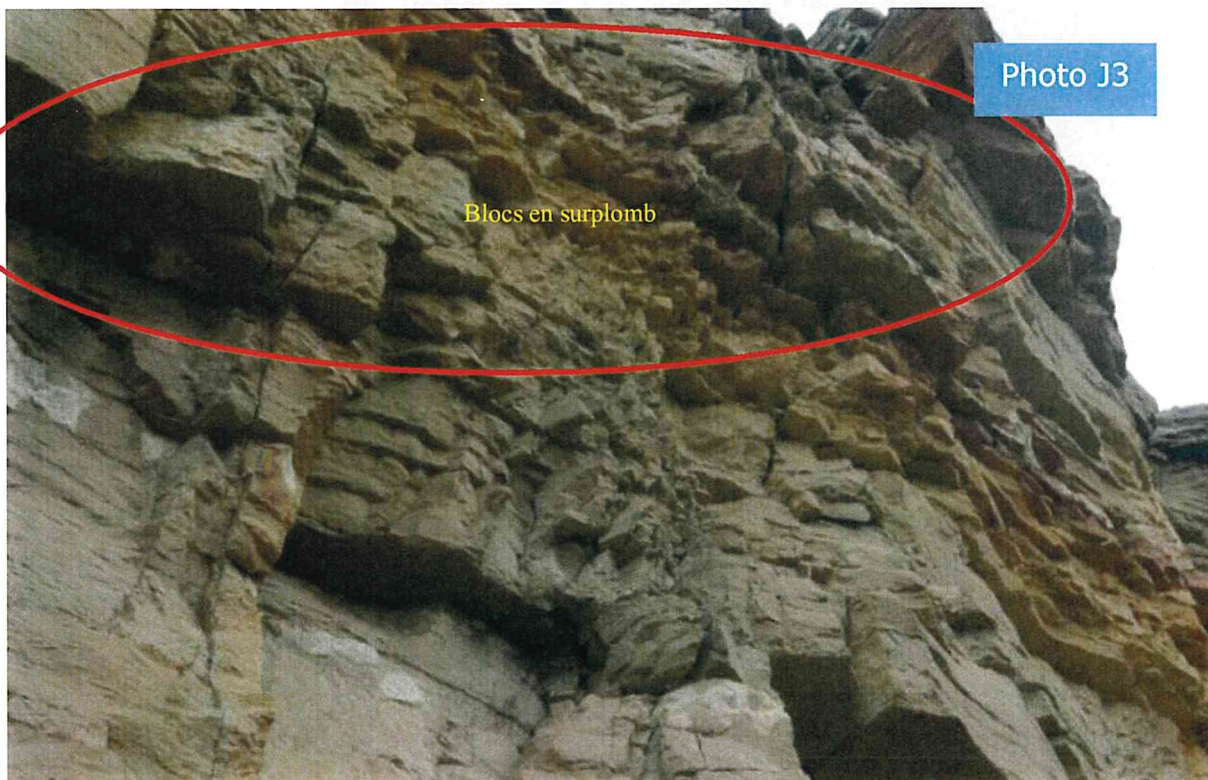
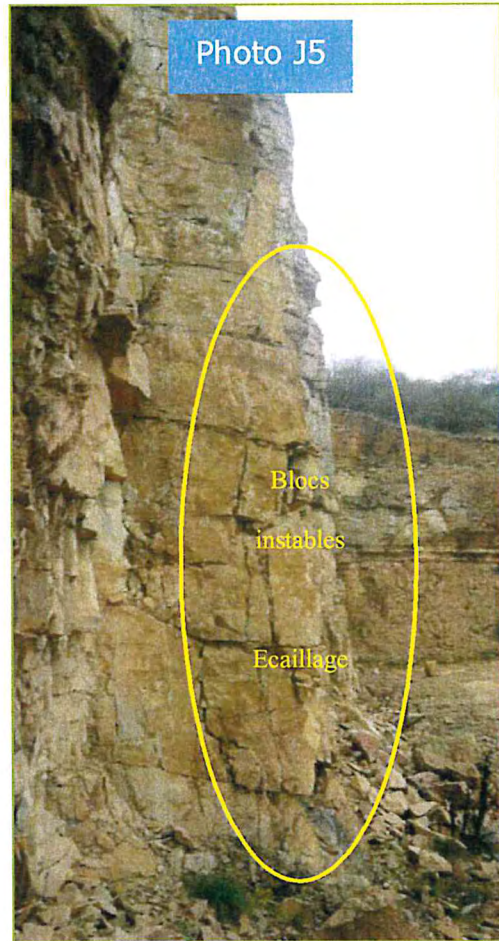
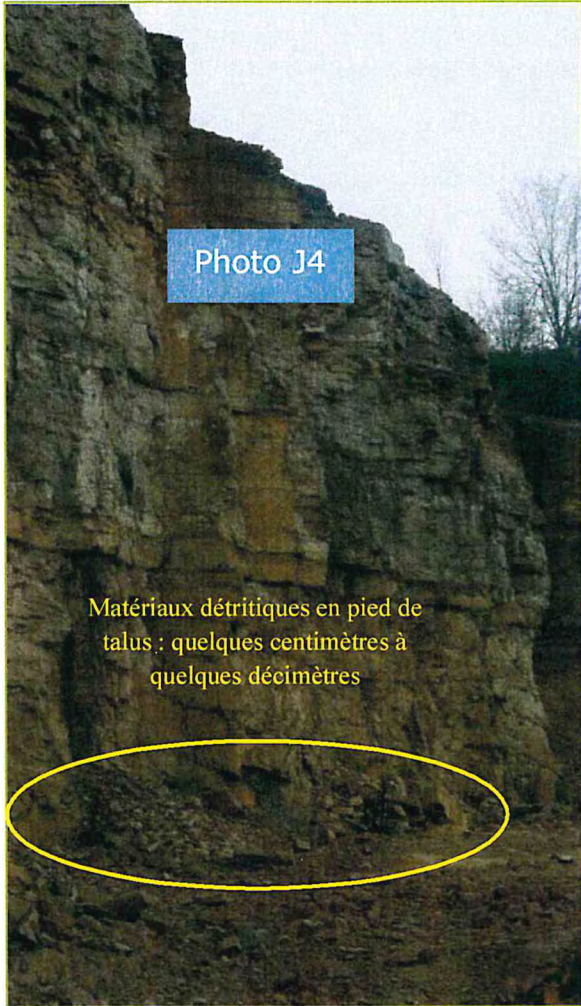
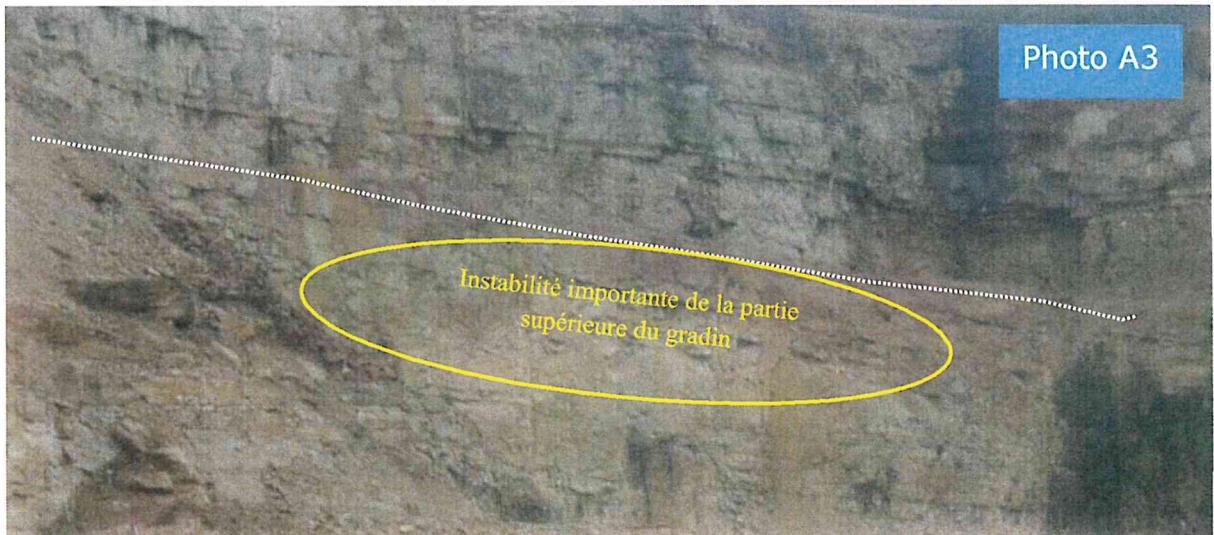
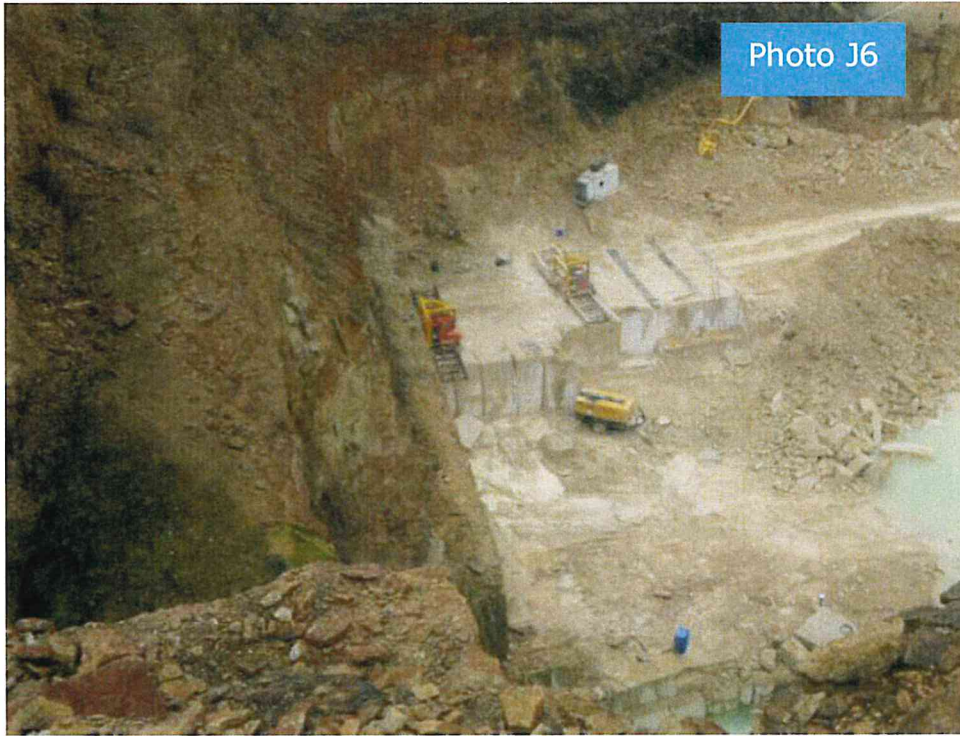


Photo J3

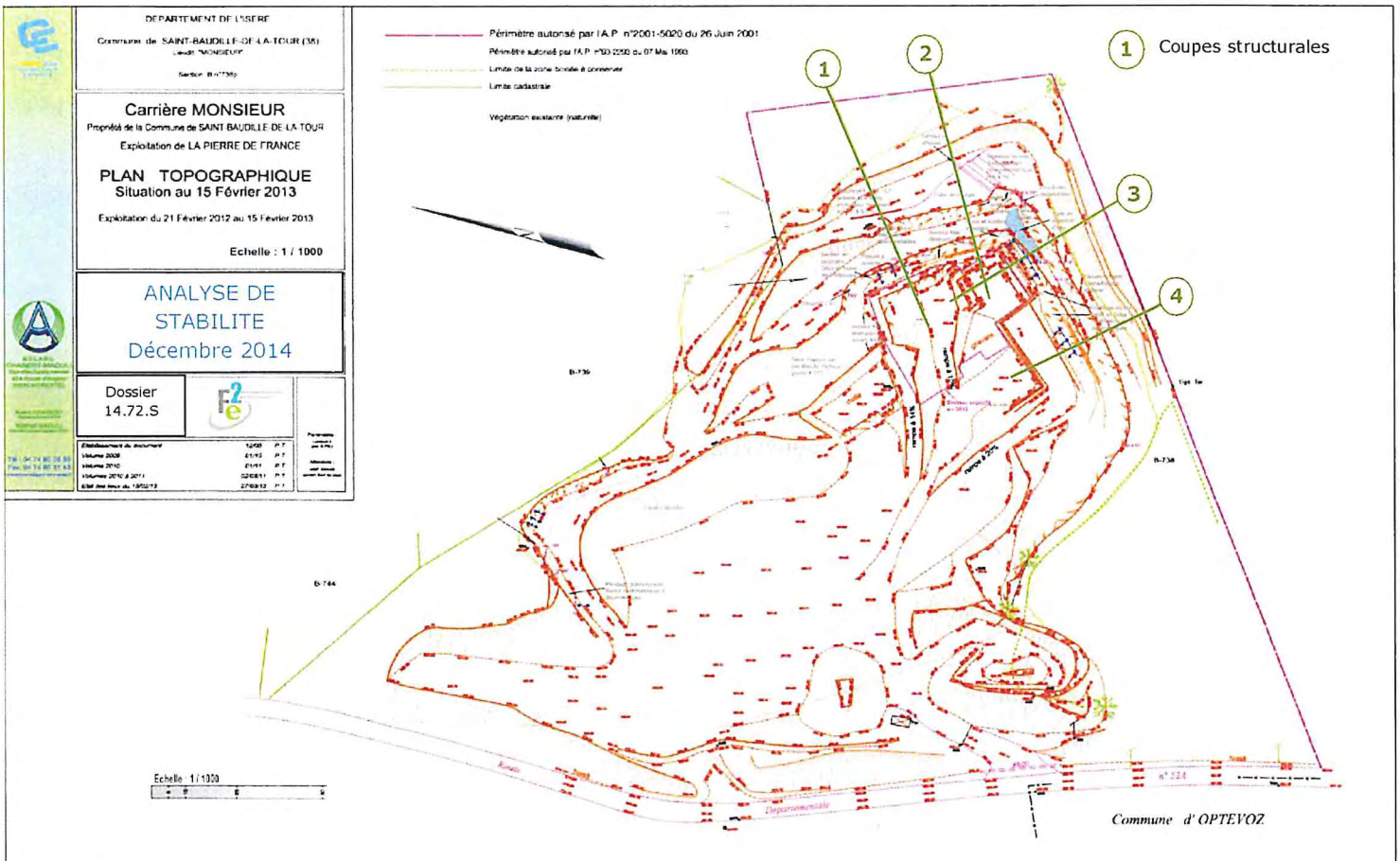
Blocs en surplomb



Gradin intermédiaire front Est



ANNEXE 2 : PLAN DES TRAVAUX



ANNEXE 3 : CALCUL DE STABILITE

« MOUVEMENT DE TERRAIN ET STABILITE »

APPLICATION AU CONTEXTE DE LA CARRIERE « MONSIEUR »

à SAINT-BAUDILLE-DE-LA-TOUR (38)

A METHODE DE CALCUL

1) Principe

La stabilité d'un talus résiduel peut être étudiée à partir de la méthode de **Fellenius**.

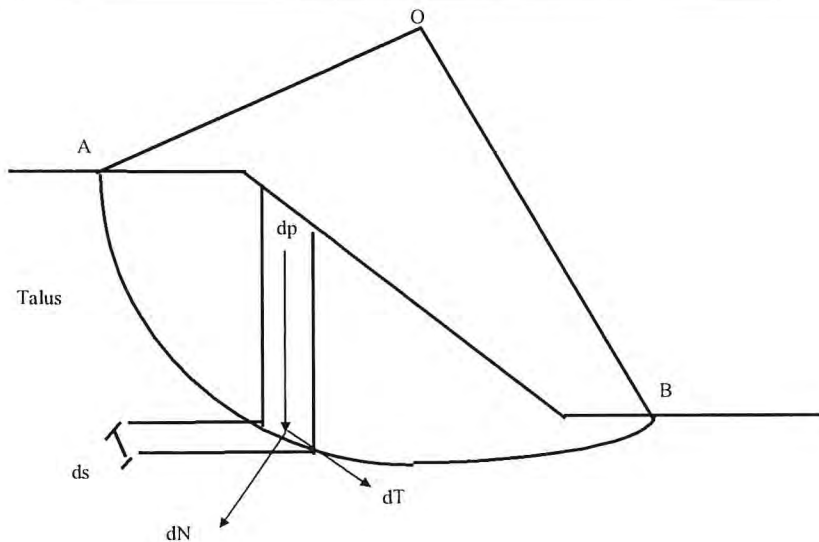
Cette **méthode classique** consiste, en partant d'un volume élémentaire susceptible de glisser, à en déterminer **le coefficient de sécurité**.

Pour cela, il faut d'abord définir les volumes qui sont ramenés à des surfaces, puisque, en considérant des sections transversales : elles sont limitées d'une part par la surface du talus et d'autre part par une courbe de glissement. La méthode prend comme hypothèse que les courbes de glissement sont des cercles, ce qui est sensiblement le cas au regard de l'expérience tirée des talus éboulés.

L'ensemble de tous les volumes possibles conduit à une valeur minimum de ce coefficient de sécurité, qui sera par définition le **coefficient de sécurité au glissement du talus**.

Au début du processus de glissement, le mouvement de la surface considérée peut être assimilé à une rotation autour du centre O d'un cercle de glissement (voir figure ci-dessous).

Forces mises en jeu lors d'un mouvement de rupture circulaire



dp	= poids élémentaire s'exerçant sur la surface ds
dT	= force de glissement
dN	= force stabilisatrice

Il est donc logique de prendre comme coefficient de sécurité le rapport des moments par rapport au centre du cercle de glissement, des forces stabilisatrices et des forces de glissement.

$$S = \frac{M' s}{M' g}$$

Les **forces stabilisatrices** sont étroitement corrélées aux caractéristiques des matériaux utilisés, en particulier à sa cohésion C et à son angle de frottement φ .

Les forces de glissement, par définition facteur d'instabilité, sont liées au poids du talus éventuellement diminué de la pression interstitielle μ .

La principale force appliquée est le poids du talus considéré, éventuellement diminué de la pression interstitielle, la pression d'infiltration pouvant être négligée en première approche. Concernant la pression interstitielle, il sera considéré que le talus concerné est dit consolidé, c'est-à-dire qu'il ne se tasse pas et que le talus s'adapte rapidement aux éventuelles variations de contraintes provoquées par l'eau, **ce qui est le cas dans le massif calcaire de la carrière « Monsieur » de Saint-Baudille-de-la-Tour.**

En raisonnant sur l'élément ds de l'arc de cercle AB, on aura :

- force stabilisatrice : $(dN - \mu ds) \cdot \text{tg } \varphi + c \cdot ds$;
- force de glissement : dt (poids de la tranche de talus).

Le **coefficient de sécurité S** est obtenu en intégrant sur l'arc de cercle AB, l'ensemble des forces élémentaires qui entrent en jeu, en négligeant, ce qui est défavorable, les forces s'exerçant entre les tranches verticales :

$$S = \frac{\int_A^B (dN - \mu ds) \cdot \text{tg } \varphi + \int_A^B A \cdot C' \cdot ds}{\int_A^B dT}$$

La relation précédente permet d'obtenir une évaluation satisfaisante de S en posant les **hypothèses simplificatrices** suivantes :

- le massif de matériaux est parfaitement homogène ;
- il n'est pas soumis à la pression interstitielle ;
- seul le poids des matériaux intervient dans l'évaluation des efforts verticaux ;
- la pression d'infiltration est négligée.

Le coefficient **S** s'écrit alors :

$$S = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \beta} + 4,14 \times \frac{2C}{\Delta h} + 0,78 \frac{\text{tg } \varphi}{\sin 2\beta} \times \frac{r^{0,8}}{r^{0,8} + 0,28}$$

avec :

$$\left[\begin{array}{l} \varphi = \text{angle de frottement du matériau (en } ^\circ \text{)} ; \\ C = \text{cohésion du matériau en t/m}^2 ; \\ \beta = \text{angle du parement avec l'horizontale (en } ^\circ \text{)} ; \\ \Delta = \text{poids du matériau employé en t/m}^3 ; \\ h = \text{hauteur du massif en m} ; \\ r = \frac{2C}{\Delta h} \cdot \text{Cotg } \varphi = \text{terme complémentaire (= 1 au maximum)} \end{array} \right.$$

Le premier terme représente l'effet du frottement interne, le second celui de la cohésion et le troisième est un terme complémentaire fonction de la cohésion, du poids et de la hauteur.

Si la cohésion est nulle ou négligeable, le coefficient de sécurité S apparaît alors sous la forme habituelle d'un coefficient de sécurité au glissement.

Dans le domaine courant, où la valeur de r ne dépasse pas l'unité, le coefficient S peut s'écrire, de façon approchée :

$$S = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta} + 10 \cdot \frac{C}{\Delta h}$$

2) La prise en compte de la sismicité

A) *Rappels*

Les actions sismiques sont considérées comme des actions accidentelles externes.

La prévention de ces actions s'appuie sur la réglementation parasismique française avec la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection des forêts contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.

Le zonage sismique de la France officialisé initialement par le décret du 14 mars 1991, et édicté consécutivement au zonage semi-probabilistique de la France à l'échelle cantonale, réalisé en 1985 par le BRGM, a été réactualisé en 2010 et codifié au code de l'environnement dans son article D. 563-8.

Ce zonage s'appuie :

- d'une part, sur les données historiques et la détermination des séismes historiques maximums ;
- d'autre part, sur la période de retour prévisible d'un tel séisme.

Il divise le territoire national en 5 zones de sismicité croissante comme précisé au tableau ci-après, la répartition de ces différentes zones étant définie à l'article D.563-8-1 du code de l'environnement (codifiant le décret du n° 2010-1254 du 22 octobre 2010) par département, arrondissement, canton et communes).

ZONE DE SISMICITE	LIBELLE	TEMPS DE RETOUR STATISTIQUE DES SECOUSSES D'INTENSITE MSK 8 AU PLUS
1	Sismicité très faible	-
2	Sismicité faible	10 000 ans
3	Sismicité modérée	250 à 1000 ans
4	Sismicité moyenne	100 à 250 ans
5	Forte sismicité	< 100 ans

Au regard de ces items, le **site est situé dans le département de l'Isère en zone 3**, c'est-à-dire **en zone de sismicité modérée**, avec **un aléa modéré** (accélération au sol horizontale de 2,04 m/s²).

Les aléas sismiques de la France et accélérations de calcul sont en effet définis comme précisé au tableau ci-après (cf. arrêté du 04 octobre 2010) :

ALEA	Zone de sismicité	Accélération horizontale		Accélération verticale	
		Installations existantes	Installations nouvelles	Installations existantes	Installations nouvelles
Très faible	1	0,74	0,88	0,59	0,70
Faible	2	1,30	1,54	1,02	1,23
Modéré	3	2,04	2,42	1,63	1,94
Moyen	4	2,96	3,52	2,66	3,17
Fort	5	5,55	6,60	5,00	5,94

B) Le classement de la carrière

Les articles R. 563-1 à D. 563-8-1 du Code de l'Environnement sont relatifs à la prévention du risque sismique. Ils fixent pour les bâtiments, les équipements et les installations, deux classes respectivement dites "à risque normal" et "à risque spécial".

La classe dite "à risque normal" comprend les bâtiments, les équipements et les installations pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiats.

La classe dite "à risque spécial" comprend les bâtiments, les équipements et les installations pour lesquels les effets sur les personnes, les biens et l'environnement résultant d'un séisme peuvent ne pas être circonscrits au voisinage immédiat desdits bâtiments, équipements et installations.

Compte tenu des caractéristiques de la carrière et des classifications déterminées à l'article R. 563-3, concernant le risque normal, la carrière relève de la classe à risque normal catégorie I (catégorie d'importance I : catégorie concernant les installations dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour le personnel ou l'activité économique).

Cette classification en risque normal catégorie I, n'entraîne aucune contrainte de construction, telle que préconisée à l'arrêté du 29 mai 1997 et à la norme NFP 06-013, dite DTU règles PS92 constituant des règles parasismiques de construction où le coefficient a_n résultant de la sismicité de la zone est nul en zone de sismicité 4 pour la catégorie I définie à l'article R. 563-3 du code de l'environnement (assimilable à la classe A définie à l'arrêté du 15 septembre 1995).

Les conséquences d'un séisme sur les installations du site de la carrière resteraient comprises dans l'environnement immédiat des installations. Les conséquences qui pourraient être attendues sont éventuellement la chute de certaines structures des installations mises en place (concasseur, broyeur, cribles, convoyeurs, trémies, ...).

Les conséquences d'un séisme éventuel, d'aléa modéré (zone 3 et accélération au sol horizontale de 2,04 m/s^2), correspondent à des dommages sur les bâtiments, qui n'existent pas sur le site même de la carrière où l'extraction est réalisée. Le risque sismique, s'il ne constitue donc pas un élément aggravant vis-à-vis des risques potentiels de dangers concernant les bâtiments, doit cependant être pris en compte au titre de la stabilité.

C) Les conséquences en matière de stabilité

L'évaluation de la stabilité se traduit, comme précisé, précédemment par un coefficient de sécurité S, qui est le rapport des forces mobilisables pour s'opposer à la rupture, sur les forces produisant la rupture. Autrement dit, le rapport 1/S représente la fraction mobilisée de la résistance à la rupture d'un talus.

Pour un coefficient de sécurité de 1, le talus est donc à la limite d'équilibre (ou de la rupture).

Aussi, il est d'usage de retenir un coefficient de sécurité de 1,2, voire 1,3, afin d'assurer un équilibre de long terme.

En cas de sismicité, ce coefficient est en général porté à 1,5, voire plus pour des zones de sismicité importante.

En prenant en compte une accélération horizontale au seuil de 2,04 m/s² en zone de sismicité 3 où se situe la carrière, **le coefficient de sécurité de long terme devrait donc être égal ou supérieur à la valeur de 1,57, en effet :**

$$1,3 \cdot \left(1 + \frac{2,04}{9,81}\right) = 1,570$$

3) La détermination du coefficient de sécurité et de la géométrie de la carrière

A) La pente intégratrice générale

En reprenant la formule citée supra pour une exploitation dont le dénivelé maximal serait de 38 m avec des matériaux de masse volumique 2,65 t/m³, dont l'angle de frottement interne est de 35°, avec une cohésion de 55 t/m², **le coefficient de sécurité, pour une pente intégratrice générale de 60°, ressort à 2,04**, soit au-dessus du coefficient minimum de 1,57.

Compte tenu du caractère fracturé du massif cristallin exploité, il convient de conserver ce coefficient de sécurité et une pente intégratrice générale de 60°.

B) La pente intégratrice d'un gradin dans le massif cristallin

L'abattage étant réalisé à l'explosif avec un fruit de l'ordre de 8°, soit une pente de 82° sur l'horizontale, le coefficient de stabilité, en reprenant la formule citée supra pour un gradin de 15 m ressort à plus de 13, ce qui est très largement suffisant.

C) La pente intégratrice d'un gradin dans les matériaux de découverte

Sans objet, le sol sus-jacent sur les bancs de calcaire étant réduit à 2 ou 3 décimètres.

D) *Récapitulatif*

Le tableau ci-dessous récapitule les pentes intégratrices.

INTITULE	ANGLE
Front carrière Hauteur 38 m	60°
Parement gradin Hauteur 15 m	82° (fruit de 8°)

Le profil type d'un gradin résiduel dans le massif cristallin est repris ci-après.

B LES DISPOSITIONS CONCERNANT LE POTENTIEL D'IMPACT RELATIF AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN ET LA STABILITE

La prévention des éboulements s'articule sur la mise en place de diverses mesures liées aux types de mouvement de terrain à prévenir, essentiellement les glissements banc sur banc et les écroulements de surplomb des fronts de taille en cours d'exploitation ou lors des opérations de remise en état.

Ces mesures s'appuient sur :

- . des règles de conduite précises lors de l'extraction pendant les travaux et lors de la remise en état ;
- . une stabilité temporelle des talus pendant et après exploitation.

A) Les surplombs

Les écroulements de surplomb seront prévenus en évitant les sous cavages, qui conjugués aux évènements naturels (pluie, dégel, ...) sont les causes principales des éboulements de surplomb.

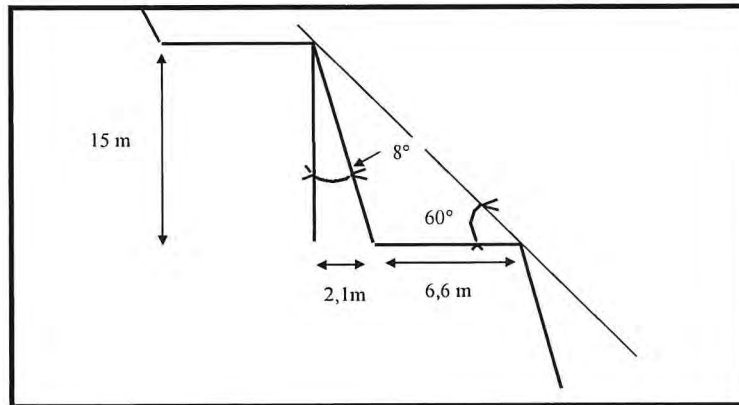
Par ailleurs, les fronts de taille à l'avancement pourront être pseudo-verticaux avec un fruit pouvant descendre au plus à 8°.

B) Les fronts de taille

La pente intégratrice de l'ensemble des fronts de taille sera de 60°, ce qui garantit une stabilité temporelle de masse, avec un coefficient de stabilité supérieur à 1,57.

Concernant les gradins dans le massif cristallin, le front sera de 8 ° pour une hauteur de 15 m, avec des banquettes séparatives de 6,60 m de large, comme le précise le profil type ci-après.

PROFIL PROPOSE POUR LES GRADINS



Pente intégratrice générale : 60° ;

Nombre de gradins : 5 à 6 gradins environ (y compris les gradins des calcaires marbriers) ;

Hauteur : 15 m ;

Fruit minimum : 8° ;

Largeur minimale de banquette libre : 6,6 m ;

Pied du gradin : 2,1 m ;

Largeur totale théorique de la banquette : 8,7 m (y compris pied de gradin) ;

Coefficient de sécurité : 2 environ.

Ces résultats constituent des données brutes de calcul qui sont repris et appréciés en fonction des données contextuelles de la carrière.