



COMMUNE DE PONT-EVEQUE

CARRIERE DE BEAUREGARD, A PONT-EVEQUE (38)
ANALYSE DE LA STABILITE ET DEFINITION DES MOYENS
A METTRE EN OEUVRE POUR ASSURER LA SECURITE

R.34089-RHA.4S.91

LYON, décembre 1991

par I. PIEDRA-MORALES

BRGM - RHÔNE-ALPES

29, boulevard du 11-Novembre 1918 - B.P. 6083 - 69604 Villeurbanne cedex, France
Tél.: (33) 78.89.72.02 - Téléc : 380 966 F - Télécopieur : (33) 78.94.12.64

CARRIERE DE BEAUREGARD A PONT-EVEQUE (38)

ANALYSE DE LA STABILITE

ET DEFINITION DES MOYENS A METTRE EN OEUVRE POUR ASSURER LA SECURITE

R.34089

RHA.4S.91

R E S U M E

Dans le but de connaître l'état de stabilité de la carrière Beauregard, à Pont-Evêque, une étude a été menée avec :

- le relevé d'observations morphologiques et structurales, qui a notamment montré la présence de grandes fractures ouvertes dans les deux piliers de soutènement, d'entrée et central ;
- la détermination des caractéristiques mécaniques des grès sableux (molasse) au moyen d'une presse portable de type Franklin, qui a donné des valeurs de l'indice de traction I_t de 0,6 et 1,2 MPa (résistance à la compression simple de 4,6 et 13,3 MPa) ;
- l'évaluation de l'état de contrainte en place qui, comparé aux caractéristiques mécaniques, donne un coefficient de sécurité de
 - . $5 < F < 14$ pour des ruptures par compression,
 - . $13 < F < 39$ pour des ruptures par cisaillement.

Les résultats obtenus montrent que la carrière se trouve actuellement en situation de stabilité. Les fractures observées sur les piliers doivent cependant être surveillées pour apprécier l'évolution des ouvertures.

En vue de garantir la sécurité des personnes, il est également conseillé de fermer l'accès à la carrière. La même recommandation peut être émise pour une autre carrière qui se trouve à proximité et dont l'équilibre paraît très instable.

COORDINATION M. MESSIN
RESPONSABLE DE L'ETUDE I. PIEDRA-MORALES
DESSIN J.F. RIEUX
SECRETARIAT S. BELLON

Outre le résumé, ce rapport contient : 8 pages de texte et 5 annexes.

T A B L E D E S M A T I E R E S

1 - <u>INTRODUCTION</u>	1
2 - <u>OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES ET STRUCTURALES</u>	1
2.1 - <u>Observations d'ensemble</u>	1
2.2 - <u>Pilier entrée</u>	2
2.3 - <u>Pilier central</u>	3
2.4 - <u>Parois</u>	3
2.5 - <u>Toit</u>	4
2.6 - <u>Surface</u>	4
3 - <u>STABILITE DE LA CARRIERE</u>	4
3.1 - <u>Caractéristiques mécaniques des matériaux</u>	4
3.2 - <u>Détermination des contraintes en place et évaluation de la tenue des piliers</u>	6
4 - <u>ANALYSE DE LA SECURITE ET RECOMMANDATIONS</u>	7
5 - <u>CONCLUSIONS</u>	8

Liste des annexes

Annexe I - Plan de situation

Annexe II - Plan de la carrière avec les observations morphologiques

Annexe III - Graphiques de relation I_t/S pour les deux échantillons étudiés

Annexe IV - Trois méthodes possibles d'obtention du taux de défrètement

Annexe V - Planches photographiques

1 - INTRODUCTION

Des carrières souterraines, exploitées autrefois pour en extraire des moellons pour la construction, ont été ouvertes dans les versants qui dominent la plaine de la Véga, au nord de Pont-Evêque.

Les matériaux sont constitués de molasse sablo-gréseuse qui évolue, et la tenue de l'excavation peut aujourd'hui représenter une menace, soit pour les promeneurs, soit éventuellement pour les installations de surface, par destruction progressive du toit.

Au droit de l'une de ces carrières, se trouve en particulier une route (VC n° 4) pour laquelle la Commune souhaite qu'une analyse des risques d'ouverture de fontis soit menée (situation annexe I).

2 - OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES ET STRUCTURALES (Plan en annexe II)

2.1 - Observations d'ensemble (photographies planche 1)

La carrière est excavée dans des dépôts sédimentaires miocènes à faciès de sables gréseux, calcaires et micacés, jaune clair, à grains fins, consolidés en molasse détritique.

L'examen de la falaise extérieure à la carrière permet de distinguer, de bas en haut, trois niveaux, ainsi constitués :

Type 1 - Matériau compact et cimenté. Les parois excavées dans ce niveau sont quasi verticales et peu érodées. Elles montrent encore les stries dues au découpage des blocs.

Type 2 - Matériau où alternent des couches dures de faible épaisseur et d'autres plus sableuses et friables.

Type 3 - Matériau dur et compact. Surmontant le niveau de type 2 plus sensible à l'érosion, cette formation est soumise à ruptures après création de surplombs, comme en témoignent les blocs tombés à l'entrée nord de la carrière.

La stratification est horizontale et présente localement des figures de sédimentation oblique dans les niveaux 2 et 3.

Comme c'est le cas généralement, la carrière a été exploitée au pied d'une falaise, de façon à bénéficier d'un accès direct aux travaux.

La méthode d'exploitation utilisée est celle dite des chambres et piliers, qui consiste à ouvrir des galeries en laissant entre elles des masses de roche non exploitée appelées piliers.

Le pourcentage de matériau exploité par rapport à celui qui reste en place, s'appelle taux de défrètement. Les dimensions réduites de la carrière de Beauregard, où ne subsistent que deux piliers, rend difficile l'évaluation du taux de défrètement ; une valeur de 70 % a été retenue à partir de plusieurs estimations (cf § 3.2).

La hauteur d'extraction (pour huit points mesurés) varie entre 11 m et 12,50 m. La carrière est en pente vers l'intérieur : le niveau de base passe de la cote 78 et 73 aux entrées nord et sud, à la cote 68 au fond de l'excavation.

Dans les matériaux durs de type 1, les blocs extraits ont dû être découpés à la scie. Les parois montrent encore les stries de découpage, régulières et quasi verticales. Plus haut, les matériaux de type 2 ne montrent pas ces stries ; les parois se resserrent et forment une voûte tronquée de surface réduite.

Au fond de la carrière, les parois sont très humides sans cependant être altérées, on observe parfois des écoulements (goutte à goutte) et des dépôts de calcite.

2.2 - Pilier entrée (photos pl. 2 et 3)

Il est affecté par une importante fracture, verticale de quelques centimètres à une dizaine de centimètres d'ouverture. Elle s'étend sur toute la hauteur et a une profondeur d'au moins 1 mètre. De chaque côté, on observe d'autres petites fractures également verticales, mais fermées.

Une autre fracture verticale et ouverte délimite un volume à base carrée. Son ouverture n'est pas aussi importante que celle de la fracture principale.

D'autres fractures superficielles provoquent un écaillage des grès moins compacts de la partie supérieure du pilier, qui est de ce fait plus étroite que sa base.

2.3 - Pilier central (photos pl. 4)

On note une importante fracture, verticale et ouverte de quelques centimètres dans la partie inférieure, fermée dans la partie supérieure. Elle est accompagnée de quelques petites fractures.

On observe également une autre fracture verticale et légèrement ouverte, qui affecte la partie inférieure du pilier.

D'autres petites fractures délimitent des blocs plus petits dans le pilier ; elles sont fermées et n'intéressent pas le pilier sur toute sa hauteur.

Les lèvres de toutes ces fractures ne semblent pas altérées. Etant donné la nature sableuse des matériaux et leur aptitude à l'érosion, ceci ne signifie pas qu'elles soient récentes, mais on ne peut toutefois l'exclure.

Les deux piliers présentent en partie basse une couche de sable plus ou moins friable, peu consistante et peu résistante à l'érosion. Cette particularité provoque un sous-cavage en pied, qui pourrait à terme être préjudiciable à l'équilibre du pilier ; actuellement, aucune fracture notable associée à ce phénomène n'a été observée.

2.4 - Parois (photos pl. 5)

Les parois de la carrière sont taillées dans les matériaux de types 1 et 2. Vers le fond, en raison de l'inclinaison du niveau de base, seul le niveau 1 est concerné par l'exploitation.

De la même manière que pour la falaise à l'entrée, la tenue des parois varie très nettement en fonction de la cimentation du matériau. Ainsi à la base, les parois sont raides et dures et montrent des stries de découpage. Plus haut, le grès est écaillé en surface : de nombreuses plaques sont décollées et proches de la rupture ; l'érosion laisse en surplomb des blocs ou des couches plus dures.

Plusieurs fractures verticales perpendiculaires aux parois sont visibles ; leur origine n'est probablement pas liée à l'exploitation, en revanche elles ont été utilisées comme plan préférentiel pour la découpe des blocs. Elles sont, dans la plupart des cas, fermées.

2.5 - Toit

Le toit de la carrière est très réduit, en raison du resserrement des parois vers le haut. L'abaissement du niveau d'extraction de l'entrée vers le fond de la carrière, fait que le toit se situe successivement dans les matériaux de type 2, puis 1 ; sa tenue est donc très variable.

Ainsi, le toit de la zone proche de l'entrée se présente dans des matériaux de type 2, où plusieurs décrochements de blocs se sont produits. Le fait que l'ouverture du toit soit assez étroite limite la quantité et la dimension des blocs tombés. Ceux-ci ont la forme de plaques, car ils correspondent aux couches dures du niveau 2, qui ont une faible épaisseur.

Au fond de la carrière, le toit est plus étroit et ce sont plutôt les phénomènes d'écaillage des parois qui sont observés.

Aucun indice d'instabilité n'est à signaler au toit lorsque ce dernier est excavé dans le matériau de type 1.

2.6 - Surface (photos pl. 6)

En surface, à l'aplomb de la carrière, aucune manifestation de désordre ou d'instabilité n'a pu être observée, que ce soit dans le champ ou sur la route.

Il convient de signaler la présence d'un glissement de terrain de petites dimensions dans la petite colline qui se trouve au nord de l'entrée de la carrière. On observe un effondrement circulaire et une niche d'arrachement d'une dizaine de mètres de longueur. Ce glissement s'est apparemment produit dans les stériles de la carrière, matériaux meubles probablement peu consolidés.

3 - STABILITE DE LA CARRIERE

3.1 - Caractéristiques mécaniques des matériaux

Des essais à la presse Franklin ont été menés sur deux échantillons de molasse, provenant des niveaux durs du matériau de type 2, à raison de 20 essais pour le premier et de 22 pour le deuxième. L'indice de traction présente les valeurs suivantes :

Echantillon 1

It moyen = 0,613 MPa
Ecart type σ_{IT} = 0,292 MPa
 σ_{IT}/It = 47 %

Echantillon 2

It moyen = 1,195 MPa
Ecart type σ_{IT} = 0,447 MPa
 σ_{IT}/It = 37 %

(annexe III)

A partir de l'indice de traction It , qui correspond ici à des matériaux de résistance faible à très faible, il est permis d'estimer la résistance à la compression simple Rc .

On utilisera la relation $Rc = (It/0,235)^{1.59}$, tirée de résultats expérimentaux sur une série de roches calcaires*, ce qui permet d'obtenir les valeurs suivantes :

Rc (échantillon 1) = 4,6 Mpa.

Rc (échantillon 2) = 13,3 Mpa.

Les échantillons testés correspondent à une molasse sablo-gréseuse, friable à très friable, constituée d'éléments détritiques à grain fin et à ciment carbonaté.

Les efforts ont été appliqués parallèlement et perpendiculairement à la stratification. Aucune différence significative n'a été remarquée entre ces deux types d'essai.

Les échantillons ont été écrasés à la teneur en eau naturelle, quelques essais ont été réalisés après saturation et ont montré des valeurs de It plus faibles, sans qu'il soit cependant permis de leur attribuer une représentativité à valeur statistique.

On remarquera que :

- les deux valeurs de It caractéristiques des deux échantillons prélevés sont assez éloignées, ce qui a vraisemblablement pour origine un état d'altération différent ;
- les écarts types pour chaque série d'essais sont élevés.

* BRGM, 1978, R. DESURMONT.

On retiendra que les résistances à la compression simple des matériaux les plus indurés sont probablement voisines de 45 MPa, tandis que celles des horizons altérés peu consolidés ou peu cimentés peuvent être inférieures à 5 MPa.

3.2 - Détermination des contraintes en place et évaluation de la tenue des piliers

La contrainte N appliquée sur un pilier peut être estimée en première approximation à :

$$(1) \quad N = \gamma H (1/1-t) \text{ avec } \left[\begin{array}{l} \gamma = \text{densité des matériaux de recouvrement} \\ H = \text{épaisseur du recouvrement} \\ t = \text{taux de défrètement} \end{array} \right.$$

pour des piliers de forme cubique.

Dans le cas où ceux-ci ont un élancement plus grand, il faut tenir compte des contraintes de cisaillement T au droit du pilier, engendrées par l'effort tranchant Z.

La valeur de la contrainte de cisaillement est égale à :

$$(2) \quad \left. \begin{array}{l} Z = Np/4 \\ T = Z/H \end{array} \right\} T = Np/4H \quad \text{avec } P = \text{côté du pilier de base carrée.}$$

avec les paramètres suivants :

- $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$ (obtenu en laboratoire)
- $H = 16 \text{ m}, 11 \text{ m}$ et $6,5 \text{ m}$ selon les zones de la carrière, recouvrement moyen de $12,5 \text{ m}$
- $t = 70 \%$.

Compte tenu de la forme particulière de la carrière, plusieurs hypothèses ont été envisagées pour le calcul du taux de défrètement (annexe IV).

- 1/ En considérant strictement la surface des vides et la surface des deux seuls piliers, la valeur de $t = 85 \%$ obtenue n'est pas réaliste, puisqu'il y a un report de charges important sur le massif périphérique.
- 2/ En assimilant les parois à un pilier continu d'épaisseur égale à celle des piliers centraux, le taux de défrètement correspondant ($t = 55 \%$) est probablement sous-évalué.

3/ En ne prenant en compte qu'une partie de la surface du toit (la moitié de la surface comprise entre piliers et murs) dont les charges sont reportées sur les piliers, le taux de défruitement obtenu s'élève alors à $t = 70 \%$.

L'application de la formule (1) conduit à :

$$N = 23 \times 12,5 \times (1/1-0,7) = 958 \text{ kN/m}^2 = 0,95 \text{ MPa.}$$

D'autre part, l'application de la formule (2) conduit à :

$$T = (0,95 \times 6)/(4 \times 12,5) = 0,11 \text{ MPa}$$

avec $P = 6 \text{ m}$, côté équivalent d'un pilier carré dont la section est égale à celle des piliers de la carrière.

Les coefficients de sécurité pour des ruptures par compression et par cisaillement, respectivement définis par $F = R_c/N$ et par $F = \tau/T$, ont donc les valeurs suivantes (avec $\tau = R_c/3$ dans les roches homogènes) :

$$5 < F < 14 \text{ (compression)}$$

$$13 < F < 39 \text{ (cisaillement).}$$

On admettra que les coefficients de sécurité sont satisfaisants, les valeurs généralement admises étant en effet de 6 à 9 pour les ruptures par écrasement et de 6 pour les ruptures par cisaillement.

Ces valeurs paraissent d'autant plus admissibles que :

- les essais ont été réalisés dans des matériaux de type 2, moins résistants que ceux de type 1 où se développent en réalité les contraintes maximales ;
- le taux de défruitement retenu (70 %) est très probablement plus élevé qu'il ne l'est en réalité.

4 - ANALYSE DE LA SECURITE ET RECOMMANDATIONS

Actuellement, la carrière est stable en grand et seuls quelques blocs qui se décrochent, soit du toit (blocs de dimensions réduites), soit de la falaise (blocs de plus grandes dimensions), constituent une menace.

L'extension vers la surface des ruptures de toit paraît ici peu probable en raison de la faible extension de ce dernier et de la bonne tenue générale des parois.

L'analyse de la stabilité des piliers a démontré que ceux-ci sont stables dans les conditions actuelles. Cependant la présence de fractures et l'impossibilité de fournir un diagnostic sur leur évolution, impliquent la mise en oeuvre d'une surveillance.

Ainsi, les actions suivantes sont proposées :

- purge de la falaise à l'entrée de la carrière ;
- fermeture de l'accès, de façon à éviter toute chute accidentelle sur les visiteurs ;
- visites périodiques, avec une fréquence d'au moins une visite par an pendant trois ans, afin de surveiller l'évolution des piliers. A cette fin, des repères devront être installés pour permettre de mesurer l'écartement des principales fractures, des photographies du toit et des piliers réalisées pour un examen comparatif.

5 - CONCLUSIONS

L'étude de stabilité menée dans la carrière de Beauregard, à Pont-Evêque, montre que celle-ci est stable à l'échelle du site.

En effet, l'évaluation des contraintes de compression et de cisaillement par rapport respectivement à la résistance à la compression et au cisaillement du matériau, conduit à des valeurs satisfaisantes du coefficient de sécurité.

Cependant, en l'absence d'éléments permettant d'estimer leur évolution, les fractures visibles dans les piliers doivent être instrumentées et suivies périodiquement.

En parallèle, il est recommandé de réaliser des travaux de purge de la falaise frontale, de mettre en place une barrière à l'entrée de la carrière et d'en interdire l'accès au public.

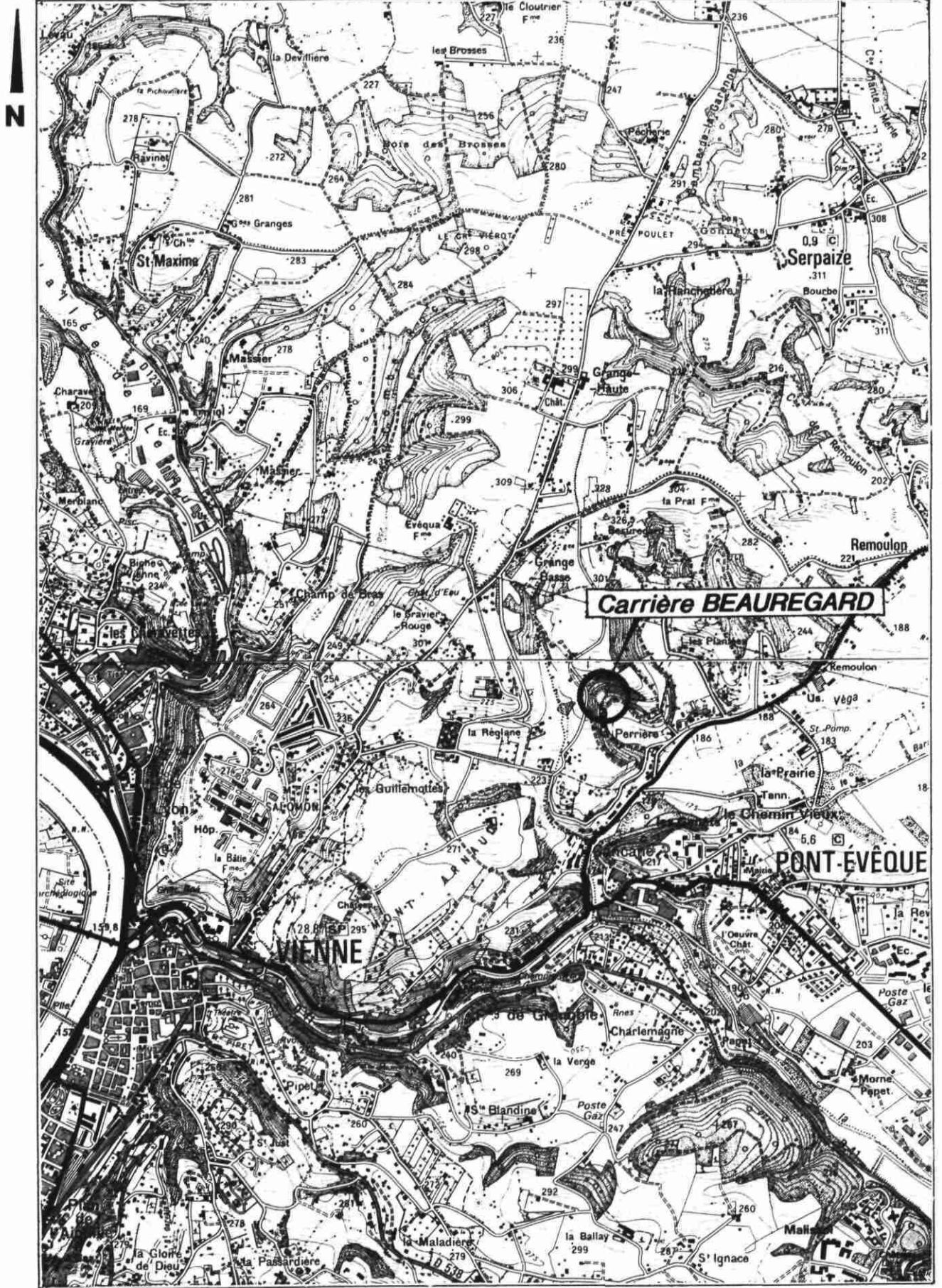
Il convient également de noter l'existence d'une autre carrière située à proximité de celle qui a été examinée ici. Une simple observation montre que les conditions d'équilibre sont beaucoup plus précaires et représentent un danger pour le public.

A n n e x e I

PLAN DE SITUATION

CARTE DE SITUATION

Echelle 1/ 25 000

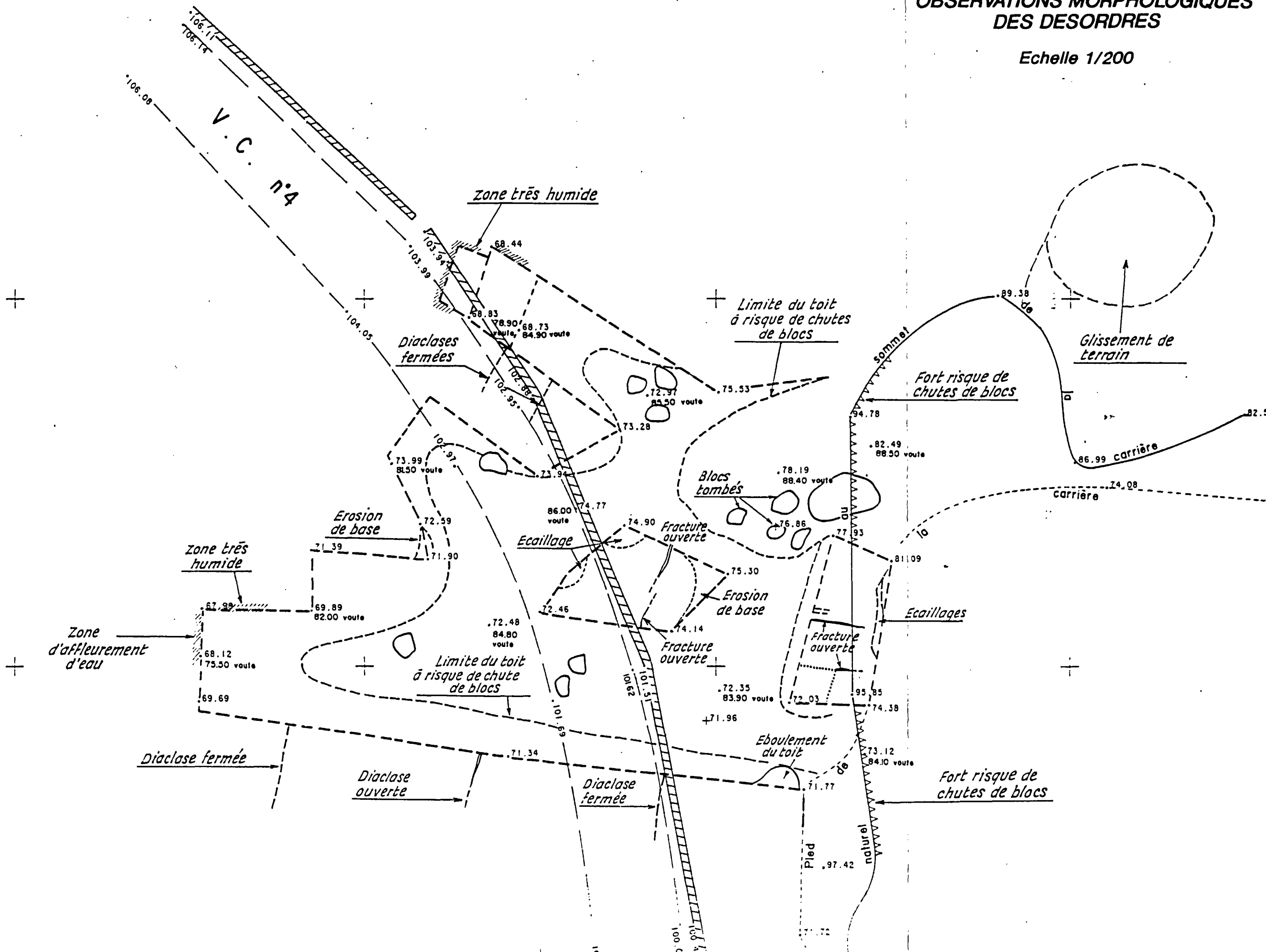


A n n e x e I I

PLAN DE LA CARRIERE AVEC LES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES DES DESORDRES

**PLAN DE LA CARRIERE AVEC LES
OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES
DES DESORDRES**

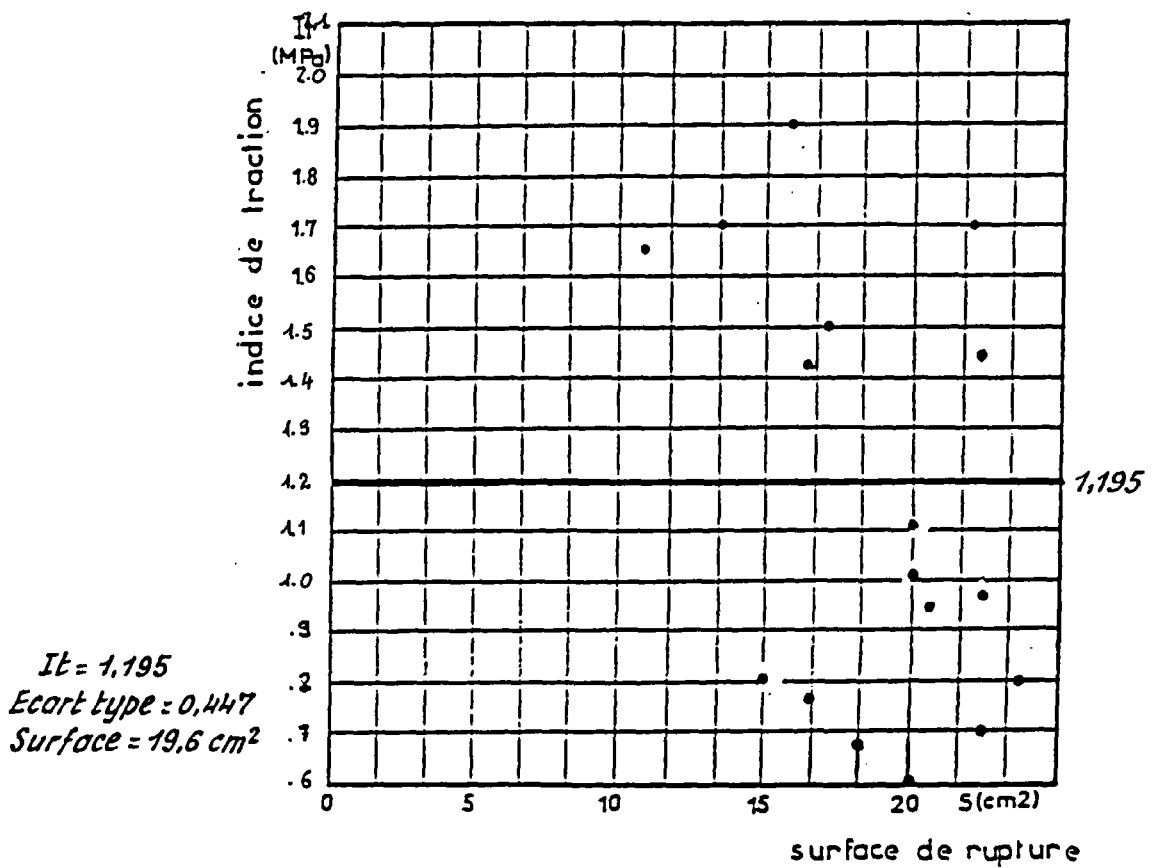
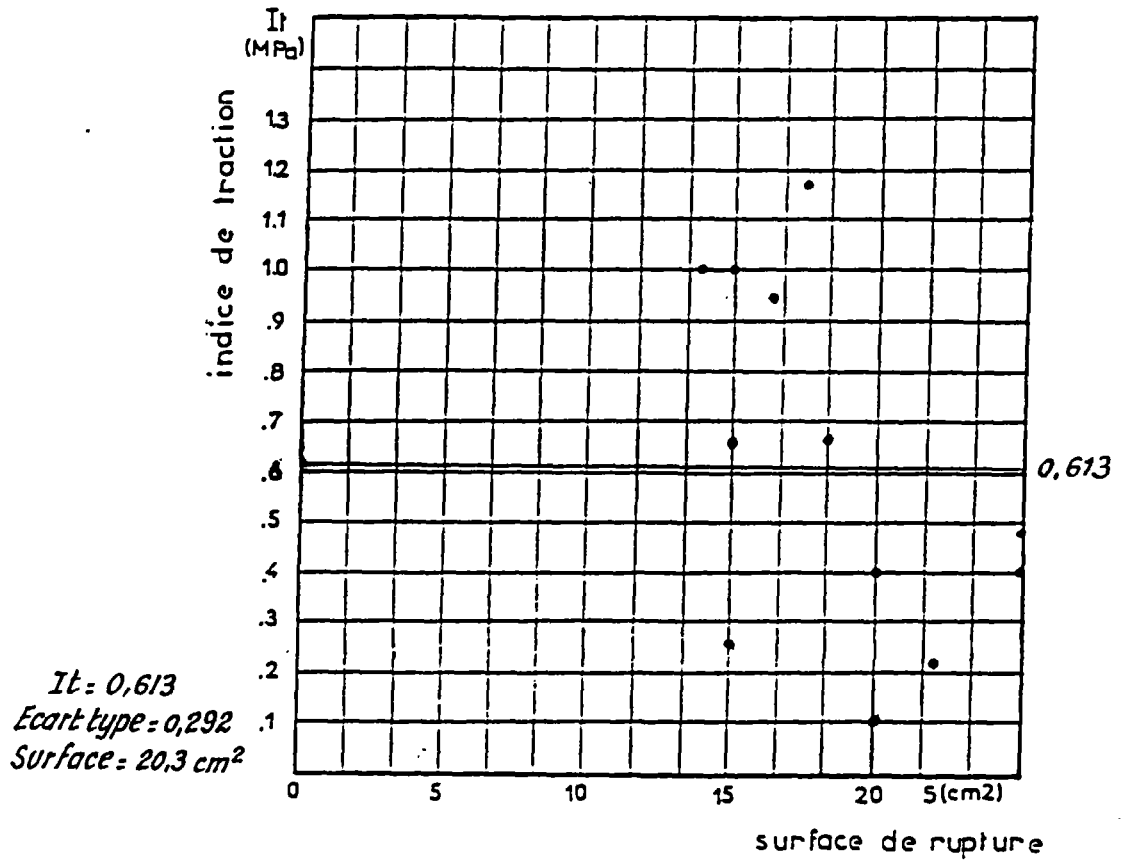
Echelle 1/200



A n n e x e I I I

GRAPHIQUE DE RELATION I_t/S POUR LES DEUX ECHANTILLONS ETUDIES

GRAPHIQUES DE RELATION I_t/S POUR LES DEUX ECHANTILLONS ETUDIES

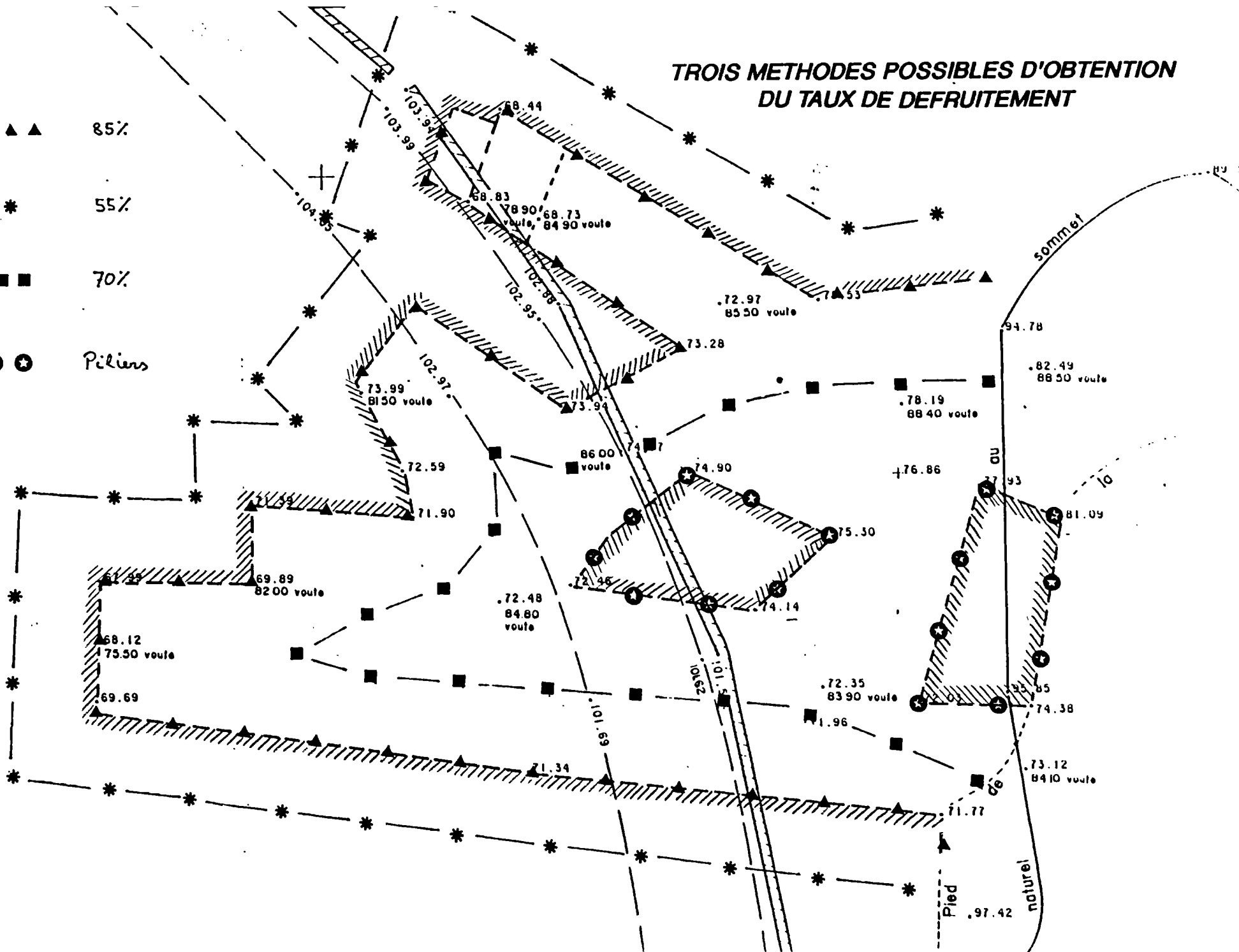


A n n e x e I V

TROIS METHODES POSSIBLES D'OBTENTION DU TAUX DE DEFRUITEMENT

TROIS METHODES POSSIBLES D'OBTENTION DU TAUX DE DEFRUITEMENT

- 1' ▲ ▲ ▲ ▲ 85%
- 2' * * * 55%
- 3' ■ ■ ■ ■ 70%
- ☆ ☆ ☆ Piliers



A n n e x e V

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

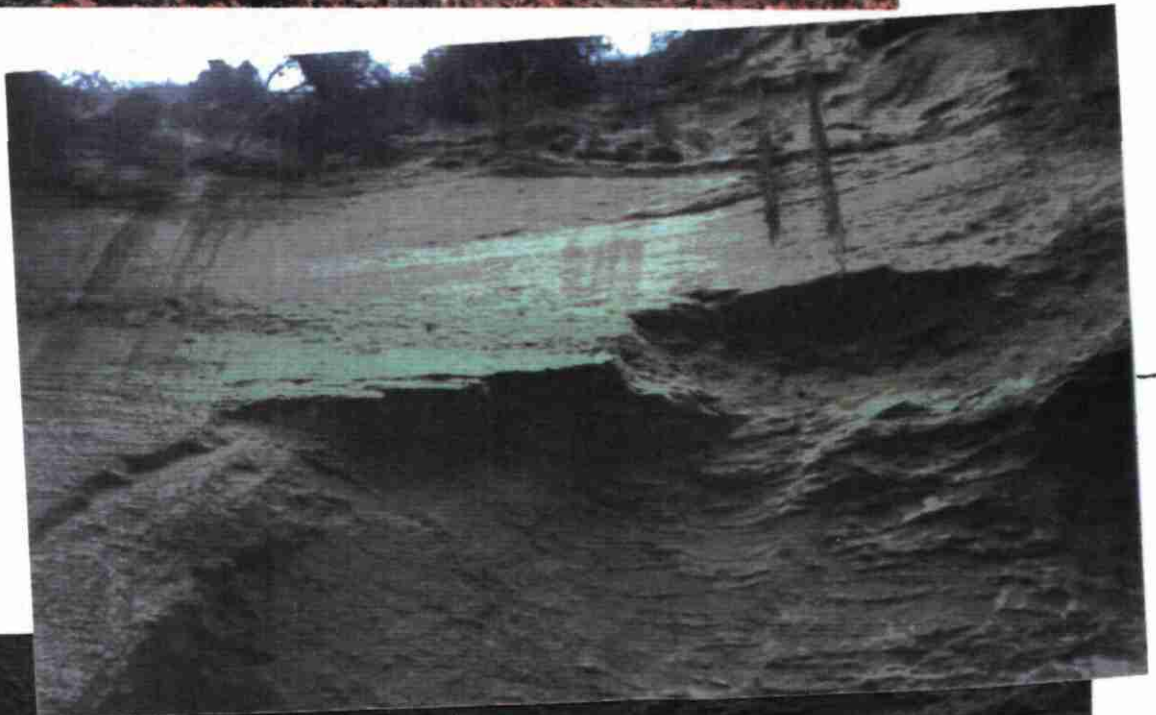
PLANCHE 1

Entrée de la carrière



*Falaise à l'entrée
de la carrière*

Niveau 3



Niveau 2

Niveau 1



PLANCHE 2

Pilier à l'entrée

*Détail de la
fracture principale*



Fracture principale

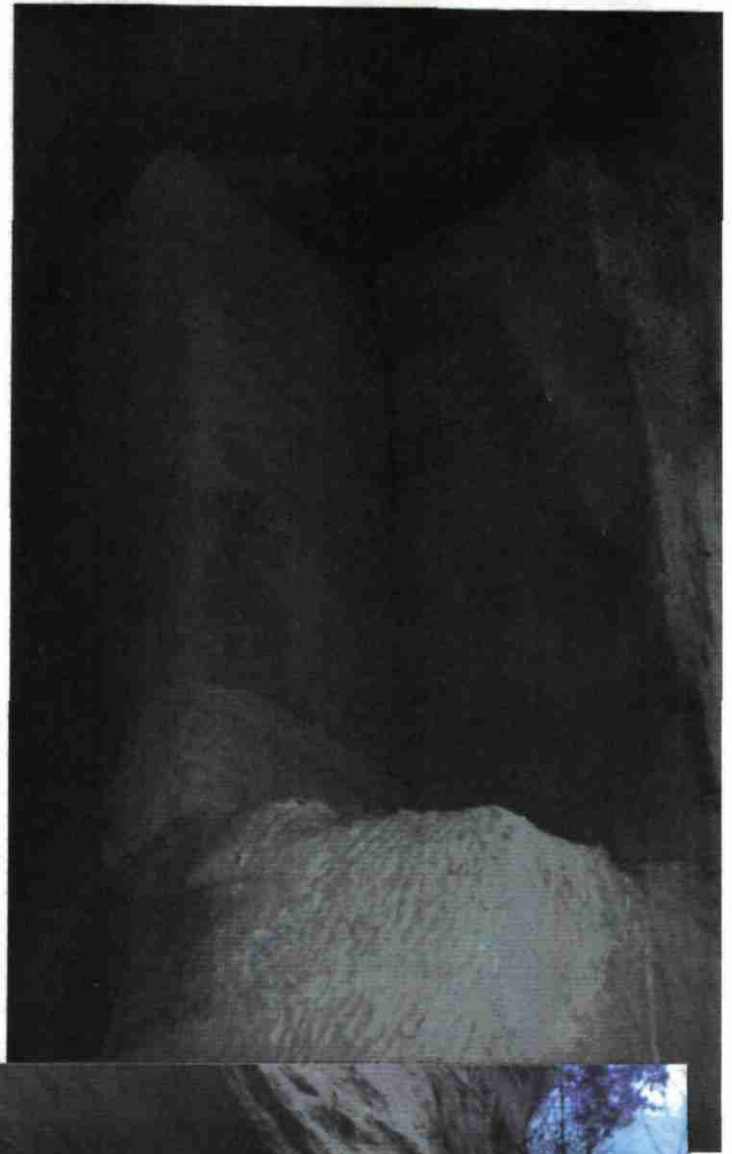
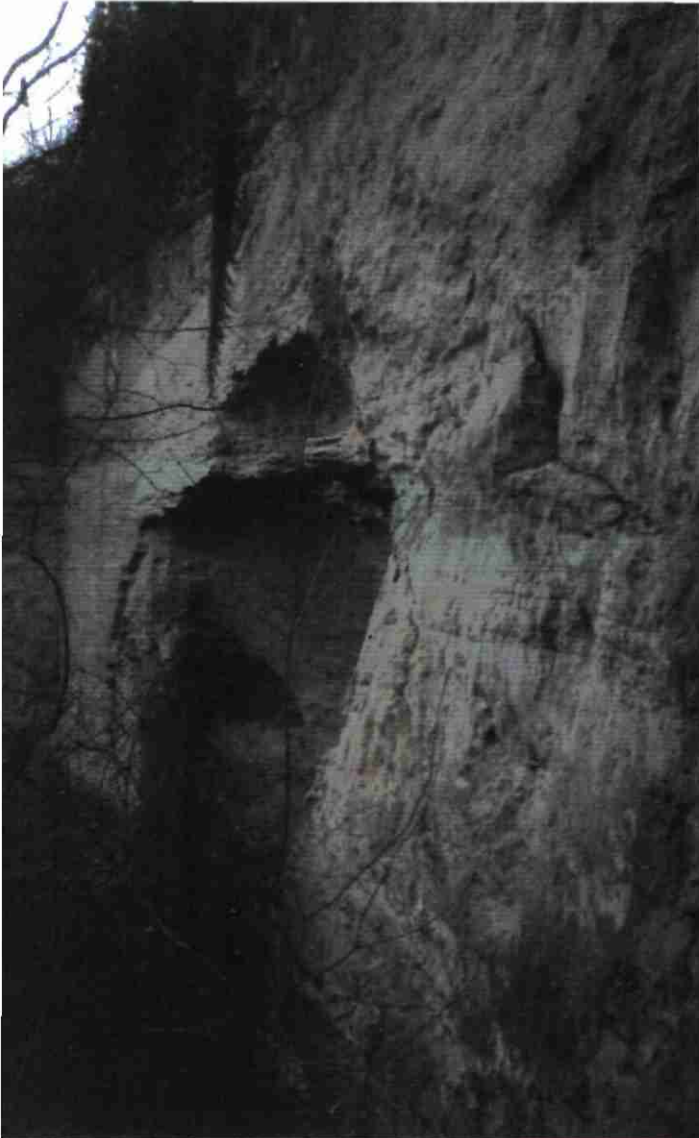


PLANCHE 3

Pilier à l'entrée

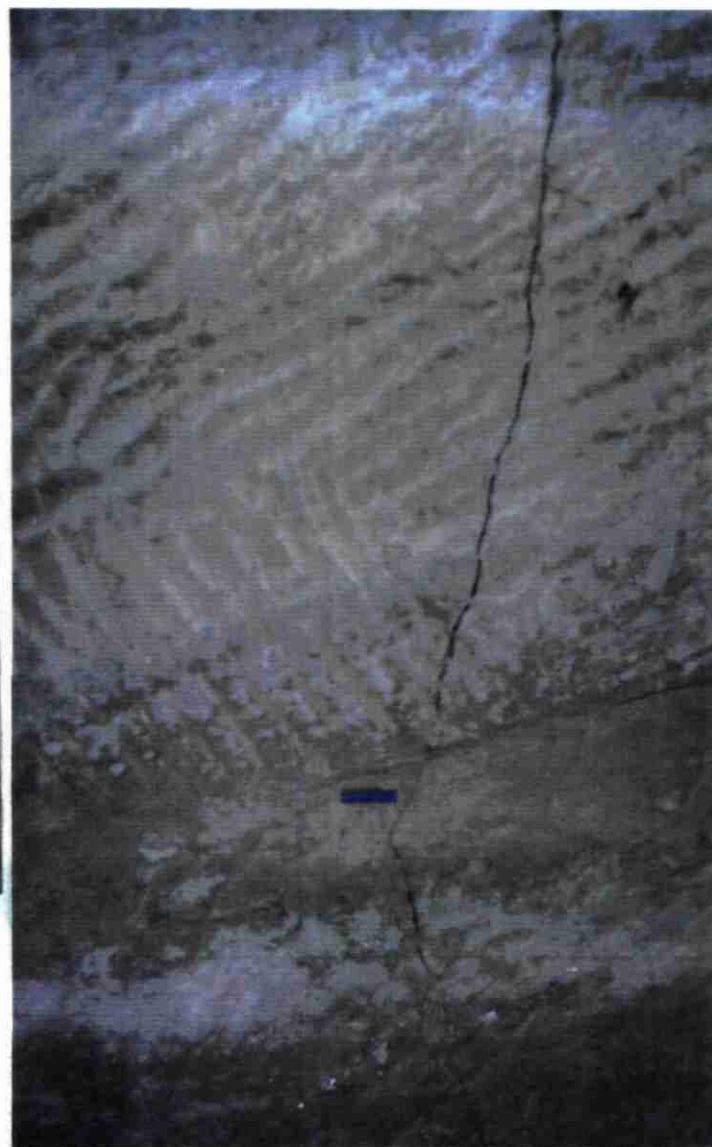
Fracture ouverte

Ecaillage dans la partie extérieure



Rétrécissement dans le niveau 2

Fissure et écaillage



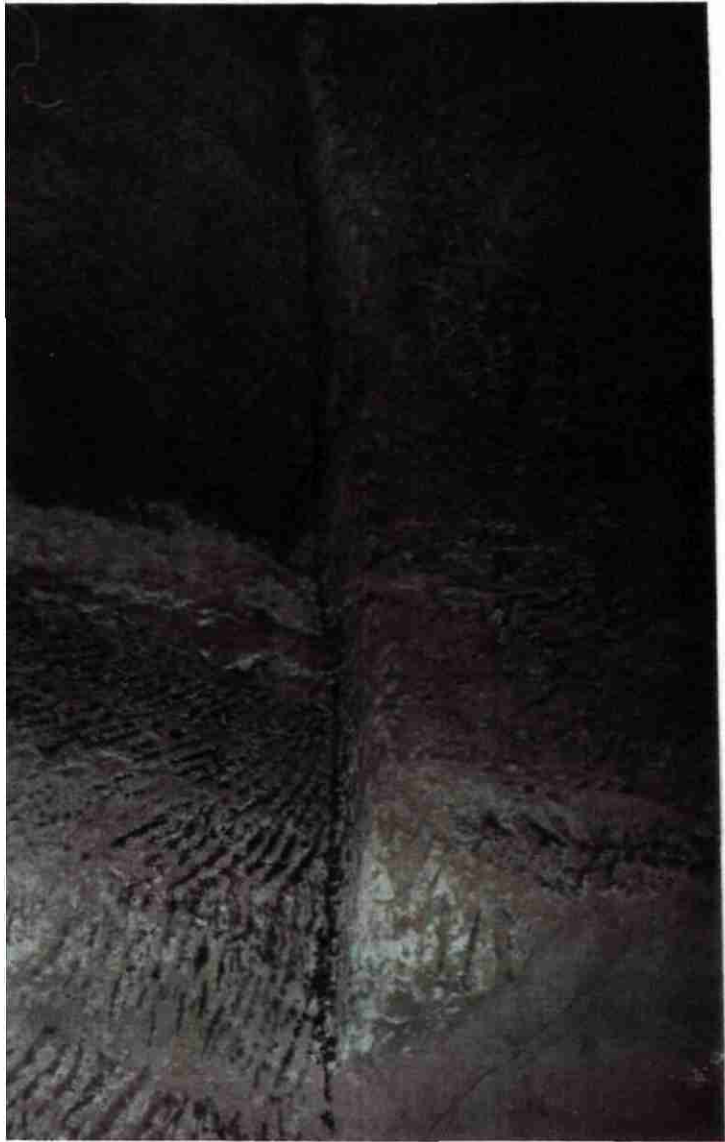
Fracture ouverte

Principale fracture

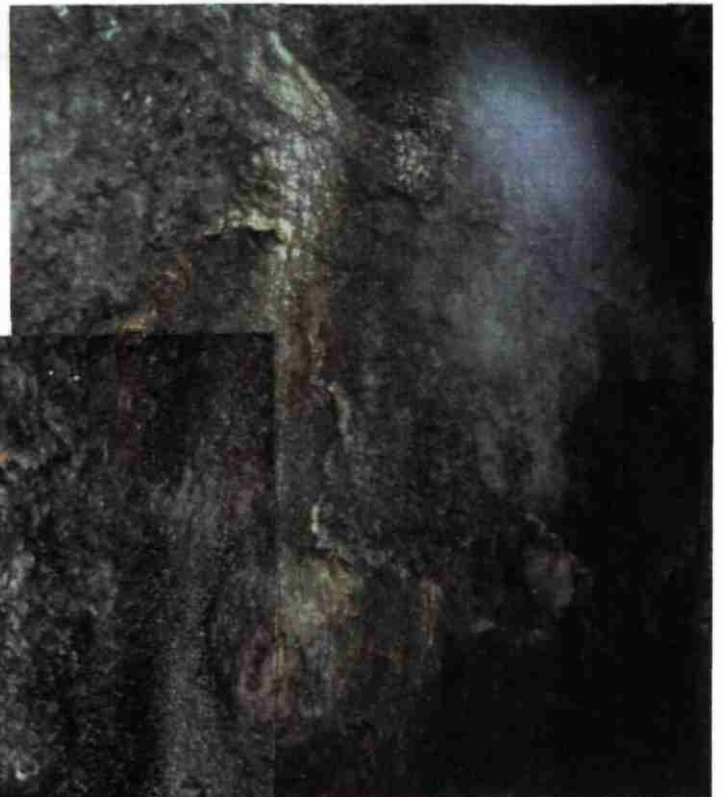
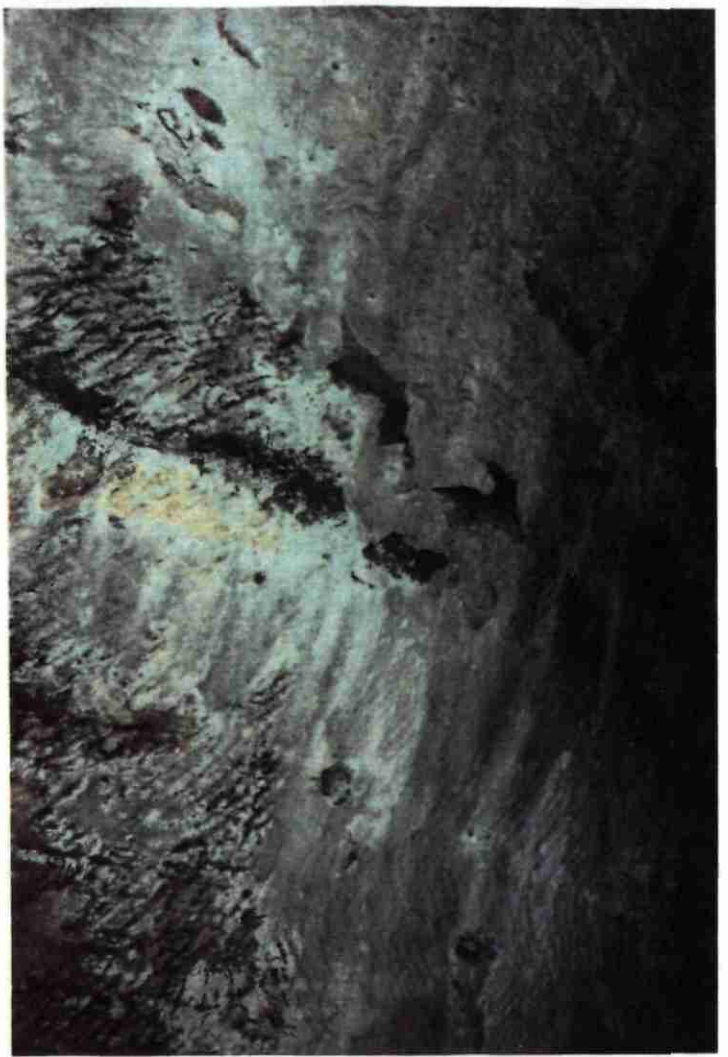


PLANCHE 5
Parois

Diaclase ouverte



Ecaillage

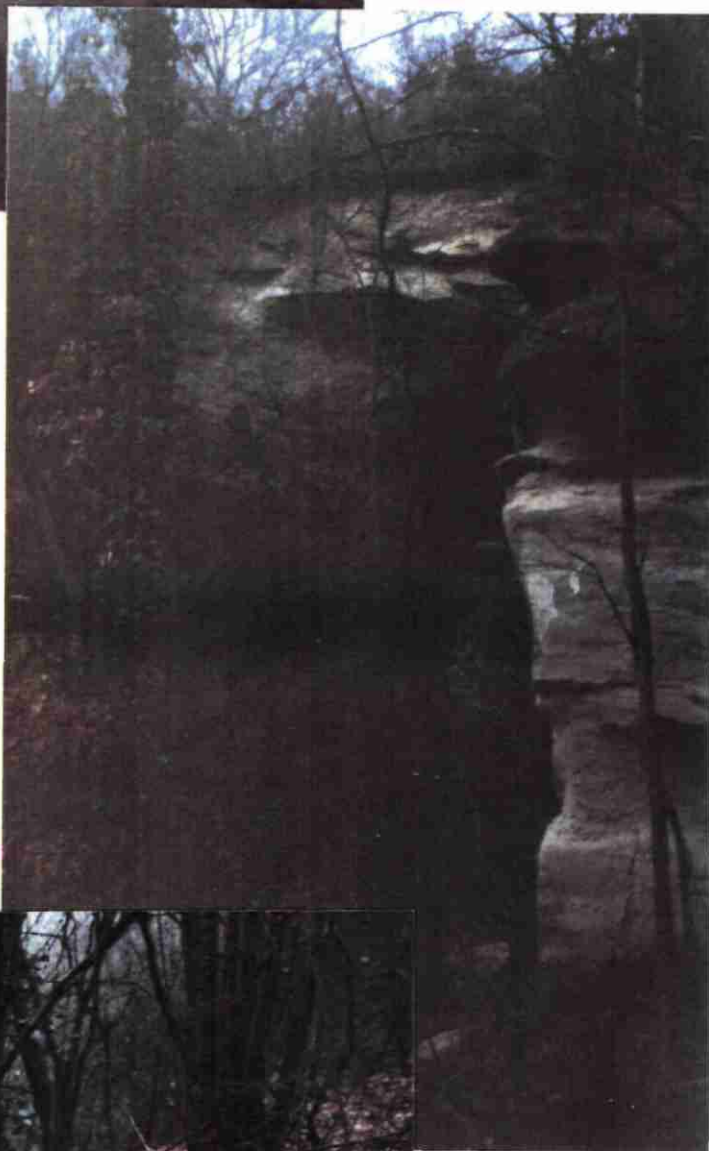


Dépôts calcaires et suintement.



Surface , à l'aplomb de la carrière

Entrée de la deuxième carrière



Effondrement et glissement de terrain

