

 Manque quelques pages



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Carrière de PRAT-BONREPAUX

Analyse géotechnique des conditions de stabilité de
l'exploitation souterraine

Etablissements SABOULARD

JM. WATELET

*Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques
Direction des Risques du Sol et du Sous-sol*

24 novembre 2000

Carrière de PRAT-BONREPAUX

Analyse géotechnique des conditions de stabilité de l'exploitation souterraine

Etablissements SABOULARD

24 NOVEMBRE 2000

Ce document comporte 12 pages (hors couverture, figures, photos et annexes).

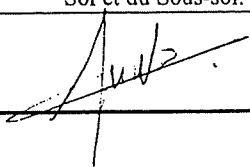
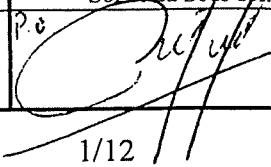
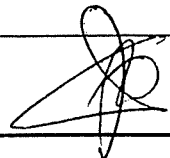
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	J.M. WATELET	C. DIDIER	C. TAUZIEDE
Qualité	Ingénieur à l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques de la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol.	Ingénieur à l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques de la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol.	Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol
Visa		 1/12	

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL	3
1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS ET TRAVAUX RÉALISÉS	3
2. ETAT DES LIEUX GÉOTECHNIQUE	4
2.1 CARTE GÉOTECHNIQUE.....	4
2.2 PRINCIPALES OBSERVATIONS	5
3. SCHÉMA D'EXPLOITATION	6
3.1 ANALYSE GÉOTECHNIQUE DES CONDITIONS DE REPRISE EN SOUS-PIED.....	6
3.2 EXTENSION FUTURE	9
3.3 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	9
4. CONCLUSIONS.....	10
5. LISTE DES FIGURES, PHOTOS ET ANNEXES	12

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE GENERAL

Les établissements SABOULARD exploitent sur le territoire des communes de Prat et de Mercenac, en Ariège, une carrière souterraine de gypse triasique. Cette exploitation s'étend sous des terrains naturels agricoles (photo 1) et couvre une superficie totale d'environ 15 hectares sous un recouvrement variant entre 20 et 45 m. On peut distinguer du Sud-Ouest vers le Nord-Est :

- les anciens travaux avec des piliers de fort élancement, disposés de manière désordonnée sur plusieurs niveaux ;
- une zone centrale, également ancienne et aujourd'hui effondrée, sous laquelle un passage en sous-niveau avait été aménagé pour servir d'accès vers la nouvelle exploitation ;
- la carrière actuelle proprement dite, située à l'extrémité nord-est du site et présentant des caractéristiques de dimensionnement plus homogènes. Ce secteur est maintenant directement accessible depuis une descenderie (photo 2).

La nouvelle exploitation est menée à l'explosif par la méthode des chambres et piliers abandonnés disposés régulièrement. Les galeries ont une hauteur à l'origine de 6 m et présentent une largeur moyenne de 7 m. Le découpage des piliers respecte globalement des côtés carrés de l'ordre de 12 m, ce qui correspond aux recommandations établies en 1991 par l'étude INERIS (référence GAI-JMW/JS 71.6139/R01).

Les chantiers se sont développés vers le Nord-Est et le Nord en privilégiant les conditions d'extraction et en abandonnant localement les secteurs plus humides ou moins bons en qualité de gypse.

Actuellement, l'exploitant procède par une reprise en sous-pied sur environ 2 m de profondeur, des galeries déjà exploitées (photos 3 et 4). Cette méthode a été mise en œuvre dans la partie nord et, dans une moindre mesure, dans quelques galeries en bordure sud de la carrière actuelle (figure n°1).

1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS ET TRAVAUX REALISES

Cette étude géotechnique s'intègre dans le cadre de la demande d'autorisation présentée par les Etablissements SABOULARD pour la poursuite de l'exploitation de cette carrière.

Elle a pour objectifs, d'une part, d'analyser la tenue des ouvrages avec une hauteur de galerie portée à huit mètres et, d'autre part, de vérifier les conditions générales de stabilité de l'exploitation en prenant en compte les possibilités d'extension des travaux en souterrain, soit en s'étendant sur le même niveau, soit avec reprise d'un sous-niveau.

L'étude géotechnique a comporté un état des lieux de la carrière actuellement en exploitation. L'état apparent des piliers a pu être examiné dans les secteurs déjà repris en sous-pied et des zones plus dégradées ont été identifiées.

L'analyse des conditions de stabilité avec la nouvelle configuration d'exploitation a été menée en retenant les résultats et les conclusions de l'étude effectuée en 1991, notamment :

- les caractéristiques géomécaniques du matériau, mesurées en conditions saturées ;
- le dimensionnement des piliers et de la planche intermédiaire en cas de prise d'un niveau inférieur.

2. ETAT DES LIEUX GEOTECHNIQUE

2.1 CARTE GEOTECHNIQUE

La carte géotechnique de la figure n°1 a été réalisée à partir des observations visuelles effectuées les 18 et 19 octobre 2000. L'inspection a concerné tous les secteurs accessibles dans la carrière en exploitation. Seul un petit secteur noyé à l'Est n'a pu être entièrement reconnu.

Le fond topographique est un plan de géomètre levé en août 2000 comportant des points cotés et dont les limites générales sont globalement exactes. Certains contours et l'extension de quelques zones reprises en sous-pied sont toutefois incomplets et ont fait l'objet d'un levé schématique dans le cadre de cette inspection.

La carte reprend les informations géotechniques suivantes :

1. l'état apparent des piliers qui distingue :
 - en blanc, les parements peu ou pas fracturés, les observations ne tenant pas compte de la microfissuration omniprésente, liée à la méthode d'exploitation par tir ;
 - en jaune, les angles ou parements écaillés ne présentant pas de risques importants de basculement en l'état ;
 - en orange, les angles ou parements très fracturés, avec fissures ouvertes à cœur, et blocs instables à mi-hauteur, pouvant basculer dans les galeries. Ces secteurs traduisent une dégradation du massif ;
 - en noir, les coins de piliers de plusieurs mètres-cubes basculés et tombés, occasionnant un affaiblissement localisé du pilier ;
2. l'état du toit, plus précisément les chutes d'écaillés ou de blocs, et les zones de fractures naturelles soulignées par des passées marneuses ;
3. les venues d'eau importantes au toit ou le long des parements, initiées le plus souvent sur des fractures naturelles ;
4. les coulées marneuses et les montées de voûte associées, traduisant un désordre majeur au toit et un fontis potentiel en surface ;
5. diverses informations, dont les zones noyées et les secteurs repris en sous-pied depuis le levé du plan en août 2000.

La visite a été complétée par une reconnaissance des terrains en surface pour repérer les conséquences éventuelles des désordres observés dans les galeries et pour préciser l'existence et l'état d'anciennes "têtes de puits". Des indices de surface laissent en effet supposer la présence, à l'aplomb de la partie sud des travaux actuels, de "puits bouteilles" identiques à celui ayant servi durant un temps de sortie de secours (accès par le fond aujourd'hui éboulé) et situé en limite des vieux quartiers.

2.2 PRINCIPALES OBSERVATIONS

L'état de cette exploitation est globalement bon dans sa partie récente. Les piliers sont massifs et l'on observe peu de chutes de toit, même dans les carrefours présentant de grandes portées.

Les grandes directions de fractures sont sensiblement alignées NW-SE mais n'apparaissent vraiment développées et continues que le long de la bordure sud de cette carrière. Localement, ces fractures naturelles peuvent s'élargir et sont remplies de marnes gris-vert. Ces poches marneuses sont propices à un délitage continu des parements et du toit ou à l'apparition de surcreusements lors des tirs.

Les gisements de gypse triasique sont souvent affectés par de larges zones perturbées géologiquement ou par des couloirs karstiques. Ainsi, au lieu-dit le Barbut (sur le territoire de la Commune de Mercenac), deux galeries parallèles de traçage vers le Nord-Est ont recoupé une zone argilo-marneuse étendue qui a provoqué un éboulement au fond (photos 5 et 6) et stoppé l'exploitation dans cette direction. L'origine de cette poche reste délicate à identifier, s'agissant d'une limite du gisement ou bien d'une faille remplie d'argile.

L'effondrement, probablement limité à l'origine à un petit fontis en surface, a été amplifié par la venue d'eaux météoritiques au travers du recouvrement. La plastification des marnes (photo 7) a entraîné un écoulement des éboulis dans une des galeries et, en l'absence de blocage par le fond, le désordre s'est étendu dans la pente avec le ravinement des eaux superficielles. Actuellement, les dimensions de cet effondrement sont de 15 x 25 m en extension et d'environ 8 m en profondeur (photos 8 et 9).

Enfin, d'une manière générale, on note, dans cette carrière, l'existence de larges secteurs affectés par la présence et à l'accumulation d'eau d'infiltration.

A l'Ouest, entre l'accès aux anciens travaux et la nouvelle descenderie, la zone est très humide avec des percolations d'eau diffuses et étendues. Cette zone présente par ailleurs de nombreux désordres, le long des parements et au toit, en partie imputables à une désagrégation du matériau au contact de l'eau.

Dans le reste de la carrière, on observe localement la présence d'émergences qui semblent avoir un débit non négligeable (au moins lors de la période de visite), le long de couloirs de fracturation naturelle.

En outre, la venue d'eau importante qui s'est produite au droit de l'effondrement a entraîné, dans les galeries situées au Nord-Est, la présence de plusieurs étendues d'eau stagnante.

Il subsiste également, à l'extrémité est de l'exploitation, un secteur entièrement noyé (sur plusieurs décimètres de hauteur).

Rappelons la sensibilité du matériau gypseux vis-à-vis de l'eau, essentiellement non stagnante et l'importance de collecter et de contrôler les eaux de percolation pour éviter la dégradation du massif.

Rappelons que la valeur limite de résistance des piliers R_U peut être donnée par la formule :

$$R_U = \psi \times R_E$$

où le coefficient ψ intègre les effets combinés de facteurs résultant, d'une part, de la transposition des valeurs mesurées sur des éprouvettes au laboratoire à l'évaluation des caractéristiques en vraie grandeur du massif (effets d'échelle et d'élancement des piliers), et, d'autre part, de l'influence du temps sur l'évolution des ouvrages à long terme.

Les hypothèses de base retenues pour ces calculs d'aire tributaire sont les suivantes :

- une résistance élastique du matériau R_E identique à celle retenue lors de la précédente étude, à savoir 3,5 MPa,
- une hauteur de recouvrement de 40 m,
- un poids volumique moyen des terrains de recouvrement pris égal à 20 kN/m³,
- un taux de défrètement variant de 60% à 69% au maximum (piliers de 10 x 10 m et galeries de 8 m de largeur).

Différentes configurations de dimensionnement ont par ailleurs été prises en compte en rapport avec les largeurs de piliers et de galeries observées dans la carrière.

L'analyse théorique de stabilité a alors été considérée en tenant compte, pour R_U , uniquement de la modification du coefficient d'élancement k_3 (cf. notes de calcul en annexe II) pour les élancements suivants :

- élancement de 0,5 ($k_3=1,5$) correspondant aux galeries d'origine,
- élancement de 0,8 ($k_3=1,25$) correspondant à un surcreusement d'au moins 2 m des galeries (par exemple ouverture finale de 8 m pour des piliers de 10 m de côté),
- élancement de 0,9 ($k_3=1,1$) correspondant à un surcreusement moyen de 2,5 à 3 m,
- élancement de 1 correspondant à des piliers aussi hauts que larges.

Cette approche, effectuée pour différentes profondeurs de surcreusement, et dans des conditions géotechniques adaptées au site concerné, permet de noter que l'influence du surcreusement sur la stabilité des piliers n'est pas négligeable lorsqu'on fait varier leur élancement de 0,5 à 1.

Pour une même configuration relative à un taux de défrètement de 60%, le coefficient de sécurité calculé est en effet ramené de 1,8 à 1,2. Ce coefficient est inférieur à 1,5 pour certaines configurations retenues si l'élancement du pilier dépasse 0,9.

Dans tous les cas, la tenue des piliers apparaît ne pas fournir des garanties de stabilité satisfaisantes dans le long terme lorsqu'on considère un élancement égal à 1. De plus, les observations effectuées à Prat dans les anciens travaux, et plus généralement dans d'autres carrières de gypse triasique, montrent que les piliers hauts et étroits (présentant un élancement ≥ 1) sont toujours affectés par la fracturation naturelle. Les fractures obliques y constituent des plans de glissement privilégiés pour le basculement des parements et l'affaiblissement consécutif de la tenue des piliers.

L'ensemble de ces observations et l'analyse des résultats de l'étude paramétrique (annexe II) conduisent à formuler les recommandations suivantes :

- 1) la reprise des galeries en sous-pied est possible pour cette exploitation en conservant le schéma de dimensionnement actuel et en respectant certaines précautions ;

Localement, la recoupe, par des galeries, de poches marneuses développées exige la mise en oeuvre de travaux de mise en sécurité immédiats. Ceci est valable aussi bien pour des cloches existantes (au Sud et à l'Est vers le Barbut) que pour les travaux d'extension futurs. Ces traitements peuvent être réalisés simplement par le fond en empilant des blocs rocheux disposés de manière à bloquer un débouillage éventuel des terrains argileux dans les galeries. Ils permettront ainsi d'éviter une propagation de la montée de voûte vers la surface ou une extension d'un fontis si celui-ci a déjà débouché au jour.

En dernier lieu, rappelons que, lors des opérations de reprise en sous-pied, l'exploitant doit procéder, avant et après les tirs, à un contrôle minutieux et éventuellement à une purge des angles et des parements des piliers.

Lorsque la partie déconsolidée est trop importante ou la purge trop risquée, il est préférable d'éviter le passage ultérieur du personnel et des engins. En cas d'impossibilité, il conviendra de procéder à un confortement, par boulonnage ou par cerclage, du parement dégradé.

4. CONCLUSIONS

L'exploitation souterraine de Prat-Bonrepaux a été menée dans sa partie la plus récente, au Nord-Est, par la méthode des chambres et piliers abandonnés. Une partie de cette carrière fait actuellement l'objet d'une reprise en sous-pied, technique que l'exploitant souhaite généraliser à l'ensemble des galeries.

La reconnaissance géotechnique des cavités accessibles a permis de vérifier l'état apparent de l'ouvrage et d'identifier les secteurs les plus sensibles.

La zone d'exploitation présente un aspect globalement satisfaisant, avec des piliers massifs disposés régulièrement et respectant le schéma de dimensionnement établi en 1991.

Deux secteurs apparaissent néanmoins plus dégradés :

- à l'Ouest, à proximité des vieux travaux et de l'entrée principale, dans une zone où l'humidité ambiante importante participe à la dégradation des piliers et du toit ;
- plus localement, à l'extrémité est, où les galeries ont recoupé à l'avancement une zone argilo-marneuse et provoqué un effondrement en surface suite au débouillage des terres de recouvrement dans les galeries.

Une approche paramétrique, par calcul de l'aire tributaire, a permis de vérifier que la stabilité générale des piliers est conservée en cas d'approfondissement modéré des galeries.

Il est ainsi possible de porter l'élancement des piliers de 0,6 à 0,8, c'est-à-dire de passer d'une hauteur de 6 m à 8,5-9 m pour des piliers carrés de 12 m de côté, sans remettre en cause la stabilité générale de l'exploitation.

Certaines précautions restent toutefois nécessaires pour améliorer les conditions de stabilité locale, notamment la maîtrise du tir sur les bords de pilier et la mise en oeuvre systématique des opérations de contrôle et de purge des parements le long des passages.

Enfin, la mise en évidence de zones plus dégradées a conduit à proscrire la reprise en sous-pied dans quelques secteurs de la carrière. Ceci concerne notamment toute la partie ouest de la carrière (cf. figure n°2).

La continuation de l'extraction en souterrain, nécessitera à terme une extension des galeries en superficie vers le Nord ou l'Est et/ou la prise d'un sous-niveau en conservant une planche intermédiaire d'au moins 10 m d'épaisseur.

Ces modifications fondamentales dans le schéma d'exploitation restent a priori compatibles avec le dimensionnement actuel de l'ouvrage.

Cependant, avant de choisir et de mettre en œuvre la nouvelle technique d'exploitation, il nous semble important que la carte géotechnique soit réactualisée pour apprécier l'état de la carrière et évaluer le comportement à moyen terme de l'ouvrage de toutes les zones surcreusées. Ce nouvel état des lieux contribuera à optimiser le choix et le dimensionnement de la future exploitation et à prendre, si nécessaire, de nouvelles mesures de sécurité pour assurer la stabilité à terme de cette carrière.

5. LISTE DES FIGURES, PHOTOS ET ANNEXES

Repère	Désignation	Nb de pages
Figure n°1	Carte géotechnique de l'exploitation actuelle	1 plan hors texte
Figure n°2	Possibilité de reprise en sous-pied et d'extension	1 plan hors texte
Photos 1-2	Vues du site en surface et de la descenderie	1 A4
Photos 3-4	Vues de l'exploitation par reprise en sous-pied	1 A4
Photos 5-6	Vues par le fond de l'éboulement du Barbut	1 A4
Photo 7	Plastification des marnes au fond	1 A4
Photos 8-9	Vues de l'effondrement du Barbut en surface	1 A4
Photo 10	Vue d'un bord de pilier après reprise en sous-pied	1 A4
Annexe I	Principe de calcul de l'Aire tribulaire	4 A4
Annexe II	Notes de calcul	5 A4

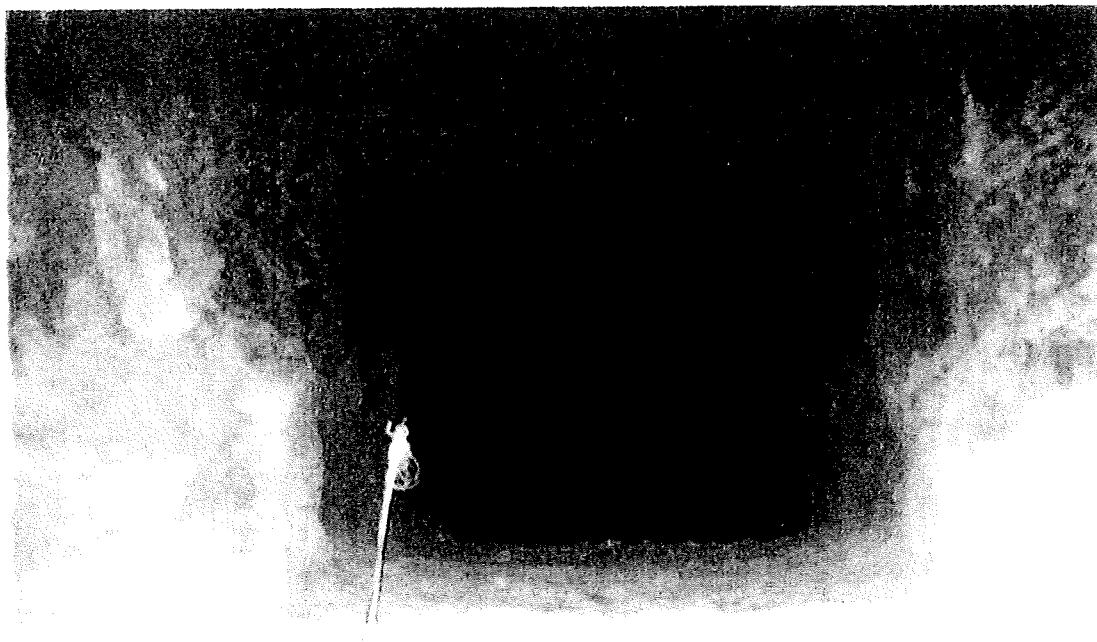


Photo 1 : Carrière de Prat – Vue du site en surface

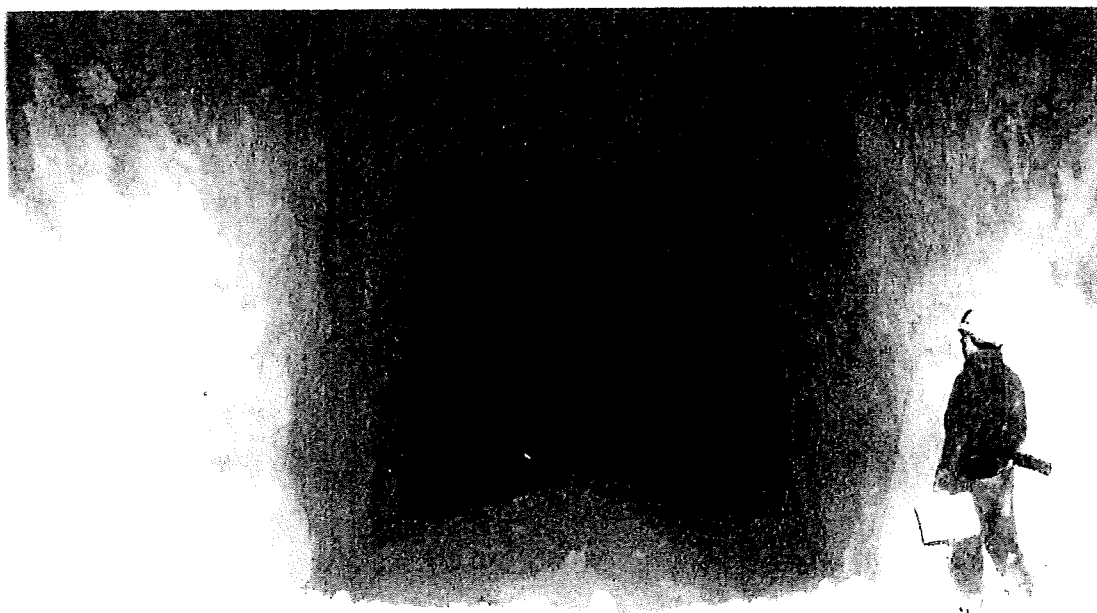


Photo 2 : Carrière de Prat – Accès par nouvelle descenderie

Photos 3 et 4 : Carrière de PRAT – Exploitation par reprise en sous-pied des galeries



Vue avant le tir de reprise en sous-pied



Vue après le tir de reprise en sous-pied

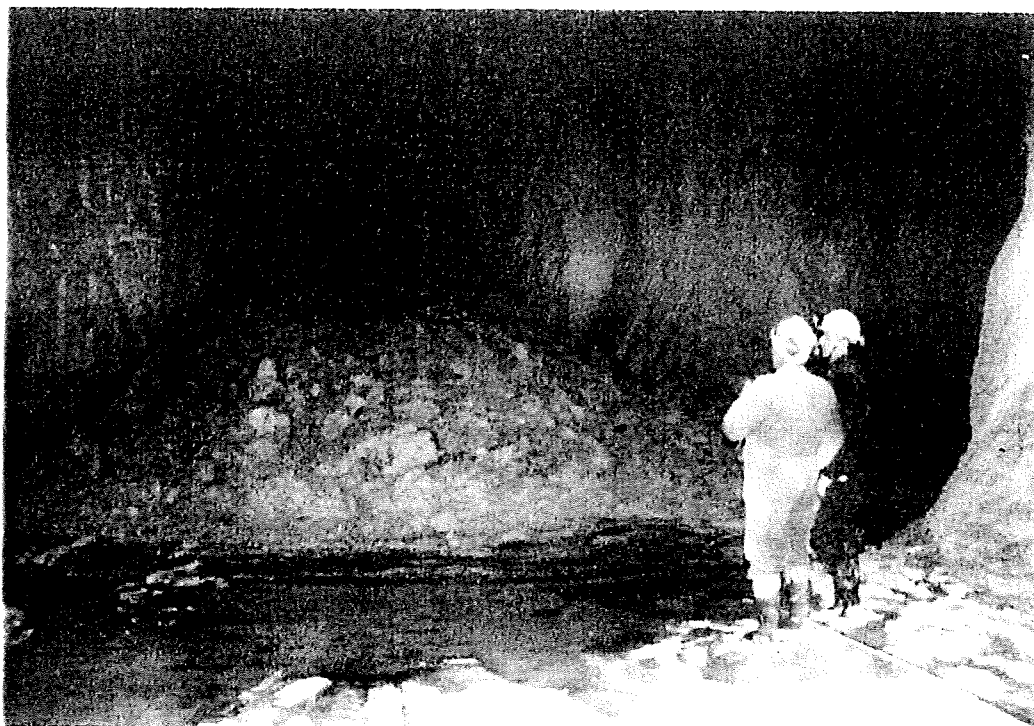


Photo 5 : Eboulis marneux en présence d'eau – Galerie la plus au Nord



Photo 6 : Tas d'éboulis dans la galerie la plus au Sud – Absence de venue d'eau



**Photo 7 : Plastification des marnes du recouvrement en présence d'eau
et écoulement en galerie**



Photo 8 : Vue de l'effondrement – Fontis d'origine



Photo 9 : Vue vers le Sud de l'effondrement

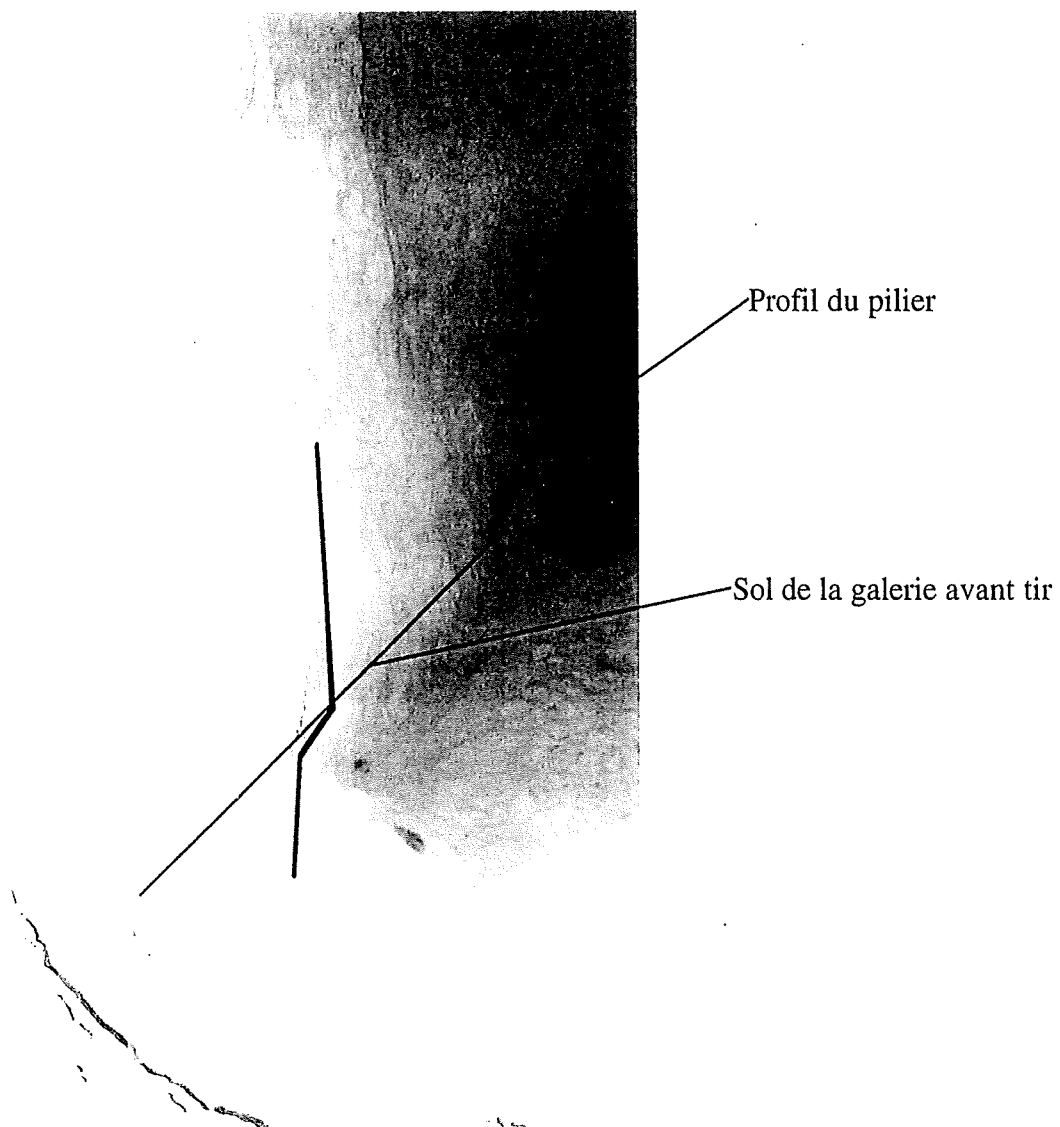


Photo 10 : Vue d'un parement de pilier après un tir
Réduction de la surface portante

ANNEXE I

PRINCIPE DU MODELE DE L'AIRE TRIBUTAIRE

Modèle analytique de l'aire tributaire

- Pour l'évaluation de la stabilité des piliers -

1. Principe d'analyse de la stabilité d'une exploitation par chambres et piliers

L'analyse de la stabilité d'une carrière souterraine s'effectue classiquement à deux niveaux :

- globalement, par une estimation purement indicative de la stabilité générale de l'ensemble de l'exploitation sans distinguer les particularités d'une zone ;
- ponctuellement, par une évaluation précise de la stabilité locale à partir d'un modèle de comportement approprié aux conditions concrètes du site.

En fin d'analyse, le diagnostic de stabilité peut être exprimé de façon quantitative sous l'expression d'un coefficient de sécurité F_s :

$$F_s = \frac{R_U}{Q_n} = \frac{\text{Résistance limite du matériau}}{\text{Sollicitations exercées sur les piliers}}$$

2. Résistance limite du matériau (R_u) avec prise en compte ou non du long terme

- Approche statistique

La résistance limite (R_u) s'exprime le plus souvent par la relation :

$$R_U = \bar{R} - K\sigma$$

où

$\bar{R}$ = résistance moyenne du matériau,

σ = écart-type de la distribution,

K = facteur de stabilité dont la valeur est fixée a priori et/ou empiriquement.

La valeur de K tirée de la bibliographie spécialisée varie, selon les objectifs recherchés et la destination du site, entre $K = 0$ (stabilité à court terme des exploitations effondrables) et $K = 2,33$ (stabilité à long terme). Pour ne pas être trop sécuritaire, on adopte le plus souvent une valeur K comprise entre 1 et 2.

La résistance $\bar{R}$ ne représente pas toujours la même caractéristique, mais on considère généralement qu'il s'agit de la résistance limite élastique (R_E) plutôt que la résistance maximale à la compression (R_C), déterminée à partir des courbes contrainte-déformation longitudinale ou transversale.

– *Approche empirique*

On trouve encore d'autres expressions de la résistance limite (R_U) par différentes estimations empiriques de la résistance à long terme telles que :

$$R_U = R_C/2$$

ou

$$R_U = 2/3 R_E$$

expressions dans lesquelles R_C et R_E correspondent aux valeurs de résistance moyenne du banc le plus faible.

– *Approche à long terme*

La mesure directe de la résistance limite peut être effectuée à partir d'essais de fluage à long terme au laboratoire et s'exprime de la façon suivante :

$$R_U = R_{\text{fluage}} - K\sigma$$

– *Approche à long terme et en grandeur*

Pour notre part, nous préférons utiliser une autre formulation de la **résistance ultime** du matériau de la forme :

$$R_U = \Psi R_E$$

(R_E = résistance élastique moyenne du banc le plus faible).

où le coefficient Ψ intègre les effets combinés de facteurs résultant, d'une part, de la transposition des valeurs mesurées au laboratoire sur éprouvettes à l'évaluation des caractéristiques « en grandeur », c'est-à-dire in situ (effet d'échelle et effet d'élancement), et d'autre part, de l'influence du temps sur l'évolution de ces caractéristiques à terme.

avec

$$\Psi = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

K_1 = effet du temps,

K_2 = effet d'échelle,

K_3 = effet d'élancement.

Indépendamment des essais au laboratoire, les coefficients d'évaluation des effets d'échelle et d'élancement peuvent être tirés des ouvrages et articles spécialisés en mécanique des roches, ou appréciés par analyse en retour d'expérience.

L'effet du temps peut être évalué à partir d'essais de fluage à long terme réalisés en laboratoire ou, dans certains cas, à partir de l'analyse « historique » des effondrements, qui peut renseigner sur les propriétés de résistance à long terme du massif (tout au moins sur une certaine période).

Certains effets, qui affectent les caractéristiques de laboratoire par rapport aux caractéristiques « en grand » du massif, sont parfois antagonistes et peuvent se contrarier (par exemple l'effet d'échelle et l'effet d'élancement...).

2. Niveau de sollicitation (Q_n) déterminé par le modèle d'aire tributaire

L'état des charges appliquées en différents points des ouvrages est évalué soit directement par des mesures in situ, soit par des calculs qui permettent certaines hypothèses sur leur comportement.

Les modèles type « aire tributaire » reposent sur l'hypothèse que la charge des terrains sus-jacents est entièrement et également répartie sur tous les piliers. Cette théorie ne peut vraiment s'appliquer qu'à partir d'une largeur minimale d'exploitation L , sensiblement supérieure à H (largeur critique). Le rapport L/H est alors fonction de la nature des terrains constituant la dalle du toit (raideur) non reprise, même partiellement, par les bords fermes de l'exploitation (contrairement aux modèles de type dôme ou voûte).

La contrainte théorique Q_n qui s'exerce sur les piliers s'écrit :

$$Q_n = K \cdot \frac{\gamma \cdot H}{1 - \tau} \quad (\text{en kPa})$$

où

γ = poids volumique moyen des terrains de recouvrement (en kN/m^3),

H = hauteur de recouvrement (m),

τ = taux de défrètement.

* K exprime un facteur de concentration locale des contraintes résultant d'une configuration géométrique particulière ou accidentelle, ou un coefficient de majoration tenant compte des surcharges localisées induites, par exemple, par certains effets de bordure. A titre indicatif, pour certains effets de bordure, K peut varier de 1 à 2,7. Dans la pratique courante K est considéré égal à 1 ou 1,1.

ANNEXE II

NOTES DE CALCUL

CALCUL D'AIRE TRIBUTAIRE							
	pilier 1	pilier 2	pilier 3	pilier 4	pilier 5	pilier 6	pilier 7
Largeur galerie (mètres)	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Largeur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	10,00	10,00	15,00
longueur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	12,00	12,00	15,00
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

Masse volumique (g/cm3)	2,00						
Profondeur (mètres)	40						
Taux défrètement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

Qn moy. standard (bars)	20,1	23,1	22,2	25,9	24,0	24,0	18,8
Qn Tincelin (*) (bars)	22,1	25,4	24,4	28,5	26,4	26,4	20,7
Qn max. MDJ (**) (bars)	50,1	57,8	55,6	64,8	60,0	60,0	47,0

() avec un facteur local de surcontrainte $K=2,5$**

RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION AU LABORATOIRE :		
RC (bars)	40,0	bars
écart-type RC (bars)	5,0	bars
RE (*) (bars)	35,0	bars (*) Plus faible valeur du RE long. ou trans.
écart-type RE (bars)	5,0	bars
R fluage min. (bars)	18,0	bars
Coef. K Tinelin (**)	1	(**) : (K=0 : Exp. foudroyées) (K=1 : standard) (K=2 : Long terme)

K1 Temps	0,85	(Meudon : Ru=0,85*Re) (Jonzac : Ru=0,75*Re)
k2 Echelle	0,90	(Meudon : Rmas=0,8-1,0*Rlab) (Herget : Rmas=0,7*Rlab)
k3 Elancement	1,50	(K>1 avec El<1);(K=1 avec El=0,9à1);(K<1 avec El>1)

JOSIEN	28,4	bars	RI = RC-2,33.ET
RSH-MDJ	23,3	bars	RI = 2/3.RE
MDJ (1)	18,0	bars	RI = Rfluage
MDJ (2)	14,0	bars	RI = RE/2,5
TINCELIN	30,0	bars	RL = REmin - K.ET (avec k)**
INERIS	40,2	bars	RI = K1*K2*K3*RE

Taux défrutement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%
JOSIEN	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,5
RSH-MDJ	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,2
MDJ (1)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	1,0
MDJ (2)	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
TINCELIN	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4
INERIS (avec 1.Qn)	2,0	1,7	1,8	1,5	1,7	1,7	2,1
INERIS (avec 1.1.On)	1,8	1,6	1,6	1,4	1,5	1,5	1,9

RETOUR AU MENU

SOCIETE	Ets. SABOULARD	
CARRIERE	PRAT - BONREPAUX	

CALCUL D'AIRE TRIBUTAIRE							
	pilier 1	pilier 2	pilier 3	pilier 4	pilier 5	pilier 6	pilier 7
Largeur galerie (mètres)	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Largeur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	10,00	10,00	15,00
longueur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	12,00	12,00	15,00
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

CALCUL DES SOLLICITATIONS, Qn, SUR LES PILIERS ($Q_n = K \cdot g \cdot H / (1 - T)$)							
Masse volumique (g/cm ³)	2,00						
Profondeur (mètres)	40						
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%
SOLLICITATIONS MAX. ($Q_n = K \cdot g \cdot H / (1 - T)$)							
Qn moy. standard (bars)	20,1	23,1	22,2	25,9	24,0	24,0	18,8
Qn Tincelin (*) (bars)	22,1	25,4	24,4	28,5	26,4	26,4	20,7
Qn max. MDJ (**) (bars)	50,1	57,8	55,6	64,8	60,0	60,0	47,0

(*) avec un coefficient de bordure K=1,1

(**) avec un facteur local de surcontrainte K=2,5

EVALUATION DE LA RESISTANCE ULTIME OU LIMITE, RU							
--	--	--	--	--	--	--	--

Résultats de la caractérisation au laboratoire :

RC (bars)	40,0	bars	
écart-type RC (bars)	5,0	bars	
RE (*) (bars)	35,0	bars	(*) Plus faible valeur du RE long. ou trans.
écart-type RE (bars)	5,0	bars	
R fluage min. (bars)	18,0	bars	
Coef. K Tincelin (**)	1		(**): (K=0 : Exp. foudroyées) (K=1 : standard) (K=2 : Long terme)

Nouvelle formulation avec les coefficients d'effets du :

K1 Temps	0,85	(Meudon : $R_u = 0,85 \cdot R_e$) (Jonzac : $R_u = 0,75 \cdot R_e$)
k2 Echelle	0,90	(Meudon : $R_{mas} = 0,8 - 1,0 \cdot R_{lab}$) (Herget : $R_{mas} = 0,7 \cdot R_{lab}$)
k3 Elancement	1,25	($K > 1$ avec $E_l < 1$); ($K = 1$ avec $E_l = 0,9 \text{ à } 1$); ($K < 1$ avec $E_l > 1$)

Valeurs calculées de la résistance ultime (RU)			
JOSIEN	28,4	bars	$R_l = RC - 2,33 \cdot ET$
RSH-MDJ	23,3	bars	$R_l = 2/3 \cdot RE$
MDJ (1)	18,0	bars	$R_l = R_{fluage}$
MDJ (2)	14,0	bars	$R_l = RE / 2,5$
TINCELIN	30,0	bars	$R_l = R_{emin} - K \cdot ET$ (avec k)**
INERIS	33,5	bars	$R_l = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot RE$

DETERMINATION DU FACTEUR DE SECURITE, FS							
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%
JOSIEN	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,5
RSH-MDJ	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,2
MDJ (1)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	1,0
MDJ (2)	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
TINCELIN	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4
INERIS (avec 1.Qn)	1,7	1,4	1,5	1,3	1,4	1,4	1,8
INERIS (avec 1,1.Qn)	1,5	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3	1,6

RETOUR AU MENU

SOCIETE	Ets. SABOULARD	
CARRIERE	PRAT - BONREPAUX	

CALCUL D'AIRE TRIBUTAIRE

	pilier 1	pilier 2	pilier 3	pilier 4	pilier 5	pilier 6	pilier 7
Largeur galerie (mètres)	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Largeur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	10,00	10,00	15,00
longueur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	12,00	12,00	15,00
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

CALCUL DES SOLLICITATIONS, Qn, SUR LES PILIERS (Qn=K.g.H/1-T)

Masse volumique (g/cm3)	2,00						
Profondeur (mètres)	40						
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

SOLLICITATIONS MAX. (Qn=K.g.H/1-T)

Qn moy. standard (bars)	20,1	23,1	22,2	25,9	24,0	24,0	18,8
Qn Tincelin (*) (bars)	22,1	25,4	24,4	28,5	26,4	26,4	20,7
Qn max. MDJ (**) (bars)	50,1	57,8	55,6	64,8	60,0	60,0	47,0

(*) avec un coefficient de bordure K=1,1 (**) avec un facteur local de surcontrainte K=2,5

EVALUATION DE LA RESISTANCE ULTIME OU LIMITE, RU

Résultats de la caractérisation au laboratoire :

RC (bars)	40,0	bars	
écart-type RC (bars)	5,0	bars	
RE (*) (bars)	35,0	bars	(*) Plus faible valeur du RE long. ou trans.
écart-type RE (bars)	5,0	bars	
R fluage min. (bars)	18,0	bars	
Cof. K Tincelin (**) (bars)	1		(**) : (K=0 : Exp. foudroyées) (K=1 : standard) (K=2 : Long terme)

Nouvelle formulation avec les coefficients d'effets du :

K1 Temps	0,85	(Meudon : Ru=0,85*Re) (Jonzac : Ru=0,75*Re)
k2 Echelle	0,90	(Meudon : Rmas=0,8-1,0*Rlab) (Herget : Rmas=0,7*Rlab)
k3 Elancement	1,10	(K>1 avec El<1);(K=1 avec El=0,9à1);(K<1 avec El>1)

Valeurs calculées de la résistance ultime (RU)

JOSIEN	28,4	bars	RI = RC-2,33.ET
RSH-MDJ	23,3	bars	RI = 2/3.RE
MDJ (1)	18,0	bars	RI = Rfluage
MDJ (2)	14,0	bars	RI = RE/2,5
TINCELIN	30,0	bars	RL = REmin - K.ET (avec k)**
INERIS	29,5	bars	RI = K1*K2*K3*RE

DETERMINATION DU FACTEUR DE SECURITE, FS

Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%
JOSIEN	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,5
RSH-MDJ	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,2
MDJ (1)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	1,0
MDJ (2)	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
TINCELIN	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4
INERIS (avec 1.Qn)	1,5	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,6
INERIS (avec 1,1.Qn)	1,3	1,2	1,2	1,0	1,1	1,1	1,4

RETOUR AU MENU

SOCIETE	Ets. SABOULARD	
CARRIERE	PRAT - BONREPAUX	

CALCUL D'AIRE TRIBUTAIRE							
	pilier 1	pilier 2	pilier 3	pilier 4	pilier 5	pilier 6	pilier 7
Largeur galerie (mètres)	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Largeur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	10,00	10,00	15,00
longueur pilier (mètres)	12,00	10,00	12,00	10,00	12,00	12,00	15,00
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

CALCUL DES SOLLICITATIONS, Qn, SUR LES PILIERS (Qn=K.g.H/1-T)							
Masse volumique (g/cm3)	2,00						
Profondeur (mètres)	40						
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%

SOLLICITATIONS MAX. (Qn=K.g.H/1-T)							
Qn moy. standard (bars)	20,1	23,1	22,2	25,9	24,0	24,0	18,8
Qn Tincelin (*) (bars)	22,1	25,4	24,4	28,5	26,4	26,4	20,7
Qn max. MDJ (**) (bars)	50,1	57,8	55,6	64,8	60,0	60,0	47,0

(*) avec un coefficient de bordure K=1,1

(**) avec un facteur local de surcontrainte K=2,5

EVALUATION DE LA RESISTANCE ULTIME OU LIMITE, RU							
--	--	--	--	--	--	--	--

Résultats de la caractérisation au laboratoire :

RC (bars)	40,0	bars	
écart-type RC (bars)	5,0	bars	
RE (*) (bars)	35,0	bars	(*) Plus faible valeur du RE long. ou trans.
écart-type RE (bars)	5,0	bars	
R fluage min. (bars)	18,0	bars	
Cœf. K Tincelin (**)	1		(**): (K=0 : Exp. foudroyées) (K=1 : standard) (K=2 : Long terme)

Nouvelle formulation avec les coefficients d'effets du :

K1 Temps	0,85	(Meudon : Ru=0,85*Re) (Jonzac : Ru=0,75*Re)
k2 Echelle	0,90	(Meudon : Rmas=0,8-1,0*Rlab) (Herget : Rmas=0,7*Rlab)
k3 Elancement	1,00	(K>1 avec El<1);(K=1 avec El=0,9à1);(K<1 avec El>1)

Valeurs calculées de la résistance ultime (RU)			
JOSIEN	28,4	bars	RI = RC-2,33.ET
RSH-MDJ	23,3	bars	RI = 2/3.RE
MDJ (1)	18,0	bars	RI = Rfluage
MDJ (2)	14,0	bars	RI = RE/2,5
TINCELIN	30,0	bars	RL = REmin - K.ET (avec k)**
INERIS	26,8	bars	RI = K1*K2*K3*RE

DETERMINATION DU FACTEUR DE SECURITE, FS							
Taux défruitement %	60%	65%	64%	69%	67%	67%	57%
JOSIEN	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,5
RSH-MDJ	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,2
MDJ (1)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	1,0
MDJ (2)	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
TINCELIN	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4
INERIS (avec 1.Qn)	1,3	1,2	1,2	1,0	1,1	1,1	1,4
INERIS (avec 1,1.Qn)	1,2	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0	1,3
RETOUR AU MENU							

Contrôles de vibrations

INERIS

