



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

CONTROLE DE VIBRATIONS SISMIQUE DUES AUX TIRS

Carrière souterraine de
Prat – Bonrepaux (Ariège)

Etablissements SABOULARD

Michel KISZLO
Responsable d'Affaires
Laboratoire de Certification des Explosifs et matières Dangereuses
Direction de la Certification

21 novembre 2000

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	3
2. OBJECTIF.....	3
3. PRINCIPE DE LA MESURE DES VIBRATIONS SISMIQUES.....	3
3.1 TYPE D'APPAREIL UTILISÉ	4
3.2 PRINCIPE DU TRAITEMENT DES SIGNAUX.....	4
4. PLAN DE TIR.....	6
5. MESURES EFFECTUÉES.....	8
6. IMPLANTATION DES BASES DE MESURES.....	9
7. ANALYSE DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES	9
8. ANALYSE DES MESURES SISMIQUES	9
9. CONCLUSIONS	10
10. LISTE DES ANNEXES	11

1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'une demande d'autorisation d'exploitation, la société SABOULARD 73, route des Pyrénées 31220 Martres-Tolosane, nous a chargé d'effectuer le contrôle des vibrations sismiques dues aux tirs de mine lors de l'exploitation de Gypse dans la carrière souterraine de Prat – Bonrepaux (plan de situation en annexe 1).

2. OBJECTIF

L'objectif est d'assurer les enregistrements de vibrations sismiques produites par les tirs de mine réalisés à l'aide de sismographes. Les mesures feront l'objet d'une analyse effectuée selon les termes de l'arrêté du 22 septembre 1994 et la circulaire d'application du 2 juillet 1996 relative aux installations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux.

3. PRINCIPE DE LA MESURE DES VIBRATIONS SISMIQUES

Dans le domaine des vibrations du sol provoquées par les tirs de mine, les deux paramètres essentiels les plus significatifs vis-à-vis des effets nocifs sur les constructions sont la vitesse particulière maximale obtenue dans l'une ou l'autre des trois directions de l'espace et la fréquence associée à cette vitesse.

Dans le cas des tirs de mine, cette fréquence est généralement comprise entre 1 Hz et quelques centaines de Hz.

L'enregistrement des vitesses particulières, V_x , V_y , V_z , s'opère à partir de trois géophones dirigés suivant les trois directions de l'espace (X = longitudinale, Y = transversale, Z = verticale).

L'amortissement des vibrations est matérialisé par l'atténuation progressive de la vitesse particulière. Elle est représentée par la relation décroissante en fonction de la distance, dite distance pondérée, ou distance réduite D_R correspondant au rapport $D / \sqrt{Q}$.

Cette loi est donc décrite par deux facteurs principaux :

- la distance du tir : D (mètres) ;
- la charge instantanée d'explosif : Q_i (kilogrammes).

D'autres paramètres moins sensibles du plan de tir peuvent jouer un certain rôle :

- la nature de l'explosif ;
- l'intervalle entre les retards, ou délai de la séquence d'amorçage ;
- la précision des détonateurs ;
- la géométrie du tir, l'orientation et l'alignement du tir dans la direction de la construction ;
- l'emplacement du tir.

3.1 TYPE D'APPAREIL UTILISE

Une base de mesure complète se compose d'un sismographe à acquisition numérique autonome et de trois géophones incorporés dirigés suivant les trois directions de l'espace. La principale caractéristique d'un géophone est la bande de fréquences dans laquelle sa réponse aux ondes vibratoires est linéaire. On utilise couramment des géophones linéaires à partir de 1 Hz ou de 2 Hz et jusqu'à plusieurs centaines de Hertz.

Les mesures de vibrations sismiques ont été réalisées à partir de sismographes autonomes à acquisition numérique de marque MINISEIS ayant les caractéristiques suivantes :

- capteurs tridirectionnels : géophones incorporés ;
- bande de fréquences : de 1 ou 2 Hz à 400 Hz ;
- vitesse d'échantillonnage : de 32 à 2048 points / voie / seconde ;
- durée d'enregistrement : de 1 à 12 secondes (4 secondes à 1024 points) ;
- champs d'utilisation :
 - : de 0 à 15 mm/s ;
 - : de 0 à 31 mm/s ;
 - : de 0 à 65 mm/s ;
- seuil de déclenchement : réglable de 0,06 mm/s à 14,50 mm/s ;
- mise en mémoire de chaque événement tous les 50 ms ;
- test de calibrage dynamique automatique après chaque enregistrement.

Conformément à la circulaire du 2 juillet 1996, ces sismographes disposent d'une dynamique d'au moins 54 dB et une résolution inférieure à 0,1 mm/s dans la gamme 1 Hz - 150 Hz. Leur étalonnage est effectué régulièrement.

Les enregistrements effectués à l'aide de ces sismographes permettent de calculer :

- la vitesse particulière maximale selon les trois axes de propagation des vibrations ;
- la vitesse particulière résultante des vitesses maximales selon les trois axes ;
- le spectre de fréquence par analyse FFT pour chaque voie (décomposition en série de Fourier pour la détermination des fréquences prépondérantes) ;
- le filtrage éventuel des signaux si nécessaire (par exemple, pour l'élimination des bruits de fond) ;
- les valeurs en vitesse pondérée, conformément au décret du 22 septembre 1994 et la circulaire d'application du 2 juillet 1996, sont réalisées à partir d'une analyse effectuée à l'aide du logiciel de vibrations et de calcul de transformée rapide de Fourier (FFT) disponible à l'INERIS.

3.2 PRINCIPE DU TRAITEMENT DES SIGNAUX

La réglementation concernant les vibrations du sol induites par les tirs de mines relève de l'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement et de sa circulaire d'application n° 96-52 du 2 juillet 1996 (annexe 2).

L'article 22.2 définit les règles concernant les valeurs à prendre en compte pour limiter les vibrations dues aux tirs de mine. Les tirs de mine ne doivent pas être à l'origine de phénomènes vibratoires susceptibles d'engendrer dans les constructions avoisinantes des vitesses particulières pondérées supérieures à 10 mm/s mesurées suivant les trois axes de la construction.

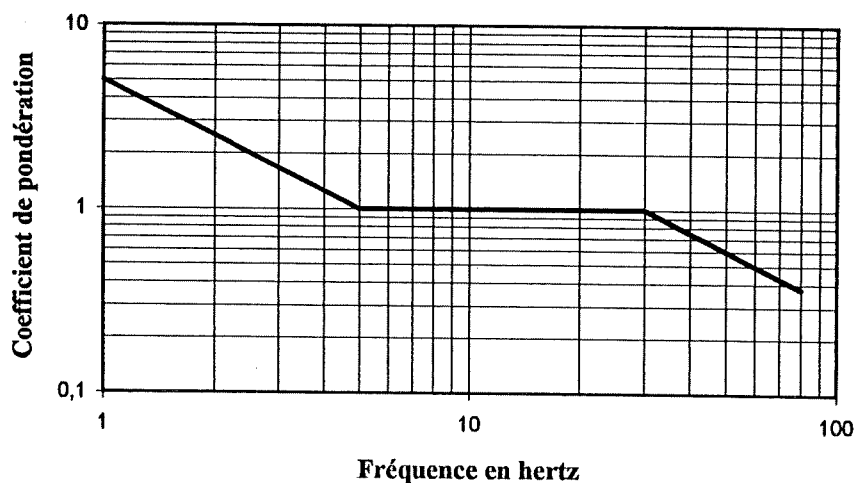
Le principe de pondération qui gouverne les aspects techniques de ces textes est d'atténuer les composantes du signal à fréquence élevée, considérées comme les moins nocives pour l'environnement, mais inversement d'amplifier les composantes à fréquence basse.

La fonction de pondération du signal est une courbe continue définie par les points caractéristiques suivants :

Tableau de pondération

Fréquence (Hz)	Coefficient de pondération
1	5
5	1
30	1
80	3/8

Fonction de pondération



Le coefficient de pondération doit être appliqué à l'amplitude de la transformée de Fourier de chacune des trois composantes du signal original.

Ensuite, une transformée de Fourier inverse du spectre pondéré de chacune des 3 composantes permet de reconstituer un signal pondéré. L'amplitude maximale du signal pondéré est obtenue en retenant la valeur maximale d'une des trois composantes. L'amplitude maximale ainsi déterminée est ensuite comparée à la valeur seuil de 10 mm/s.

Comme le précise la circulaire du 2 juillet 1996, la méthode de pondération revient à appliquer des limites plus sévères pour les basses fréquences, inférieures à 5 Hz, et plus larges pour les fréquences supérieures à 30 Hz.

4. PLAN DE TIR

La mise en oeuvre du tir est exécutée par le personnel de la carrière souterraine de Prat - Bonrepaux. A notre demande, le chargement en explosifs du tir réalisé pour l'étude correspond au plus près à la charge totale maximale autorisée. Le plan de tir est celui qui est habituellement pratiqué lors de l'exploitation de la carrière (voir photos n° 1 et n° 2). Les paramètres de tir réalisés le 18/10/2000 sont les suivants :

Paramètres géométriques

- Foration verticale profondeur : 2,60 mètres ;
- Diamètre de foration : 70 mm ;
- Nombre de trous : 47 ;
- Nombre de rangées : 8 ;

Chargement d'explosifs / trou

- En pied : 1 cartouche Irémite 2500 - 50/1000 ;
- En colonne : Nitrate Fioul N135 - 2,5 kg ;
- Bourrage final : 1,5 mètres ;
- Charge unitaire : $3,5 \text{ kg} \times 6 = 21 \text{ kg}$;
- Charge totale : 164,5 kg ;

Amorçage

- Détonateur électrique MI CR 25 ms ;
- Séquence d'amorçage centrale en chevron.

Photo n° 1 : Emplacement du tir

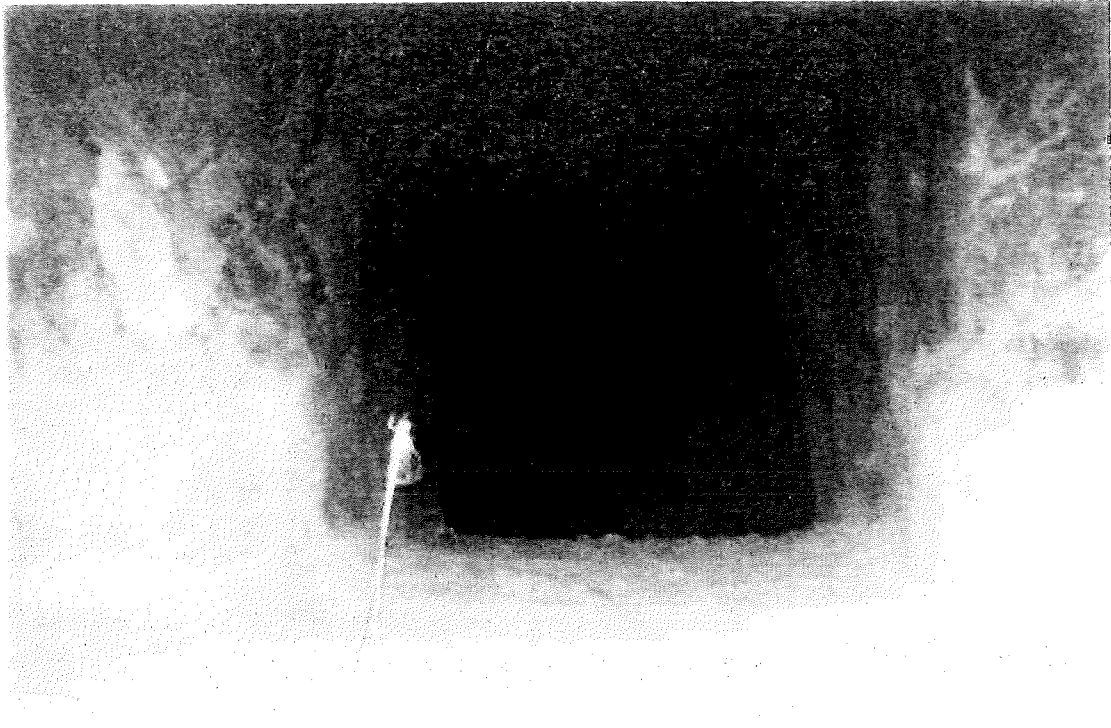
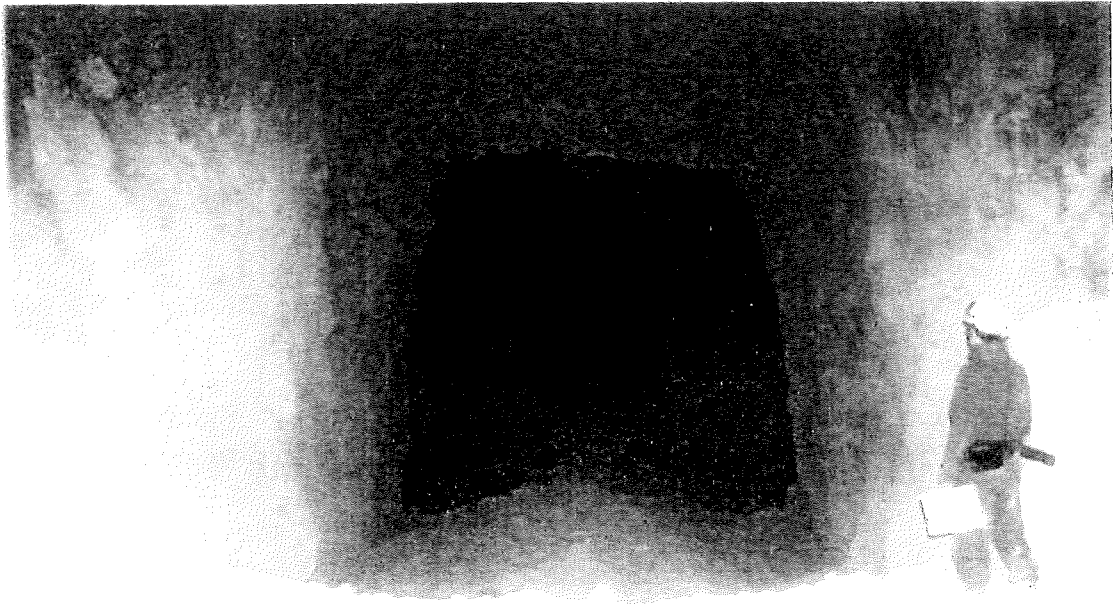


Photo n° 2 : Après le tir



5. MESURES EFFECTUEES

Les mesures ayant servi à la campagne ont été effectuées à partir d'un schéma d'implantation des bases de mesure et disposées en surface sur le site et au niveau de l'habitation environnante la carrière de Prat – Bonrepaux (voir photo n° 3).

Photo n° 3 : Emplacement du capteur sur l'habitation



6. IMPLANTATION DES BASES DE MESURES

L'implantation des bases de mesure est défini pour le tir du 18/10/00 selon le plan de situation (voir annexe 3).

- Point n° 1 placé au-dessus du tir ;
- Point n° 2 placé au niveau de l'habitation ;
- Point n° 3 placé en limite de propriété secteur Nord.

7. ANALYSE DES ENREGISTREMENTS SISMQUES

Les enregistrements sismiques sont présentés en annexe 4.

Les résultats des mesures de vibrations enregistrées ont été individualisés de la manière suivante : les vitesses enregistrées par axe de mesure pour une charge unitaire d'explosif (Q_i) à une distance donnée, la distance pondérée ou distance réduite (D_R), la vitesse maximale correspondant à la composante la plus élevée V_{max} , les vitesses particulières pondérées par axe de mesure, la vitesse particulière maximale pondérée $V_{max\ pond}$ et le coefficient de pondération sont données dans le tableau suivant :

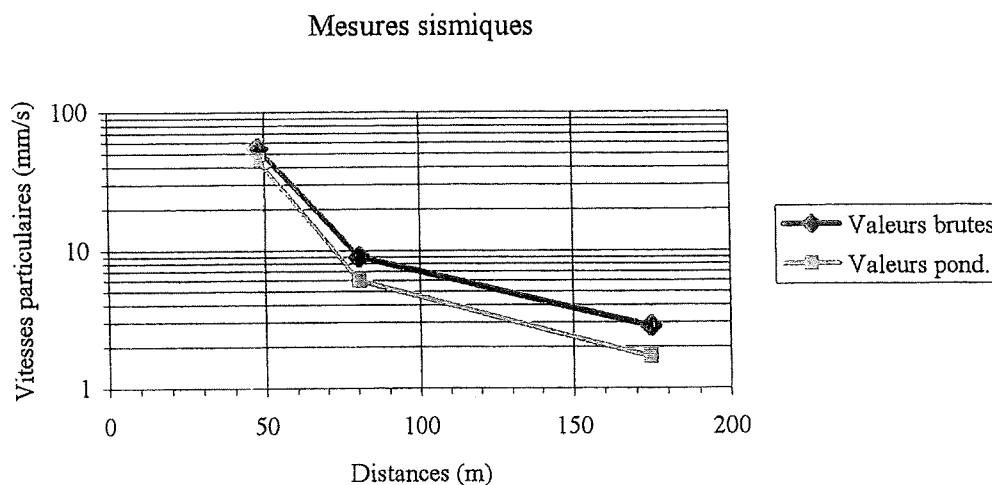
Tableau des enregistrements

Point de mesure	Distance (m)	Charge Q_i (kg)	D_R	Données brutes (mm/s)				Données pondérées (mm/s)				Coef Pond
				V_x	V_z	V_y	V_{max}	V_x	V_z	V_y	V_{max}	
1	48	21	11	54,9	34	20,8	54,9	45,5	25	15,7	45,5	0,8
2	81	21	18	5,5	6	9	9	3,7	4,3	6	6	0,7
3	175	21	38	2	2,8	1,7	2,8	1,2	1,7	1,3	1,7	0,6

8. ANALYSE DES MESURES SISMQUES

Les mesures de vibrations ont été réalisées à partir de 3 capteurs placés sur le site en surface. Les enregistrements simultanés de la vitesse particulière, mesurée par des capteurs, en plusieurs points à différentes distances, permettent de suivre la propagation de l'onde sismique dans une direction donnée et d'établir éventuellement la courbe d'amortissement des vibrations du sol.

Les valeurs des vitesses particulières maximales brutes et les valeurs des vitesses particulières maximales pondérées, en fonction de la distance réelle, sont données dans le graphique suivant :



Les valeurs relevées au niveau du tir (capteur en surface point n° 1 situé à 48 mètres) donne un niveau de vitesse particulière maximale brute de 54,9 mm/s. Après pondération la vitesse particulière maximale pondérée est de 45,5 mm/s.

Concernant le point de mesure situé sur l'habitation (point de mesure n° 2 situé à 81 mètres du tir) le niveau de vitesse particulière maximale brute est de 9,0 mm/s. Après pondération, la vitesse particulière maximale pondérée est de 5,9 mm/s.

Pour le point de mesure n° 3 situé à 175 mètres du tir le niveau de vitesse particulière maximale brute est de 2,8 mm/s. Après pondération, la vitesse particulière maximale pondérée est de 1,7 mm/s.

La réglementation concernant les vibrations du sol induites par les tirs de mines et définissant le critère de limitation est décrit dans l'article 22.2 de l'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement relatif aux installations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières et dans l'annexe II de la circulaire d'application n° 96-52 du 2 juillet 1996 de cet arrêté. L'article 22.2 édicte que les tirs de mine ne doivent pas être à l'origine de phénomènes vibratoires susceptibles d'engendrer dans les constructions avoisinantes des vitesses particulières pondérées supérieures à 10 mm/s mesurées suivant les trois axes de la construction.

9. CONCLUSIONS

La campagne de mesure réalisée sur le site de la carrière souterraine de Prat - Bonrepaux c'est déroulée de manière satisfaisante.

On constate que la vitesse particulière maximale pondérée enregistrée au niveau de l'habitation est de 5,9 mm/s cette valeur est inférieure au seuil de 10 mm/s défini par l'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement relatif aux installations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières et dans l'annexe II de la circulaire d'application n° 96-52 du 2 juillet 1996 de cet arrêté.

Toutefois, il est possible de réduire éventuellement les niveaux vibratoires. Pour ce faire des solutions sont envisageables telles que :

- la réduction de la charge unitaire mise en œuvre par numéro de retard ;
- la réduction de la charge totale en diminuant le nombre de trous de mine ;
- la définition d'un plan de tir adapté ;
- une séquence d'amorçage différente.

Ces méthodes peuvent être mise en œuvre dans le secteur proche de l'habitation.

La validité des résultats est très liée aux conditions pratiques de tir et aux configurations de site. La qualité apportée à l'exécution des tirs contribue de manière générale au maintien des niveaux vibratoires.

10. LISTE DES ANNEXES

Annexe	Désignation précise	Nb/pages
1	Plan de situation	1
2	Arrêté du 22/09/94 – Circulaire du 02/07/96	2
3	Implantation des bases de mesures	1
4	Enregistrements sismiques	3