

7.2. La surpression aérienne

Alain Blanchier

Lors des tirs de mines, une partie de l'énergie mécanique fournie par les explosifs se présente sous forme d'une onde de pression dans l'air (onde aérienne). Il s'agit d'une onde mécanique de compression et de détente de l'air.

Les tirs de mines ne sont pas les seuls à générer de telles ondes, la plupart des activités mécaniques en provoquent.

Les nuisances dues aux vibrations aériennes sont de deux types :

Le bruit qui représente la nuisance auditive directe vis à vis des riverains ;

Le "souffle" qui représente la nuisance mécanique vis à vis des structures.

Ce phénomène acoustique est caractérisé par une crête de surpression très brève suivie d'une série d'oscillations de la pression. Les dégâts sont principalement dus à l'effet de souffle provoqué par la brusque dépression qui suit la crête de surpression.

Près de la source, l'onde de surpression aérienne comprend une large bande de fréquences dont les fréquences audibles composent les bruits.

La majeure partie de l'énergie correspond à des fréquences inférieures à 100 Hz, avec des pics de surpression compris entre 4 et 40 Hz. Plus loin du tir, seules les fréquences les plus basses se propagent. Seule une faible partie de cette énergie se situe dans la gamme audible pour les riverains.

Pour chacun de ces deux types de nuisances (bruit et souffle), des paramètres caractéristiques de l'onde aérienne et du récepteur (individu ou structure) ont été définis de manière à quantifier leur impact.

1. CARACTÉRISATION DE L'ONDE AÉRIENNE

L'onde aérienne est totalement caractérisée par l'évolution de la pression dans le temps.

L'unité internationale de la pression est le Pascal (Pa) pression exercée par une force de 1 Newton (= 0.1 kgf) sur une surface de 1 mètre carré. On utilise également le millibar (= 10² Pa) pour mesurer la pression.

Compte tenu du domaine étendu de variation de la pression, l'unité souvent utilisée en remplacement du Pascal ou du bar est le décibel (dB):

$$P_{dB} = 20 \cdot \log \left[\frac{P}{P_0} \right]$$

où P est la pression aérienne exprimée en Pascal ou en millibar, P₀ est la pression de référence exprimée dans la même unité que P, log est le logarithme décimal.

La pression de référence P₀ est de 20 µPa (≈ 2.10⁻⁷ milli-

bars). Cette valeur très faible correspond au seuil de pression audible d'un son pur de fréquence 1000 Hz, c'est à dire d'une onde de pression sinusoïdale en fonction du temps d'une fréquence de 1000 Hz.

1.1. Effet sur les structures

Pour caractériser les effets de la pression aérienne vis à vis des structures, on définit deux paramètres :

- La pression maximale en crête P_{max} (en Pa ou en dB)
- L'impulsion I

$$I = 20 \cdot \log \int_0^T \frac{P(t)}{P_0} \cdot dt$$

où, P(t) est la pression aérienne en fonction du temps t exprimée en Pascals ou en millibars

P₀ est la pression de référence exprimée dans la même unité que P

log est le logarithme décimal.

T est la durée de l'onde de surpression.

1.2. Effet sur les personnes

Le bruit perturbe l'espace social et l'individu et peut même détériorer sa santé.

Parmi les effets sur l'être humain, on distingue :

les effets comportementaux interférant avec une activité en cours telle que parler, dormir, etc.

Les effets subjectifs représentant le côté indésirable du bruit

Les effets psychologiques se manifestant pendant ou après l'exposition au bruit.

Bien que les tirs n'engendrent pratiquement jamais de dégâts matériels, il n'en reste pas moins que le bruit généré peut constituer une gêne appréciable mais éveille également l'attention des riverains sur les autres nuisances créées. Il importe donc de minimiser les bruits.

Pour caractériser les effets de la pression aérienne vis à vis des personnes, on modifie le signal de pression par un filtrage électronique simulant le filtrage naturel de l'oreille humaine. La sensibilité de l'oreille différant selon le niveau de pression, différents filtres sont utilisés pour représenter la perception humaine, et en particulier les filtres A, B et C pour des niveaux de pression croissants (graphe 1, page suivante).

La pression obtenue après filtre A, correspondant aux conditions normales d'écoute, est appelée pression acoustique pondérée et est notée P_A (t).

On définit différents paramètres caractéristiques et en particulier :

- le niveau de pression acoustique pondéré maximum

2. LIMITES

2.1. Limites vis à vis des structures

Le principal risque vis à vis des structures réside dans les bris des vitrages. Les autres dégâts (écaillage des peintures, fissuration des enduits) interviennent à des niveaux de surpression beaucoup plus élevés.

De nombreuses études réalisées sur les risques de bris de vitrages concordent vers un niveau limite de 134 dBL correspondant à une probabilité inférieure à 10^{-5} pour les vitrages courants (8mm).

Le graphe 2 permet de déterminer le niveau de surpression limite pour un risque statistique de bris de 10^{-5} selon les caractéristiques des vitrages (dimensions et épaisseur) et de l'onde (fréquence). Rappelons à cet égard que les fréquences fondamentales des surpressions aériennes dues aux tirs de mines sont inférieures à 10 Hz et donc en dehors du domaine audible.

2.2. limites vis à vis des personnes

Le paragraphe 22.1. Bruits de l'arrêté du 22 septembre 1994 définit les limites autorisées **en dehors des tirs de mines** conformément à l'arrêté du 20 août 1985 relatif aux bruits aériens émis dans l'environnement par les installations classées, annexés à ce document.

En fait cette réglementation s'applique mal aux phénomènes impulsionnels en particulier pour ce qui concerne l'émergence (écart entre le niveau de réception du bruit et le niveau initial en dehors du bruit généré par la source étudiée).

Ce dernier point ne peut être appliqué qu'avant correction pour bruit impulsionnel ou bruit pur (correction C1 et C2 de la réglementation).

Dans la circulaire du 2 juillet 1996 relative à l'application de l'arrêté du 22 septembre 1994 il est stipulé qu'afin d'éviter la gêne due aux tirs de mines, il peut être nécessaire, dans certains cas, d'imposer une limite. En l'état actuel des connaissances, il apparaît que le niveau de pression acoustique de crête peut être limité à 125 décibels linéaires(dBL).

3. MÉTHODE POUR RÉDUIRE LE BRUIT ET LA SURPRESSION AÉRIENNE

3.1. Propagation des ondes aériennes

Les ondes aériennes présentent une variabilité importante. Les facteurs de cette variabilité sont comme pour les vibrations :

- La charge unitaire par intervalle de temps.
- La nature de la roche et les caractéristiques structurales du massif à abattre.
- La technique de tir employée et en particulier l'amorçage.
- Le confinement des charges (le bruit est d'autant plus fort que le confinement est faible).
- La distance entre la source et le récepteur.

La relation type généralement employée pour prédire le niveau crête maximal de la surpression aérienne est :

$$P = K \cdot \left[\frac{D}{Q^{1/3}} \right]^{-1.2}$$

$$L_{PA \max} = 20 \cdot \log \left[\frac{P_{A \max}}{P_0} \right]$$

où,
 $P_{A \max}$ est le maximum de la pression aérienne pondérée exprimé en Pascals ou en millibars

P_0 est la pression de référence exprimée dans la même unité que P.

log est le logarithme décimal.

■ Le niveau de pression acoustique équivalent sur l'intervalle de temps compris entre les dates t_1 et t_2 , $L_{Aeq}(t_1, t_2)$

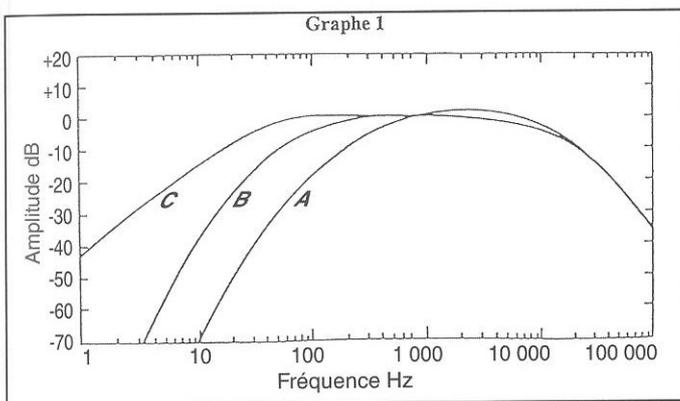
$$L_{Aeq}(t_1, t_2) = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right]$$

où,
 $P_A(t)$ est la pression acoustique pondérée en fonction du temps t exprimée en Pascals ou en millibars.

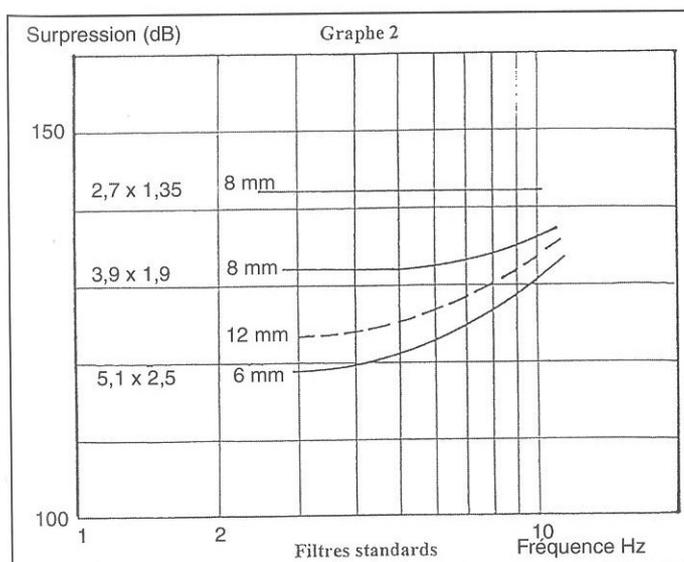
P_0 est la pression de référence exprimée dans la même unité que P.

log est le logarithme décimal.

Cette dernière valeur correspond au niveau efficace de la pression acoustique pondérée, sur l'intervalle de temps (t_1, t_2).



Graph 1. Filtres A, B et C.



Graph 2. Niveau de surpression des bris de vitrages (suivant la taille et l'épaisseur) avec une probabilité de 1/100 000.

où P est le maximum de la surpression aérienne exprimée en pascals.

D est la distance entre le point de mesure et le tir, exprimée en mètres.

Q est la charge unitaire exprimée en kg.

K est une constante dépendant du site et de la source.

Les caractéristiques de l'air, le milieu de propagation, sont également des paramètres supplémentaires qui font évoluer de façon importante les caractéristiques de la surpression aérienne.

Les trois éléments atmosphériques prépondérants sont :

- la vitesse du vent,
- la direction du vent,
- la température de l'air et sa variation avec l'altitude (inversion thermique).

Ces facteurs modifient la propagation de la surpression en entraînant des directions privilégiées (dans la direction du vent) et des phénomènes de focalisation dus aux réflexions des ondes sur les hautes couches de l'atmosphère (cf. Graphes 3 et 4).

Compte tenu de ces fluctuations difficilement contrôlables et induisant des variations de la surpression jusqu'à 14 dBL autour de la valeur moyenne enregistrée en un point, les limites autorisées devraient être définies avec une probabilité de 95 % de ne pas être dépassées.

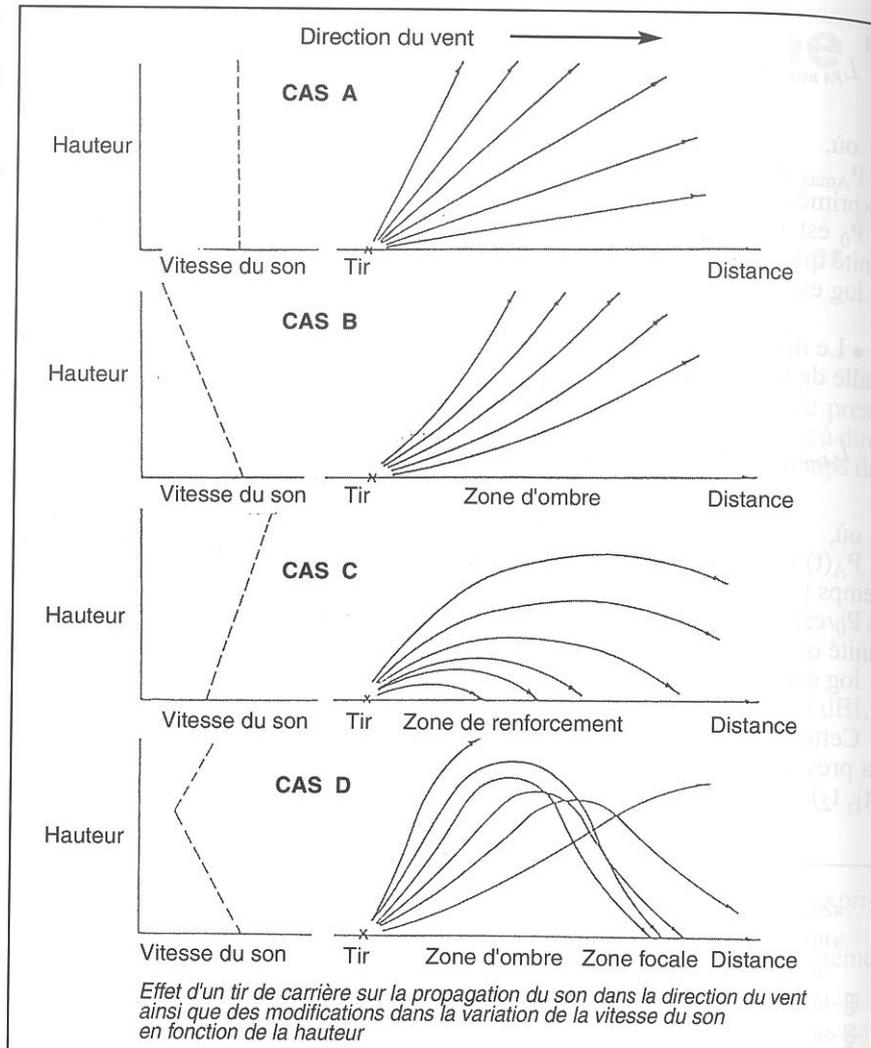
3.2. Méthodes pour réduire le bruit

Pour réduire les effets de la surpression aérienne générée par les tirs, on ne peut intervenir que sur la source :

- Diminuer la charge unitaire en :
 - Diminuant le nombre de charges par retard
 - Diminuant le diamètre de foration
 - Etageant les charges dans les trous.
- Améliorer le confinement de l'explosif en :
 - Supprimant les charges non confinées (cordeau détonant en surface),
 - Soignant le bourrage final (hauteur suffisante, qualité des matériaux utilisés),
 - Respectant une banquette régulière par une foration soignée,
 - Évitant la présence d'explosif dans les zones débouchant directement sur l'extérieur (faille ouverte ou remplie de matériaux tendres).
- Adapter l'amorçage en évitant les retards trop brefs sur une rangée ($X > 4.E$ où X est le retard entre charges d'une même rangée et E la distance entre deux trous contigus) de manière à éviter les superpositions.
- Orienter correctement le sens de dégagement par rapport aux zones les plus sensibles.

En dehors de ces modifications sur le plan de tir, il faut éviter, dans un environnement très sensible, d'effectuer les tirs lorsque les conditions météorologiques ne sont pas favorables :

- Vent fort dans la direction des zones sensibles,
- Inversion de température entre deux couches d'air en altitude (par temps d'orage ou le soir en période très chaude de l'été).



Graphes 3.

Commentaires sur les graphes 3

Ces graphes montrent l'évolution de la propagation des ondes aériennes selon les variations de pression et température de l'air avec l'altitude, caractérisées par l'évolution de la vitesse de propagation du son.

CAS A

La vitesse de propagation est constante avec l'altitude. La propagation est homogène dans toutes les directions.

CAS B

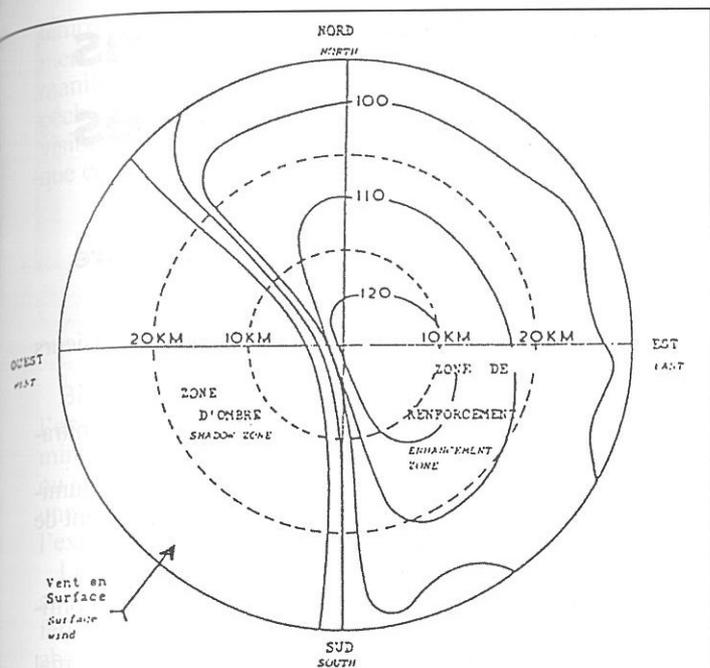
La vitesse de propagation diminue avec l'altitude, c'est le cas d'une diminution de la température avec l'altitude. La propagation dans le sens vertical est privilégiée. La perception est plus faible au sol à la même distance du tir que dans le cas A.

CAS C

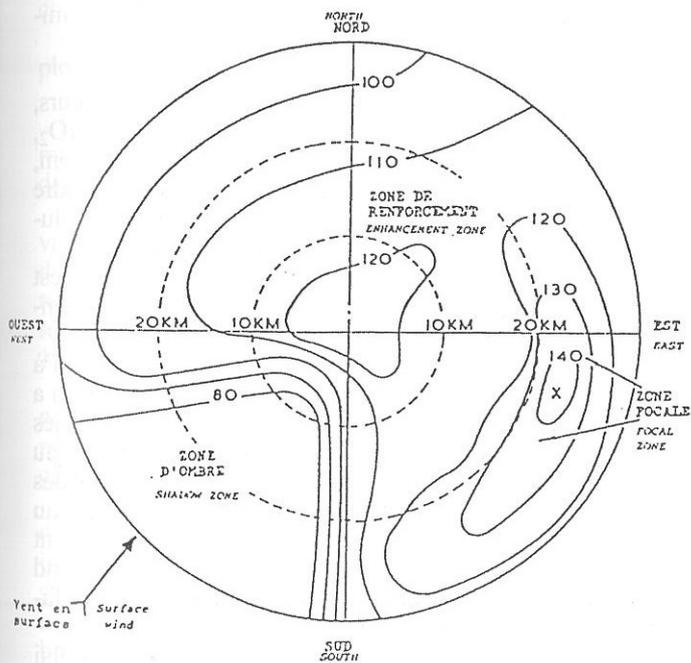
La vitesse de propagation augmente avec l'altitude, c'est le cas d'une augmentation de la température avec l'altitude. Les ondes reviennent vers le sol. La perception est plus forte au sol à la même distance du tir que dans le cas A.

CAS D

C'est le cas d'une inversion thermique classique de conditions orageuses. Les ondes convergent en un point qui peut être éloigné de plusieurs km de la source après réflexions sur les hautes couches de l'atmosphère. La perception est beaucoup plus forte au sol au point de convergence que dans le cas A. On peut parler de mirage sonore par analogie avec le mirage optique bien connu.



Prévision caractéristique du niveau sonore



Prévision du niveau sonore montrant la zone focale

Graphes 4.

Prévision des niveaux sonores (Graphes 4)

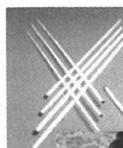
Les deux schémas montrent la répartition au sol des courbes de même perception des ondes aériennes en fonction des conditions de vent et de l'évolution de la vitesse du son avec l'altitude.

Le premier schéma représente un cas C (éventuellement A) avec un vent du sud-ouest. Une zone d'ombre, ou de moindre perception, apparaît sous le vent, au sud-ouest alors qu'un renforcement apparaît dans la direction opposée.

Le deuxième schéma montre la superposition de l'effet du vent et d'une inversion thermique avec en particulier une zone de focalisation (cas D).



ACCESSOIRES DE TIR POUR MINES ET CARRIÈRES Celtiplast



Bourroirs



Turbotub

Le tubage des trous



Sonde métrique

Tuyaux pour
Chargement nitrate fuel



Avertisseur de tir



Bourres à gel



Spécialiste depuis 15 ans des accessoires de tir

CELIPLAST conçoit, réalise et commercialise toute une gamme de produits techniques, accessoires indispensables à la mise en œuvre des explosifs. Pour vos besoins, vos attentes, l'expérience terrain du service commercial est à votre disposition.

Au 03 80 47 20 20

Tube de pré-chargement



Bourroirs à corde



Gaz bag, ballons



Plugs



Obturateurs à ailettes



Gaines de chargement



CELIPLAST France
BP 8 - 21270 Pontallier-sur-Saône
Tél : 03 80 47 20 20 - Fax : 03 80 47 20 29
E-mail : celtiplast@wanadoo.fr
web : celtiplast.com

7.3. Poussières, projections et autres nuisances

Yvan Sifre

1. POLLUTION DE L'EAU

La réglementation générale régissant les problèmes de prélèvements et de rejets des eaux relève de la loi sur l'eau n° 92-3 du 3 janvier 1992 et de la loi de 1964 instituant les agences de l'eau et les redevances à percevoir. Pour les carrières et leurs installations de traitement, la prévention des pollutions par les rejets d'eaux usées est régie par l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994.

Une étude récemment menée par l'INERIS a montré que des tirs d'explosif réalisés dans un tunnel en cours de creusement à proximité d'une source d'eau minérale n'étaient pas susceptibles de polluer la nappe phréatique.

2. DÉGAGEMENT DE FUMÉES ET D'ODEURS

Les sources principales de pollution atmosphérique par les carrières à ciel ouvert sont essentiellement liées aux opérations de foration, de marinage, de roulage et de concassage, mais aussi aux tirs de mines, dont on estime qu'ils contiennent à 30 à 40 % du total (Lazarov, 1975).

La détonation des explosifs industriels produit quelques centaines de litres de gaz par kilogramme d'explosif. Un tir d'explosif courant (500 kg à 10 t) dans une carrière à ciel ouvert française produit donc au total quelques centaines à quelques milliers de mètres cubes de gaz.

Certains de ces gaz sont toxiques, comme le monoxyde de carbone CO (2 à 15 % de la production totale d'un tir) ou les vapeurs nitreuses, monoxyde et dioxyde d'azote, NO et NO₂, notés NO_x en raison de l'oxydation de NO en NO₂ au cours du temps (moins de 5 % de la production totale). D'autres sont nettement moins dangereux de manière immédiate, mais contribuent à l'effet de serre, comme le dioxyde de carbone CO₂ (25 à 45 % de la production totale).

Ces évaluations proviennent de résultats de l'épreuve d'"analyse des fumées de tir en chambre" du Laboratoire des Substances Explosives de l'INERIS. A titre d'exemple, on a mesuré dans cette épreuve que le nitrate-fioul produisait de 350 à 650 l/kg de gaz secs, dont 30 à 60 l/kg de CO et de 8 à 11 l/kg de NO_x. Toutefois, ces résultats sont probablement pessimistes, car des mesures effectuées en vraie grandeur en galerie par l'US Bureau of Mines donnent des valeurs dix fois plus faibles.

En fait, les formules chimiques des explosifs industriels ayant une balance d'oxygène équilibrée (voir § 3.1.2 tome I : Propriétés physico-chimiques des explosifs), la production de gaz tels que CO, NO et NO₂ est essentiellement due au fait que la décomposition par détonation des explosifs dans les conditions d'un chantier n'est pas idéale (hétérogénéité de l'explosif, faible diamètre des charges, faible confinement, ...).

La composition des fumées de tir dépend de plusieurs facteurs :

- nature de l'explosif ;
- utilisation de produits sensibles à l'eau, comme le nitrate-fioul, dans des trous humides ;
- mauvaises conditions de stockage (en atmosphère humide, à trop basse ou trop haute température, dépassement de la date de péremption, ...) ;
- mais aussi, à moindre titre :
- des conditions de mise à feu, notamment sous un confinement insuffisant ;
- du réglage du plan de tir : un explosif qui travaille mal produit des fumées plus chargées en gaz toxiques ;
- du diamètre des charges : on sait qu'une augmentation de celui-ci améliore le régime de détonation et, donc, diminue les concentrations de gaz toxiques ;
- de la qualité du bourrage.

Du point de vue de l'hygiène et la santé des travailleurs, le monoxyde de carbone, CO, et le dioxyde d'azote, NO₂, sont considérés comme toxiques aux seuils de 50 et 5 ppm, respectivement, pour huit heures d'exposition dans le cadre d'un travail modéré (doublant approximativement le volume d'air inspiré par rapport à la respiration au repos).

La pollution de l'atmosphère par les fumées de tir n'est pas prise en compte dans la réglementation concernant l'environnement.

Lors de tirs de quantités importantes d'explosif (jusqu'à une centaine de tonnes), on a fait état de mesures où l'on a observé que des gaz toxiques pouvaient rester emprisonnés sous la masse abattue 24 heures après le tir et se dégager au fur et à mesure du chargement. Ces gaz auraient des concentrations toxiques jusqu'à quelques décimètres au dessus du tas (Lazarov, 1975). De telles conditions peuvent poser des problèmes d'aération en cas d'exploitation en fond de fosse profonde si des conditions météorologiques défavorables empêchent la dilution naturelle des gaz de tir.

On peut donc recommander d'observer un certain délai avant le début d'opérations telles que relevés topographiques à front, traitement des ratés, pour permettre aux gaz toxiques de s'évacuer dans l'atmosphère, le boutefeul même étant soumis à un délai d'attente réglementaire avant retour au chantier (titre "Explosifs" du RGIE, article 24).

Les moyens de prévention contre l'émission de gaz toxiques sont limités. Tout au plus peut-on envisager des mesures de protection comme l'arrosage par jets pneumohydrauliques. L'efficacité de telles méthodes paraît néanmoins relativement limitée.

Dans l'environnement immédiat des carrières ou des mines à ciel ouvert, les fumées de tir ne constituent pas des sources habituelles de danger pour les riverains. Elles sont en effet très rapidement diluées dans l'atmosphère en dessous des teneurs toxiques par les mouvements naturels de l'air et il est extrêmement rare que des concentrations significatives de gaz dépassent le périmètre du chantier.

En outre, le caractère ponctuel de ces émissions dans le

temps et dans l'espace, n'en font pas des nuisances normalement préoccupantes pour l'environnement, même si elles se manifestent parfois par des odeurs désagréables. Il n'empêche que, psychologiquement, ces nuisances localisées mais visibles sont parfois plus mal ressenties par les populations que celles induites par des rejets industriels continus.

3. ÉMISSION DE POUSSIÈRES FUGITIVES

Bien plus que les fumées de tir, la pollution majeure de l'atmosphère imputable aux installations de carrières et de mines à ciel ouvert résulte de l'émission des poussières plus ou moins fugitives. Celles-ci peuvent s'étendre et recouvrir une vaste étendue, dépassant très largement le périmètre de l'exploitation.

Les sources d'émissions de poussières sont nombreuses au sein des installations de carrière. Elles sont liées aux différentes opérations de la chaîne d'exploitation : foration, abattage mécanique ou à l'explosif, marinage, concassage, traitement, stockage, transport, ...

Le problème des risques de pollution par les poussières comporte deux aspects :

- l'hygiène et la santé des personnes travaillant dans l'exploitation ;
- les risques de nuisances dans l'environnement.

La réglementation applicable aux mines et carrières en matière de lutte contre les émissions de poussières relève de deux régimes juridiques différents :

- d'une part, le RGIE, qui vise la protection des travailleurs dans les mines et carrières, en application du code du travail. Pour ce qui concerne cet aspect, le lecteur pourra trouver de plus amples informations dans les recherches récentes menées par l'INERIS (Blanchard, 1996 et Nonat, 1995) ;

- d'autre part, la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement, qui vise à assurer la protection des tiers, du voisinage et de l'environnement en général.

La législation sur les installations classées en matière d'environnement résulte de l'application de la loi du 19 juillet 1976, qui vise les installations susceptibles de présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour la protection de la nature et de l'environnement.

En application de la loi, et indépendamment des prescriptions spécifiques fixées par l'arrêté préfectoral d'autorisation, l'arrêté du 22 septembre 1994 et sa circulaire d'application du 2 juillet 1996 (article 19) fixe notamment les prescriptions relatives à la lutte contre les émissions de poussières : les rejets captés sont canalisés et dépoussiérés. La concentration du rejet doit être inférieure à 30 mg/Nm³ dans les conditions normales : température de 273° K et pression atmosphérique de 101,3 kPa, après déduction de la vapeur d'eau et des gaz secs.

Dans le cas des opérations d'abattage dans les carrières et mines à ciel ouvert, les principales sources de poussières sont dues :

- aux travaux de foration, la plupart des foreuses étant équipées de dispositifs de récupération des poussières ;
- aux matériaux de bourrage des trous de mine, qui sont souvent, justement, des poussières de foration ;

- aux produits de désagrégation de la roche, en particulier ceux issus de la zone de broyage en phase dynamique de la détonation.

Les produits de désagrégation de la roche sont en fait constitués, non pas de poussières, mais de menus fragments de roche, résultant de l'action de l'onde de choc ; ils peuvent constituer une source de projections mais non pas de poussières au sens strict.

La seule source d'émission de poussières est donc constituée par les matériaux de bourrage de trous de tir, projetés en hauteur lors de l'éclatement de la tête de gradin, et dont par ailleurs une fraction importante retombe "en pluie" au voisinage immédiat du tir. L'analyse d'enregistrements vidéo confirme ce mécanisme d'émission de poussières et de fragments.

Le volume de poussières ainsi émises lors du tir demeure relativement modeste : un calcul indicatif, appuyé sur des hypothèses moyennes, établit que lors du tir, il y a émission d'environ 1 kg de matériaux de bourrage par mètre carré de surface horizontale de gradin (diamètre de foration : 110 mm ; surface de maille : 15 m² ; hauteur de bourrage 2 m).

De plus, compte tenu de la retombée "en pluie" d'une fraction importante de ces matériaux éjectés, on peut évaluer à quelques centaines de grammes par mètre carré de surface horizontale de gradin, la masse de poussières susceptibles de s'échapper dans l'environnement. Compte tenu de l'importance et de la fréquence des tirs, de telles quantités apparaissent sans impact notable sur l'environnement.

L'impact des poussières sur l'environnement peut se manifester de différentes manières :

- problèmes de santé des riverains, qui peuvent se traduire par des troubles respiratoires ou de l'asthme chez les populations les plus vulnérables ;
- troubles de jouissance, dont un des aspects les plus préoccupants pour les propriétaires réside dans la crainte de la dévaluation de leurs biens ;
- incidences sur les terres agricoles et leurs produits ;
- impacts sur la faune et la flore locale.

La nature des poussières, leur granulométrie, leur morphoscopie, ainsi que leur processus de mise en suspension ou d'envol sont liés à différents facteurs comme :

- le déplacement des masses d'air, leur vitesse et, d'une façon plus générale, la climatologie ;
- la configuration géographique ou topographique des installations, située sur les hauteurs ou en fond de carrière ;
- le mode de stockage des produits traités.

Les effets produits par l'action des vents sont les plus importants. Suivant les modes, les formes et les orientations des fronts de tirs par rapport aux vents dominants, les vents sont les facteurs qui, à partir d'un site donné, déterminent l'importance et l'étendue de la zone soumise à l'empoussièrisme dans l'environnement.

Si on considère la mise en suspension de particules minérales depuis une hauteur de 15 mètres, on constate que, suivant leur vitesse de sédimentation propre, une poussière de 100 microns touchera le sol à 150 mètres de son point d'envol par un vent de 10 kilomètres/heure et à 400 mètres par un vent de 30 kilomètres/heure. A titre indicatif, dans les mêmes conditions, une poussière de 5 microns peut parcourir de 40 à 125 kilomètres. Ces données sont théoriques : pour les zones proches du sol, les vents ne sont jamais parfaitement laminaires à cause des obstacles : arbres, constructions, relief, ...

En dehors des méthodes générales d'abattage des poussières, de dépoussiérage, de captage et de filtration, les mesures préventives visant à minimiser l'émission et la

propagation des poussières de tirs sont multiples. Elles consistent essentiellement à :

- éliminer ou à réduire les poussières de foration qui reposent sur la surface du gradin de tir, par exemple par arrosage du sol ;
- améliorer la qualité du bourrage, en utilisant, par exemple des matériaux concassés qui présentent d'autres avantages par ailleurs ;
- abattre les poussières dès que possible après le tir au moyen d'installations d'arrosage aérodynamiques, sur camion, par exemple.

Au titre de la surveillance des pollutions dans l'environnement, des dispositions de contrôle sont prévues par la réglementation, à partir d'un réseau approprié de mesure des retombées de poussières dont les modalités sont fixées par l'arrêté d'autorisation.

Une étude est actuellement menée à l'INERIS sur l'amélioration de l'intégration des carrières dans leur environnement, dont l'objectif est précisément de définir une stratégie de mesure de l'empoussiérement et d'optimiser les modalités du contrôle.

4. PROJECTIONS

Tous les tirs à l'explosif provoquent des projections de fragments de roche à plus ou moins grande distance du front. La propulsion contrôlée de la roche fracturée, à une distance et dans une direction données, est dans la plupart des cas l'un des objectifs du tir, l'étalement optimal du tas de matériaux abattus dépendant notamment du type d'équipement de marinage dont dispose l'exploitation.

Les projections sont constituées par des éclats ou des blocs projetés par l'action des gaz de tir après l'explosion à des vitesses initiales supérieures à 50 mètres par seconde. Elles se font le plus souvent dans la direction de travail de l'explosif, donc en avant du front de dégagement.

Dans le cas d'un mauvais fonctionnement de l'abattage par l'explosif, des blocs importants peuvent être projetés à des distances considérables. Ainsi a-t-on signalé des dégâts provoqués à des constructions et des blessures subies par des personnes à plus de 500 m du lieu de tir.

A titre indicatif, l'US Bureau of Mines considère les projections comme responsables d'environ un quart des accidents survenus entre 1978 et 1981 dans les mines à ciel ouvert des Etats-Unis et, à ce titre, comme la seconde cause d'accidents de tir dans ce type de chantiers. Les risques provenant des projections sont probablement aggravés par l'existence aux Etats-Unis de pratiques de tir particulières comme le "casting", qui consiste justement à projeter le plus loin possible les matériaux fracturés par le tir, pratiques dont il ne fait guère de doute qu'elles s'accompagnent d'un surcroît de projections indésirables.

En France, comme il est difficile de disposer d'informations assez complètes concernant le nombre d'accidents et d'incidents dus aux projections, aucune statistique équivalente n'a été établie à ce jour.

4.1. Origine du phénomène

Des projections excessives peuvent être observées dès lors que les fumées de tir de l'explosif disposent d'un échappatoire préférentiel : faille, couche de terrains de moindre résistance, ouverture créée par une charge trop importante en regard du travail que l'on attend d'elle ou située trop près de sa surface de dégagement.

Leur occurrence est le plus souvent la conséquence de défaillances techniques dans les conditions d'exploitation, comme l'orientation des fronts d'abattage, la qualité de la foration, le chargement des trous de mines, l'organisation de la séquence d'amorçage et, de manière générale, la conception du plan de tir ; elles résultent alors de paramètres contrôlables. Elle peut également résulter de paramètres incontrôlables ou plus difficilement contrôlables, comme la structure géologique du massif qui nécessitent l'application de mesures particulières de prévention.

Quelques règles de bon sens sont décrites dans le cas de l'abattage par mines verticales, qui est considéré comme la pratique la plus fréquente dans les chantiers à ciel ouvert.

4.2. Adaptation des paramètres d'exploitation

4.2.1. Orientation des fronts

La direction préférentielle des projections produites par les tirs à l'explosif est tout naturellement la direction perpendiculaire aux fronts et aux surfaces de dégagement. La première règle de bon sens concernant les risques de projections dues aux tirs à l'explosif dans les chantiers à ciel ouvert consiste donc, lorsque cela est possible, à orienter les fronts d'exploitation pour minimiser les risques de projections dans les directions qui doivent être protégées, par exemple dans la direction de zones urbanisées.

S'il n'est pas possible de réorienter les fronts sans modifier complètement la morphologie de l'exploitation, on peut agir par l'intermédiaire de la séquence d'amorçage sur l'orientation des fronts "instantanés", c'est-à-dire les surfaces libres dont l'existence se limite à l'intervalle de temps entre deux départs de trous successifs.

4.2.2 Foration

Positionnement de la foration

Lorsque le front d'abattage présente localement une forme irrégulière, il peut arriver que l'épaisseur de la tranche à abattre, si elle est mesurée par rapport à l'angle vif visible du gradin, ne corresponde pas à l'épaisseur de la banquette telle que définie par le plan de tir.

Lorsque les tirs ont eu des "effets arrières", ou bien lorsque le front s'est détérioré dans sa partie supérieure en raison d'une instabilité locale, le sommet de celui-ci peut présenter une forme de chanfrein. Si les mines de la rangée suivante sont positionnées par rapport à l'angle supérieur du chanfrein, la charge peut s'avérer insuffisante pour l'épaisseur de la tranche à abattre. Les trous peuvent alors "faire canon", c'est-à-dire travailler en cratère en expulsant verticalement leur bourrage avec des fragments rocheux arrachés à proximité de la surface libre (figure 1).

A l'inverse, une concavité située sous un surplomb peut

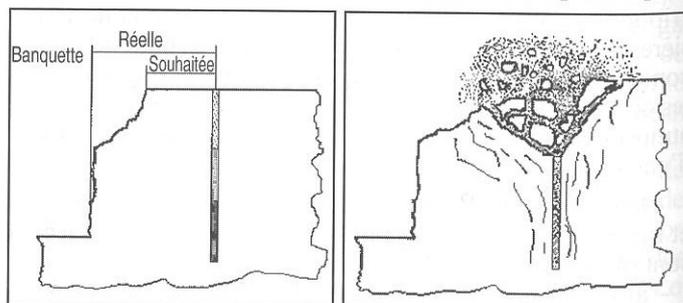
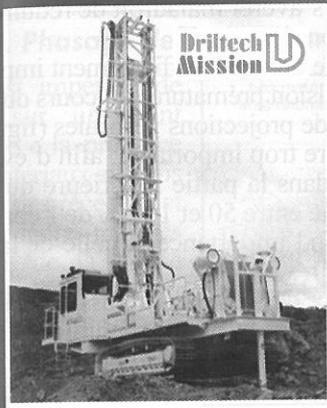
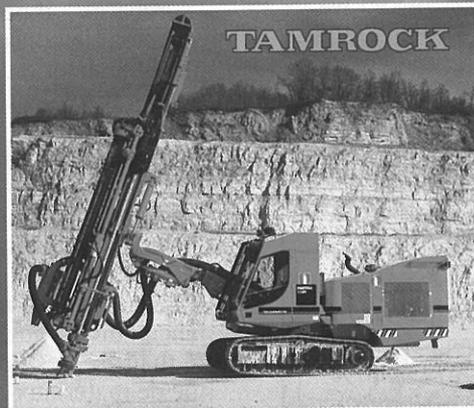


Figure 1. Risques de projections verticales dues à un mauvais positionnement des trous de mine en cas d'effets arrières du tir précédent.

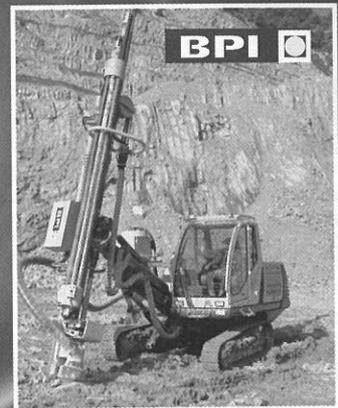
Sandvik Tamrock des marques de références



- Foreuses fond de trou
- Foreuses Rotary
- Machines de forage de puits
- Marteaux et taillants fond de trou
- Tubage à l'avancement



- Foreuses hors du trou



- Foreuses fond de trou
- Foreuses Rotary

TAMROCK

SANDVIK TAMROCK FRANCE S.A.S.
19, avenue De Lattre de Tassigny - ZI - BP 46
69881 Meyzieu Cedex France
Tél : 04 72 45 22 17 - Fax : 04 72 45 22 18 - www.sandvik.com

SANDVIK

être à l'origine de projections horizontales importantes, car la charge, mise en place dans des trous positionnés par rapport au bord du gradin, devient alors trop importante pour l'épaisseur réelle de la tranche à abattre au pied du front (figure 2).

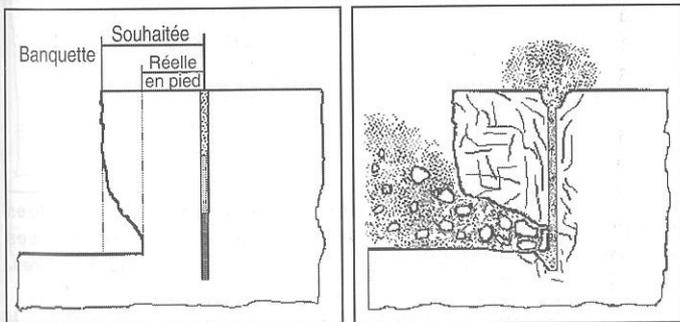


Figure 2. Risques de projections horizontales dues à un mauvais positionnement des trous de mine en cas de surplomb dans le front.

Ces risques d'erreur dans le positionnement des trous sont d'autant plus grands que la hauteur de front est importante. Il convient de positionner les trous de sorte que la banquette minimale réelle soit égale à la banquette définie par le plan de tir. Lorsque la surface du front est irrégulière, on peut, à défaut de relevés topographiques précis, repérer avant chaque tir la position de la dernière rangée, par exemple au moyen de piquets ou de marques de peinture effectuées à même le sol, et positionner les trous de la rangée suivante en fonction de ces repères.

Encore faut-il s'assurer après le tir de l'état du front, car des effondrements localisés peuvent engendrer de nouvelles irrégularités dans la surface. Si la surface du front présente trop fréquemment ce genre de défaut, il convient de toute

façon de réajuster les plans de tir, et éventuellement (notamment pour la réalisation de gradins de la fosse finale) de mettre en oeuvre des techniques de tir périphérique : prédécoupage, post-découpage, tirs à effets ménagés.

La présence trop fréquente de chanfreins traduit une charge insuffisante par rapport à l'épaisseur de la tranche à abattre, une hauteur de bourrage trop faible, ou bien des déviations des trous vers l'arrière du front. Si le front est souvent en surplomb, c'est que la charge de pied est positionnée trop haut, que la hauteur de bourrage est trop importante, ou bien que les trous sont déviés vers l'avant du front.

Orientation de la foration

Que l'on veuille ou non effectuer une foration verticale, il arrive que la direction réelle des trous ne corresponde pas à celle que l'on recherche. En pied de front, l'épaisseur réelle de la tranche peut dans ce cas devenir très différente de la banquette escomptée, les écarts pouvant en pratique atteindre 15 à 20 % de l'épaisseur de la tranche, vers l'avant ou l'arrière du front.

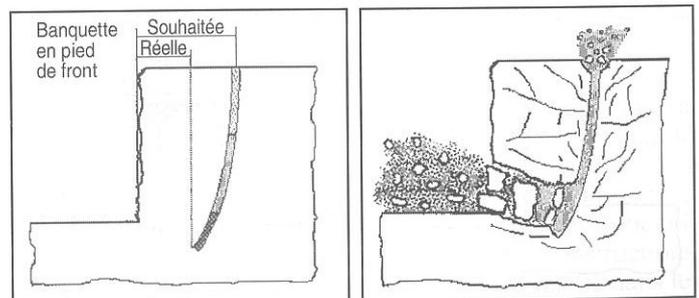


Figure 3. Risques de projections horizontales en cas de déviation de la foration vers l'avant du front.

Lorsque les trous sont déviés vers l'avant du front, l'épaisseur réelle de la tranche en pied est insuffisante et il peut se produire des projections horizontales (figure 3, page précédente).

L'INERIS a rencontré au moins deux cas de trous de mine ayant débouché à l'air libre en pied de front et que des entreprises de minage avaient "dissimulés" sous un tas de matériaux déposé à l'aide d'une chargeuse. Dans ce cas, des matériaux ont été projetés vers l'avant au cours du tir (sur un lotissement et sur une voie de chemin de fer).

Lorsque les trous sont déviés vers l'arrière, la charge, insuffisante pour l'épaisseur de la tranche, peut "faire canon" et provoquer des projections verticales (figure 4).

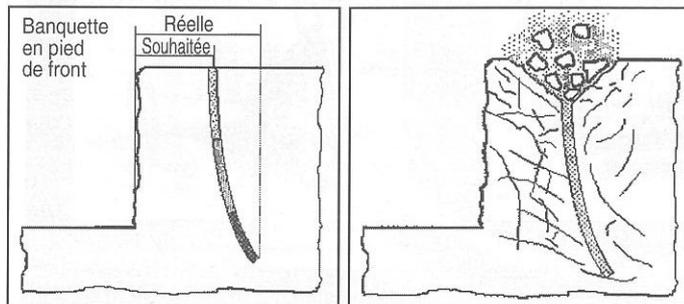


Figure 4. Risques de projections verticales en cas de déviation de la foration vers l'arrière du front.

Il faut noter que les phénomènes de déviation de la foration affectent de la même manière la longueur de l'espace entre trous d'une même rangée, les conséquences du point de vue des projections étant peut-être plus limitées dans ce cas.

Les déviations de la foration dépendent de nombreux paramètres :

- la mauvaise orientation des tiges à l'amorce du trou, ce qui est plus fréquent si les trous doivent être inclinés ;
- la structure géologique des terrains : l'outil de foration peut être dévié par des fractures ou par des joints de stratification recoupant l'axe du trou ;
- la hauteur du front : les risques de déviation sont d'autant plus importants que la profondeur des trous est importante ;
- le type de foreuse utilisé, le diamètre des tiges et l'adaptation du taillant à la roche. Lorsque les problèmes de déviation sont importants, on a intérêt à augmenter le diamètre des tiges, donc parfois le diamètre de foration, et préférer une technique de foration à rotocoupeuse avec marteau en fond de trou, ou bien rotative avec un outil à lames.

4.2.3. Chargement des trous

La nature et les performances des explosifs utilisés, l'importance et la répartition des charges doivent être adaptées aux objectifs du tir.

On comprend qu'un tir "surchargé", c'est-à-dire dans lequel la consommation d'explosif est excessive par rap-

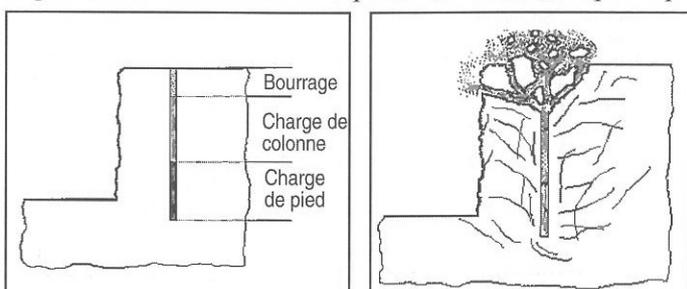


Figure 5. Risques de projections verticales en cas d'insuffisance de la hauteur de bourrage.

port à la quantité de roche à abattre, puisse être la source de projections indésirables. Cependant, paradoxalement, un tir insuffisamment chargé est tout aussi dangereux. En effet, les trous de mine ne contenant pas assez d'explosif pour fissurer, disloquer puis propulser la roche, peuvent "faire canon" en provoquant des projections verticales. Si l'on estime qu'un tir produit trop de projections du fait de "surcharger", il peut donc s'avérer maladroit de réduire abusivement la consommation d'explosif.

La longueur du bourrage doit être suffisamment importante pour en éviter une expulsion prématurée au cours du tir, ce qui comporte des risques de projections verticales (figure 5).

Mais elle ne doit pas être trop importante, afin d'éviter la formation de gros blocs dans la partie supérieure du front. La valeur optimale se situe entre 50 et 100 % de l'épaisseur de la tranche abattue, selon l'importance de celle-ci, la nature et la structure du massif.

La nature des matériaux de bourrage a aussi son importance : divers auteurs ont montré l'intérêt pour une meilleure maîtrise des projections verticales d'un bourrage constitué de matériaux concassés et calibrés, par exemple, dans une coupe 10-20 mm.

Enfin, si le plan de tir est bien adapté au massif, sa mise en œuvre précise revêt un caractère impératif : la répartition de la charge dans chaque trou doit faire l'objet d'un contrôle scrupuleux, par exemple au moyen d'un bourroir à corde.

4.2.4. Type et orientation de la séquence d'amorçage

Lorsque l'amorçage de la volée est effectué au moyen de détonateurs à retard ou à court-retard, il importe que ceux-ci soient répartis dans les trous conformément au plan de tir. En cas d'inversion de détonateurs de numéros différents, le départ d'un trou se produit alors qu'un trou voisin, normalement d'ordre antérieur dans la volée, n'est pas encore amorcé.

Selon la disposition respective des deux trous, le premier peut dans certains cas se trouver avec une double épaisseur de tranche à l'abattre, et, par voie de conséquence, "faire canon".

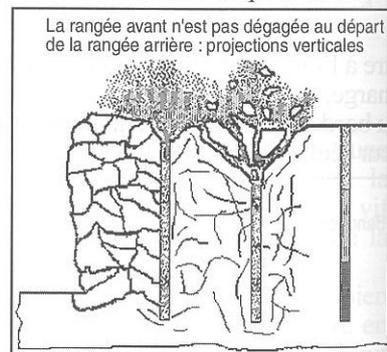


Figure 6. Projections verticales dues à un délai trop court entre rangées successives.

Lorsque le tir comporte plusieurs rangées de trous, il importe de bien étudier la chronométrie d'abattage des rangées les unes par rapport aux autres (figure 6).

En effet, si le délai entre rangées successives est trop court, le dégagement des rangées avant peut être insuffisant au départ des rangées arrière. L'intervalle entre les dates de détonation des charges contiguës de deux rangées successives doit être compris entre 10 et 30 ms par mètre de banquette, selon le comportement du massif. Les trous des rangées arrières sont susceptibles de "faire canon", car ils se trouvent bloqués par les rangées avant.

La nature et la disposition du système d'amorçage peuvent également avoir une importance sur les risques de projection : des études comparatives, réalisées notamment avec des moyens de cinématographie rapide, ont montré dans certains cas l'avantage de l'amorçage des mines verticales descendantes par le fond de trou par rapport à l'amorçage latéral au cordeau détonant.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue le danger présenté par les projections pour le système d'amorçage lui-même. On connaît des cas de ratés de tir par suite du sectionnement des dispositifs de surface : cordeaux "maîtres", tubes conducteurs d'onde de choc en amorçage non électrique, ou lignes électriques, en cas d'utilisation d'un explosif séquentiel.

4.2.5. Phasage de l'extraction

Il est impératif de tirer sur un front dégagé : la présence de matériaux abattus par le tir précédent et non encore marqués risque, de la même façon, de provoquer des projections verticales (figure 7).

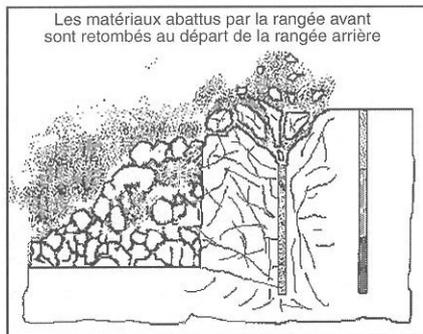


Figure 7. Projections verticales dues au tir sur un front non dégagé.

4.3. Influence de la structure géologique du massif

La structure géologique du massif peut avoir une influence considérable sur les risques de projections.

Les fissures et les joints remplis d'un matériau de moindre résistance constituent des échappatoires privilégiées pour les fumées de détonation à hautes pressions et températures. Ces zones de faiblesse peuvent "débousser" de manière violente, avec projection à grande distance du matériau de remplissage et de fragments rocheux arrachés à la surface (figure 8).

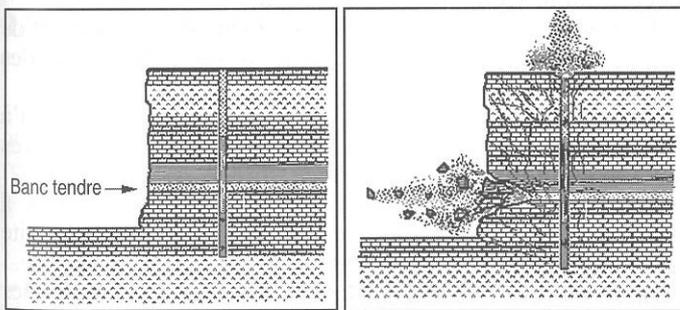


Figure 8. Projections dues à la présence d'un banc de moindre résistance.

Les fissures peuvent former des diaclases prédécoupées. Dans ce cas, l'explosif ne fournit qu'un faible travail de fracturation, l'essentiel de l'énergie étant utilisé par les fumées de tir qui propulsent avec violence les blocs prédécoupés naturellement.

Les cavités souterraines invisibles depuis la surface (karsts, anciens ouvrages souterrains, grosses fissures vides ...) constituent des poches où l'explosif peut s'accumuler de manière excessive, en formant localement de véritables bombes (figure 9).

Contre les aléas de la géologie, les précautions suivantes peuvent être prises :

- il est généralement possible de "sentir", au cours de la foration, si la roche comporte des vides ou des zones de moindre résistance (surveiller la vitesse d'avancement ou la pression sur le train de tiges) ;

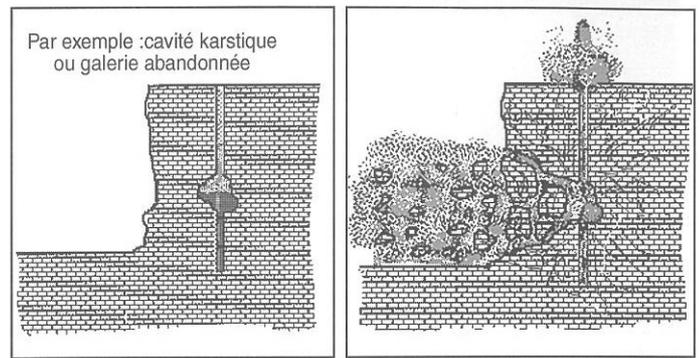


Figure 9. Projections dues à la présence d'une cavité souterraine.

- si l'on peut repérer avec assez de précision la position d'une zone de moindre résistance, la portion correspondante de trou peut être comblée par un bourrage intermédiaire au cours du chargement des explosifs ;

- si une cavité est repérée, il est possible de tuber le trou, par exemple au moyen d'un tube de carton ou de matière plastique, puis de charger les explosifs dans le tubage ;

- en cas d'incertitude, le trou doit être reforé à proximité, avec une surveillance scrupuleuse de la foration.

Dans la plupart des cas, les fissures affleurent à la surface du front ou du gradin. Il convient évidemment de positionner les trous entre les fissures plutôt que directement dedans, quitte à modifier localement la maille de foration de quelques décimètres dans chaque direction.

4.4. Tirs particuliers

4.4.1. Débitage secondaire

Les cas de projections qui viennent d'être envisagés sont ceux qui surviennent au cours de tirs d'abattage effectués dans les conditions normales de production.

Il ne faut pas oublier que les tirs effectués dans des conditions particulières, comme les pétardages, les tirs à l'anglaise ou les tirs de rectification de "rognons" sont une source considérable d'accidents. Ces tirs doivent faire l'objet d'une vigilance spéciale, notamment en ce qui concerne l'importance des charges mises en oeuvre, souvent disproportionnées par rapport au travail que l'on en attend et souvent "improvisées". Le meilleur remède contre les accidents qui surviennent au cours de telles opérations consiste à s'efforcer de limiter le nombre des tirs de ce type ou à utiliser des engins mécaniques.

Les améliorations constantes des techniques de tir, une meilleure adaptation des plans de tir à la nature du massif, des équipements bien dimensionnés aux objectifs de production doivent éliminer ce type de situation.

4.4.2. Tirs à proximité de constructions

Pour réduire le risque de projections de tirs situés à proximité immédiate de constructions, on peut recouvrir la surface libre par une couche de matériau absorbant, par exemple des fagots maintenus en place par du grillage souple et/ou un géotextile. Ce dispositif retient les blocs et permet normalement de limiter les risques de projections. S'il constitue une protection très efficace pour les tirs près des constructions, on peut rarement l'envisager pour les tirs en masse dans les carrières. L'utilisation de cette technique a été pratiquée avec succès en France pour des tirs en site urbain. ■

Annexe n°21

Note Géotechnique

Source : MDN 13



Mimet, le 26 novembre 2012

N/Réf. : 12 110 121126-R1

QUINTOLI SA – Direction Régionale Nord

CARRIERE A CIEL OUVERT DE GNEISS DE QUILLY (44)

**Demande d'autorisation d'ouverture de carrière au
titre des rubriques 2510 et 2515 des ICPE**

Pronostic géotechnique de stabilité
Mission de type G11 – NFP 94500

Rapport



Vue du site vers le NNW

1 - INTRODUCTION

La présente étude intervient en complément d'un dossier établi par le Cabinet GEOPLUSENVIRONNEMENT pour le compte de la Société GUINTOLI SA qui souhaite exploiter une carrière de roches massives située sur la commune de QUILLY (44), lieu dit «Beausoleil ».

Ce dossier concerne une demande réglementaire d'autorisation d'exploiter au titre des ICPE

A la suite d'un premier examen de la demande d'autorisation, les services du Préfet (DREAL) ont souhaité disposer d'un avis géotechnique portant sur les conditions d'exploitation du site.

1.1. Nature de l'étude

La présente étude comporte les opérations suivantes :

- analyse des documents existants, des données géologiques et hydrogéologiques,
- pronostic de la structure rocheuse, des orientations de la fracturation,
- évaluation de la stabilité des futurs fronts,
- production d'un rapport final reprenant tous les éléments de l'étude et comportant toutes prescriptions techniques en regard de la demande de l'Exploitant d'optimiser les conditions de stabilité du site.

A l'occasion de notre intervention sur le site, les documents suivants nous ont été remis :

- rapport Géo + : Tome 2 : Avril 2012 – Réf. : R 1109606 : Mémoire technique,
- rapport Géo + : Tome 3 : Avril 2012 – Réf. : R 1109606 V4 : Etude d'impact.

Ces rapports contiennent de nombreux plans, clichés, analyses, synthèses et en annexe le rapport CPGF-Horizons : étude hydrogéologique –Nov. 2011 – Réf. : 11-105/44.

1.2. Date d'intervention

L'examen des données, le pronostic structural des roches, ont été effectués du 12/11 au 29/11/2012.

1.3. Situation géographique : extrait CPGF-2011 :

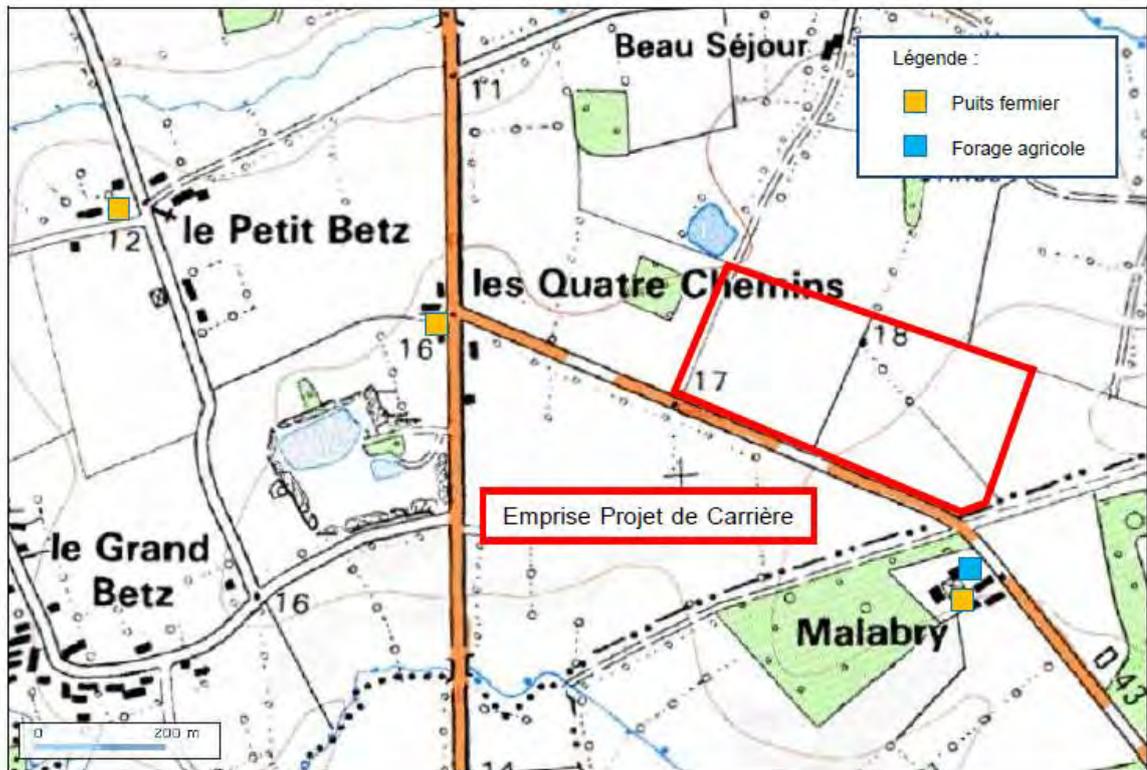


Figure 1 : Extrait agrandi Feuille IGN

Les matériaux extraits serviront aux développements de la région Nantaise et de St Nazaire.

1.4. Description du projet d'exploitation

Cf. rapports GEO+- avril 2012.

En résumé :

Le carreau final se situerait au plus profond vers -30 m de profondeur sous TN.

L'épaisseur de découverte et de sols meubles devrait être comprise entre 1,4 et 12 m.

En dessous vient le gneiss, altéré sur environ 5-6 m, sain en dessous.

Le site n'est pas concerné par des formations sédimentaires (pas de calcaires karstiques).

L'exploitation projetée serait réalisée par 3 gradins successifs : 1 front de découverte, 2 fronts d'extraction, conduits perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'emprise du projet.

Le projet d'aménagement final de la carrière à ciel ouvert prévoit de recouvrir les fronts de stériles et/ou de terre végétale, puis de laisser les eaux venir former un plan d'eau, *in fine* paysagé (reconstitution du bocage).

N.B. : A la faveur des roches les plus massives, il pourrait être envisagé de laisser des tronçons de fronts de hauteur variable, afin de diversifier le remodelage final du site.

2 – ANALYSE PHYSIQUE DU SITE

2.1. Topographie

Cf. rapports GEO+.

Le projet de carrière se situe dans une plaine faiblement pentée vers le Nord Ouest, entre +19 m NGF et +15 m NGF.

Un étang se trouve à l'angle Nord des parcelles examinées, vers la cote +15 m NGF.

Ses berges montrent des ressauts rocheux, décrits comme gneissique par CPGF-2011 :



2.2. Géologie

Pour la description détaillée de la géologie du site, on se reportera à l'étude d'impact (GEO+ Avril 2012 et annexes).

On retiendra que le niveau de la nappe phréatique évolue en sub-surface selon une amplitude pluri-métrique.

Les eaux souterraines du secteur circulent au sein de la frange altérée tandis que le socle gneissique sain ne montre pas de porosité significative.

Le site étudié est donc sous l'influence directe des eaux sub-superficielles, s'écoulant au sein d'une pellicule mince à faible pente extérieure.

Les gradients hydrauliques les plus forts seront donc observés en pied des horizons altérés les plus épais.

3 – CARRIERE A CIEL OUVERT – STABILITE D'ENSEMBLE

3.1. Pronostic géomécanique

La découverte (colluvions + gneiss très altérés), sera considérée comme un sol sableux peu cohésif et saturé.

A ce titre et par précaution, la découverte sera terrassée selon des pentes ne dépassant pas 30 ° et fera l'objet de drainage, soit par une tranchée drainante en périphérie du site, soit par des éperons drainants réalisés à l'avancement et au droit des plus fortes venues d'eau.

Le recul des fronts apparaît aujourd'hui très largement suffisant en regard des mitoyens et ouvrages voisins, mais cette question doit faire l'objet d'une vigilance pour ce qui concerne le CD43 et/ou lorsque les épaisseurs altérées seront fortes.

Le massif gneissique altéré sera considéré comme une roche tendre.

A ce titre et par précaution, les fronts d'extraction de ces roches seront terrassés selon des pentes subverticales et sur des hauteurs pouvant être fortes, mais ils feront l'objet d'une purge poussée à l'avancement et à l'engin, cette dernière devant se focaliser sur les zones plus altérées (risque de renard, de glissement) ou fracturées (risque d'éboulement).

Le massif gneissique sain sera considéré comme une roche dure densément fracturée.

A ce titre et par précaution, les fronts d'extraction de ces roches seront terrassés selon des pentes subverticales et sur des hauteurs pouvant être fortes, mais ils feront l'objet d'une purge poussée à l'avancement et à l'engin, cette dernière devant se focaliser sur les zones plus fracturées (risque d'éboulement).

Afin de vérifier ces aspects, l'altération et les discontinuités du massif seront examinées et mesurées sur le terrain lors des premières excavations.

3.2. Exhaures et plan d'eau final :

A ce stade du dossier, ce point a déjà été traité par CPGF-2011, rapport annexé à l'étude d'impact GEO+-2012, tome 3.

6 - CONCLUSIONS

- ✓ *Le présent rapport, ses annexes et planches forment un ensemble indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite lors d'une communication partielle de celui-ci sans l'accord des Signataires du rapport ne peut engager la responsabilité de ce dernier.*
- ✓ *Des changements dans l'implantation, la conception, l'importance ou le type des travaux par rapport aux données de la présente étude peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du dit rapport, et doivent être signalés .*
- ✓ *Tout élément nouveau ou incident rencontré lors de l'exécution des travaux (éboulement des fouilles, venues d'eau, cavités, matériaux différents de ceux rencontrés et décrits dans ce rapport etc ...) doivent être signalés immédiatement aux Signataires pour permettre de revoir et d'adapter le cas échéant leurs conclusions.*
- ✓ *Les Signataires ne peuvent être tenus pour responsables des modifications apportées à ce rapport sans leur accord écrit.*
- ✓ *Les projets définitifs de construction, réfection, reprise en sous œuvre etc. doivent être portés à la connaissance des Signataires afin de vérifier leur conformité par rapport aux données de cette étude.*

L'analyse du site a conduit à une série de préconisations classiques vis-à-vis de sa sécurisation.

Les questions géotechniques les plus sensibles seront :

- Le travail sous le niveau de la nappe,
- La stabilité du front de découverte au niveau des fortes épaisseurs de sols meubles ou fortement altérés,
- La fracturation réelle du massif : à examiner et mesurer lors des premières excavations,
- Le passage supposé d'une faille régionale au Sud de l'emprise du projet, ce qui pourrait conduire à un accroissement significatif de la fracturation et de l'altération à cet endroit.

La réalisation des fronts sera assujettie à des conditions de pente ou de purge, mais leur hauteur pourra ne pas être limitée aux 15 m habituels.

Il apparait en l'occurrence plus judicieux d'organiser les fronts comme suit :

- 1- Front de découverte,
- 2- Front de gneiss altéré,
- 3- Front de gneiss sain.

Ces aspects seront examinés si nécessaire en cours d'exploitation.

L.DUPARC

Géologue Ingénieur Géotechnicien Polytech'Grenoble

Réalisé par :
GéoPlusEnvironnement

Agence Ouest :
5 rue de la Rôme
49 123 CHAMPTOCE-SUR-LOIRE
Tél : 02 41 34 35 82 - Fax : 02 41 34 37 95

e-mail : geo.plus.environnement3@orange.fr

Siège Social / Agence Sud (**GéoPlusEnvironnement**) :

Le Château
31 290 GARDOUCH
Tél : 05 34 66 43 42 - Fax : 05 61 81 62 80
e-mail : geo.plus.environnement@orange.fr

Agence Sud-Est ("GEO+") :

Quartier Les Sables
26 380 PEYRINS
Tél : 04 75 72 80 00 - Fax : 04 75 72 80 05
e-mail : geoplus@geoplus.fr

Agence Centre et Est (**GéoPlusEnvironnement**) :

2 rue Joseph Leber
45 530 VITRY AUX LOGES
Tél : 02 38 59 37 19 - Fax : 02 38 59 38 14
e-mail : geo.plus.environnement2@orange.fr

Site Internet : www.geoplusenvironnement.com



La gestion de l'environnement, la reconnaissance du sous-sol
et l'application de la réglementation au service de votre projet.