



**HAL**  
open science

## Reconnaissance des chantiers miniers à phénomènes dynamiques

Karim Ben Slimane, Jean-Pierre Josien

► **To cite this version:**

Karim Ben Slimane, Jean-Pierre Josien. Reconnaissance des chantiers miniers à phénomènes dynamiques. 24. Conférence Internationale des Instituts de Recherches sur la Sécurité dans les Mines, Sep 1991, Donetsk, Ukraine. pp.549-563. ineris-00971829

**HAL Id: ineris-00971829**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00971829>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# RECONNAISSANCE DES CHANTIERS MINIERES A PHENOMENES DYNAMIQUES

K. BEN SLIMAN et J.P. JOSIEN  
INERIS, Verneuil-en-Halatte, FRANCE

## INTRODUCTION

Les mines de charbon françaises, situées à forte profondeur (1000 m environ), sont affectées par des coups de terrains. Ces phénomènes présentent une grande diversité tant au niveau des effets observés dans les chantiers qu'au niveau des conditions naturelles et d'exploitation régnant dans les secteurs concernés. Toutefois, un trait commun les caractérise, ces phénomènes sont associés à une activité sismique, souvent importante.

La violence des effets observés et donc l'incidence de ces manifestations sur la sécurité et le rendement des chantiers expliquent les efforts de recherche consentis pour les maîtriser.

Les études engagées dans ce domaine se sont fortement appuyées sur la mécanique des roches ainsi que sur l'enregistrement et l'interprétation de l'activité sismique associés aux phénomènes dynamiques.

Cet article synthétise l'essentiel des résultats obtenus. Après une description des coups de terrains et de l'environnement dans lequel ils se sont placés, une analyse des facteurs favorables à leur apparition nous permet de préciser les mécanismes qui apparaissent aptes à déclencher ces phénomènes.

Puis une illustration de la surveillance sismique comme outil d'aide à la planification des chantiers à risques sera présentée.

## 1 - LES COUPS DE TERRAINS : LES PHENOMENES ET LEUR ENVIRONNEMENT

Les coups de terrains consistent en une rupture brutale des terrains qui se manifeste au voisinage des chantiers exploités par longues tailles. Ces manifestations se traduisent par une expulsion de la couche de charbon (coup de couche) et/ou par un soufflage important du mur de la couche (figure 1) (JOSIEN et al, 1987). Quelle que soit la lithologie de la veine de charbon, c'est souvent la partie supérieure immédiatement au contact du toit qui est expulsée. Le volume projeté est très variable de quelques m<sup>3</sup> à plusieurs centaines de m<sup>3</sup> pour les plus importants. Le toit reste apparemment intact.

Les zones affectées se localisent en bordure des vides exploités, soit sur les fronts d'exploitation en activité, soit dans les galeries de desserte du quartier. Dans ce dernier cas, de grandes longueurs peuvent être affectées (supérieures à 100 m) et le soutènement porteur de la galerie est chassé ou renversé et même écrasé si le déplacement n'est pas possible.

Ces phénomènes intéressent les exploitations par tailles, foudroyées ou remblayées et affectent aussi bien des zones de plateures, de semi-dressants ou de dressants. Les champs d'exploitation concernés par

les coups de terrains, sont généralement le siège d'une activité sismique induite souvent importante. Les secousses ne sont pas nécessairement accompagnées de ruptures des terrains autour des vides exploités. Les magnitudes enregistrées peuvent atteindre 3.5 (échelle de Richter) pour les secousses les plus importantes (BEN SLIMAN et al, 1990).

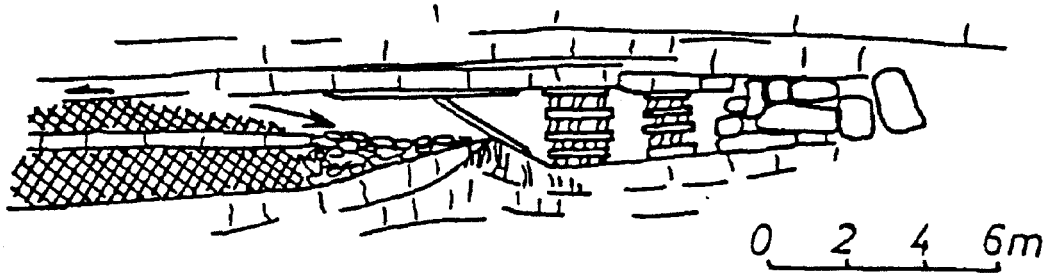


Fig. 1 : Description schématique d'un coup de terrain

## 2 - LES FACTEURS NATURELS FAVORABLES AU DECLENCHEMENT DES PHENOMENES

### 2.1 - Les contraintes in situ

Des campagnes de mesures ont été réalisées au moyen de différentes méthodes (vérin plat, surcarrottage et fracturation hydraulique) dans les mines sujettes à phénomènes dynamiques. Les directions principales des contraintes trouvées sont généralement sub-verticales et sub-horizontale, ces dernières sont très nettement liées à la structure géologique des gisements en particulier dans les zones plissées où on les trouve perpendiculaires et parallèles aux axes des plis (JOSIEN et al, 1987). Les traits structuraux peuvent également induire des écarts de 10 à 20° par rapport à la verticale de l'une des directions principales.

Nous avons remarqué les résultats suivants : la contrainte principale majeure, dans tous les sites voisins de secteurs ayant donné lieu à phénomènes dynamiques, est horizontale et en moyenne deux fois plus importante que la contrainte verticale. Cette situation ne se rencontre que rarement et de toutes façons moins nettement dans les secteurs épargnés par les phénomènes dynamiques. La contrainte verticale est dans la majorité des sites inférieure à la contrainte lithostatique prévisible, plus particulièrement dans les secteurs sensibles aux phénomènes dynamiques.

### 2.2 - La nature des terrains

Une caractérisation géomécanique classique (mesure de résistance à la compression simple  $R_c$ , à la traction  $R_t$ , limite élastique  $R_e$ , module d'Young  $E$ ) a été conduite sur les roches ayant été le siège de phénomènes : charbons, grès, calcaires, ainsi que sur des roches de référence.

Les essais ont porté au total sur plus de 1000 éprouvettes de grès, environ 200 éprouvettes de charbon et plusieurs dizaines d'éprouvettes de roches de références comme le granite ou le calcaire. Pour résumer les résultats obtenus, on peut souligner les points suivants :

- \* les charbons des veines ayant donné lieu à des coups de terrains sont généralement plus résistants ( $R_c$  jusqu'à 46 MPa), plus raides ( $E$  jusqu'à 4000 MPa), plus fragiles. Certains des indices de susceptibilité, bien que statistiquement très dispersés, permettent de distinguer ces veines par des valeurs plus élevées. C'est le cas de l'indice Wet et du coefficient  $(R_c - R_t)/(R_c + R_t)$ , représentatif de la pente de la couche intrinsèque, au voisinage de l'origine.

- \* les calcaires du recouvrement de certaines veines paraissent quant à eux plus résistants et moins poreux lorsqu'ils sont prélevés à proximité des grands accidents tectoniques, qui sont aussi les zones où se localisent fréquemment les coups de terrains (GAVIGLIO, 1985).

Ces particularités des propriétés sont généralement très accentuées par une forte hétérogénéité des terrains ou des veines. De tous les essais est ressortie l'idée que les roches qui sont le siège de phénomènes dynamiques se singularisent systématiquement quand on les compare avec des roches de nature et de texture quasi identiques, prélevées dans des secteurs (souvent peu éloignés) exempts de phénomène.

### **3 - APPROCHE DES MECANISMES**

L'examen des différents cas recensés nous a amené à concevoir trois mécanismes de rupture induisant les coups de terrains.

#### **3.1 - Mécanisme purement local**

Les facteurs qui participent au déclenchement du phénomène se trouvent réunis au niveau de la zone affectée. Ce type de mécanisme correspond à une mise en charge, relativement lente de la couche liée à l'avancement du front de taille, et amplifiée sur la zone affectée par des géométries d'exploitation particulières et/ou par la présence de dérangement (failles, plis) dans la couche. La figure 2 donne un exemple combinant ces deux effets, il s'agit d'un cas bien connu d'une taille arrivant sur une faille faiblement inclinée sur la voie et sortant du panneau. L'avancement du front de taille découpe un pilier qui atteint une dimension critique provoquant une rupture dont le caractère brutal sera accentué par les caractéristiques mécaniques de la veine.

#### **3.2 - Mécanisme à grande échelle**

Ce mécanisme intègre le comportement des terrains pris à grande échelle autour d'une taille en exploitation (figure 3). Il considère que les effets observés au niveau des chantiers sont la conséquence de ruptures qui s'initialisent dans le recouvrement de exploitations. JOSIEN et al (1987), REVALOR et al (1989) démontrent que la condition d'un bas-toit raide et de résistance élevée apparaît essentielle, elle permet une transmission intégrale de la sollicitation imposée par le haut-toit à la veine de charbon.

On retrouve dans ce type de mécanisme des ruptures qui affectent des piliers laissés en place situés à

une distance importante des chantiers, ainsi que les coups de terrains provoquant des soufflages du mur dans les galeries de déserte des chantiers.

### **3.3 - Mécanisme lié à la tectonique**

Ce type qui peut s'apparenter au précédent dans le sens où il ne se limite pas au voisinage immédiat de la zone affectée, est directement lié aux accidents tectoniques présents dans le recouvrement ou dans le mur. Les coups de terrains induits par des glissements sur plan de faille suite à l'exploitation ont été relativement bien étudiés ces dernières années en mines métalliques profondes (HART et al, 1988) et en mines de charbon (WONG, 1985). L'importance de l'état de contrainte initial (notamment la présence de contraintes horizontales élevées) et de la détente verticale apportée par l'exploitation a été soulignée par REVALOR et al (1989). La figure 4 illustre la modélisation d'une configuration sujette à coups de terrains, une grande faille de chevauchement faiblement inclinée (25°) surmontant une couche de charbon en exploitation. Les contraintes horizontales mesurées in situ sont de l'ordre de 40 MPa, soit deux fois les contraintes verticales. L'extension de la zone détendue, qui intéresse pratiquement l'intégralité de la faille, permet un cisaillement sur le plan de faille qui induira une sollicitation dynamique des chantiers pouvant provoquer des coups de terrains.

## **4 - LA SURVEILLANCE SISMIQUE : un outil d'aide à la planification des chantiers à risques**

Compte tenu des évolutions constatées sur les phénomènes et sur les secteurs d'exploitation affectés et sur la sismicité associée, il a été nécessaire de mettre en oeuvre des réseaux d'écoute sismiques permettant le suivi de plusieurs secteurs d'exploitations ( BEN SLIMAN et REVALOR, 1989).

L'activité sismique étant intimement liée aux ruptures et instabilités mécaniques situées dans le massif rocheux autour des vides créés par l'exploitation, les objectifs de la surveillance sismique peuvent alors être résumés comme suit :

- Détermination dans l'espace des zones instables du massif rocheux
- Détermination des mécanismes de rupture et des caractéristiques des sources
- Suivi dans le temps de l'énergie sismique libérée.

Pour arriver à ces objectifs, il a été nécessaire d'adopter et d'adapter les méthodes des sismologues dans l'analyse des séismes naturels, sachant que la surveillance sismique en mine se fait à une toute autre échelle (BEN SLIMAN, 1990).

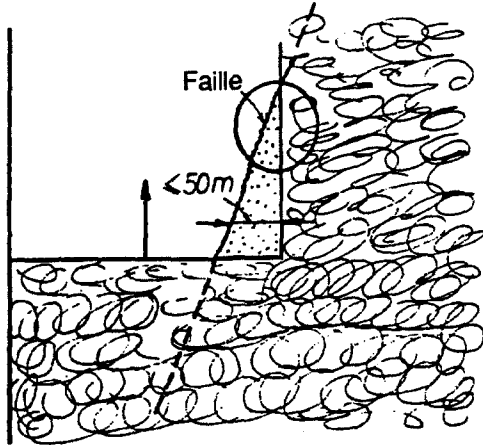
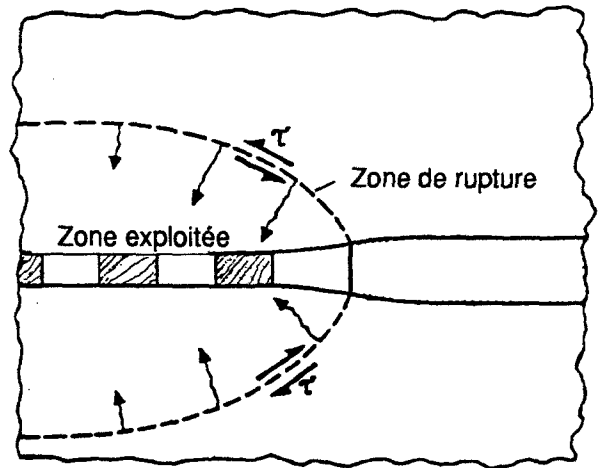






Fig. 2 : Exemple de géométrie d'exploitation induisant des coups de terrains à mécanisme purement local.

 pilier à géométrie critique découpé par le front de taille, la faille et la voie

Fig. 3 : Mécanisme de coup de terrain à grande échelle.



  $\sigma_v > \sigma_{v0}$   
  $\sigma_v = \sigma_{v0}$   
  $\sigma_v < \sigma_{v0}$   
 zones en traction

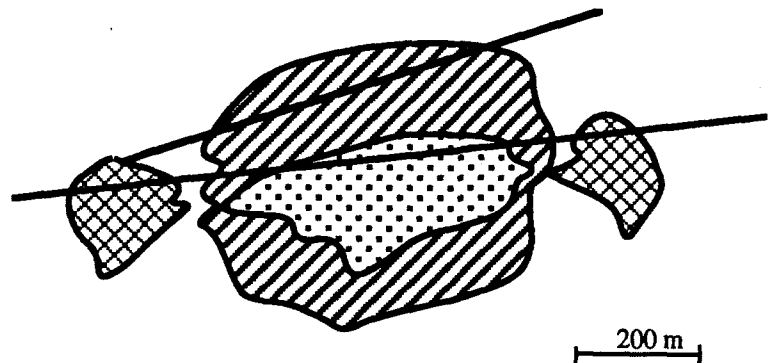


Fig. 4 : Contraintes verticales autour d'un panneau exploité, surmonté d'une faille.

## 4.1 - Présentation des réseaux

En ce qui concerne le suivi sismique des mines de charbon affectées par des coups de terrains, deux sites ont été expérimentés.

**Site 1:** la figure 5a représente une coupe géologique du site. C'est un gisement de plateures (pendage des couches voisin de  $10^\circ$ ) comprenant une seule couche, exploitée à 1000 m de profondeur par longues tailles foudroyées. Ce gisement est affecté par de grandes failles: failles de chevauchement à pendage faible (environ  $25^\circ$ ) au Sud, failles de décrochement conjuguées sub-verticales, à l'Ouest et dans la zone centrale (GAVIGLIO, 1985). Actuellement, la couche est exploitée, dans la zone centrale par deux chantiers distants de plusieurs kilomètres, en bordure des vieux travaux d'exploitation situés à l'Est.

Deux instrumentations différentes ont surveillé ce site:

\* entre Octobre 1986 et Février 1987 un réseau expérimental a été placé. Il comprenait 10 points d'écoute (figure 5b) dont 9 stations monodirectionnelles verticales et 1 station tridirectionnelle (9). Une station monodirectionnelle (10) était située en profondeur, à la cote -390 m (environ 650 m de profondeur).

\* le commissariat à l'énergie atomique (CEA) dispose, sur un site à 35 km des exploitations, d'une station sismique tridirectionnelle basse fréquence (1Hz) depuis 1970. L'activité sismique induite par les exploitations est individualisée depuis 1974 à nos jours, la coupure en magnitude est de 2.5

**Site 2:** la structure est plus complexe que dans le cas du site précédent. Une coupe Ouest-Est (figure 6a) montre que le gisement houiller est affecté par deux anticlinaux faillés, séparés par un synclinal à flancs fortement dissymétriques. Cette série est surmontée en discordance par des stériles (grès), dont l'épaisseur varie de 200 à 300 m suivant la zone considérée.

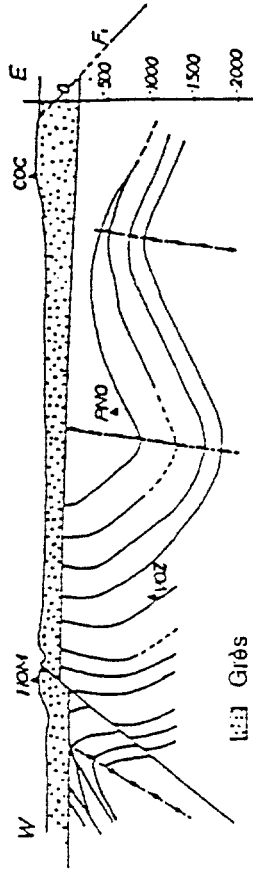
Le réseau en place comprend 8 points d'écoute (figure 6b) dont 7 stations monodirectionnelles verticales et 1 station tridirectionnelle (VOZ). Deux stations sont situées en profondeur: 1 monodirectionnelle (PNO) à la cote -609 (soit 826 m de profondeur environ), 1 tridirectionnelle (VOZ) à la cote -1033 (soit 1250 m de profondeur environ). Ce réseau permet le suivi de deux champs d'exploitation (BEN SLIMAN et REVALOR, 1989), très différents de par les conditions naturelles qui y règnent et les méthodes employées (figure 6b):

\* un champ de semi-dressants (pendage variant de  $25$  à  $35^\circ$ ), exploité par longues tailles foudroyées au pendage et situé au centre Est du réseau.

\* un champ de dressants (pendages supérieurs à  $60^\circ$ ), exploité par tranches montantes remblayées et situé sur la bordure Ouest du réseau.

Dans chaque champ, plusieurs couches sont exploitées simultanément, ce qui, en plus de la structure, peut conduire à des géométries particulièrement complexes.

a - Coupe géologique



b - Station du réseau

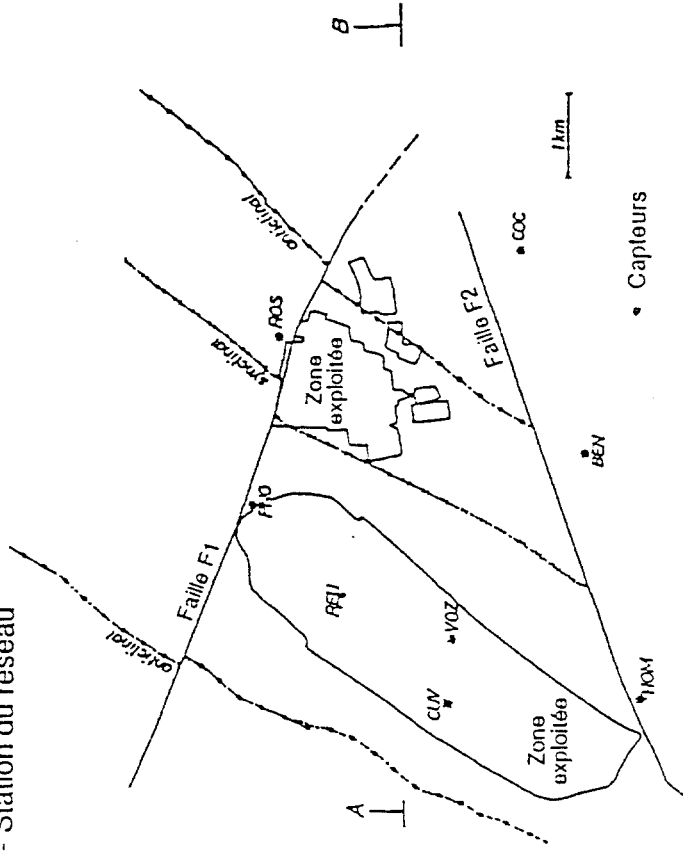
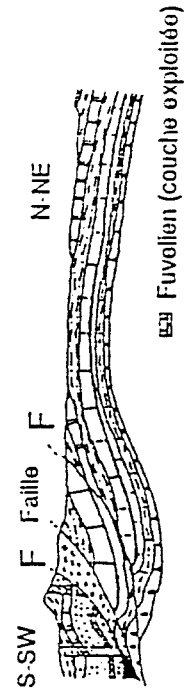
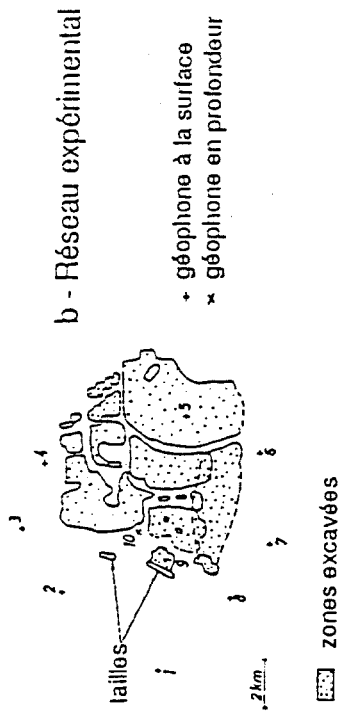


Fig. 6 : Réseau d'écoute sismique du site 2



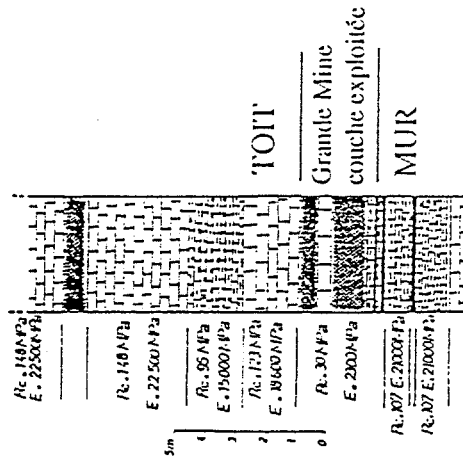
a - Coupe géologique



b - Réseau expérimental

\* géophone à la surface  
 \* géophone en profondeur

zones excavées



c - Coupe stratigraphique du Fuvelien

Fig. 5 : Présentation du site 1



## 4.2 - Suivi de l'activité sismique dans le temps et l'espace

La complexité du secteur des semi-dressants du site 2, illustre l'utilité du suivi de l'exploitation par un réseau de surveillance sismique. En effet, les planificateurs de la mine peuvent ainsi repérer les configurations sismiquement actives, notamment celles qui échappent à l'application des règles classiques concernant le volume d'influence d'une exploitation. L'analyse de l'activité sismique montre clairement :

- que les foyers sont liés aux fronts en activité
- que pour une période donnée, ils suivent la progression des fronts de taille
- que l'on trouve des foyers à proximité de piliers laissés en place dans des vieux travaux

relativement loin des fronts actuellement en activité. Certains d'entre eux correspondent d'ailleurs à des événements de forte magnitude ( $M_I = 3.5$ ).

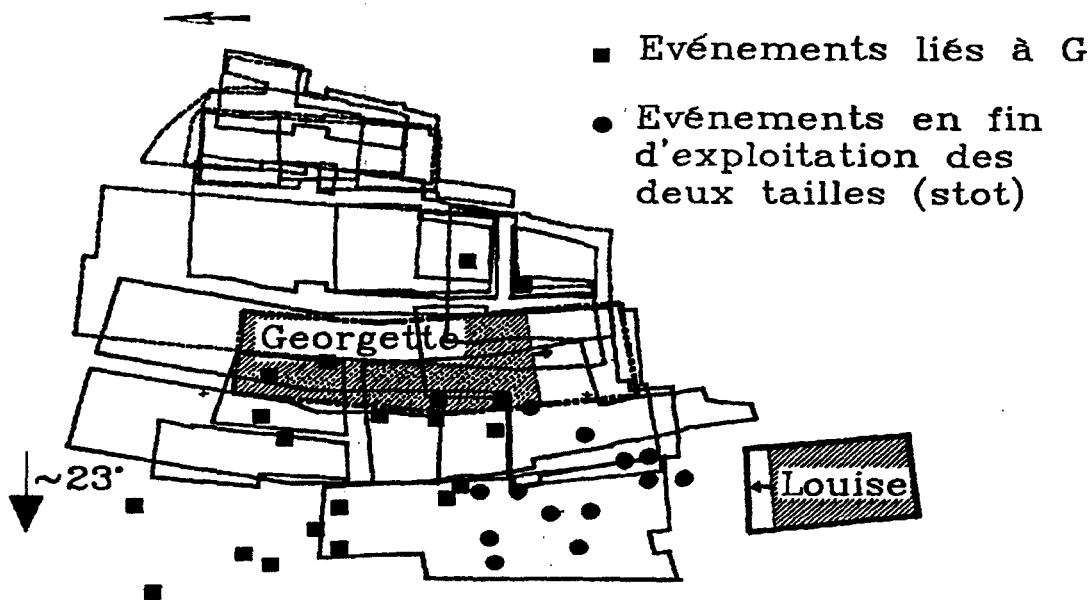


Fig .7 : Interinfluence de deux tailles

Sur la figure 7, on remarquera la concentration en fin d'exploitation des foyers des événements sismiques dans le stot délimité entre les deux veines Georgette et Louise. On discrimine les deux familles d'événements par la signature et l'analyse en fréquence des signaux. Ce type de corrélation peut permettre à terme de formuler des règles de dimensionnement des stots de protection d'infrastructure. L'activité sismique peut donc être liée à la perturbation de l'état de contraintes autour des excavations (premier mécanisme). Un volume plus important peut être sollicité par l'exploitation (second mécanisme), et on aura alors des coups de terrains affectant des piliers dans des zones anciennement exploitées. Nous avons également enregistré une activité sismique localisée sur la faille F1 (figure 6b), qui est adjacente au secteur des semi-dressants. Nous sommes dans une configuration de type troisième mécanisme

### 4.3 - Influence des paramètres d'exploitation

Une analyse des données concernant le premier gisement et conduite sur 15 années d'enregistrement, a montré qu'à l'intérieur d'un quartier, seules la largeur exploitée et la production mensuelle avaient une influence significative sur l'activité sismique (BEN SLIMAN et al, 1989). L'influence de l'exploitation n'est pas linéaire, mais il existe des seuils au-delà desquels l'activité change notablement. Cela est net pour la largeur exploitée, mais aussi, dans une moindre mesure, pour la production. La figure 8, montre pour un des quartiers de ce gisement, la relation liant les événements à forte énergie ( $M1 > 3$ ), la largeur exploitée et la production. Au delà d'une certaine largeur critique (300 m, correspondant à deux tailles) les fortes secousses apparaissent de manière significative. Au delà de la largeur critique, pour de fortes productions supérieures à 60 000m<sup>3</sup> (160 m d'avancement mensuel, soit 8 m par jour en moyenne), tous les mois sont affectés par des événements forts. Ce résultat ne met pas en évidence une influence de la vitesse d'avancement sur le mécanisme de rupture mais signifie plus exactement qu'il se produit systématiquement des événements forts tous les 160 m d'avancement.

Nous avons pu établir un modèle de comportement (figure 9) indiquant clairement que le nombre d'événements de magnitude supérieure à 3 par m<sup>3</sup> excavé commence à être significatif à partir d'une largeur de 200/250 m, ce qui est à peu près égal à l'épaisseur des bancs calcaires très raides susjacentes (FUVÉLIEN). Cette accélération de l'activité se poursuit jusqu'à une largeur voisine de 400/500 m.

Ces éléments indiquent que la majeure partie de l'activité sismique trouve son origine dans les ruptures des bancs du Fuvélien (figure 3 c). A partir de 500 m de largeur exploitée, on peut estimer que toute l'épaisseur du Fuvélien à l'aplomb du foudroyage est affectée.

Ce modèle de comportement est confirmé par les courbes d'affaissement de surface et la localisation des événements sismiques.

## CONCLUSION

Depuis une dizaine d'années, la recrudescence des phénomènes dynamiques et le réel danger qu'ils constituent pour les exploitations minières expliquent les efforts importants consentis pour comprendre, prévoir et prévenir ces manifestations.

La comparaison des différents secteurs, affectés ou non par ces phénomènes, a permis de cerner les conditions qui favorisent leur formation : état de contraintes naturel, nature des terrains, configurations d'exploitation.

Il apparaît que le déclenchement d'un phénomène en un point n'a généralement pas une cause unique mais résulte de la conjonction de ces différents facteurs.

Leur connaissance est importante. Elle permet d'une part de repérer dans le gisement des zones où de tels phénomènes sont susceptibles de se produire. Cette reconnaissance à grande échelle est un préalable indispensable à une prévision efficace de ces phénomènes. Elle permet d'autre part de préciser les mécanismes de rupture qui sont à l'origine de ces manifestations.

1 point = 1 mois d'enregistrement

- pas d'événement de magnitude > 3
- + au moins un événement de magnitude > 3

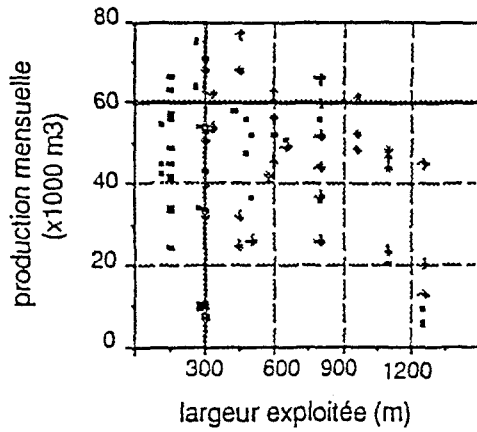


Fig. 8 : Relation entre les événements forts, la largeur exploitée et la production mensuelle

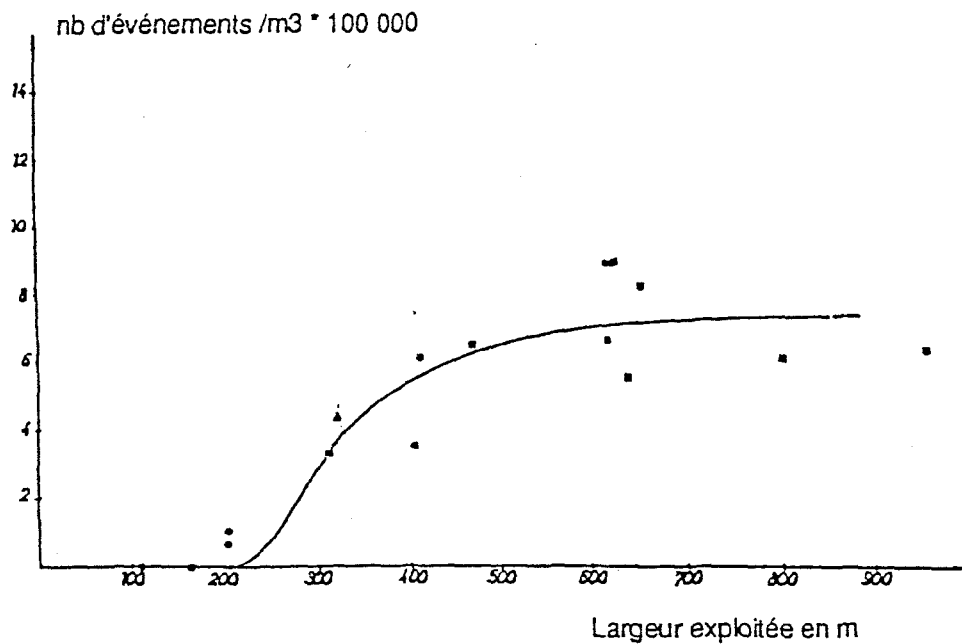


Fig. 9 : Relation entre le nombre d'événements (ML > 3) et la largeur exploitée

Au niveau de leur maîtrise, la compréhension de ces mécanismes est essentielle : elle constitue un guide pour la recherche et la mise en application au chantier de méthodes de prévision et de prévention adaptées.

## **BIBLIOGRAPHIE**

BEN SLIMAN K. et REVALOR R. , 1989 : Some results about the accuracy of mining induced seismic events location : experience of french coal mines. Gerlands beiträge zur Geophysik, Induced seismicity, special issue . P. KNOLL Ed. 2579-2596.

BEN SLIMAN K., 1990 : Sismicité induite et exploitation. Rapport final CECA, convention n° 7220-AF/308, 44 p.

BEN SLIMAN K., REVALOR R. et AL HEIB M., 1990 : Seismic Monitoring : A help in the planning of mine layouts in French coal mines subject to rockbursts.

ISRM International Symposium "Static and dynamic consideration in rock Engineering" SWAZILAND.

GAVIGLIO P., 1985 : La déformation cassante dans les calcaires Fuvélien du bassin de l'Arc (Provence). Comportement des terrains et exploitations minière. Doctorat d'Etat, Université de Provence, Marseille (219 p).

HART R.D., BOARD M., BRADY B., O'HEARN et ALLAN G., 1988 : Examination of fault-slip induced rockbursting at the Strathcona mine, in Key Questions in Rock Mechanics: Proc. 29th U.S. Symp , P.A. Cundall, R.L Sterling and A.M.Starfield (Eds), p.369-379, Minneapolis: Balkema.

JOSIEN J.P., PIGUET J.P. et REVALOR R., 1987 : Apport de la mécanique des roches à la maîtrise des phénomènes dynamiques dans les mines. Proc.6th Int. Cong.Rock Mechanics, Montreal, Sept, 1987, 2: 999-1004.

REVALOR R., JOSIEN J.P. et MAGRON A., 1989 : Le comportement discontinu des roches à grande profondeur: le cas des coups de terrains miniers. Int. Conf. "Rock at great depth" - Pau.

REVALOR R. et BESSON J.Ch., 1989 : La lutte contre les coups de terrains à l'unité d'exploitation de Provence (Charbonnage de France). Coll. "Prévention et élimination des coups de terrains" -Ostrava, Sept 1989.

WONG I.G., 1985 : Mining Induced Earthquakes in the Book Cliffs and Eastern Wasatch Plateau, Utah, USA. Tech. note, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 22, 4 : 263-270.