



# Prévision du comportement des terrains sous l'influence des failles par méthodes numériques et microsismiques

Mamoudou Sylla, Gloria Senfaute, Marwan Al Heib, Yves Derrien,  
Jean-Pierre Josien

## ► To cite this version:

Mamoudou Sylla, Gloria Senfaute, Marwan Al Heib, Yves Derrien, Jean-Pierre Josien. Prévision du comportement des terrains sous l'influence des failles par méthodes numériques et microsismiques. 28. Conference on Safety in Mines Research Institutes, Jul 1999, Sinaia, Roumanie. ineris-00972189

**HAL Id: ineris-00972189**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00972189>**

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.

## **PREVISION DU COMPORTEMENT DES TERRAINS SOUS L'INFLUENCE DES FAILLES PAR METHODES NUMERIQUES ET MICROSISMQUES**

Sylla M.<sup>\*</sup> Senfaute G.<sup>\*\*</sup> AL Heib M.<sup>\*\*1</sup>  
Derrien Y.<sup>\*\*\*</sup> Josien J.P.<sup>\*\*\*\*</sup>

### **1. Introduction**

Les exploitations souterraines provoquent un déséquilibre du massif rocheux suite aux vides créés par l'extraction du minéral. Les modifications du comportement du massif dépendent des contraintes naturelles, de la présence de failles et des conditions d'exploitation, en particulier de la géométrie des chantiers et de la méthode d'exploitation utilisée. Ainsi, les perturbations provoquées par l'exploitation vont entraîner un réajustement du milieu vers un autre régime d'équilibre. Ce nouveau régime peut s'accompagner d'une libération d'énergie plus au moins brutale et violente pouvant parfois causer des dommages importants dans le chantier.

L'objectif de cette recherche est de mettre en œuvre une méthodologie pour l'identification des critères de prévision. Ils seront basés sur l'analyse des caractéristiques des terrains propices à l'apparition des phénomènes d'instabilité dynamiques (Senfaute et al, 1999). Dans ce cadre, des techniques avancées de modélisation numérique et d'écoute microsismique ont été développées. L'INERIS a développé le code de modélisation numérique "FAULT3D" basé sur la méthode de la discontinuité de déplacement (Linkov et al, 1997). Ce code permet de modéliser des configurations du type longue taille et de déterminer le comportement des failles lors de l'approche du front d'exploitation. Une technique basée sur la détection des multiplets des événements a été mise en œuvre. Cette technique permet de détecter des populations d'événements microsismiques associées au même mécanisme de rupture et de déterminer l'influence d'une faille dans l'apparition de ces événements (HUPE et al, 1999). Une corrélation a été établie entre la modélisation numérique et la technique d'analyse des événements microsismiques.

Les deux méthodes forment une approche méthodologique pour l'identification de critères de danger à partir des techniques de modélisation numérique (code FAULT3D) et d'analyse des données microsismiques (recherche des doublets). Cette approche a été mise en œuvre lors de l'exploitation du charbon dans deux tailles de l'Unité d'Exploitation de Provence. Les techniques d'analyse des événements microsismiques appliquées aux deux cas étudiés ont permis de valider les prévisions effectuées par modélisation numérique sur le comportement des failles présentes dans le chantier lors de l'approche du front d'exploitation. Les résultats de ces recherches ouvrent des perspectives très intéressantes en ce qui concerne la planification des travaux miniers dans un milieu où les failles sont responsables d'une activité microsismique et de phénomènes dynamiques importants.

### **2. Présentation de l'Unité d'Exploitation de Provence et du réseau d'écoute sismique**

Le gisement de lignite de Gardanne se trouve entre Marseille et Aix-en-Provence dans le sud-est de la France (Bouches-du-Rhône). Les archives trouvées à son sujet font remonter le début de l'exploitation au Moyen Age (figure 1).

---

<sup>1</sup> \* LAEGO, Ecole des Mines de Nancy.

<sup>\*\*</sup> INERIS, Ecole des Mines de Nancy.

<sup>\*\*\*</sup> HBCM, U.E. Provence.

<sup>\*\*\*\*</sup> INERIS, Verneuil-en Halatte.

Des huit niveaux de charbon présents, une seule veine (*Grande Mine*) située à 1250 m de profondeur et avec une puissance moyenne de 2,5 m est économiquement rentable : c'est la seule veine exploitée à l'heure actuelle par les Houillères de Bassin du Centre et du Midi (HBCM, groupe Charbonnages de France).

L'exploitation se fait par longue taille foudroyée. Dans son ensemble, le gisement est très remarquable par sa régularité et il est peu penté. Du fait de la raideur des épontes et des terrains encaissants, la tenue des toits est excellente. Toutefois, cette raideur est à l'origine de phénomènes dynamiques causés par la libération brutale de l'énergie emmagasinée. Ces phénomènes dynamiques, coups de toit, coups de mur, coups de couche sont aussi désignés par le terme de coups de terrain.

Un réseau d'écoute microsismique a été mis en place par l'INERIS dès 1990. Il était, à cette époque, constitué de cinq stations en surface (dont deux tridirectionnelles) et par quatre stations verticales implantées au fond de la mine (Ben Slimane *et al*, 1990). A l'heure actuelle, le réseau sismique est constitué de cinq stations de surface dont trois tridirectionnelles, et de quatre stations au fond dont une tridirectionnelle (figure 2). Les capteurs sont des géophones de fréquence propre 1 Hz. Les données des stations de surface sont transmises jusqu'au site central d'acquisition par radio tandis que celles des stations du fond sont transmises par câble. Les signaux sismiques enregistrés sont digitalisés par la station centrale d'acquisition avec une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz.

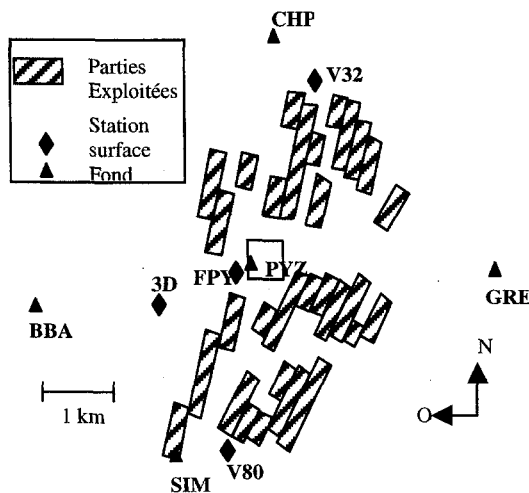


Figure 1 : Plan de l'Unité d'Exploitation de Provence et configuration du réseau d'écoute sismique.

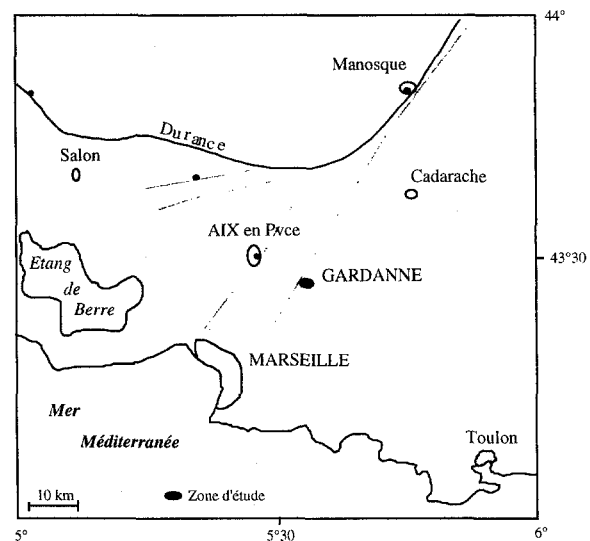


Figure 2. Situation géographique de l'exploitation.

### 3. Présentation des méthodes utilisées

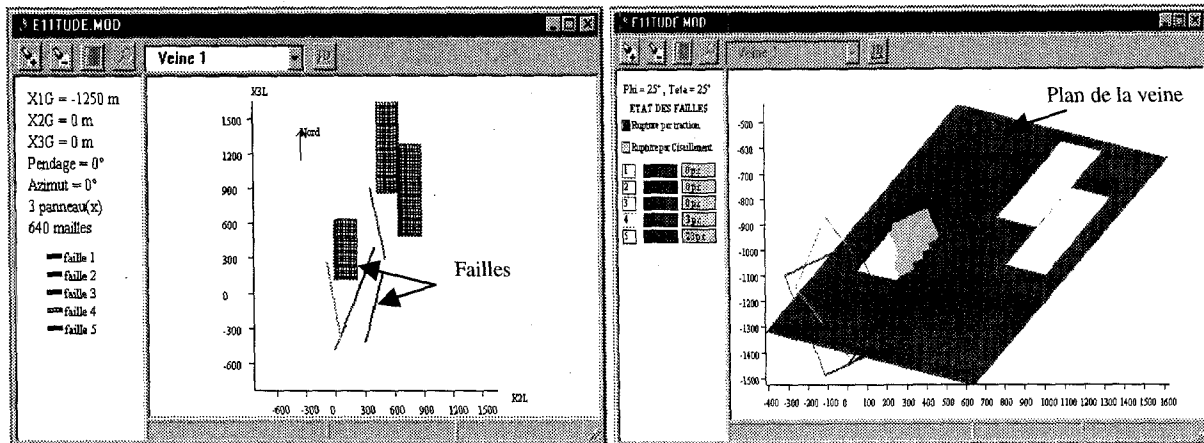
#### 3.1. Modélisation numérique (FAULT3D)

Un projet d'exploitation consiste, entre autres, à fixer la dimension des travaux miniers afin de permettre l'exploitation du gisement dans les meilleures conditions et avec les meilleurs résultats. Or les pressions de terrain ont une influence considérable sur la conduite des travaux du fond, tant sur le plan des résultats techniques globaux qu'à celui de la sécurité. Elles ont pour origine les états de contraintes naturelles mais aussi les modifications induites par la progression des travaux, d'où l'importance de la prise en compte de ces phénomènes dans l'élaboration du projet d'exploitation.

Mais d'autres facteurs peuvent être, eux aussi, prépondérants pour le déroulement de l'exploitation. La présence de failles, dans la zone d'influence d'une exploitation ou interceptant des panneaux, pose le

problème des coups de terrains dus à un glissement sur un plan de faille. L'établissement des séquences d'exploitation doit donc tenir compte des phénomènes de transfert et de redistribution des contraintes entre les panneaux et les failles.

FAULT3D est un outil de prévision permettant de répondre aux objectifs de l'exploitant par anticipation des phénomènes attendus. Il est destiné à fonctionner sous Windows (NT/95/98) et présente une interface permettant une saisie facile de la géométrie et des caractéristiques géomécaniques du terrain et offre une lecture très simple et très conviviale des résultats des calculs. Il donne également la possibilité d'importer des plans de mine établis sous AutoCad, d'effectuer les calculs et d'exporter en retour vers AutoCad les résultats afin de les superposer avec les plans d'origine.



Vue en plan des panneaux et des failles

Vue en 3D

Figure 3 : Présentation de FAULT3D

#### Méthode de calcul de FAULT3D

La modélisation (en 3D) se fait par la méthode des discontinuités de déplacement (Sylla, 1997). C'est une méthode indirecte des éléments frontières qui offre notamment les avantages suivants :

- **Rapidité de calculs** : seules les surfaces des panneaux et des plans de faille sont discrétisées (figure 3). Le système à résoudre est donc de taille relativement réduite comparativement à d'autres méthodes.
- **Modèle global à grande échelle** : les limites du modèle ne sont pas fixes. Après la connaissance de la solution aux limites des panneaux et des failles, on peut évaluer les contraintes induites sur n'importe quel point de l'espace par le principe de la superposition.

#### Procédure de calcul

Les étapes nécessaires pour obtenir la nouvelle redistribution des contraintes sont :

- 1 – le calcul des contraintes initiales (verticales et horizontales) dues au poids des terrains surincombants ;
- 2 – le calcul d'inter-influence entre, d'une part, les panneaux et, d'autre part, entre les panneaux et les failles.
- 3 – l'évaluation de l'état de rupture sur le plan des failles. Deux critères ont été choisis pour déterminer les deux types de rupture potentielle des failles :

a – critère de rupture par traction : la contrainte normale en tout point de la faille, si elle correspond à une traction, doit être inférieure à la résistance à la traction de la faille. Si ce critère n'est pas respecté sur un point de la faille, on considère alors que la faille est ouverte en ce point.

b- critère de rupture par cisaillement : le critère choisi est le critère de rupture de Mohr-Coulomb où la contrainte tangentielle en un point doit être inférieure à une valeur limite qui est fonction de la contrainte normale en ce point, de la cohésion et de l'angle de frottement le long du plan

de la faille. Si ce critère n'est pas respecté en un point de la faille, on considère que la faille est en rupture par cisaillement en ce point ( $\tau > c + \sigma_n \tan(\varphi)$ ) où  $c$  et  $\varphi$  sont les caractéristiques de cisaillement le long du plan de la faille).

Le calcul permet d'obtenir la carte de la nouvelle redistribution des contraintes, en tout point de l'espace, présentée sous la forme de courbes d'isovaleur. On peut visualiser les plans des failles afin de mettre en évidence les zones de rupture éventuelles, leur nature et le pourcentage de la zone concernée.

### ***3.2. Méthodologie développée pour l'analyse de l'activité microsismique***

La diversité et la complexité des mécanismes de rupture à l'origine des événements microsismiques en milieu minier rendent le travail d'identification du mécanisme très délicat. Lors de l'exploitation d'un chantier, plusieurs classes d'événements sont déclenchées : une population d'événements est associée à l'apparition de ruptures au sein du massif et/ou à l'ouverture par traction de discontinuités préexistantes. Une autre population d'événements est associée à des glissements sur les plans des failles réactivées par l'exploitation. Ainsi, pour classer les événements en populations homogènes correspondant à un même mécanisme de rupture et corréler les événements à une structure particulière, des techniques de recherche des doublets et de localisation relative des événements ont été développées et mises en œuvre.

#### ***Méthode des doublets***

Un doublet est une paire d'événements sismiques dont les sismogrammes sont identiques dans une large bande de fréquence. Un multiplet est un groupe de doublets semblables entre eux. L'hypothèse de travail est alors la suivante : les séismes donnant lieu à un doublet ou multiplet sont semblables à un facteur d'échelle et à un décalage temporel près (Dodo 1993).

#### ***Localisation relative***

Le principe de la localisation relative est de choisir un événement de référence, et d'utiliser une vitesse locale de propagation des ondes, pour calculer le vecteur  $(x, y, z, H)$  qui sépare l'hypocentre de cet événement de celui des autres membres du multiplet.  $\vec{r} = (x, y, z)$  est le vecteur spatial et  $H$  désigne l'écart entre les temps origine. Cette méthode permet de s'affranchir des erreurs de localisation issues du modèle de vitesse, de l'imprécision du pointé, de l'arrivée des ondes P et de la qualité du réseau d'écoute. Les techniques ont pour objectif d'identifier l'origine et la localisation de l'activité sismique.

### ***4. Cas étudiés***

Nous présentons ci-après l'étude de cas de deux panneaux de l'Unité d'exploitation de Provence. Le premier correspond à une rétro-analyse permettant de vérifier la méthodologie décrite précédemment sur le cas du panneau T02. Le second cas correspond à son application à la configuration du panneau T03, notamment pour en fixer l'arrêt final et prévoir l'évolution du comportement des failles en fonction de l'avancement du panneau. Dans chacun de ces deux cas, on effectuera une comparaison entre l'état de rupture de la faille intéressée par ces panneaux et la recrudescence de l'activité microsismique.

L'analyse des résultats de la modélisation repose sur l'observation, d'une part, des contraintes calculées après l'exploitation en fonction de l'avancement de la taille et, d'autre part, sur l'état de la stabilité de la faille. Nous limiterons cette présentation à l'évolution de la rupture de la faille en fonction de l'avancement de l'exploitation.

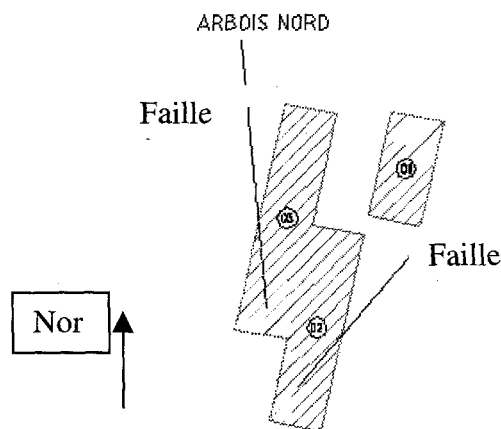


Figure 4 : Présentation de la géométrie de l'exploitation.

#### 4.1. Panneau T02 de l'Arbois Nord

##### 4.1.1. Analyse de l'activité microsismique

Le panneau T02 a été exploité entre 1994 et 1995. Sa longueur totale est de 900 m et sa largeur de 220 m. Il est limité par les voies V23 et V25 Nord.

L'exploitation de cette taille n'a pas posé de problèmes pendant toute la première phase d'exploitation, mais après 550 mètres d'avancement, l'activité sismique s'est intensifiée avec l'apparition d'événements sismiques de forte magnitude (supérieure à 2,7) parmi lesquels huit événements sont associés à des manifestations dynamiques.

L'objectif de l'analyse de cette activité sismique est d'identifier le rôle des failles présentes dans le chantier dans l'apparition des événements sismiques de forte magnitude. Pour cela, les techniques de recherche des doublets et de localisation relative ont été utilisées.

##### Recherche automatique des doublets

La recherche des doublets ou des multiplets est effectuée sur une population de 26 événements sismiques. Cette recherche des doublets a permis d'identifier deux multiplets de 4 secousses chacun. Chacun de ces multiplets ont des signatures complètement différentes et pourtant elles proviennent du même lieu géographique, et se sont produites pendant la même période. Ce sont donc deux mécanismes différents qui sont à l'origine de ces événements

##### Localisations absolue et relative des deux multiplets

Les événements de chaque multiplet ont été localisés par la technique de localisation absolue (méthode classique de localisation des foyers) et par la technique de localisation relative qui permet d'améliorer la localisation des événements et de pouvoir les corrélés avec une structure particulière.

Les localisations absolues et relatives du premier multiplet identifié (appelé multiplet F) sont présentées figure 5. On constate que la localisation relative améliore considérablement la localisation des foyers et montre que les foyers de ce multiplet progressent chronologiquement dans le plan de la faille dans le même sens que le front de la taille et s'alignent suivant la direction de la faille. On peut donc faire l'hypothèse que ce sont donc les glissements de cette faille qui seraient à l'origine des événements de ce multiplet.

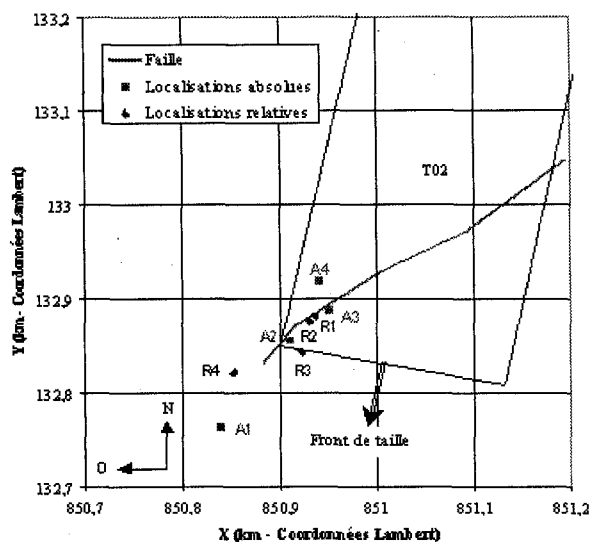


Figure 5 : Localisations absolue et relative du multiplet associé à la faille de la taille 02 (multiplet F)

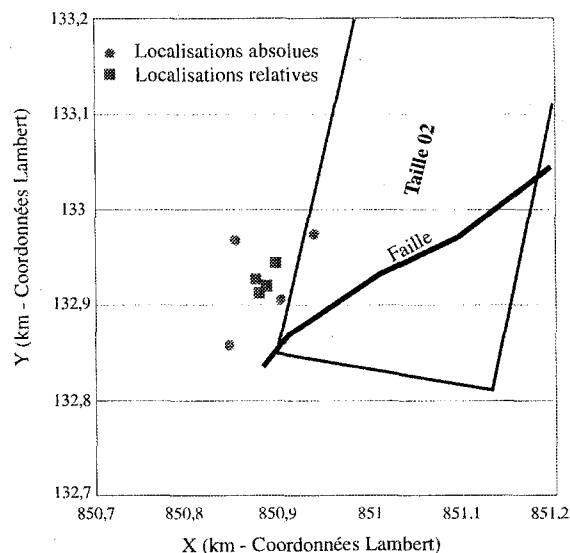


Figure 6 : Localisations absolue et relative du multiplet P

Le deuxième multiplet étudié (appelé multiplet P) est constitué de 4 événements sismiques dont 3 sont associés à des phénomènes dynamiques. La figure 6 présente les localisations relatives et absolues de ces événements. La localisation relative regroupe les foyers proches de la galerie où sont situés les dégâts de trois événements du multiplet. Ces événements, sans alignement particulier, seraient associés à la rupture du pilier découpé par le front d'exploitation, la faille et la galerie.

#### 4.1.2. Modélisation numérique

L'analyse de l'activité sismique enregistrée lors de l'exploitation a montré qu'une partie de cette activité est associée à la faille qui traverse le chantier. L'objectif de l'approche numérique est de rechercher une corrélation entre l'activité sismique et la rupture de la faille.

La faille prise en compte est apparue dans la taille T02 après 550 m d'avancement. C'est une faille inverse (N57° E 45° S, avec 30 à 90 cm de rejet) qui traverse la taille T02 de part et d'autre et intercepte les voies 23 et 25. Son extension véritable n'est pas connue. De fait, c'est ce qui se passe au niveau de la couche, et sur le plan de la taille, qui nous intéresse. C'est pourquoi la faille n'a pas été considérée à l'extérieur de la taille. La faille a donc été définie à partir de sa trace dans la couche de charbon, et son extension au toit et au mur a été prise égale à 200 m de chaque côté. Son pendage moyen est pris égal à 45°.

#### Caractéristiques géomécaniques du terrain et de la faille

Pour réaliser le calcul, nous avons considéré que le comportement des terrains est élastique et isotrope. Le module d'Young est égal à 10000 MPa, le coefficient de Poisson est égal à 0.2 et le poids volumique à 0,025 MN/ m<sup>3</sup>.

Le tenseur initial des contraintes est celui mesuré à proximité dans une galerie par la méthode de fracturation hydraulique. Il est caractérisé par une contrainte horizontale orientée Est-Ouest très élevée dont le module est de -34 MPa, une contrainte verticale de -27 MPa et une contrainte horizontale Nord-Sud de -20 MPa. Les contraintes varient en fonction de la profondeur.

On ne dispose pas de mesures in situ pour évaluer les paramètres caractérisant la faille. On commence le calcul avec des valeurs basées sur l'observation et on poursuit par une étude de sensibilité pour connaître l'influence de ces paramètres vis-à-vis des résultats. La cohésion de la faille (C) est nulle, l'angle de frottement suivant le plan de la faille  $\phi$  est égal à 30°.

Les déplacements normal et tangentiel sont calculés en fonction de la raideur normale ( $K_n$ ) et de la raideur tangentielle ( $K_s$ ), affectées au plan de faille et respectivement égales à 10 000 et 1 000 MPa/m:

### Résultats de la modélisation

Les zones de rupture par cisaillement sont localisées au toit de la couche : peu d'éléments en rupture se situent au mur. La hauteur de ces zones se situe entre 0 et 200 m au toit et entre 0 et 100 m au mur (figure 5). Ces ruptures apparaissent après 600 m d'avancement, elles augmentent brutalement dans les 100 derniers mètres.

La rupture par cisaillement est la plus importante. Elle est due à la diminution de la contrainte normale dans la zone détendue. Les ruptures en cisaillement prennent naissance dans la partie est dans le toit. C'est la partie qui s'est déconfinée en premier. La taille avançant, elle se rapproche jusqu'à la traverser. La rupture s'étend alors à leur intersection. Des ruptures par traction apparaissent également à cet endroit. Lorsque le front progresse encore, la rupture par cisaillement concerne alors la partie de la faille située au mur de la couche. La rupture par traction reste localisée au niveau de l'intersection de la faille et du front de la taille.

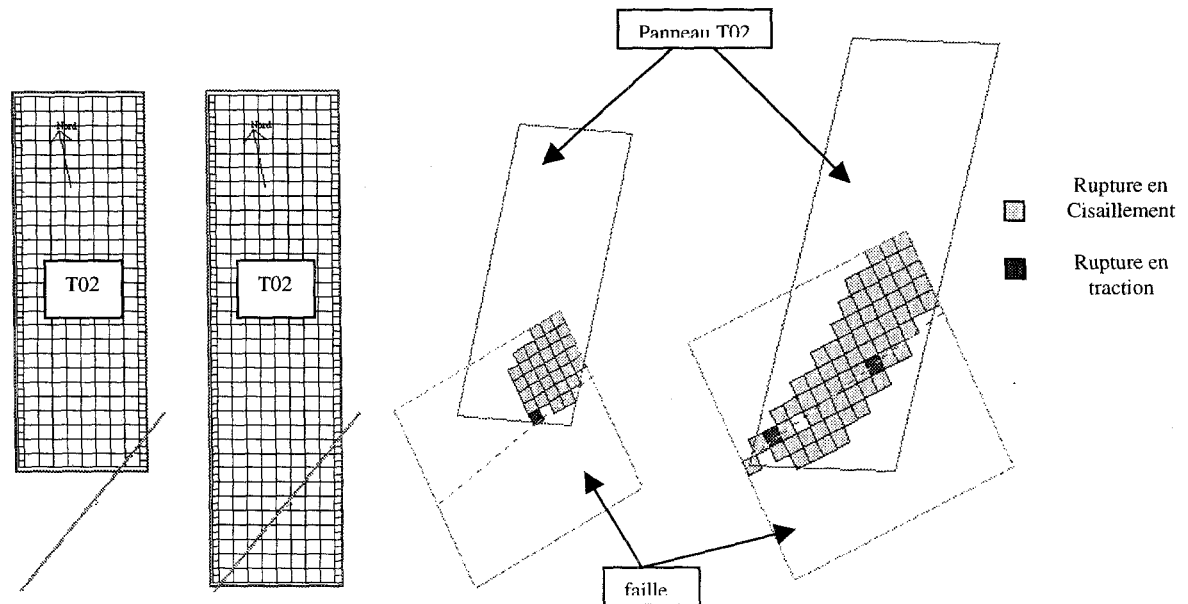


Figure 7 : Modélisation en 5 étapes de la taille T02 et états de rupture de la faille.

#### **4.1.3. Comparaison de l'activité sismique et comportement de la faille**

En comparant l'activité sismique et la localisation des multiplets, on peut noter que les événements du multiplet F sont associés à la rupture de la faille en cisaillements ; et que les événements du multiplet P sont associés à la rupture en traction de la faille. Ce type de rupture affecte en particulier la zone comprise entre le front et la faille. Les deux types de mécanismes sont présents d'après l'analyse de la modélisation numérique. De plus, la modélisation permet de préciser la localisation de chaque type d'activité. On note que malgré la simplicité de la simulation numérique, elle permet d'identifier le mécanisme à la source des événements sismiques induits par l'exploitation.

#### **4.2. Cas du panneau T03 de l'Arbois Nord**

Le panneau T03 a été exploité entre 1996 et 1998 sur une longueur de 1000m. Il est bordé par le panneau T02 dans sa deuxième partie, au-delà de 500 m d'avancement. Les voies correspondant à ce panneau sont les voies 25 et 27 (figure 4). Le cas du panneau T03 a tout d'abord, été modélisé avec le code 3DEC qui a nécessité un calcul relativement lourd. Une première étude a permis de définir l'arrêt final du panneau. La deuxième étude a été menée pour tenter de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre l'activité sismique et le comportement de la faille en fonction de l'avancement de la



taille. La simulation de l'exploitation en dix étapes a permis de suivre la rupture de la faille en fonction de l'avancement (figure 6).

#### 4.2.1 Modélisation numérique

La faille prise en compte, dans ce cas, intercepte la voie 27 au PM 5800 et traverse le panneau T03 jusqu'au PM 5500. Cette faille est orientée 15° NO. Nous avons considéré les hypothèses suivantes : l'extension horizontale de la faille est supposée égale à 1000m. Cette extension est basée sur l'observation lors de l'exploitation et du creusement de la voie 29.

L'extension verticale est considérée égale à 400 m soit 200m au toit et 200m au mur de la veine de charbon.

##### Caractéristiques géomécaniques du terrain et de la faille

On a adopté pour ce cas les mêmes données géomécaniques, pour le massif et pour la faille, que celles utilisées dans le cas de la modélisation de la taille T02.

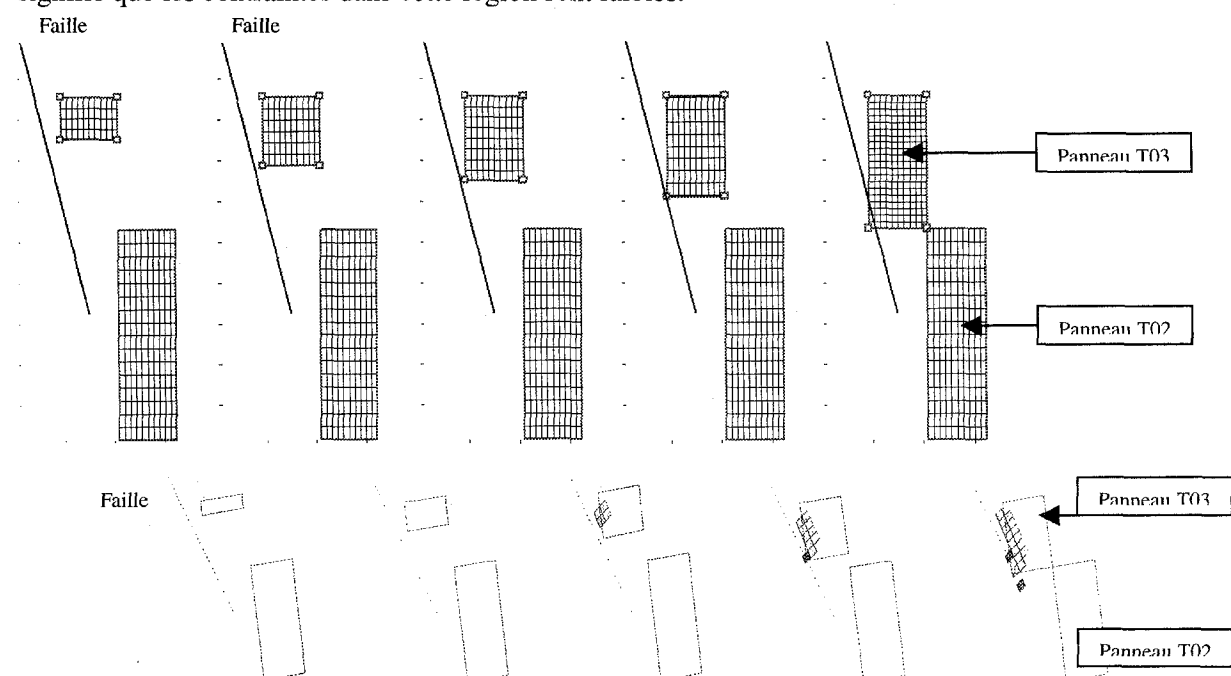
##### Résultats de la modélisation

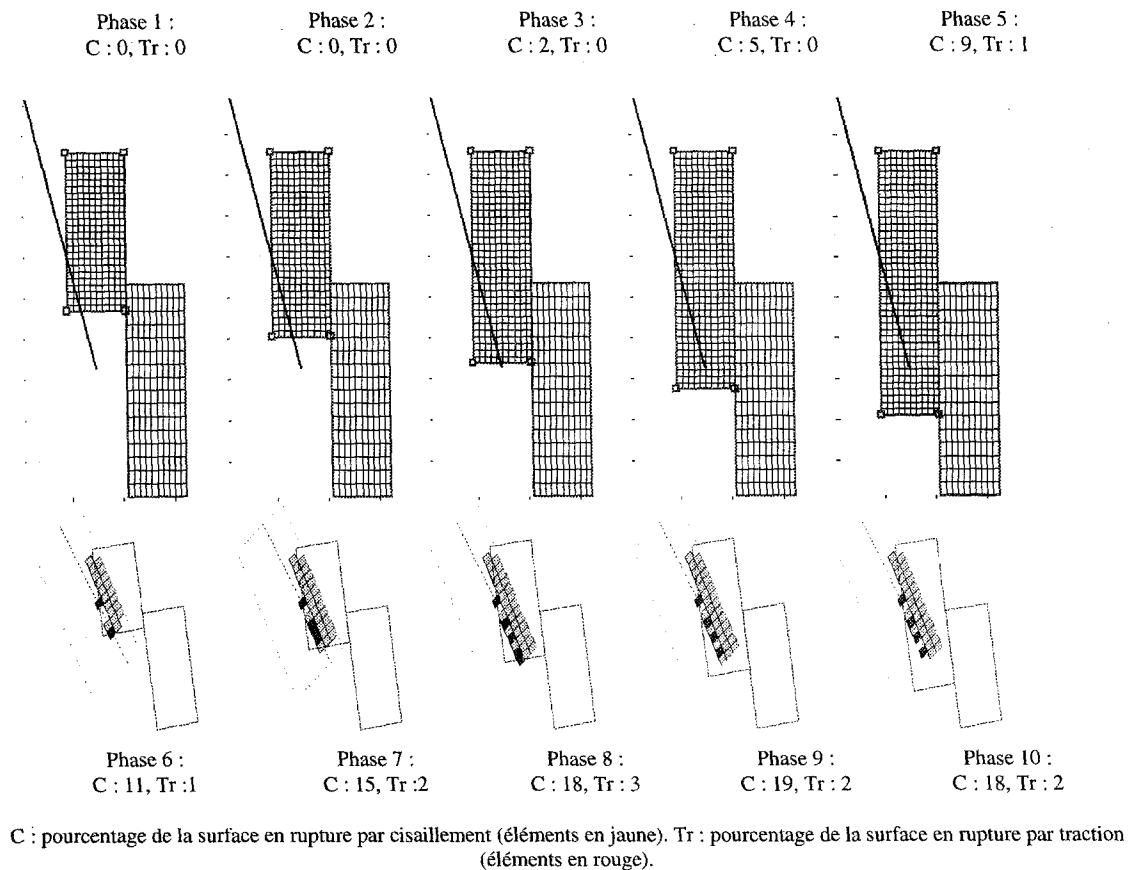
La zone de rupture apparaît au toit de la veine de charbon (figure 8). Cette partie correspond à une zone détendue par l'exploitation donc à une diminution de la contrainte normale. En revanche, la partie de la faille au mur de la couche se trouve dans une zone presque vierge sans l'influence des contraintes induites par l'exploitation.

La localisation des zones en rupture par cisaillement n'apparaît que lorsque la faille se trouve au milieu du panneau. Dans ce cas, la détente est plus importante et la contrainte normale est en traction au lieu d'être en compression.

Les premières ruptures en cisaillement apparaissent après 300 m d'avancement, ce qui correspond à la configuration d'une faille très proche du panneau. Avant cette distance, aucun élément ne rentre en rupture. L'évolution est presque linéaire jusqu'à 800 m d'avancement. A cette distance, 30 éléments soit 16% de la surface de la faille sont en rupture. Au-delà de cette distance, l'évolution de la rupture s'arrête.

La rupture due à la détente totale (traction) apparaît plus tard et elle ne concerne qu'une partie de la surface de la faille (5 éléments au total). Deux éléments passent d'un mode de rupture à un autre, cela signifie que les contraintes dans cette région sont faibles.





*Figure 8. Evolution des zones de la faille en rupture en fonction de l'avancement du panneau T03*

#### **4.2.2. Analyse de l'activité microsismique**

Après l'exploitation de ce panneau, on dispose des données précises de l'activité sismique liée à ce panneau. Dès l'approche de la faille du front d'exploitation du panneau T03, l'activité sismique s'est intensifiée avec l'apparition d'événements sismiques de forte magnitude (magnitude > 2,5). Ces événements de forte magnitude constituent une population de 201 événements.

##### Recherche automatique des doublets et localisation relative

La recherche des doublets ou des multiplets est effectuée à partir de cette population de 201 événements de magnitude supérieure à 2,5. Parmi cette population, un multiplet de 46 événements a été détecté. Les événements de ce multiplet ont fait l'objet d'une localisation relative (figure 9). On observe que les foyers localisés par la localisation relative se regroupent dans une zone restreinte, sans dessiner de structure particulière, les événements ne s'alignent pas dans la direction de la faille.

Le traitement des signaux montre qu'il existe une population importante d'événements sismiques de forte magnitude qui est associée au même mécanisme de rupture. Toutefois, le rôle de la faille dans la genèse de ces événements est complexe. Il semble que le mécanisme à la source de ces événements sismiques n'est pas associé uniquement aux mouvements de cisaillement de la faille observés dans le chantier.

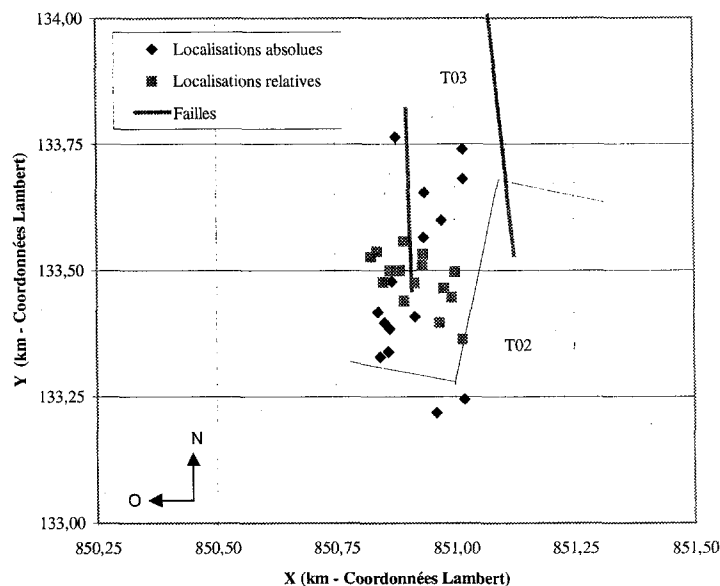


Figure 9 : Localisations absolue et relative du multiplet de la taille 03

#### 4.2.3. Comparaison de l'activité sismique et comportement de la faille

Nous avons représenté sur le même graphe l'activité sismique et le nombre d'éléments qui sont en rupture, soit par traction, soit par cisaillement (figure 10). La progression de l'activité sismique cumulée en fonction de l'avancement et de la rupture par cisaillement se décompose en trois phases :

- phase 1, entre 0 et 450 m d'avancement de la taille, caractérisée par une faible activité sismique et l'absence de rupture le long de la faille ;
- phase 2, entre 450 et 750 m d'avancement de la taille, caractérisée par une activité importante et une évolution des zones en rupture ;
- phase 3, entre 750 et 1000 m, caractérisée par une diminution de l'activité sismique et sans évolution des zones en rupture de la faille.

On observe que l'activité sismique diminue progressivement et se stabilise après 800 m d'avancement cumulé. Pendant cette période, aucun changement sur le plan de la faille n'a été observé.

En ce qui concerne l'activité sismique liée à la détente complète, elle doit être plus tardive car la rupture par traction démarre plus tardivement, à une distance supérieure à 400 m d'avancement cumulé.

Cette analyse permet de constater la bonne corrélation entre l'activité sismique enregistrée pendant l'exploitation du panneau T03 et le nombre des éléments en rupture. Les mécanismes de rupture de la faille sont obtenus malgré l'absence des données mécaniques de la faille. En revanche, l'amplitude des phénomènes observés et leur localisation en dépendent.

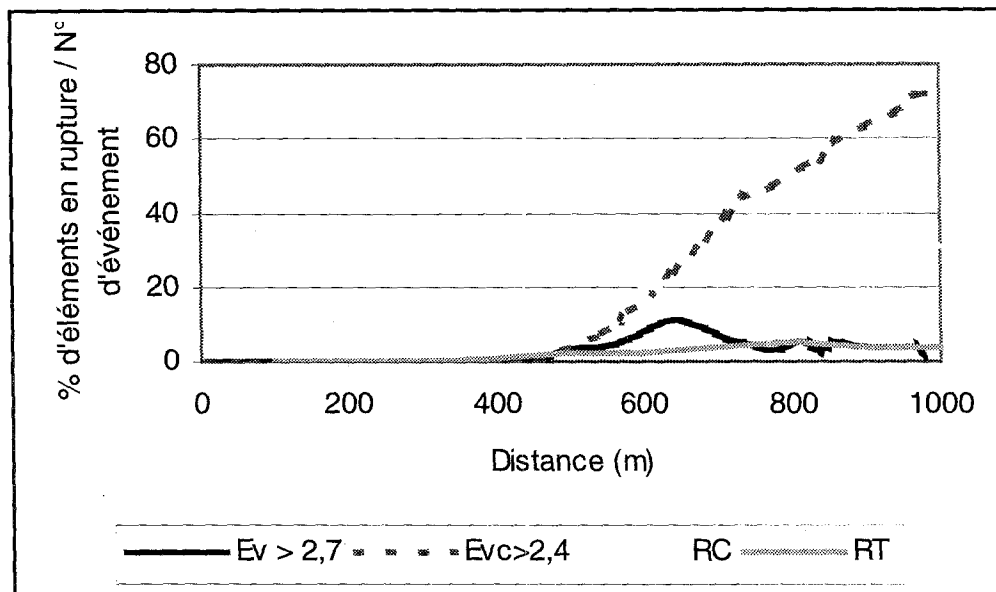
### 5 - Conclusions

La mine de Provence dispose actuellement des moyens techniques pour la planification des chantiers et pour améliorer la prévention des phénomènes dynamiques. La méthode de prévision, basée sur la modélisation numérique, intègre de manière simple tous les facteurs liés à l'apparition des phénomènes dynamiques. Le code FAULT3D est destiné à la planification des chantiers par l'exploitant.

La surveillance microsismique permet de suivre l'exploitation et d'identifier des indicateurs d'un risque de phénomène dynamique. La mise en œuvre des techniques avancées de traitement des données microsismiques a permis d'identifier les mécanismes de rupture responsables de l'activité sismique

induite par l'exploitation. Ces techniques permettent de détecter des populations d'événements associées au même mécanisme de rupture et de déterminer l'influence d'une faille dans l'apparition des événements.

L'application des techniques de modélisation numérique et d'écoute microsismique sur un cas et à partir d'une rétro analyse a permis de valider l'approche méthodologique. Actuellement la modélisation numérique est utilisée pour le dimensionnement des panneaux. L'activité sismique permet de vérifier et d'ajuster la planification grâce au suivi permanent des chantiers.



*Evc* : événements cumulés de magnitude supérieure à 2,4 ; *Ev* : nombre d'événements de magnitude supérieure à 2,7  
*RC* : nombre d'éléments en rupture par cisaillement ; *RT* : nombre d'éléments en rupture par traction.

Figure 10. Evolution de l'activité sismique et des zones en rupture en fonction de l'avancement de la taille T03

## Bibliographie

- Ben Slimane K. Revalor R. et Al Heib M. (1990) : Seismic Monitoring : A Help in the planing of mine layouts in French coal mines subject to rockbursts. ISRM International Symposium « Static and dynamic consideration in rock Engineering » SWAZILAND, Septembre 90.
- Dodo Amadou A. 1993 . Sismologie appliquée à l'étude du comportement de la roche. Mise en œuvre de la méthode des doublets. DEA de Génie Civil et Minier, INPL.
- Hupé C. (1999) ; *Identification des mécanismes de rupture des événements micro sismiques induits : approche méthodologique*. Thèse présentée devant l'Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Hupé C., Senfaute G., Pigué J.P., Derrien Y. (1999) ; Une méthodologie pour l'identification des mécanismes de rupture associés aux événements micro sismiques en milieu minier. Pure and Applied Geophysics (à paraître).
- Linkov A.M., Zoubkov V.V. et AL Heib M., *Computer aided in analysis of stressed state and rockburst hazard in veins and coal seams influenced by faults*
- Senfaute G., Chambon C., Bigarre P., Guise Y., Josien J.P. (1997) ; *Spatial Distribution of Mining Tremors and the Relationship to Rockburst Hazard*. Pure and Applied Geophysics. Vol 150 Birkhäuser Verlag, Basel.
- Senfaute G., Al Heib M., Josien J.P., Noirel J.F. (1999) ; *Detection and monitoring of high stress concentration zones by numerical and microsismic methods*. 9<sup>th</sup> International Congress on Rock Mechanics, Paris – France, à paraître.
- Sylla M. 1997. *Prise en compte des failles par un modèle 3D par la méthode des discontinuités de déplacement, développement et application*. DEA. INPL – Ecole des Mines de Nancy.

