



**HAL**  
open science

## Elaboration et utilisation d'un modèle représentatif pour optimiser le soutènement des galeries minières profondes

A. Mimoun, Alain Thoraval, Jack-Pierre Piguet

### ► To cite this version:

A. Mimoun, Alain Thoraval, Jack-Pierre Piguet. Elaboration et utilisation d'un modèle représentatif pour optimiser le soutènement des galeries minières profondes. Colloque scientifique EC'97 Prix René Houpert, May 1997, Strasbourg, France. ineris-00972089

**HAL Id: ineris-00972089**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00972089>**

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.

# Elaboration et utilisation d'un modèle représentatif pour optimiser le soutènement des galeries minières profondes

A.Mimoun, A.Thoraval, J.P.Piguet

Laboratoire Environnement Géomécanique & Ouvrages, INERIS  
Ecole des Mines de Nancy.

## Résumé

L'utilisation d'une même galerie pour desservir deux chantiers d'exploitation présente des avantages économiques évidents. A forte profondeur cependant, le comportement des voies se dégrade et le soutènement habituellement mis en oeuvre n'est pas toujours bien adapté. La combinaison des mesures in situ et de la modélisation numérique a permis de déterminer les mécanismes principaux de déformation de ces voies. Sur cette base, deux modifications de leur soutènement ont été testées numériquement à l'aide du logiciel UDEC.

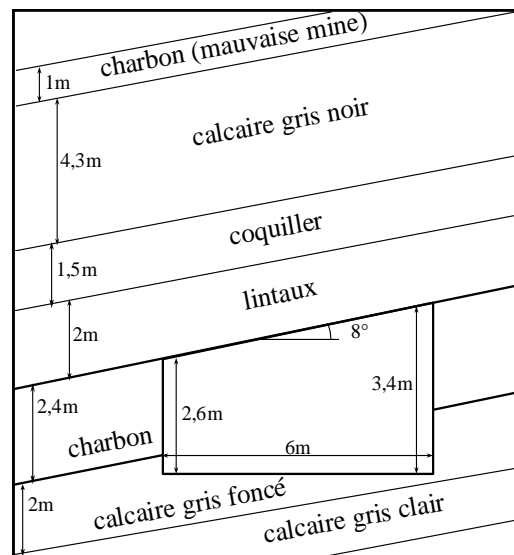
## Abstract

The use of a same roadway to serve two workings allows to reduce the mining costs. However, at great depth, the roadways behavior become bad and their treatment have to be adapted. In-situ measurements and numerical modelling have allowed to understand the main deformation mechanisms. On this base, treatment modifications have been tested using UDEC code.

## 1. Présentation du chantier d'exploitation

Le chantier d'exploitation du charbon est celui de l'U.E.Provence. La structure géologique du gisement est constituée d'un synclinal asymétrique. Au centre du gisement dans la partie exploitée, le pendage des couches est relativement faible (une dizaine de degrés). La profondeur de l'exploitation est voisine de 1100 m.

L'ouverture de la couche exploitée, varie entre 2 et 3 m. La composition des couches reste constante sur l'ensemble du gisement (fig.1). Le charbon est exploité par la méthode des longues tailles (fig.2). La bonne tenue des terrains au toit de la



couche exploitée a permis jusqu'à présent la réutilisation de l'ancienne galerie de base comme galerie de tête pour le

fig.1: Coupe lithologique du gisement  
*Lithologic section of mine*

nouveau panneau et d'éviter ainsi de recreuser une nouvelle voie. Les mesures des contraintes réalisées dans le chantier qui nous intéresse ici, ont montré que la contrainte verticale est assez proche du poids des terrains sus-jacents ( $\sigma_v = 27$  MPa). On observe une anisotropie des contraintes dans le plan horizontal, la contrainte majeure étant perpendiculaire à l'axe de la voie ( $\sigma_H = 40$  MPa et  $\sigma_h = 20$  MPa) (Gaviglio et al., 1996).

Le soutènement mis en place au creusement des galeries est constitué de boulons de 2,2 m résinés sur 1 m de longueur (avec une densité de 1 boulon par  $m^2$ ). Avant le passage du front de taille (200 m en avant), on met en place 2 boulons supplémentaires de 4 m de longueur ainsi que des cadres métalliques (soutènement porteur). Après le passage du front, on installe une double rangée de piliers de bois constitués de traverses entrecroisées de 1.1m x 1.1m entre la voie et la partie exploitée (fig.3).

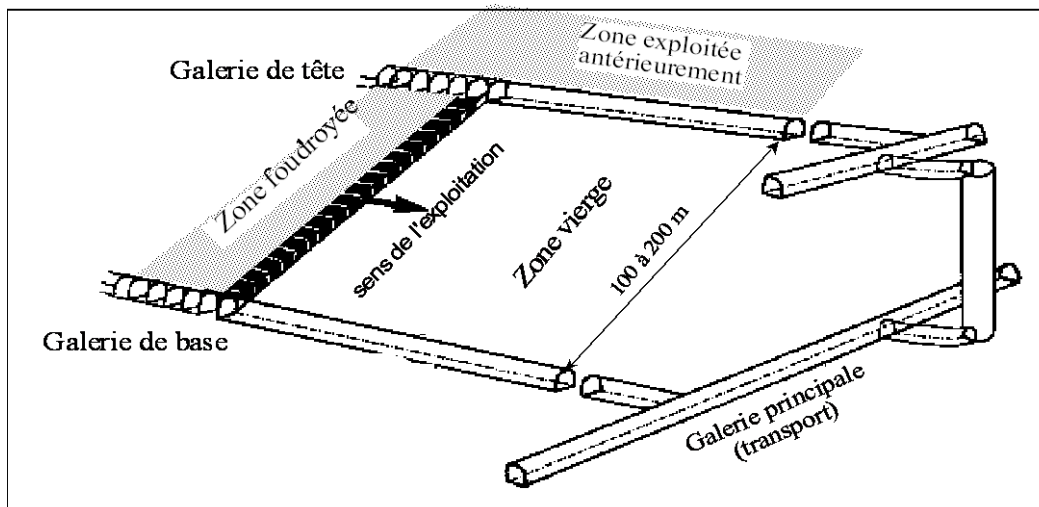


Fig.2 : Principe de la méthode d'exploitation par longue taille  
*Longwall mining method*

## **2. Description des mécanismes de déformation dans la voie**

### **2.1. Observations au fond**

Avant le passage du front de taille, on observe une déconsolidation du toit qui favorise le détachement de blocs. Au moment du passage du front, la convergence s'accroît, de nombreux boulons sont alors proches de la rupture en extension (déformation visible des plaques). Un basculement du toit est observé tout le long d'une fracture

subverticale induite par l'exploitation, située du côté non exploité de la galerie (côté vierge).

## 2.2. Présentation de la campagne de mesures

Une campagne de mesures a été entreprise dans le chantier avec pour objectif de préciser l'évolution du comportement de la voie au cours du passage de la taille. On a réalisé des mesures de convergence, d'expansion, de basculement du toit ainsi que des mesures de pression dans le parement aval et dans les piliers de bois (fig.3).

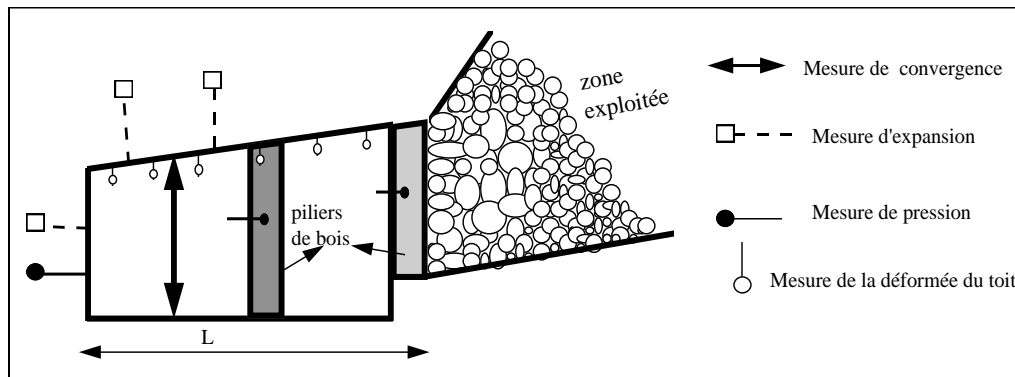


Fig.3 : Instrumentation réalisée dans la galerie (section transversale)  
*Monitoring station in the gallery*

## 2.3. Elaboration d'un modèle représentatif

Les mesures in situ ne permettaient que de décrire ce qui était accessible à l'investigation. Pour favoriser une meilleure compréhension des mécanismes mis en jeu au sein même des terrains, on a cherché à élaborer un modèle numérique tridimensionnel (à l'aide du logiciel **3DEC**) (Thoraval, 1996). Le modèle a permis d'introduire les principaux joints de stratification, de tenir compte des différentes phases d'exploitation et le traitement des galeries après le passage du front de taille.

## 2.4. Résultats

On constate sur la figure 4 que les évolutions des convergences mesurées et calculées sont proches. La convergence au passage du front de taille dans les deux cas varie entre 300 et 400 mm. Cette convergence atteint après le passage du front 1000 mm environ.

La figure 5 donne l'évolution de la déformée du toit (basculement) en fonction de la position du front de taille. Avant le passage de la taille, le basculement se produit vers les terrains vierges. Après le passage du front, le basculement s'inverse et s'exprime au côté du vide exploité.

Les fortes convergences constatées dans la voie sont préjudiciables à l'avancement normal de la taille

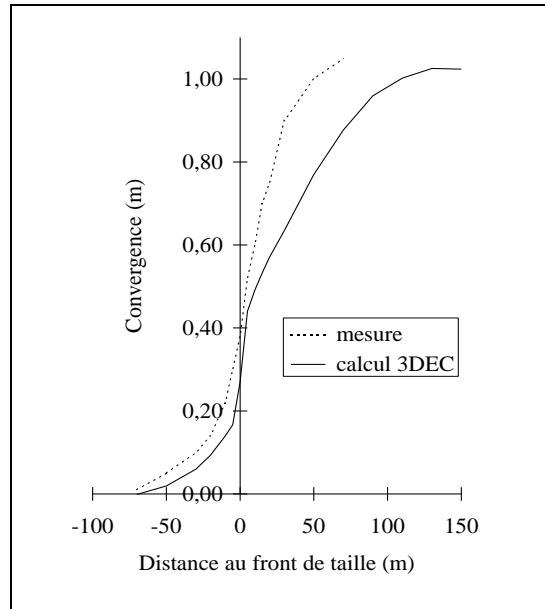


Fig.4 : Evolution de la convergence dans la galerie  
*Convergence evolution of the gallery*

L'analyse des mécanismes montre que les convergences proviennent à la fois d'une mise en charge des deux côtés de la voie et du basculement du toit. Une réduction de la convergence pourrait donc être obtenue en diminuant la largeur L de la galerie après exploitation (cf.fig.3) en supprimant une des deux rangées de piliers de bois en bordure de la zone exploitée et en mettant en place un boulonnage supplémentaire du côté non exploité de la galerie.

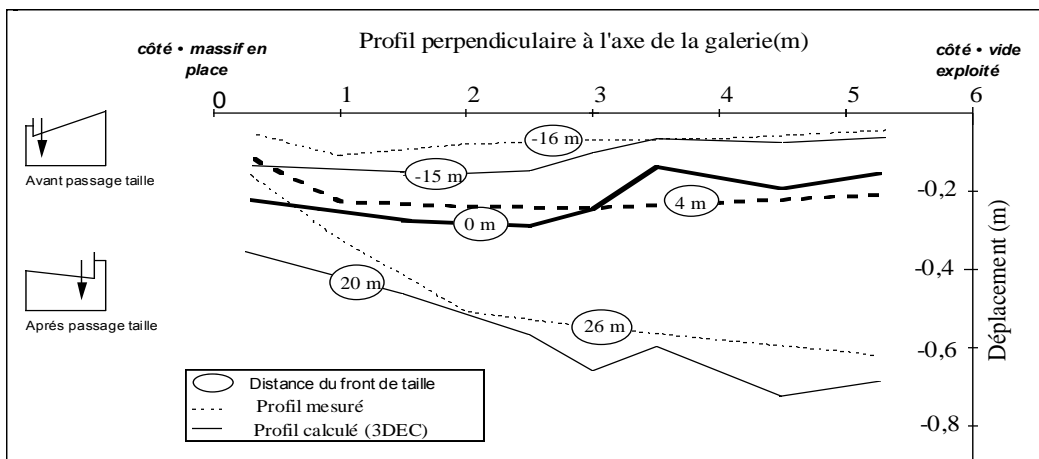


Fig.5 : Evolution de la déformée du toit de la voie au passage de la taille

### **3. Amélioration du modèle prédictif**

La durée très importante des calculs pour le modèle tridimensionnel (deux mois de calcul au minimum pour une simulation), ne permet pas de tester rapidement de nouvelles modalités de soutènement de la voie. Nous avons donc recherché une méthode permettant de simuler, en 2D, le passage de la taille, en modélisant le foudroyage par un déconfinement progressif des terrains. Cette méthode est similaire à celle utilisée en génie civil pour le creusement des tunnels (Panet,1995).

Toute l'histoire de la voie a donc ainsi été simulée, depuis son creusement jusqu'à l'abattage. La modélisation se déroule en trois étapes : le creusement de la galerie ; l'influence du front de taille avant puis après son passage.

- *Phase 1: Modélisation du creusement de la voie*

Pour modéliser en 2D la progression du creusement, nous nous sommes basés sur une solution analytique qui revient à simuler la contribution du front en appliquant une pression de confinement décroissante sur le pourtour de la galerie. Le modèle a été calé une première fois à partir des mesures de déformation réalisées au creusement, en ajustant les modules de déformabilité des terrains et les seuils de plasticité.

- *Phase 2: Modélisation des effets de l'approche du front de taille:*

Pour simuler les effets de la surcontrainte qui précède le front de la taille, on applique une surcontrainte verticale sur la partie supérieure du modèle, côté taille (valeur maximale appliquée :  $2,5 \sigma_v$ )

-*Phase 3: Modélisation de l'influence de la taille après passage*

Les deux rangées de piliers sont introduites du côté amont de la voie. Le foudroyage dans la taille est simulé par un déconfinement progressif du toit et du mur de la taille (fig 6).

On simule également la dégradation progressive des terrains du toit par une fracturation (naturelle ou induite). Le schéma de dégradation a été choisi pour se rapprocher des déformations mesurées au passage du front de la taille (deuxième calage).

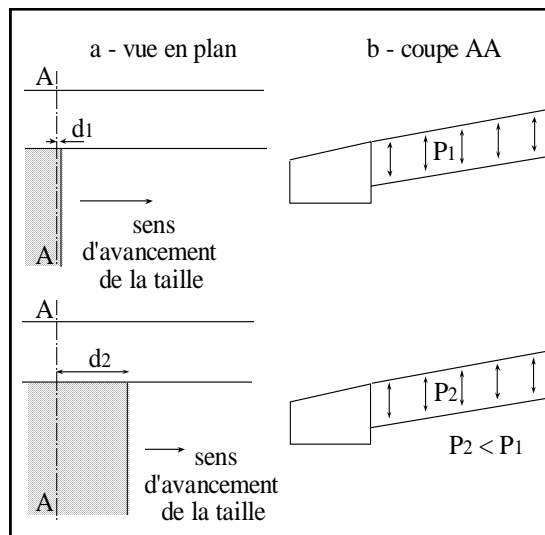


Fig.6 :Simulation du déconfinement  
*Modelling of destressing*

### 3.1. Modélisation du traitement actuel (modalité 1):

Les mécanismes restitués sont : le rejet de la fracture subverticale apparaissant en bordure aval de la galerie; le décollement de certains bancs de stratification au toit de la voie et la dislocation des blocs au toit et au mur de la taille exploitée(fig.7).

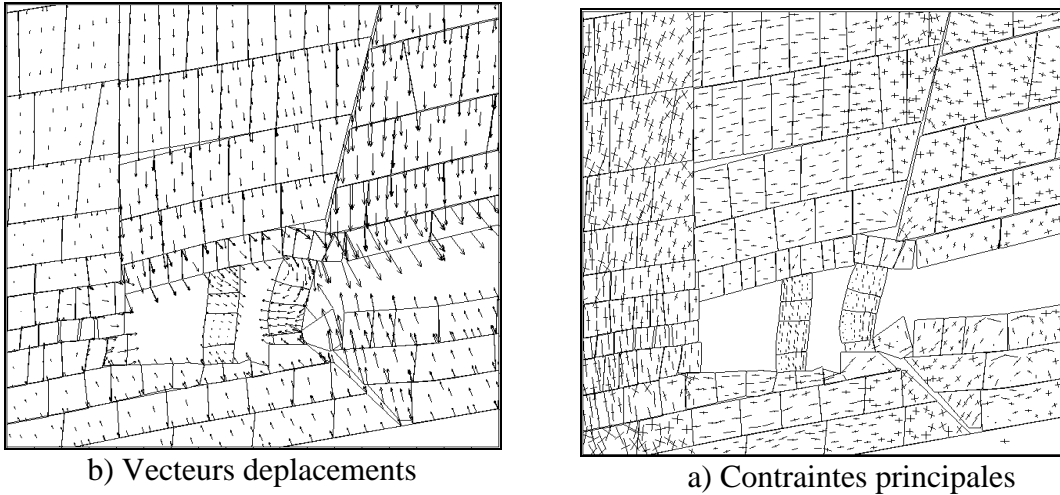


Fig.7 : Mécanismes restitués par le modèle  
*Mechanism simulated by the model*

Les déplacements dans la galerie induits par la surcontrainte verticale précédant l'arrivée de la taille ( phase 2) restent inférieurs à 200 mm.

On a établi, à partir des valeurs mesurées, une relation entre la pression de confinement imposée et la distance du front de taille (Thoraval, 1997) qui permet de retrouver la tridimensionnalité du problème.

La figure 8 donne l'évolution des convergences dans la voie ainsi que le rejet de la fracture subverticale. Le rejet maximum calculé (0,35 m) est atteint très rapidement après le passage du front de taille.

La figure 9 montre que les contraintes verticales maximales sont de 12 MPa dans le pilier situé au milieu de la voie et de 6 MPa dans le pilier en bordure. Ces valeurs sont proches des valeurs mesurées in situ, soit respectivement 14 MPa et 8 MPa (Thoraval, 1996).

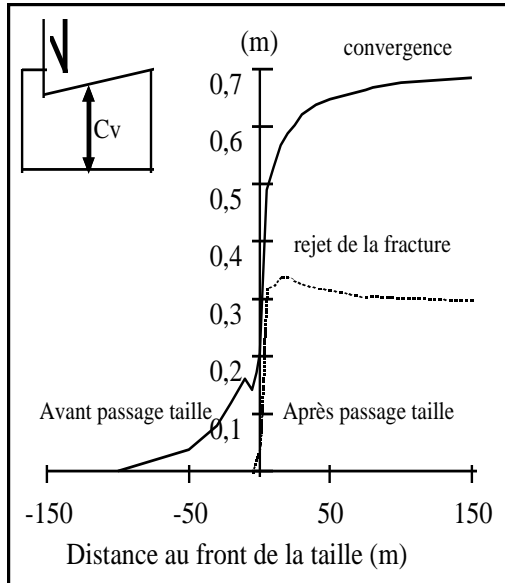


Fig.8 : Evolution de la convergence et du déplacement du toit . *Evolution of the gallery convergence*

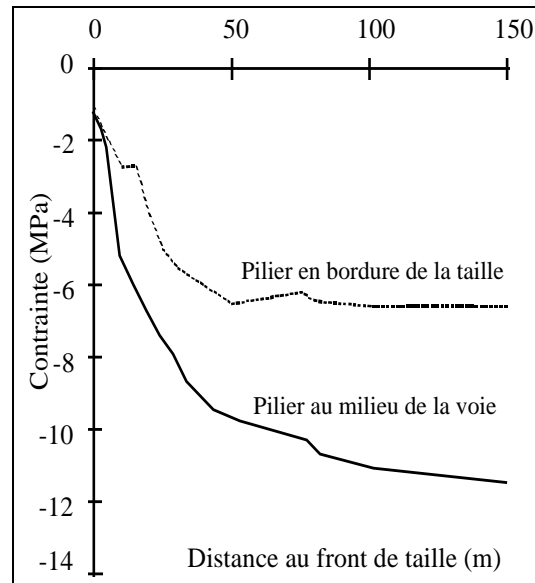


Fig.9 : Evolution de la contrainte verticale dans les piliers  
*Evolution of the vertical stress in the pillar*

#### **4. Proposition pour une modélisation du comportement de la galerie:**

Le modèle étant désormais calé, il est possible de l'interroger pour tester des modifications du traitement des galeries en vue d'améliorer leur comportement. Deux modalités supplémentaire ont été simulées.

##### **4.1. Suppression de la rangée des piliers en bordure (modalité 2)**

Afin de minimiser la convergence dans la voie, on a proposé de réduire la largeur  $L$  de la galerie après exploitation en supprimant la rangée des piliers qui est en bordure de la voie. La figure 10 montre que la convergence calculée diminue d'environ 7 % lorsque l'on enlève cette rangée de piliers. La différence est plus importante pour le rejet de la fracture subverticale qui diminue d'environ 30 %.

##### **4.2. Mise en place des câbles cimentés du côté aval de la voie (modalité 3)**

Afin de réduire le basculement du toit de la galerie, on a proposé de mettre en place tous les mètres de voie 2 câbles cimentés (de type "double-birdcage cablebolt") de 5 à 7 m de long, orientés à  $60^\circ$  environ vers le parement du coté non exploité.



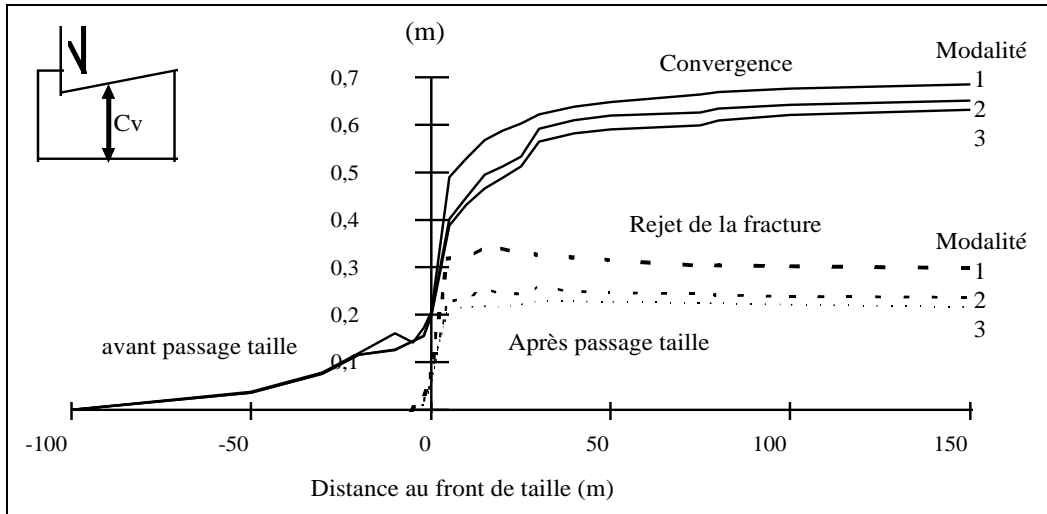


Fig.10 : Déplacement du toit pour les trois modalités  
*Roof displacement for the three modalities*

Les caractéristiques des câbles sont les suivantes : module d'Young de l'acier = 210 GPa ; densité = 80 kN/m<sup>3</sup> ; résistance à la traction (limite élastique) = 600 kN ; déformabilité maximale = 20 % ; raideur tangentielle du scellement = 40 MN/m/mètre de câble ; cohésion du scellement = 3 MN/mètre de câble.

Les figures 11 et 12 donnent respectivement l'évolution des forces et des déformations axiales dans les câbles. Les valeurs maximales sont atteintes au niveau de l'intersection avec la fracture subverticale (points A et B).

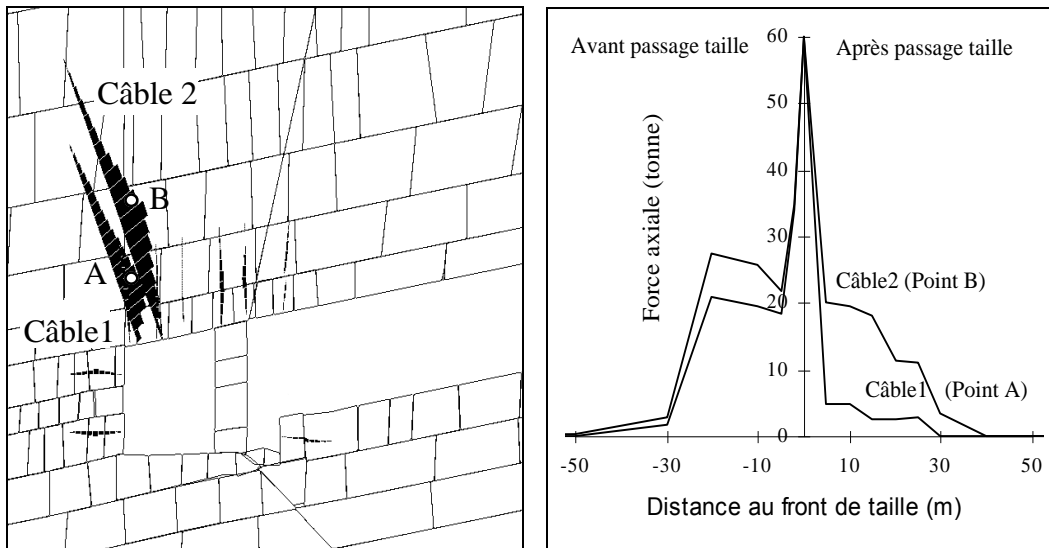


Fig.11 : Evolution de la force axiale dans les câbles  
*Evolution of cable axial force*

On constate une brusque augmentation de la force axiale dans les câbles au moment du passage de la taille. La force axiale chute ensuite rapidement jusqu'à s'annuler après le passage du front. La déformation axiale des câbles diminue

légèrement immédiatement après le passage du front de taille (part élastique de la déformation précédente) puis reste quasiment constante (part plastique irréversible de la déformation)

La mise en place de 2 câbles cimentés côté aval de la voie (modalité 3) contribue à diminuer de 5% la convergence dans la voie et de 12% le rejet de la fracture subverticale.

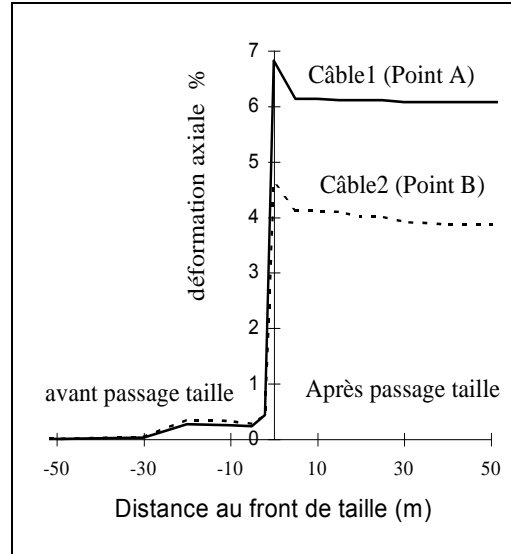


Fig.12 : Evolution de la déformation axiale des câble

*Evolution of cable axial deformation*

#### 4. CONCLUSIONS

Une campagne de mesures réalisée in situ a permis de décrire le comportement des terrains autour d'une voie de taille à forte profondeur (1100 m). Les mécanismes de dégradation ont été clairement identifiés, tels que l'apparition d'une fracture subverticale au toit, côté vierge de la voie, le basculement du toit le long de cette fracture et l'écrasement des piliers au passage de la taille. Ces phénomènes ont été bien restitués par un modèle représentatif tridimensionnel réalisé avec **3DEC**.

Dans le but de tester plus rapidement les effets d'une modification du traitement d'une voie, un modèle bidimensionnel **UDEC**, prenant en compte la tridimensionnalité du problème (avancement de la taille) a également été mis au point. Son utilisation a montré que la diminution de la largeur de la voie après exploitation, induit une diminution des convergences, ainsi qu'une diminution du basculement du toit.

La mise en place de deux câbles du côté aval de la voie réduit encore davantage le basculement. Le modèle prévoit une mise en charge importante des câbles durant une phase assez courte qui s'interrompt après le démarrage du foudroyage.

**Remerciement :** Cette étude a été réalisée à la demande de l'U.E. Provence qui nous a fournis les données nécessaires et participé pleinement à la réflexion sur l'amélioration du soutènement des voies.

**Bibliographie**

Gaviglio P. et al, (1996) : *Measurements of natural stresses in a Provence mine*, Engineering Geology 44 (1996), pp 77-92.

Thoraval A., (1996) : *Traitement des voies au passage de taille à grande profondeur*, INERIS, convention CECA n° 7220-AB/313, 105 p.

Panet M., (1995) : *Le calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement*, ouvrage édité par Presse de l'école des Ponts et Chaussées, 177 p.