La planification des travaux miniers assistée par des modèles prévisionnels des états de contraintes dans les massifs rocheux

Marwan Al Heib, Jack-Pierre Piguet, J.F. Noirel, Jean-Pierre Josien, A.M. Linkov

▶ **To cite this version:**

Marwan Al Heib, Jack-Pierre Piguet, J.F. Noirel, Jean-Pierre Josien, A.M. Linkov. La planification des travaux miniers assistée par des modèles prévisionnels des états de contraintes dans les massifs rocheux. 11. Colloque Franco-Polonais en Mécanique des Sols et des Roches, Sep 1996, Gdansk, Poland. ineris-00971985

HAL Id: ineris-00971985
https://ineris.hal.science/ineris-00971985

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.

La Planification des Travaux Miniers Assistée par des Modèles Prévisionnels des Etats de Contraintes dans les Massifs Rocheux

M. AL HEIB, J.P. PIGUET : Laboratoire de Mécanique des Terrains - Ecole des Mines de Nancy.
J.F. NOIREL : Charbonnages de France - Houillères du Bassin de Lorraine.
J.P. JOSIEN : INERIS - Verneuil-en-Halatte,
A. LINKOV : Russian Academy of Science - Saint-Petersbourg.

Résumé

L'évaluation de ce que l'on a coutume d'appeler "pressions de terrains", et de leurs conséquences sont devenues de la plus grande importance, dans les exploitations européennes de charbon, à couches multiples, de plus en plus profondes et affectées par des conditions tectoniques sévères. Les principes du calcul des contraintes induites par les travaux d'exploitation ont été révisés grâce aux développements de la modélisation numérique, associés avec les performances permises aujourd'hui par les outils informatiques. Un code de calcul a été développé en collaboration avec l'institut de recherche sur les études géomécaniques et géologiques de Saint-Petersbourg. Il permet de calculer le champ de contraintes autour d'exploitations mono ou multicouches, en trois dimensions, en utilisant les principes de la méthode des éléments frontières (discontinuités de déplacement). Il permet d'intégrer, sans limitations, l'ensemble des panneaux influençant un secteur donné et se caractérise par l'interactivité, la facilité d'emploi et de lecture des résultats.

Des applications à des exploitations des charbonnages français sont présentées et montrent les avantages de cette méthode pour la planification des travaux futurs, qui doivent être dimensionnés pour obtenir la meilleure sécurité d'exploitation, malgré la difficulté et la complexité des conditions.

1. INTRODUCTION

La planification des travaux d'exploitation tient compte de nombreux facteurs liés à l'organisation des chantiers, à la ventilation et aux pressions de terrains. Avec l'approfondissement des exploitations, les pressions de terrains deviennent l'un des principaux paramètres qu'il convient de maîtriser, particulièrement dans des zones influencées par d'ancienne exploitations (AL Heib, 1993). La réalisation d'un projet d'exploitation nécessite une étude géotechnique des conditions naturelles pour la planification des travaux. Cette étude doit comprendre :

- une étude géologique détaillant l'environnement tectonique, la présence des structures telles que failles, plis, ...
- une analyse détaillée des carottes de sondage du toit, et du mur et de la couche exploitée. Des essais mécaniques sont recommandés pour connaître la ou les lois de comportement de la roche sous divers sollicitations.
- la réalisation de mesures des contraintes naturelles.

Par ailleurs, la maîtrise des pressions de terrains passe par l'expérience acquise complétée par des études spécifiques pour des nouvelles situations. La modélisation numérique est de plus en plus employée à la fois dans la phase d'élaboration du projet et pendant l'exploitation. Elle aide à la compréhension des mécanismes qui surviennent autour des ouvrages existants (rétro-analyse) et contribue à la planification des nouveaux chantiers. Pour répondre à cet objectif, différents types de modèles sont disponibles, chacun d'eux permettant de simuler un phénomène physique.

La démarche de modélisation consiste donc à choisir le ou les modèles adaptés, à partir de l'analyse des phénomènes les plus importants dans le comportement observé ou attendu de l'ouvrage. Cette démarche qui a été mise au point pour la conduite de l'exploitation montre que ces techniques peuvent être maintenant **opérationnelles**.

2. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU TRACAGE ERNA 3

L'Unité d'Exploitation Vouters des HBL exploite à l'étage 1250 la veine Cécile 1SE et prépare le

panneau en veine Erna 3. Ces chantiers se situent dans le compartiment central limité par les failles Dora et Reumeux (figure 1). Le traçage d'Erna 3 à l'étage 1250 a été démarré après l'exploitation de 20 m du panneau Cécile 1250. La veine Cécile est une veine de faible puissance (2.5 m) dont l'exploitation a pour principal objectif la détente des autres veines exploitées au toit et au mur. La veine Erna 3 a un toit constitué de grès fins. En revanche, son mur est constitué de charbon, de schistes et de grès avec des épaisseurs très variables et des caractéristiques géotechniques contrastées.

3. DESCRIPTION DU PHENOMENE

Un coup de charge d'une magnitude de 2, s'est produit dans le chantier de traçage d'Erna 3-1250, Aile Nord, le 23/11/95. Il se traduit par un soufflage de la sole entre les cotes à 120 m et à 210 m variant de 10 à 50 cm. Un glissement de la couche de charbon du mur vers la sole et le toit et un dégagement important de grisou ont été observés. Trois autres coups de charge ont été enregistrés après ce phénomène avec des magnitudes et des effets moins importants.
Des travaux dans le chantier ont été réalisés après l'incident (dégazage, remise en place du soutènement, renforcement, rabassannage de la zone soufflée). Des trous de détente ont été réalisés avant de démarrer le chantier et ensuite avec l'avancement du chantier.

4. COMPREHENSION DU PHENOMENE

Le caractère dynamique du soufflage du mur dans le traçage d'Erna 3 peut être dû à la présence au mur de bancs de caractéristiques géotechniques contrastées (sandwich charbon-grès). Les bancs les plus résistants servent d'armatures et freinent les déformations ; dans le cas d'un état de contrainte défavorable, la rupture des bancs raides ou le glissement à leur interface entraînent du rattrapage brutal de déformation. L'état de contrainte dans cette zone est lié :
- aux contraintes naturelles élevées qui ont été mesurées dans le compartiment central avant le début de l'exploitation dans cette zone (Revalor, 1985, figure 1).
- aux modifications des contraintes par les exploitations aux différents étages et en particulier dans le compartiment central.
- à l'interaction possible avec l'exploitation en cours dans la veine Cécile (figure 2).

Le traçage d'Erna avait été planifié selon les règles habituelles de façon que l'exploitation de Cécile n'influe pas sur le traçage. Ces règles ont été établies pour des profondeurs moins importantes et en l'absence des contraintes horizontales élevées (Enchayan, 1977).
Pour analyser le comportement de traçage d'Erna 3 Nord, deux types de modèle ont été réalisés. Le premier modèle est à grande échelle tenant compte de l'ensemble des panneaux exploités du compartiment central. Le deuxième modèle est à une échelle locale permettant d'analyser l'influence du panneau de Cécile sur le traçage d'Erna 3.

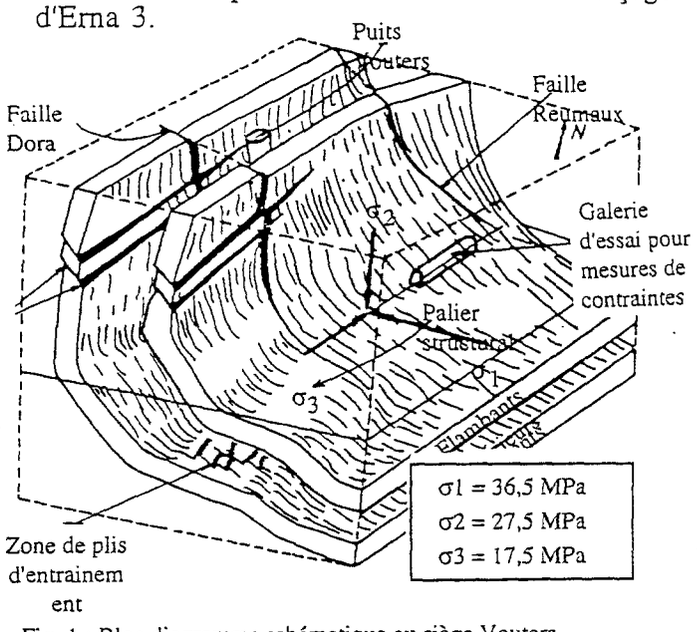


Fig. 1 : Bloc diagramme schématique au siège Vouters
Zone de mesures de contraintes

4.1 Modèle à grande échelle

L'INERIS, avec la coopération du **VNIMI**[1], a développé un code de calcul (**SUIT3D**) basé sur la méthode des éléments frontières (Discontinuité des Déplacement). Il s'applique aux problèmes liés aux calculs de pressions de terrains (contraintes-déformations) dans les cas des mines exploitées par la méthode des longues tailles foudroyées ou remblayées, et la méthode des chambres et piliers. Les paramètres nécessaires sont réduits au minimum et la géométrie de l'exploitation peut être modélisée en détail. Ce logiciel a été développé afin d'être utilisé par l'exploitant. D'autre part, ce code fonctionne sur **PC**, sous environnement **Windows 95 et NT**. Les résultats sont fournis sous forme de graphiques et d'iso-valeurs facilitant l'analyse des résultats. Un logiciel utilitaire a été conçu

[1] VNIMI : State Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying (Russie).

permettant l'utilisation de la géométrie à partir d'**Autocad.**

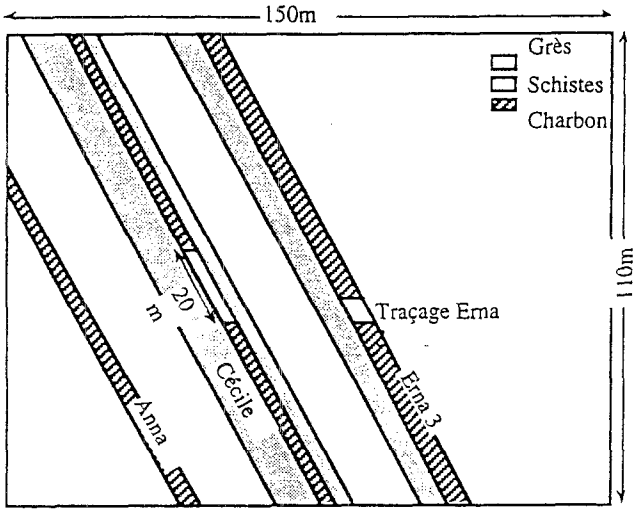


Fig. 2 : HBL - U.E. Vouters
Modèle réalisé avec CESAR-LCPC

Pour étudier la distribution des contraintes induites dans le chantier, nous avons réalisé un modèle à grande échelle avec SUIT3D qui prend en compte l'exploitation du compartiment central entre les failles Dora et Reumaux (figure 3). Les secteurs modélisés correspondent à : 1 SE, 2 SE, 1 NE, 2 NE, et 3 NE, des étages 686, 826, 1036 et 1250. D'autre part, les veines exploitées ont été regroupées pour simplifier le modèle en quatre groupes. Les dimensions du modèle sont 6000 m x 1200 m. Le toit et le mur sont considérés comme homogènes, isotropes. Les contraintes induites correspondent au tenseur mesuré à l'étage 1250. La distribution de la contrainte normale, au plan des veines, a été examinée dans le plan de la veine (Cécile, Erna 3). La figure 4 montre la distribution des contraintes normales au plan des veines, dans la zone du traçage Nord et Sud. L'Aile Nord, dans les premiers 100 m, traverse une zone très proche de l'état initial avec des contraintes dans un rapport inférieur à 1.10. Au fur et à mesure que le traçage approche le panneau de 1 NE - 1250, cette contrainte augmente dans les derniers 100 m, la contrainte varie entre 1.4 à plus de 1.5 fois la contrainte initiale (38,5 à 52,5 MPa), pratiquement deux fois la contrainte verticale initiale. La contrainte normale s'accroît rapidement lorsque l'on rapproche de la zone exploitée par les trois coupes de charge dans l'Aile Nord.

4.2 Modèle local à l'échelle du traçage

4.2.1 Présentation du modèle

L'objectif de la modélisation à l'échelle du traçage est d'éclairer le comportement mécanique des terrains, en particulier les observations au mur du traçage d'Erna 3, en fonction de la géométrie et de l'influence des contraintes initiales. Il s'agit d'étudier et préciser la zone d'influence de deux exploitations (le panneau de Cécile et le traçage d'Erna 3) en dressant par une modélisation numérique basée sur la méthode des éléments finis (CESAR).
La géométrie du modèle réalisé correspond à un modèle en deux dimensions d'une coupe verticale, parallèle au travers-banc. Les dimensions du modèle sont 150 m de large et 110 m de hauteur (figure 2). On a considéré le pendage des veines égal à 60° pour les trois veines.
D'après le mécanisme supposé du soulèvement brutal de la sole, le critère retenu pour analyser les résultats des calculs est la valeur des contraintes de cisaillement maximal susceptible de rompre l'équilibre entre les bancs du mur du traçage.

4.2.2 Résultats

Situation lors de l'événement

* Cas d'un tenseur initial : le calcul a été réalisé avec le tenseur mesuré à l'étage 1250. Les résultats analysés correspondent à la configuration d'une coupe à 227 m de TB où les déformations ont été maximales. La distance verticale entre les deux traçages est égale à 8 m et la distance orthogonale est égale à 24 m (figure 2). A cet endroit la distance orthogonale est la plus faible.
Les contraintes de cisaillement se développent au mur de la veine Erna 3 jusqu'à une profondeur égale à 18 m (figure 5). Cette zone, où la contrainte de cisaillement vaut deux fois le cisaillement initial, est beaucoup plus importante comparée à un traçage réalisé tout seul (hors influence de Cécile).

* Cas d'un tenseur induit : d'après le calcul réalisé à grande échelle avec SUIT3D, la zone affectée du traçage est soumise à un régime de contraintes plus important que les contraintes initiales. Les calculs avec un tenseur plus important montrent que la zone de forts cisaillements se développe davantage. Le cas d'une contrainte horizontale de 1,5 fois la contrainte initiale est le plus critique en terme de contrainte de cisaillement. Le mur de la veine Erna 3 est sollicité par de fortes contraintes de

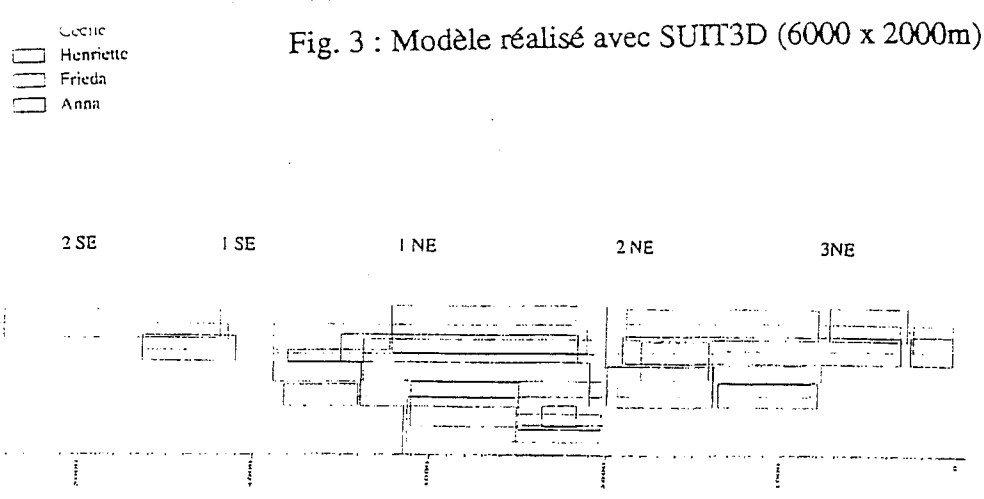
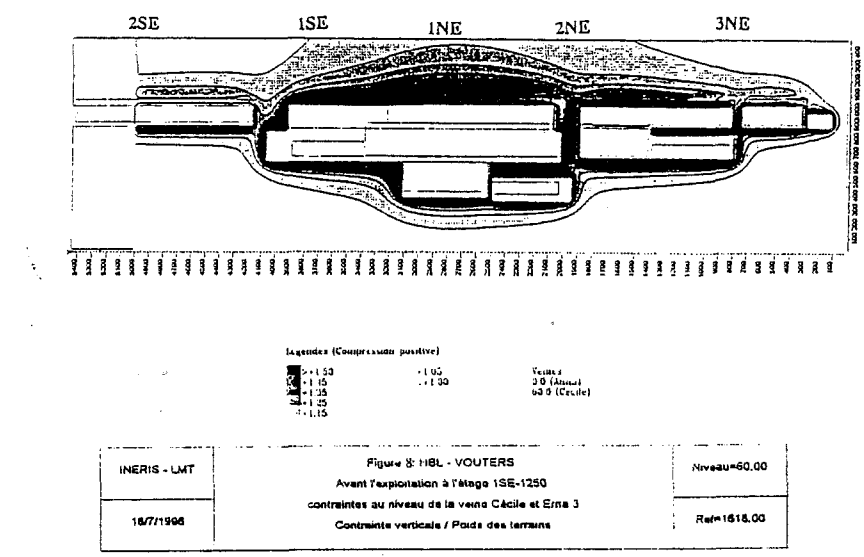


Fig. 3 : Modèle réalisé avec SUIT3D (6000 x 2000m)



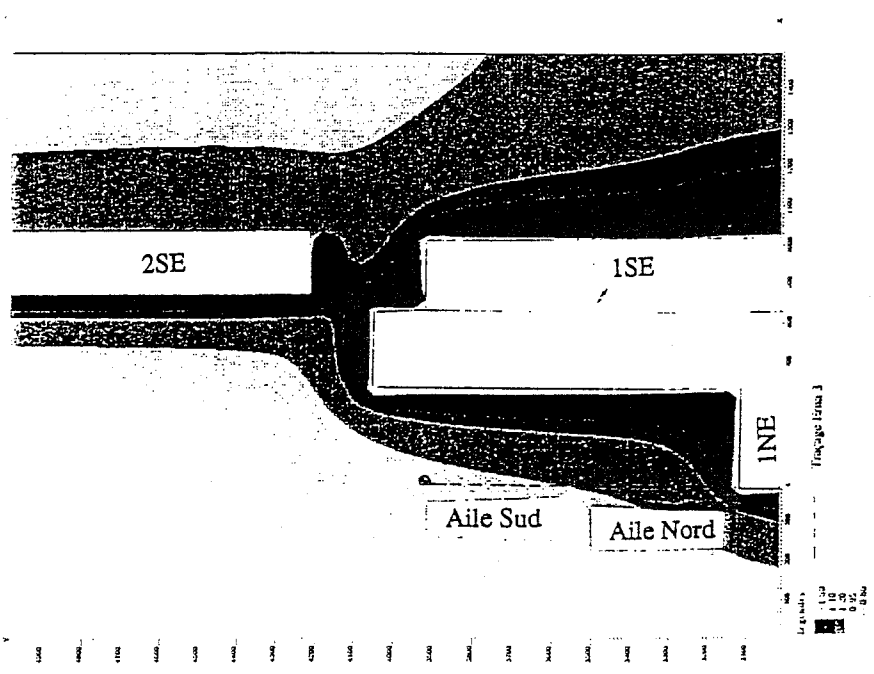


Fig. 4 : Zone du traçage d'Erna 3

Fig. 5

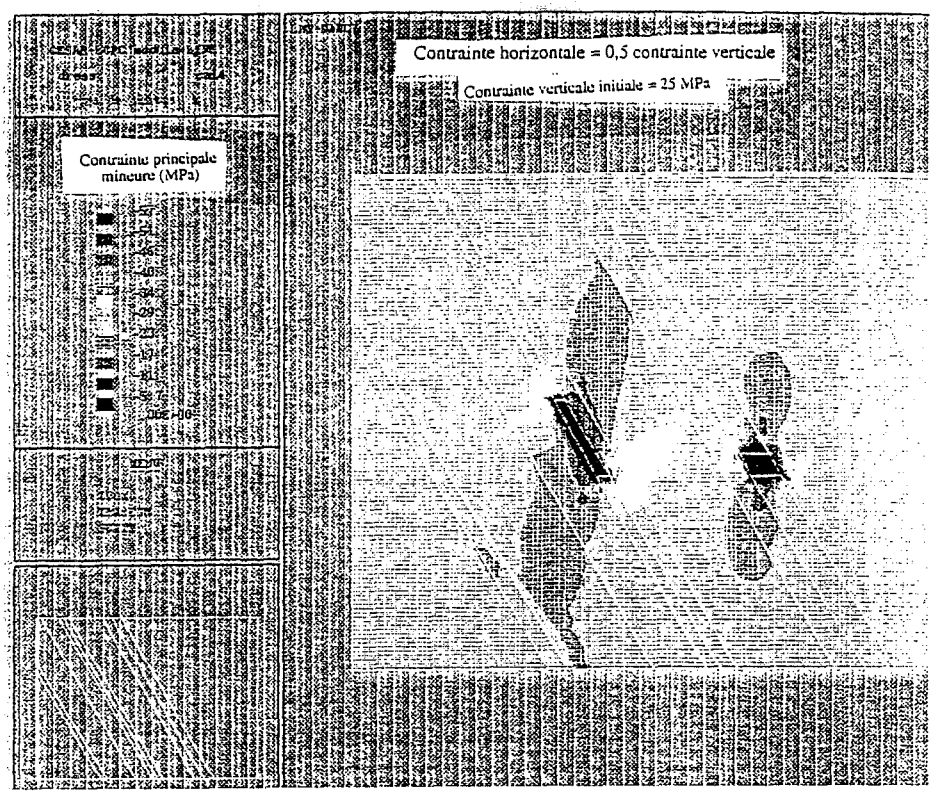
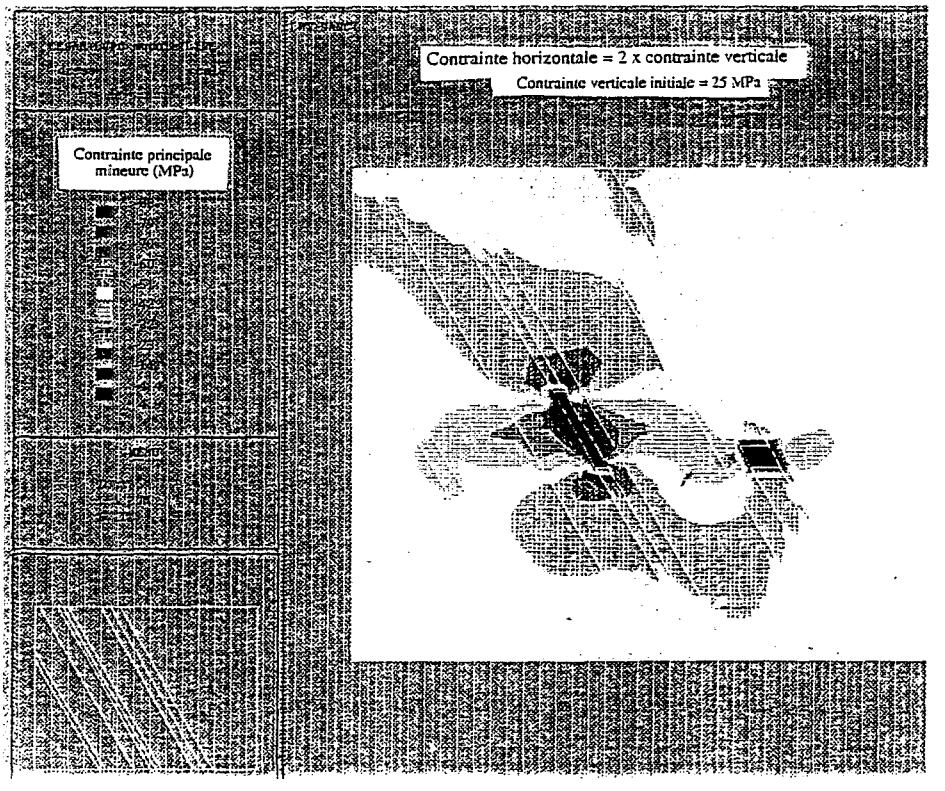
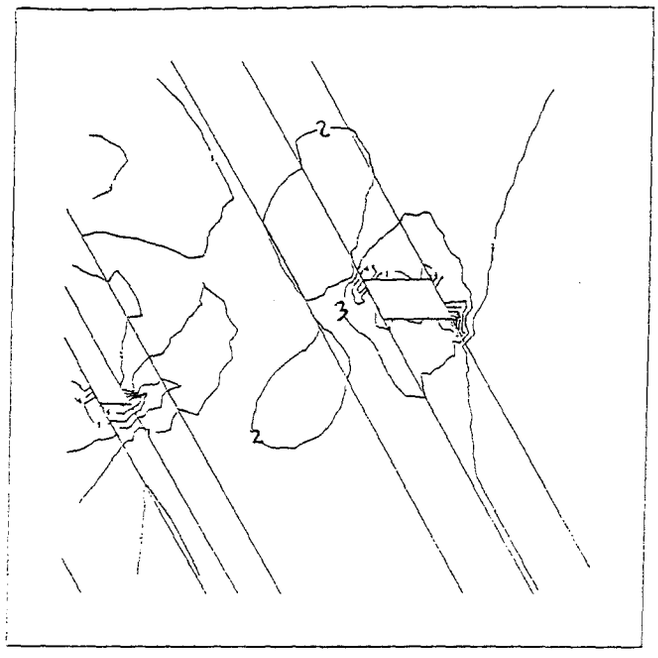

Contrainte horizontale = 0,5 contrainte verticale
Contrainte verticale initiale = 25 MPa
Contrainte principale mineure (MPa)

Fig. 6

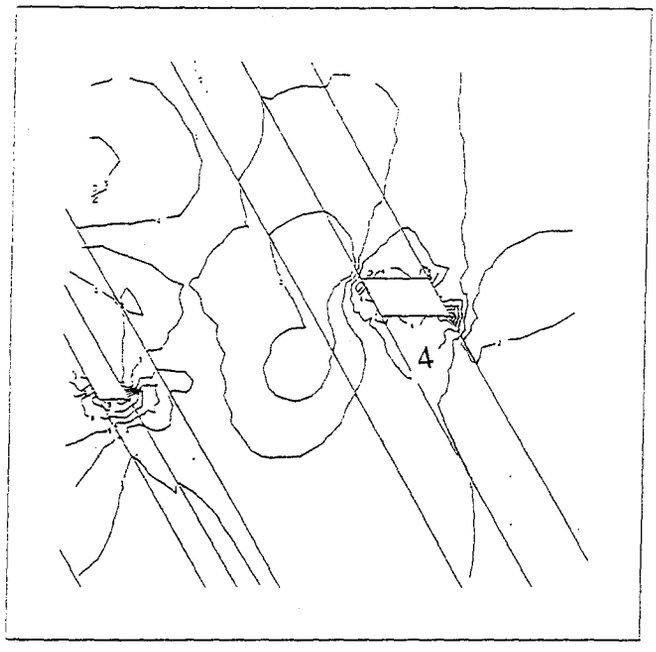

Contrainte horizontale = 2 x contrainte verticale
Contrainte verticale initiale = 25 MPa
Contrainte principale mineure (MPa)



Combinaison de S1 S2 S3
a*S1 + b*S2 + c*S3
a=0. b=.5 c=-.5

1 :	0.	6 :	22.5
2 :	4.5	7 :	27.
3 :	9.	8 :	31.5
4 :	13.5		
5 :	18.		

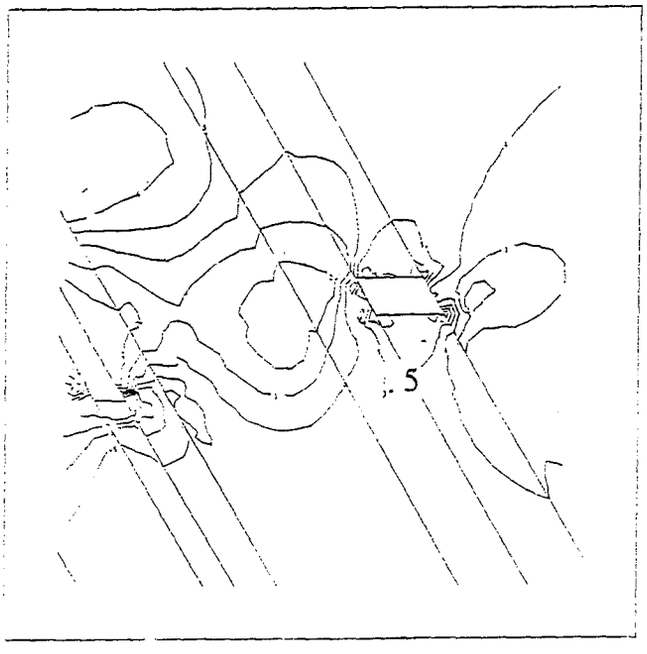
a - $\sigma_h = \sigma_{ho} = 36{,}5$ MPa, $\tau_{maxo} = 4{,}5$ MPa



Combinaison de S1 S2 S3
a*S1 + b*S2 + c*S3
a=0. b=.5 c=-.5

1 :	0.	6 :	22.5
2 :	4.5	7 :	27.
3 :	9.	8 :	31.5
4 :	13.5		
5 :	18.		

b - $\sigma_h = 1{,}2\ \sigma_{ho} = 44$ MPa, $\tau_{max} = 8{,}15$ MPa



Combinaison de S1 S2 S3
a*S1 + b*S2 + c*S3
a=0. b=.5 c=-.5

1 :	0.	6 :	22.5
2 :	4.5	7 :	27.
3 :	9.	8 :	31.5
4 :	13.5		
5 :	18.		

c - $\sigma_h = 1{,}5\ \sigma_{ho} = 55$ MPa, $\tau_{max} = 13$ MPa

Fig. 7 : Contrainte de cisaillement maximal dans la coupe "C"
pour différents tenseurs de contraintes

cisaillement (> 15 MPa) jusqu'à la limite du modèle soit 40 m en dessous du traçage d'Erna 3 (figure 5).

Influence de la contrainte horizontale :

Deux calculs ont été réalisés pour examiner l'influence de la contrainte horizontale, l'un où elle est égale à la moitié et l'autre où elle est égale à deux fois la contrainte verticale. On constate que :

- la zone du mur du traçage se trouve en surcontrainte horizontale de 20 % dans le cas d'une contrainte horizontale élevée (figure 6). En revanche, pour une contrainte horizontale faible, cette zone est dans un état de contraintes proche de l'état initial (figure 7).

- la contrainte du cisaillement maximal est plus importante dans le cas de fortes contraintes horizontales.

Les calculs confirment que le comportement observé est dû à une contrainte horizontale élevée aggravée par les exploitations antérieures. Les contraintes de cisaillement induites au mur du traçage sont suffisantes pour être à l'origine du phénomène.

5. PROJET DU TRACAGE DE L'AILE SUD D'ERNA 3

Le calcul réalisé à l'aide du code **SUIT3D** a montré que l'Aile Sud se situe dans des conditions générales de contraintes plus favorables que l'Aile Nord puisque hors influence du panneau adjacent. D'autre part, l'étude menée pour analyser le comportement de l'Aile Nord a montré l'influence de la position de traçage d'Erna 3 par rapport à l'exploitation du panneau de Cécile. Une étude paramétrique a été réalisée pour étudier l'influence de la position du traçage. Quatre configurations ont été étudiées : Les traçages se trouvent au même niveau (0 m), 5 m, 10 m et 15 m. Tous les autres paramètres ont été maintenus constants. Les résultats ont été analysés en terme du cisaillement maximal autour du traçage dans le plan de Mohr (figure 8).

Traçage au même niveau : la zone de modification de la contrainte de cisaillement est moins étendue en couronne mais plus étendue au daisne que dans le cas du traçage seul ; cependant à 5 m au mur les modifications restent faibles et le cisaillement maximal est du même ordre que pour le traçage isolé soit 10 MPa.

Traçage à 5 m au-dessus du niveau du démarrage de Cécile : la zone de modification de la contrainte de cisaillement s'étend beaucoup plus loin dans le banc du mur, au daisne du traçage. Le cisaillement maximal à 5 m dans le daisne passe à 18 MPa du fait de l'annulation de la contrainte verticale dans cette zone.

Traçage à 10 m au-dessus du démarrage de Cécile : on revient à une répartition de contrainte proche du cas du traçage isolé avec une répartition des contraintes de cisaillement à peu près symétrique en couronne et au daisne. On retrouve un cisaillement maximal à 5 m au mur dans le daisne de 10 MPa.

Traçage à 15 m au-dessus du démarrage de Cécile : les résultats sont peu différents du cas précédent. L'analyse des quatre configurations montre que la situation où le traçage s'effectue à 5 m est la plus défavorable. Donc il semble préférable d'éviter la position du traçage à 5 m au-dessus du démarrage de Cécile et de choisir une position plus favorable en se plaçant soit au niveau du démarrage de Cécile, soit à 10 m au-dessus de ce démarrage.

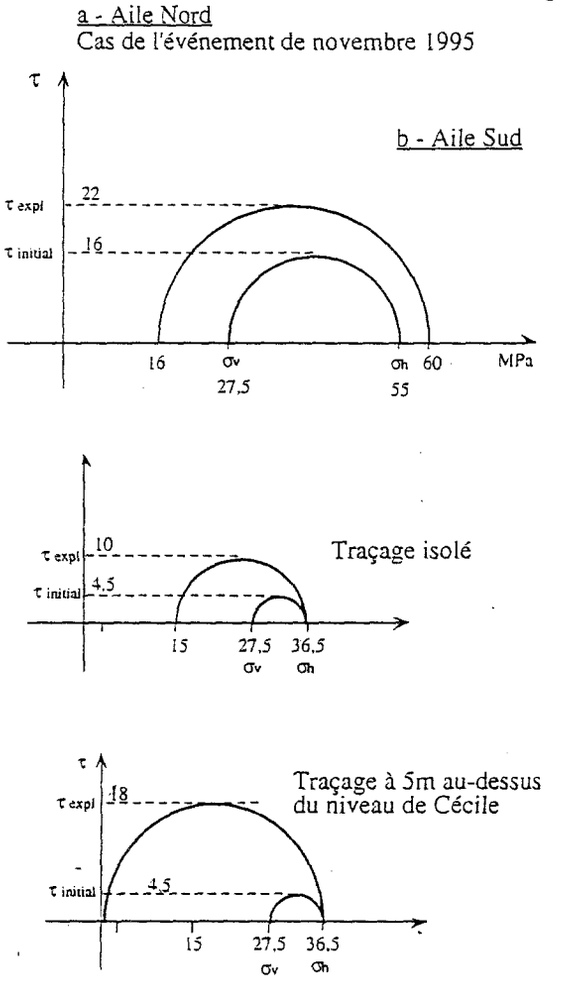


Fig. 8 : Etat de contrainte dans le mur à la Sohle de traçage

6. CONCLUSION

L'analyse des pressions de terrains dans le chantier d'exploitation de la veine 3 a été réalisé à l'aide de simulations numériques. Avec les conditions dans lesquelles les règles de planification ont été établies, le traçage d'Erna 3 aurait dû rencontrer des conditions normales ne nécessitant pas un traitement particulier. Les événements survenus ont nécessité un examen particulier et approfondi des conditions d'exploitation.

Deux simulations ont été effectuées, l'une à grande échelle et l'autre à l'échelle de l'ouvrage. Elles ont été réalisées afin d'analyser l'origine des événements survenus dans l'Aile Nord du traçage et, d'autre part, pour déterminer les contraintes de l'Aile Sud, et proposer une position optimale pour assurer la sécurité des travaux.

Le calcul à grande échelle a montré une zone en surcontrainte qui évolue du Sud vers le Nord. Le rapport des contraintes passe de 1,0 ‡ de plus de 1,5 fois la contrainte initiale. La zone où la contrainte s'accroît fortement est celle qui a été affectée par le soufflage du daisne.

D'autre part, le modèle avec le code CESAR en deux dimensions a permis de mettre en évidence :

- l'importance des contraintes induites à grande échelle, par l'exploitation sus-jacente, des étages situés au-dessus et d'autres secteurs.
- l'influence de la position du traçage d'Erna 3 par rapport au traçage de Cécile, tant au niveau de la distance verticale qu'orthogonale.
- l'analyse des quatre configurations pour le traçage de l'aile Sud montre que la situation où le traçage s'effectue à 5 m est la plus défavorable. La position du traçage à 10 m au-dessus de ce démarrage permet de trouver un état des contraintes beaucoup plus proche d'un traçage hors influence de la veine de Cécile.

Le traçage de l'Aile Sud a été réalisé à 10 m au dessus du TB, position préconisée par l'étude. Il s'est déroulé sans problème.

Références

1- Piguet J.P. 1983. La modélisation en mécanique des terrains et son application à l'exploitation minière . Thèse de docteur es science. INPL. Ecole de Mines de Nancy.

2. Al Heib M. M. 1993 : Les nouvelles méthodes de modélisations numériques et le volume d'influence des exploitations minières en conditions complexes. . Thèse de docteur INPL. Ecole de Mines de Nancy.

3. Enchayan B. 1977 : Le volume d'influence des exploitations en dressants. Thèse doc. Ingénieur INPL.

4- Revalor R. 1985 : Maîtrise des phénomènes dynamiques. CECA n°7220AC\312