

# MODELISATION GEOTECHNIQUE APPLICATION AU DECOUPAGE DE VOUTERS 1250

AL HEIB M.

INERIS - Laboratoire de Mécanique des Terrains

## 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 des terrains. Avec l'approfondissement des exploitations, les pressions de terrains deviennent l'un des principaux critères qu'il convient de maîtriser, particulièrement dans des zones influencées par d'anciennes 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 types failles, plis, ...
  - une analyse détaillée des carottes de sondage du toit et du mur de la couche exploitée.
- Des essais mécaniques sont recommandés pour connaître la ou les lois de comportement de la roche.
- la réalisation des 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 permettant de simuler un phénomène physique :

- les codes « à grande échelle » comme **SUIT3D** permettent de rendre compte de la géométrie des panneaux exploités,
- les codes « aux éléments finis ou différences finies » comme **CESAR** permettant de rendre compte du comportement des différents bancs et de la géométrie fine des ouvrages,
- les codes « en milieu discontinu » comme **UDEC** permettant de simuler le comportement des discontinuités majeures.

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 dans l'analyse du coup de mur de traçage en Frieda 1036 a l'U.E. Reumaux de HBL, a été utilisée pour l'étude du compartiment central de l'U.E. de

Vouters de HBL. L'utilisation qui a été faite pour la conduite de l'exploitation dans cette zone 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 Reumaux (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 grès fin. En revanche, son mur est constitué de charbon, de schiste et de grès avec des épaisseurs très variables et des caractéristiques géotechniques contrastées. L'Aile Nord est limitée par la 1 SE 1250 et la 1 SE.A.1250, sa longueur est de 350 m. L'Aile Sud est située entre la 2 SE.A.1250 et la 1 SE 1250. La veine Cécile se rapproche de la veine Erna 3 à partir de 100 m au Nord de la 1 SE 1250 (figure 2).

## 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. Le front était positionné à la cote 225 m (figure 3). Il se traduit par un soufflage de la sole entre les cotes 120 m et 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 importantes.

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 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 entraîne 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) :

- une contrainte principale majeure de 36.5 MPa à peu près perpendiculaire à l'axe de la structure anticlinale de Merlebach ;
- une contrainte principale mineure de 17,5 MPa à peu près parallèle à l'axe de la structure ;
- la contrainte principale moyenne est égale à 27,5 MPa et subverticale et égale à 10 % près au poids des terrains sus-jacents.

- 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 4).

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 de 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.

#### 4.1 Modèle à grande échelle

Pour étudier la distribution des contraintes induites dans le chantier, nous avons réalisé un modèle à grande échelle qui prend en compte l'exploitation du Compartiment Central entre la faille Dora et Reumaux (figure 5), 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 :

- Anna + Berta,
- Cécile + Erna,
- Frieda,
- Henriette + Georgette.

Les dimensions du modèle sont 6000 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). Les iso-valeurs (figure 6) de cette contrainte montrent que la zone des surcontraintes les plus importantes correspond à la zone de Cécile 1250 ou de Erna 3 à l'étage 1250 (1 SE). La figure 7 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 des contraintes où le rapport de la contrainte normale induite est inférieur 1.10 de la valeur initiale. 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 > 1.5 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 coups de charges dans l'Aile Nord.

## 4.2 Modèle à l'échelle du traçage (local)

### 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 de traçage d'Erna 3, en fonction de la géométrie et de l'influence des contraintes initiales. Il s'agit d'étudier et de préciser la zone d'influence de deux exploitations en dressant (le panneau de Cécile et le traçage d'Erna 3) 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 bancs. Les dimensions du modèle sont 150 m de large et 110 m de hauteur. Trois veines ont été présentées dans le modèle (figure 4) : Veine Anna, Veine Cécile, et Veine Erna. On a considéré un pendage identique et égal à 60.

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 4). 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 8). 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 importantes 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 valeur initiale est le plus critique en terme de contrainte de cisaillement. Le mur de la veine Erna 3 est sollicité avec de forts cisaillements ( $> 15$  MPa) jusqu'à la limite du modèle soit 40 m en dessous du traçage d'Erna 3 (figure 8).

Influence de la contrainte horizontale

Deux calculs ont été réalisés pour examiner l'influence de la contrainte horizontale, l'un où elle est égale la moitié et l'autre 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 9), en revanche pour une contrainte horizontale faible, cette zone est en contrainte initiale (figure 10).

- la contrainte du cisaillement maximal est plus importante dans le cas de forte contrainte horizontale.

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 ont été 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 de 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. 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 de panneau en 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), à 5 m, 10 m et 15 m. Tous les autres paramètres ont été maintenus constants. Les résultats ont été analysés en terme de cisaillement maximal autour du traçage dans le plan de Mohr (figure 11).

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 de 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 à peu près symétrique en couronne et au daisne, des cisaillements. On retrouve un cisaillement maximal à 5 m de 10 MPa au mur dans le daisne.

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.

## 6. CONCLUSION

L'analyse de pression de terrains dans le chantier d'exploitation de la veine 3 a été réalisée à l'aide des 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 plus 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 de 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 passe à 1,0 et  $> 1,5$  la contrainte initiale. La zone où la contrainte s'accroît fortement est celle qui a été affectée par les soufflage du daisne.

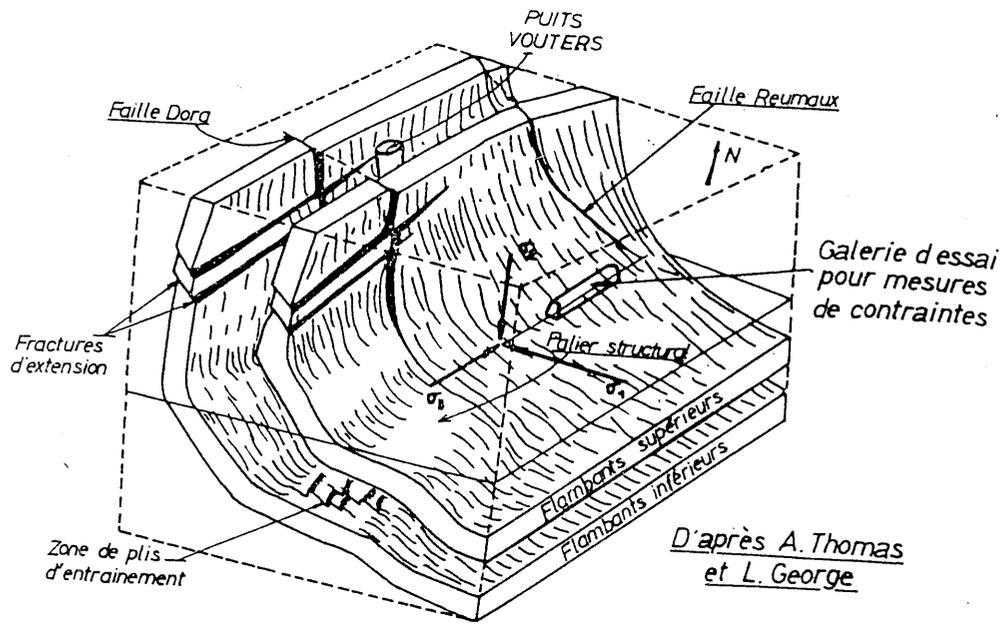
Les calculs réalisés avec le code CESAR en deux dimensions ont permis de mettre en évidence :

- 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



$\sigma_1 = 36,5 \text{ MPa}$   
 $\sigma_2 = 27,5 \text{ MPa}$   
 $\sigma_3 = 17,5 \text{ MPa}$

Fig. 1 BLOC DIAGRAMME SCHEMATIQUE AU SIEGE VOUTERS  
ZONE DES MESURES DE CONTRAINTES

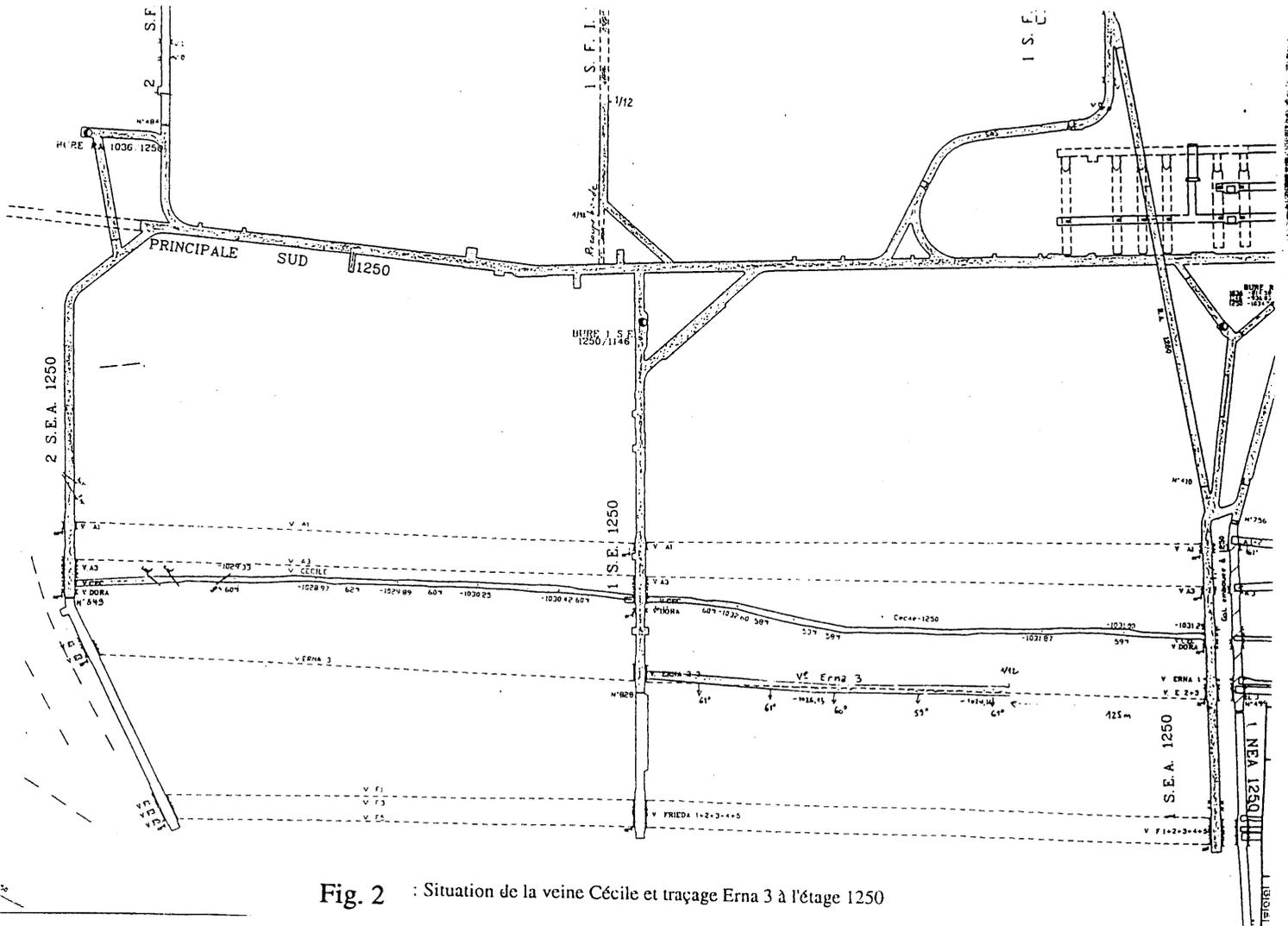


Fig. 2 : Situation de la veine Cécile et traçage Erna 3 à l'étage 1250

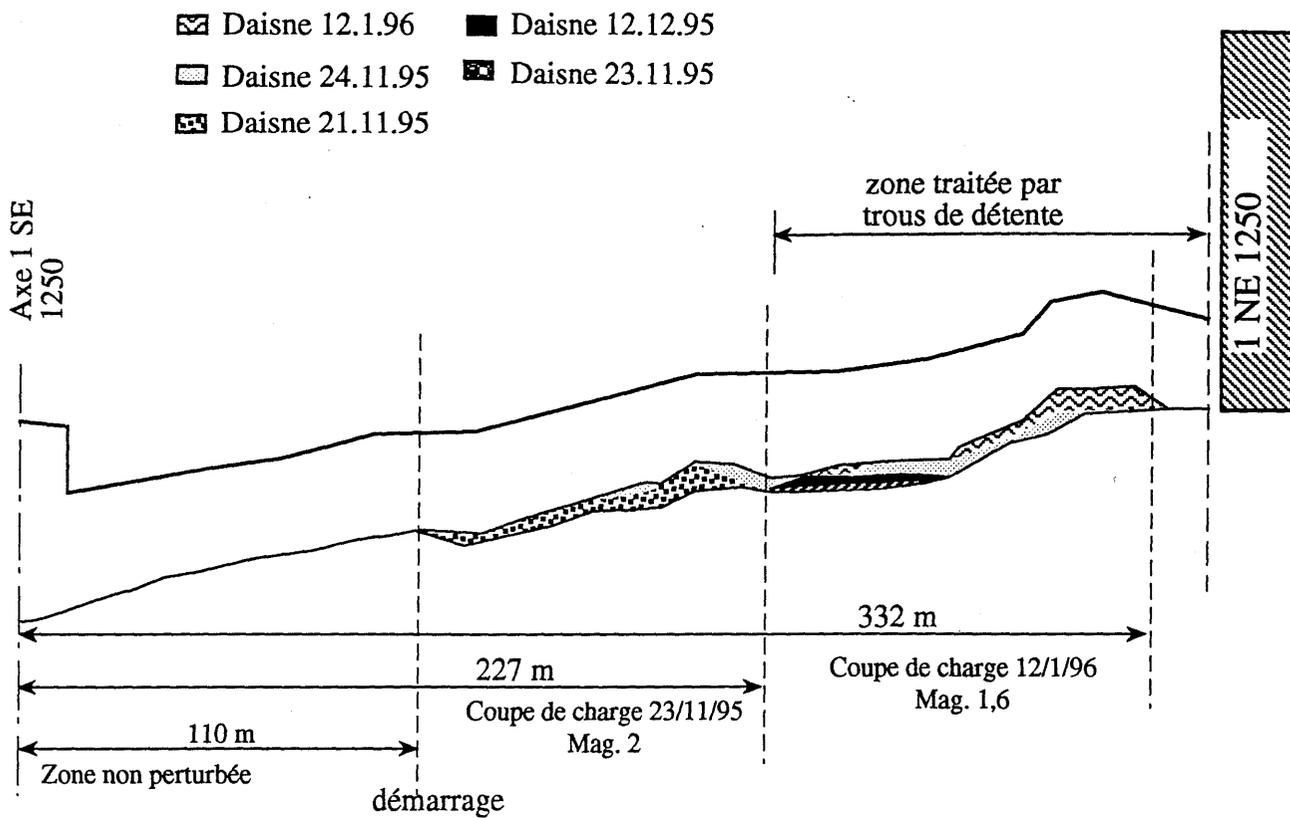


Fig. 3 : Différents coups de mur de traçage Erna 3 - Aile Nord

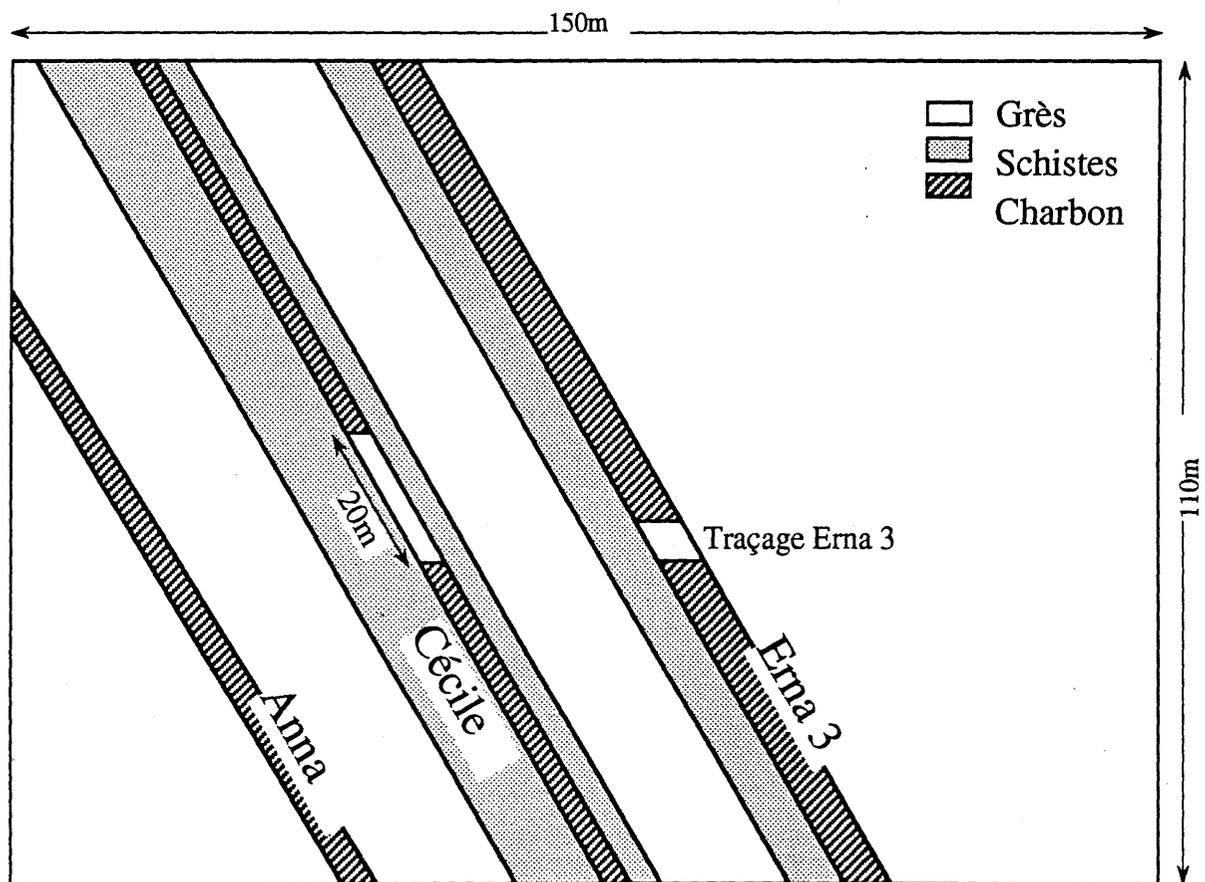


Fig. 4 : HBL - U.E. Vouters  
Modèle réalisé avec CESAR-LCPC

- Coiffe
- Henriette
- Frieda
- Ann

Fig. 5 : Modèle réalisé avec SUI3D (6000x2000 m)

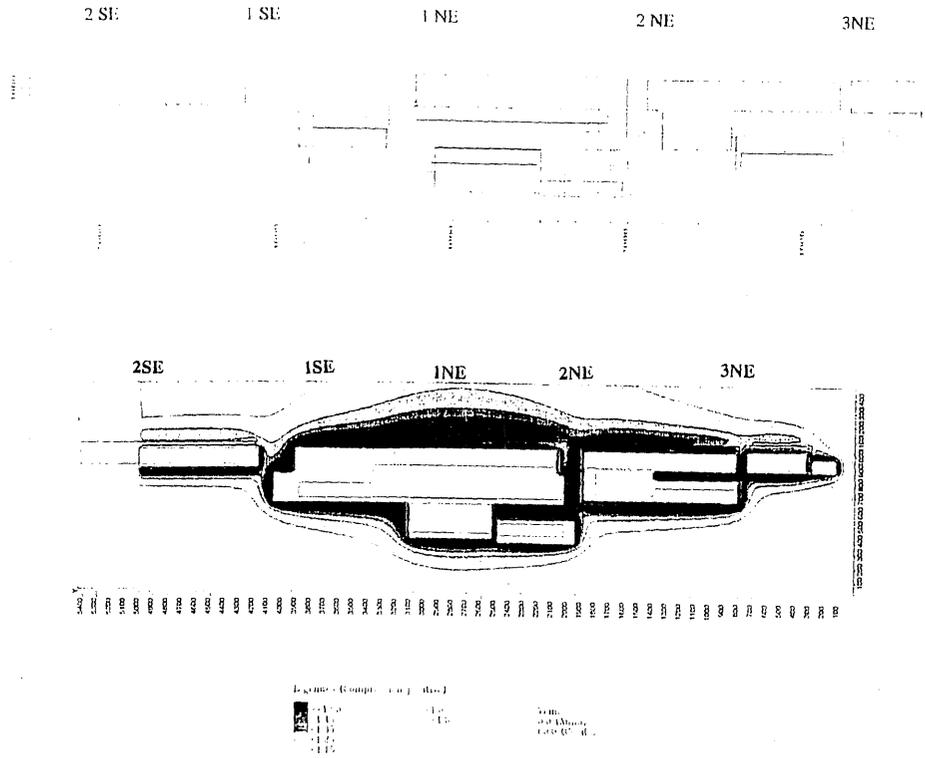


Fig. 6 :

INERIS - LMT	Figure 8 IBC - VOUTERS	Niveau=60.00
10/7/1996	Avant l'exploitation à l'étage 1SE-1250	Ref=1619.00
	contraintes au niveau de la voûte Cécile et Erna 3	
	Contrainte verticale / Poids des terrains	

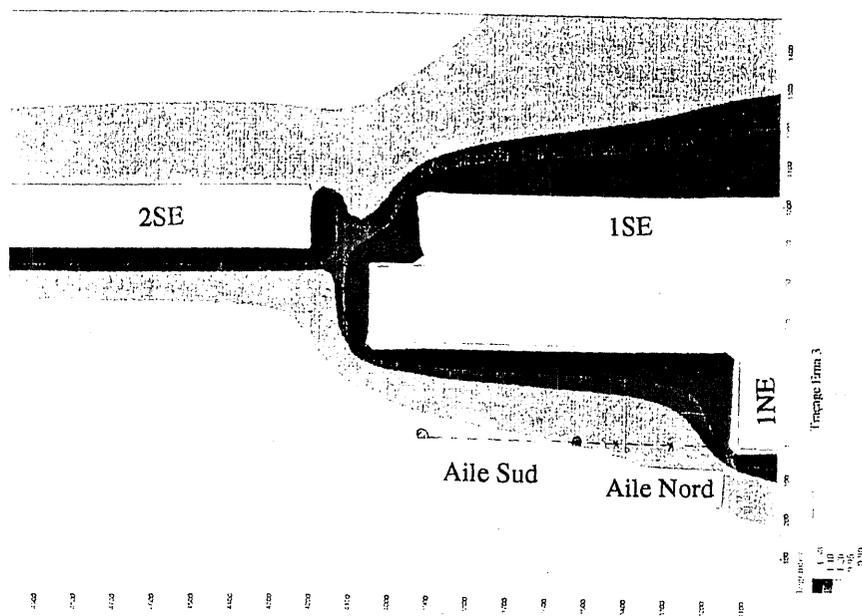
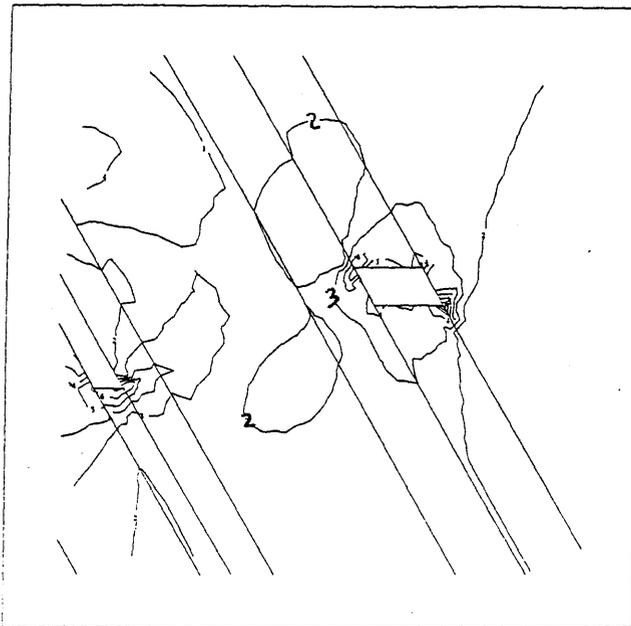


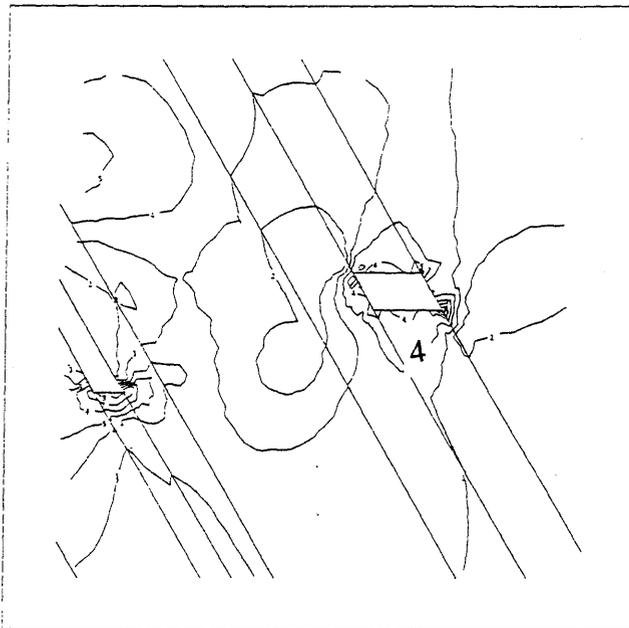
Fig. 7 : Zone du traçage d'Erna 3



Combinaison de S1 S2 S3  
 $a \cdot S1 + b \cdot S2 + c \cdot S3$   
 $a=0. \quad b=.5 \quad c=-.5$

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

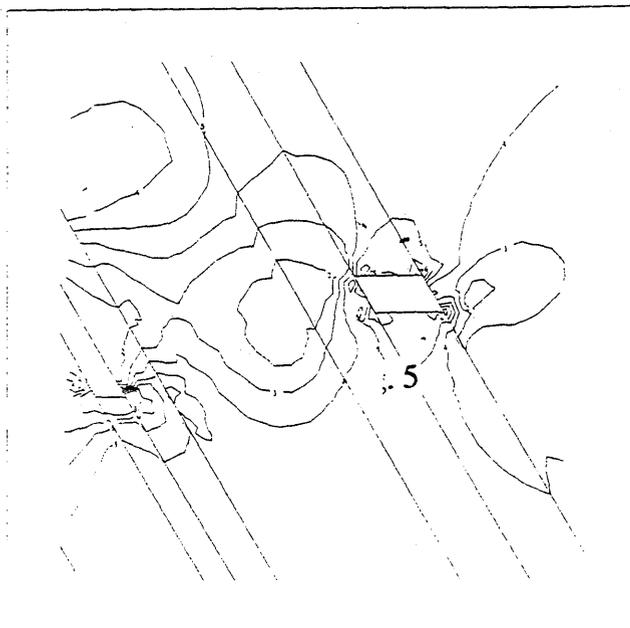
a -  $\sigma_h = \sigma_{ho} = 36,5 \text{ MPa}$ ,  $\tau_{\text{max}} = 4,5 \text{ MPa}$



Combinaison de S1 S2 S3  
 $a \cdot S1 + b \cdot S2 + c \cdot S3$   
 $a=0. \quad b=.5 \quad c=-.5$

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

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



Combinaison de S1 S2 S3  
 $a \cdot S1 + b \cdot S2 + c \cdot S3$   
 $a=0. \quad b=.5 \quad c=-.5$

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

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

Fig. 8 : Contrainte de cisaillement maximal dans la coupe "C"  
pour différents tenseurs de contraintes

Fig. 9

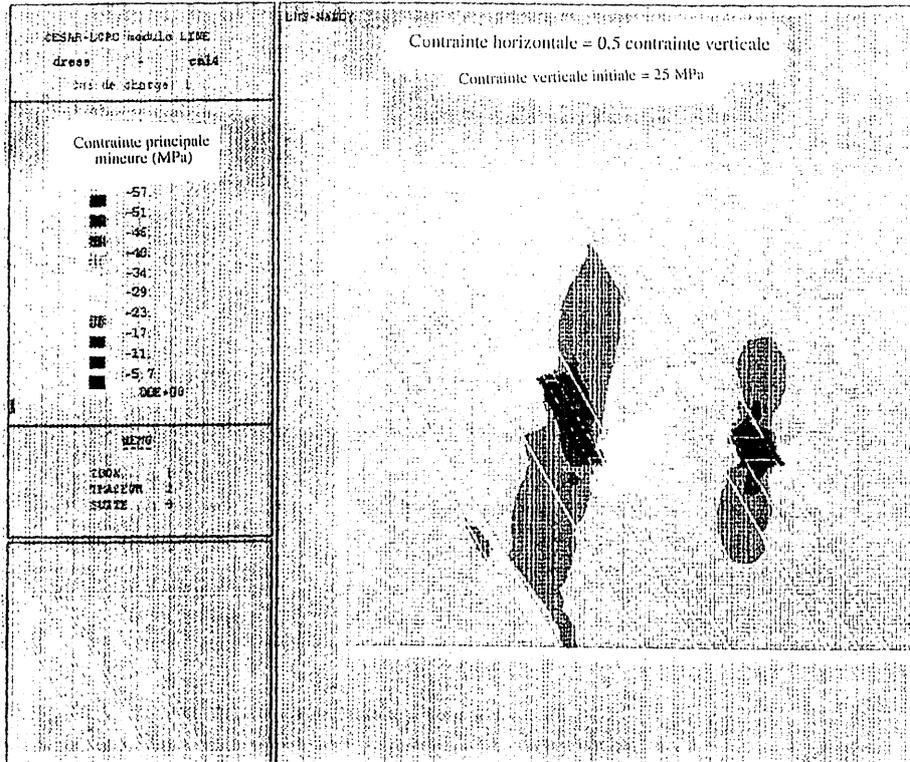
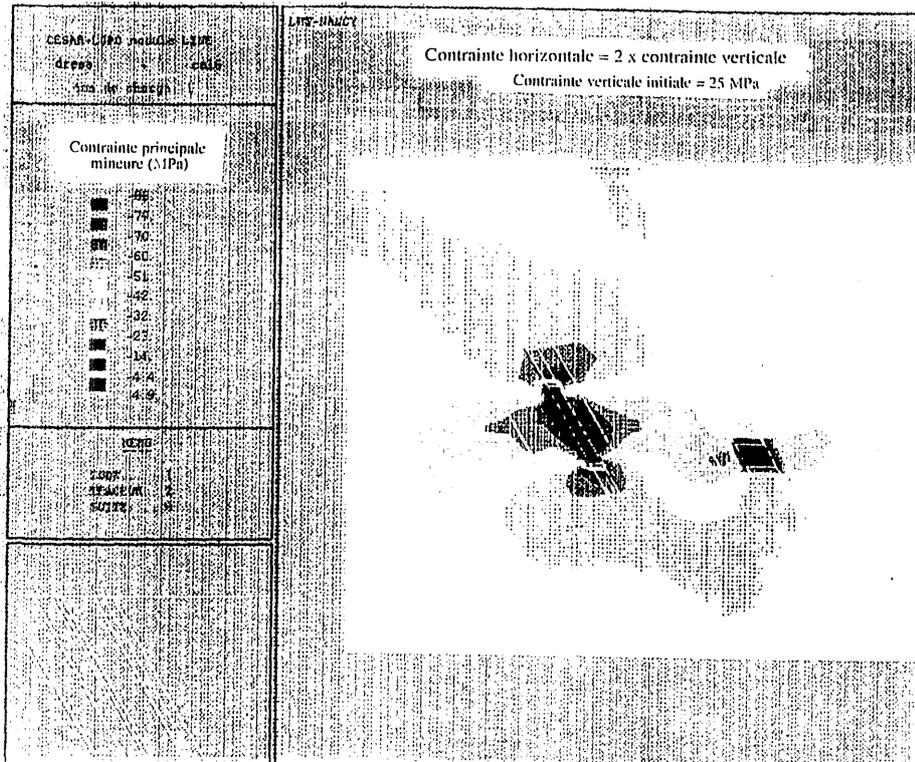
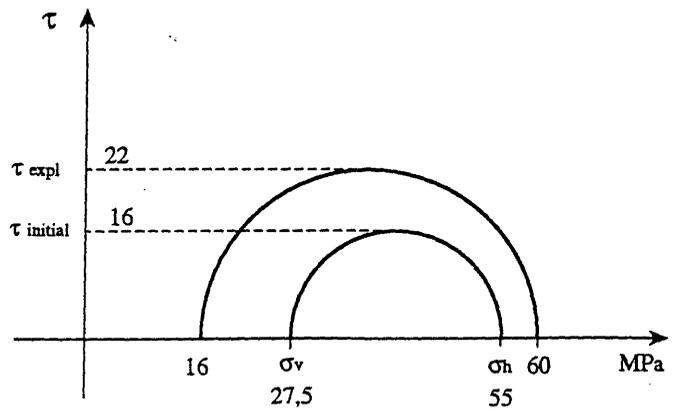


Fig. 10

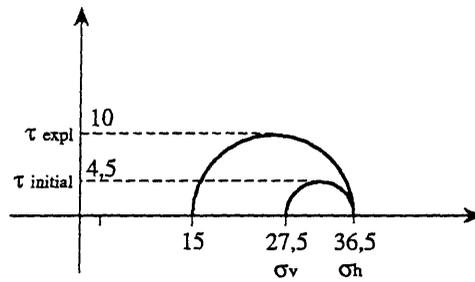


a - Aile Nord  
 Cas de l'événement de novembre 1995



b - Aile Sud

Traçage isolé



Traçage à 5m au-dessus  
 du niveau de Cécile

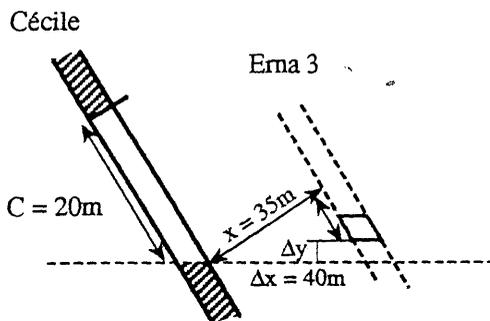
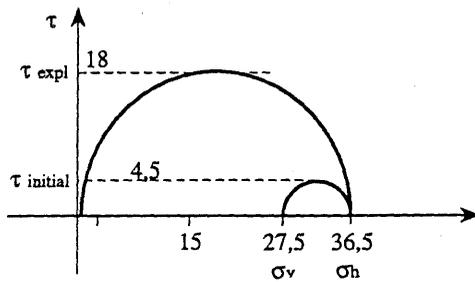


Fig. 11 : Etat de contrainte dans le mur à la Sohle de traçage