HAL
open science

Maîtrise des terrains à grande profondeur

Jean-Pierre Josien, J.F. Noirel

To cite this version:

Jean-Pierre Josien, J.F. Noirel. Maîtrise des terrains à grande profondeur. Journée technique CdF, Jun 1995, Hombourg-Haut, France. ineris-00971939

HAL Id: ineris-00971939

https://ineris.hal.science/ineris-00971939v1

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.

MAITRISE DES TERRAINS A GRANDE PROFONDEUR

J.P. JOSIEN (INERIS)
J.F. NOIREL (HBL - UCAD)

Journée technique des Charbonnages de France, Hombourg-Haut, 7 juin 1995, p. 289-308

Du fait de l'approfondissement des gisements, la maîtrise des terrains à grande profondeur reste un problème crucial pour la sécurité et la rentabilité des exploitations. Au cours des dernières années, d'importants efforts de recherche ont été entrepris par CdF pour se doter de moyens nouveaux en ce domaine du fait des difficultés rencontrées :

- mauvais comportement des ouvrages (en particulier les voies de taille d'ossature) dans des zones que l'analyse "classique" n'avait pas permis de repérer,

- extension des cas de comportement dynamique des terrains.

Il s'agit en particulier de logiciels de planification permettant de déterminer l'état des contraintes s'exerçant à grande échelle (à maille de 10 m environ pour fixer les idées).

Mais ces méthodes présentent des limites. Après une première partie rappelant la complexité de la prévision du comportement d'un ouvrage minier seront exposés les deux types de moyens développés :

- le calcul de contrainte dans le massif par modélisation à grande échelle ("logiciels de planification") et à l'échelle du chantier,

- la réactualisation des règles issues de l'expérience minière, qui permettra en particulier de définir les zones où doivent être mises en oeuvre des méthodes de modélisation plus fines.

PARTIE 1 : LA MODÉLISATION D'UN OUVRAGE MINIER

1 - LE COMPORTEMENT D'UN OUVRAGE MINIER

1.1. Le comportement d'un ouvrage est le résultat d'un processus de dégradation complexe dont la plus grande part des facteurs déterminants sont fixés dès la conception de l'ouvrage.

Ces facteurs peuvent être classés en 3 catégories qui interfèrent entre elles (voir figure 1) :

- l'état de contrainte autour de l'ouvrage est la cause des dégradations observées. Il est déterminé par les contraintes naturelles des terrains d'une part, les modifications apportées à cet état de contraintes par les zones dépilées d'autre part (zone de détente et de surcontrainte),

- les terrains autour de l'ouvrage transposent les contraintes en déformations et dégradations. Ils interviennent par leurs résistances comparées au niveau de contrainte, leur comportement élastique ou ductile et leur fracturation naturelle.
  A niveau de contrainte identique, les effets sur ouvrage seront totalement différents si ceux-ci sont placés dans un banc épais de grès ou dans une série de petits bancs de schistes,

- l'ouvrage rassemble les facteurs les plus facilement maîtrisables par l'exploitant : position et géométrie jouent sur l'état de contraintes, le soutènement permet de s'adapter aux effets.

Précédemment, l'accent avait été mis sur les modifications de contraintes dues aux anciennes exploitations. Des règles issues de l'expérience minière avaient été formalisées comme celles du mémento de décembre 1986 ("la prise en compte des règles de pression de terrains dans le projet d'exploitation").

1.2. Les difficultés de la situation actuelle peuvent s'expliquer par un certain nombre d'évolution de nos conditions d'exploitation :

- la complexité des exploitations multiples à différents niveaux fait se supposer dans certaines zones des effets de détente et des effets de surcontraintes. Il devient difficile de juger "de tête" de l'état réel des contraintes par l'application de règles simples. C'est principalement ceci qui a motivé l'introduction de logiciels de planification,

- l'augmentation de la profondeur se traduit par une augmentation proportionnelle de la contrainte verticale (hors zone détendue). Ceci s'accompagne d'une extension de la zone d'influence, limite à partir de laquelle on considère que l'effet d'un stot ou d'une limite d'exploitation devient négligeable. Une série de petits changements quantitatifs liés à l'évolution de la profondeur moyenne aboutit à un saut qualitatif dans le comportement d'un ouvrage,

- la présence dans certaines zones de contraintes horizontales élevées, quelquefois supérieures à la contrainte verticale, doit modifier radicalement notre manière de voir les modifications apportées par un ouvrage à l'état de contrainte : selon le pendage de l'ouvrage, les contraintes que l'on détend ne sont pas toujours les contraintes majeures ; on peut créer des effets de cisaillement. L'orientation de la contrainte majeure joue également au niveau local sur le comportement d'un ouvrage du fait de la structure stratifiée des terrains miniers (orientation des voies par rapport à la contrainte majeure).
  La tectonique du gisement (système de plis et de failles) qui est lié à l'existence de contraintes horizontales élevées et à leurs orientations joue alors un rôle aussi important que les perturbations de l'état de contraintes dues aux anciennes exploitations,

- l'ensemble de la question est particulièrement important lorsqu'il s'agit de juger de la susceptibilité aux phénomènes dynamiques de travaux miniers.

2 - CALCUL DES CONTRAINTES PAR MODELISATION

2.1. L'objectif est de disposer d'un moyen permettant de calculer en tout point du secteur minier étudié les valeurs des contraintes en simulant les effets des exploitations existantes ou projetées (figure 2). Le modèle est une simplification de la réalité mettant l'accent sur le mécanisme que l'on estime être mis en jeu dans le processus de la déformation par exemple :

- la déformation élastique du matériau représentée par la proportionalité entre les contraintes et les déformations,

- la déformation élastoplastique caractérisée par des déformations irréversibles permettant de simuler le changement d'état du matériau par fissuration,

- mais aussi le glissement le long d'un faille ou d'un plan de stratification.

Naturellement, les résultats obtenus par le modèle dépendront en plus des valeurs des paramètres introduits : caractéristiques géomécaniques des différents matériaux (résistance, module de déformation...), géométrie des vides, des sollicitations imposées aux limites du modèle, en particulier les valeurs des contraintes naturelles avant exploitation.

Il est évident que plus un modèle est compliqué, plus il demandera d'introduire des valeurs de paramètres difficilement accessibles et plus il sera long et délicat à mettre en oeuvre. Il y a donc un optimum d'efficacité à chercher pour chaque problème à résoudre. La position de cet optimum a évolué en fonction des résultats des recherches d'application de modèles qui ont été faites ; on peut maintenant disposer des possibilités suivantes en matière de logiciels de modélisation.

2.2. Les différents logiciels de modélisation

On distinguera deux objectifs :

- la modélisation à grande échelle que l'on met en oeuvre lors du découpage de l'exploitation. Ces "logiciels de planification" doivent être faciles et rapides à mettre en oeuvre de façon à pouvoir tester plusieurs variantes ; ils doivent nécessiter un petit nombre de données compte tenu de l'imprécision des connaissances du terrain à ce stade.
  On se contentera donc d'un modèle de comportement simplifié du massif que l'on complètera par l'introduction de connaissances empiriques calées sur l'expérience.
  A côté du logiciel GDRP utilisé couramment aux HBL, a été introduit un nouveau logiciel SUIT 3D qui permet de mieux prendre en compte le pendage des strates et les contraintes naturelles horizontales. Le logiciel SUIT 3D a été testé sur des situations des HBL (voir ci-dessous) et il est utilisé couramment à l'UE Provence après calage. Des améliorations viennent d'être réalisées pour rendre plus conviviale son utilisation.

- la modélisation à l'échelle d'un ouvrage ou de l'interaction de chantiers. Ces logiciels plus mécaniques sont destinés à représenter de manière plus précise une situation locale et certains mécanismes de déformations ou dégradations. Nous utilisons des logiciels adaptés à la représentation de milieu continu (CESAR, FLAC) et des logiciels permettant de simuler explicitement les discontinuités majeures : UDEC en 2 dimensions, 3 DEC en 3 dimensions. Les cas traités ces dernières années permettent d'apprécier les apports de chacun de ces logiciels et de choisir à bon escient les cas où il est intéressant de les employer.

3 - UN EXEMPLE D'EMPLOI DES DIFFERENTS LOGICIELS : LE CAS DU TRACAGE EN FRIEDA 5 A REUMAUX

Le 4 juin 1994 le traçage en activité dans la veine Frieda 5 Sud-960 à l'UE Reumaux a été le siège d'un soulèvement brutal du mur affectant environ 80 m de la voie.

L'interprétation d'un tel événement, afin d'en tirer des règles de prévention, demandait que soit évaluées les influences respectives, dans le mécanisme du phénomène, des différentes circonstances :

- une situation tectonique particulière à proximité de l'axe de l'anticlinal de Reumaux (répartition particulière de contraintes naturelles),

- une géométrie d'exploitation comprenant un stot très large dans les veines Erna et Jacqueline à 80 m au-dessus, stot redécoupé par une exploitation dans Frieda 5, une taille en activité rabattante sur la zone Erna (64 m en dessous) à 500 m de la zone,

- une lithologie très spécifique des veines Frieda : bancs de charbon séparés par des intercalaires minces mais résistants ; toit et surtout mur résistants.

La modélisation d'ensemble du phénomène était très complexe et il a été procédé par étapes en regardant le problème à différentes échelles.

3.1. Modélisation à grande échelle

L'objectif de cette phase est de juger de l'influence de la géométrie des anciennes exploitations à l'aide de logiciel de planification. Avant le creusement, la situation avait été modélisée à l'aide de GDRP qui avait trouvé pour cette zone une surcontrainte verticale modérée. Après l'événement le calcul a été effectué avec le logiciel SUIT 3D. Il confirme que la zone affectée se trouvait dans un état modéré de surcontraintes perpendiculaires aux épontes ($\sigma_y = 1{,}4\,\gamma\,h$ soit 325 bars). Cette valeur est à peine supérieure à celle calculée lors du creusement de la voie de base du panneau supérieur (figure 3a) ; elle n'est pas modifiée par l'exploitation de Erna : celle-ci ne met pas en charge directement le chantier.

La valeur trouvée est peu différente de celle calculée avec GDRP ; elle est en accord avec le comportement global du chantier qui ne montrait pas de fortes déformations à l'exception d'un léger soufflage du mur.

Par contre, l'étude met en évidence l'existence de deux zones à fort cisaillement horizontal ($\sigma_y = 1{,}4\ \gamma_h$) localisées au toit et au mur de Frieda. Cet état a été créé par l'exploitation du panneau I de Frieda 5 et n'existait pas lors du creusement des voies de ce panneau. Cette situation n'est pas modifiée par l'exploitation en cours d'Erna sauf la concentration des contraintes dans la zone du pseudo-stot créé au nord du panneau de Frieda (figure 3b).

L'avancement du panneau en Erna 3, en créant une surface de déconfinement, permet la propagation de ruptures en avant de son front dans les zones de fortes contraintes de cisaillement. Ces zones sont en accord avec la localisation des secousses associées à l'événement.

3.2. Modélisation à l'échelle du chantier

Il s'agit ici de regarder le rôle particulier joué par la lithologie des terrains autour du traçage. Les calculs ont été effectués à l'aide d'un logiciel UDEC permettant de représenter finement les différentes strates existantes au mur du traçage (connues par la réalisation de sondages dans la voie).

Le principal résultat de cette modélisation est la mise en évidence du rôle d'armature joué par le banc de schiste gréseux au mur du traçage. Ce banc peu épais est entouré de charbon beaucoup plus déformable. Il est le siège, dans sa partie la plus proche du traçage, d'une contrainte majeure parallèle au banc (figure 4b) beaucoup plus élevée que les contraintes dans le charbon. De même la figure 5 montre l'importance des contraintes de cisaillement induites dans le banc de schiste gréseux par la déformation du charbon et la dissymétrie entre les parties amont et aval.

Les résultats de ce modèle sont en accord avec les observations faites dans la voie lors du rabassenage (figure 4a) : le soufflage du mur s'est produit avec une forte déformation latérale ; le cisaillement du banc de grès est visible à l'amont, une fois cisaillé le banc de grès s'est soulevé en un plissement dissymétrique.

3.3. Conclusion

Les modélisations réalisées ont permis dans ce cas de retenir les facteurs les plus significatifs du mécanisme de soulèvement brutal du mur. Ce mécanisme complexe comme dans beaucoup de phénomènes dynamiques fait intervenir :

- des conditions générales (à grande échelle) : dans notre cas la présence de forte contrainte de cisaillement parallèle aux bancs dans les terrains entre Frieda et Erna. Le déconfinement par l'exploitation de Erna permet la création de rupture à grande échelle dans ce massif. Ces ruptures se traduisent par des secousses de forte énergie,

- des conditions locales (autour du chantier) : le banc de schiste gréseux au mur du traçage joue le rôle d'armature et limite le soufflage de la voie mais il se trouve dans un état de contrainte critique (et favorable à la rupture brutale). La secousse déclenche la rupture du banc par cisaillement et l'énergie libérée dans l'ensemble des terrains entourant la voie provoque le soufflage observé.

D'autres utilisateurs des modèles "mécaniques" ont été faites comme par exemple l'étude de moyen de détente (réalisation de tranchée au mur de la voie) ou l'influence d'une faille sur le comportement des ouvrages.

PARTIE 2 : RÉACTUALISATION DES RÈGLES ISSUES DE L'EXPÉRIENCE MINIÈRE

1- INTRODUCTION

Les logiciels de planification sont utilisés depuis plusieurs années pour évaluer le comportement des voies (déformations, dimensionnement souhaitable du soutènement). Dès les premières expériences, on a cherché à savoir si un tel calcul pouvait nous apporter un indice de susceptibilité aux phénomènes dynamiques. On a effectivement constaté qu'ils avaient toujours lieu dans des zones modérément surcontraintes. Mais cette circonstance est fréquente. De plus, l'expérience montre que pour une contrainte calculée donnée, et pour un même environnement lithologique, certaines configurations sont plus favorables que d'autres au déclenchement d'un phénomène dynamique. Tel est le cas de la voie de tête de Frieda 5 1036 au champ Cocheren Sud (figure 6a10).

2 - LES EFFETS DE L'APPROFONDISSEMENT SUR LES PHENOMENES DYNAMIQUES

Jusqu'à une époque récente, le gisement lorrain était exempt des phénomènes dynamiques au charbon : les premiers ont eu lieu en 1983, et le plus superficiel a eu lieu à une profondeur de 750 m. L'expérience a montré que l'approfondissement au-delà de 1000 m s'accompagnait d'un accroissement de la fréquence des manifestations à caractère dynamique des terrains. Il s'agit en particulier des coups de charge du mur en 1992 et 1993, dans lesquels le mur de la galerie souffle brusquement de quelques dizaines de centimètres, pendant qu'une forte secousse est ressentie.

3 - OBJECTIFS ET BASE DU MEMENTO

Le mémento a été conçu compte tenu de ces nouvelles données, et pour pallier la limitation des modèles de planification précédemment mentionnée.

On s'est basé sur les éléments qualitatifs dont on admet généralement qu'ils constituent un facteur de risque de phénomènes dynamiques.

On avait deux types de références :

- les règles étrangères (allemandes et tchèques notamment),
- notre propre expérience.

4 - L'APPROCHE DU MEMENTO, DIFFERENCE AVEC LES REGLEMENTATIONS ETRANGERES

Le mémento se distingue des règlements étrangers par trois points principaux :

- c'est un recueil de recommandations, et non pas un consigne. On évite ainsi de devoir prendre une dérogation pour chaque cas particulier, solution qui conduit à des lourdeurs sans bénéfice réel pour la sécurité,

- le volume d'influence a été défini d'après notre expérience. A la différence des Tchèques par exemple, nous considérons qu'il n'y a pas vieillissement de la détente. On a vérifié a posteriori que toutes nos manifestations dynamiques se trouvaient dans des configurations qui seraient maintenant considérées comme présentant un risque important,

- la notion de frette de protection n'a pas été reprise explicitement. La règle allemande, qui demande un trou-test de longueur égale a trois fois l'ouverture de la veine, plus l'avancement de la journée, est inapplicable chez nous. En effet, il y a généralement, en terrains non détendus, une zone réactive à 10 m ; ce qui fait que l'on ne pourrait pas exploiter des veines non détendues de plus de 3 m. On a cependant recommandé, dans les cas où un suivi permanent paraissait souhaitable, un recouvrement minimum de 5 m ce qui constitue la profondeur maximum des phénomènes dynamiques constatés chez nous.

5 - LES ANNEXES DU MEMENTO

La définition du volume d'influence nécessite évidemment quelques illustrations. Des schémas de prévision courants sont donnés à titre d'exemple (figures 11 et 12).

Enfin, l'utilisation du mémento pour un cas donné pouvant être fastidieux (il faudrait le relire et noter à chaque fois les recommandations concernant le chantier), on a cherché à la faciliter en retranscrivant les recommandations sous forme d'ordinogrammes. Les commentaires joints permettent de se faire une idée de ce que l'on entend, par exemple, par :

. suivi particulier,
. contrôle périodique.

On s'est en effet gardé de donner des schémas-types dans le mémento, qui auraient alors pu être à tort considérés comme des règles de l'art.

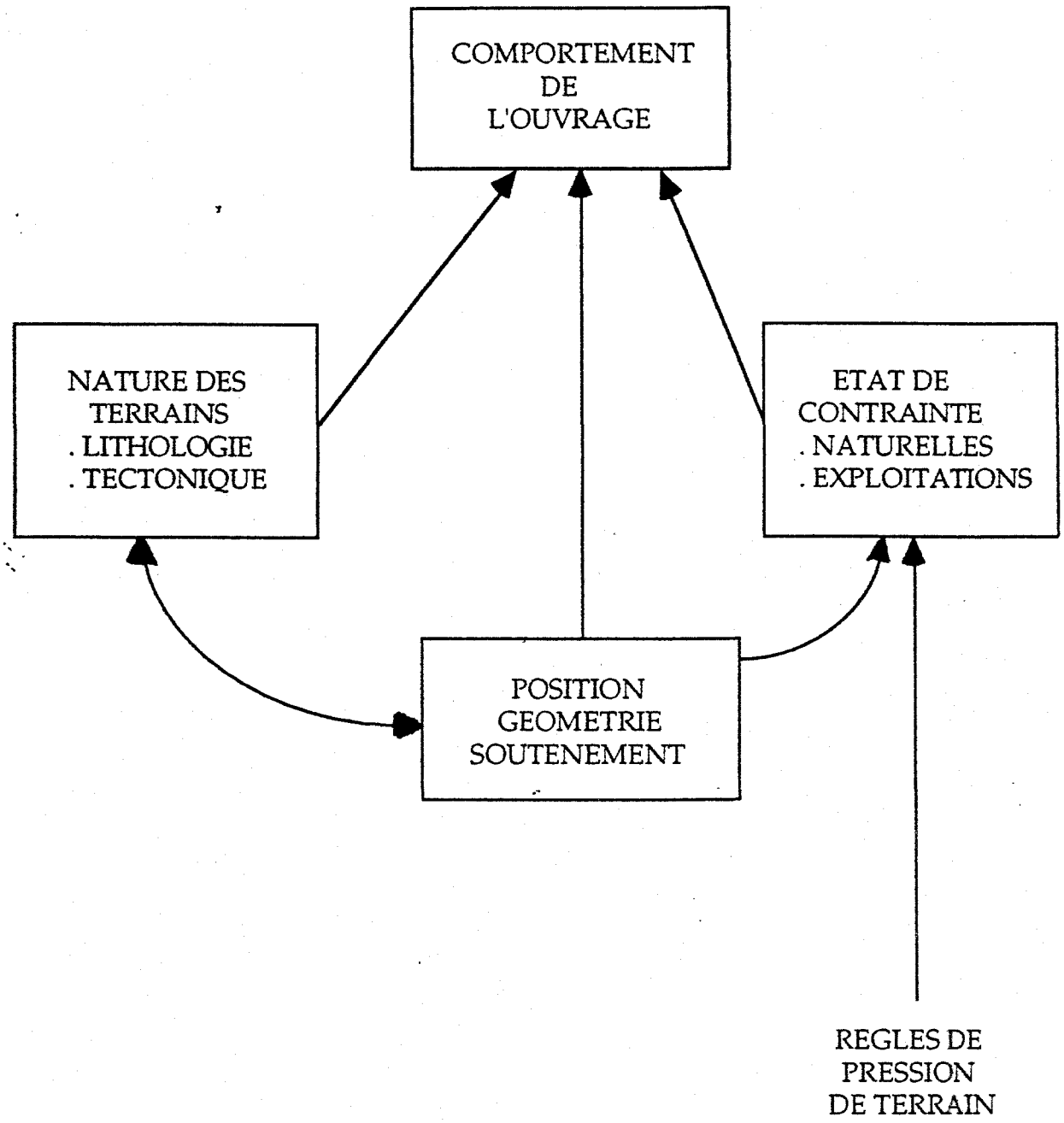
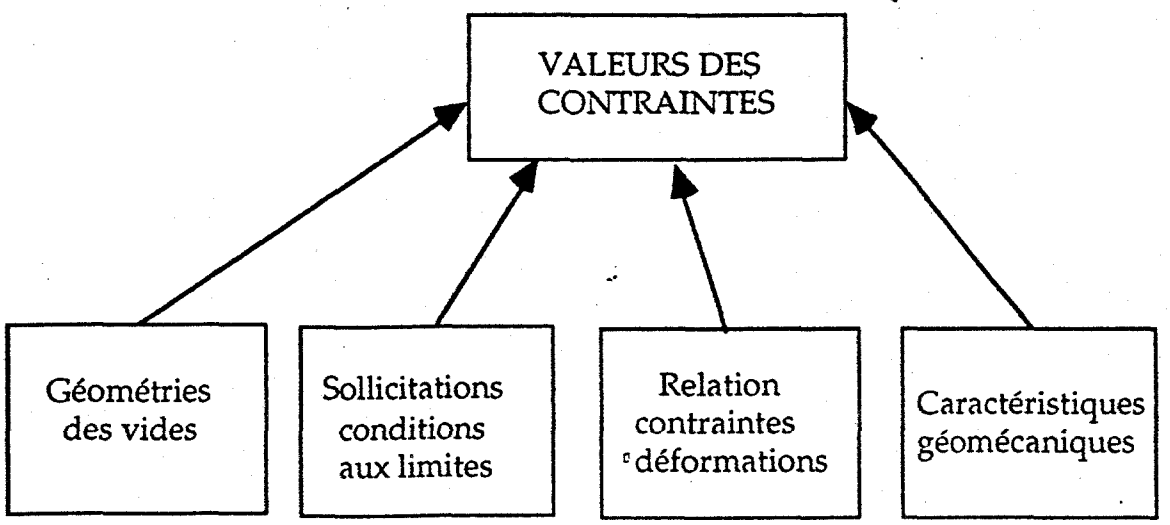
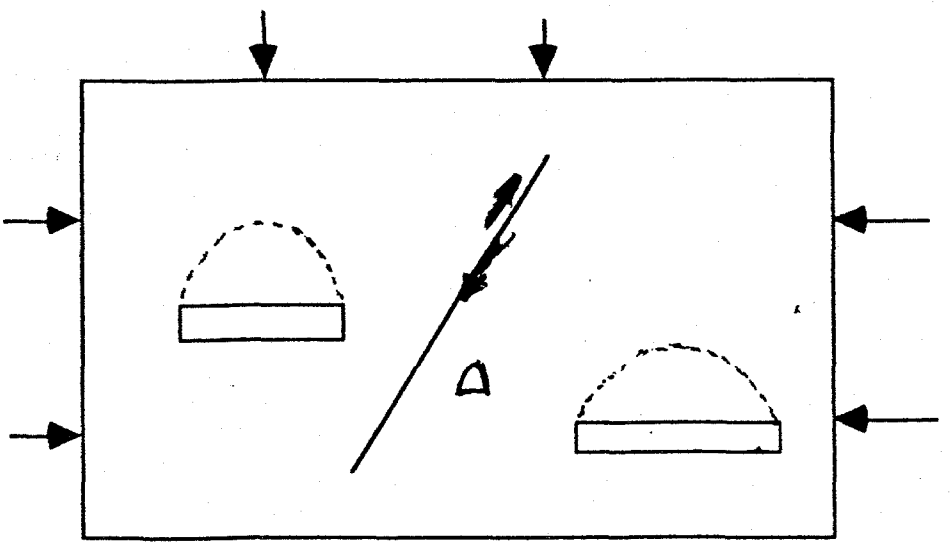


Figure 1 : Facteurs du comportement d'un ouvrage

Figure 2

LOGICIEL DE CALCUL





U.E. REUMAUX - Phénomène du 4 juin 1994 en Frieda

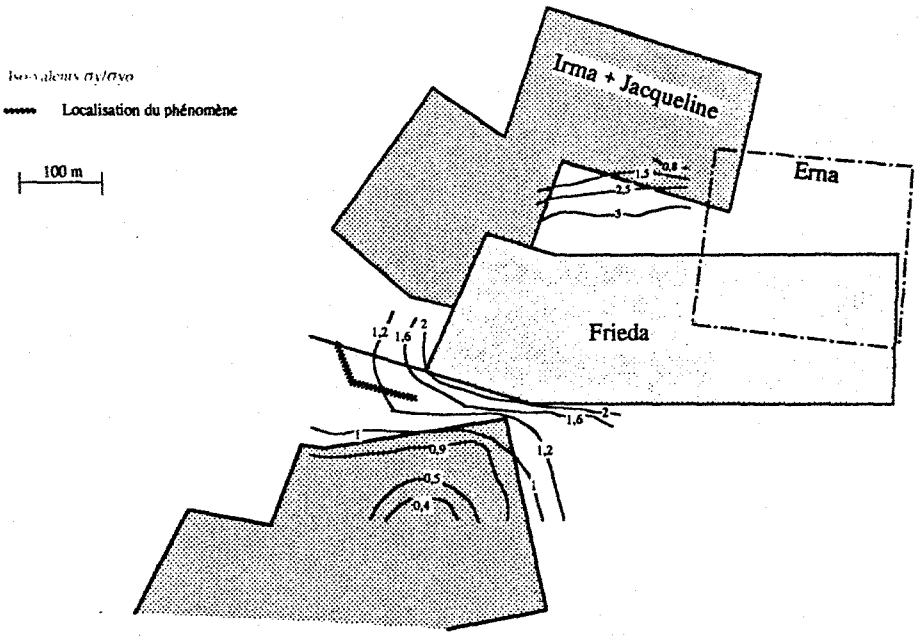


Figure 3a : Isovaleurs des contraintes perpendiculaires au banc

U.E. REUMAUX - Phénomène du 4 juin 1994 en Frieda

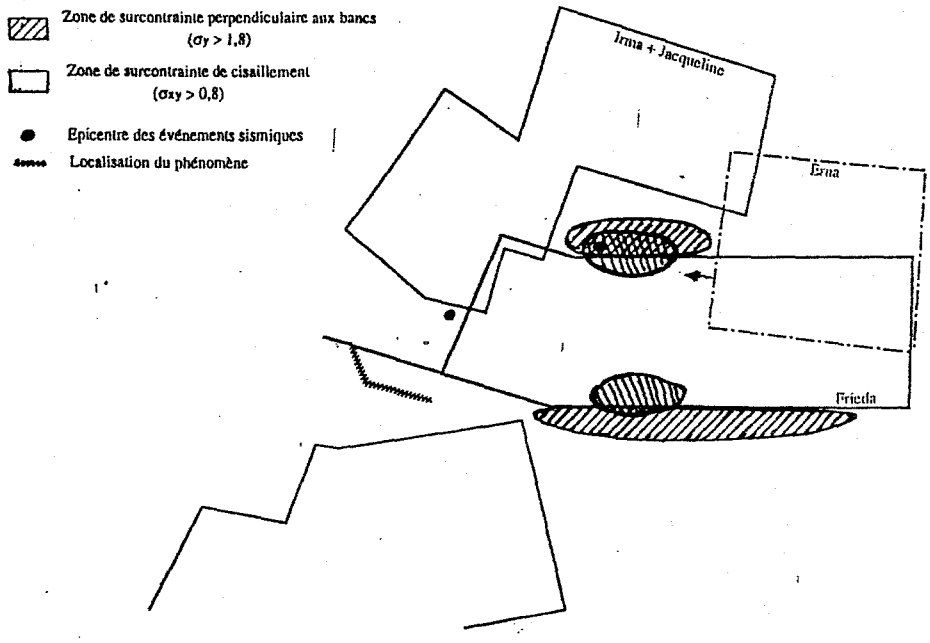


Figure 3b : Zones de cisaillement parallèle au banc

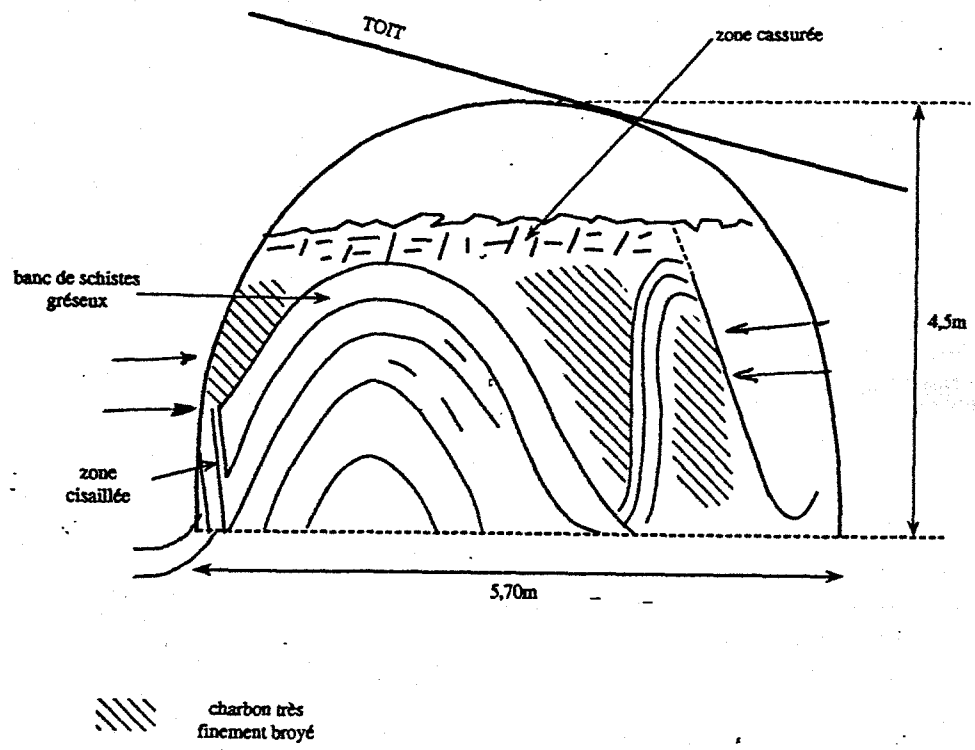


Figure 4a : FRIEDA 5 - Coupe transversale

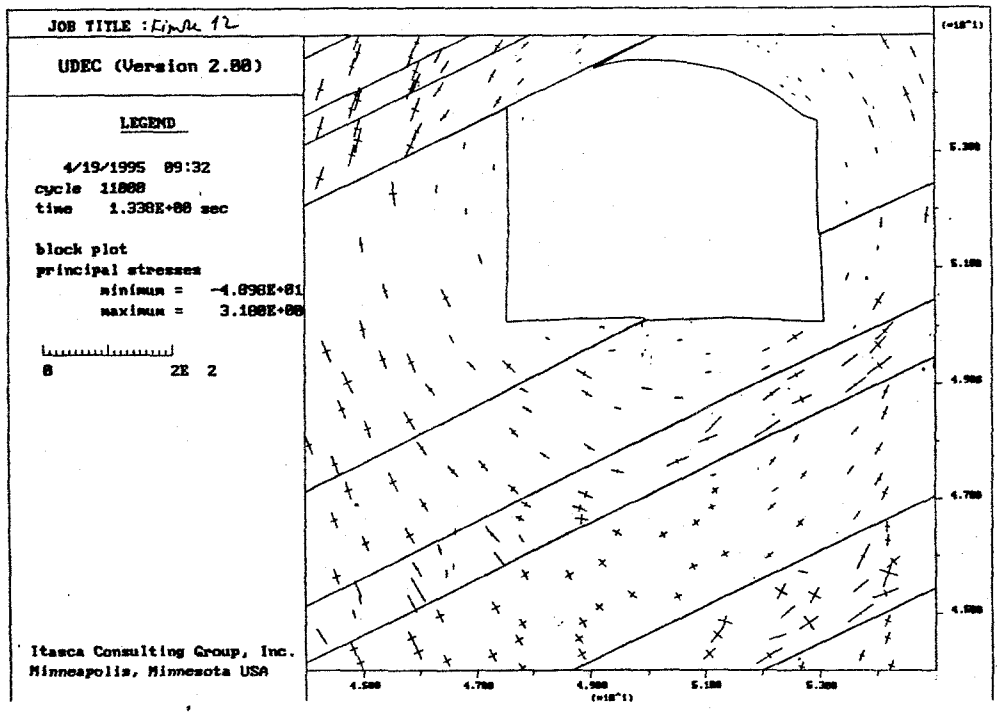


Figure 4b : Orientation des contraintes

Figure 5

JOB TITLE : Cisaillement τ_{xy} autour de la voie

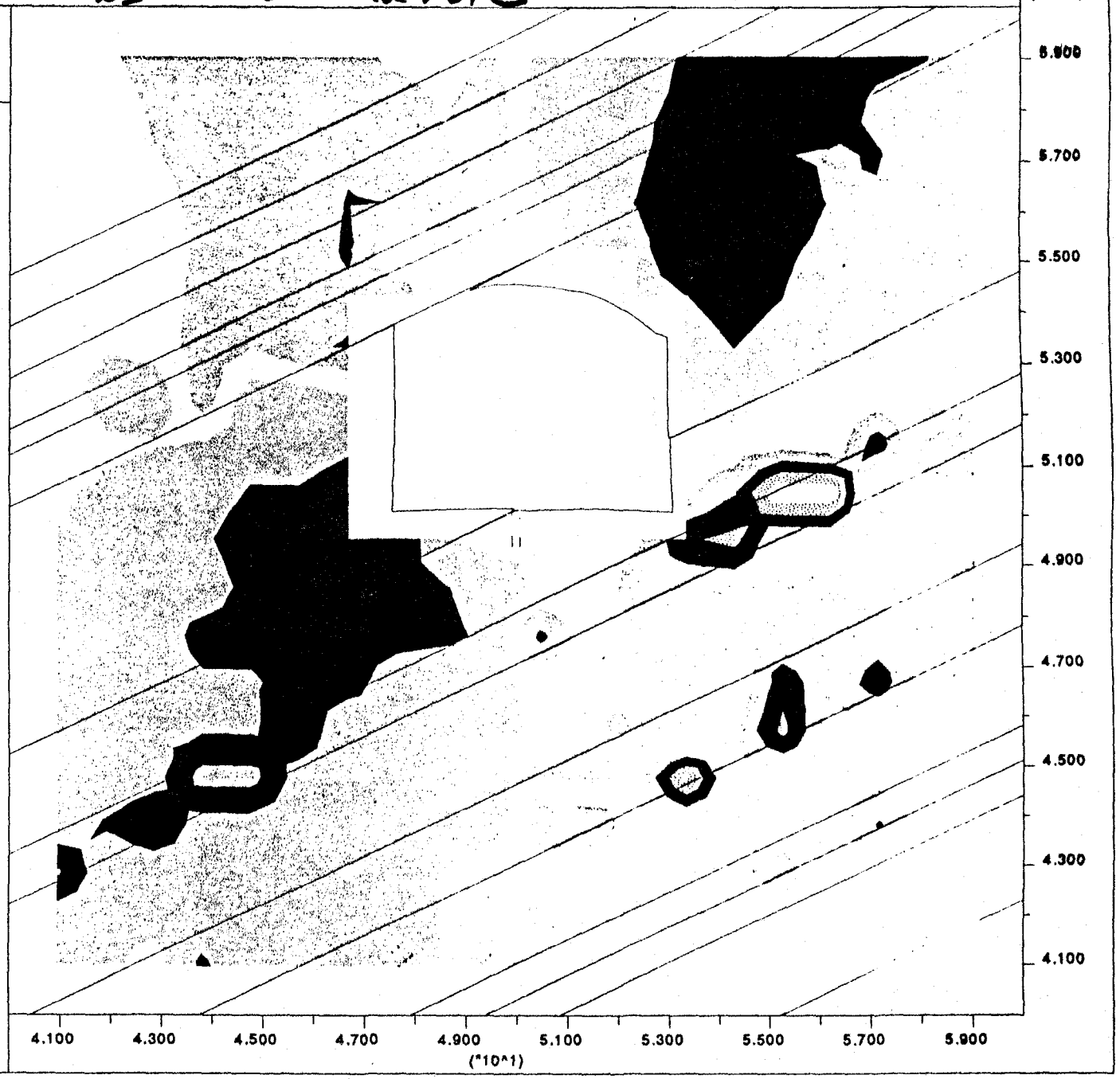
UDEC (Version 2.00)

LEGEND

4/20/1995 14:23
cycle 13000
time 1.581E+00 sec

xy-stress contours
contour interval= 5.000E+00
min=-2.000E+01 max= 1.000E+01

-2.000E+01
-1.500E+01
-1.000E+01
-5.000E+00
.000E+00
5.000E+00
1.000E+01
block plot



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, Minnesota USA