



POLYTECH MONS



L'exploitation des ressources minérales par chambres et piliers

Room-and-pillar mining

J-P. Tshibangu

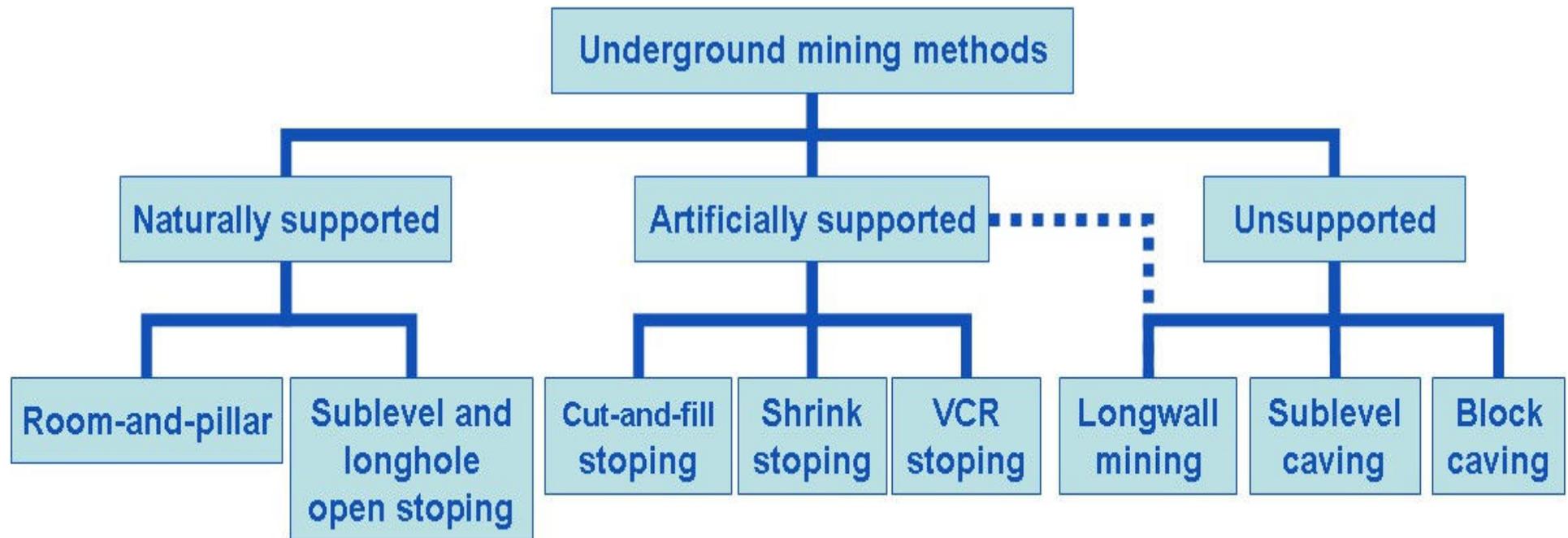
Journée SBGIMR du 5 mai 2008



Sommaire de la présentation

- Choix et champ d'application
- Principe de la méthode des chambres et piliers – variantes
- Quelques considérations de mécanique des roches

Choix d'une méthode d'exploitation vis-à-vis de la mégaroches



Amplitude des déplacements dans le massif encaissant

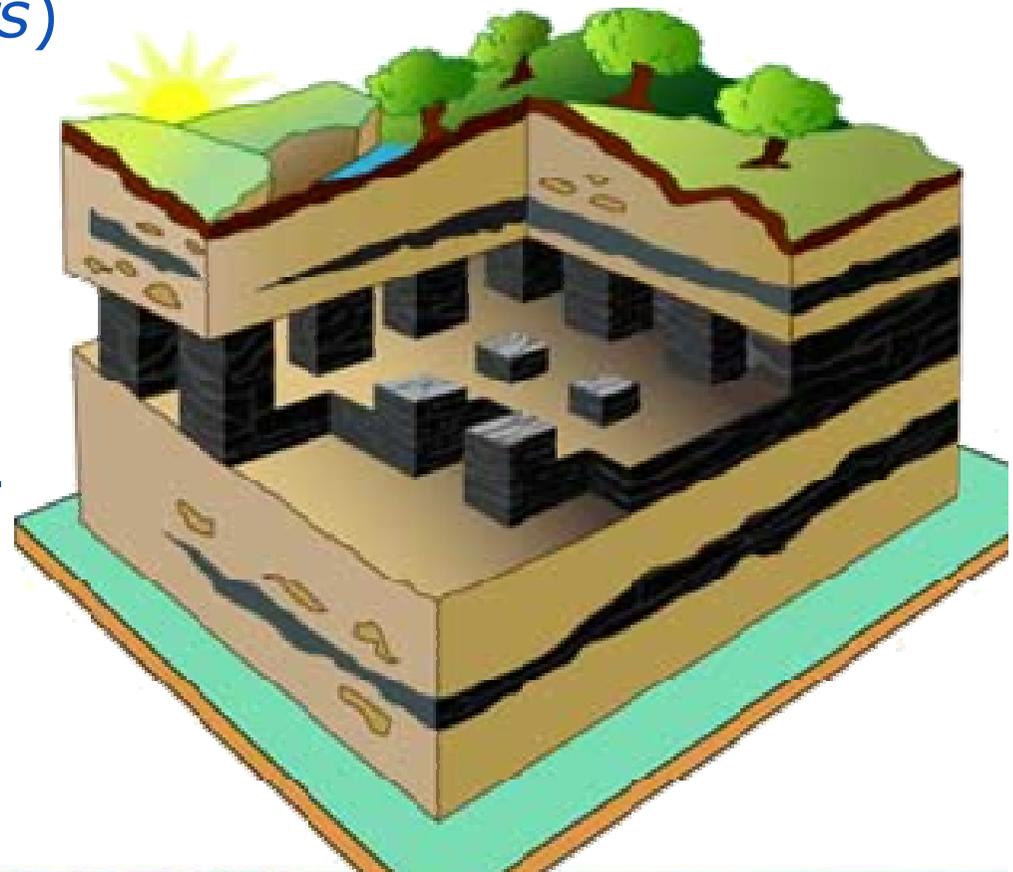


Stockage d'énergie dans les roches du champ proche



Principe de la méthode des chambres et piliers

- Ouvrir des chambres (*stopes, rooms*)
- Laisser des piliers (*pillars*)
 - Circulaires
 - Carrés
 - Murs longitudinaux
- Fin d'exploitation
 - Remblayer, foudroyer



Considérations géométriques

- Gisements horizontaux ou à faible pendage :
plateaux ($\leq 30^\circ$)
Typiquement : dépôts lités sédimentaires
→ charbon, sel, potasse, shales cuprifères, craies
- Puissance moyenne (10 m)
 - Si trop épais : mauvaise tenue des piliers et augmentation de leur section, soutènement + important
 - Si trop mince : accès au gisement -> on exploite plus de stérile

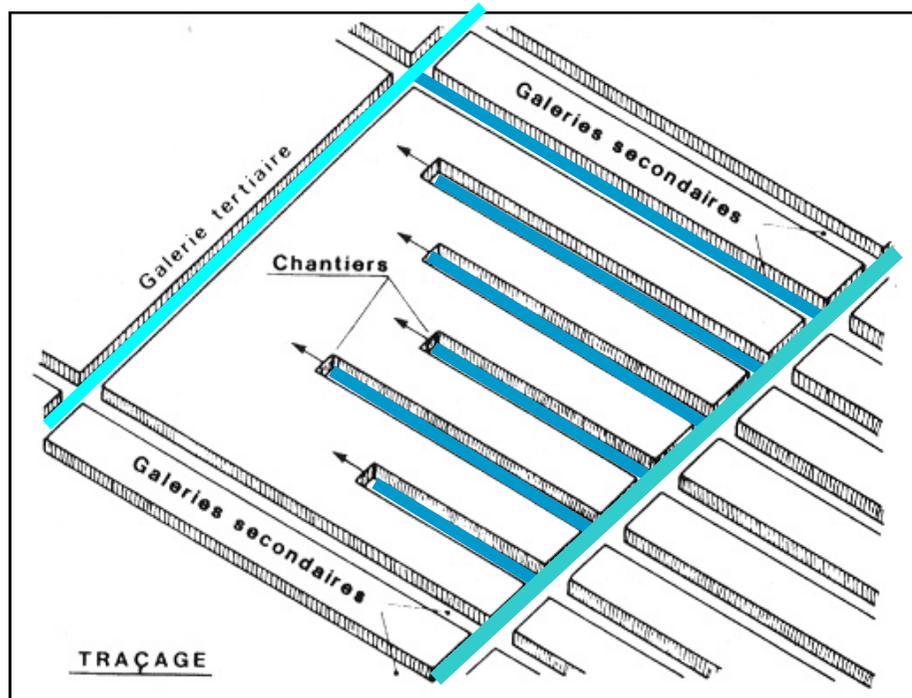
Sommaire de la présentation

- Choix et champ d'application
- Principe de la méthode des chambres et piliers – variantes
- Quelques considérations de mécanique des roches

Développement en 2 phases

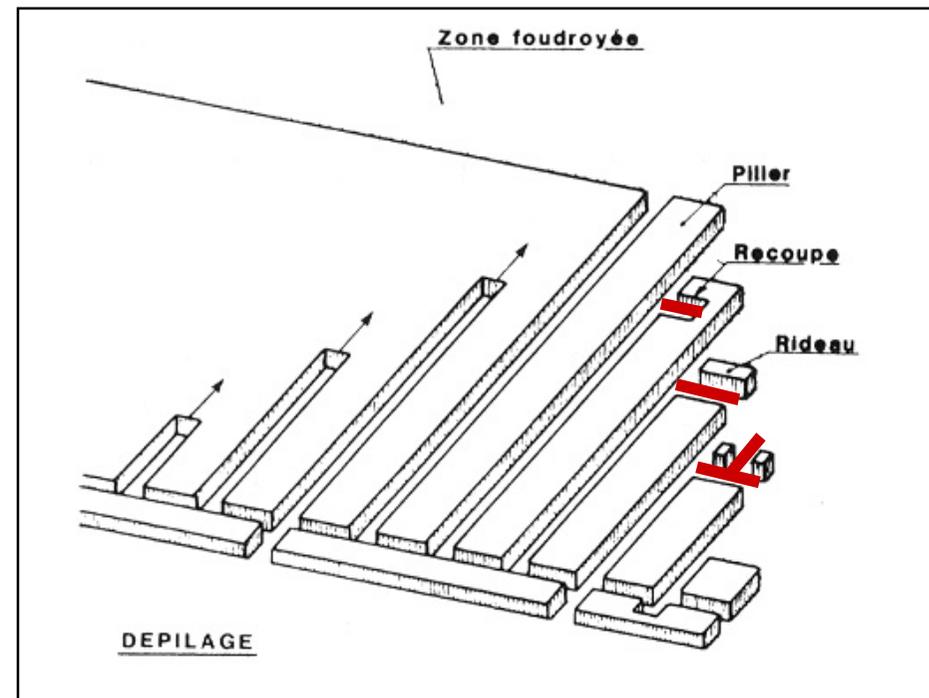
Traçage (*drifting*)

- Ouverture des voies



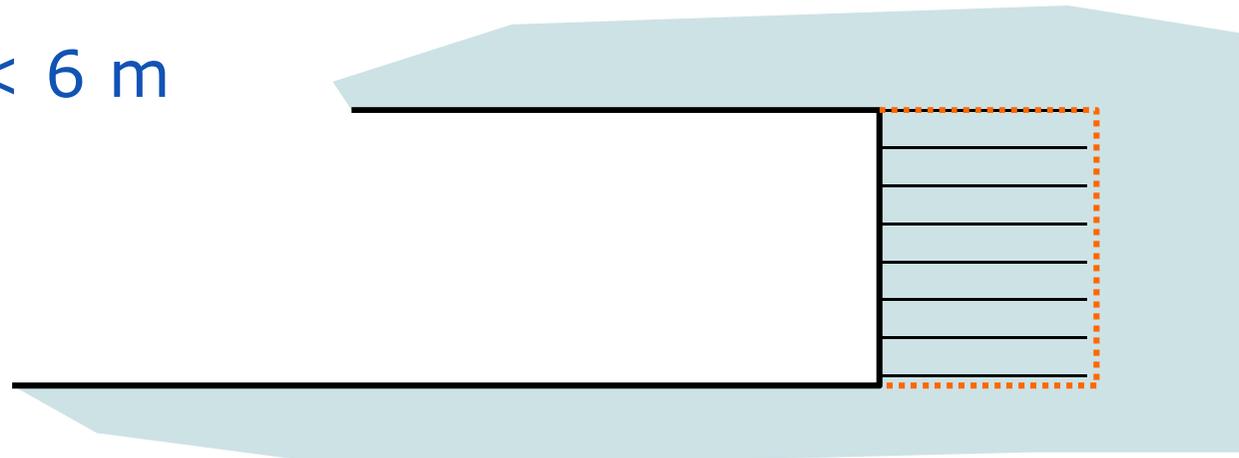
Dépilage (*stopping*)

- Recoupes (*cross-cuts*) et rideaux (*long pillar*) pour exploiter les piliers



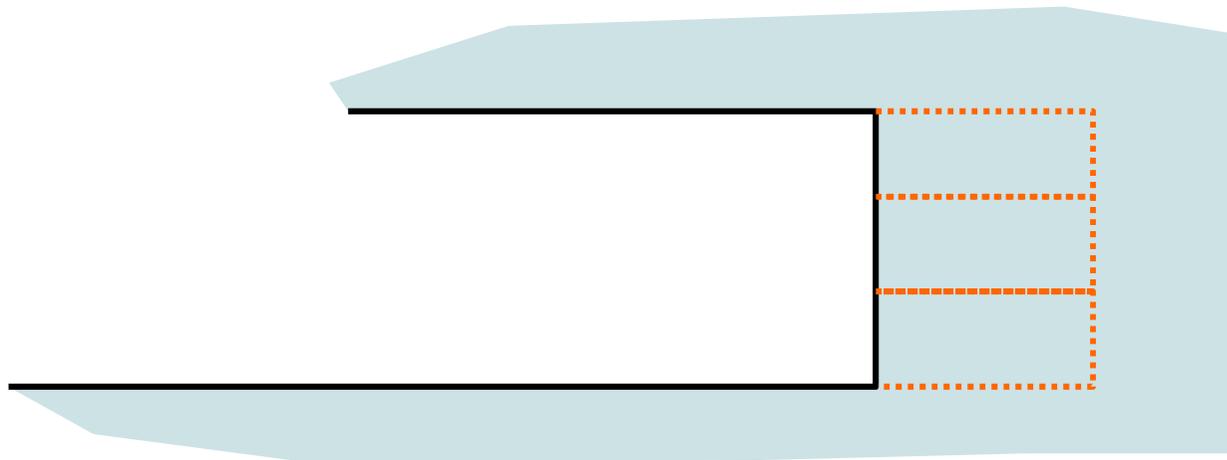
Tranches pleines

- 1 seule passe
- On ne laisse pas de minerai de valeur au mur ou au toit pour une exploitation future
- Equipement dimensionné en fonction de la puissance
- Epaisseur < 6 m



Tranches multiples

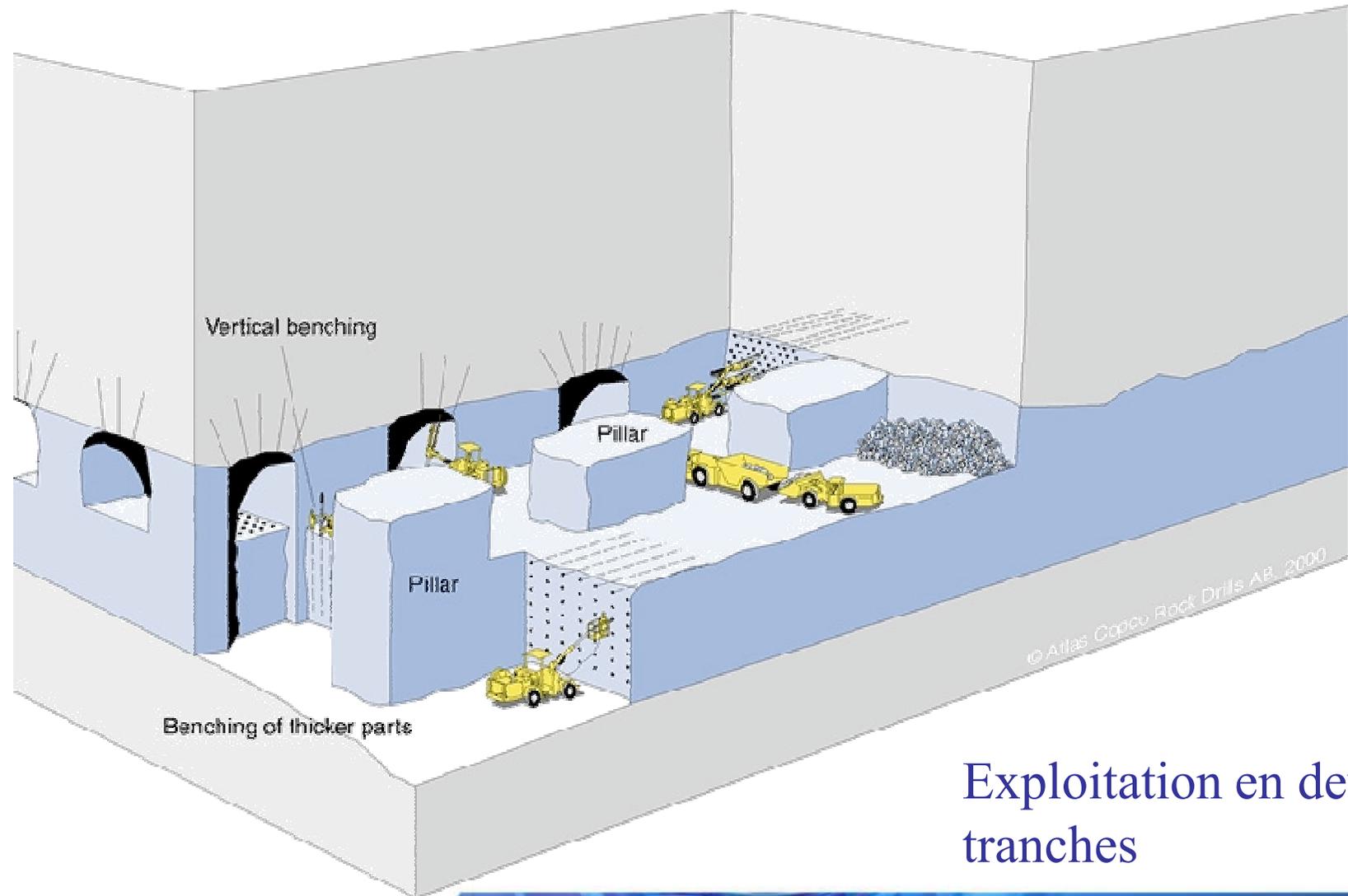
- Plusieurs passes
- 1ère au sommet de la couche \Rightarrow toit définitif (pour le soutènement)



3 techniques en fonction du pendage

- Méthode horizontale
 - Gis. (sub)horizontaux
 - Gis. inclinés épais
- Méthode inclinée :
 $20^\circ < \text{pendage} < 30^\circ$
- Marche d'escalier - Step mining :
adapte la méthode horizontale pour des gisements inclinés

La méthode horizontale (*Horizontal method*)

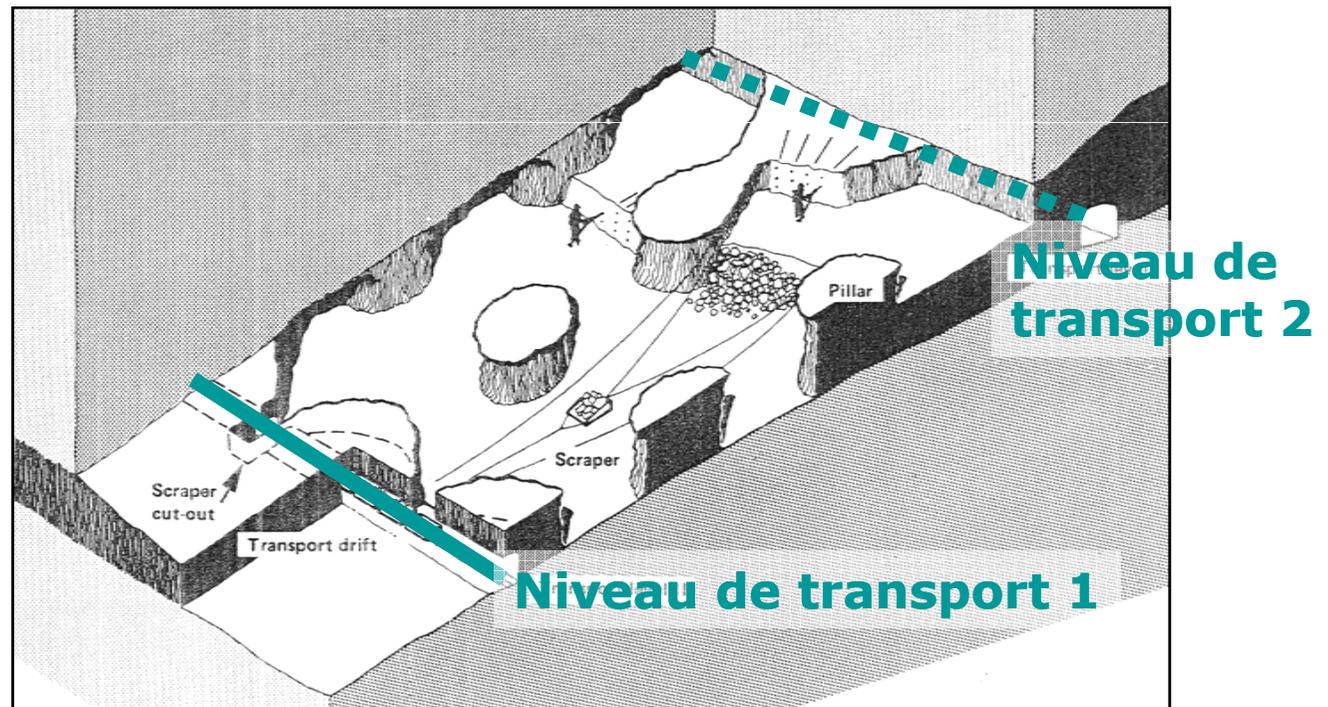


Exploitation en deux
tranches

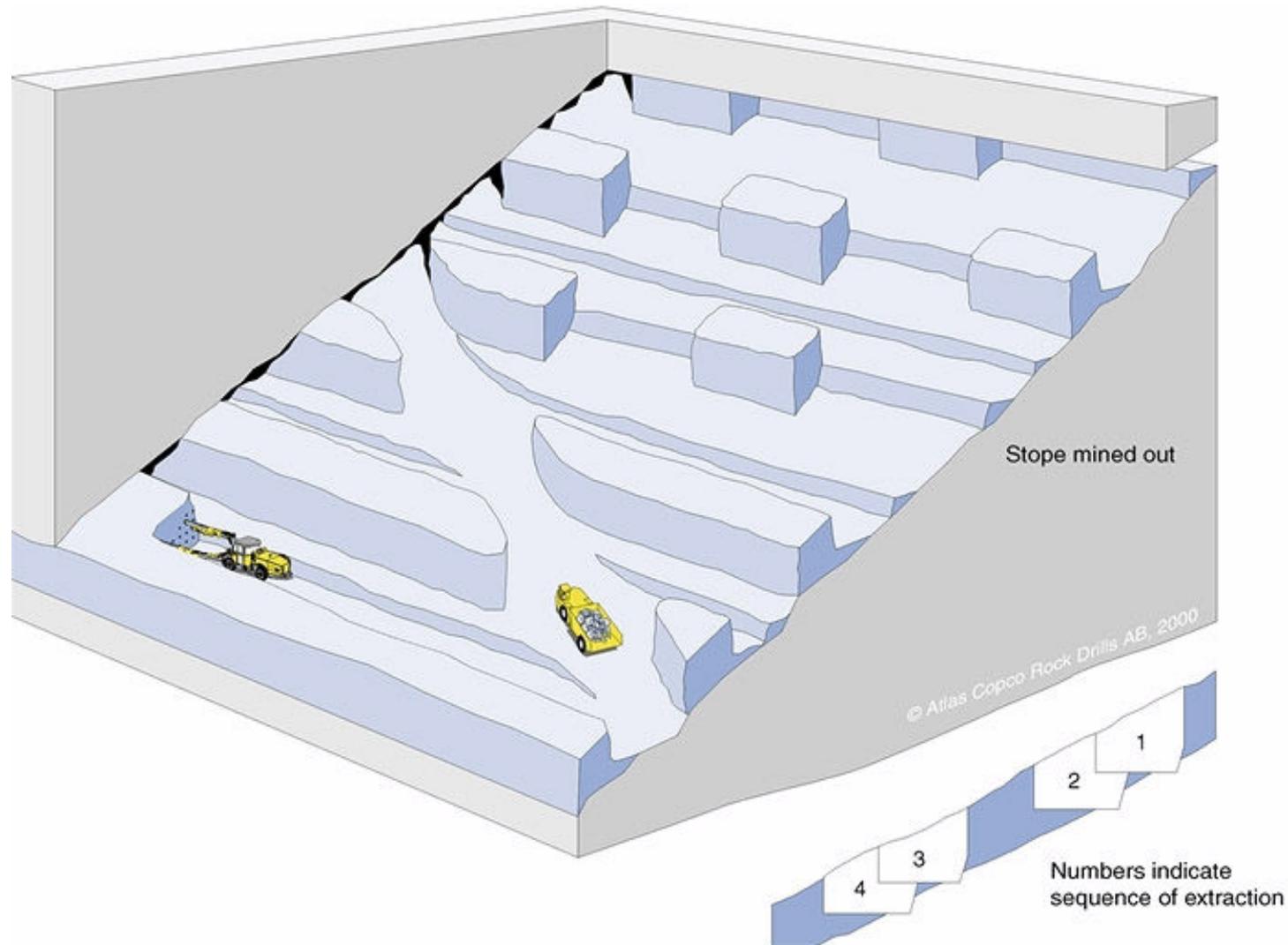
La méthode inclinée

■ Développement :

- Niveaux horizontaux à intervalles
- 1 desserte par niveau (accès aux chantiers, transport des déblais)

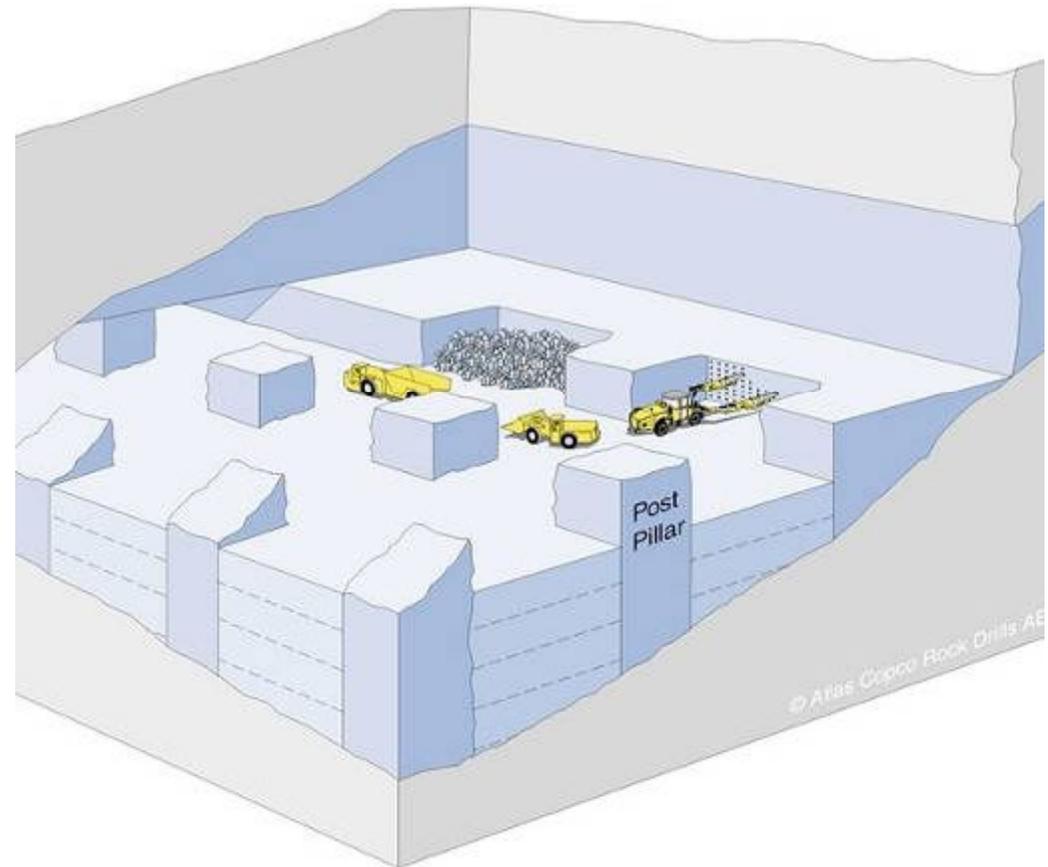


Marche d'escalier - Step mining



Post room-and-pillar

- Mélange de C&P avec CAF
- Tranches horizontales, du bas vers le haut
- Soutènement :
 - Piliers
 - Chambres remplies avec des *tailings*
 - Le remblai contribue à la stabilité des piliers
- Tranche suivante : machines travaillant sur le remblai
- Les piliers s'élèvent sur plusieurs couches de remblai



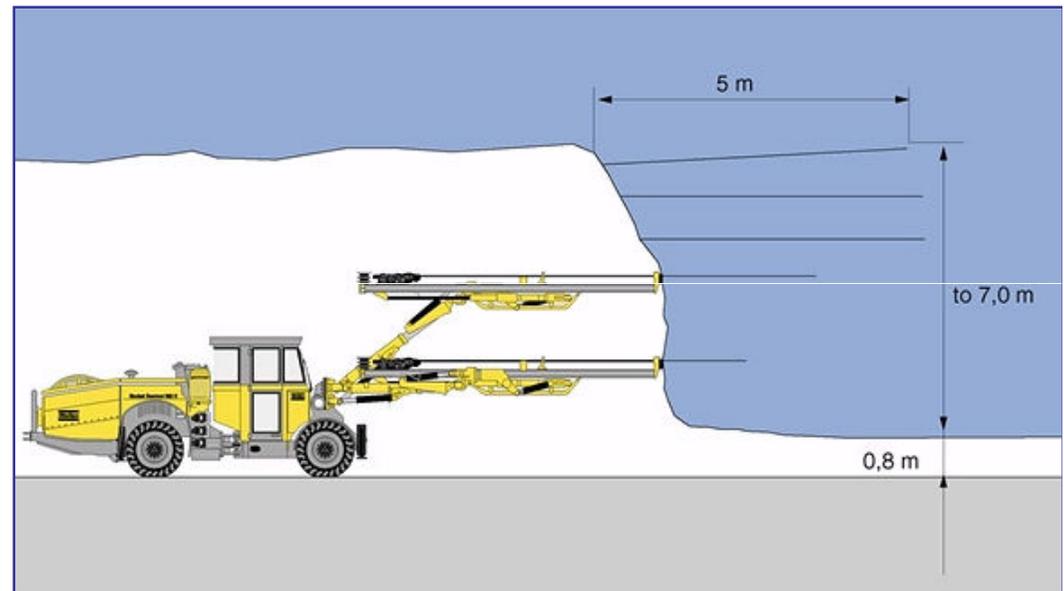
Moyens de creusement

- En roche dure ($R_c > 60 - 80$ MPa):
 - foration et minage aux explosifs
- En roche tendre à moyenne (potasse, sel, U, Fe):
 - abattage mécanique: mécanismes de coupe, impact, poinçonnement
 - Utilisation des mineurs continus

Foration des trous de mines



Marteau à main



Jumbo multi-bras

Utilisation des mineurs continus

- Matériaux tendres, peu abrasifs
- Poussières ↗
- Flexibilité, mobilité ↘ (rails)



Utilisation des engins roulants pour le chargement et transport

- Manipulation des déblais :
 - Charger et transporter - LHD
 - Chargeur et Dumpers



Utilisation du grattage pour le marinage

- Manipulation du minerai :
 - Scrapers et wagons



Sommaire de la présentation

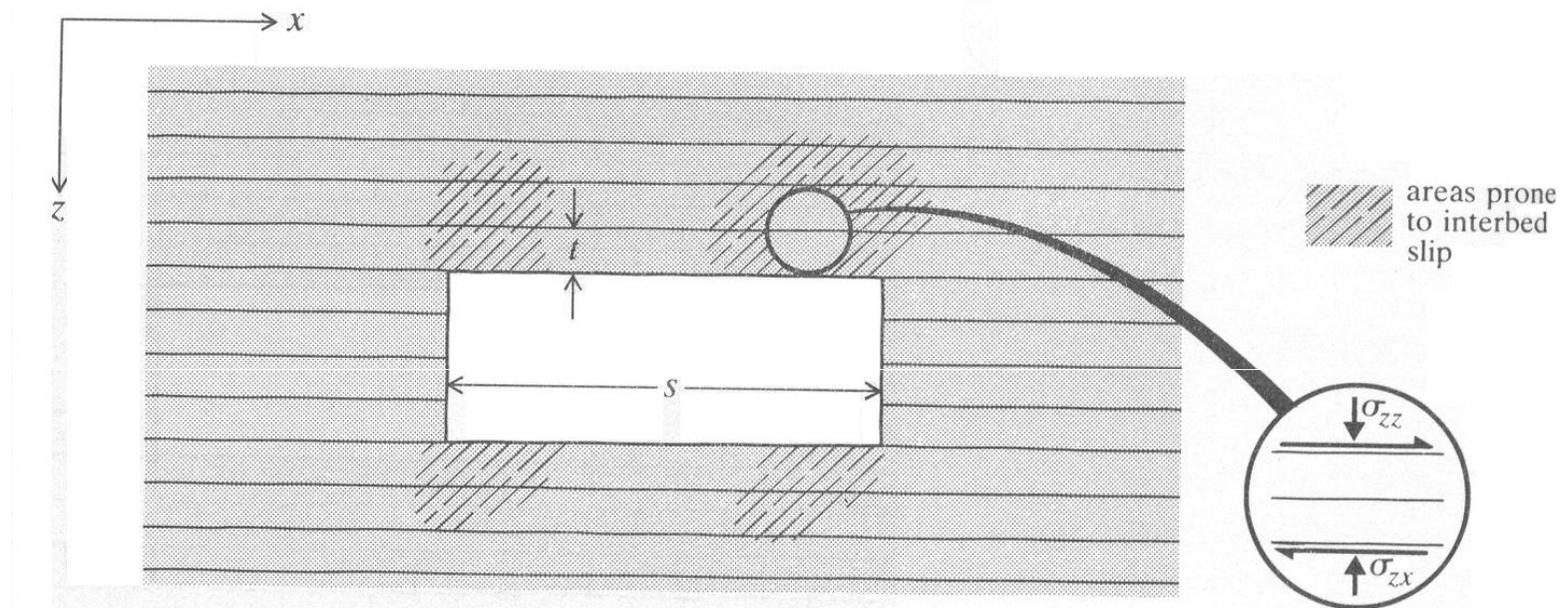
- Choix et champ d'application
- Principe de la méthode des chambres et piliers – variantes
- Quelques considérations de mécanique des roches

Quelques considérations de mécanique des roches

- Méthodes empirico-analytiques d'approche: comportement du toit, comportement du pilier
- Méthodes numériques d'approche

Comportement du toit en terrain stratifié

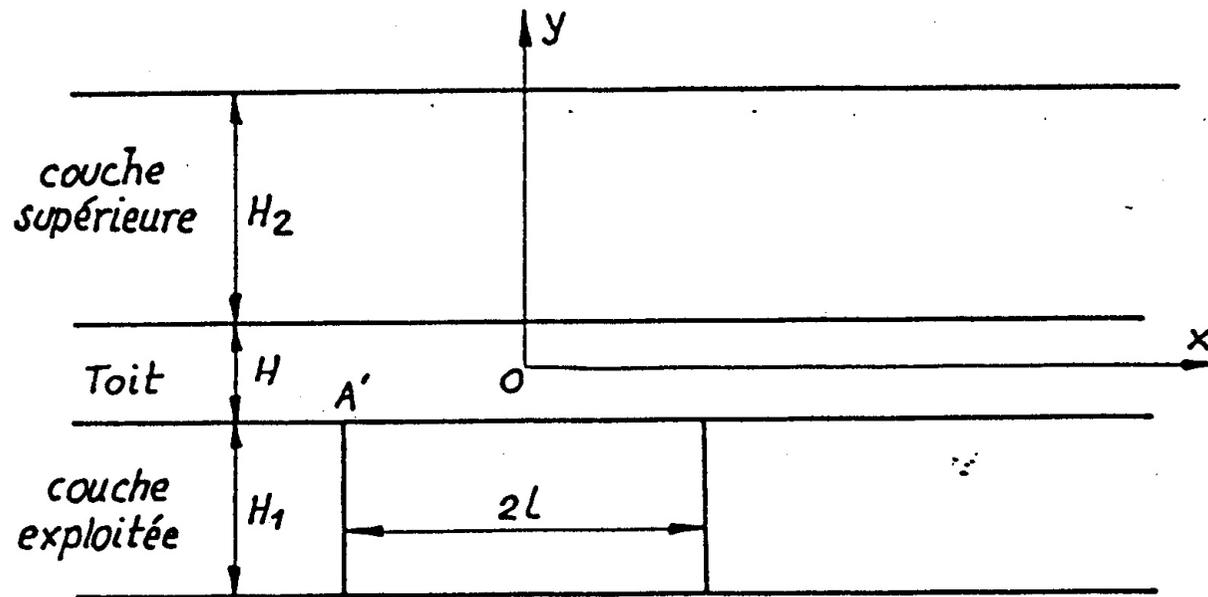
Mécanismes généraux



L'expérience montre qu'au-dessus d'un vide d'exploitation d'une certaine taille en roches sédimentaires les couches se décollent car la rigidité flexionnelle de la couche du toit est généralement inférieure à celle du massif surincombant.

Théorie de la dalle élastique

Un toit décollé peut être considéré comme une dalle (chambres et piliers carrés) ou, si nous nous bornons aux équilibres de déformation plane (chambre de grande longueur), comme une poutre encastree à ses deux extrémités.



On peut calculer :

- le moment fléchissant

$$N = \frac{1}{2} p \left(\frac{l^2}{3} - x^2 \right) + \frac{E'I}{l} w$$

- la flèche maximum

$$f = bl^2 - \frac{pl^4}{24E'I} = \frac{wl}{2} + \frac{pl^4}{24E'I}$$

Avec $p = g_h$ poids de la poutre par unité de longueur;

$E' = E/1-\nu^2$ équivalent de E pour les problèmes plans.

$I = H^3/12$ --> moment d'inertie de la section droite par rapport à l'axe central de la poutre

w : rotation autorisée aux extrémités

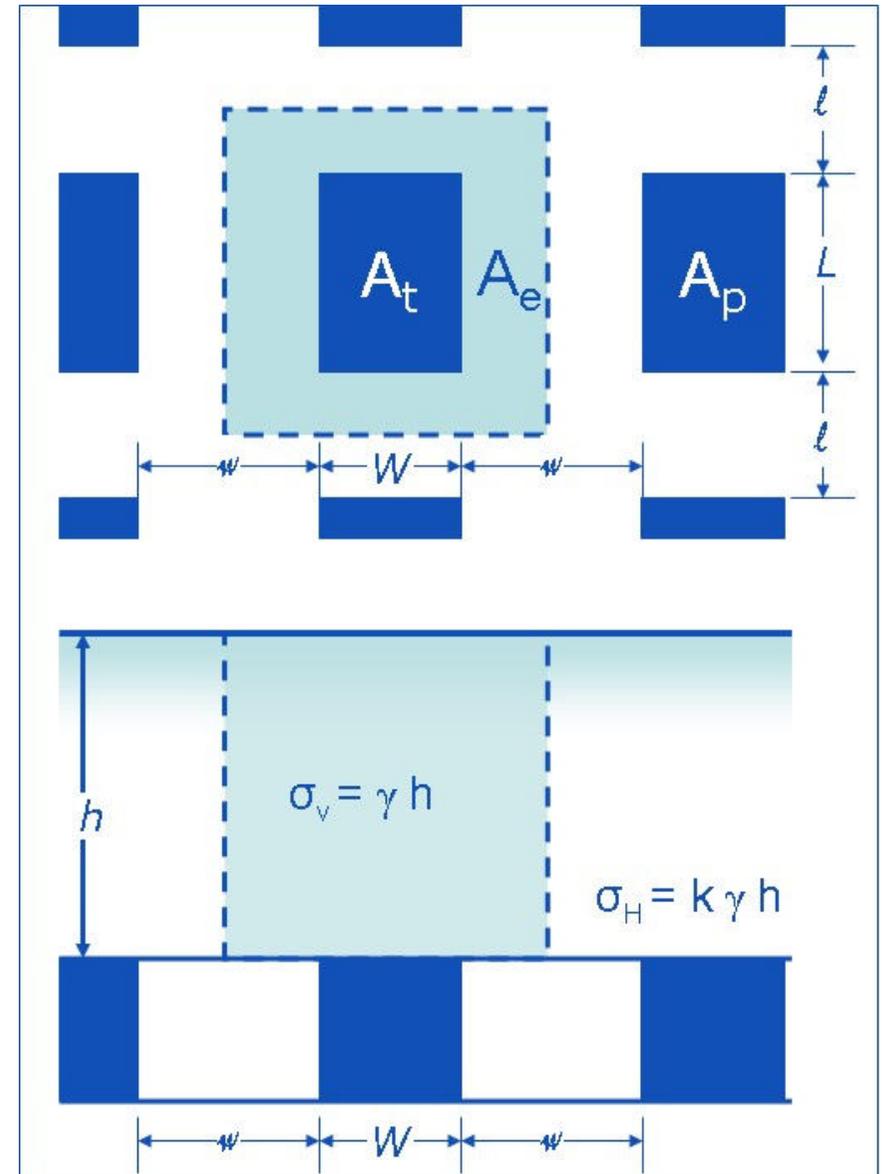
Comportement du pilier

- Méthode des aires tributaires
- Evaluation de la charge et de la résistance réelles des piliers

Méthode des aires tributaires

hypothèses :

- 1) Sur les piliers agit le poids des roches de couverture qui se trouvent au-dessus des piliers jusqu'à la surface.
- 2) Les contraintes verticales de compression dans les sections horizontales des piliers sont considérées uniformément réparties.
- 3) la valeur de la résistance à la rupture par compression est obtenue par des essais de laboratoire.



Ces hypothèses conduisent à la condition de stabilité suivante :

$$S.H.\gamma + s.h.\gamma_1 \leq s \frac{\sigma_c}{n}$$

S: base du prisme de roche supporté par le pilier

s: section du pilier

H: hauteur du massif sur-incombant

h: hauteur du pilier

γ, γ_1 : poids spécifiques du massif et du pilier

σ_c : résistance en compression simple

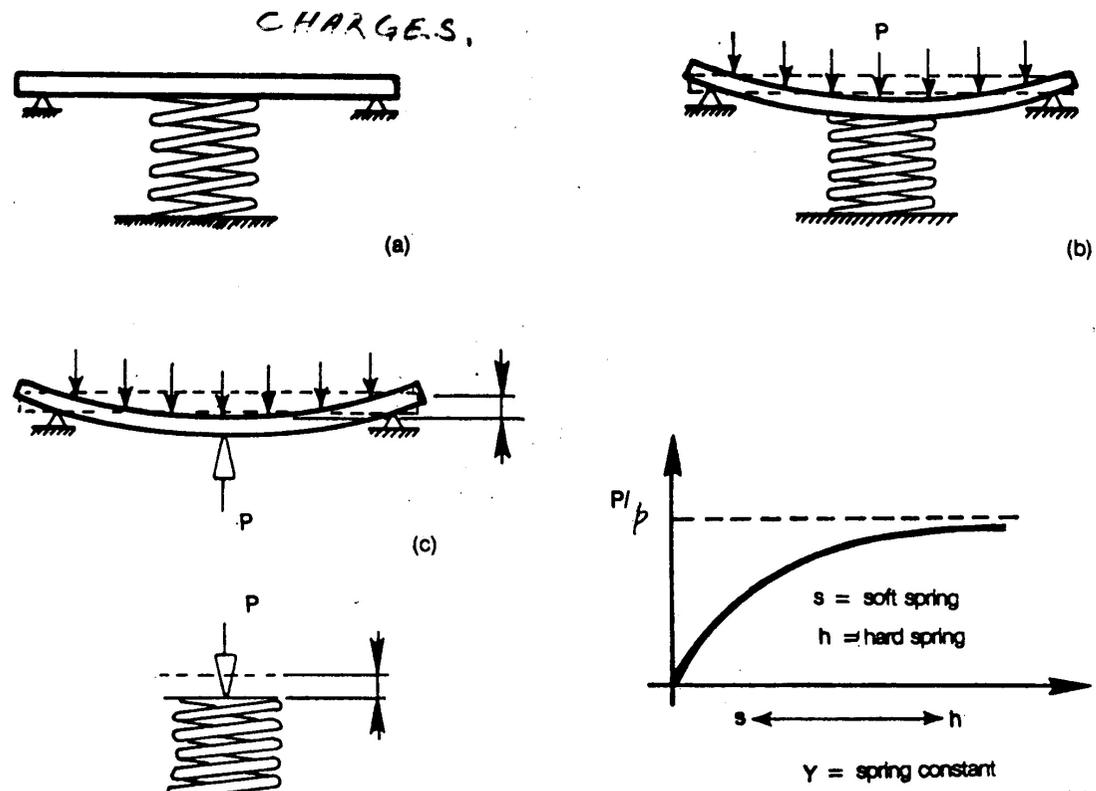
n: coefficient de sécurité; n = 2,5 pour le smooth-blasting (minage doux).

Charge réelle sur le pilier

L'hypothèse des aires tributaires peut être acceptée lorsque la largeur du panneau exploité est supérieure à la profondeur de la couche exploitée (**cas de la Malogne**), sinon elle conduit à une surestimation de la charge. Il y a en général report des contraintes sur les piliers périphériques (appuis). La charge reprise par les appuis sera d'autant plus élevée que le déplacement autorisé dans les piliers sera important.

Analogie:

Pour un ressort tendre (s) le rapport P/p de la charge du pilier à la charge totale sera nul, tandis que pour un ressort rigide (h) ce rapport sera proche de 1.



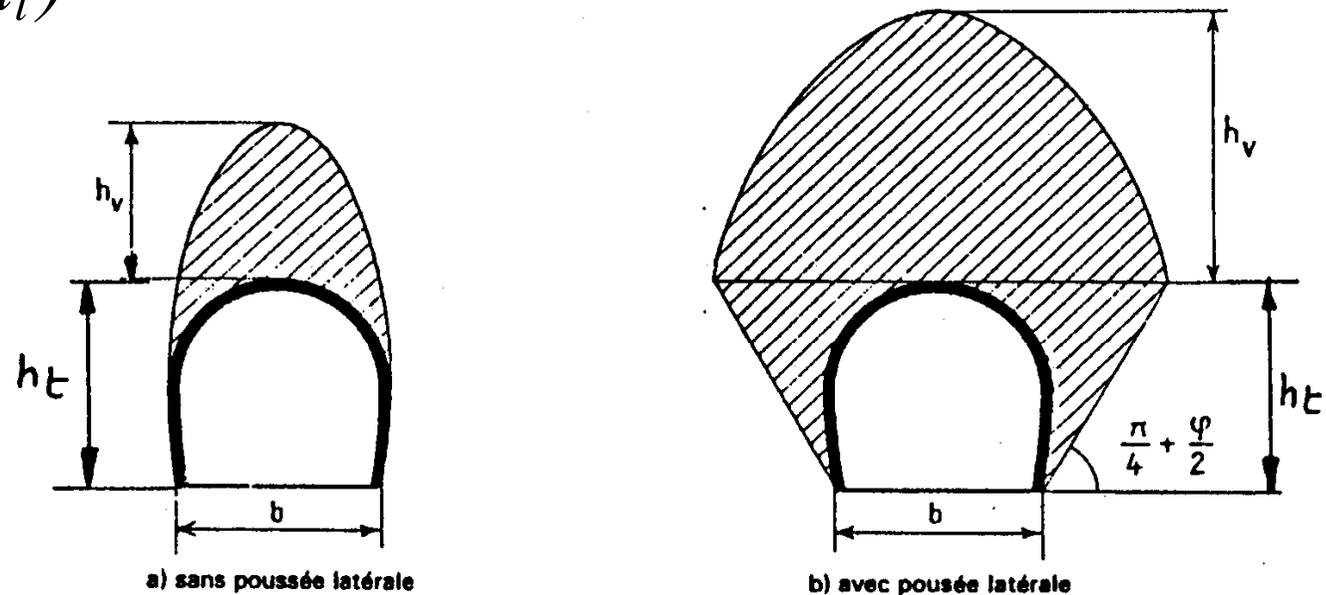
Conséquence: théorie de la voûte de détente

Pour les ouvrages profonds horizontaux, les charges qui doivent être reprises par le soutènement correspondent à une zone ayant la forme d'une cloche qui n'atteint pas la surface du terrain. Sa forme et son extension dépendent des propriétés mécaniques des terrains.

Exemple de formule d'évaluation de h_v : Terzaghi

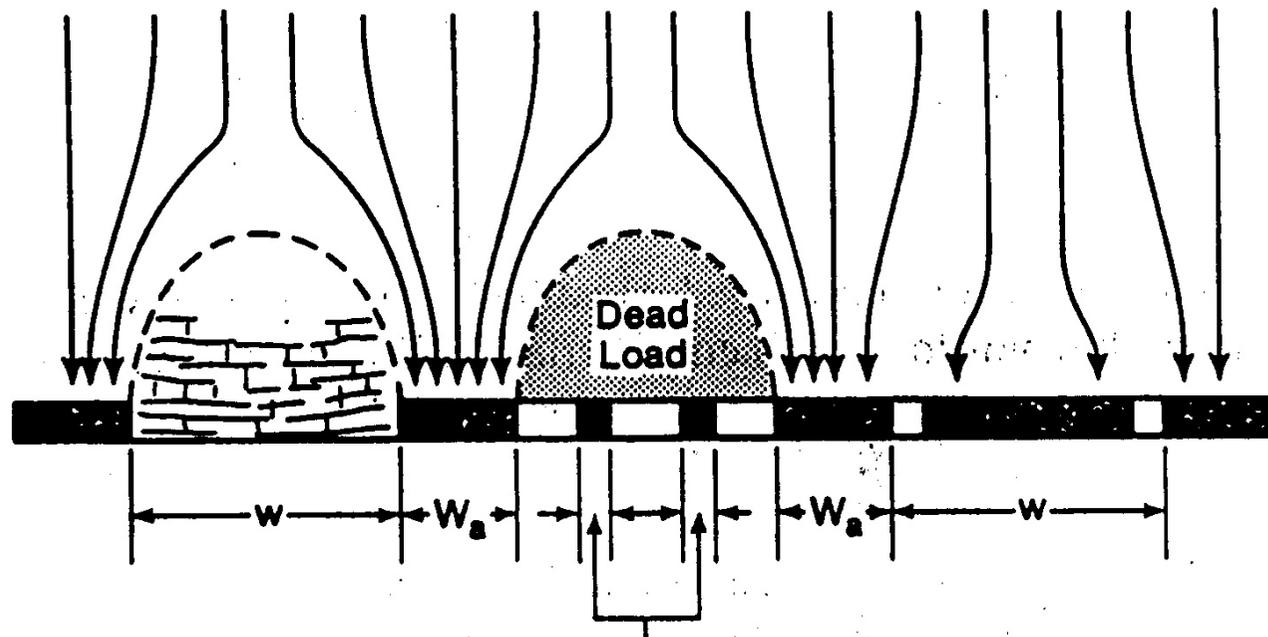
$$h_v = K(b + h_t)$$

K : coefficient caractéristique du terrain.



Concept de pilier barrière dans une exploitation.

Il s'agit de piliers qu'on laisse entre les panneaux exploités pour reprendre les charges et éviter ainsi que les ruptures se propagent jusqu'en surface



Estimation de la résistance réelle des piliers

Trois méthodes peuvent être utilisées:

1. Extrapolation à partir des essais à petite échelle comme la compression uniaxiale;
2. Réalisation des essais in situ pour estimer la résistance (expériences faites essentiellement dans le charbon);
3. Analyse statistique du comportement des piliers (rupture et stabilité par rapport à la charge qu'ils sont supposés reprendre.

Formule générale d'estimation:

$$R_p = k w^a h^b$$

k: constante

a, b: paramètres

w: largeur du pilier

h: hauteur du pilier

Effet de la taille sur la résistance du pilier

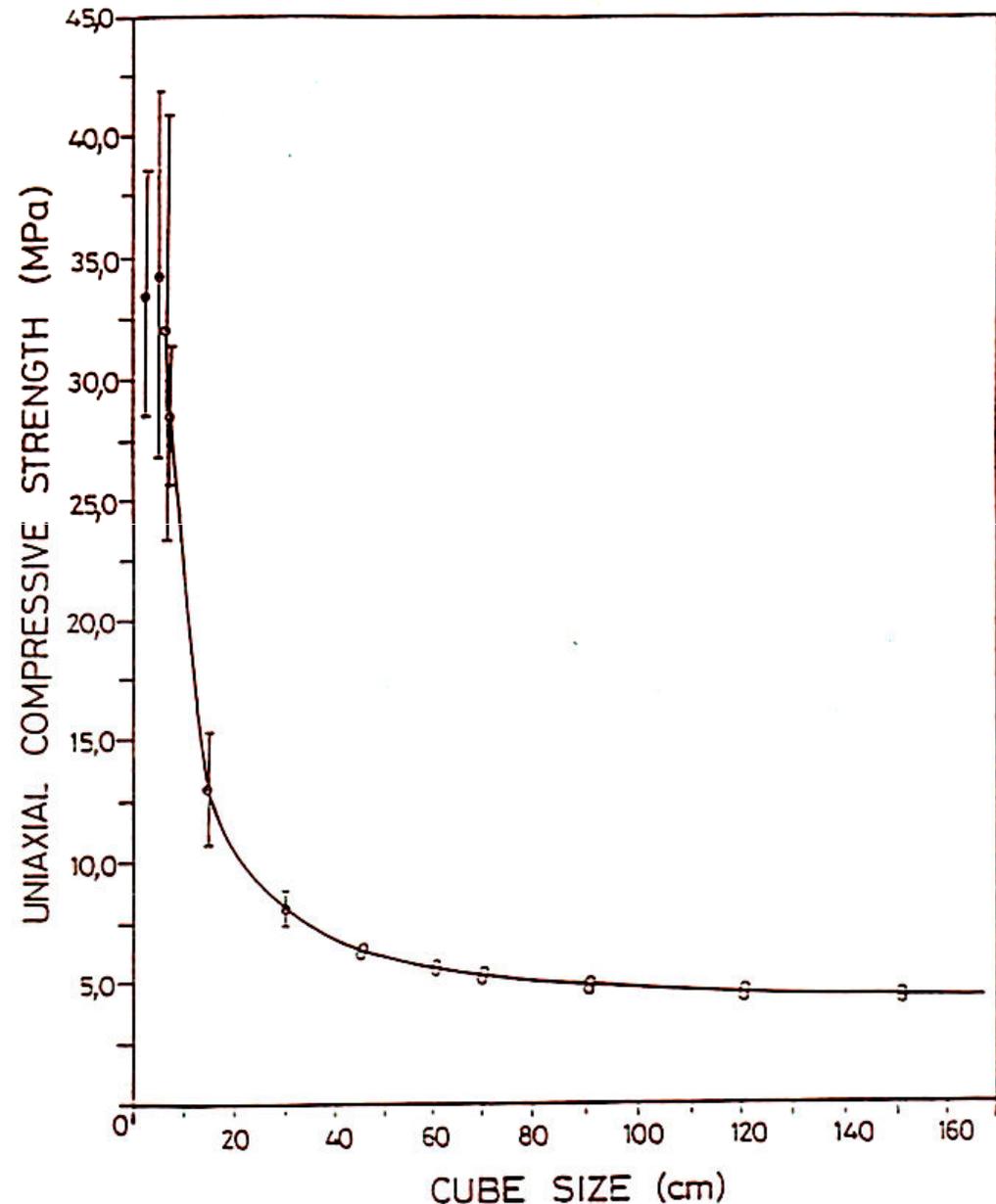
Evolution de la résistance en fonction de la taille des échantillons – résultats obtenus sur des cubes de charbon.

Exemple de formules d'ajustement:
Holland et Gaddy (1956)

$$\sigma_p = k \frac{\sqrt{w}}{h}$$

Bieniawski (1967)

$$\sigma_p = k \frac{w^{0.16}}{h^{0.55}}$$



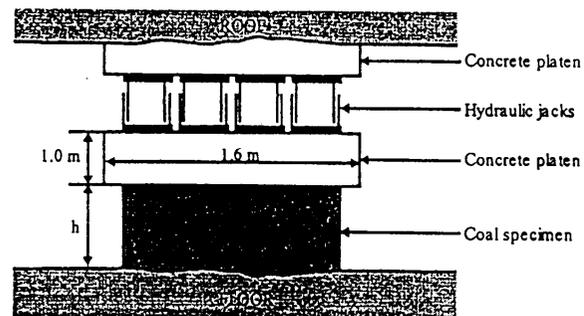
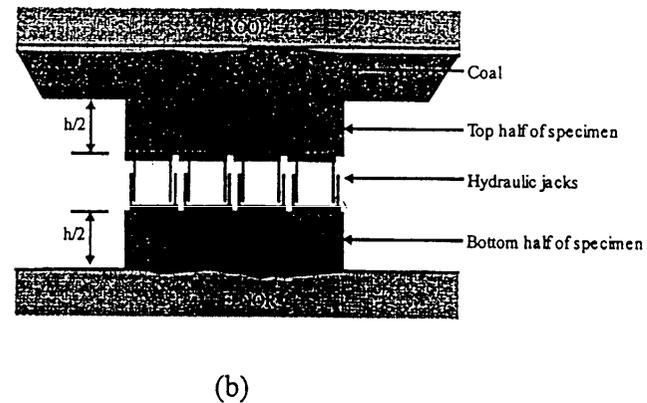
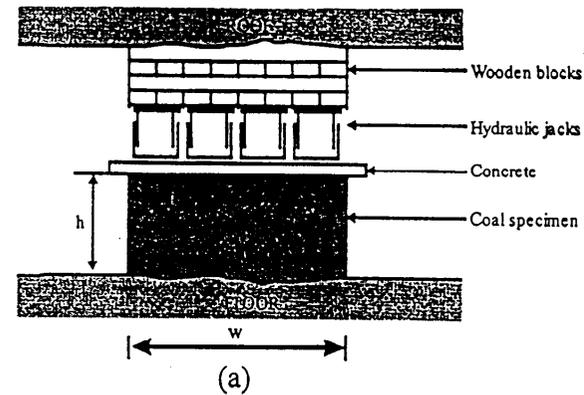
Expériences in situ sur des piliers de charbon

Coupe du pilier et chargement par systèmes de vérins hydrauliques placés entre le toit et le mur:

a) Bieniawski

b) Cook et al et Wagner

c) Van Heerden



Résultats des essais cas de la courbe contrainte - déformation

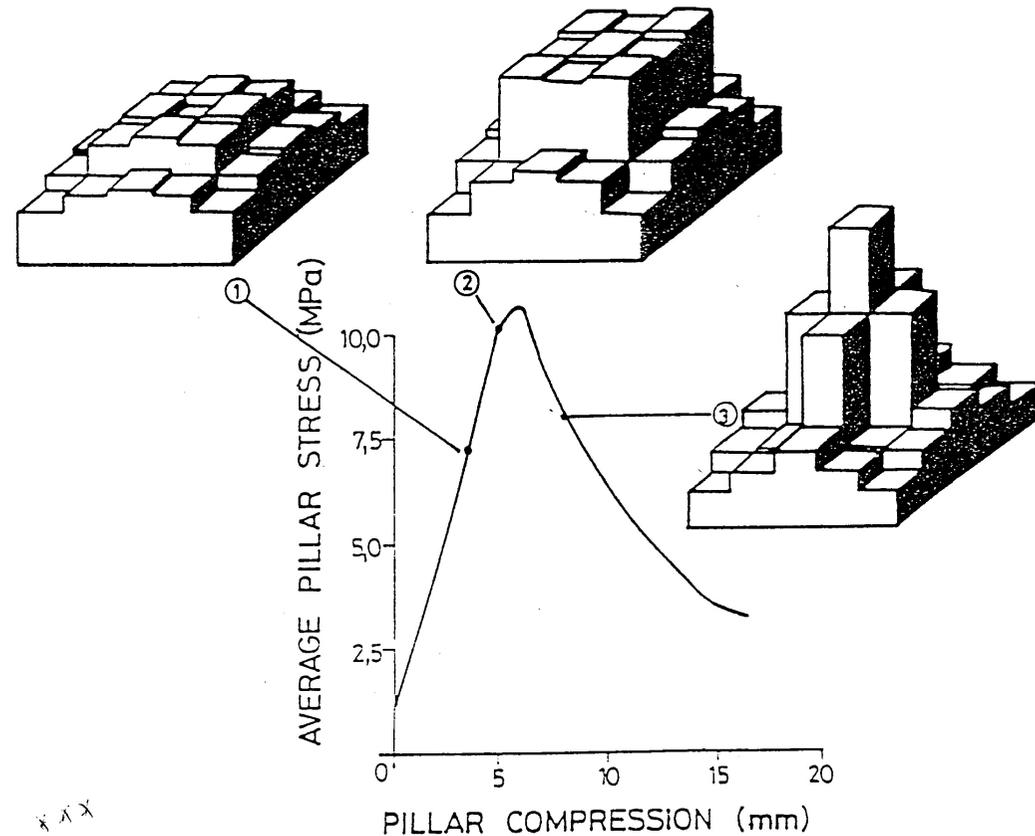
Exemple de formules d'ajustement:

Wagner (1974)

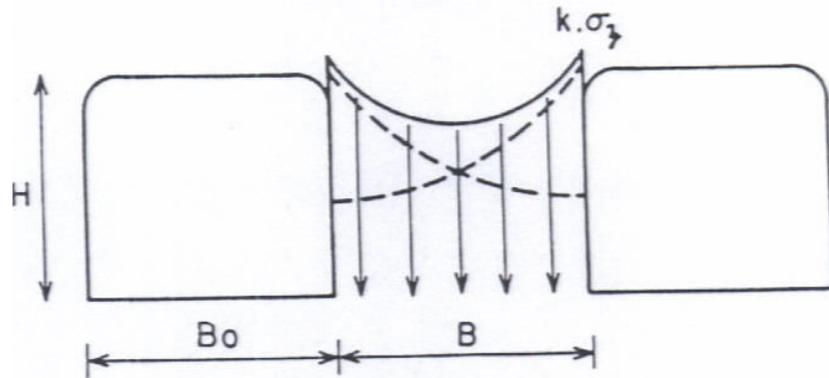
$$\sigma_p = k \sqrt{\frac{W_{\text{eff}}}{h}}$$

Wang et al (1977)

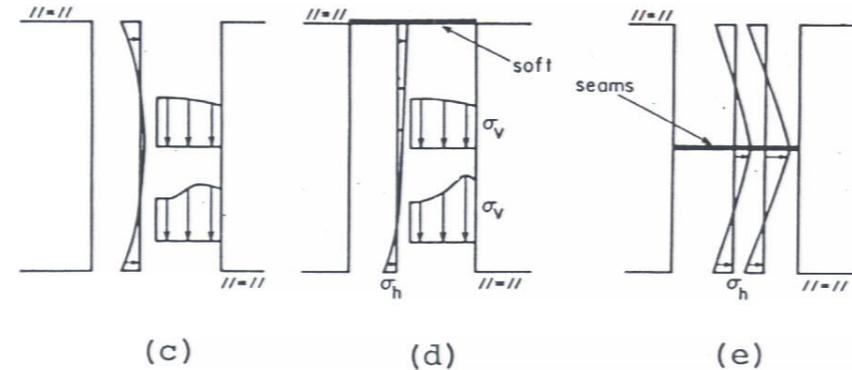
$$\sigma_p = 0.78 + 0.22 \frac{W}{h}$$



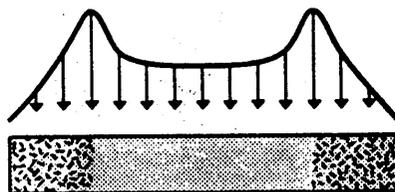
Distribution réelle des contraintes dans les piliers



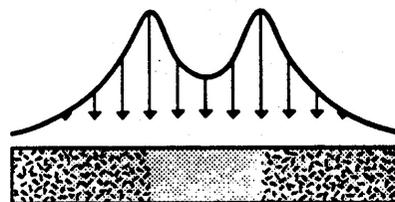
Contraintes élastiques verticales:
les pics sont sur la paroi



Contraintes élastiques
horizontales



Front abutment stress
after pillar loading



Front abutment stress
pushed toward pillar center

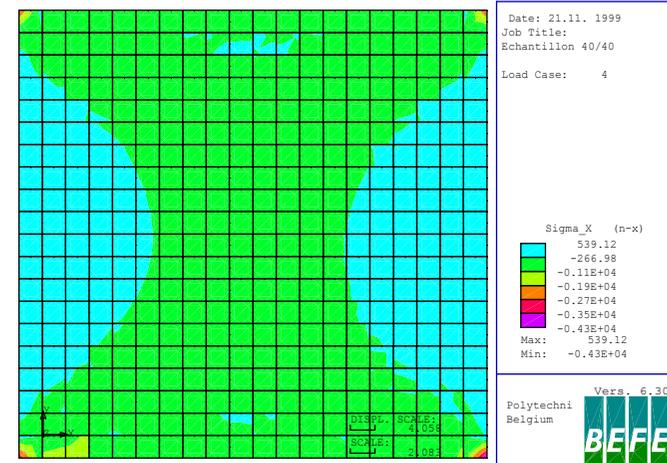
Evolution des contraintes
après rupture

Forme de la rupture des piliers

la rupture des piliers commence souvent par un écaillage dû au fait que les tensions latérales engendrées par la contrainte verticale ne sont pas compensées sur les parements.



Exemple de pilier écaillé dans les carrières souterraines de la Malogne.

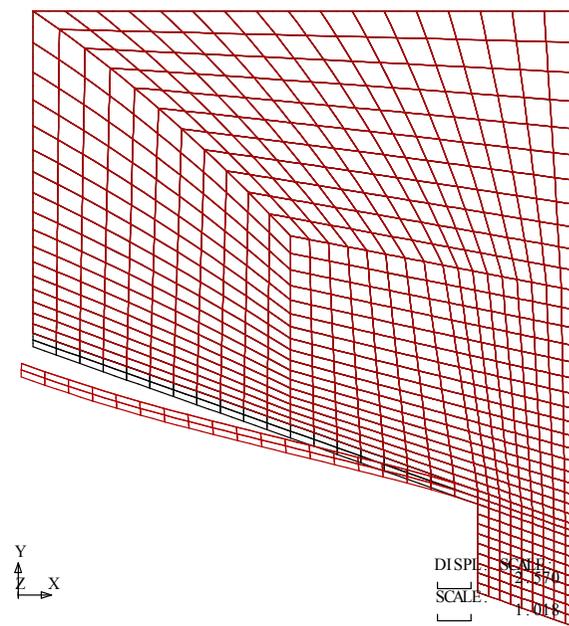


Simulation du comportement mécanique d'un échantillon de roche pour comprendre le mécanisme d'écaillage

Quelques considérations de mécanique des roches

- Méthodes empirico-analytiques d'approches: comportement du toit, comportement du pilier
- Méthodes numériques d'approche

Exemple d'application MEF carrière Saint-Martin Villeret



Date: 27. 5. 2000
Job Title:
Run on 2000/ 5/22
Load Case: 1

Vers. 6.30
Polytechni
Belgium



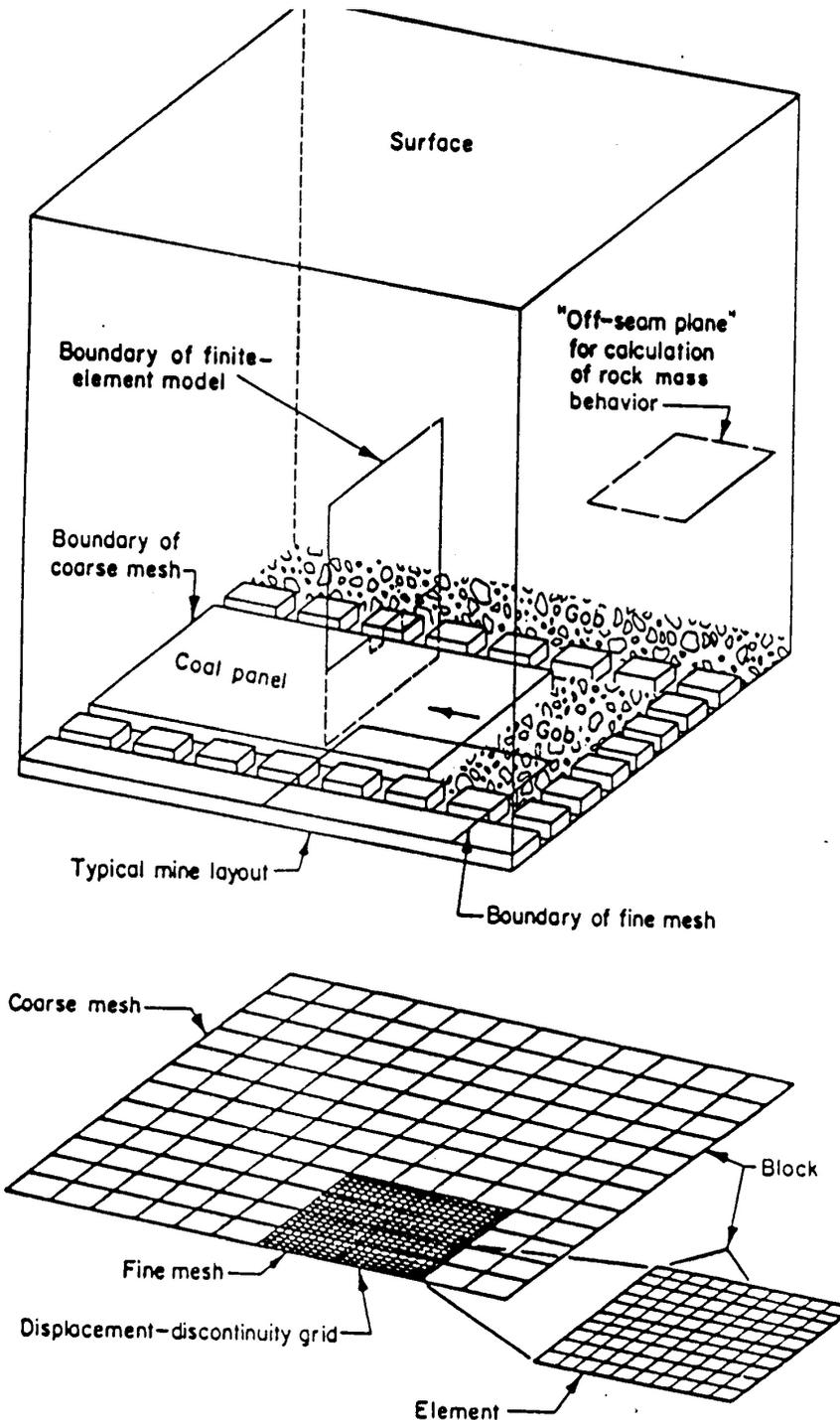
Simulation d'un décollement de joint
par MEF

Vues de la carrière avec décollement de toit

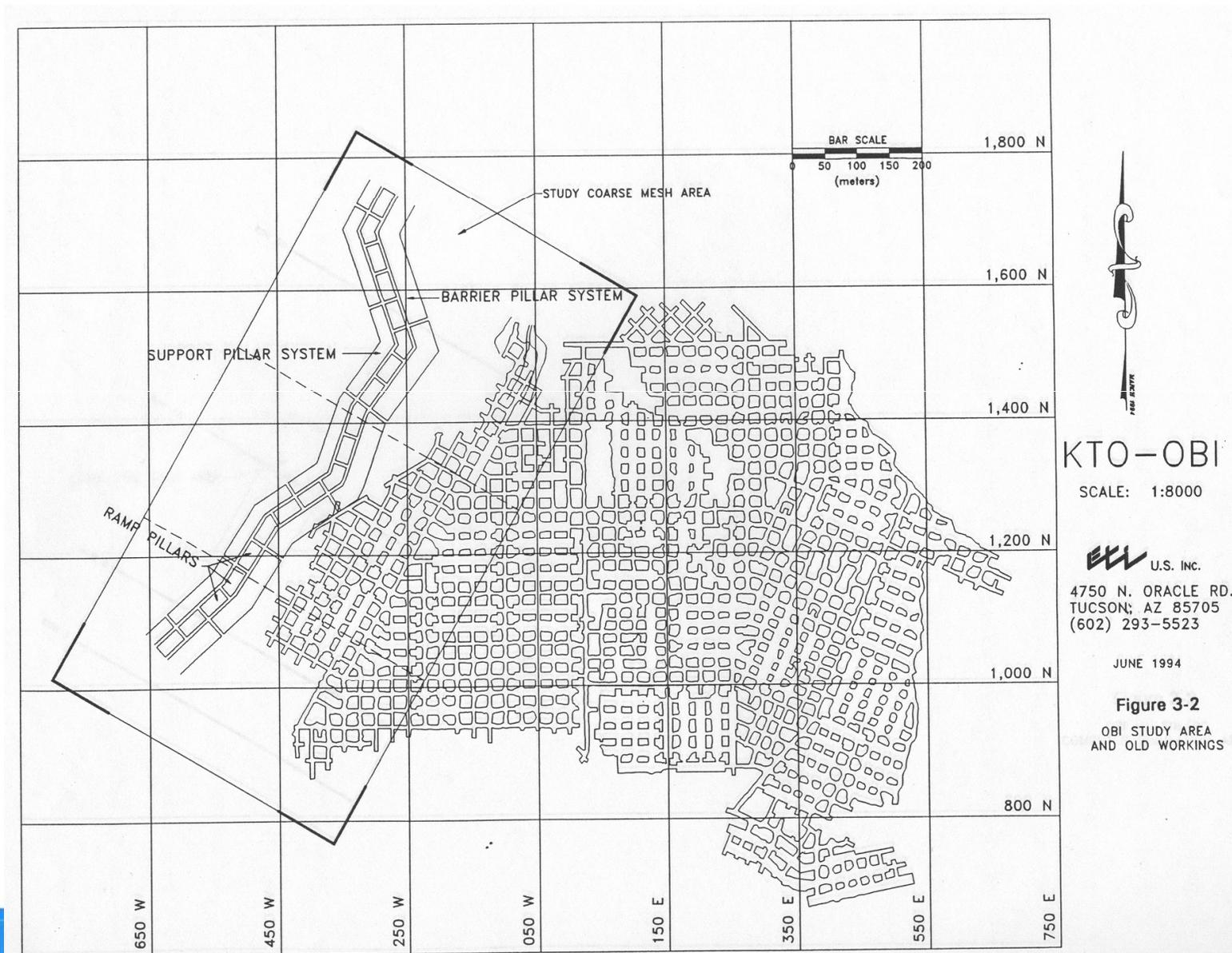
Utilisation des méthodes combinées: MEF & BEM

Le modèle des éléments aux frontières permet de voir la cinématique et les efforts globaux qui peuvent être utilisés pour fixer les conditions aux limites du modèle des éléments finis.

Le logiciel utilisé ici est Mulsim du USBM



Exemple de modélisation BEM d'une exploitation par chambres et piliers (Mine de kamoto, R.D. Congo)



Résultats en contraintes et déplacements verticaux par la méthode des éléments aux frontières

Figure 3-28

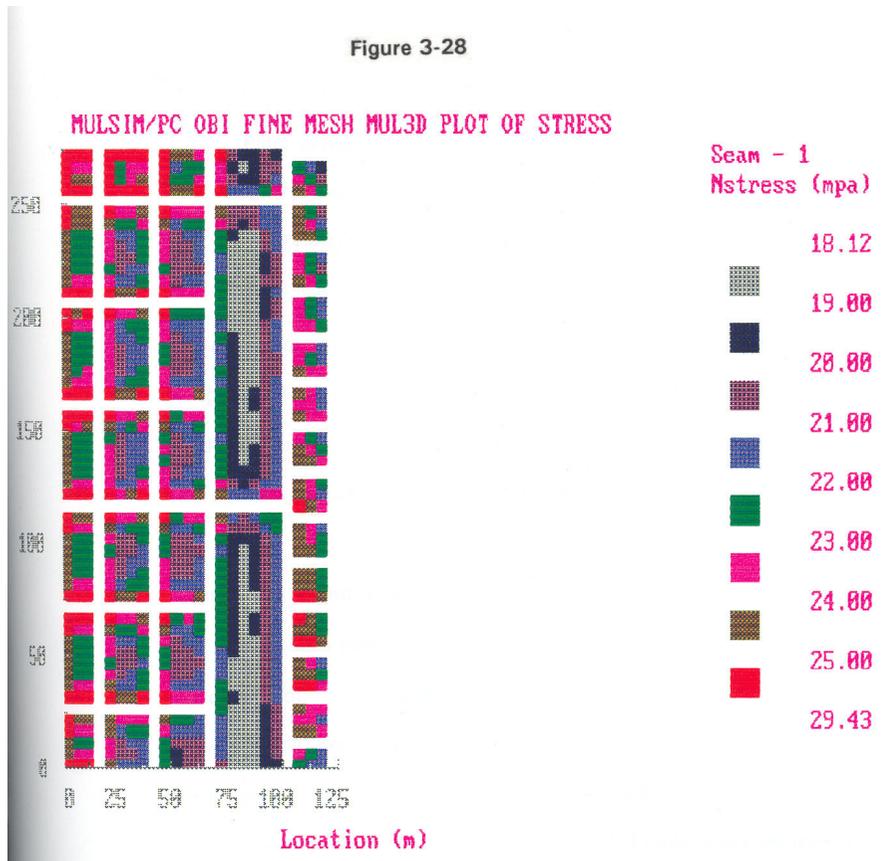
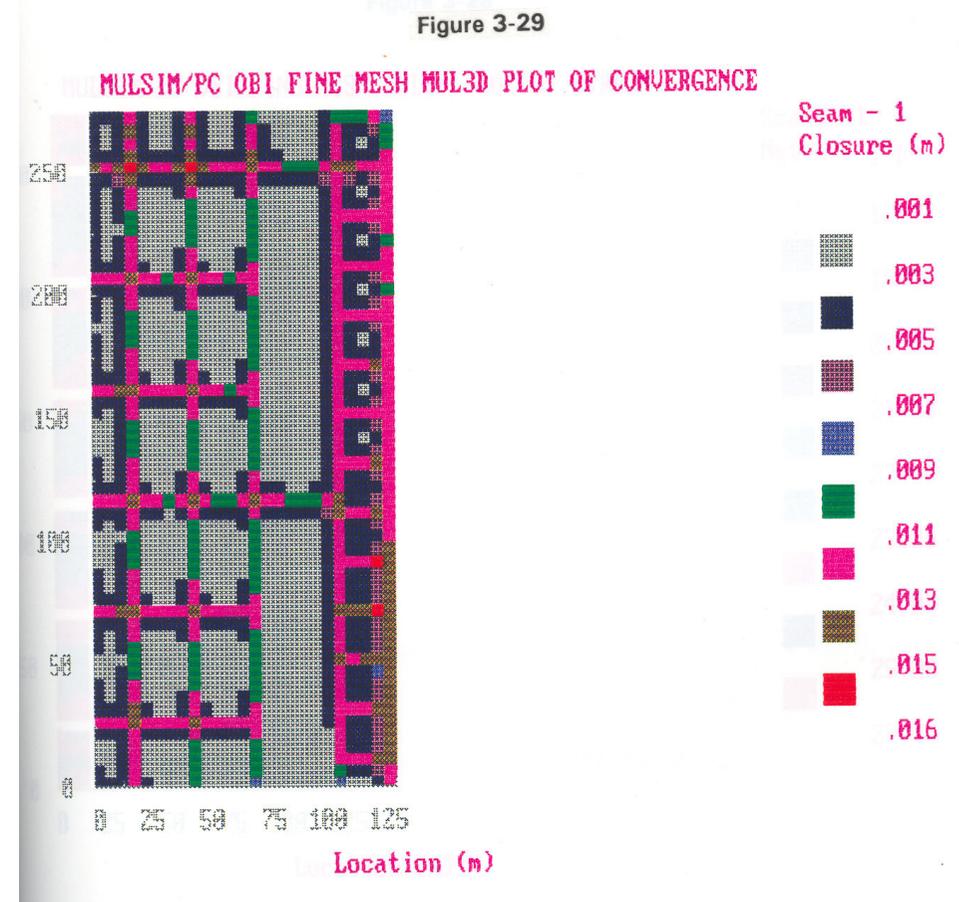
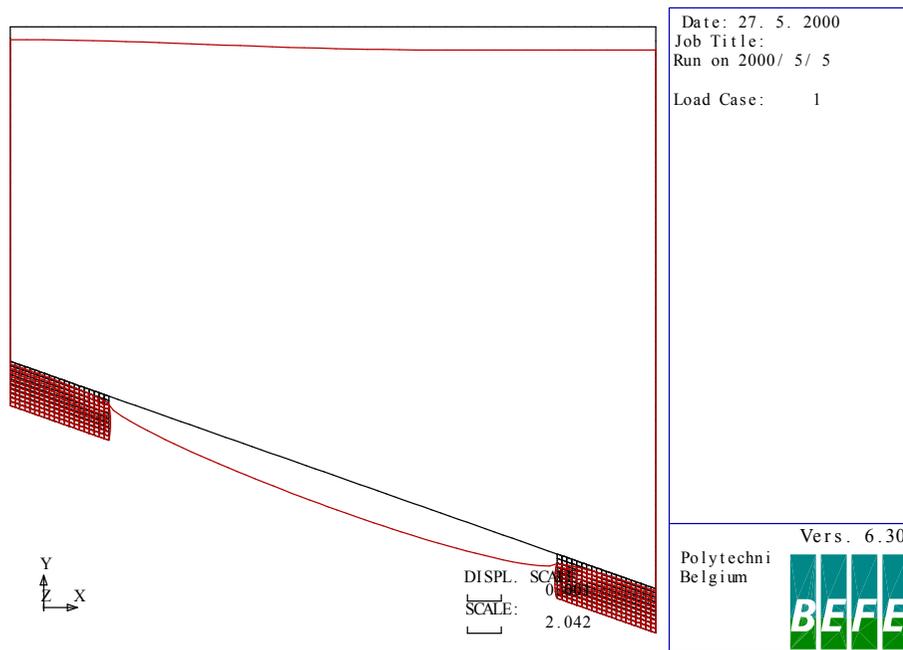


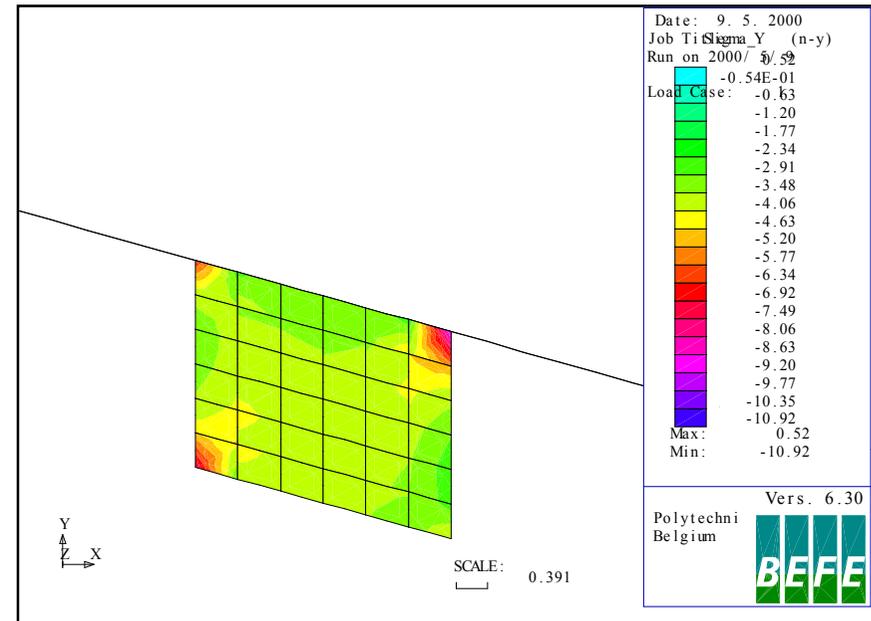
Figure 3-29



Exemple de modèle combiné à la carrière Saint Martin



Déformée globale du modèle en élastique



Distribution des contraintes dans un pilier

Merci pour votre attention



Impala Platinum Mine, Rustenburg, South Africa