



HAL
open science

Evolution des techniques de boulonnage : point sur le Projet Rockbolting

Samy Kouniali

► **To cite this version:**

Samy Kouniali. Evolution des techniques de boulonnage : point sur le Projet Rockbolting. Journée technique CdF, Jun 1996, Saint-Etienne, France. pp.100-118. ineris-00971974

HAL Id: ineris-00971974

<https://ineris.hal.science/ineris-00971974>

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.

**Evolution des Techniques de Boulonnage :
Point sur le Projet Rockbolting**

Samy KOUNIALI

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS),
BP. 2, 60500 Verneuil en Halatte, France

SOMMAIRE

1. Objectifs	3
2. Partenaires	3
3. Méthode de travail	4
4. Analyse comparative de l'utilisation du boulonnage chez chaque partenaire	4
4.1 Exemple typique pour la Grande Bretagne : Mine de Ricall	5
4.1.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation	5
4.1.2 Schéma de boulonnage (Ricall mine, GB)	6
4.2 Exemple typique pour l'Allemagne : Mine de Niederberg	7
4.2.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation	7
4.2.2 Schéma de boulonnage (mine de Niederberg, GB)	8
4.3 Exemple de boulonnage en France : U.E. Provence	9
4.3.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation	9
4.3.2 Schéma de boulonnage (U.E. Provence, F)	10
4.4 Méthodologie anglaise de dimensionnement d'un schéma de boulonnage	11
4.4.1 Principes de la méthodologie anglaise	11
4.4.2 Mise en place du boulonnage dans une mine anglaise	12
4.5 Méthodologie allemande de dimensionnement d'un schéma de boulonnage	14
4.6 Méthodologie française de dimensionnement d'un schéma de boulonnage	15
4.7 Analyse comparative des composants :	17
4.8 Tests de caractérisation des systèmes de boulonnage	18
4.8.1 Essai d'arrachement	18
4.8.2 Essai de cisaillement	18
4.9 Méthodes de contrôle et de surveillance des voies boulonnées	19
5. Utilisation de l'expérience de chaque partenaire pour réaliser un boulonnage plus efficace chez tous les partenaires	19
5.1 Sites d'essais à étudier dans les différents pays	20
6. Conclusion & Perspectives	20

Evolution des Techniques de Boulonnage : Point sur le Projet Rockbolting

1. Objectifs

L'intérêt de l'utilisation du boulonnage pour renforcer des voies au creusement ne fait pas de doute. Ce type de renforcement est plus rapide à mettre en place, moins cher et souvent plus sûr que le renforcement traditionnel.

De nombreuses techniques et méthodes spécifiques à chaque type de gisement ont été développés, souvent de façon parallèle, dans chaque pays. Le projet européen Rockbolting doit permettre un large échange de savoir faire et d'expérience entre les spécialistes des pays européens impliqués. Il créera une véritable synergie entre les différentes équipes qui procéderont à une validation et une expérimentation commune afin de permettre une obtention plus rapide de résultats.

L'objectif ultime du projet sera de déterminer les meilleures méthodes et techniques de boulonnage :

- pour chaque gisement ou type de gisement
- dans chaque pays
- pour chaque configuration de galerie (creusement, passage - taille)

2. Partenaires

Le projet regroupe six partenaires dans quatre pays :

- les deux bassins houillers HBL (UCAD) et HBCM (U.E. Provence) ainsi que l'INERIS pour la France ;
- la société Rock Mechanics Technology (RMT) pour la Grande Bretagne ;
- la société Deutsche Montan Technologie (DMT) pour l'Allemagne ;
- et finalement la société Geocontrol pour l'Espagne .

3. Méthode de travail

Les objectifs du projet se réaliseront par le biais d'un processus itératif en quatre étapes.

Dans un premier temps, on conduira une analyse comparative de l'utilisation du boulonnage dans chaque pays.

Ensuite, on utilisera l'expérience et l'expertise de chaque partenaire pour réaliser un boulonnage plus efficace chez les autres partenaires.

On réalisera alors, sous la responsabilité de l'exploitant local, une expérimentation pour vérifier l'efficacité des schémas de boulonnage retenues.

Finalement, on dégagera de la synthèse et du compendium des différentes méthodes de chaque pays, une méthodologie « européenne » de boulonnage.

4. Analyse comparative de l'utilisation du boulonnage chez chaque partenaire

Au sein de l'étude comparative de différents voies boulonnées européennes, on a examiné en détail les paramètres suivants :

- Conditions géotechniques
- Conditions minières et d'exploitation (Découpage, méthode d'exploitation, etc.)
- Méthodologies et règles de dimensionnement d'un schéma de boulonnage
- Systèmes de boulonnage utilisées (boulons, résines, etc.)
- Méthodes de caractérisation des boulons
- Méthodes de surveillance & de contrôle

Dans la suite de ce paragraphe, on donnera un exemple typique de l'utilisation du boulonnage dans chaque pays.

4.1 Exemple typique pour la Grande Bretagne : Mine de Ricall

4.1.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation

En Grande Bretagne, 80 % des voies sont boulonnées. Les conditions géotechniques et minières sont, en général :

- des exploitations en monocouche,
- des veines épaisses (4 à 5 mètres),
- des voies rectangulaires,
- des profondeurs faibles d'environ 600 mètres,
- un découpage en longue taille avec pilier large,
- des tailles rabattantes avec abandon de la voie.

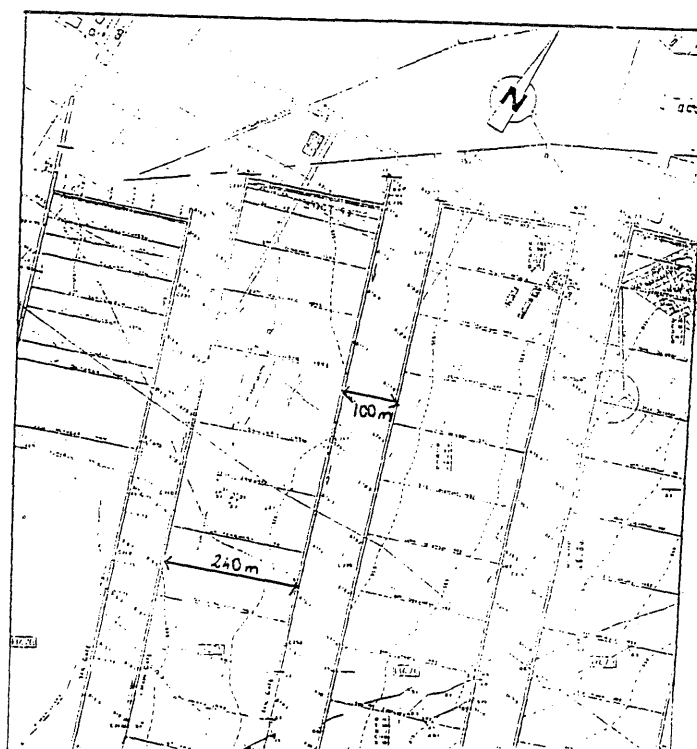


Figure 1 : Plan d'exploitation de la mine de Ricall.

Ces conditions sont très favorables au boulonnage et les voies de taille sont soutenues par un boulonnage intégral du creusement au passage de la taille.

4.1.2 Schéma de boulonnage (Ricall mine, GB)

Les voies rectangulaires sont soutenues par un schéma de boulonnage aux caractéristiques suivantes :

- Toits : Boulons en acier rigides résinés avec des plaques, écrous, etc. classiques en acier.
- Parements : Boulons en fibre de verre résinés
- Pose : généralement manuelle, parfois automatique (Jumbos ou bras de foration sur mineur continu)
- Soutènement additionnel (non systématique) :
Câbles cimentés
Quilles de bois

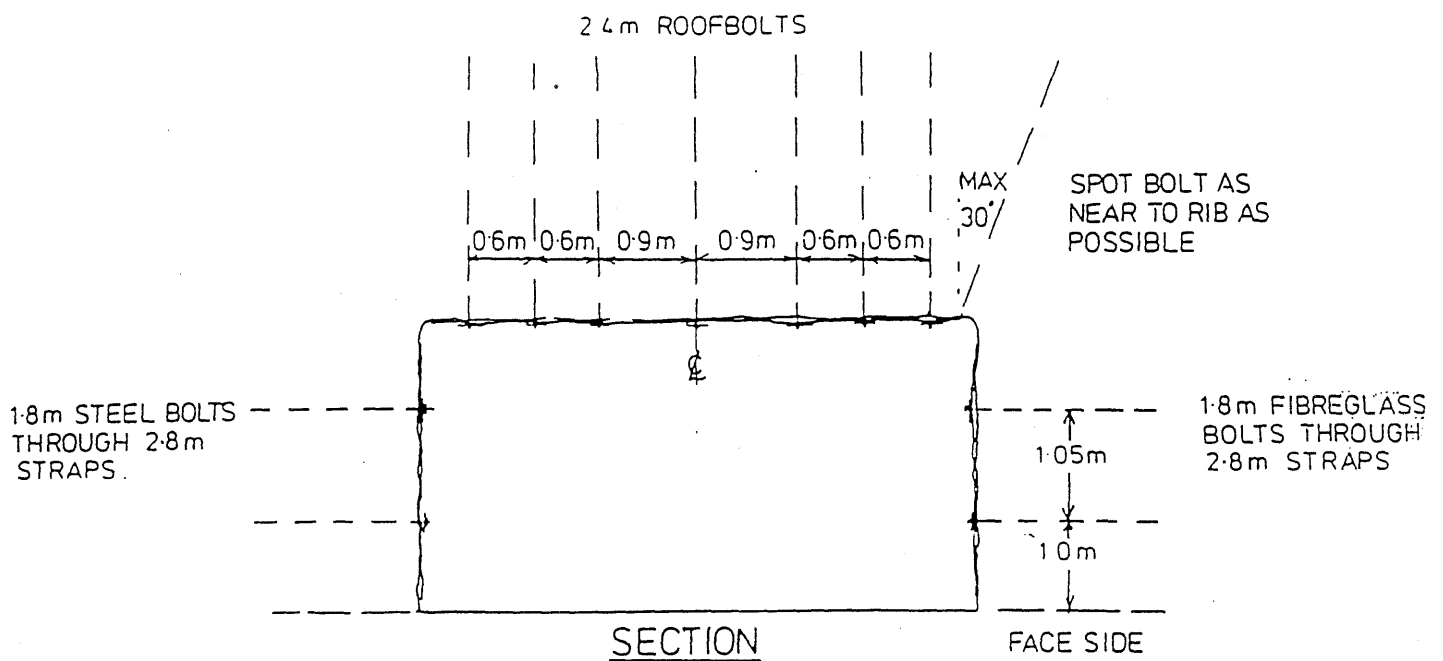


Figure 2 : Schéma de boulonnage de la mine de Ricall (GB).

4.2 Exemple typique pour l'Allemagne : Mine de Niederberg

4.2.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation

En Allemagne, peu de voies sont boulonnées. Les conditions géotechniques et minières sont, en général :

- des exploitations en multicouche,
- des veines minces,
- des voies cintrées,
- des profondeurs plus importantes d'environ 800 mètres,
- un découpage par longue taille sans pilier latéral avec réutilisation de la voie,

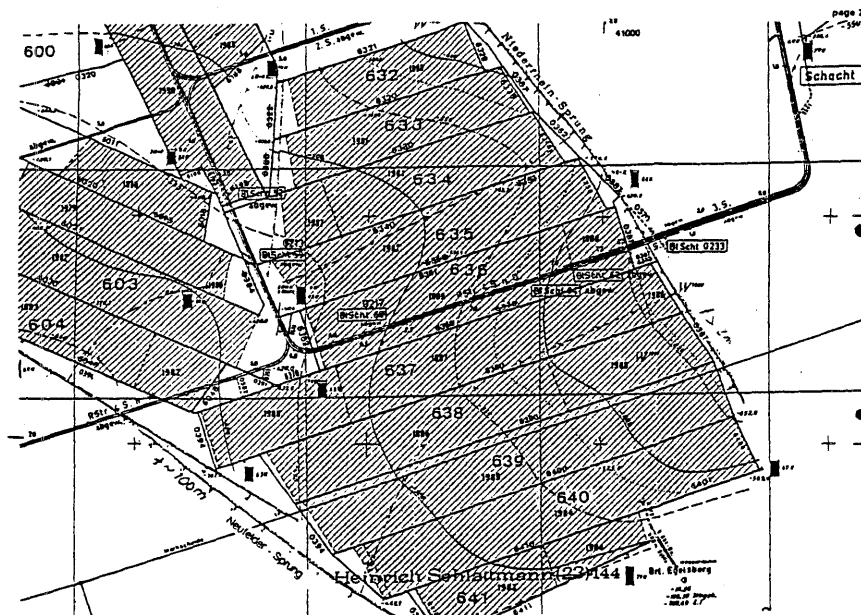


Figure 3 : Plan d'exploitation de la mine de Ricall.

Les fortes pressions des terrains entraînent d'importantes convergences. Généralement, les voies cintrées sont soutenues par cintres coulissants lourds, mais d'importantes recherches sont en cours, visant à soutenir ces voies par un boulonnage équivalent et à très forte capacité d'allongement. DMT a ainsi développé des boulons spéciaux comme le « Freispielanker » et le « Kombibolt ».

4.2.2 Schéma de boulonnage (mine de Niederberg, GB)

Les voies cintrées boulonnées sont soutenues par un schéma aux caractéristiques suivantes :

- Toits : Boulons spéciaux ou en acier rigide, résinés
avec des plaques, écrous, etc. classiques en acier.
- Veine : Boulons en fibre de verre résinés
- Pose : généralement automatique
- (bras de foration sur machine à attaque ponctuelle)
- Soutènement additionnel :
Cintres métalliques
Quilles de bois

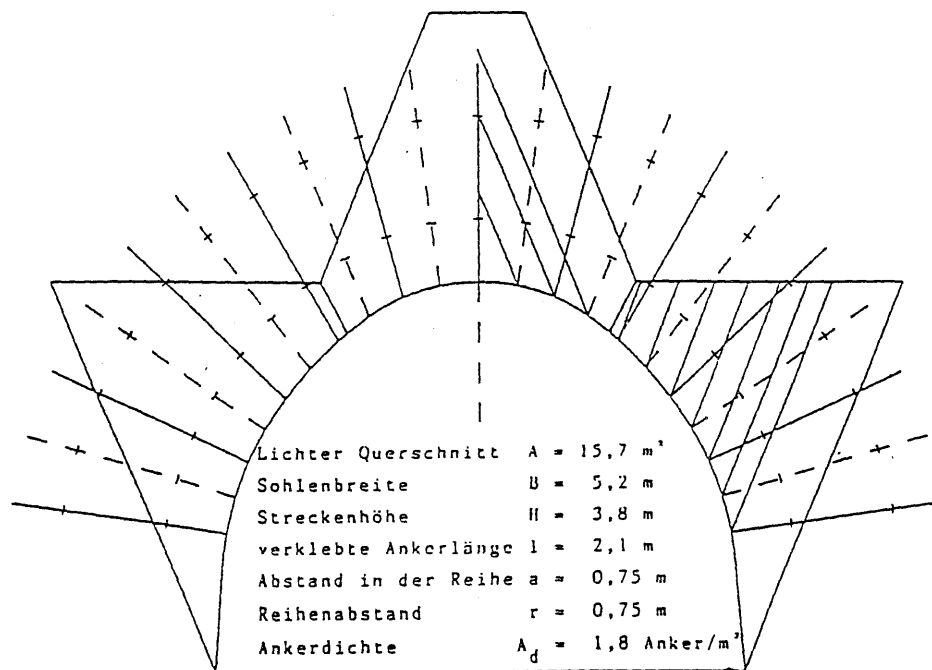


Figure 4 : Schéma de boulonnage de la mine de Niederberg (D).

4.3 Exemple de boulonnage en France : U.E. Provence

4.3.1 Conditions générales géotechniques et d'exploitation

A l'U.E. Provence, toutes les voies de taille sont boulonnées. Les conditions géotechniques et minières sont les suivantes :

- exploitation en monocouche,
- voies rectangulaire,
- des profondeurs importantes d'environ 1100 mètres,
- un découpage par longue taille sans pilier latéral et avec réutilisation de la voie,

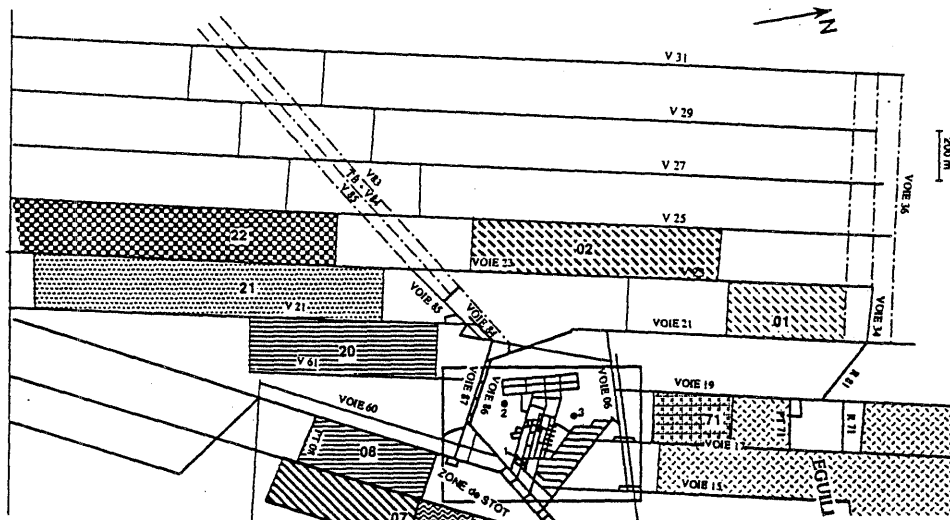


Figure 5 : Plan d'exploitation de la mine de Provence.

L'évolution progressive des conditions géologique et géotechnique de l'U.E. Provence ont conduit à la mise en place, en quatre étapes, d'un schéma de boulonnage mixte :

1. Jusqu'en 1985, les voies étaient soutenues que occasionnellement par un boulonnage relativement léger,
2. Après 1985, on a mis en place un boulonnage systématique court de faible densité
3. Ensuite, un boulonnage long en renforcement du boulonnage court a été mis en place progressivement
4. Actuellement, ce renforcement du boulonnage court par un boulonnage long est devenu systématique et on arrive au schéma de boulonnage mixte

4.3.2 Schéma de boulonnage (U.E. Provence, F)

Les voies cintrées boulonnées sont soutenues par un schéma aux caractéristiques suivantes :

- Toits : Boulons courts résinés (rôle confinant & structurant)
 Boulons longs à ancrage ponctuel (rôle porteur)
 les deux avec des plaques, écrous, etc. classiques en acier.
- Parements : Boulons en fibre de verre résinés
- Pose : Foration manuelle et automatique par Jumbos
 (l'objectif est de passer à une foration systématique par Jumbos)
- Soutènement additionnel :
 Billes & Pieds métalliques
 Quilles de bois et étauçons hydrauliques pour le passage de la taille

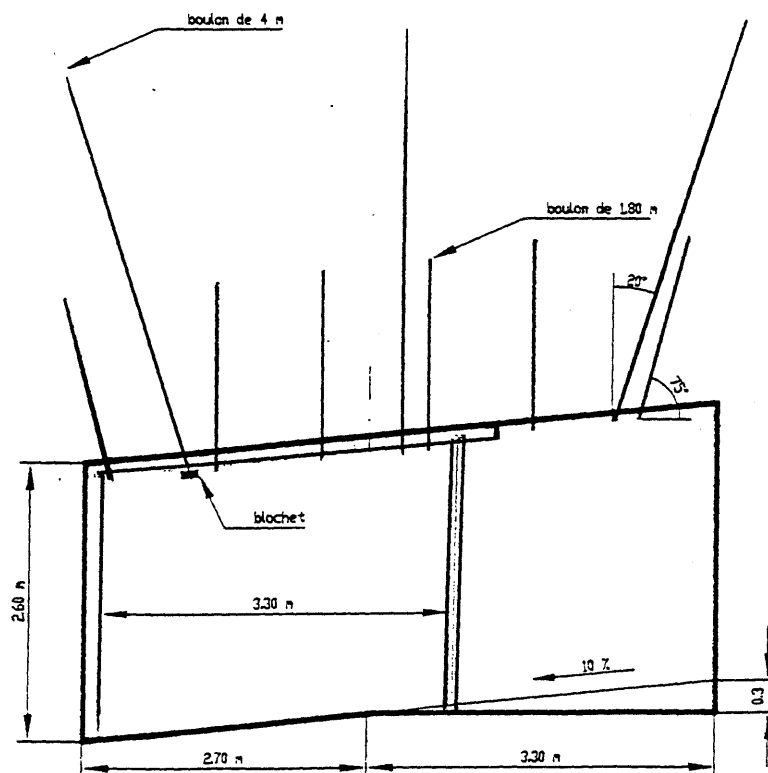


Figure 6 : Schéma de boulonnage de la mine de Niederberg (D).

4.4 Méthodologie anglaise de dimensionnement d'un schéma de boulonnage

4.4.1 Principes de la méthodologie anglaise

La méthodologie anglaise pour le dimensionnement d'un schéma de boulonnage comporte trois grandes étapes :

1. *Caractérisation des terrains*

Il s'agit d'une part de la caractériser la géologie du gisement (stratigraphie, sondages (de 5 m) pour déterminer les caractéristiques des bancs : R_c , module de Young, failles, anomalies, etc.) et d'autre part de déterminer les contraintes in situ (par fracturation hydraulique ou par surcarottage) et notamment la contrainte horizontale principale et les influences d'anciennes exploitations.

2. *Caractérisation du boulonnage*

En plus des essais classiques au banc, on réalise des essais d'adhésion pour déterminer au fond de la force d'adhésion F_a des boulons. Il faut que cette force $F_a \geq 5 \text{ MPa} / 0.3 \text{ m}$ sur plus de 50 % de la longueur du boulon. Pour le dimensionnement du schéma de boulonnage, on considère également le comportement de l'ensemble {Toits et Soutènement} des voies à proximité.

3. *Mise en place d'un schéma de boulonnage « initial »*

La mise en place d'un schéma dans une mine est précédée d'une formation importante et massive de l'ensemble du personnel concerné (ingénieurs, agents de maîtrise et ouvriers). L'introduction du schéma se fait ensuite de manière progressive (cf. § 4.1.2 ci après).

4. *Observation, Surveillance et ajustement éventuel du schéma de boulonnage*

Finalement, on met en place des moyens d'observation (Monitoring) et de surveillance de la voie et du soutènement. Le schéma initial est alors éventuellement ajusté pour en augmenter l'efficacité : c'est la méthode « Watch and See ».

4.4.2 Mise en place du boulonnage dans une mine anglaise

La mise en place d'un schéma de boulonnage se fait progressivement. La figure 7 ci dessous montre les différentes phases de mise en place des différents schémas :

1. Flat Tops : figure 8 ;
2. Stage 4 : figure 9
3. Stage 5 : figure 10

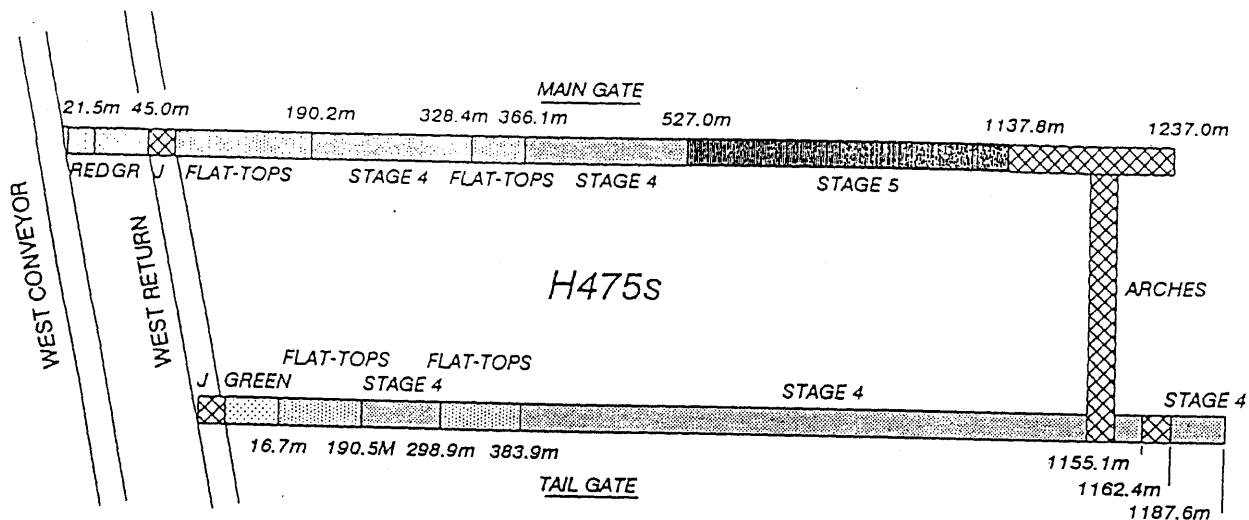


Figure 7 : Mise en place progressive des schémas de boulonnage.

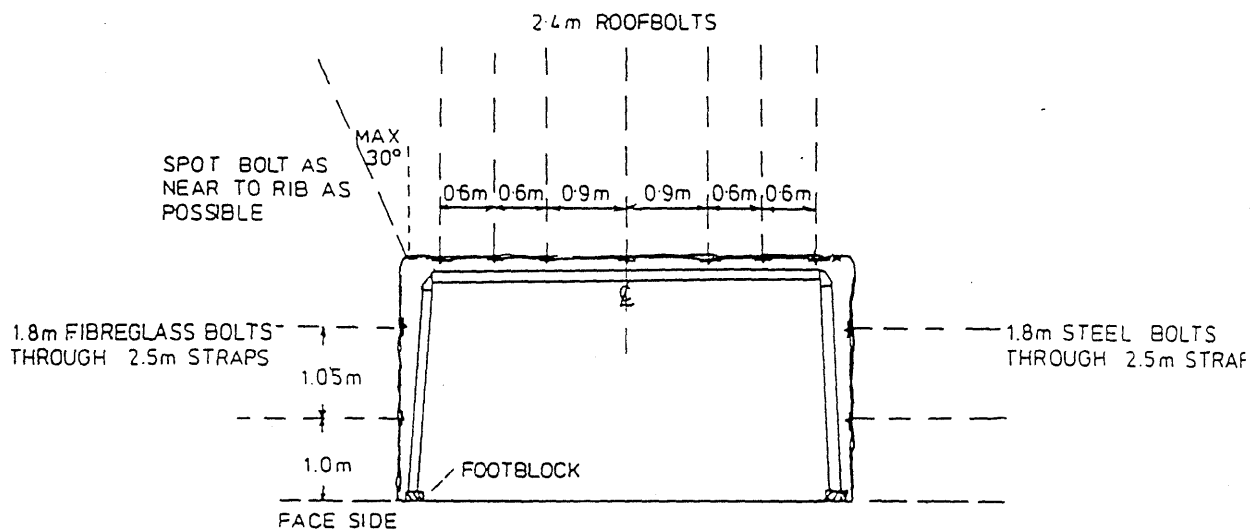


Figure 8 : Schéma de boulonnage « Flat Tops ».

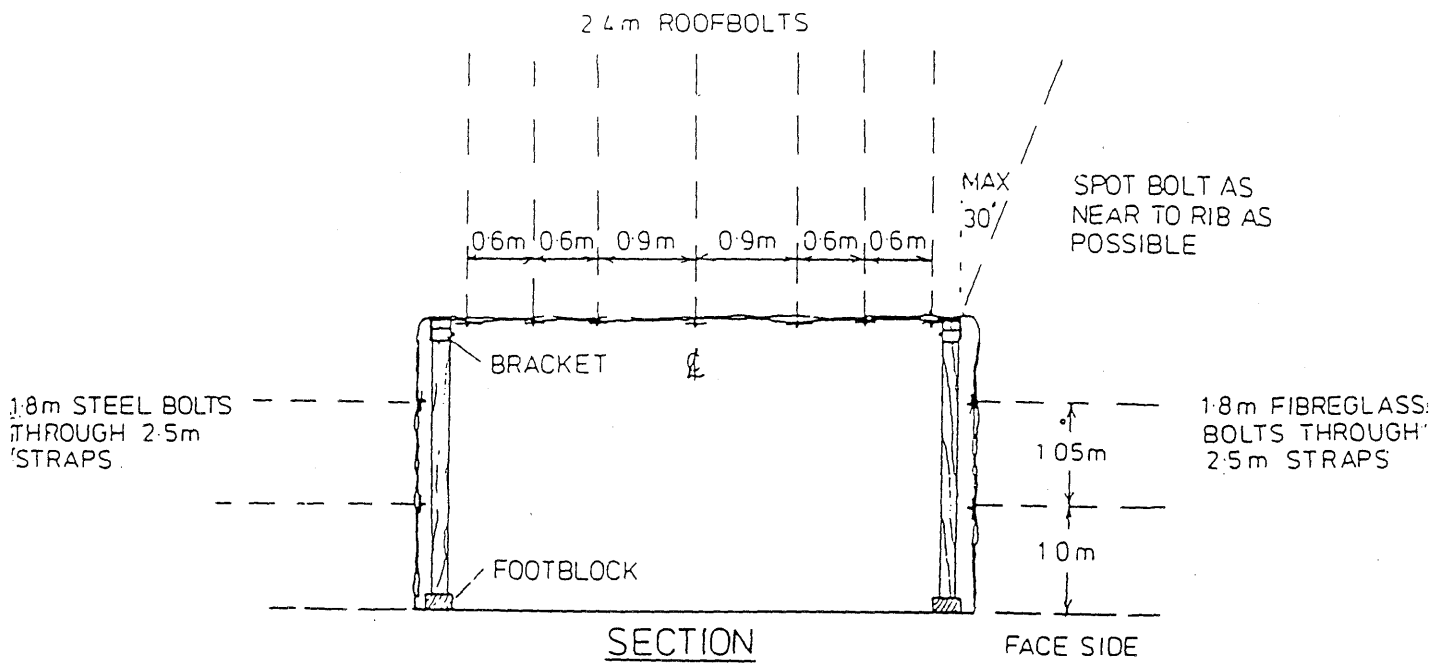


Figure 9 : Schéma de boulonnage « Stage 4 ».

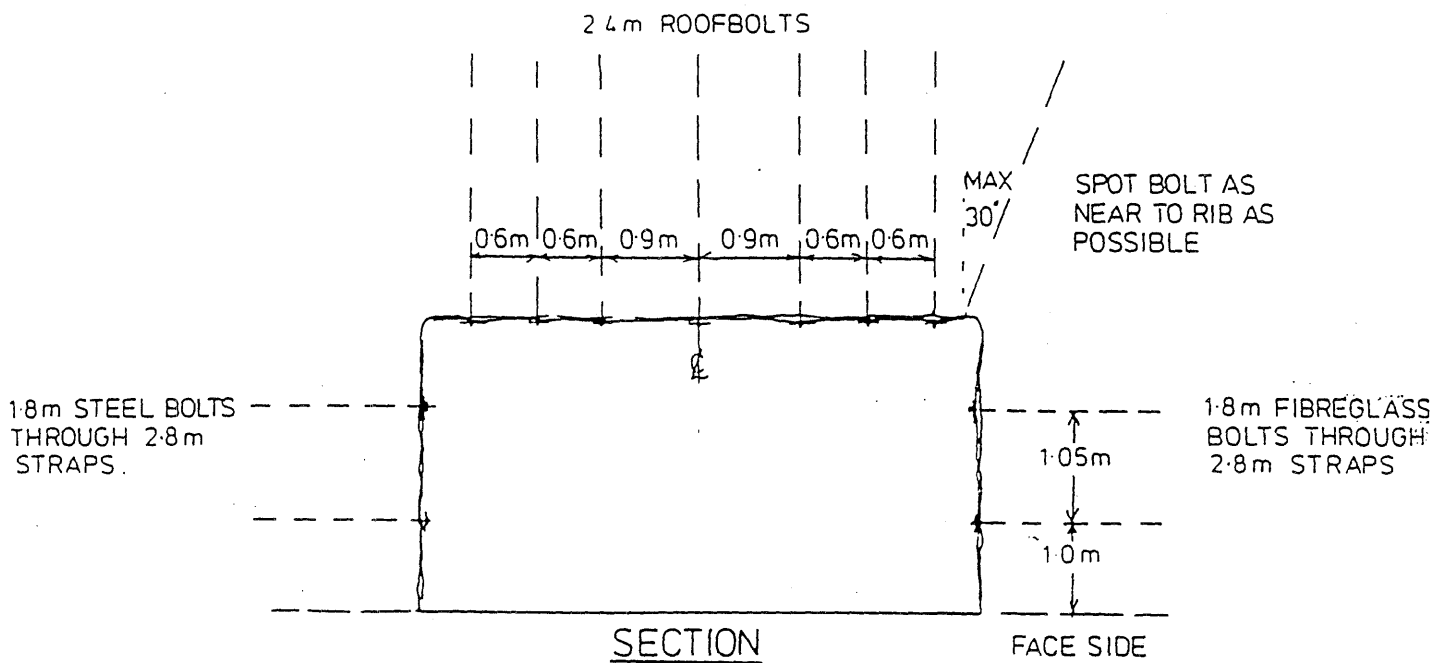


Figure 10 : Schéma de boulonnage « Stage 5 ».

4.5 Méthodologie allemande de dimensionnement d'un schéma de boulonnage

La méthodologie allemande détermine le schéma de boulonnage en fonction :

- de la géologie du gisement (exprimé par les facteurs GL)
- des anciennes exploitations
- de la nature de la voie, de la veine, des terrains, etc.

On détermine alors à l'aide d'un calcul de prévision des contraintes verticales la convergence K de la voie. Cette convergence doit être de 1,5 fois inférieur à celle que peut supporter le boulonnage à mettre en place ($K_b < 1.5 K$)

L'exploitation multicouche sans pilier conduit à des schémas de boulonnage dits « modulaires » (Modularer Ankerausbau) comprenant des boulons classiques et des boulons à forte capacité d'allongement dans les zones soumises à des fortes déformations.

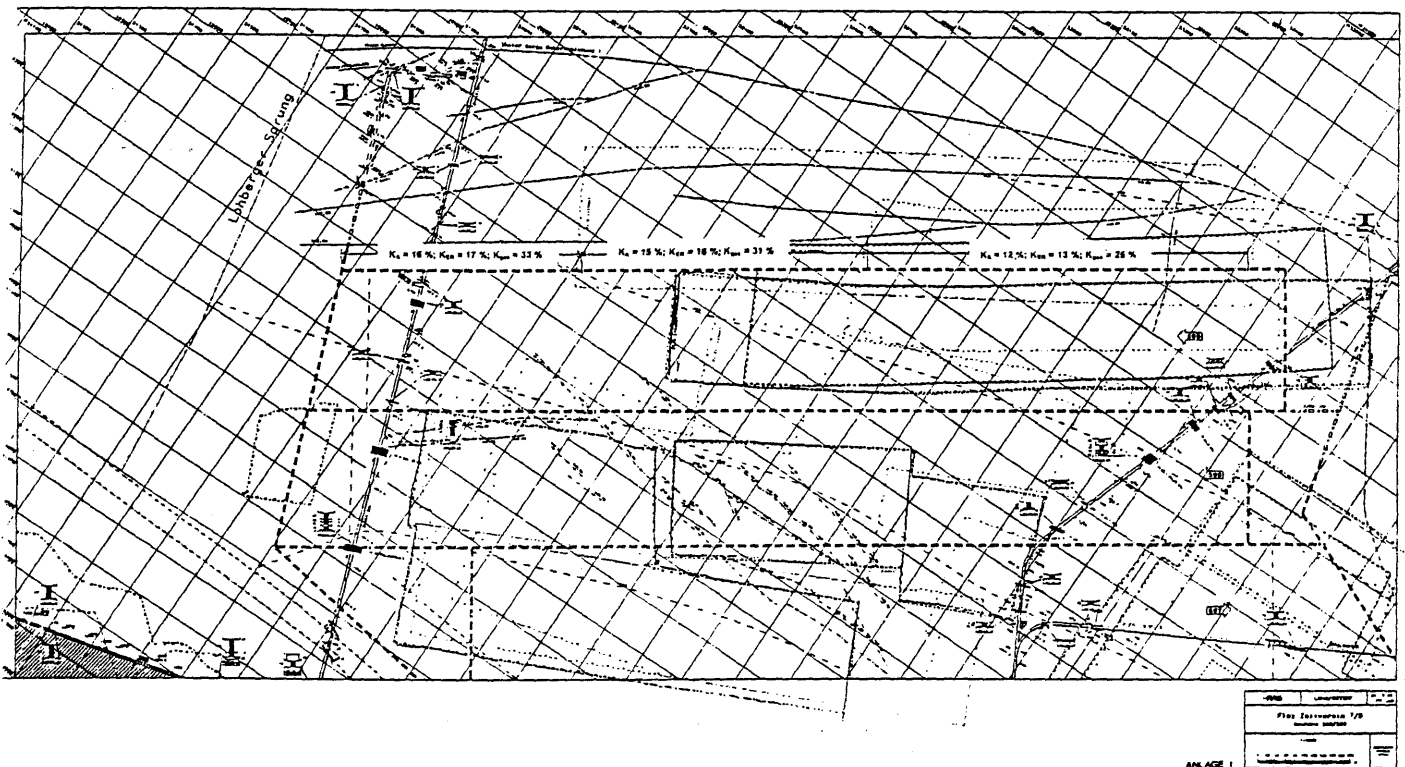


Figure 11 : Schéma d'exploitation multicouche à la mine de Osterfeld (D).

Nach Verformungs nachweis müssen die mit (K) gekennzeichneten Anker als nachgiebige Anker ausgeführt werden.

Anzahl nachgiebiger Anker: 5,33 Anker/m

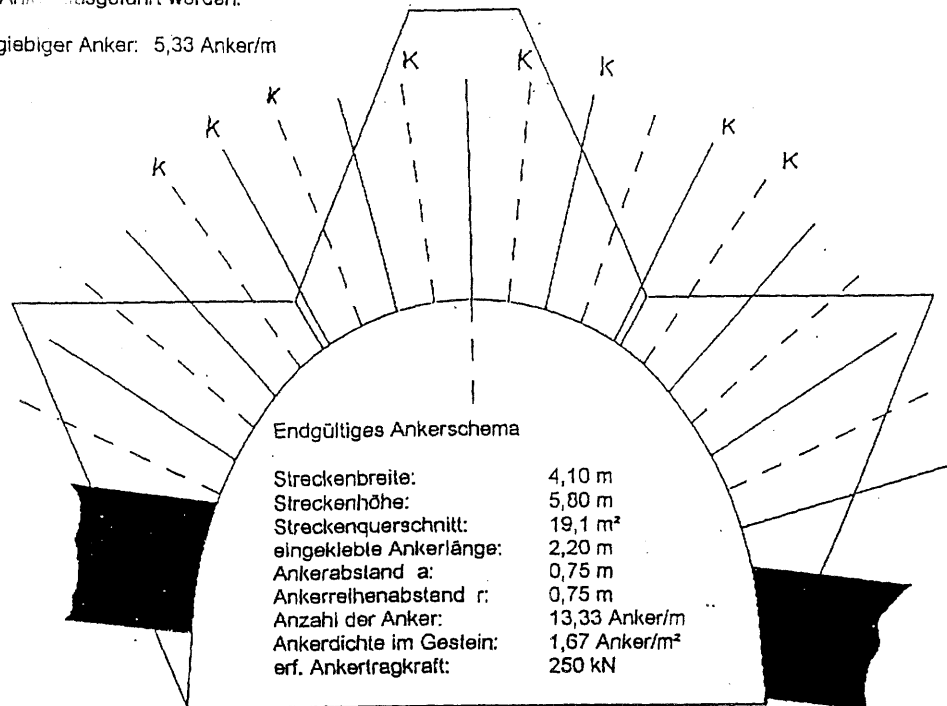


Figure 12 : Schéma de boulonnage « modulaire » (DMT).

4.6 Méthodologie française de dimensionnement d'un schéma de boulonnage

La méthodologie française pour déterminer le schéma de boulonnage d'une voie nouvelle est constituée de cinq étapes :

1. Considération des données de base

Il s'agit d'une part des caractéristiques géologiques et géotechnique des terrains environnants i.e. la stratification (nature, épaisseur et résistance des bancs), les limites d'exploitations anciennes, les failles, la tectonique, etc. et d'autre part des caractéristiques de l'ouvrage, à savoir sa géométrie (hauteur, largeur, section, pendage, ...), sa profondeur, sa durée de vie, sa nature (couche / travers bancs), sa finalité (en couche, 1 ou 2 passages), etc..

Ces considérations de base aboutissent en un découpage de la voie en zones homogènes, et on détermine ensuite pour chacune de ces zones, un schéma de soutènement approprié.

2. Utilisation de règles de l'art

On utilise ensuite un certain nombre de règles de l'art, qui formalisent l'expérience française (heureuse et malheureuse) en matière de boulonnage, pour déterminer, en fonction des caractéristiques de base, la boulonnabilité de la zone et les caractéristiques du boulonnage à mettre en place.

Si une zone homogène ne correspond pas au domaine de définition de ces règles de l'art, c'est à dire quand on est en présence d'un cas nouveau, on passe directement à l'étape 3.

Sinon, on détermine successivement, à l'aide des règles de l'art, la boulonnabilité de la voie, et, le cas échéant, les fonctions du boulonnage, les modes d'ancrage les plus appropriés, et finalement les caractéristiques précises du schéma de boulonnage proprement dit (nature des boulons, longueur, densité, orientation, phasage de mise en place, etc.). On obtient alors un schéma de boulonnage « standard » approprié aux conditions de la voie.

3. Détermination d'un schéma « hors - norme »

Dans certains cas, les caractéristiques des zones homogènes ne correspondent pas au domaine d'application des règles de l'art, ou des considérations pratiques, dictées par des impératifs particuliers du site conduisent au développement de schémas de boulonnage dits « hors norme ». C'était le cas à l'U.E. Provence où la hauteur des voies rend difficile la mise en place d'un schéma standard.

Des schémas « hors normes » sont alors développés par extrapolation d'un modèle ou de l'expérience passée ou encore par apport d'idées nouvelles.

4. Contrôle de l'efficacité du schéma de boulonnage

L'efficacité du schéma mis en place est alors vérifiée et contrôlée par des mesures en laboratoire et in situ (expansion des voies, notamment). Cette étape confirmera ou infirmera le schéma déterminé. En cas de confirmation d'un schéma « hors norme », les conditions d'application de ce dernier seront ajoutées au domaine d'application des règles de l'art dont il fera désormais partie et il deviendra ainsi « standard ».

5. Surveillance (Consigne de boulonnage)

Il s'agit ici de vérifier que le schéma de boulonnage restera efficace pendant toute la durée d'utilisation de la voie.

4.7 Analyse comparative des composants :

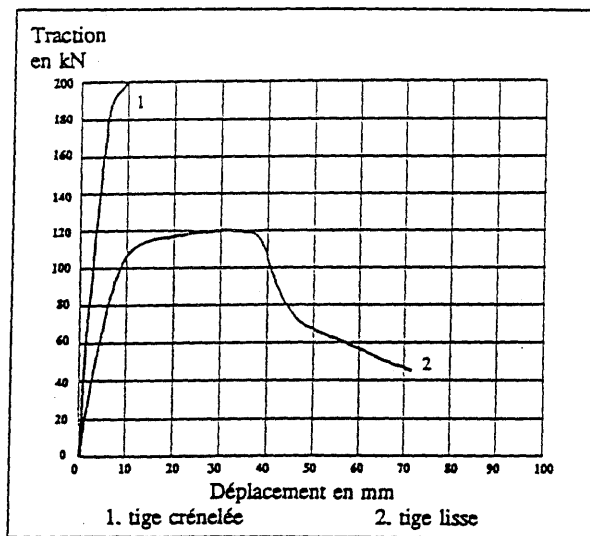
Les différents composants utilisés dans chaque pays figurent dans le tableau comparatif ci dessous.

	Tige	Longueur & Densité	Ancrage	Mise en Place	Soutènement additionnel
F	Acier crénelée Acier lisse	1.8 m : 1 B/m ² 4.0 m : 0.5 B/ m ²	résine ponctuel	foration automatique	Oui
GB	Acier crénelée Câbles	de 2.4 à 4.0 m de 1 à 2.5 B/ m ²	résine ciment	manuelle foration automatique	Non systématique
D	Acier crénelée semi crénelée Kombibolt	de 2.4 à 3.0 m de 1.8 à 2 B/ m ²	résine	foration automatique	Oui

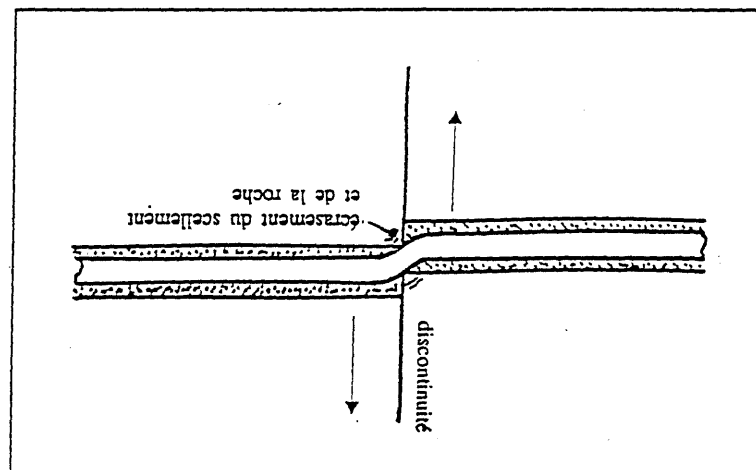
4.8 Tests de caractérisation des systèmes de boulonnage

Différents tests de caractérisation des systèmes de boulonnage, principalement des tests d'arrachement et de cisaillement sont réalisés par tous les partenaires pour déterminer les paramètres des systèmes de boulonnage.

4.8.1 Essai d'arrachement



4.8.2 Essai de cisaillement



4.9 Méthodes de contrôle et de surveillance des voies boulonnées

De nombreux dispositifs sont mis en place pour mesurer :

- l'expansion des terrains (toit, mur, parements)
- les forces et les déformations sur les boulons (strain gauged bolts)

Les différentes méthodes de contrôle mis en place dans chaque pays figurent dans le tableau comparatif ci dessous.

	expansion Toit	expansion. Mur	expansion. parements	déformation boulons
GB	systématique	ponctuelle	ponctuelle	systématique
F	systématique	ponctuelle	ponctuelle	
D	ponctuelle	ponctuelle	ponctuelle	objectif

5. Utilisation de l'expérience de chaque partenaire pour réaliser un boulonnage plus efficace chez tous les partenaires

Chaque partenaire a choisi un certain nombre de sites d'essais et les a présenté aux autres partenaires. Chaque équipe fournira ensuite aux autres équipes sa solution de boulonnage (compte tenu des objectifs de l'exploitant local). Pour cela, le pays hôte fournit les données de base et les experts étrangers proposent des schémas.

Ensuite, le collègue d'experts européens procédera à la comparaison des schémas européens entre eux d'une part, et avec le schéma local de l'autre. Il proposera alors un schéma de boulonnage « européen ».

Finalement, l'objectif est de tester le schéma « européen » sous la responsabilité de l'exploitant local et compte tenu du contexte réglementaire local, afin de comparer ce schéma au schéma local. Cela devra permettre l'amélioration du schéma local, voir l'introduction du boulonnage en remplacement d'un soutènement porteur.

5.1 Sites d'essais à étudier dans les différents pays

Chaque pays a choisi un ou deux sites et défini les objectifs de l'exploitant local quant au boulonnage.

En France, il s'agit des U.E. La Houve et Provence. Les objectifs des exploitants sont de déterminer la boulonnabilité du secteur 15 de La Houve et de dimensionner un schéma de boulonnage améliorant la productivité du creusement des voies de l'U.E. Provence.

En Allemagne, il s'agit de la mine de Osterfeld. Les objectifs de l'exploitant local est d'étudier la faisabilité d'un boulonnage en gisement multicouche sous fortes pressions et son dimensionnement, le cas échéant.

En Angleterre, il s'agit de la mine de Daw-Mill. Les objectifs de l'exploitant local est d'étudier l'efficacité du schéma de boulonnage actuel à des profondeurs plus importantes (800 m au lieu de 600 m).

En Espagne, il s'agit de la mine de Pedraforca. Les objectifs de l'exploitant local est d'étudier la faisabilité et le dimensionnement d'un soutènement moins cher et / ou augmentant la productivité.

6. Conclusion & Perspectives

La collaboration européenne permet à travers un échange fructueux d'expériences et de savoir-faire la définition rapide de schémas de boulonnages performants.

La mise en commun des différentes équipes au sein du projet et la multiplication des sites d'essais permettra la conduite rapide d'expérimentations in situ aboutissant plus rapidement à des résultats pratiques.

Un compendium des différentes méthodologies et techniques européennes sera réalisé, afin de définir les meilleurs schémas pour chaque configuration.