



**HAL**  
open science

## Apport de la mécanique des roches pour l'évaluation et la gestion des risques à long terme dans les exploitations minières abandonnées Cas des mines de fer de Lorraine

Jack-Pierre Piguet, Jean-Pierre Josien, Samy Kouniali, Pascal Bigarre, G. Vouille

### ► To cite this version:

Jack-Pierre Piguet, Jean-Pierre Josien, Samy Kouniali, Pascal Bigarre, G. Vouille. Apport de la mécanique des roches pour l'évaluation et la gestion des risques à long terme dans les exploitations minières abandonnées Cas des mines de fer de Lorraine. 9. Congrès International de Mécanique des Roches, Aug 1999, Paris, France. pp.317-322. ineris-00972174

**HAL Id: ineris-00972174**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00972174>**

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.

Apport de la mécanique des roches pour l'évaluation et la gestion des risques à long terme dans les exploitations minières abandonnées – Cas des mines de fer de Lorraine  
 The contribution of rock mechanics for long term risk assessment and management in abandoned mines – The case of iron mines in Lorraine  
 Beitrag der Felsmechanik zur Risikoanalyse und zum Risikomanagement in alten aufgegebenen Bergwerken

J.P. PIGUET, Ecole des Mines de Nancy, Laboratoire Environnement, Géomécanique et Ouvrages (LAEGO), France  
 J.P. JOSIEN, S. KOUNIALI & P. BIGARRE, INERIS, Dépt. Sol, Sous-sol et Ecosystèmes, Verneuil en Halatte, France  
 G. VOUILLE, Ecole des Mines de Paris, Centre de Géotechnique et d'Exploitation du Sous-sol, Fontainebleau, France

**ABSTRACT :** Due to its historical and economical evolution, we are now facing consequences of the end of mining in large sedimentary basins where it was the major regional activity during the last two centuries. The contribution of Rock Mechanics in «after-mining» phasis emerges nowadays, especially in the fields prediction and prevention of sudden collapses overlying partially mined areas. This paper present the example of closed iron mines in Lorraine (France) where different problems, at different scales have been identified : risk assessment, consequences for town-and-country planning and durable development.

**RESUME :** L'évolution historique et économique nous amène aujourd'hui à être confronté aux conséquences de l'arrêt de l'exploitation de grands bassins miniers, qui a représenté l'activité dominante de certaines régions pendant un ou deux siècles.

On commence à discerner ce que devra être aussi le rôle de la Mécanique des Roches pour la phase d'après-exploitation, notamment pour la prévision et la prévention des effondrements inopinés susceptibles de survenir lorsqu'ont été pratiquées des méthodes d'exploitation partielles.

Le cas du bassin ferrifère lorrain, présenté dans cet article, illustre particulièrement bien les problèmes identifiés à différentes échelles : analyse et évaluation des risques, méthodes d'intervention avec les préoccupations d'un meilleur aménagement du territoire et d'un développement durable.

**ZUSAMMENFASSUNG :** Die historische Entwicklung konfrontiert uns heutzutage mit den Konsequenzen der Stilllegung grosser Bergbaugebiete. In einigen der betroffenen Regionen war der Bergbau über zwei Jahrhunderte die wichtigste Aktivität. Der Beitrag der Felsmechanik zur Lösung der Probleme die nach der Stilllegung des Abbaus auftreten werden heute sichtbar, unter anderem die Vorhersage und Vorbeugung von unerwarteten Absenkungen die in Gebieten auftreten können in denen Kapper-Pfeiler-Abbau betrieben wurde. Dieser Bericht beschreibt den Fall des lothringer Eisenerzbergbaugebiets in dem die Probleme der Risikoanalyse und Interventionsmethoden für eine bessere Boden- und Stadtplanung und einer dauerhaften Entwicklung festgestellt wurden.

## 1. EXTENDED SUMMARY

A great number of underground cavities created by the mining activity are from now abandoned. A significant number will be abandoned in the world during the next decades. The need for integrating the conditions of abandonment during the phasis of design, in the mining projects is justified for long-term security, durable protection of the Environment and safeguarding of the future possibilities of regional planning.

The Rock mechanics has to play an eminent role on this question, with the difficulty, for its retroactive intervention, that the old exploitations are not often accessible any more to carry out taking away and experiments there. Sometimes the source data on the history of the exploitations even disappeared.

The authors started to work out a suitable methodological approach, based on the particular case of the old Mines de Fer de Lorraine.

The exploitation completely ceased in the Lorraine iron-bearing basin during the summer 1997. The mining method employed was

generally caving, except in the zones located under the cities and villages, where were practised «rooms and pillars» methods. At the end of 1996 (twice), in spring 1997 and Autumn 1998 collapses occurred in a few hours under built-up areas, leading to irreversible damage on many constructions.

Following these events a systematic examination of the stability conditions of the partially exploited zones, sometimes in several superimposed layers, was undertaken. On the whole, 13 criteria were retained to evaluate the risks. Among them : the rate of extraction and the load correlatively applied to the pillars, the presence of marls to the roof, the wall or in the intermediate banks between the layers (in the possibility of the attenuation of their mechanical characteristics during submergence), the sensitivity of the buildings or equipment on the surface.

With these data, a multicriterion analysis was led (ELECTRE method) and made possible to treat on a hierarchical basis zones according to a degree of decreasing risk.

The choice of the criteria and weightings adopted are discussed in the article. It is shown how this method of classification finally

appeared robust. The analysis is presently applied to the whole basin.

Because of the danger, which would present a collapse in the particular case of the towns of Joëuf and Homécourt, a monitoring system based upon microseismic analysis was conceived and installed. It consists of 5 three directional stations equipped each one with a geophone and of three accelerometers (according to the three directions of space) fixed at the bottom of drillings from 30 to 40 m length. The parameters of this system (frequency bands, gains, maximum distance between sensors and sources of the events which determines the mesh of network etc...) were selected starting from a preliminary experimentation carried out in an iron mine still in activity on this date (June 1997).

This experimentation consisted in recording on the surface the signals corresponding to the ruptures and the local underground collapses caused voluntarily by the destruction (by blasting) of the pillars. The monitoring is based on the distinction between three levels of possible alarms, characterised by the intensity of the seismic activity and the localisation of its sources (scale of alarms of increasing importance according to the extension of the ruptures from the seams to the recovery). The operational system since the beginning of 1998, is the subject of research and developments for its improvement and the widening of its applicability.

## 2. INTRODUCTION

L'activité extractive intense, au cours des deux derniers siècles, a été accompagnée par l'apparition de nombreux problèmes qui ont contribué à rendre nécessaire le développement de la Mécanique des Roches en tant que discipline autonome. L'abandon, après la fin de l'exploitation, des cavités souterraines a corrélativement pris aujourd'hui une importance considérable à la mesure de ce qu'était la croissance de cette activité au début de l'ère industrielle (Josien, 1995).

Cette observation ne réduit pas le rôle crucial de la Mécanique des roches pour l'optimisation et la sécurité de nombreuses mines et carrières en phase de production dans le monde. Mais elle élargit significativement son champ d'application au cas des sites arrêtés et des questions de mise en sécurité, d'aménagement du territoire et de développement durable qu'ils soulèvent, notamment dans les grands bassins miniers européens.

Une des difficultés rencontrées pour une intervention rétroactive est due au fait que les anciennes exploitations ne sont souvent plus accessibles pour y effectuer des prélèvements et des expérimentations, et que, parfois, les données de base sur l'histoire des exploitations ont même disparu.

D'autre part, la logique de production qui a guidé le choix des méthodes d'exploitation ne prenait pas toujours en compte tous les problèmes posés par la phase d'abandon. De ce fait, la recherche de méthodes de prévention et de traitement est rendue difficile, et les travaux actuels ont surtout porté sur la recherche de méthodes adaptées au diagnostic et à la surveillance.

Nous utiliserons le cas du bassin ferrifère lorrain, où des désordres graves sont apparus dernièrement, après l'arrêt de l'exploitation, pour illustrer la démarche méthodologique que nous avons entreprise d'élaborer.

## 3. LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN ET SON EXPLOITATION

La formation ferrifère du bassin lorrain, d'origine sédimentaire, montre une grande irrégularité sédimentologique. Son épaisseur varie de 30 à 50 m avec un pendage moyen de 3 %. Le gisement

affleure à l'Est, en bordure de la vallée de la Moselle, et atteint environ 300 m de profondeur vers l'Ouest. Il est divisé en quelques grands compartiments géologiques et entaillé par des vallées qui font apparaître localement des affleurements.

Ce gisement a permis en 150 ans l'extraction de 3 milliards de tonnes de minerai, sur environ 100 000 hectares, mais les conditions économiques ont conduit à la fermeture progressive des mines, la dernière ayant cessé son exploitation en 1997.

La méthode d'exploitation la plus largement répandue, le traçage et défilage, se concluait par le foudroyage du toit et, par conséquent des affaissements de surface d'amplitude sensiblement égale à la moitié de l'ouverture cumulée des couches exploitées. Si on note cette dernière  $w$ , l'affaissement maximal  $A_m$  s'exprimera par

$$\text{la relation : } A_m = w \times \frac{1}{2}$$

Ce coefficient réducteur  $1/2$  s'explique par la profondeur relativement faible, insuffisante pour provoquer le tassement complet des roches du toit, éboulées et foisonnées après le foudroyage, ou, si on préfère, le retour à leur poids volumique initial.

A l'aplomb des zones à protéger (villages, villes, infrastructures...), des méthodes d'exploitation partielle étaient pratiquées : chambres et piliers abandonnés, flots séparés par des piliers larges etc. Le cas échéant, ces méthodes étaient appliquées en superposition dans plusieurs couches. On trouve également des configurations d'exploitation particulières, généralement très anciennes, à proximité des affleurements et donc à très faible profondeur : réseau plus ou moins régulier de galeries, éventuellement élargies.

Il en résulte une très grande variété de situations géométriques des édifices miniers résiduels, dans les trois dimensions de l'espace et avec des âges très différents. Ajoutons que l'arrêt des pompages d'exhaure provoque l'envoyage d'une grande partie des anciens travaux.

## 4. LES PHENOMENES D'EFFONDREMENT

L'histoire de l'exploitation du bassin ferrifère lorrain est jalonnée d'effondrements soudains et inattendus affectant la surface au-dessus de zones d'exploitation partielle. On dispose ainsi de la description et de l'analyse plus ou moins précises et détaillées d'une dizaine d'effondrements depuis le début du 20ème siècle, soit dans des mines en activité, soit au-dessus d'anciens travaux. L'analyse des retours d'expérience et les progrès de la Mécanique des roches ont permis de mettre en évidence les causes (Tincelin et al. 1962) et de proposer des règles de conception plus sûres (Tincelin, 1982).

Toutefois, des événements récents survenus dans le bassin ferrifère lorrain ont conduit à un nouvel examen de ces questions. Il s'agit d'effondrements survenus en octobre et novembre 1996 affectant deux quartiers de la commune d'Auboué, puis en mai 1997, dans une cité de la commune de Moutiers. Enfin, en novembre 1998, un quartier de la commune de Moyeuvre-Grande a subi les conséquences de l'apparition d'une série de fontis (cratères de quelques mètres de diamètre) au-dessus d'anciennes galeries creusées à très faible profondeur (10 à 20 m). Les dégâts graves provoqués sur le bâti par ces différents phénomènes ont contraint à l'évacuation de nombreuses maisons. L'examen rétroactif de ces cas et les études entreprises (sondages, caractérisations géomécaniques, calculs) ont permis de comprendre, a posteriori, les raisons pour lesquelles les conditions de stabilité étaient précaires. En particulier, les effondrements d'Auboué apparaissent comme des extensions d'effondrements antérieurs ayant eu pour conséquence de créer des surcharges sur les zones périphériques dont les coefficients de sécurité n'étaient pas suffisamment grands.

Mais, du coup, s'est répandue l'inquiétude sur l'existence possible d'autres situations à risques dans un bassin dont l'étendue et la complexité ont été soulignées précédemment (dans un contexte où, après la fermeture des mines, les exploitants ont engagé les procédures légales de renonciation à leurs concessions). D'autre part, sur le plan scientifique, des lacunes dans les connaissances sont apparues à l'occasion des expertises entreprises après les derniers effondrements. On peut ainsi noter que sont insuffisamment connus aujourd'hui :

- le comportement à long terme et à très long terme des géomatériaux constitutifs de la formation ferrifère,
- le rôle de l'eau sur ce comportement, et en particulier l'influence de la pression interstitielle sur les propriétés mécaniques,
- l'influence des géométries complexes des exploitations multicouches, et des exploitations jouxtant des zones déjà effondrées ou exploitées (totalement ou partiellement),
- la cinétique des effondrements et les caractéristiques géométriques des cuvettes.

Devant cette situation, un vaste travail d'analyse des configurations d'exploitation, a été entrepris dans le bassin par les auteurs, avec identification et hiérarchisation des zones à risque. Parallèlement, sur un site dont le niveau de risque paraissait très élevé, l'évaluation des conséquences d'un éventuel effondrement a été effectuée, tandis qu'un dispositif de surveillance par écoute microsismique était mis en place.

## 5. ANALYSE DES RISQUES

Dans une première étape, l'administration s'était préoccupée de rechercher systématiquement les zones présentant une potentialité d'affaissement dans toutes les concessions du bassin ferrifère (plus de 300 concessions au total).

Rappelons que le risque est défini comme le produit de la probabilité d'occurrence d'un événement, par un paramètre représentatif de la gravité de ses conséquences. Pour estimer et hiérarchiser les risques dans les zones d'affaissement potentiel, il a fallu, dans une deuxième étape, mettre en oeuvre une méthodologie appropriée.

Cette méthodologie repose sur les techniques de l'analyse multicritère (Roy, 1968). Le principe consiste, après avoir identifié sur plans et rassemblé des zones à risque, à leur associer des variables dotées de valeurs choisies dans une échelle quantitative ou qualitative. Ces variables servent à construire les critères, dont la combinaison permet de définir pour chaque zone à risque un «niveau de performance» qui permet de les interclasser.

Il faut également affecter aux critères des pondérations qui traduisent leur importance relative. Si on modifie les pondérations, on peut en comparant les classements obtenus, vérifier la robustesse de la méthode. Dans le cas présent, nous avons défini deux grands groupes de critères, divisés en sous-critères.

1. Critères relatifs à la sollicitation subie par les terrains entourant les vides exploités. Nous avons distingué cinq sous-critères.

1.a. Sollicitation exercée sur les piliers. Le critère prend la valeur de la contrainte verticale moyenne exercée sur les piliers, calculée au moyen du modèle de l'aire tributaire, et corrigée par les surcharges qu'engendre l'éventuelle présence de zones dépilées (ou effondrées) contiguës à la zone examinée.

1.b. Présence de faille. Ce critère prend une valeur 10 ou 0 selon qu'un accident géologique a été ou non relevé sur la zone étudiée.

1.c. Superposition de piliers. Ce critère prend les valeurs 0, 10 ou

40 selon qu'une seule couche est exploitée, ou qu'on trouve deux couches exploitées avec des piliers bien superposés et/ou un intercalaire épais, ou enfin qu'une géométrie apparaît avec une mauvaise superposition de piliers.

1.d. Taille et régularité des piliers. Ce critère est ramené à trois situations : gros piliers (valeur du critère 0) ; petits piliers ou élargissement (valeur du critère 10) ; petits piliers irréguliers (valeur du critère 20).

1.e. Sensibilité à l'envoyage. Faute d'avoir, à ce jour, une caractérisation objective de l'influence de l'eau et de la pression interstitielle sur les propriétés géomécaniques, le parti que nous avons pris est de tenir compte de la présence de marnes dans les bancs proches des couches exploitées (valeurs affectées au critère : 0 en cas d'absence de bancs marneux ; 10 en cas de présence de bancs marneux ; 20 en cas de présence d'épentes très marneuses ou d'exploitations multicouches avec intercalaire d'épaisseur supérieure à 6 m ; 30 en cas d'exploitations multicouches avec intercalaire d'épaisseur inférieure à 6 m. Cette valeur de 6 m a été déterminée par rétroanalyse des effondrements dont la cause initiale est attribuée aux ruptures d'intercalaires.

2. Critères relatifs à la sensibilité de la surface.

Ces critères rendent compte des effets en surface d'un désordre au fond, qui dépendent de la profondeur de l'exploitation (plus une ancienne exploitation est proche de la surface, plus ses effets apparaissent soudainement) et de l'amplitude de l'affaissement prévisible, lui-même fonction de l'ouverture exploitée et du taux de défrèvement. D'autre part, ces effets dépendent aussi de la vulnérabilité de la surface (c'est-à-dire des caractéristiques des constructions) et de l'étendue de la zone concernée.

2.a. Profondeur H. Ce critère quantitatif est exprimé directement (en mètres).

2.b. Affaissement maximum attendu  $A_m = w \times \tau \times \frac{1}{2}$

( $\tau$  étant le taux de défrèvement,  $w$  l'ouverture exploitée et le coefficient  $1/2$  ayant été commenté plus haut).

2.c. Déformation horizontale attendue. Ce paramètre est, par expérience, proportionnel à  $A_m/H$ , dans tous les cas d'affaissement. C'est donc cette grandeur que nous avons attribuée au critère correspondant.

2.d. Etendue de la zone vulnérable. Cette grandeur, exprimée en hectares, est l'intersection de la surface de la zone à risque d'effondrement avec la zone vulnérable (bâtie ou équipée en surface).

2.e. Critères de vulnérabilité de la surface, tous définis par des variables qualitatives.

- Vulnérabilité du bâti (valeurs affectées 5, 10, 20, 30 ou 40 selon, respectivement, que le bâti est constitué d'une simple zone d'activité, d'un lotissement avec maisons isolées, de maisons accolées dans une rue, d'un village avec bâtiments longs et immeubles, d'une ville).

- Vulnérabilité des routes (valeurs affectées : 10, 20, 30 selon qu'il s'agit, respectivement, de routes départementales, de routes nationales ou d'autoroutes).

- Vulnérabilité des voies ferrées (valeurs affectées : 10, 20 ou 30 selon qu'il s'agit, respectivement, de lignes ordinaires, de lignes rapides ou de lignes à grande vitesse).

- Vulnérabilité des ouvrages d'art (valeurs affectées 0 ou 10 selon, respectivement, que des ouvrages d'art n'existent pas ou, au contraire, sont présents en surface).

- Vulnérabilité des réseaux divers (valeurs affectées 10, 20 ou 30, selon, respectivement, qu'on trouve en surface des réseaux électriques, des réseaux d'eau, des gazoducs).

Le système de pondération repose sur le principe suivant : ayant classé les critères du moins important au plus important, on inter-

Tableau : Pondération des critères pour chaque calcul de hiérarchisation

N°	Critère	Hiérarchisation des zones à risques sous le bâti	Hiérarchisation des zones à risques sous les infrastructures
<b>C1</b>	<b>Sollicitation des terrains</b>		
C1.1	Sollicitation effective	5	5
C1.2	Présence de faille	1	1
C1.3	Superposition des piliers	1	1
C1.4	Taille et régularité des piliers	1	1
C1.5	Sensibilité à l'envoyage	5	5
<b>C2</b>	<b>Sensibilité de la surface</b>		
C2.1	Profondeur	1	1
C2.2	Affaissement maximum attendu	1	1
C2.3	Déformation (Am/H)	20	20
C2.4	Etendue de la zone	1	1
C2.5.1	Vulnérabilité du bâti	10	sans objet
C2.5.2	Vulnérabilité des routes	sans objet	4
C2.5.3	Vulnérabilité des voies ferrées	sans objet	4
C2.5.4	Vulnérabilité des ouvrages d'art	sans objet	4
C2.5.5	Vulnérabilité des réseaux divers	sans objet	2

roge un décideur sur sa préférence entre deux actions fictives mais réalistes. Ces réponses servent à attribuer aux critères des poids inégaux. En l'occurrence le tableau ci-dessus résume les choix effectués.

Cette méthodologie a été appliquée pour l'instant à 35 concessions, et a permis de repérer 299 zones à affaissements potentiels ou à risque de fontis dont 90 sous des zones bâties et 64 sous des zones équipées d'infrastructures importantes. Parmi ces dernières, nous avons, le cas échéant, identifié des zones homogènes en regard de la géométrie et des conditions d'exploitation (voir figure 1).

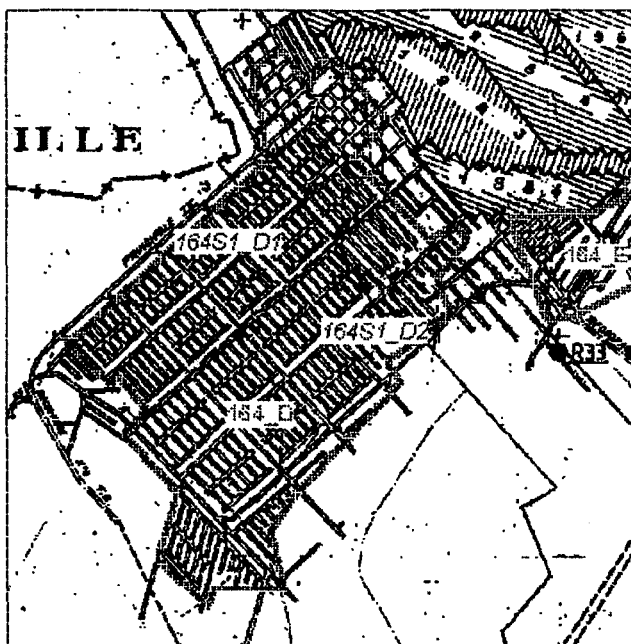


Fig.1 : Exemple de zone d'affaissement potentiel, homogène.

En définitive, le traitement d'une matrice d'évaluation des «performances» de 78 zones à risque, au moyen du logiciel ELECTRE IV, a conduit à leur hiérarchisation et à leur classement en quatre groupes décrits ci-dessous. Neuf zones à risques de fontis ont été également retenues.

**Groupe 1** : les zones les plus dangereuses, où on retrouve les cas d'exploitations multicouches, à faible profondeur, sous des secteurs sensibles et vulnérables, où une forte sollicitation sur les piliers est associée à des déformations horizontales potentiellement élevées.

**Groupe 2** : les zones un peu moins dangereuses que celles du groupe 1, généralement parce qu'un des critères de risque n'est pas vérifié.

**Groupe 3** : zones surplombant des exploitations à forte profondeur, faiblement sollicitées, peu sensibles en surface.

**Groupe 4** : zones peu dangereuses.

Les actions préconisées sont différentes dans ces quatre groupes : surveillance en continu pour le groupe 1, surveillance périodique pour le groupe 2, mesures pour préciser le risque dans le groupe 3, enfin nivellement de référence pour le groupe 4.

Une des zones hiérarchisée permet d'illustrer cette conclusion.

#### 6 SURVEILLANCE CONTINUE D'UNE ZONE A RISQUE

Un des secteurs hiérarchisés dans le groupe 1, est caractérisé par une situation qui a très vite nécessité une intervention particulière. Il concerne les communes de Joef et Homécourt, qui sont presque entièrement sous-cavées par l'exploitation de deux couches, à une profondeur assez faible (70 à 105 m) au moyen de chambres et piliers superposés séparés par un intercalaire de 4 à 6 mètres. Les deux couches exploitées ont environ 4 et 6 m d'épaisseur moyenne. Le taux de défrèvement ne dépasse pas 45 % et, le plus souvent, est de l'ordre de 35 à 45 %, avec des galeries de 5 à 6 m de large et des piliers de 15 à 20 m de côté. (figure 2). La densité du bâti et de la population, l'étendue de la zone (environ 220 hectares, 10 000 habitants) ont incité à prescrire une analyse particulière.

C'est ainsi qu'une étude géomécanique précise a été conduite sur ce secteur, avec réalisation de sondages carottés et prélèvement d'échantillons, caractérisation géomécanique et calculs numériques (Vinkler, 1999). Les conclusions ont montré que si le risque immédiat d'un effondrement généralisé à l'ensemble de l'exploitation sous-minant la ville, ou même à de vastes secteurs soudainement fragilisés, peut raisonnablement être écarté, on ne peut exclure, à terme, l'apparition de désordres locaux, susceptibles de s'étendre de proche en proche, dans une zone de taille suffisante pour que des effets soient ressentis à la surface.

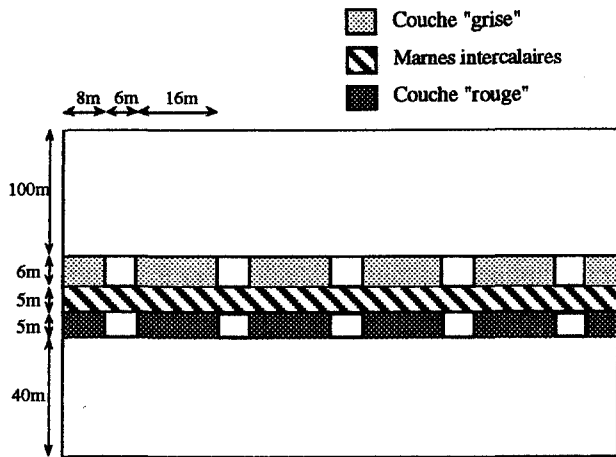


Fig. 2 : Coupe verticale schématique de l'exploitation souterraine sous les communes de Joeuf et Homécourt (Meurthe et Moselle).

La surveillance mise en place est basée sur l'écoute microsismique des bruits et vibrations émis lors de la rupture de terrains qui constituent le premier symptôme d'initialisation du processus d'effondrement (rupture des piliers au fond, puis du toit immédiat, et enfin du haut toit). La méthode a été validée, dans le contexte des mines de fer lorraines, au moyen d'une expérimentation préliminaire effectuée au cours de l'été 1997 dans la dernière mine en activité à cette date. Cette expérimentation a consisté à enregistrer, à la surface, les signaux correspondant aux ruptures et aux éboulements locaux provoqués volontairement au fond par la destruction (torpillage) des piliers. Bien que la rupture du haut-toit et l'effondrement complet n'aient pas pu être provoqués, pour des raisons pratiques, dans les conditions de cet essai, il a tout de même été possible de démontrer la faisabilité et l'efficacité de la méthode et d'établir les paramètres principaux du système : gammes de fréquence, gains, distance maximale entre capteurs et foyers des événements qui détermine la maille du réseau, etc.

Le système installé à Joeuf et Homécourt, opérationnel depuis le début de l'année 1998, comporte cinq stations tridirectionnelles équipées chacune d'un géophone et de trois accéléromètres (selon les trois directions de l'espace) installés en fond de forages de 30 à 40 m de profondeur (figure 3). Les signaux sont centralisés et pré-traités sur un micro-ordinateur local, puis transmis, par voie téléphonique, sur un autre micro ordinateur géré par une équipe de surveillance organisée pour une veille permanente à l'École des Mines de Nancy. A ce jour, aucune augmentation alarmante (non explicable) de l'activité sismique n'a été enregistrée.

## 7 CONCLUSION

Le devenir des grands bassins miniers en cours de fermeture et d'abandon avait, jusqu'ici, généralement été envisagé sous l'angle socio-économique mais les problèmes scientifiques, et en particulier ceux qui relèvent de la Mécanique des Roches, ont sans doute été mal estimés. Les problèmes se posent à la fois globalement (critères d'évaluation des risques) et localement (méthodes d'intervention sur des cas précis).

Le bassin ferrifère lorrain a servi de révélateur, à son corps défendant, et a notamment permis de mettre en lumière quelques questions qui ouvrent aujourd'hui de nouvelles voies de recherche (qui peuvent, au demeurant, concerner d'autres applications) : le comportement à long terme des roches, l'influence des propriétés

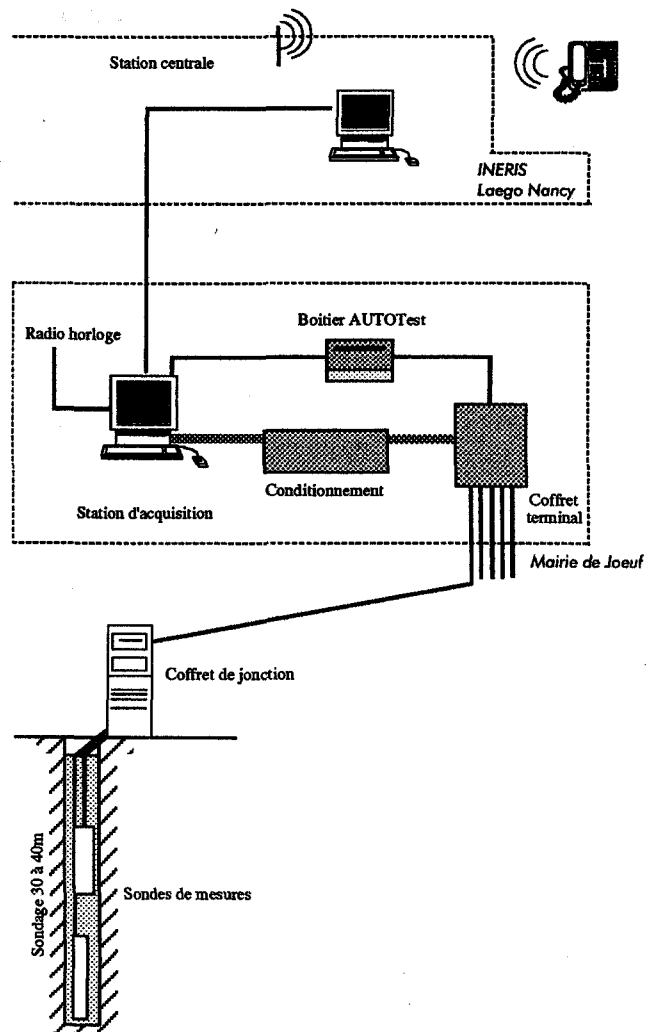


Fig. 3 : Chaîne de surveillance sismo-acoustique

géo-chimiques des roches sur la qualité des eaux et, réciproquement, le rôle de l'eau dans les propriétés mécaniques, les effets sur les structures de surface de grandes déformations soudainement induites par des phénomènes souterrains, le nécessaire développement de méthodes d'auscultation et de surveillance appropriées.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient pour leur contribution, et en particulier pour la fourniture des informations et des documents indispensables à ce travail, la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement de Lorraine (DRIRE), ainsi que les sociétés LORMINES et ARBED, derniers titulaires des concessions minières.

## 8 BIBLIOGRAPHIE

- Tincelin E. & Sinou P. (1962) *Effondrements brutaux et généralisés, coup de toit*. Revue de l'Industrie Minière, avril 1962.
- Tincelin E. (1982) *La stabilité de la surface à l'aplomb des exploitations souterraines en mines métalliques ou assimilées, piliers abandonnés ou îlots*. Revue de l'Industrie Minière, février 1982.

- Josien J.P. (1995) *Carrières abandonnées, risques et prévention. Thème 1. Diagnostic et caractérisation des aléas.* Bull. de l'Association Internationale de géologie de l'Ingénieur n° 51, avril 1995.

- Roy B. (1968) *Classement et choix en présence de points de vue multiples, la méthode ELECTRE,* in R.I.R.O. vol 2, n° 8 pp.57-75.

- Vinkler F. Piguet J.P. *Numerical analysis of long term stability of the abandoned mines. Impact of the groundwater level rise.* FLAC symposium on numerical modeling in geomechanics. A paraître.

- Piguet J.P. (1999) *Affaissement et déformations au-dessus des exploitations minières: mécanismes, conséquences et facteurs influents.* Bull. Société géologique du Nord. A paraître.