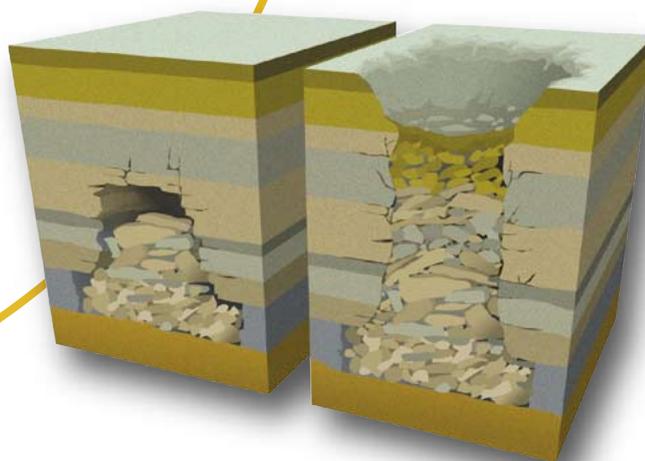


# Le risque minier



**DOSSIER D'INFORMATION**





http://www.unige.ch/areh/

Les « monteuses de charbon » au XIX<sup>e</sup> s.

**Introduction.....2**

**Le risque minier : phénomènes et risques associés**

**Les différents matériaux exploités et les gisements ..... 4**

- Les minerais
- Les combustibles solides
- Les combustibles fluides
- Les sels

**Les principaux modes d'exploitation ..... 7**

- L'exploitation à ciel ouvert
- La méthode en chambre et piliers abandonnés
- Les chambres magasins
- Le foudroyage
- La longue taille
- L'exploitation par tranches
- La dissolution
- La méthode par pompage
- Les fluides sous pression

**Les manifestations en surface ..... 10**

- Les mouvements au niveau des fronts de taille des découvertes
- Les affaissements
- L'effondrement généralisé
- Les fontis
- Les phénomènes hydrauliques
- Les remontées de gaz de mine
- Les pollutions des eaux et des sols

**Les actions de prévention et de secours**

**La réglementation ..... 13**

- Le Code minier
- La procédure d'arrêt des travaux miniers
- Les ZAPD
- Le PPRM

**La recherche et le suivi de cavités ..... 16**

- Les données historiques (identification des concessions)
- La géophysique
- Les autres techniques de reconnaissance
- L'auscultation
- Les visites périodiques de contrôle

**La protection active ..... 18**

- Le renforcement des cavités visitables
- Le renforcement des cavités non visitables

**La protection passive ..... 20**

- Le renforcement des structures
- Les fondations profondes
- L'adaptation des réseaux souterrains
- La surveillance
- L'organisation des secours
- L'information préventive
- L'information des acquéreurs et des locataires
- L'indemnisation des victimes
- L'expropriation

**Références ..... 24**

Sites internet consultés et bibliographie

**Glossaire et sigles ..... 24**

Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs

Avec l'aimable collaboration de M. Michel Messin, directeur de l'APSRM et de M. Christophe Didier de l'INERIS

Conception et réalisation : Oréade Conseil [38420 Domène] Graphies [38240 Meylan]



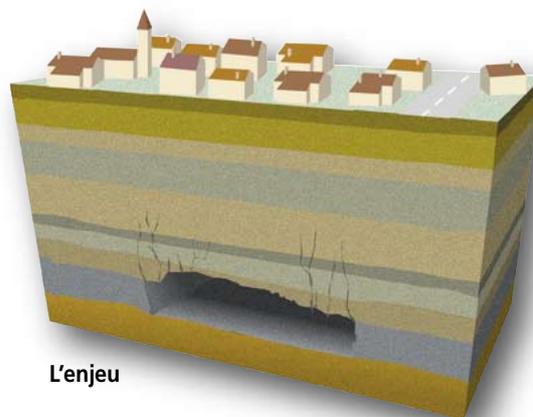
## Introduction

En France, comme un peu partout en Europe, l'exploitation de la ressource minérale débute très tôt. Les premiers indices de grattage remontent au Néolithique (V<sup>e</sup> au III<sup>e</sup> siècle av. J.C.). On exploite alors surtout les silex et le sel. Durant l'Antiquité, l'exploitation minière va prendre un réel essor avec la maîtrise des métaux. Elle connaîtra son apogée à l'époque gallo-romaine, avec l'extraction de minerais d'argent, de plomb, de cuivre et de fer. Les exploitations sont très nombreuses mais de taille réduite, faute de technologie. Pendant près d'un millénaire, l'activité minière va rester modeste, même si la France conserve une tradition minière et métallurgiste. L'exploitation redevient particulièrement intense aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Grâce à l'amélioration rapide de méthodes d'extraction, la production permet de répondre aux besoins grandissants de l'industrie naissante, très consommatrice de minerais de fer et de combustibles.

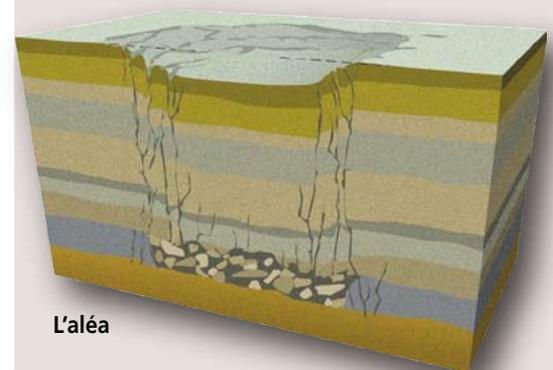
Dans l'exploitation de la ressource minérale, on distingue :

- **les mines** (à ciel ouvert ou souterraines), d'où l'on extrait des matériaux stratégiques (métaux tels le fer, l'or, le cuivre ou l'uranium ; combustibles tels le charbon, le pétrole et le gaz naturel ; sels tels le gemme ou la potasse) ;
- **les carrières** (à ciel ouvert ou souterraines) qui exploitent des matériaux de construction (calcaire, craie, sable, gravier, argile, roches massives, gypse [pierre à plâtre], etc.) et des matériaux dits « industriels » telle la silice.

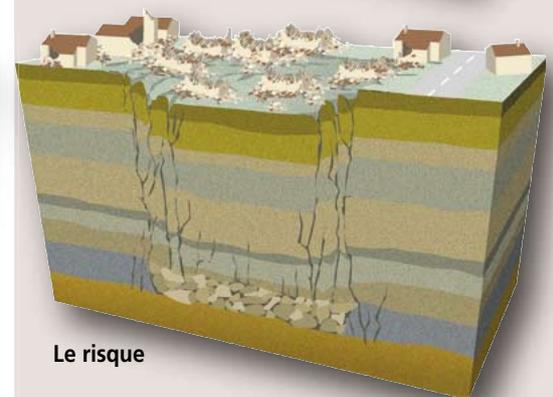
La tradition minière française s'inscrit dans la toponymie locale, soulignant l'intérêt économique de cette activité pour les populations : La Ferrière (Isère), Plombière-les-Bains (Vosges), Largentière (Ardèche), Salins-les-Bains (Jura), Les Minières (Eure), Charbonnier-les-Mines (Puy-de-Dôme), etc.



L'enjeu



L'aléa



Le risque

**Nota** : les mots accompagnés d'un astérisque sont expliqués dans le glossaire en page 24.

Quelques définitions sont nécessaires à la compréhension de ce document.

**L'aléa** est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données.

**L'enjeu** est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

**Le risque majeur** est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dégâts importants et dépasser les capacités de réaction des instances directement concernées.



Effondrement du sol et du toit de galeries de mine.

Depuis quelques décennies, l'exploitation de ces mines et carrières s'est fortement ralentie en France, laissant la plupart de ces sites fermés. Il ne reste aujourd'hui qu'une mine de sel et une exploitation du sel par dissolution en activité. On estime à environ 500 000 (chiffre probablement sous-estimé), le nombre de cavités souterraines sur l'ensemble du territoire national.

L'exploitation des mines est régie par le Code minier. Le gisement (le sous-sol) appartient à l'État qui en cède l'exploitation pour une durée déterminée (concession) à un organisme public ou privé. Ce dernier est responsable du gisement, de l'exploitation et de la sécurité, y compris dans la phase de l'arrêt du chantier.

L'exploitation des carrières est régie par le Code civil. La ressource (le sous-sol) appartient au propriétaire du sol qui peut en jouir sous réserve du respect de règles spécifiques (protection de l'environnement notamment). **Seul le cas des mines sera abordé ici.**

Les principaux risques miniers sont surtout liés à l'évolution des cavités souterraines abandonnées et sans entretien du fait de l'arrêt de l'exploitation. Ces cavités présentent des risques potentiels de désordres en surface pouvant affecter la sécurité des

personnes et des biens. Des phénomènes de surface (effondrement, affaissement, fontis, etc.) se font sentir à plus ou moins long terme en fonction de la taille des cavités, de leur profondeur, de la nature et de la qualité du sol. Des problèmes liés aux remontées de nappes, aux pollutions, aux émanations de gaz et émissions de rayonnement peuvent également se manifester. Ces risques font aujourd'hui l'objet d'une attention particulière (traitement, prévention, etc.).

Les risques pour les mineurs, liés à l'exploitation elle-même, tels que les explosions des gaz de mine (coup de grisou), n'entrent pas dans le champs des risques décrits ici.

# Le risque minier : phénomènes et risques associés

## *Les différents matériaux exploités et les gisements*

### ■ Les minerais

Les minerais sont des matériaux naturels constituant la croûte terrestre (roches) dont on peut extraire des métaux. La quantité de métal contenue dans le minerai est très variable (de quelques grammes par tonne pour les métaux rares comme l'or ou le mercure, à plusieurs dizaines de kilogrammes par tonne).

#### **Le fer**

Le fer entre dans la composition de la fonte et de l'acier. Son usage est donc largement répandu et les besoins pour l'économie sont très importants. Le minerai de fer se présente sous différentes formes chimiques qui demandent des traitements adaptés (sidérurgie) : la sidérose, l'hématite, la magnétite, la pyrite, etc. On trouve généralement le minerai de fer dans des couches géologiques sédimentaires et en filons\*.

En France, les principales exploitations sont situées en Lorraine. On en trouve également dans l'ouest de la France et dans les Pyrénées. L'exploitation de filons a souvent donné lieu à des grattages\* peu étendus.

#### **L'uranium**

L'uranium est un métal qui présente à l'état naturel, en faible proportion, des éléments radioactifs [voir dossier d'information « Le risque nucléaire »]. L'exploitation de l'uranium ne commence que tardivement, avec l'avènement de l'énergie nucléaire. Quelques mines font l'objet d'exploitation entre 1900 et 1939. Ensuite, c'est l'État qui, par l'intermédiaire du CEA, entreprend son exploitation.

#### **Les autres minerais**

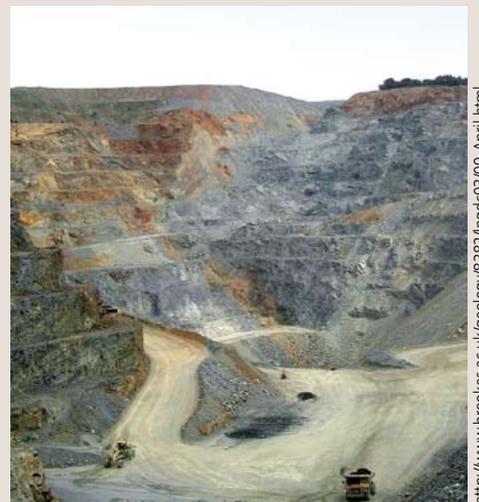
De nombreux autres minerais font, ou ont fait, l'objet d'exploitation pour produire des métaux. Nous aborderons à titre d'exemple le cas de l'or et de l'argent.

Les gisements d'or se trouvent principalement dans les massifs anciens : le Massif armoricain avec trois grands gisements, le Limousin et la Marche avec les mines de la société de Bourneix (Haute-Vienne) et enfin la montagne Noire avec la mine de



Mine de fer abandonnée d'Oye-et-Pallet (Doubs).

<http://www.spelmines.org/mines.html>



Mine d'or de Salsigne (Aude).

<http://www.brookes.ac.uk/geology/8382/mgdc03/09-April.html>



Cartes postales anciennes.

Le travail des mineurs vers 1920.

Salsigne (Aude). De nombreux indices ont également été décelés dans les Alpes (La Gardette), les Pyrénées (Gloriane), l'Auvergne et les Cévennes.

On trouve en France des mines argentifères qui furent en activité dans le Val d'Argent ou vallée de Sainte-Marie-aux-Mines, Lembach, Rimbach (Haut-Rhin), Fresse-sur-Moselle (Vosges), etc.

## ■ Les combustibles solides

### *Le charbon*

Le charbon est un combustible fossile qui s'est formé à la suite d'un processus de fossilisation de végétaux dans des régions marécageuses, conduisant à une concentration de carbone. En fonction du degré de fossilisation et de concentration en carbone, on distinguera différentes variétés : la tourbe (non considérée comme produit minier), la lignite, la houille et l'antracite.

Le matériau qui a été le plus extrait en France est la houille. C'est une roche très riche en carbone qui s'est formée au carbonifère, il y a environ 300 millions d'années. Son exploitation remonte au XI<sup>e</sup> siècle en Provence et en Languedoc. Ce combustible a permis la révolution industrielle au XIX<sup>e</sup> siècle et la relance de l'économie européenne après les deux guerres mondiales. Il est surtout utilisé dans les centrales thermiques, pour la production d'électricité et le chauffage urbain, et dans la sidérurgie dans les hauts fourneaux.

Les couches de charbon sont présentes dans le sol sous forme de veines dont certaines ont été exploitées à plus de 1 200 m de profondeur. En France, ces exploitations sont essentiellement situées dans le Nord - Pas-de-Calais, dans le Massif Central et dans le Sud-Ouest. On en trouve également en Provence, en Isère et en Lorraine.

## ■ Les combustibles fluides

### *Le pétrole*

Le pétrole est un mélange d'hydrocarbures formé par les dépôts de plantes microscopiques et de micro-organismes marins morts dans des bassins sédimentaires marins ou lagunaires. Les hydrocarbures ont ensuite migré pour s'accumuler dans des réservoirs souterrains naturels (niveaux imperméables, plissement de la roche, etc.). Il s'agit d'une roche liquide. En la distillant, on obtient un ensemble de combustibles liquides ou gazeux (gasoil, kérosène, essence, fuel, butane, propane, etc.). Le pétrole sous pression peut remonter à la surface naturellement. Dans le cas contraire, il est extrait par pompage.

## **Le gaz naturel**

Le gaz naturel, associé ou non au pétrole, est un mélange composé pour l'essentiel de méthane avec des traces d'autres hydrocarbures gazeux et d'autres corps (du soufre notamment qui constitue parfois un sous-produit exploité). Il est extrait le plus souvent de gisements de gaz secs (qui ne contiennent pas de pétrole) où le gaz sous pression sort naturellement. Après avoir été débarrassé de ses impuretés, il est utilisé à des fins domestiques et industrielles (chauffage, cuisson, etc.).

## ■ **Les sels**

Les sels se déposent dans des mers fermées. L'évaporation provoque la cristallisation de sels dissous dans l'eau et leur dépôt en strates épaisses.

### **Le sel gemme**

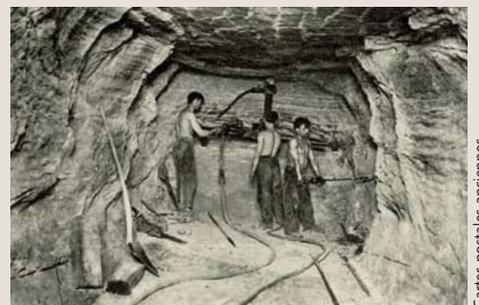
Le sel (NaCl, chlorure de sodium) est l'une des matières premières essentielles de la chimie minérale. Une partie de la production est utilisée pour le déneigement des routes dont les besoins sont saisonniers et très variables selon les rigueurs hivernales. Le sel exploité par dissolution est également destiné à l'alimentation.

En France, l'exploitation du sel fut importante au cours des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles avec des exploitations dans le bassin lorrain (Dombasle) et le bassin franc-comtois (salines d'Arc-et-Senans). Les principaux gisements de sel français sont situés dans les bassins salifères d'Aquitaine, de Provence (Valence, Manosque), de Franche-Comté et de Bresse, de Lorraine, de Champagne et d'Alsace.

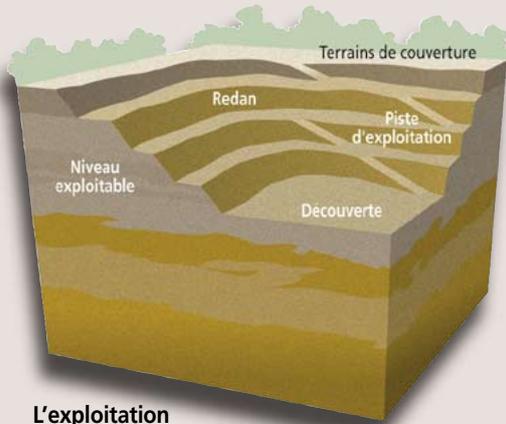
### **La potasse**

La potasse fait partie des éléments majeurs indispensables à la croissance des plantes. Elle joue un rôle essentiel dans la synthèse des sucres et de l'amidon. Elle permet une meilleure mise en valeur de la fertilisation azotée. De plus, elle favorise la résistance au gel, à la sécheresse, aux maladies et au stockage.

Le gisement alsacien constitue la seule réserve de potasse connue en France. Le sel de potasse brut est nommé sylvinite, mélange de chlorure de potassium, de chlorure de sodium et de schistes insolubles. L'exploitation minière se situe à des profondeurs variant de 600 à 1 000 mètres.

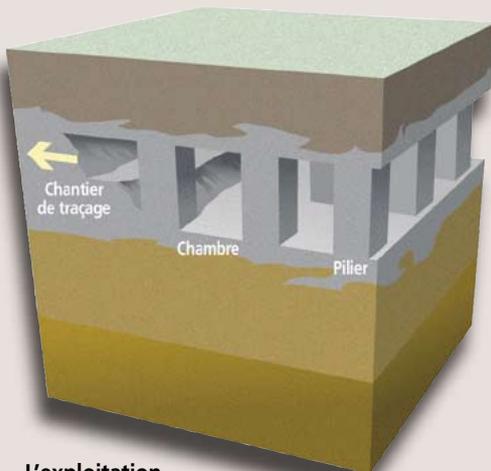


Mine de potasse en Alsace dans les années trente.

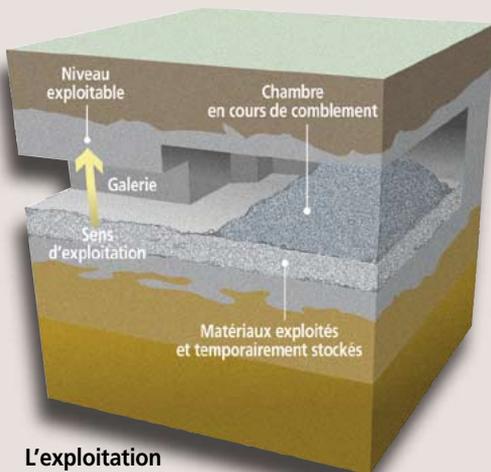


L'exploitation à ciel ouvert

90 millions de mètres cubes représentent à peu près le volume de 36 pyramides de Khéops (227 m de côté pour 147 m de hauteur).



L'exploitation par chambre et piliers abandonnés



L'exploitation par chambres magasins

## Les principaux modes d'exploitation

Le type de gisement et la nature des matériaux guident le choix des techniques d'exploitation.

### ■ L'exploitation à ciel ouvert

Lorsque le gisement est superficiel et que les conditions géologiques et mécaniques le permettent, l'exploitation peut se faire à ciel ouvert, dite découverte\*. L'exploitant s'affranchit alors des contraintes liées aux travaux souterrains. Il est par contre confronté à la nécessité d'assurer la stabilité des flancs de l'excavation\*. Cette stabilité est assurée en réalisant un chantier en redans\*, souvent réalisés de façon empirique.

Ce type de mine peut être mené à grande échelle. On citera à titre d'exemple la découverte de charbon de Carmaux où une fosse de 1 100 m de diamètre pour plus de 200 m de profondeur a été creusée entre 1985 et 1997, pour un volume extrait de 90 millions de m<sup>3</sup>.

### ■ La méthode en chambre et piliers abandonnés

Cette méthode consiste à creuser dans la couche exploitable, à partir d'un puits ou d'une descenderie\*, un réseau de galeries ou chambres se coupant à angle droit. Cela permet de laisser en place, suivant un schéma pré-établi, des piliers aux dimensions calculées de telle sorte que les terrains sus-jacents demeurent stables. Le matériau restant est donc utilisé pour assurer un soutènement et une stabilité de la structure tant en surface qu'au fond de la mine. Dans des gisements où l'épaisseur de la couche exploitable est très importante, il est possible de travailler par étages.

Cette technique d'exploitation laisse de nombreux vides qui pourront évoluer à la suite de la destruction naturelle des piliers et l'effondrement du toit de la cavité (foudroyage\* naturel).

### ■ Les chambres magasins

La technique consiste à abattre\* le matériau exploité et à le stocker provisoirement dans le chantier. Cette technique permet de garantir la sécurité des travailleurs qui sont de fait protégés des chutes du toit. Dans un premier temps, seul est évacué l'excédent de matériau provenant du foisonnement\* de la roche à partir d'une galerie basse. L'abattage progresse en montant. Le surface supérieure du matériau abattu sert de plan de travail. En fin d'exploitation la chambre est intégralement vidée. Elle peut être remblayée, laissée vide ou se foudroyer d'elle-même.



## ■ Le foudroyage

L'exploitation s'apparente à celles de chambres et piliers. On procède ici en outre à la fermeture des vides dans les travaux souterrains, au fur et à mesure de leur progression. Plusieurs méthodes de foudroyage sont utilisées en fonction du contexte géologique, notamment du pendage\* et de la puissance\* des couches à exploiter. Cette technique concerne des exploitations en dépilage\* intégral. On recherche ensuite l'obstruction contrôlée des galeries après exploitation.

Une méthode consiste en la suppression des piliers résiduels par un torpillage à l'explosif. Les opérations bien menées conduisent à une suppression pratiquement totale des vides. Ces derniers peuvent également être comblés par autoremblayage. Dans ce cas, l'exploitant laisse les roches s'effondrer sous leur propre poids.

Au-dessus des travaux foudroyés, se forme une zone déconsolidée\* appelée cloche de foudroyage. Les roches y sont désorganisées, laissant subsister entre elles un vide. Des réajustements de terrains de couverture déconsolidés entraînent inévitablement des tassements différés de la surface qui peuvent se poursuivre quelques années après l'exploitation.

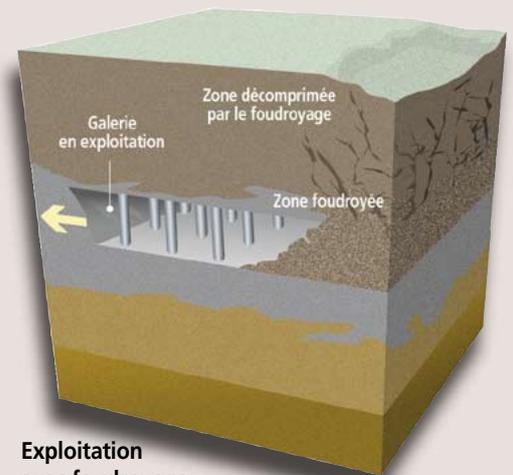
## ■ La longue taille

Elle peut être définie comme une galerie en couche, d'une longueur de 100 à 250 m, qui se déplace parallèlement à elle-même dans la veine, en étant constamment reliée à deux autres galeries ou voies qui lui sont perpendiculaires.

Le soutènement est déplacé au fur et à mesure de l'avancement. Ceci peut provoquer le foudroyage naturel et l'effondrement dans la cavité des couches supérieures décomprimées. L'affaissement peut se répercuter jusqu'en surface.

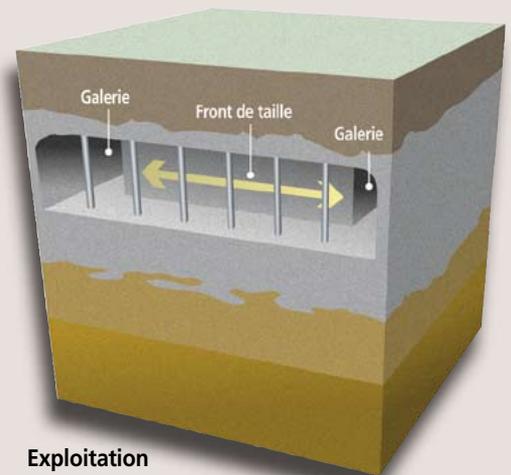
## ■ L'exploitation par tranches

Ce type d'exploitation concerne essentiellement les gisements en amas, en couches épaisses ou très pentées. Il peut se faire en tranches montantes ou descendantes. Les travaux souterrains sont remblayés au fur et à mesure de leur avancée avec des déchets d'extraction. Dans le cas d'exploitation en tranches descendantes, la fermeture des vides peut être obtenue par foudroyage.

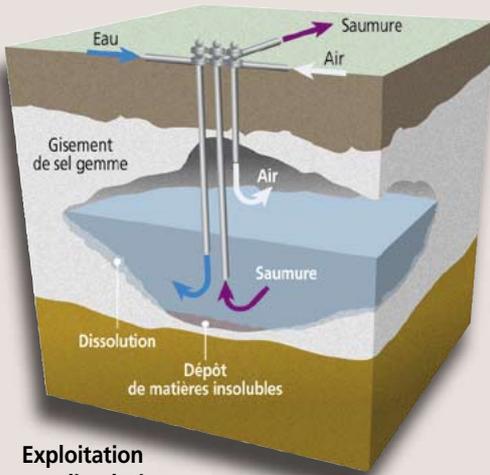


### Exploitation avec foudroyage

Le foudroyage occasionne également l'effondrement des terrains sus-jacents et, à terme, celui du sol en surface.



### Exploitation en longue taille



### Exploitation par dissolution

Le schéma ci-dessus illustre le principe de l'exploitation par dissolution dans le cas d'un puits unique (« sondage isolé »). Il est également possible d'utiliser plusieurs puits (« sondages groupés ») selon deux techniques :

- la technique des sondages en « pistes » : cette technique découle de l'exploitation précédente. Les cavités de dissolution, s'étalent et se rejoignent. On entreprend alors une exploitation sur l'ensemble de la piste ainsi formée, en injectant l'eau douce dans le puits amont, et en soutirant la saumure par le puits aval. L'eau douce effectue un lessivage du bas vers le haut des cavités, et il en résulte une exploitation intensive qui se traduit par l'effondrement du toit de ces cavités et la formation de cratères d'effondrement alignés entre les puits de sondages ;

- la technique « d'hydro fracturation » : cette technique consiste à forer jusqu'à la base de la série salifère et à y injecter de l'eau sous forte pression pour créer une fracturation horizontale. La fracturation permet la mise en communication de différents puits, et lorsque celle-ci est établie, la circulation de l'eau est rétablie en basse pression. L'exploitation est ensuite régulée à un débit correspondant aux besoins de fabrication. L'injection est arrêtée avant que le toit de la cavité ne s'effondre grâce à une technique de surveillance. De même, des piliers sont conservés entre les sondages voisins. Cette exploitation extensive conserve la stabilité des terrains sus-jacents mais exige un plus grand périmètre d'exploitation.

## ■ La dissolution

Le sel gemme est une roche soluble. L'exploitation utilise le principe de la dissolution.

Après forage du sol jusqu'au gisement en un point unique, on injecte de l'eau pour dissoudre le sel et produire de la saumure. Quand on a dissout la quantité prévue, on pompe la saumure vers l'usine où elle est épurée et stockée. Elle est ensuite dirigée vers l'installation d'évaporation où l'on exploite le sel cristallisé.

D'autres techniques, utilisant plusieurs forages, peuvent être mises en œuvre [voir hors-texte].

## ■ La méthode par pompage

L'extraction par pompage s'effectue à partir de puits forés depuis la surface terrestre ou de plateformes artificielles en mer. Les fluides sont extraits en présence d'eau et de boues de forage à rôle d'étanchéification, et transportés via des pipelines. Ce type d'exploitation concerne principalement les gisements d'hydrocarbure liquide.

## ■ Les fluides sous pression

Certains fluides peuvent être naturellement sous pression dans la roche réservoir. Un simple forage jusqu'au réservoir permet une remontée du fluide (liquide ou gaz) à la surface du sol. Dans le cas d'hydrocarbures sous faible pression naturelle, de l'eau peut être injectée dans le réservoir. L'hydrocarbure plus léger, est poussé vers la surface par une mise en pression.

# LA POTASSE D'ALSACE

DOSES MINIMA DE CHLORURE DE POTASSIUM A APPORTER A L'HECTARE (EN KILOGRAMMES)					
BLÉ	LIN	MAIS	COLZA	TABAC	FRUITS
150	150	150	150	150	150
VIGNE	BETTERAVE FOURRAGERE	PRAIRIE	BETTERAVE SUCRIERE	CULTURE MARACHERE	POMME DE TERRE
200	200	200	300	300	400

**LA POTASSE D'ALSACE**

SYLVINITE 20% de Potasse pure      SYLVINITE DOUBLE 40% de Potasse pure  
SULFATE DE POTASSE 48% de Potasse pure  
CHLORURE DE POTASSIUM 49% de Potasse pure

est indispensable dans tous les sols pour toutes les cultures

## Les manifestations en surface

### ■ Les mouvements au niveau des fronts de taille des découvertes

Les cavités restées béantes du fait d'exploitations à ciel ouvert peuvent être le lieu de mouvements de versant divers. Ces mouvements peuvent concerner des volumes de quelques décimètres cubes à plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes. Ces phénomènes résultent de l'altération du front de taille, de l'érosion par les eaux météoriques et les eaux souterraines et par la décompression de la roche. Ces phénomènes peuvent se produire lors de l'exploitation ou longtemps après l'arrêt des travaux.

**Le ravinement :** l'excavation laissée à nu peut être sensible aux ruissellements. La circulation d'eau sur des terrains érodables conduit à l'apparition de ravines plus ou moins développées.

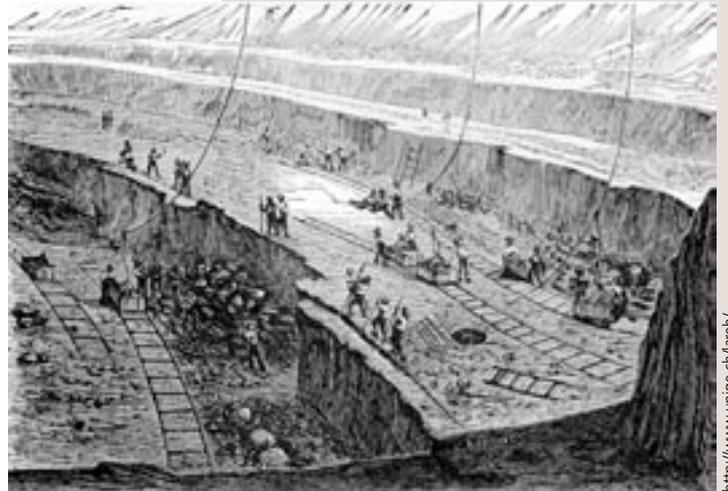
**Les glissements de terrain :** il s'agit d'une rupture de l'équilibre mécanique des sols<sup>1</sup>. Le mouvement s'effectue sur une surface de forme circulaire plus ou moins profonde, conditionnée par les caractéristiques géomécaniques des terrains et la topographie de l'excavation.

**Les chutes de blocs :** l'altération de la roche peut libérer des pierres et des blocs de taille variable. Le front d'exploitation fonctionne comme une falaise rocheuse<sup>1</sup>.

**Les écroulements en masse :** ce phénomène extrême affecte un volume considérable. Il s'apparente à un glissement rocheux où la surface de rupture se développe sur un ou plusieurs plans de faiblesse du rocher (plan de stratification ou plan de fracturation). La rupture est brutale.

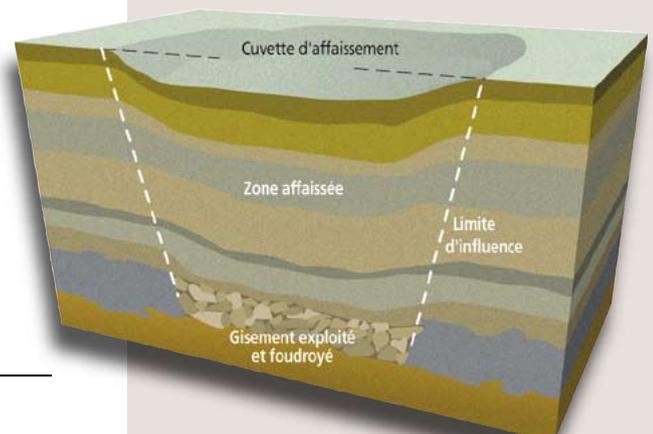
### ■ Les affaissements

Dans le cas d'une exploitation souterraine, la formation en surface d'une cuvette d'affaissement résulte de la propagation de la cloche de foudroyage dans les couches supérieures de la roche. La cuvette d'affaissement a un fond sensiblement horizontal. L'affaissement y est égal à une proportion de l'épaisseur des terrains exploités. Sur les bords de la cuvette, l'affaissement diminue progressivement. Il s'accompagne de phénomènes d'extension en limite extérieure de la cuvette et de compression au centre de la cuvette. Ces phénomènes



Une mine à ciel ouvert au XIX<sup>e</sup> siècle.

**L'affaissement**  
d'une succession de couches  
de terrain meuble

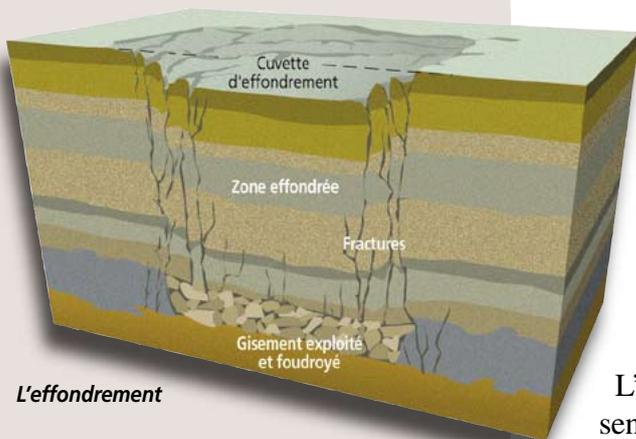


1 - Voir le dossier d'information « Les mouvements de terrain ».

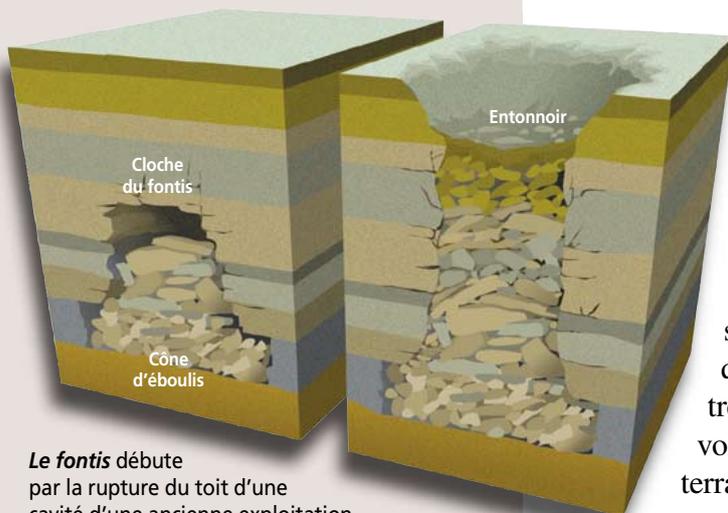
### Des cas particuliers d'effondrements

L'effondrement d'une tête de puits génère en surface des désordres assez proches du fontis. Le phénomène résulte de la rupture du bouchon posé sur les vieux puits. Le remblai s'écoule alors dans les travaux souterrains, entraînant éventuellement les terrains environnants.

De la même façon, la rupture d'une tête de filon\* occasionnée par un décollement entre le minéral (filon) et le substratum\* provoque en surface un cratère allongé dans le sens du filon.



L'effondrement



Le fontis débute par la rupture du toit d'une cavité d'une ancienne exploitation. Les chutes de blocs entraînent une montée progressive de la voûte. Une cloche de fontis se forme et s'élève vers la surface tandis que le cône d'éboulis se développe. Le fontis débouche à ciel ouvert quand les terrains de surface s'effondrent. Avec l'érosion des terrains superficiels, le fontis prend une forme d'entonnoir stable.

provoquent dans les bâtiments des fissurations en zones d'extension, des compressions (souvent moins nocives) en zones centrales et des mises en pente sur les bords de la cuvette.

Pour les mines qui utilisent le foudroyage comme technique d'exploitation, les affaissements peuvent se produire pendant les travaux. Dans les autres cas les mouvements se produisent de manière différée après la fin des travaux. Ils sont le plus souvent terminés dans les cinq ans qui suivent l'exploitation. Cependant, des phénomènes résiduels peuvent survenir ultérieurement en bordure de cuvette. Ils ont alors une faible ampleur.

### ■ L'effondrement généralisé

Le phénomène de base régissant les ruptures des ouvrages souterrains en exploitation totale peu profonde est l'effondrement généralisé. Ce phénomène se définit comme la dislocation rapide et la chute des terrains sus-jacents à une cavité relativement peu profonde (jusqu'à 200 m) et de grande dimension. Les terrains éboulés autour d'une cavité sont toujours divisés en blocs de taille et de forme variables qui s'entassent en remplissant un volume plus grand que celui qu'ils occupaient à l'état initial (foisonnement).

L'effondrement généralisé est souvent destructeur et lié à la présence dans le recouvrement d'un banc épais et raide qui cède soudainement après avoir été mis en flexion par rupture des piliers qui le soutenaient. Une grande quantité d'énergie est alors libérée en un court laps de temps et s'accompagne d'une secousse sismique.

À la surface, ces effondrements se traduisent par une brusque descente d'ensemble des terrains à l'aplomb du secteur affecté. L'amplitude de ce décalage est de l'ordre de grandeur du vide disponible dans l'exploitation.

### ■ Les fontis

Le fontis est l'effondrement localisé du toit d'une cavité souterraine. Le phénomène conduit à un entonnoir de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre en surface dont l'occurrence dépend principalement du volume des vides ainsi que de l'épaisseur et de la nature des terrains de recouvrement.

Les fontis affectent le plus souvent des exploitations en chambre et piliers. Ils se produisent après la fin de l'exploitation en raison de la fatigue de la roche (piliers, toit). L'ennoyage\* des galeries peut aggraver le phénomène.

## ■ Les phénomènes hydrauliques

Les travaux miniers peuvent perturber les circulations superficielles et souterraines des eaux. Les conséquences possibles sont multiples : modifications du bassin versant hydrogéologique, modifications du débit des sources et des cours d'eau, apparitions de zones détrempées et de marécages, inondations de points bas, inondations brutales, etc. Certaines de ces perturbations apparaissent dès le début de l'exploitation et ont généralement un caractère irréversible. D'autres se manifestent après l'arrêt du chantier, notamment en raison de l'arrêt des pompes et de l'ennoyage des galeries.

## ■ Les remontées de gaz de mine

Les vides laissés par la mine constituent un réservoir de gaz potentiellement dangereux. Ces gaz peuvent remonter à la surface à la faveur des galeries souterraines ou de la fracturation induite par l'exploitation dans le massif rocheux.

Certains milieux peuvent être à l'origine de la propagation de gaz explosifs. C'est le cas en particulier des mines de charbon qui sont le lieu d'émanation de méthane (*grisou*). Une explosion accidentelle de gaz dans une mine, appelée « coup de grisou », peut alors se produire. L'explosion est possible pour une concentration de méthane comprise entre 5 et 15 % dans l'air.

D'autres gaz de mine sont communs et toxiques. Il s'agit en particulier du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), du monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) et du sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Le déficit en oxygène dans l'air du fait de la présence de gaz peut également être à l'origine d'asphyxies.

Les mines d'uranium, les mines de charbon et de lignite peuvent contenir des concentrations significatives de radon. Ce gaz radioactif cancérigène provient de la désintégration naturelle du radium.

## ■ Les pollutions des eaux et des sols

L'activité minière s'accompagne assez fréquemment de pollutions des eaux (souterraines et superficielles) et des sols. Cette pollution provient en particulier du lessivage\* des roches dans les galeries (eaux de mine) ou du lessivage des stériles\* par les eaux de pluie. Elle se retrouve dans les sols, les nappes souterraines, dans les rivières et les plans d'eau. Une pollution liée à l'activité industrielle peut également exister en fonction des techniques et produits utilisés dans l'exploitation minière. Les principaux polluants miniers sont les métaux lourds (mercure, plomb, nickel), les PCB (polychlorobiphényles, présents en particulier dans les graisses industrielles), etc.



Mineurs recherchant les arrivées de grisou.

Carte postale ancienne.

Les gaz de mine peuvent migrer vers la surface selon plusieurs mécanismes :

- **le pistonnage par remontée de nappe** : l'ennoyage progressif des travaux souterrains repousse vers la surface les gaz de mine ;
- **les variations de la pression atmosphérique** : le passage d'une dépression météorologique peut occasionner une surpression dans les galeries de mine, favorisant la migration des gaz vers la surface ;
- **le tirage naturel** : les circulations d'air régies par les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur peuvent provoquer l'expulsion des gaz de mine vers la surface.

**Le radon**  $^{220}\text{Rn}$  ou  $^{222}\text{Rn}$  est le plus lourd des gaz connus. Il ne présente un danger qu'en cas de concentration dans un espace non ventilé (cas particulier des sous-sols d'habitations en relation avec les travaux souterrains). Incolore et inodore, le radon est dangereux par inhalation (émissions  $\alpha$ ). La dose maximale admissible actuellement en France pour le public est de cinq millisieverts.



# LES ACTIONS DE PRÉVENTION ET DE SECOURS

## *La réglementation*

### ■ Le Code minier

Le Code minier actuel trouve ses fondements au début du XIX<sup>e</sup> siècle. L'État définit alors la notion de matériaux « concessibles » et « non concessibles » afin d'affirmer sa mainmise sur les ressources stratégiques. Parmi ces matériaux concessibles, on compte les métaux, les hydrocarbures, les sels, etc. Les matériaux de construction sont donc exclus du cadre du Code minier. Par ce texte, l'État assure le contrôle complet des substances concessibles extraites.

La concession est accordée sans avis des propriétaires de surface. L'État touche une redevance proportionnelle au tonnage de matériau extrait et assure le suivi de l'exploitation dans le cadre de son pouvoir de police des mines. Ce pouvoir de police s'exprime en particulier en terme de garantie de la sécurité des populations et des biens.

Les mines, en activité ou arrêtées, relèvent du Code minier (loi du 26 novembre 1956 amendée ensuite par de nombreux textes).

### ■ La procédure d'arrêt des travaux miniers

Le Code minier fixe les modalités de la procédure d'arrêt de l'exploitation minière (loi n° 99-245 du 30 mars 1999). Il vise ainsi à prévenir les conséquences environnementales susceptibles de subsister à court, moyen ou long terme après des travaux miniers. Il a ainsi mis l'accent sur les mesures de prévention et de surveillance que l'État est habilité à prescrire à l'explorateur ou l'exploitant. Le renforcement du volet préventif de la procédure d'arrêt des travaux miniers est réalisé au travers des lois du 3 janvier 1992, du 15 juillet 1994 et du 30 mars 1999.

La procédure d'arrêt des travaux miniers débute avec la déclaration d'arrêt des travaux, élaborée par l'exploitant et transmise au préfet six mois avant l'arrêt de l'exploitation. Cette déclaration s'accompagne de la présentation d'un dossier d'arrêt des travaux élaboré par l'exploitant et remis à l'autorité administrative (DRIRE\*). Ce dossier dresse le bilan des effets des travaux sur l'environnement. Il identifie les risques ou nuisances susceptibles de persister dans le long terme et en particulier ceux qui peuvent porter atteinte à la

sécurité des personnes et des biens. Il propose enfin des mesures compensatoires destinées à gérer les risques identifiés. Ces mesures peuvent concerner la suppression, la réduction ou la surveillance des risques.

Le dossier d'arrêt des travaux miniers constitue la base technique du plan de prévention des risques miniers (PPRM).

## ■ Les ZAPD

*Les zones d'affaissement potentiel différé*

Cette disposition a été prise en Lorraine dans le cadre particulier du fer. Les cartes des zones d'affaissement potentiel différé (ZAPD) ont été publiées par l'État entre 1988 et 1998 pour chaque commune concernée. Elles repèrent la trace en surface des effets d'une éventuelle rupture des vides résiduels significatifs au fond. Les ZAPD ne concernent que les zones dont le taux de défrèvement\* est supérieur à 30 %.

Les cartes ZAPD définissent le type d'effet prévisible en surface (étude de modélisation) et le classement des zones présentant une vulnérabilité de surface (bâtiment ou infrastructure) afin de définir la surveillance à mettre en place (étude de hiérarchisation). L'éventualité de la rupture de l'édifice minier est estimée à partir des conditions géologiques et d'exploitation.

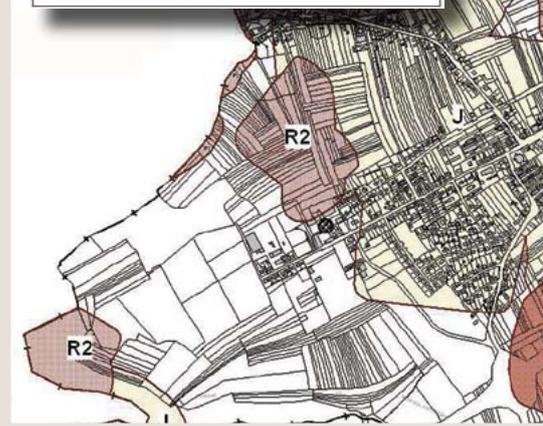
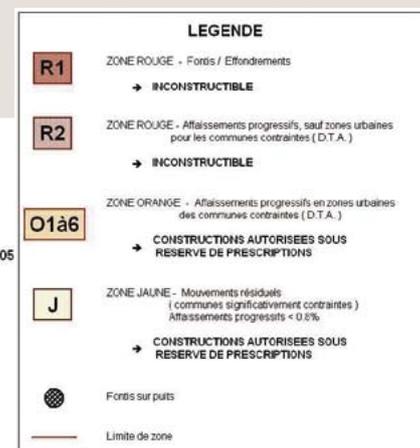
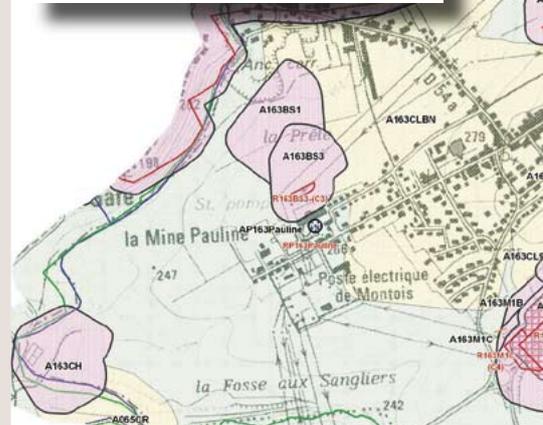
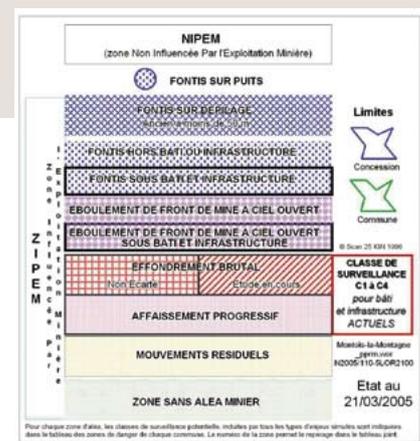
L'importance des effets en surface est quantifiée en fonction de l'affaissement maximum prévisible sur la zone, de la profondeur de l'exploitation, de la déformation maximale prévisible sur la zone (paramètre auquel sont le plus sensibles les bâtiments ou les infrastructures).

Les zones de risque sont hiérarchisées en quatre classes. Pour les deux premières où le risque est le plus fort, une surveillance préventive est prévue (C1 : surveillance continue, C2 : surveillance périodique). Pour les deux dernières où le risque est plus faible, une surveillance des effets en surface est organisée (C3 et C4). Une reconnaissance du risque dans la zone est en outre prévue dans la zone C3.

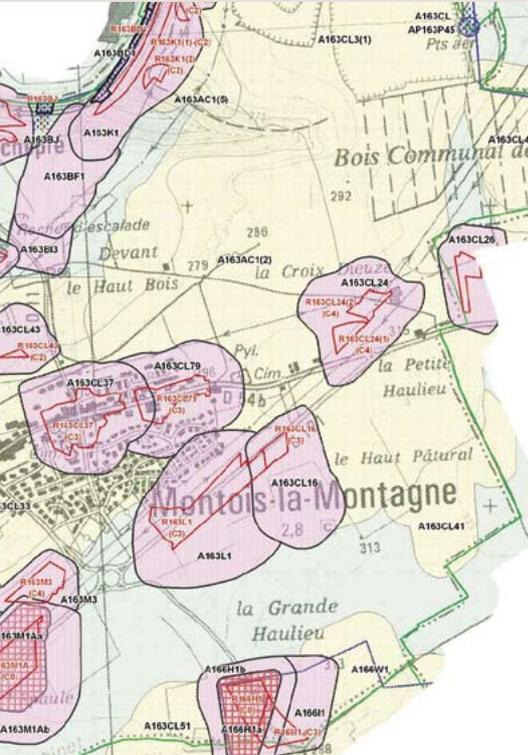
## ■ Le PPRM

*Le plan de prévention des risques miniers*

Le PPRM est introduit par la loi n° 99-245 du 30 mars 1999, dite loi « après-mine ». Le PPRM et la procédure d'arrêt des travaux miniers sont complémentaires mais non redondants. Le PPRM identifie les nuisances ou les risques susceptibles de perdurer à long terme, en intégrant les mesures de mise en sécurité prises par l'exploitant lors de la procédure d'arrêt des travaux. Il établit également les règles d'usage du sol et d'urbanisme. Le décret du 16 juin 2000

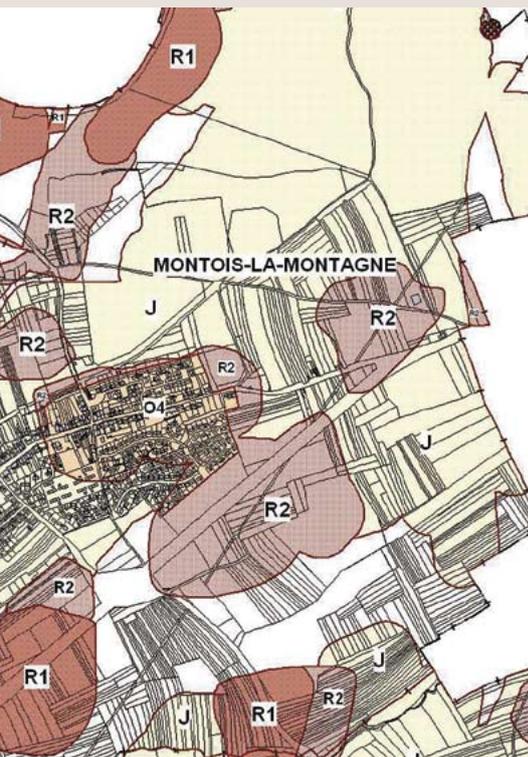


Exemple de carte de l'aléa minier.  
Commune de Montois-la-Montagne (Moselle).



<http://www.lorraine.equipement.gouv.fr/>

Exemple de plan de prévention du risque minier.  
Commune de Montois-la-Montagne (Moselle).



<http://www.lorraine.equipement.gouv.fr/>

a calé la procédure des PPR miniers sur celle des PPR naturels. Ce décret prévoit néanmoins des spécificités portant sur :

- le champ d'application : les risques pris en compte sont notamment les affaissements, effondrements, fontis, inondations, émanations de gaz dangereux, pollution des sols ou des eaux, émissions de rayonnements ionisants ;
- la procédure : l'agence de prévention des risques miniers est associée à la procédure d'élaboration, les chambres de commerce et des métiers sont le cas échéant consultées ;
- le contenu : le règlement rappelle les mesures de prévention et de surveillance édictées au titre de la police des mines.

L'État élabore et met en œuvre les PPRM. C'est donc le préfet qui prescrit le PPRM ; il en précise le périmètre d'étude (bassin de risque : en général au moins le périmètre de la concession) et la nature des risques pris en compte. Le préfet désigne également le service instructeur du dossier de PPRM.

Toute mine arrêtée récemment ou de longue date, exploitant identifié ou mine orpheline\*, peut faire l'objet d'un PPRM. Le bien fondé d'une prescription de la procédure par le préfet est conditionné par le caractère prioritaire pour ce qui concerne la nature du risque, l'ampleur des conséquences prévisibles et la probabilité de sa survenue.

Le PPRM apporte les mêmes effets que le plan de prévention des risques naturels (PPRN) à l'exclusion des procédures et conditions d'indemnisation des victimes par l'intermédiaire du fonds de prévention des catastrophes naturelles.

Le règlement du PPRM s'attache à rappeler les mesures de prévention et de surveillance qui auraient été définies durant la procédure d'arrêt des travaux miniers, qu'il s'agisse de prescriptions ou de recommandations. En revanche, en aucun cas, le PPRM ne pourra imposer à un quelconque exploitant d'autres mesures que celles qui auraient été définies et validées par l'autorité administrative lors de la procédure d'arrêt achevée à la date d'élaboration du plan.

Le règlement définit les mesures à appliquer pour chaque zone de risque identifiée. Il peut s'agir de mesures d'urbanisme (occupation du sol) ou de dispositions constructives (renforcement des bâtiments notamment). Ces mesures s'appliquent aux biens et activités existantes, mais également aux projets nouveaux. Elles peuvent s'accompagner de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde des personnes et des biens.

## La recherche et le suivi de cavités

En dehors de plans précis d'exploitation, aucune méthode d'identification ne permet à elle seule de détecter sans ambiguïté une cavité. La combinaison de plusieurs méthodes permettant de recouper l'information doit être mise en œuvre.

### ■ Les données historiques (identification des concessions)

Les sources d'information sont nombreuses mais très dispersées, ce qui ne facilite pas les recherches. Les données « officielles » sont fournies en majorité par des organismes « publics » : APSRM\*, BRGM\*, INERIS\*, DRIRE\*, GEODERIS\*, etc. Certaines de ces informations sont regroupées dans des bases de données et accessibles sur Internet : <http://www.bdcavite.net>, site des DRIRE, etc. Des informations sont également disponibles dans des publications de thèses, des archives administratives, des monographies, etc.

Notons que la loi SRU\* impose aux communes d'établir un recensement de l'ensemble des cavités souterraines présentes sur leur territoire. La même obligation est faite aux propriétaires de biens immobiliers qui doivent déclarer en mairie les cavités souterraines connues présentes sur leur propriété.

Une cartographie du site doit être mise en place afin d'identifier l'ensemble des travaux souterrains et des équipements annexes, ainsi que les caractéristiques des terrains situés sur le site. Malheureusement, ces documents pour les mines les plus anciennes n'existent pas ou ont été détruits ou perdus, en partie ou complètement, durant les périodes de guerre.

Comme la quasi-totalité des mines françaises sont fermées de nos jours, la plupart des exploitants n'existent plus ou sont introuvables. Certains, encore en activité, sont clairement identifiés : Compagnie des salines du midi et des salines de l'est, Charbonnage de France, Cogema, etc.

Pour ce qui est des exploitations illégales ou beaucoup trop anciennes, les données seront inexistantes et des recherches spécifiques devront être entreprises : enquête de voisinage, reconnaissances géologiques de terrain, photo-interprétation, etc.

### ■ La géophysique

Les méthodes géophysiques sont nombreuses et permettent une reconnaissance rapide et sur une assez grande étendue du sous-sol. La précision obtenue sera fonction du choix de la méthode et de l'environnement de travail (bruit, météo, contexte géologique, etc.).

### Les accidents majeurs et quelques chiffres

Les effondrements de cavités souterraines (mines et carrières confondues) sont un phénomène très ancien, probablement aussi ancien que les exploitations elles-mêmes. En revanche, ils ne sont cités qu'à partir de 1564. Depuis, un bon nombre d'accidents semblables a été répertorié, comme les effondrements de 1623 au monastère des Feuillantines, de 1778 à Ménilmontant ou encore de 1879 au passage Gourdon. Un des événements les plus marquants de l'histoire des effondrements en France, reste l'effondrement de Clamart en 1961 qui entraîna la mort de 21 personnes, l'enfoncement de deux à quatre mètres de plus de trois hectares et la disparition de six rues.

Une enquête menée en 1964 sur la période 1871-1964 a dénombré 56 effondrements survenus dans des exploitations en chambres et piliers, dont 44 pour des mines et carrières en activité et 12 abandonnées. Ces accidents ont causé la mort de 108 personnes (48 au fond et 60 au jour) et fait 94 blessés (20 au fond et 74 au jour).

Deux événements marquants ont affecté le pays minier : la mine de fer de Roncourt (Meurthe-et-Moselle) en 1959 (80 maisons endommagées) et les affaissements récents d'Auboué et de Moutiers (Lorraine) (180 familles évacuées et relogées dans l'urgence, 160 maisons inhabitables, indemnisation totale des sinistrés d'Auboué et de Moutiers).

- **La microgravimétrie** : cette méthode repose sur la mesure des valeurs relatives de la gravité à la surface du sol. Ces valeurs étant influencées par la répartition des densités dans le proche sous-sol, on peut détecter les cavités par le déficit de densité qu'elles provoquent. Les mesures gravimétriques conduisent à la réalisation d'une carte des anomalies microgravimétriques permettant de préciser la position d'une cavité.

- **Les méthodes sismiques** consistent à provoquer des ébranlements dans le sol à l'aide d'un émetteur (explosif, marteau) et à observer en surface les différents types d'ondes générées par ces ébranlements. La présence d'une cavité dans le sous-sol peut constituer un obstacle à la propagation des ondes et entraîner des modifications (des temps de trajets des ondes, de leur vitesse de propagation, de leurs amplitudes) révélatrices de sa présence.

- **Les méthodes électriques et électromagnétiques** consistent à mesurer la résistivité\* des roches du sous-sol (propriété physique caractéristique d'une roche et de sa capacité à conduire le courant) en y injectant soit un courant continu, soit un courant alternatif. Les cavités sont caractérisées par une résistivité importante.

- **Le radar géologique** émet de brèves impulsions électromagnétiques de haute fréquence qui se réfléchissent partiellement sur des interfaces de milieux présentant des caractéristiques électriques différentes. Les échos produits sont enregistrés au moyen d'une antenne réceptrice puis exploités. On obtient immédiatement une image du sous-sol. Le radar est capable de détecter, dans certains cas, la présence de cavités.

## ■ Les autres techniques de reconnaissance

D'autres techniques de reconnaissance in-situ, plus ponctuelles, complètent les méthodes géophysiques :

- **Les sondages** (destructifs ou carottés), s'ils sont judicieusement implantés et bien valorisés (diagraphies\*), permettent également de reconnaître par vidéoscopie, laser ou sonar les cavités

inaccessibles. Par ailleurs, les sondages carottés permettent une description très précise, tant géologique que géotechnique, des terrains traversés. Ces méthodes restent ponctuelles et les résultats ne peuvent donc pas être généralisés sur une grande étendue. La multiplication de ces derniers peut être nécessaire pour quadriller au mieux la zone. Ils servent à confirmer et à préciser les hypothèses fournies par l'étude géophysique.

- **Les décapages à la pelle mécanique** sont des reconnaissances destructrices. Ils permettent une visualisation directe des couches superficielles d'un terrain. Ils sont notamment utilisés pour la recherche des galeries qui ont été remblayées (têtes de puits) ou des travaux superficiels.

- **Les techniques de reconnaissance géométrique** : lorsque les cavités sont accessibles, on réalise un levé topographique et une cartographie des travaux souterrains.

## ■ L'auscultation

Différentes techniques de surveillance de signes précurseurs de désordres de surface peuvent être mises en œuvre dans le cadre des mesures de prévention et de protection des personnes et des biens.

- **La topographie de surface** : qu'elle utilise les relevés terrestres traditionnels ou la méthode GPS\*, la topographie permet la mesure de la position d'objets (repères) dans les trois dimensions et de suivre leur déplacement dans le temps.

- **La méthode satellitaire** : les déformations de surface liées à l'existence de cavités minières sont surveillées grâce à la technique d'interférométrie\* radar (InSAR) par satellite. Cette technique a été expérimentée avec succès sur des déformations résultant de l'activité minière (exploitation et post-mine) dans le cas d'un site houiller et d'une saline. Le principe consiste à combiner la phase de deux images radar prises par le satellite à des dates différentes. La différence de phase, ou interférogramme, permet de mesurer, par analyse multitemporelle, les déformations lentes de surface, de faibles amplitudes et d'étendues supérieures à quelques centaines de mètres.

• **L'utilisation de capteurs** : l'étude du comportement des cavités souterraines est également réalisée par la mise en place de capteurs permettant de mesurer les déformations du sous-sol. Ce sont généralement des extensomètres (mesure de déplacements), des tassomètres (mesure de tassements), des inclinomètres (mesure d'inclinaison) ou des piézomètres (mesure de niveau d'eau) si l'on s'intéresse au comportement de l'eau. Ces équipements permettent de suivre périodiquement l'évolution des déformations afin de prévenir d'éventuels désordres importants.

### ■ Les visites périodiques de contrôle

Lorsque les cavités souterraines sont accessibles, des contrôles visuels périodiques permettent d'apprécier l'évolution du toit, des parois et des piliers des travaux souterrains. Ces visites doivent être effectuées par un technicien expérimenté, capable d'appréhender l'évolution probable des désordres en surface.

#### Deux cas réels

En 2002 et 2003, le GISOS\* a réalisé une expérimentation en grandeur réelle dans la mine de fer de Tressange (Moselle), dans le nord du bassin ferrifère lorrain, pour étudier le comportement des chambres et des piliers soumis à l'ennoyage. Cela a consisté à inonder une chambre rendue étanche à 250 mètres de profondeur pendant un an. Les différentes méthodes d'auscultation et de surveillance mises en œuvre (géophysiques, hydrologiques et géochimiques) ont permis de caractériser l'évolution d'une mine dans des conditions réelles d'arrêt de pompage des eaux d'exhaure\*. Les essais ont montré une fracturation accrue et accélérée des parois.

En 2004, l'INERIS a commencé à surveiller un site de mine de sel exploitée par dissolution à Cerville-Buissoncourt, près de Nancy. Dans ce cas également, la cavité de dissolution sera auscultée à partir de la surface à l'aide de méthodes géophysiques, géochimiques et satellitaires afin d'étudier les mécanismes conduisant à l'effondrement, prévu en 2006 ou 2007.

## La protection active

La protection est dite « active » lorsque on agit sur l'origine des désordres pour empêcher ceux-ci de se produire ou pour en réduire l'intensité. Des techniques différentes seront utilisées selon que la cavité à traiter est accessible ou non et selon sa taille.

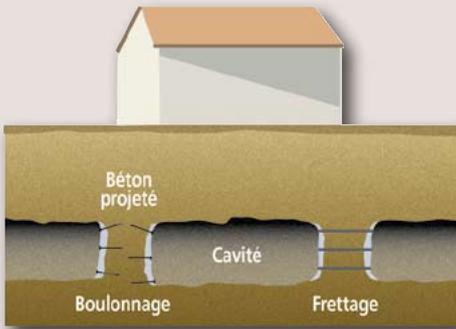
### ■ Le renforcement des cavités visitables

La cavité doit être accessible ou rendue telle avec des conditions minimales de sécurité. Le coût est élevé en général (beaucoup de main d'œuvre).

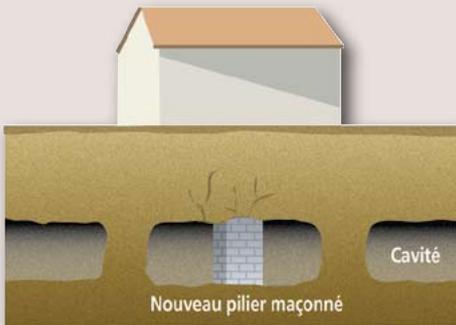
• **Le renforcement des piliers existants** est une technique surtout utilisée lorsque l'on souhaite conserver l'usage d'une cavité [schéma ci-contre]. On utilise en général la combinaison du béton projeté et du boulonnage\*. Le frettage\* des piliers par des câbles ou des barres métalliques est quelquefois employé.

• **La construction de piliers en maçonnerie** : le principe est de transmettre le poids des terres et des surcharges éventuelles au plancher de la carrière [schéma ci-contre]. La surface totale d'un pilier est fonction de la charge qu'il doit supporter. Les piliers de renforcement doivent représenter au minimum 20 % de la surface de la zone que l'on souhaite protéger en surface. Pour être efficace, un pilier de renforcement doit avoir une déformabilité voisine de celle des piliers en matériau naturel laissés par l'exploitation. Les matériaux utilisés en général sont les moellons ou les parpaings pleins liés au mortier de ciment. Une attention doit être portée au sol support (ce doit être le terrain en place, non remanié) et au matage\* sous le ciel (clavage\* au mortier après durcissement du mortier d'assemblage du pilier).

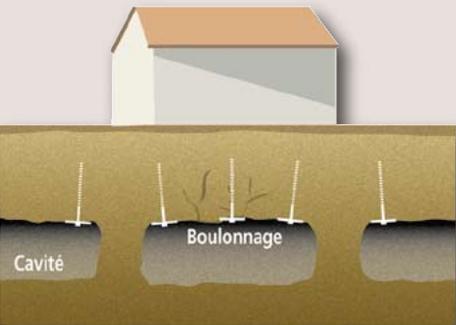
• **Le boulonnage du toit** consiste à armer et à rendre monolithique la masse rocheuse en toit de la cavité pour lui permettre de reporter le poids des terres sur les piliers ou sur les flancs des galeries [schéma ci-contre]. C'est notamment le cas d'un toit lié en bancs horizontaux.



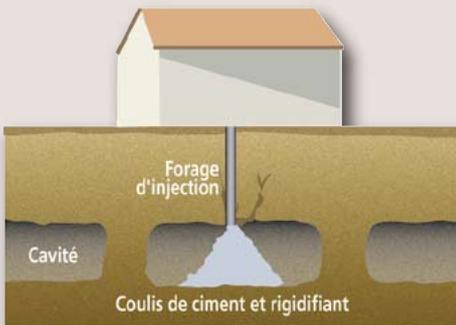
Le renforcement des piliers existants



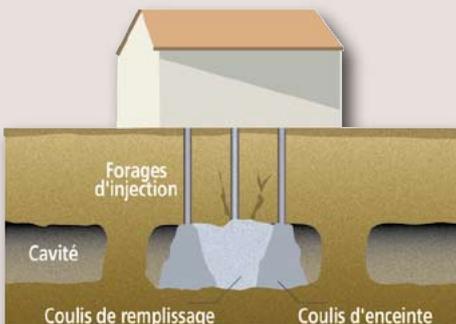
La construction de piliers en maçonnerie



Le boulonnage du toit



La mise en place de plots en coulis



L'injection par forages

• **Le remblayage** consiste à supprimer l'essentiel du vide souterrain par la mise en place de matériaux sans liant hydraulique. Ces matériaux peuvent être variés en fonction des opportunités : déblais criblés, terres de fouille en provenance de gros chantiers voisins, stériles miniers, etc. La mise en place s'effectue par engins mécaniques si l'accès est possible pour les engins. Le matériau peut être acheminé à partir d'une entrée en cavage ou être déversé par un puits et repris ensuite par les engins au fond. Le remblai n'est jamais parfaitement compacté. Son tassement ultérieur peut se traduire par des affaissements de la surface. Ces affaissements demeurent limités et sans grandes conséquences à long terme. Le coût est très variable en fonction des quantités et des opportunités de matériaux disponibles.

### ■ Le renforcement des cavités non visitables

En raison de l'inaccessibilité des cavités souterraines (entrée obstruée ou inconnue), le traitement s'effectue depuis la surface.

**La mise en place de plots ou piliers en coulis\*** : cette méthode de renforcement peut utiliser deux techniques :

- des piliers en sable-ciment dont le coffrage est une chaussette en géotextile\* ;
- des plots de 1,50 m de diamètre en tête, à fort angle de talus naturel [schéma ci-contre]. L'injection d'un coulis de ciment, pourvu d'un adjuvant rigidifiant, s'effectue depuis la surface par des forages (de diamètre 100 mm en général). Il s'agit d'une technique assez délicate (mise au point du coulis) et chère (pertes importantes).

**Le remblayage** : son objectif est identique au remblayage des cavités visitables, avec les mêmes réserves. La mise en place s'effectue par déversement gravitaire dans les trous de forage.

**Le terrassement de la cavité** : la technique consiste à mettre à jour la cavité par terrassement et à procéder à un remblaiement avec compactage. C'est une solution possible lorsque la carrière est à faible profondeur.

**L'injection par forages** : la technique vise surtout à renforcer la capacité des piliers [schéma ci-contre]. Les matériaux injectés sont des sables\* ou des cendres volantes\* traitées au ciment. Il convient de s'assurer de la compatibilité des matériaux injectés vis-à-vis des contraintes environnementales. Il faut au préalable établir un barrage pour circonscrire la zone à traiter. L'injection se déroule ensuite en deux phases : emplissage gravitaire puis clavage (coulis plus riche en ciment). L'espacement des forages d'injection est de 3 à 4 m sous une construction, 5 à 6 m sous une voirie et en périphérie de construction, 8 à 10 m sous un espace vert.

## La protection passive

La protection passive définit des actions au niveau de la construction ou des fondations. L'objectif est de limiter la sensibilité de la structure aux dégradations dues à l'évolution des phénomènes miniers. La protection passive passe également par l'alerte liée à la surveillance. Le phénomène poursuit son évolution au cours du temps. L'action s'établit donc sur les conséquences du phénomène et non sur le phénomène lui-même. Des désordres peuvent continuer à apparaître. Ce type de protection s'applique le plus souvent dans des zones où les techniques actives ne peuvent s'employer. Son utilisation est essentiellement destinée aux constructions neuves mais peut parfois s'étendre au bâti existant.

### ■ Le renforcement des structures

Le principal objectif du renforcement d'une structure est de rendre celle-ci dans son ensemble quasiment monolithique [schéma ci-contre]. Pour ce faire, des options de chaînage et de fondations superficielles renforcées peuvent être utilisées. La suggestion de radier\* (pour les bâtiments nouveaux) est alors vivement recommandée ainsi que la mise en place de longrines\* armées. Les calculs de fondations doivent également être faits pour répondre à des conditions probables d'affaissement localisé.

### ■ Les fondations profondes

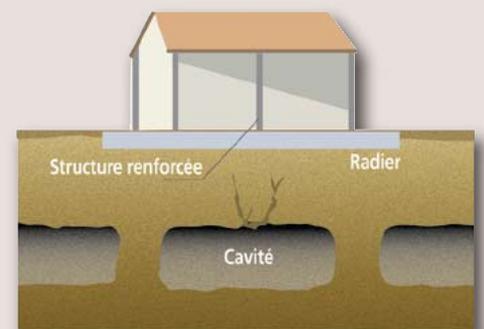
Lorsque la présence de cavités est avérée et la profondeur bien déterminée, des fondations profondes peuvent être envisagées pour un bâtiment neuf. L'objectif est alors de reporter la surcharge apportée par la construction sur les terrains sous la profondeur maximale des cavités [schéma ci-contre]. On désire donc désolidariser la structure des mouvements superficiels en se fondant sur une zone stable.

### ■ L'adaptation des réseaux souterrains

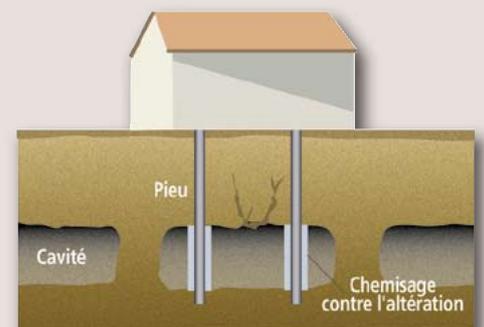
L'objectif est de limiter les risques de rupture et en particulier d'éviter les fuites d'eau qui peuvent accélérer le processus de dégradation des cavités souterraines. On procède soit par renforcement, soit en utilisant des raccords souples et déformables (canalisations de petit diamètre), soit des ouvrages de gros diamètre pour résister aux déformations.

### ■ La surveillance

Dans un premier temps la surveillance peut se faire avec les instruments utilisés lors de l'identification des cavités (en particulier la topographie). La surveillance constituera le suivi dans le temps de l'évolution des phénomènes. Cela se traduit par la mise en place



Le renforcement des structures



Les fondations profondes

de dispositifs d'auscultation qui renseignent sur la situation et qui permettent le déclenchement d'une procédure d'alerte en cas d'évolution suspecte. Cela pourra aller jusqu'à la veille permanente et l'installation d'un système de transmission de l'alerte en temps réel. L'objectif est d'éviter les victimes, sans empêcher le phénomène et les dommages aux biens matériels.

D'autres techniques telles que la microsismique peuvent être mises en œuvre. Cette méthode mesure en temps réel d'infimes vibrations du sol occasionnées par des ruptures de la roche. L'enregistrement de tels microséismes peut ainsi être annonciateur de l'imminence d'un effondrement majeur.

La surveillance peut aussi être utilisée en attente de travaux et de prévention et postérieurement à la mise en place de confortations (afin d'en valider l'efficacité).

### ■ L'organisation des secours

Au niveau communal, c'est le maire, détenteur des pouvoirs de police, qui a la charge d'assurer la sécurité de la population dans les conditions fixées par le code général des collectivités territoriales. À cette fin, il prend les dispositions lui permettant de gérer la crise et peut, si nécessaire, faire appel au préfet représentant de l'État dans le département.

Le plan communal de sauvegarde (PCS) détermine, en fonction des risques connus, les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des personnes, fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité, recense les moyens disponibles et définit la mise en œuvre des mesures d'accompagnement et de soutien de la population. Ce plan est obligatoire dans les communes dotées d'un PPRM.

En cas de catastrophe concernant plusieurs communes, les plans de secours départementaux sont mis en application, conformément à la loi du 22 juillet 1987. La loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 a réorganisé les plans de secours existants, selon le principe général que lorsque l'organisation des secours revêt une

ampleur ou une nature particulière, elle fait l'objet, dans chaque département d'un plan Orsec.

Le plan Orsec départemental, arrêté par le préfet, détermine, compte tenu des risques existants dans le département, l'organisation générale des secours et recense l'ensemble des moyens publics et privés susceptibles d'être mis en œuvre. Il comprend des dispositions générales applicables en toute circonstance et des dispositions propres à certains risques particuliers. Lorsque au moins deux départements d'une zone de défense sont concernés par une catastrophe ou que la mise en œuvre de moyens dépassant le cadre départemental s'avère nécessaire, le plan Orsec de zone est mis en service.

### ■ L'information préventive

La loi du 22 juillet 1987 a instauré le droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis sur tout ou partie du territoire, ainsi que sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Cette partie de la loi a été reprise dans l'article L125.2 du Code de l'environnement.

Établi sous l'autorité du préfet, le dossier départemental des risques majeurs (DDRM) recense à l'échelle d'un département l'ensemble des risques majeurs par commune. Il explique les phénomènes et présente les mesures de sauvegarde. À partir du DDRM, le préfet porte à la connaissance du maire les risques dans la commune, au moyen de cartes au 1/25 000 et décrit la nature des risques, les événements historiques, ainsi que les mesures d'État mises en place.

Le maire élabore un document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM). Ce document reprend les informations portées à la connaissance du maire par le préfet. Il précise les dispositions préventives et de protection prises au plan local. Il comprend l'arrêté municipal relatif aux modalités d'affichage des mesures de sauvegarde.

Ces deux documents sont librement consultables en mairie.

## L'information des acquéreurs et des locataires

**Article 75-2 du Code minier** (loi n° 94-588 du 15 juillet 1994, art. 16 et loi n° 99-245 du 30 mars 1999, art. 2).

I - Le vendeur d'un terrain sur le tréfonds duquel une mine a été exploitée est tenu d'en informer par écrit l'acheteur ; il l'informe également, pour autant qu'il les connaisse, des dangers ou inconvénients importants qui résultent de l'exploitation.

À défaut de cette information, l'acheteur a le choix de poursuivre la résolution de la vente ou de se faire restituer une partie du prix ; il peut aussi demander, aux frais du vendeur, la suppression des dangers ou des inconvénients qui compromettent un usage normal du terrain lorsque le coût de cette suppression ne paraît pas disproportionné par rapport au prix de la vente. Les dispositions précédentes s'appliquent également à toute forme de mutation immobilière autre que la vente.

II - Dans un contrat de mutation immobilière conclu avec une collectivité locale ou avec une personne physique non professionnelle après l'entrée en vigueur de la loi n° 94-588 du 15 juillet 1994 modifiant certaines dispositions du Code minier et l'article L. 711-12 du Code du travail, toute clause exonérant l'exploitant de la responsabilité des dommages liés à son activité minière est frappée de nullité d'ordre public. Lorsqu'une telle clause a été valablement insérée dans un contrat de mutation immobilière conclu avec une collectivité locale ou une personne physique non professionnelle, l'État assure dans les meilleurs délais l'indemnisation des dommages matériels directs et substantiels qui n'auraient pas été couverts par une autre contribution et qui ont pour cause déterminante un sinistre minier. Il est subrogé dans les droits des victimes nés de ce sinistre à concurrence des sommes qu'il serait amené à verser en application du présent alinéa.

Un sinistre minier se définit, au sens du présent article, comme un affaissement ou un accident miniers soudains, ne trouvant pas son origine dans des causes naturelles et provoquant la ruine d'un ou plusieurs immeubles bâtis ou y occasionnant des dommages dont la réparation équivaut à une reconstruction totale ou partielle. Cet affaissement ou cet accident est constaté par le représentant de l'État, qui prononce à cet effet l'état de sinistre minier.

III - Un décret en Conseil d'État précise en tant que de besoin les modalités d'application du présent article.

## ■ L'indemnisation des victimes

L'exploitant d'une mine ou le titulaire du titre minier (dans le cas où ces deux personnes sont distinctes) est tenu de réparer les dommages causés par l'activité minière. L'exploitant ne peut s'exonérer de cette responsabilité qu'en apportant la preuve d'une cause étrangère (article 75-1 du Code minier).

Selon la loi de 1999, la responsabilité de l'exploitant ou du titulaire du titre minier peut être engagée (à défaut de celle de l'exploitant). Cette responsabilité ne se limite pas au périmètre du titre minier ni à la durée de validité du titre. Dans le cas de disparition ou de défaillance de l'exploitant, l'ensemble des droits et obligations du concessionnaire est transféré à l'État. Celui-ci peut se retourner le cas échéant contre le responsable par une action subrogatoire\*.

La réparation assurée par l'exploitant, ou par l'État garant intervient selon les principes du droit commun, ce qui signifie que les dommages de toute nature sont réparables, qu'elle qu'en soit l'importance.

Le plan de communication établi par le maire peut comprendre divers supports de communication, ainsi que des plaquettes et des affiches, conformes aux modèles arrêtés par les ministères chargés de l'Environnement et de la Sécurité civile (arrêté du 27 mai 2003 complété par celui du 9 février 2005).



Le maire peut imposer ces affiches :

- dans les locaux accueillant plus de 50 personnes,
- dans les immeubles regroupant plus de 15 logements,
- dans les terrains de camping ou de stationnement de caravanes regroupant plus de 50 personnes.

Les propriétaires de terrains ou d'immeubles doivent assurer cet affichage (sous contrôle du maire) à l'entrée des locaux ou à raison d'une affiche par 5 000 m<sup>2</sup> de terrain.

La loi de 1999 a instauré, au titre de la solidarité, un régime d'indemnisation par l'État en cas de sinistre minier en faveur des propriétaires qui, du fait de ces clauses minières n'auraient pu obtenir réparation de l'exploitant.

Le décret du 29 mai 2000 indique les procédures à suivre pour permettre à l'administration d'une part de déterminer s'il y a ou non sinistre minier et dans l'affirmative quel en est le périmètre, d'autre part d'apprécier le caractère indemnifiable ou non des dommages, le coût des réparations et en cas de dommages irréparables dans les conditions normales (c'est-à-dire à un coût supérieur à la valeur de l'immeuble), de fixer la somme à verser à la victime pour lui permettre de recouvrer la propriété d'un bien de confort et de consistance équivalents dans un secteur comparable.

L'indemnisation de ces dommages est aujourd'hui confiée au Fonds de garantie des assurances obligatoires de dommages. Cette indemnisation est régie par l'article L. 421-17 du Code des assurances : « Toute personne propriétaire d'un immeuble ayant subi des dommages, survenus à compter du 1er septembre 1998, résultant d'une activité minière présente ou passée alors qu'il était occupé à

titre d'habitation principale est indemnisée de ces dommages par le fonds de garantie ».

Concernant le montant de l'indemnisation, l'article L. 421-17 II du Code des assurances prévoit que « l'indemnisation versée par le fonds assure la réparation intégrale des dommages, dans la limite d'un plafond ». Le décret du 22 avril 2004 vient fixer le montant de ce plafond à 300 000 €.

### ■ L'expropriation

L'article 95 du code minier prévoit l'expropriation des biens soumis à un risque minier, même en l'absence de dégâts miniers, quand il y a menace grave pour la sécurité des personnes et que le coût des mesures de sauvegarde et de protection est supérieure au coût de l'expropriation.

Certaines habitations en cité minière sont parfois très modestes et malgré les travaux d'amélioration et de confort effectués, leur valeur reste faible et permet difficilement de retrouver un bien similaire sur le marché. C'est pourquoi, en plus de l'indemnité d'expropriation, les expropriés peuvent se voir proposer une indemnité dite d'accompagnement social à caractère forfaitaire, ainsi que la prise en charge de frais divers.

## Votre commune face au risque sur [www.prim.net](http://www.prim.net)

Le ministère de l'Écologie et du Développement durable a créé un site Internet entièrement dédié à la prévention des risques majeurs.

On y trouve des informations précises par commune.

[http://www.prim.net/cgi\\_bin/citoyen/macommune/23\\_face\\_au\\_risque.html](http://www.prim.net/cgi_bin/citoyen/macommune/23_face_au_risque.html)

The image displays three overlapping screenshots of the [www.prim.net](http://www.prim.net) website. The top-left screenshot shows the main navigation menu with categories like 'Conseils & Actions publiques', 'Conseils à la réglementation', 'Départements', and 'Enseigner les risques majeurs'. The top-right screenshot shows the search interface with a dropdown menu for 'Mouvement de terrain' and a search button. The bottom screenshot is a detailed view of a commune's risk profile, titled 'Ma commune face au risque majeur'. It features a map of France with the commune highlighted in orange. Below the map, there are sections for 'Actualité de la prévention' (listing EU directives and research programs), 'Informations acquiescées et localisées' (for consulting local authorities), and a legend for risk levels: 'Risques avec enjeux humains', 'Communes où le risque (enjeu humain) n'est pas encore clairement défini', and 'Communes soumises à l'éché mouvement de terrain sans enjeu humain'. The commune shown is 'Alsace'.

## Références

### Sites internet

- <http://www.prim.net>  
site sur la prévention des risques majeurs.
- <http://www.ecologie.gouv.fr>  
site du ministère de l'Écologie et du Développement durable.
- <http://www.irma-grenoble.com>  
site d'information sur les risques majeurs.
- <http://www.legifrance.gouv.fr>  
site juridique, diffusion du droit.
- <http://www.drire.gouv.fr>  
site des directions régionales de l'Environnement.
- <http://www.brgm.fr>  
site du BRGM.
- <http://www.ineris.fr>  
site de l'INERIS.
- <http://www.bdmvt.net>  
base de données de mouvements de terrain.
- <http://www.bdcavite.net>  
base de données des cavités souterraines.
- <http://www.salines.com>  
site du comité des Salines du Midi.
- <http://www.charbonnagesdefrance.fr>  
site de Charbonnages de France.
- <http://www.cogema.fr>  
site du groupe AREVA.

### Bibliographie

- INERIS, ministère de l'Environnement, ministère de l'Intérieur et de la Sécurité publique, *Carrières souterraines abandonnées. Risques et prévention*. Synthèse des travaux du séminaire de Nainville les roches, décembre 1993.
- Société de l'industrie minière, *Les techniques de l'industrie minière - L'après-mine*, n°5, mars 2000.
- Société de l'industrie minière, *Les techniques de l'industrie minière - Affaissement minier*, n°10, juin 2001.
- C. Didier, *Guide méthodologique pour l'arrêt définitif des travaux miniers souterrains*, rapport INERIS pour le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 2001.
- H. Wimbert, *Environnements géologiques et activités humaines*, Édition Vuibert, 2002.
- INERIS, *L'élaboration des plans de prévention des risques miniers*, guide méthodologique (projet), 2004.
- INERIS, *Méthodes de mise en sécurité des populations face au risque d'effondrement de cavités souterraines*, 2005.
- Ministère de l'Écologie et du Développement durable, *Les événements naturels dommageables en France et dans le Monde*, brochure annuelle 2001, 2002, 2003, 2004.

## Glossaire

- Abattre** : exploiter un matériau en faisant tomber.
- Action subrogatoire** : recours contre le responsable et ses assureurs.
- Anthropique** : dû à l'action de l'Homme.
- Boulonnage** : action de renforcement superficiel de la roche par mise en place de dispositifs (boulons) scellés ou ancrés dans la partie stable de la roche.
- Cavage** : cavité souterraine creusée par l'homme.
- Cendres volantes** : déchets des centrales électriques au charbon.
- Clavage** : opération finale de comblement visant à obstruer tous les vides résiduels.
- Coulis** : mélange liquide visqueux (ex. coulis de ciment).
- Débourrage** : enlèvement des matériaux qui bouchent une galerie ou un puits.
- Déconsolidé** : se dit d'une roche qui n'est plus soumise à la pression naturelle des terrains qui la recouvrent.
- Découverte** : exploitation à ciel ouvert.
- Défruitement** : quantité de matière exploitée.
- Dépilage** : exploitation d'un gisement sur toute son épaisseur.
- Descenderie** : galerie de mine en pente.
- Diagraphie** : enregistrement des paramètres de forage (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, pression des fluides, etc.).
- Eaux d'exhaure** : eaux de mines évacuées vers la surface.
- Ennoyage** : remplissage des galeries du fait de l'arrêt du pompage des eaux de mine.
- Excavation** : creusement du sol.
- Filon** : lame de roche épaisse de quelques centimètres à quelques mètres remplissant une faille.
- Foisonnement** : augmentation du volume de la roche du fait de son remaniement.
- Foudroyage** : effondrement naturel ou provoqué de travaux souterrains.
- Fretage** : mise en place de cerclages métalliques pour renforcer un pilier.
- Géotextile** : textile synthétique utilisé en génie civil.
- Grattage** : exploitation superficielle en petite quantité.
- Indice** : gisement de minerai observé en surface à l'état de traces.
- Interférométrie** : méthode de mesures fondées sur les phénomènes.
- Lessivage** : entraînement des particules fines par le passage d'un liquide.
- Longrine** : poutre en béton armé.
- Matage** : écrasement d'une matière.
- Millisievert** : millième de l'unité de mesure d'équivalent de dose de rayonnement ionisant.
- Mine orpheline** : mine sans exploitant identifié ou solvable.
- Mitigation** : réduction de l'intensité de l'aléa ou de la vulnérabilité des enjeux, elle a pour but de diminuer le montant des dommages.
- Pendage** : inclinaison des couches géologiques.
- Photo-interprétation** : utilisation stéréoscopique de photographies aériennes.
- Puissance d'une couche** : épaisseur.
- Radier** : dalle coulée sur le sol.
- Redan** : décrochement en banquette.
- Résistivité** : résistance électrique d'un conducteur par unité de longueur.
- Sablons** : sable à grains très fins.
- Stériles** : déchets de l'exploitation minière.
- Substratum** : roche en place plus ou moins masquée par les formations superficielles.
- Tête de filon** : partie du filon affleurant à la surface du sol.

# Sigles

**DRIRE** : direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.

**APSRM** : Agence pour la prévention et le surveillance des risques miniers.

**BRGM** : Bureau de recherche géologique et minière.

**CEA** : Commissariat à l'énergie atomique.

**DDRM** : dossier départemental des risques majeurs.

**DICRIM** : document d'information communal sur les risques majeurs.

**GEODERIS** : groupement d'intérêt public créé par l'INERIS et le BRGM pour des tâches d'étude et d'intervention dans le domaine des risques liés aux anciennes activités minières.

**GISOS** : Groupement de recherche sur l'impact et la sécurité des ouvrages souterrains.

**INERIS** : Institut national de l'environnement industriel et des risques.

**GPS** : méthode de repérage utilisant les satellites (Global Position Système).

**PCB** : polychlorobiphényles.

**PCS** : plan communal de sauvegarde.

**PPI** : plan particulier d'intervention.

**PPR** (ou PPRN) : plan de prévention des risques naturels prévisibles.

**PPRM** : plan de prévention des risques miniers.

**PPRT** : plan de prévention des risques technologiques.

Loi **SRU** : loi « Solidarité et renouvellement urbain ».

**ZAPD** : zones d'affaissement potentiel différé.



Direction de la Prévention des pollutions et des risques  
Sous-direction de la Prévention des risques majeurs  
20, avenue de Ségur, 75302 Paris 07 SP  
<http://www.ecologie.gouv.fr> - <http://www.prim.net>



Agence de prévention et de surveillance des risques miniers  
75, boulevard Macdonald - 75019 Paris



Institut national de l'environnement industriel et des risques  
Parc technologique Alata - 60550 Verneuil-en-Halatte  
<http://www.ineris.fr/>