

Surveillance des risques d'effondrement dans l'après mine, besoins, méthodes

Mustapha Bennani, Jean-Pierre Josien, Pascal Bigarre

▶ **To cite this version:**

Mustapha Bennani, Jean-Pierre Josien, Pascal Bigarre. Surveillance des risques d'effondrement dans l'après mine, besoins, méthodes. Colloque International Après-mine 2003, Feb 2003, Nancy, France. pp.NC. ineris-00972401

HAL Id: ineris-00972401

https://ineris.hal.science/ineris-00972401

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.

SURVEILLANCE DES RISQUES D'EFFONDREMENT DANS L'APRES-MINE, BESOINS, METHODES : APPORT DE LA MICROSISMIQUE

MONITORING OF THE RISKS OF COLLAPSE IN THE POST-MINING, NEEDS, METHODS : CONTRIBUTION OF THE MICROSISMIC METHOD

BENNANI[1] Mustapha, JOSIEN[1] Jean-Pierre, BIGARRE[2] Pascal

[1]GEODERIS, 15 rue Claude CHAPPE, 57071 Metz Cedex 3 - France. geodéris@industrie.gouv.fr et

[2]INERIS, Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages, École des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex – France

RESUME : Lors de l'exploitation, la stabilité des ouvrages miniers principalement orientée vers la sécurité des mineurs et la sauvegarde de la mine, était pratiquée avec des méthodes adaptées à des édifices accessibles et entretenus. Suite à la fermeture des mines, ces conditions n'étant plus assurées et les objectifs de sécurité publique résolument tournés vers la sauvegarde des personnes et des biens en surface, conduisent à rechercher des méthodes globales applicables à distance et depuis la surface. Parmi celles-ci, nous développons l'exemple type de la microsismicité qui, avant d'être appliquée à la surveillance des risques d'effondrement minier a dû répondre à un cahier des charges précis pour être qualifiée puis validée. Un exemple de son utilisation avec succès pour la surveillance du stot de Nondkeil (Ottange – 57) est proposé.

MOTS-CLEFS : surveillance, risque d'effondrement, microsismicité

ABSTRACT : During the exploitation, the stability of the underground mining works mainly directed towards the safety of the staff and the safeguard of the mine, were practised with methods adapted to accessible and maintained buildings. Following the closure of the mines, these conditions not being more assured and the objectives of public safety resolutely turned towards the safeguard the people and the overlying structures (such as urbanised areas and all kind of infrastructures), result in remotely seeking applicable total methods and from surface. Among those, we develop the typical example of the microsismicity which, before being applied to the monitoring of the risks of mining collapse had to answer a precise schedule of conditions to be qualified then validated. An example of its use successfully for the monitoring of the pillar of Nondkeil (Ottange, 57) is proposed.

KEY-WORDS: monitoring, risk of collapse, microseismicity

1. Introduction

Le recours à la surveillance pour traiter les risques a été utilisé depuis fort longtemps dans le cadre des mines en activité et des carrières en exploitation ou abandonnées. En ce qui concerne l'après-mine en revanche, il était considéré jusqu'aux années 1990 que les risques pouvaient être traités avant la fin des concessions minières.

L'importance et la pérennité des risques résiduels pouvant subsister à la suite de la fermeture généralisée des mines ces dernières années ont amené à modifier ce point de vue. Ceci s'est concrétisé dans la loi de mars 1999 modifiant le code minier qui prévoit explicitement la mise en place de moyens de surveillance dans le cas de risques résiduels importants.

Les conditions spécifiques de l'après-mine ont nécessité la mise en place de nouvelles technologies et une organisation spécifique. L'expérience pratique acquise au cours de ces dernières années par GEODERIS sera exposée ci-dessous.

2. Les besoins de surveillance

L'analyse des risques, en particulier, de la stabilité des ouvrages rocheux, ne permet pas de définir une date de l'occurrence du phénomène redouté. La mise en place d'une surveillance adaptée au risque a pour objectif de suivre l'évolution du phénomène et la capacité d'être averti de son imminence.

La surveillance permet donc de diminuer la vulnérabilité en prenant à temps les mesures nécessaires pour limiter les effets du phénomène (évacuation des zones dangereuses, arrêt circulation, coupure gaz, …). La surveillance sera donc mise en place soit en l'attente d'un traitement actif du risque, soit en substitution de ce dernier si celui-ci ne se justifie plus, la surveillance permettant de réduire suffisamment le coût du phénomène.

Par ailleurs, les dispositifs de surveillance permettent de suivre l'évolution du phénomène redouté. Ils peuvent ainsi aider à programmer dans le temps les traitements actifs en fonction de cette évolution.

L'exploitation intensive des mines en France au cours des XIX et XX siècles a effectivement laissé des situations de risques résiduels qui ne peuvent être traitées activement sans conséquence sociales ou financières désastreuses.

Les causes de cette situation sont d'abord historiques. En effet, en deux siècles d'exploitation, les connaissances dans le domaine minier ont largement évolué ainsi que la réglementation. Ainsi, des zones d'exploitation considérées comme stables lors de leur réalisation, ne le sont plus actuellement.

Ainsi l'exploitation des mines de fer de Lorraine a laissé subsister des secteurs d'exploitation partielle dont la stabilité n'est pas assurée, couvrant une superficie de 110 km^2 dont environ 20 km^2 sous des zones bâties ou d'infrastructures (figure 1). La suppression du risque par comblement nécessiterait la mise en œuvre de 100 Mm^3 de remblai et coûterait de l'ordre de 4000 M€. De plus, les conditions de certaines zones sont telles que la réalisation technique du traitement est difficilement envisageable de manière opérationnelle.

Par ailleurs, cette situation est aggravée par le phénomène de « vieillissement » des roches (Grgic & al. 2001), encore incomplètement connu, et qui se traduit par une tendance à la dégradation des propriétés de résistance mécanique sur de très longues périodes de temps.

Il faut donc admettre qu'il subsistera des risques résiduels impossibles à résoudre techniquement ou dont la résolution demanderait des moyens rédhibitoires. La modification du code minier de mars 1999 reconnaît cette situation et prévoit dans ce cas le choix et la mise en place de dispositifs de surveillance adaptés au risque, leur suivi et leur entretien. La charge du financement et une provision de 10 ans d'exploitation après abandon revient au titulaire du titre minier quand il existe, l'État reprenant à son compte cette responsabilité à la suite du titulaire pour les concessions non renoncées ou directement pour les concessions renoncées ou orphelines.

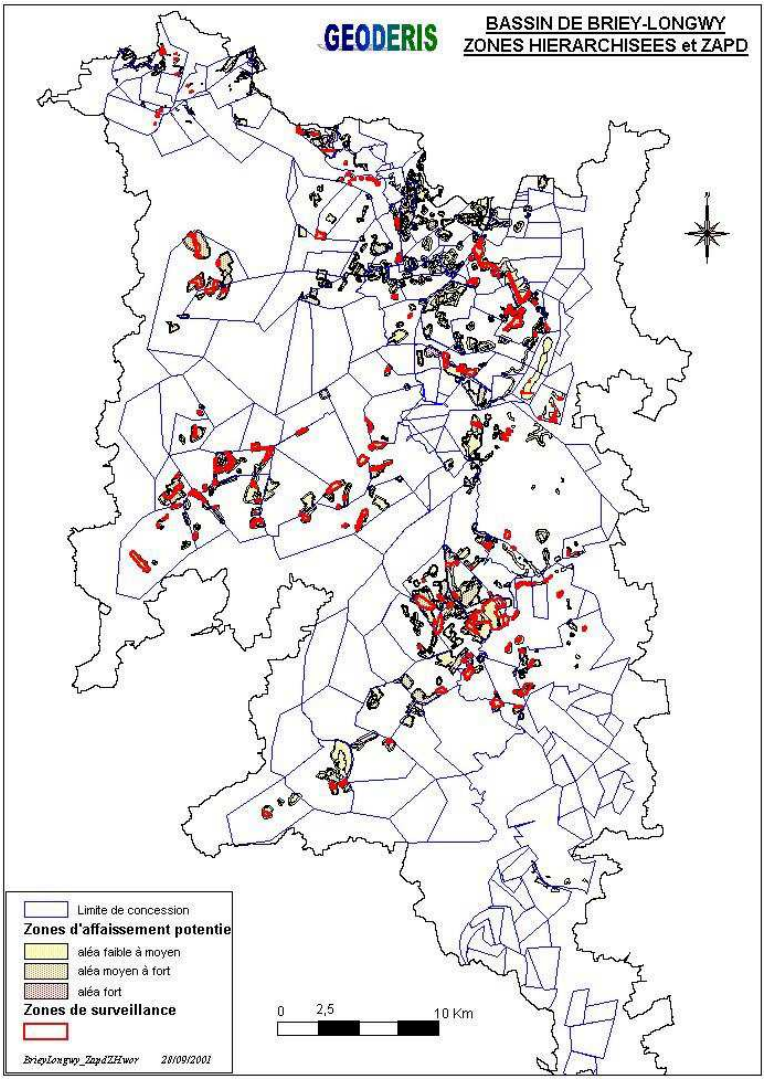


Figure 1 Carte des zones d'aléa et de risque du bassin de Briey-Longwy (bassin ferrifère lorrain)

Figure 1 – Map of chance and risk in Briey-Longwy basin (iron ore basin, Lorraine)

3. L'adaptation de la surveillance

La réalisation de la surveillance d'un risque demande que soit effectivement résolu un ensemble de questions :

- définition de la mesure à partir de laquelle se fera la surveillance : cette mesure doit être représentative du phénomène à l'origine du risque et de son évolution. Ainsi, dans le cas d'affaissement minier, la mesure de déformations en surface ne permet pas d'être alerté suffisamment tôt sur l'apparition du phénomène. En revanche, la mesure au fond de la déformation des piliers est un moyen adapté permettant d'être alerté avant l'effondrement. Ces dispositifs de mesure ont été utilisés lorsque les mines étaient en activité. Le suivi de l'effondrement de Rochonvillers 1974 (Josien, 1977) est un exemple de ce système de surveillance au moyen de cannes de convergence et dont le critère d'alerte est fondé sur l'accélération des déformations au fond (figure 2).

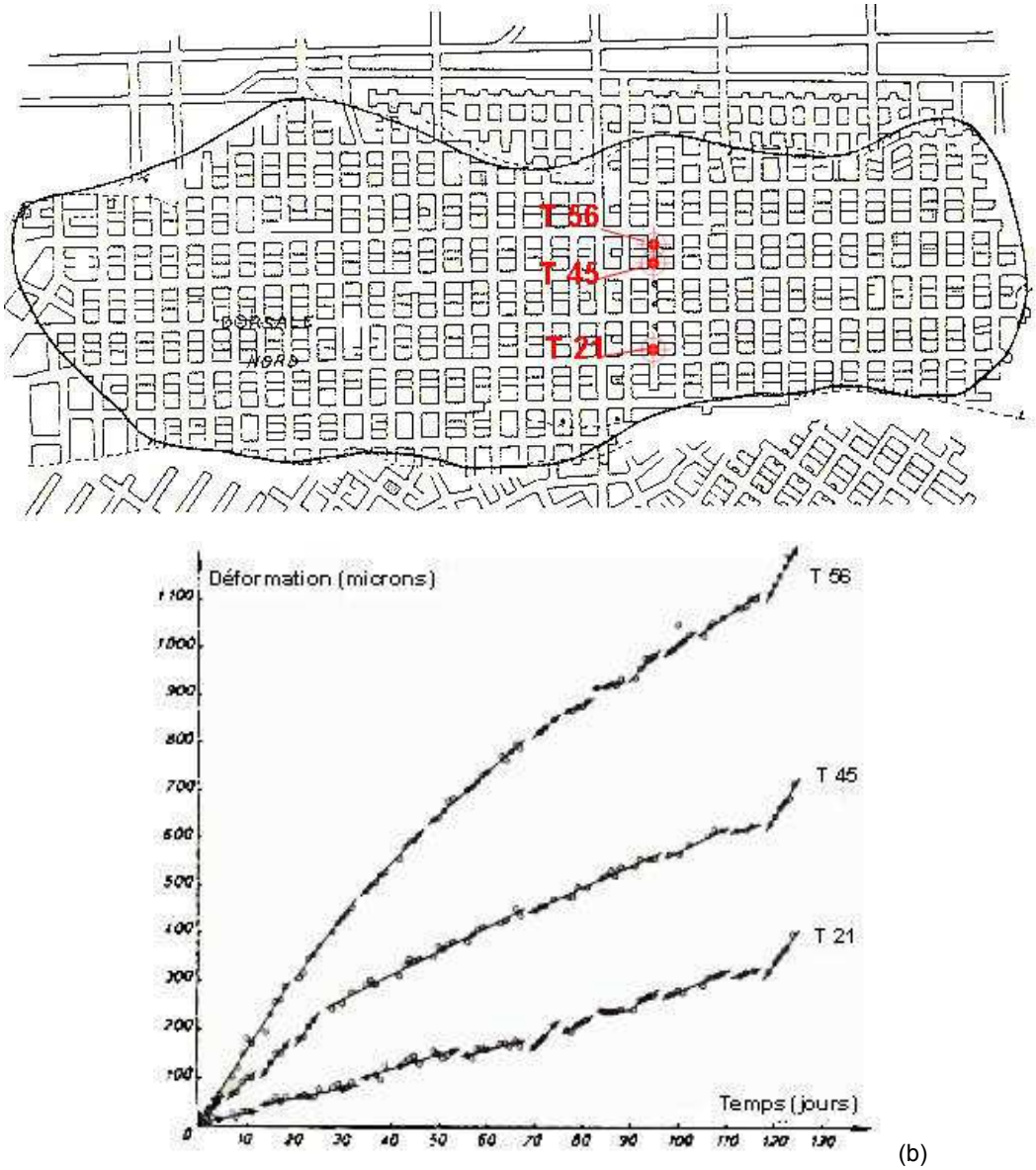


Figure 2 – Surveillance de l'effondrement à partir du fond. Exemple de la mine de fer de Rochonvillers (57), (Josien, 1977) : (a) localisation des cannes de convergence, (b) évolution des mesures de convergence dans le temps.

Figure 2 – Monitoring of collapse from underground. Example of Rochonvillers iron mine (57), (Josien, 1977) : (a) location of convergence sensors, (b) evolution of convergence reading versus time

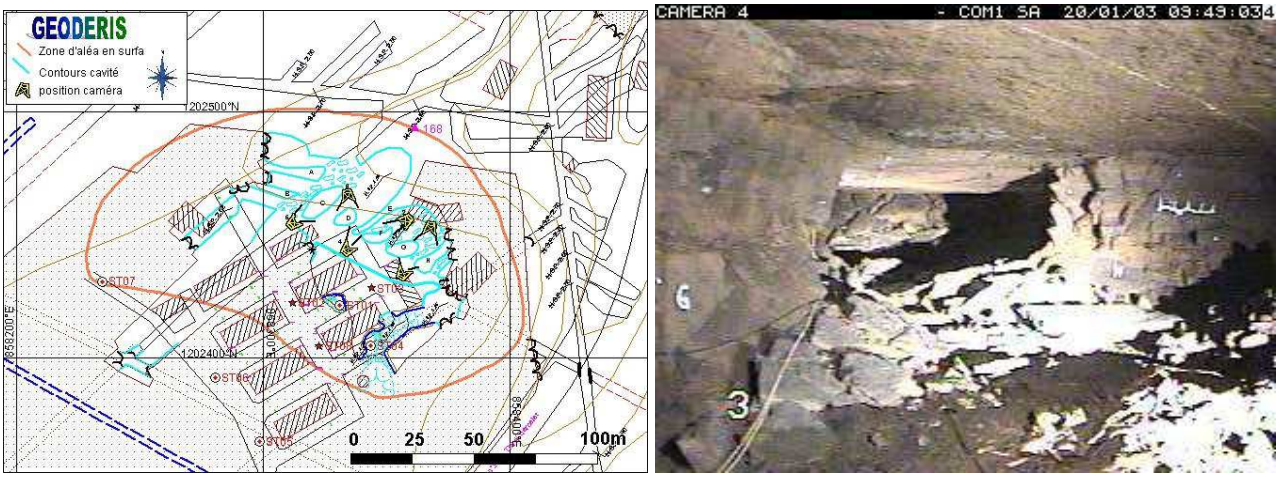
- Choix des capteurs et d'une chaîne de mesure : les moyens mis en œuvre pour effectuer la surveillance sont extrêmement importants. Ils doivent garantir une mesure fiable et suffisamment précise, mais également une permanence et une stabilité dans le temps compatibles avec la fréquence nécessaire des mesures.
- Définition des critères d'alerte : dans certains cas, le critère d'alerte découle naturellement du risque surveillé : une pression ou un niveau d'eau dans le cas du risque d'inondation, une teneur dans le cas d'un risque lié au gaz. Par contre, pour les risques d'instabilité de terrain, les réponses en terme de déformation ou d'autres manifestations sont d'un niveau très variable d'un site à l'autre et les critères doivent être considérés en relatif en détectant une accélération comme l'illustre le cas de Rochonvillers abordé ci-dessus.
- Définition de la procédure de surveillance : cette procédure doit prendre en charge, d'une part la gestion de la chaîne de mesures au cours du temps et, d'autre part

l'interprétation de ces mesures en terme d'alerte et de gestion des conséquences de celle-ci. Pour le premier point, l'automatisation des chaînes de mesure, la mise en place de redondances et de tests automatiques de fonctionnement permettent de sécuriser un fonctionnement toujours aléatoire s'il repose, à long terme, sur la vigilance humaine. En revanche, le déclenchement et la gestion des alertes nécessitera toujours l'intervention humaine et la coordination des différents acteurs de la surveillance : gestionnaire de la mesure, expert responsable de l'interprétation, autorité responsable des mesures à prendre.

L'adaptation nécessaire répond aux spécificités suivantes de l'après-mine :

- Les travaux miniers surveillés dans le contexte de l'après-mine ne sont plus entretenus, en plus ou moins mauvais état et souvent inaccessibles car ennoyés, trop dangereux, voire parce que leurs accès ont été volontairement coupés ou suite à effondrement. Pour ces raisons, leur surveillance requiert fréquemment des méthodes volumétriques telles que la microsismique, dont les dispositifs peuvent être installés en sub-surface et sont capables d'en suivre l'évolution (dégradation) à distance.
- L'échelle des temps est également a priori différente ; les dispositifs mis en œuvre dans le cadre de l'après-mine doivent être susceptibles de fonctionner (avec entretien) pendant plusieurs décennies.
- L'aspect organisationnel est lié à la disparition de l'exploitant qui assumait toujours, dans le cas de mines en activité, la responsabilité de la surveillance, même si la conception et la réalisation des mesures étaient confiées à des spécialistes. La disparition de l'exploitant donne cette responsabilité à l'État et, plus particulièrement, à la DRIRE. La DRIRE Lorraine confie à GEODERIS la gestion de la surveillance sur les concessions dont elle a la responsabilité. Pour remplir cette mission, GEODERIS a mis en place une organisation spécifique, en particulier, une cellule d'expertise fonctionnant sous astreinte et susceptible de répondre aux besoins d'interprétation en terme d'alarme 24h/24 et 7j/7.

4. Mise en œuvre de méthodes de surveillance dans l'après-mine



(a) Plan du site surveillé à Thil (b) Exemple de piliers surveillés (caméra 3)

(a) Map of monitored area at Thil city (b) Example of monitored pillar (camera 3)

Figure 3 – Vidéo-surveillance d'une cavité souterraine à Thil (54)

Figure 3 – Video-monitoring of an underground cavity at Thil city (54)

Lorsque les travaux du fond restent accessibles, les méthodes traditionnelles sont utilisables ; c'est ainsi par exemple que pour le risque de fontis (remontée d'un vide à partir d'une galerie jusqu'en surface) l'examen périodique visuel de l'état des galeries est employé. Dans les zones dangereuses d'accès et/ou devant être inspectées fréquemment, une vidéo-surveillance peut être mise en place. C'est le cas à Thil, où l'évolution de la dégradation des piliers est surveillée à partir de caméras dont les images sont transmises à GEODERIS à Metz (figure 3).

Dans le cas de galeries ennoyées, cette surveillance ponctuelle et directe demandera la mise en œuvre de moyens plus importants, comme l'inspection au sonar de la galerie.

Pour le risque d'affaissement, l'inaccessibilité actuelle ou à terme des travaux miniers ne permet plus d'utiliser les mesures de déformation et a nécessité la mise au point de l'écoute microsismique, développée à l'INERIS.

4.1. Exemple d'adaptation d'une méthode de surveillance à l'après-mine : la microsismique

L'écoute microsismique a été utilisée avec succès dans de nombreux domaines, notamment, suivi de la sismicité induite lors de l'exploitation de mines en activité, injection de fluides en souterrain (géothermie, stockages de gaz) ou encore exploitation de fluides souterrains (gaz, pétrole, saumures). Cependant, cette technique n'avait encore jamais été appliquée à la surveillance de mines abandonnées soumises à risque d'affaissement / effondrement. Il était donc nécessaire de l'adapter à ce nouveau contexte. Pour ce faire, la technique doit répondre aux exigences des deux étapes suivantes :

- test de qualification
    - pour les raisons d'inaccessibilité évoquées plus haut, la méthode doit être opérationnelle depuis la surface,
    - vu l'importance des travaux miniers à surveiller, il est illusoire de tenter de prévoir avec précision l'endroit exact où les désordres peuvent être initiés. Il est donc impératif que la méthode employée soit globale (non ponctuelle) et concerne une assez grande superficie,
    - la technique en question doit faire la preuve de sa capacité à détecter, le plus tôt possible, les précurseurs d'un phénomène d'affaissement / effondrement, de manière à pouvoir alerter les autorités en temps opportun,
    - dans la mesure où le champ d'application était le bassin ferrifère lorrain et où des accidents liés à l'après-mine y ont déjà eu lieu (Aboué 1996, Moutiers 1997), il était en outre nécessaire de démontrer la faisabilité de la technique dans les contextes géologique et minier particuliers de ces exploitations.
- test de validation de la méthode, par application à un site pilote

4.2. Qualification de la méthode

Le gisement de fer lorrain est de type sédimentaire daté de l'Aalénien. Le pendage très faible des couches exploitées, entre l'affleurement et 300m de profondeur, et du recouvrement est de l'ordre de 3%. Il se termine par une épaisseur de marnes micacées d'une vingtaine de mètres, surmontée par une série marno-calcaire du Bajocien, dont certains horizons calcaires épais peuvent constituer des bancs raides.

Les observations qui ont pu être réalisées lors des exploitations par dépilage ou suite aux effondrements historiques ont permis de montrer que les phénomènes d'affaissement / effondrement pouvaient être subdivisés en 3 étapes successives :

- une première étape d'évolution locale, au cours de laquelle on observe des dégradations au niveau de la couche exploitée : rupture des piliers ou des intercalaires, poinçonnement du mur, …etc
- une étape de progression des désordres dans le toit immédiat, succédant à la rupture des structures portantes sous-jacentes (piliers pour les exploitations par piliers abandonnés ou chandelles pour les dépilages). L'évolution peut s'arrêter à cette étape si la surface concernée est faible par rapport à la profondeur. C'est le principe utilisé par exemple dans les dépilages par îlots réduits
- une étape ultime conduisant aux effets en surface, quand la défaillance des structures portantes se propage sur une superficie suffisante pour provoquer une extension des ruptures dans tout le recouvrement

Dans le bassin lorrain, un site tout indiqué pour mener à bien le test de qualification de la microsismique était la mine des Terres Rouges de l'ARBED, seule mine encore en activité en 1997. Avec un dispositif d'écoute situé en sub-surface, à environ 300 m de distance des chantiers de dépilage par îlots réduits en cours, l'INERIS (Piguet & al. 1997, Senfaute & al. 2000) a pu démontrer, sans équivoque :

- l'efficacité de la méthode dans le contexte géologique et minier du bassin ferrifère lorrain
- son aptitude à pouvoir détecter des signaux significatifs depuis la surface et sur un secteur suffisamment étendu,
- sa capacité à détecter suffisamment à l'avance (quelques jours), les premières ruptures préfigurant le démarrage de l'étape d'évolution locale et, à plus forte raison, les étapes suivantes ; ce qui laisse présager de la bonne adaptation de la microsismique à un processus de surveillance fondé sur la capacité d'alerte précoce des pouvoirs publics.

Ce test a permis en outre de définir une configuration de base pour l'équipement type, susceptible d'être utilisé dans le contexte lorrain, et de donner les moyens de dimensionner le réseau de surveillance par rapport à la taille du secteur à surveiller.

Validation de la méthode

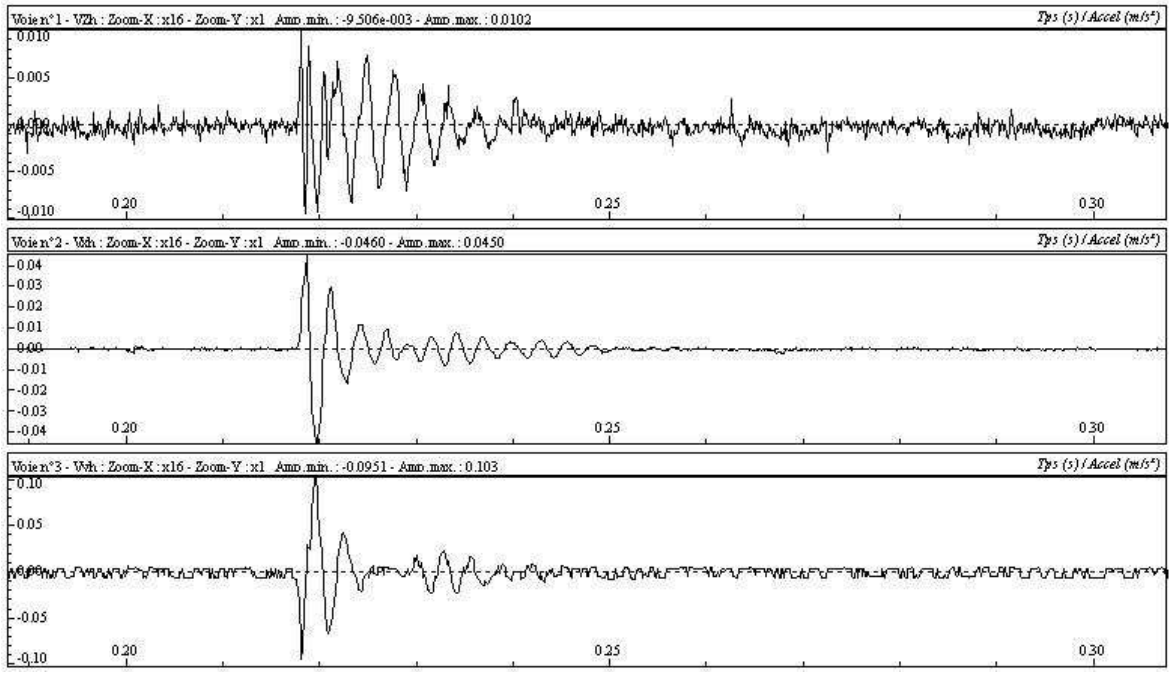
En complément d'un dispositif de surveillance provisoire, consistant en mesures altimétriques automatisées par théodolite motorisé, les zones hiérarchisées[1] de classe 1 de Jœuf et Homécourt (54) ont été équipées d'un réseau de surveillance microsismique à des fins de validation de la méthode (Bigarré & Josien 1998) en site à risque déclaré.

Le processus de validation devait :

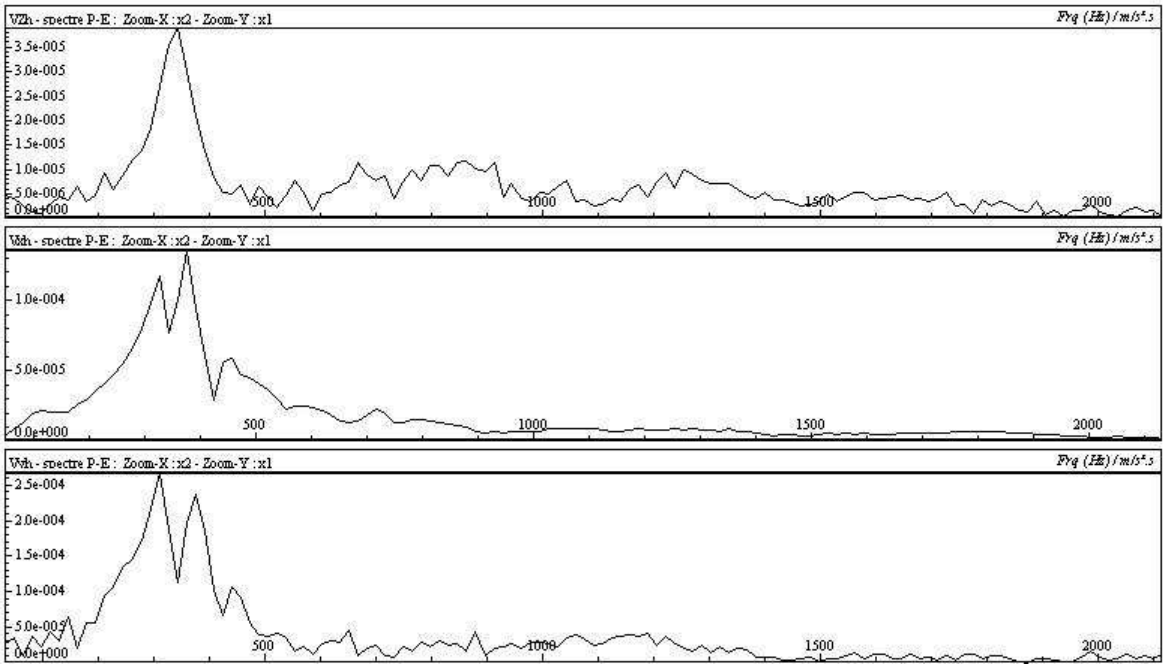
- démontrer son efficacité à détecter des ruptures caractéristiques du massif rocheux facilement reconnaissables parmi d'autres signaux susceptibles d'être enregistrés (bruits de surface, tirs de carrières), d'autant plus que le site à risque surveillé était inaccessible du fait de l'ennoyage des travaux miniers sous-jacents (figures 4 et 5),
- permettre de définir des valeurs seuils de l'activité enregistrée, adaptées au site surveillé et compatibles avec une procédure d'alarme/alerte opérationnelle

Le réseau microsismique, constitué de 5 stations identiques à celle de l'expérimentation des Terres Rouges, a fonctionné pendant 6 mois en phase de test avant d'être déclaré opérationnel pour une surveillance continue. Au cours de ces 6 mois on a pu démontrer que :

[1] Une étude de risque, fondée sur l'évaluation de l'aléa du fond et des enjeux de surface, a permis à Géodéris de déterminer des zones à risque, notamment d'affaissement. Ces dernières ont ensuite été hiérarchisées en 4 classes de surveillance (4 à 1 : du plus faible au plus sévère) selon l'intensité de l'aléa et la vulnérabilité des enjeux.



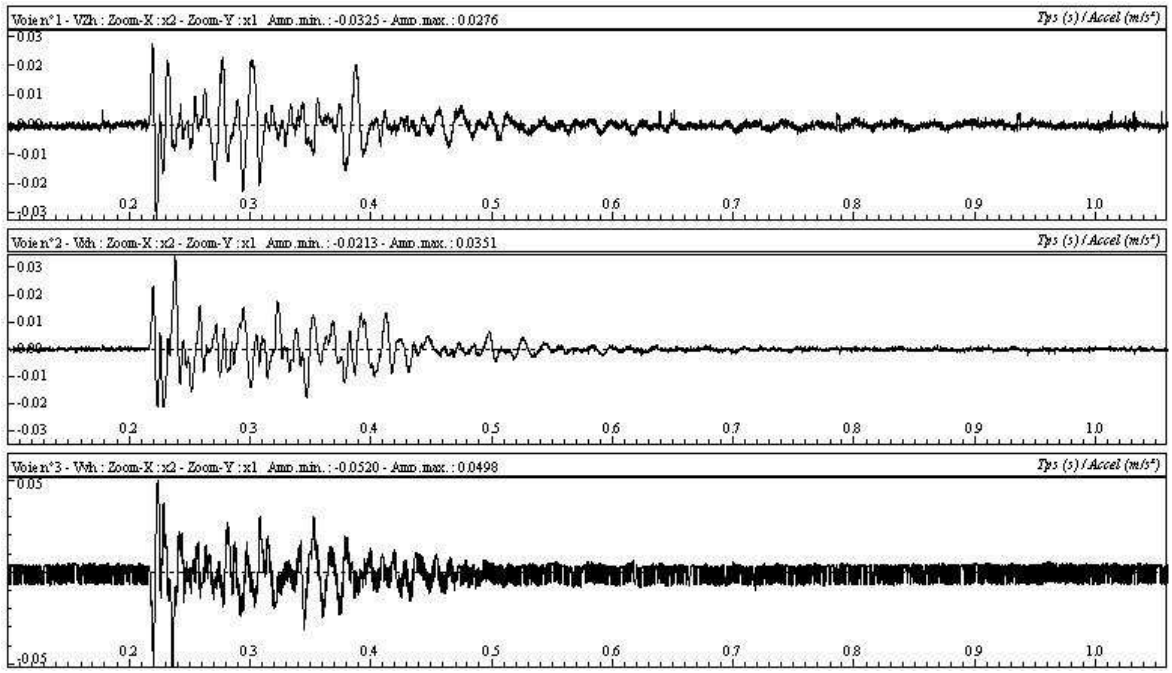
(a)



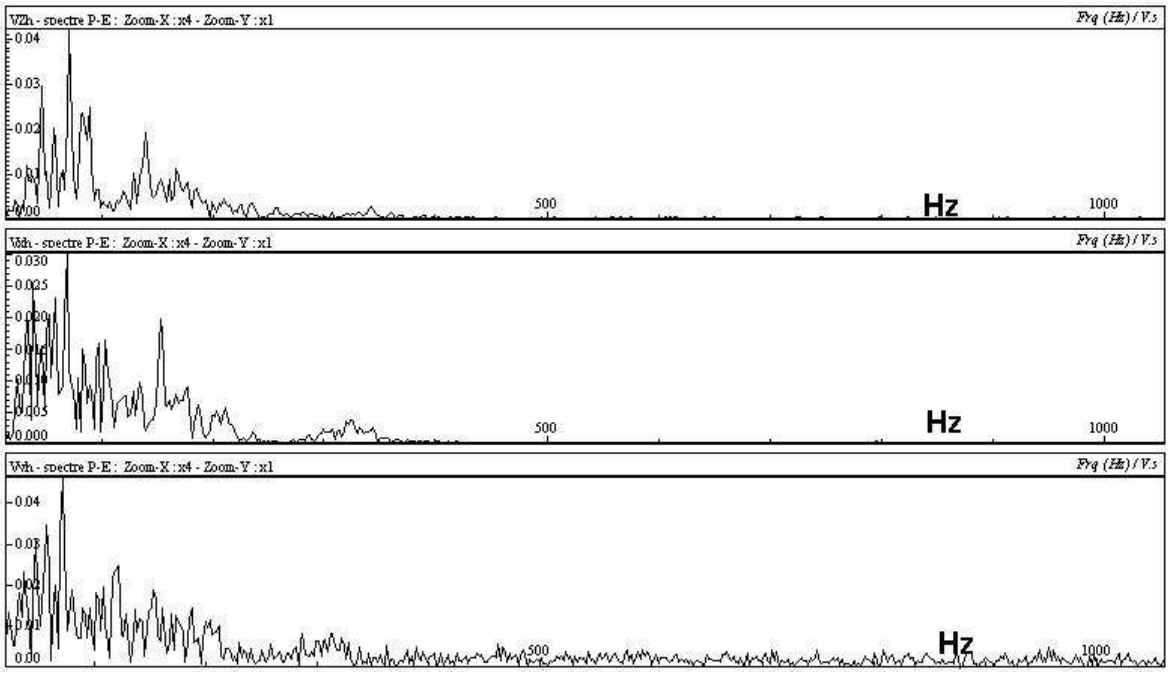
(b)

Figure 4 – Exemple de signal microsismique caractéristique de rupture : (a) signal temporel en accélération (m/s2) sur 3 axes X,Y,Z ; (b) contenu spectral. (Senfaute & al. 2000)

Figure 4 – Examples of seismic signal recorded during the collapse of the roof : (a) seismogram according to X,Y,Z of accelerations (m/s2) and (b) frequency spectra. (Senfaute & al. 2000)



(a)



(b)

Figure 5 – Exemple de signal microsismique caractéristique d'un tir d'explosif : (a) signal temporel en accélération (m/s2) sur 3 axes X,Y,Z ; (b) contenu spectral (Senfaute & al. 2000)

Figure 5 – Example of seismic signal recorded during blasting operations : (a) seismogram according to X,Y,Z of accelerations (m/s2) and (b) frequency spectra. (Senfaute & al. 2000)

- le taux de « pannes » du dispositif était très infime (inférieur à 1%), en comptabilisant les temps d'arrêt du système, qu'elles soient d'origine volontaire (réglages, réparations) ou involontaires (coupures d'alimentation électriques, foudre, …),

- les propriétés des enregistrements de ruptures (105 événements) dans le massif (amplitude, durée, fréquences dominantes, …), semblables à celles des Terres Rouges, étaient très différentes des caractéristiques des autres bruits, permettant ainsi une discrimination aisée,
- que l'activité microsismique de fond, propre à ce site, était très modérée (1 à 2 événements tous les 2 jours en moyenne) avec 3 séries ponctuelles de quelques événements (13 au maximum en une journée) de très faible amplitude et de courte durée. Ces trois pics d'activité étaient de nature à franchir le premier seuil d'alarme (fixé à un niveau très bas de 3 événements sur une période de 3 heures) et donc susceptibles de déclencher des alarmes de très bas niveau.

Suite à ce test concluant, le réseau a été déclaré opérationnel pour une surveillance continue et la méthode a été validée.

4.3. *Exploitation de la méthode : exemple du réseau de surveillance de Nondkeil (Ottange)*

D'autres réseaux ont été installés depuis ou sont en cours d'installation. Leur exploitation est confiée à l'INERIS. Une organisation spécifique pour la gestion des alarmes est conjointement assurée par GEODERIS et l'INERIS.

L'analyse du risque a pu déterminer l'existence d'une zone d'effondrement progressif sur le village de Nondkeil (commune d'Ottange, 57). Le stot de protection de ce village à été exploité par piliers abandonnés à 150m de profondeur, dans trois couches avec une ouverture cumulée de 9m (figure 6). L'évaluation de l'aléa et de la vulnérabilité des structures de surface a placé cette zone en classe de surveillance 1, soit la plus sévère.

La visite des travaux miniers, datant des années 1930 à 1960 et encore accessibles aujourd'hui, a permis de constater un état de dégradation avancé dans certaines zones, principalement dans la couche supérieure plus défruitée, mais globalement limité aux intercalaires entre couches.

Un réseau de surveillance microsismique permanente y a été installé en décembre 2000. Il est composé de 2 stations dont les rayons d'action couvrent la majeure partie du stot à surveiller (figure 6). Son exploitation au cours des premiers mois a montré un effet de site indéniable, dont l'origine, certainement liée à la nature des travaux et du recouvrement, est encore mal connue. En effet, les réponses microsismiques des 2 stations, en termes d'amplitude, d'énergie et de contenu spectral, sont très différentes, conduisant ainsi à définir des seuils d'alarme relativement bas par mesure de sécurité.

Au cours des 2 dernières années d'exploitation du réseau, plusieurs « crises » microsismiques ont été enregistrées (tableau 1), dont les plus sévères ont atteint le niveau d'alarme 1[2] et ont déclenché la mobilisation de la cellule d'expertise, composée d'experts de l'INERIS et de GEODERIS. À trois reprises, l'alerte donnée aux pouvoirs publics par cette cellule a déclenché la mise en place d'un PC de pré-crise consistant à mobiliser les services de la préfecture, de la sous-préfecture, de la commune et à mettre en état d'alerte les services de secours. Suite à ces crises, un contrôle sur site a permis dans plusieurs cas d'établir le lien entre les désordres au fond et l'activité microsismique enregistrée. Jusqu'à ce jour, les nouveaux désordres constatés sont peu étendus, concernent uniquement les 2 couches supérieures, et particulièrement la couche sommitale. Ils consistent principalement en chutes limitées d'intercalaires ou de toit, en un début de soufflage du mur et, plus rarement, en dégradation de piliers (figure 7). Cependant, le stot surveillé, dont la dégradation est

[2] Deux critères microsismiques permettent de définir le niveau d'alarme : le nombre d'événements par plage horaire et l'énergie cumulée horaire. Trois niveaux d'alarme, basés sur des seuils adaptés à chaque site sont retenus : de alarme 0 (activité supérieure au bruit de fond) à alarme 2 (désordres susceptibles d'atteindre la surface).

déjà entamée depuis plus de 20 ans, est entré dans un processus d'évolution lent, dont la surveillance microsismique permet de suivre l'évolution très en amont de l'apparition d'effets en surface.

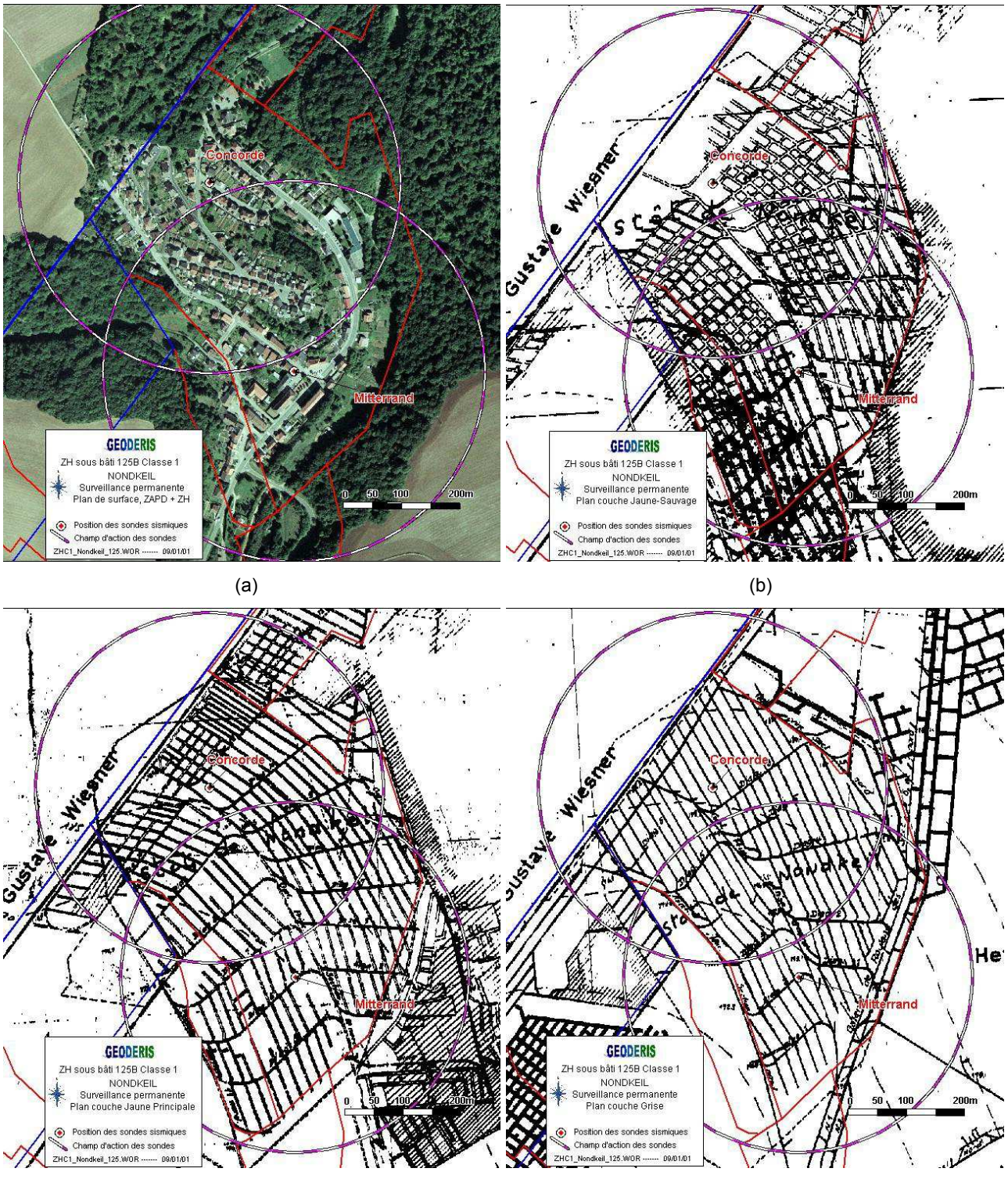


Figure 6 – Stot d'Ottange-Nondkeil. Réseau de surveillance microsismique : (a) Implantation et rayon d'action des sondes microsismiques en surface. Plans d'exploitation des couches (b) jaune sauvage (sommitale), (c) jaune principale (intermédiaire), (d) grise (profonde)

Figure 6 –.Microseismic network of Ottange-Nondkeil pillar : (a) probes location and action field at the surface. Mining map of layers : (b) jaune sauvage (at the top), (c) jaune principale (in between), (d) grise (at bottom)

Tableau 1 – Bilan des principales « crises » microsismiques depuis l'installation du réseau de Nondkeil (Ottange)

Table 1 – Principal « crises » assessment since the installation of the microseismic network of Nondkeil (Ottange)

Crise	Niveau d'alarme	Station	Date début	Date fin	Nombre d'événements	Fréquence horaire max	Energie totale dissipée [Joule]	Max de pente énergie cumulée/ heure [Joule/h]	Fréquence dominante max du signal [Hz]	Localisation		
										Azimut	Pendage	Localisation au fond
1	0	Mitterand	19/07/2001	20/07/2001	14	10	1.1E-04	?	100	110-115	77-80	?
2	1	Mitterand	29/09/2001	29/09/2001	120	114	2.1E-03	?	120-220	-	-	Quartier Sud-ouest en JS
3	0	Mitterand	30/10/2001	30/10/2001	22	22	1.1E-04	?	160	-	-	?
4	1	Concorde	12/12/2001	14/12/2001	72	4	4.2E-01	?	250-600	-	80-90	Quartier Nord-ouest en JS
5	1	Concorde	01/01/2002	04/01/2002	317	34	3.2E-01	2.1E-02	150-350	-	80-90	quartiers Nord en jaune sauvage et jaune principale
6	1	Concorde	05/01/2002	09/01/2002	1478	36	1.3E+00	2.4E-02	150-350	-	80-90	
7	1	Concorde	22/01/2002	22/01/2002	260	58	2.3E-01	9.6E-03	150-350	-	80-90	
8	0	Concorde	13/11/2002	14/11/2002	24	6	1.5E-02	3.6E-03	220-290	-	80-90	?
9	0	Concorde	27/11/2002	27/11/2002	22	4	1.1E-02	1.3E-03	80-280	-	80-90	?



(a) (b)

Figure 7 – Stot de Nondkeil (Ottange) - Exemple de dégradations observées dans la couche jaune sauvage. (a) chute d'intercalaire, (b) fissure de soufflage au mur

Figure 7 –Nondkeil (Ottange) pillar - Example of disorders observed in Jaune sauvage layer : (a) falls of the roof, (b) swelling and crack to the floor

5. Conclusions

L'exploitation intensive des mines en France, au cours des XIX et XX siècles a laissé des situations de risques résiduels qui ne peuvent être traités totalement. Cet état de fait justifie le recours à la surveillance du risque qui permet de diminuer la vulnérabilité pour la sécurité publique.

La disparition des exploitants et la prise en charge actuelle ou future par l'État de la responsabilité de la surveillance est également un contexte spécifique. GEODERIS, à qui la DRIRE Lorraine a confié la gestion de la surveillance sur les sites relevant de sa responsabilité, a mis en place une

organisation permettant d'effectuer la gestion des dispositifs mis en place et d'interpréter les résultats en terme d'alerte.

L'adaptation de la surveillance au contexte de l'après-mine doit tenir compte, en ce qui concerne les méthodes employées, de l'inaccessibilité actuelle ou future des vides miniers ; ce qui privilégie les mesures effectuées à partir de la surface ou de la sub-surface.

Ainsi, la surveillance par microsismicité, dont l'usage depuis de nombreuses années avait fait ses preuves dans de multiples domaines, a dû répondre à un cahier des charges précis de qualification et de validation, pour être enfin retenue comme technique efficace de surveillance des risques d'effondrement minier.

Plusieurs réseaux de surveillance de ce type sont installés ou en cours d'installation par l'INERIS dans le bassin minier ferrifère lorrain. Celui du hameau de Nondkeil (Ottange, 57) fonctionne depuis plus de 2 ans et a déjà permis de détecter une activité microsismique dont les périodes les plus actives ont pu être reliées à la dégradation évolutive du stot sous-jacent.

6. Bibliographie

BIGARRÉ P., JOSIEN J.-P. (1998) *Validation de la surveillance microsismique du risque d'effondrement sur les sites de Jœuf et Homécourt (54).* Rapport INERIS. SSE-98-26EH50/RN02.

GRGIC D., HOMAND, F., DAGALLIER G. (2001) Ageing of Lorraine abandoned iron mines. ISRM European Symposium EUROCK, Espoo, Finland, June 2000.

JOSIEN J.-P. (1977) Surveillance de la stabilité d'une excavation par des mesures de déformation. Choix d'une méthode d'alarme. Annales des Mines. Mars 1977.

PIGUET J.-P., JOSIEN J.-P., SENFAUTE G (1997) *Surveillance par méthodes microsismiques du risque d'effondrement dans le bassin ferrifère lorrain.* Rapport INERIS pour la CIAM (lorraine). SSE-JPi/DKl-97-32MZ07/R04.

SENFAUTE G., Abdul WAHED M., PIGUET J.-P., JOSIEN J.-P. (2000) T*echnique d'écoute microsismique appliquée au risque d'effondrement dans les mines du bassin ferrifère lorrain.* Revue Française de géotechnique. No 92, 3è trim. 2000, pp 57-62.