



HAL
open science

Gérer l'impact environnemental des exploitations de charbon : Une priorité récente, un problème durable

Jean-François Raffoux, R. Pentel

► **To cite this version:**

Jean-François Raffoux, R. Pentel. Gérer l'impact environnemental des exploitations de charbon : Une priorité récente, un problème durable. International Conference on Technology for Coal Mining / Preparation and Utilisation Result of the ECSC Coal Research Programme, Jun 2002, Luxembourg, Luxembourg. pp.100-114. ineris-00972372

HAL Id: ineris-00972372

<https://ineris.hal.science/ineris-00972372v1>

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.

MANAGING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF COAL MINING

JF. Raffoux (INERIS), Verneuil-en-Halatte, France
R. Pentel (CdF), Rueil Malmaison, France

RESUME

Les problèmes environnementaux liés à l'utilisation (combustion, cokéfaction...) du charbon ont fait l'objet de recherches depuis le début du traité de la CECA afin de réduire les pollutions liées aux émissions de soufre, d'oxydes d'azote ou de poussières. Par contre, les impacts environnementaux liés à l'exploitation du charbon n'ont fait vraiment l'objet de recherches que depuis une quinzaine d'années. La sensibilité environnementale aux problèmes d'exploitation minière de charbon s'est tout d'abord manifestée autour des exploitations par découverte. En effet, outre les nuisances d'exploitation, elles sont susceptibles de laisser de grandes excavations aux flancs parfois instables et qui, le plus souvent, se remplissent d'eau. Elles génèrent, de plus, d'importants volumes de déblais réutilisés pour le comblement de l'excavation ou disposés dans le voisinage en remodelant la topographie du sol.

Pour ce qui concerne les exploitations souterraines, la conséquence environnementale la plus visible et pérenne est celle du devenir de ses déchets qui ont donné naissance aux terrils miniers, que ceux-ci soient constitués de stériles ou de mixtes charbon-stériles-résidus des lavoirs.

Mais, depuis une dizaine d'années, les problèmes environnementaux liés aux exploitations souterraines ont aussi pris en considération d'autres aspects qui ont fait l'objet de recherches dont l'importance a été croissante.

On peut attribuer cet intérêt croissant à deux causes.

La première cause correspond à la prise de conscience progressive, par nos sociétés industrialisées, de l'importance des problèmes environnementaux en considérant une exploitation minière sur l'ensemble de son cycle de vie de la prospection à la fermeture, afin d'en minimiser les impacts et de viser un retour à une situation après exploitation proche de la situation initiale. Outre cette prise de conscience, l'évolution de la réglementation a amené les exploitants à prendre des mesures pour restituer les sites dans un état aussi proche que possible de l'état initial et ne présentant pas de risques pour les populations ou les aménagements existants ou futurs. Leur responsabilité financière et juridique est d'ailleurs pleine et entière tant que la procédure d'abandon n'a pas abouti et recueilli l'approbation des Pouvoirs Publics.

La seconde cause tient à la découverte progressive des impacts, séquelles d'un passé minier pouvant dater de plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, et révélés très longtemps après par des désordres affectant la surface (affaissements, effondrements), par le régime et la qualité des eaux, mais aussi par des émissions de gaz, des feux, voire simplement par l'existence d'orifices miniers non obstrués et dangereux pour les populations susceptibles de s'y introduire volontairement ou accidentellement.

Ces impacts à moyen et long termes d'exploitations abandonnées (dont, dans de nombreux cas, l'opérateur minier a disparu ou dont la procédure d'abandon a été acceptée) impliquent la responsabilité des Pouvoirs Publics.

Il est apparu alors que les connaissances faisaient souvent défaut pour comprendre les phénomènes mis en jeu, pour prévoir leurs conséquences ou mettre en œuvre, le cas échéant, des mesures préventives adéquates.

Les exploitants de charbon, leurs centres de recherche, les Pouvoirs Publics ont certes attiré l'attention sur l'importance de ces problèmes, mais l'aide CECA sollicitée pour des recherches correspondantes n'a pas été toujours facile à mobiliser sous le prétexte que, dans le traité de Paris, cette aide communautaire était avant tout destinée à améliorer productivité, rentabilité, sécurité et hygiène des mines en exploitation et non à traiter les problèmes environnementaux rencontrés pendant et après celle-ci.

Cette vue à court terme, sur la période 1958-1990, des instances professionnelles consultées en vue de l'attribution des financements de recherches CECA sur ce thème, a été compensée, depuis 1990, par une prise de conscience environnementale. Dès lors, des recherches ont été entreprises pour que, dès la phase d'exploitation et lors de la fermeture des travaux, des mesures techniques préventives et curatives soient prises pour en minimiser les impacts à court, moyen et long termes.

Nous avons procédé à l'examen des recherches affectées au management environnemental des mines de charbon depuis 1991. Nous en donnons ci-dessous une analyse globale avant de dégager quelques résultats marquants ayant permis des progrès sensibles dans la gestion de ces problèmes, tant pendant l'exploitation qu'après celle-ci.

Mais, auparavant, nous tenterons d'en donner une typologie.

TYOLOGIE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES EXPLOITATIONS

Il faut tout d'abord différencier le cas des exploitations à ciel ouvert (découvertes) de celui des exploitations souterraines.

1. Les impacts environnementaux des exploitations à ciel ouvert

L'accès au charbon amène à entreprendre des travaux de découverte qui concernent des volumes souvent très importants de terres et roches sus-jacentes aux couches exploitables. Outre les nuisances d'exploitation (bruit des engins ou des tirs nécessaires), ces travaux contraignent à évacuer les cubages de roches extraits par des moyens de transport (convoyeurs, camions) générant leurs propres nuisances (bruit, emprise, atteinte aux infrastructures routières...) et à les stocker provisoirement ou définitivement dans des endroits où ils affectent la topographie, la nature des sols et leur végétation, voire le régime hydrographique et la faune locale.

L'exploitation des veines de charbon continue à entraîner des travaux de découverte et d'extraction du charbon qui ont des conséquences environnementales du même type. De plus, en fonction de l'existence et de la position de la nappe phréatique, ces travaux peuvent entraîner des modifications importantes dans la gestion de la ressource en eau (rabattement de nappe, exhaure...) avec les conséquences que cela représente pour la population et l'état de l'écosystème.

Après l'exploitation, il reste un vide qui, dans certains cas, a pu être progressivement comblé par les matériaux stériles de découverte, mais dont il faut entreprendre le traitement tant du point de vue de la stabilisation de ses pentes que de son devenir (ennoisement), de son utilisation (réaménagement) ou de sa réhabilitation (revégétalisation...). Si les matériaux de découverte n'ont pas été utilisés au comblement du vide, il faut alors les traiter pour un remodelage définitif de la surface accompagné des réhabilitations appropriées.

2. Les impacts environnementaux des exploitations souterraines

L'accès au charbon est, dans ce cas, visuellement plus discret (puits et galeries) que dans le cas des exploitations à ciel ouvert et l'impact environnemental est le plus souvent minime à ce stade.

Les désordres environnementaux pendant les travaux d'exploitation vont essentiellement dépendre de la méthode utilisée. En cas d'exploitation partielle (chambres et piliers non dépilés), les désordres en surface sont très réduits, voire inexistants, pour peu que le dimensionnement relatif des chambres et des piliers ait été choisi de façon adéquate pour garantir la stabilité pendant les travaux. Par contre, dans les exploitations dites totales (exploitation par foudroyage ou remblayage, chambres et piliers dépilés), les désordres concernent les terrains susjacentes jusqu'à la surface (affaissements), les horizons phréatiques (perte de la nappe) et le réseau hydrographique de surface. Des émissions de gaz émanent des différents horizons méthanifères et migrent vers la surface du sol à travers les galeries, les puits et les terrains affectés par l'exploitation.

Après l'exploitation, les séquelles de travaux miniers antérieurs vont également fortement dépendre de la méthode d'exploitation mise en oeuvre.

Après une exploitation totale (ou remblayage au fur et à mesure des travaux), les conséquences ne s'étaleront généralement pas dans le temps en ce qui concerne les mouvements de terrains. Les affaissements sont stabilisés à très court terme (quelques mois, au plus quelques années), mais parfois des remontées de terrain très faibles en amplitude mais différées (plusieurs années) ont été mises en évidence. Les perturbations liées au régime et à la qualité des eaux ou aux remontées de gaz vers la surface peuvent, par contre, être constatées très longtemps et après la fermeture des travaux.

Après une exploitation partielle, l'équilibre des terrains, qui a été garanti pendant l'exploitation grâce à un choix adéquat du taux de défrêtement, peut être remis en cause très longtemps après la fin des travaux. En effet, l'altération des terrains, l'effet des remontées ou des circulations d'eau peuvent entraîner la ruine progressive ou brutale des piliers et avoir des conséquences graves pour la sécurité des personnes et des biens, ainsi que pour l'environnement.

Ajoutons à cela qu'en cas de proximité de la surface ou de mauvaise obstruction des entrées d'air, la rémanence de charbon en place peut, pour certains types d'entre eux, donner lieu à une auto-oxydation du combustible qui va pouvoir évoluer vers des feux de mine très difficiles à prévoir et à contrôler.

Par ailleurs, ces exploitations souterraines produisent, outre le charbon, des volumes importants de stériles issus des travaux d'accès aux veines et des opérations de lavage. Ces stériles sont disposés en surface sous la forme de terrils qui sont les terrains rémanents d'un passé minier. Quand ils ne sont pas conservés au titre du patrimoine industriel, ils sont traités ou utilisés à des fins diverses. Leur maintien en place peut générer des nuisances environnementales (feux et explosions, instabilité, poussières, lixiviation...) et porter atteinte à la sécurité publique.

ANALYSE GLOBALE DES RECHERCHES CECA DEDIEES A LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT MINIER SUR LA PERIODE 1991-2002

28 contrats de recherches ont été accordés par la Commission sur cette période. Ces 28 recherches ont bénéficié d'une aide de 18 MEuros correspondant à un volume de travaux de 30 MEuros. Jusqu'en 1996, il s'agissait de recherches menées par des contractants isolés, mais, à partir de cette date, ces recherches ont été menées de façon conjointe par plusieurs contractants et coordonnées par l'un d'entre eux.

1. Répartition thématique

Les 28 recherches se répartissent ainsi en nombre et pourcentage du financement global des travaux :

- | | |
|-------------------------------|--|
| • Emission de gaz : | 5 recherches représentant 18 % des travaux |
| • Affaissement : | 8 recherches représentant 27 % des travaux |
| • Eau : | 4 recherches représentant 21 % des travaux |
| • Déchets et terrils : | 4 recherches représentant 11 % des travaux |
| • Réhabilitation des sites : | 5 recherches représentant 12 % des travaux |
| • Problèmes des découvertes : | 1 recherche représentant 10 % des travaux |
| • Bruit : | 1 recherche représentant 1 % des travaux |

2. Répartition par pays

Les recherches ont concerné des exploitants, centres de recherche, prestataires de services provenant de 8 pays avec la répartition suivante :

Pays	Nombre de recherches ou contributions à un projet intégré
Royaume-Uni	16
Allemagne	12
France	9
Espagne	7
Portugal	4
Pologne	3
Hollande	1
Belgique	1

3. Evolution dans le temps et part des aides "Environnement" sur l'ensemble des aides aux projets miniers

L'évolution des aides accordées chaque année par la Commission depuis 1991 et la part des aides environnement sur l'ensemble des aides aux projets miniers sont présentées dans le tableau suivants :

Année	Aide totale aux projets miniers	Aide aux projets dédiés à l'Environnement parmi les projets miniers	
	€	€	% de l'aide totale
1991	17 379 000	959 700	5,5
1992	20 714 700	1 967 400	9,5
1993	20 786 900	1 568 700	7,5
1994	8 243 000	2 535 900	30,8
1995	5 191 900	1 938 000	37,3
1996	10 980 300	7 908 000	72,0
1997	9 986 212	1 895 789	19,0
1998	8 196 097	3 073 174	37,5
1999	7 627 380	1 018 920	13,4
2000	9 449 280	2 380 740	25,2
2001	5 181 540	0	0
2002	7 316 850	1 359 660	18,6
TOTAL	131 053 159	26 605 983	20,3

QUELQUES "SUCCESS STORIES" ISSUES DES RESULTATS DES RECHERCHES CECA RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT MINIER.

1. La récupération et l'utilisation du méthane : METHAMINE

Les mines de charbon du Nord de la France sont grisouteuses. A la suite de leur fermeture en 1990, des études ont été menées, dont certaines avec l'aide de la CECA, pour évaluer le

gisement de méthane et sa capacité et examiner la possibilité de récupérer ce gaz et le valoriser. Les réserves sont évaluées à plusieurs milliards de m³.

Ce gaz de mine, tel qu'il se dégage des anciens travaux, n'est pas utilisable en l'état pour des besoins domestiques ou industriels. Deux entreprises, CdF et GDF, se sont donc associées pour résoudre les problèmes liés à la récupération et la valorisation du gaz de mine.

Le groupe CdF a étudié les méthodes les plus adaptées pour drainer le gaz de ses anciens sites, en proposant des procédures de fermeture des puits permettant l'échappement du gaz et sa canalisation vers ces échappements.

GDF a plus particulièrement étudié la compression du gaz et son traitement (dépoussiérage et séchage) puis son injection dans le réseau national de gaz dans des proportions telles que cela ne dégrade pas la qualité du gaz dans ce réseau.

Le pilotage de la station de captation, compression, traitement et injection est entièrement automatisé et ne nécessite aucune personne localement.

Les caractéristiques principales de METHAMINE sont les suivantes :

- injection d'un volume de gaz de mine, à environ 60 % de CH₄, correspondant à 8 à 10 % du débit de gaz naturel du réseau d'un gaz
- débit instantané injectable : entre 3000 m³/h et 22000 m³/h
- débit moyen : 9200 m³/h
- production moyenne annuelle : entre 440 et 500 GWh
- montant de l'investissement : 18 M€ (base 1992).

L'extraction et la commercialisation de ce gaz de mine, dans les conditions décrites ci-dessus, permettent de satisfaire les besoins annuels d'une ville de 40 000 habitants.

2. Les émissions de gaz en surface provenant d'anciennes mines : Prévision et évaluation des risques

Les réglementations en vigueur dans la plupart des pays européens prévoient que l'exploitant minier réalise, préalablement à la renonciation à ses concessions, l'analyse des risques présentés par les travaux miniers souterrains vis-à-vis des personnes et des infrastructures de surface. Il doit, de plus, définir les mesures à mettre en œuvre pour réduire ces risques.

Parmi ces risques, celui de la remontée de gaz en surface constitue un problème important à considérer. En effet, les gaz contenus dans le gisement, en particulier le grisou présent dans les couches de charbon, peuvent se dégager pendant un temps relativement long après l'arrêt de l'extraction. Le grisou s'accumule dans les vides miniers résiduels en même temps que d'autres gaz provenant de la transformation de l'atmosphère initiale de la mine, tels que le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène...

Ce mélange gazeux, appelé gaz de mine, peut migrer vers la surface du sol à travers les puits, les galeries ou encore les terrains de recouvrement eux-mêmes, sous l'effet de plusieurs mécanismes : remontée du niveau d'eau au sein des vieux travaux, tirage naturel, variations de la pression barométrique, etc. Son accumulation au sein de volumes confinés (sous-sols, caves, réseaux enterrés...) des constructions susjacentes aux anciens travaux miniers présente alors des risques importants : risques d'explosion, d'asphyxie ou d'intoxication.

Dans le cadre d'un projet coordonné aidé par la CECA, l'INERIS a développé et mis au point une méthodologie spécifique pour analyser et évaluer ce risque dans le contexte particulier des mines de charbon. Elle s'appuie sur la prise en compte de différents critères :

- des critères liés au réservoir souterrain : caractéristiques grisouteuses du gisement, volume et étendue des vides miniers résiduels, leur position par rapport à la surface..
- des critères liés aux terrains de recouvrement : nature, structure et épaisseur globale du recouvrement, épaisseur des différents bancs et leur perméabilité. Ce dernier paramètre peut fortement dépendre de la fracturation induite par l'exploitation
- des critères liés à l'hydrogéologie : nature, épaisseur, forme des horizons aquifères et leur position par rapport aux travaux miniers
- des critères liés à la géologie : il s'agit principalement de déceler la présence de formations propices à l'accumulation et à la migration de gaz de mine
- des critères liés à l'occupation du sol : position géographique et densité des zones urbanisées.

Cette analyse débouche tout d'abord vers une identification des zones potentiellement émettrices de gaz en surface (aléas) et, ensuite, vers une identification des zones à risque, en fonction de l'occupation qui est faite de la surface (vulnérabilité).

Elle a permis de mettre au point une méthodologie utilisable et utilisée par les exploitants miniers dans le cadre des demandes d'arrêt de travaux miniers. Elle se traduit par un zonage permettant, entre autres, de fournir des priorités d'action pour le traitement de ces zones.

3. Prévention des risques consécutifs à la remontée en surface de gaz provenant d'anciennes mines

Les procédures exigées par la réglementation imposent à l'exploitant minier de définir, préalablement à la renonciation à ses concessions, les mesures à mettre en œuvre pour réduire les risques consécutifs à la remontée en surface de gaz provenant des travaux miniers souterrains. Plusieurs recherches aidées par la CECA ont permis de mettre au point et de tester des mesures préventives qui sont de deux types :

- le traitement actif : il s'agit d'une solution très efficace consistant à mettre le réservoir souterrain en dépression par captage du mélange gazeux en utilisant des extracteurs. Cette solution a déjà été mise en œuvre sur plusieurs sites en Europe. Elle peut également être appliquée à des fins d'exploitation commerciale du gaz. Dans la mesure où les communications fond-jour sont suffisamment étanches, il est ainsi possible d'atteindre une pression absolue franchement inférieure à la pression atmosphérique (0,5 bar, voire moins), c'est-à-dire un niveau de pression très largement suffisant pour rendre pratiquement impossibles des remontées de gaz vers la surface. Par ailleurs, l'étendue d'une zone traitée par un captage ponctuel peut être très grande : plusieurs kilomètres, voire plusieurs dizaines de kilomètres dans des conditions favorables. Cette solution n'est toutefois plus opérationnelle ou applicable dès que l'ennoyage atteint le niveau supérieur de l'infrastructure assurant la liaison entre le(s) point(s) de captage et les vieux travaux ;

- le traitement passif : il s'agit de permettre une évacuation libre et naturelle du gaz via une communication franche avec la surface. Cette communication peut être constituée par l'ancienne infrastructure de la mine (galeries, puits, etc), à condition que les ouvrages en question puissent drainer le gaz des travaux les plus superficiels (solution utilisée en Allemagne, en France,...).

Dans le cas contraire, il faut créer cette liaison directe au travers de sondages réalisés depuis la surface, venant intercepter certains points hauts du réservoir souterrain. L'intérêt de ces sondages (appelés habituellement "sondages de décompression") est au moins double. D'une part, ils permettent au minimum de vérifier les paramètres du réservoir gazeux : composition du gaz et pression. D'autre part, ils peuvent constituer pour le gaz des exutoires parfaitement maîtrisés et sécurisés (éloignés d'habitations et équipés d'organes de sécurité tels que vannes coupe-feu, clapets anti-retour) qui se substituent aux exutoires "naturels" incontrôlés.

Cette solution est largement utilisée dans les différents pays de l'Union Européenne.

Par ailleurs, si les mesures préventives globales s'avèrent inefficaces ou leur application techniquement impossible, certaines mesures locales peuvent être utilisées, comme une isolation aéraulique des soubassements, ou encore une ventilation et une télésurveillance des espaces pouvant accumuler le gaz (caves, infrastructures enterrées,...).

4. La surveillance de l'évolution à long terme des affaissements et soulèvement par interférométrie radar

Plusieurs études aidées par la CECA en Allemagne, France et dans le bassin néerlandais du Limbourg ont mis en évidence des soulèvements du sol dans des zones affaissées antérieurement et principalement à l'occasion de la remontée des eaux dans les anciens travaux miniers souterrains. La surveillance des zones concernées par les techniques traditionnelles de nivellement sont difficiles et coûteuses à mettre en œuvre dans des zones souvent réinvesties en surface par d'autres activités. D'autres méthodes ont donc été recherchées pour permettre, à long terme, des surveillances efficaces et précises. C'est ainsi que la méthode d'interférométrie radar a été étudiée et mise en œuvre dans le bassin de Montceau-les-Mines en associant les résultats d'études aidées par la CECA à celles d'un autre projet de recherche à l'échelon national (RESUM).

Dans ce bassin après l'arrêt de l'exploitation souterraine en début 1992, les études topographiques menées sur un secteur à fort affaissement (~ 8 mètres) ont montré que les affaissements résiduels étaient achevés depuis fin 1992.

Entre 1995 et 1998, un léger soulèvement général du sol s'est produit à la faveur de la remontée des eaux dans les anciens travaux souterrains. Selon les endroits, l'amplitude de ce réhaussement variait de 1 à 8 cm, très ponctuellement de 12 à 14 cm.

Une étude radar, issue des données des satellites européens ERS 1 et ERS 2, a été faite pour la période 1992 – 1999. Elle a démontré son potentiel pour la détection de mouvements de surface très localisés et la compréhension des phénomènes. Les campagnes de nivellement ont permis de valider les résultats de l'interférométrie différentielle qui se confirme comme un outil complémentaire au dispositif in situ de suivi de l'affaissement/soulèvement de faible amplitude.

Ces résultats procurent donc un outil propre à aider à renforcer la surveillance des sites instables ou assurer une politique de prévention.

5. La détection par géoradar de cavités laissées par l'exploitation

Dans le cas des exploitations partielles à faible profondeur, souvent très anciennes, et dont on ne dispose plus de plans, la localisation des vides est importante à faire pour définir les zones à risque d'effondrement localisé ou généralisé.

Dans le cadre des recherches aidées par la CECA, les investigations menées en Espagne par la technique du géoradar ont apporté de bons résultats.

Cette technique, qui consiste à analyser la réflexion des ondes électromagnétiques dans le milieu souterrain immédiat, est bien adaptée pour la gamme des profondeurs de 0 à 20 mètres.

Elle présente l'avantage d'obtenir des profils continus de caractérisation du sous-sol permettant une interprétation directe et rapide et s'avère d'une mise en œuvre relativement simple, n'apportant pas de perturbations à l'environnement.

Il faut toutefois noter que cette technique a des limites en cas de présence, dans le sous-sol, d'eau ou de métaux présentant une grande conductivité électrique.

6. Traitement des eaux d'exhaure minière

Les eaux d'exhaure minière sont souvent chargées en sel et parfois en certains métaux du fait :

- de l'accès à des eaux dont la minéralisation, la température et le caractère réducteur croissent généralement avec la profondeur des gisements,
- de l'augmentation de la minéralisation des eaux par oxydo-réduction des terrains traversés ainsi que la modification du pH en général vers le pôle acide en milieu cristallin ou schisteux (ou, au contraire, vers le pôle basique en milieu calcaire).

Lors de la fermeture des exploitations et l'ennoyage des anciens travaux, ce deuxième phénomène est accentué par le lessivage des terrains fissurés pendant la phase de remplissage. Les teneurs en sel et en métaux sont ainsi particulièrement élevées à l'apparition des émergences, puis baissent au cours du temps.

Les contraintes environnementales imposées dans les différents pays européens pour le rejet des eaux dans le milieu naturel ont amené les exploitants et leurs centres de recherche à étudier, avec l'aide de la CECA, diverses méthodes de traitement.

Pour éliminer ou réduire significativement la présence de métaux, dans la grande majorité des cas, il a été montré que l'association du lagunage et du filtrage permettait une épuration efficace.

Le lagunage du type à macrophytes contribue à une bonne oxydation du milieu et permet généralement d'éliminer de 60 à 90 % du fer selon les variations saisonnières.

Le filtrage, en particulier les filtres à pouzzolane, permet d'éliminer de l'ordre de 70 % du manganèse.

La combinaison de ces deux types de traitement (exemple : 3 lagunes enchaînées + 3 filtres à pouzzolane en parallèle à Messeix) permet le traitement d'un débit de 120 m³/heure dans un système qui ne nécessite ni apport de produits chimiques, ni énergie et dont la maintenance (nettoyage) mensuelle et la régénération (tous les 6 ans) sont d'une technicité simple et d'un coût très raisonnable.

Pour éliminer le sel, une recherche CECA menée avec la collaboration de nos collègues polonais de l'Institut Central Minier (GIG) a permis de voir des réalisations industrielles de traitement des eaux salines et de récupération du sel à des fins de commercialisation.

7. Le contrôle qualitatif et quantitatif de l'exhaure minière

Dans les bassins charbonniers européens, où coexistent des mines en activité et des mines fermées, le contrôle actuel, dans les moyen et long termes, de la quantité et de la qualité des eaux, est un problème environnemental de toute première importance.

Ce contrôle se doit de porter tant sur la phase active de l'exhaure minière (pompage) que sur la phase passive (émergence).

Plusieurs recherches CECA ont abordé ce problème et, l'occasion de l'une d'entre elles, des partenaires espagnols ont conçu, développé, essayé et mis en œuvre avec succès un système complet de contrôle de l'exhaure et des effluents. Ce système "ECO" inclut l'acquisition de nombreuses données physiques et chimiques, leur traitement, leur stockage et la transmission de l'information à un système d'information géographique (SIG).

Le système a été mis au point selon un concept modulaire simple à transporter et robuste, qui permet une adaptabilité facile à différentes configurations de terrain.

Mis en œuvre dans le bassin des Asturies pour les mines d'Hunosa, il intègre les données de 20 puits en activité et de 5 émergences et est interconnecté avec les stations météorologiques de façon à permettre, en fonction de la pluviosité attendue ou constatée, de réagir sur les paramètres de contrôle de l'exhaure pour réguler qualité et débit des eaux, comme de leur rejet dans le milieu naturel.

8. Qualité des eaux et formation de lacs miniers

L'un des principaux problèmes liés à la fermeture des exploitations minières demeure leur impact environnemental sur l'hydrosystème.

Le but d'un projet récent aidé par la CECA et associant des partenaires allemands, anglais, espagnols et français était de développer une méthodologie d'étude et de suivi de la qualité des eaux des lacs miniers en cours de formation dans les excavations résiduelles des mines à ciel ouvert.

Le site d'exploitation de Montceau-les-Mines (en France) a été retenu pour servir de terrain d'études, compte tenu de la présence de 6 exploitations en découverte en cours d'ennoyage.

L'étude a comporté notamment :

- l'observation de différentes caractéristiques des eaux : température, pH, Eh, anions, cations, métaux
- un suivi piézométrique de la remontée des eaux

- des tests de lixiviation des matériaux de remblai
- des analyses de sédiments prélevés au fond des lacs miniers.

Les eaux des lacs miniers se caractérisent par une charge minérale élevée, voisine de celle de l'aquifère des anciens travaux miniers souterrains. Le pH des eaux demeure neutre ou basique, grâce à une présence suffisante de minéraux alcalins dans les terrains houillers qui permet de tamponner les eaux.

On constate un fonctionnement atypique de ces lacs miniers : il y a un phénomène de stratification chimique permanent. Les eaux les plus minéralisées et les plus denses demeurent confinées au fond des plans d'eau et ne participent pas aux mouvements de convection saisonniers qui permettent classiquement le brassage complet de la masse d'eau.

Les caractéristiques propres des lacs miniers sont donc intéressantes à plus d'un titre :

- les sels nutritifs se concentrent sous les couches profondes, ce qui limite le risque d'évolution trophique des lacs avec un envahissement par les algues
- les stériles miniers immergés, en condition anoxique permanente, sont protégés du risque d'oxydation, ce qui réduit le risque d'acidification des eaux
- ce type de lac se comporte comme un réacteur biochimique vis-à-vis d'eau provenant des anciens travaux miniers qui s'y déverse, ce qui en permet l'auto épuration d'un certain nombre d'éléments, piégés au fond ou évacués vers l'atmosphère.

En outre, la constitution de ces lacs et l'aménagement de leurs rives et de leur environnement contribuent à donner au paysage local un remodelage et un aspect attractif qui participent au développement du tourisme et des activités ludiques.

9. Impact des terrils sur la qualité des eaux

L'impact des terrils sur l'environnement se manifeste de diverses façons et les risques liés à leur présence ou à leur exploitation ont été étudiés dans quelques recherches aidées par la CECA. Un des problèmes étudiés est celui des risques que le remodelage ou l'exploitation du terril peut faire porter sur la nappe aquifère sous-jacente.

Une recherche menée en Belgique (ISSEP à Winterslag) sur ce thème a apporté les résultats intéressants suivants, qui permettent de mieux comprendre le rôle du terril :

- Il existe sous le terril une perméabilité moindre qu'alentour. De ce fait, le débit entraînant les polluants percolant à travers le terril est plus faible qu'attendu, et les débits excédentaires contournant le terril sont relativement préservés des pollutions.
- L'évaluation de la percolation dans le terril montre que les quantités d'eau circulant annuellement sont extrêmement faibles de l'ordre de 3‰ de la masse totale du terril. Le développement de la végétation sur le terril est de nature à diminuer encore ce rapport.
- L'étude hydrochimique met en évidence une charge ionique plus importante à l'aval du terril qu'à l'amont avec surtout des sulfates, des chlorures, des cations tels que le cadmium, le fer, le manganèse, le zinc, le sodium. Les teneurs en chrome, cobalt et cuivre restent inchangées après passage sous le terril. Le plomb et l'arsenic présentent des teneurs appauvries à l'aval du terril.

Sans vouloir généraliser les conclusions de cette étude à tous les types de terril, elle donne un modèle de comportement hydraulique du terril qui n'est pas celui auquel on pense généralement, à savoir celui d'une "éponge", lieu de production de lixiviat percolant dans la nappe sous le terril, mais celui d'un obstacle plutôt imperméable sur lequel les eaux météoriques ruissellent et qui induit à son aplomb une zone de perméabilité plutôt faible.

10. L'utilisation des déchets miniers issus des bassins de lagunage des résidus et des fines de lavoir (schlamms)

Cette "success story" est issue de travaux qui ont reçu l'aide de la CECA dans le domaine de l'utilisation du charbon, mais elle apporte des résultats propres à diminuer l'impact environnemental du cycle d'exploitation en permettant d'éliminer les bassins où sont stockés les résidus fins issus des lavoirs. En règle générale, ces produits sont stockés dans des bassins lagunes dont l'impact sur l'environnement n'est pas négligeable.

Traditionnellement, leur valorisation en combustion se fait en chaudière à charbon pulvérisé, limitant les possibilités de valorisation.

L'utilisation d'une chaudière à Lit Fluidisé Circulant (LFC) permet la combustion de ces schlamms pompés sous la forme d'une pulpe contenant 30 % d'eau, donc sans nécessiter de séchage préalable selon un procédé considéré comme propre.

Cela permet aussi :

- d'éliminer les bassins lagunes existants, ce qui est un point très favorable au regard de l'environnement,
- d'utiliser la production fraîche des lavoirs en mélange avec les produits anciens, ce qui conduit à ne pas agrandir les bassins existants.

La préparation de la pulpe se fait de façon simple par malaxage des deux types de schlamms (ancienne et fraîche productions), puis elle est envoyée vers la chaudière par pompes à piston.

Les caractéristiques de cette pulpe sont les suivantes :

- PCI sur brut :	2 500 à 4 000 kcal/kg
- teneur en eau total :	30 à 35 %
- cendres sur sec :	30 à 45 %
- matières volatiles sur pur :	32 à 40 %
- teneur en soufre :	2 à 3,5 %

La technique de combustion en lit fluidisé circulant est considérée comme propre : très peu d'imbrûlés, désulfuration efficace, et faible production d'oxydes d'azote.

L'unité construite à la centrale Emile Huchet en France (projet SODELIF) comporte une chaudière LFC de 320 MWth produisant 370 t/h de vapeur à 13 bars et 541°C et un groupe turbo-alternateur délivrant 125 MWe.

11. La réhabilitation d'anciens sites miniers

Les travaux de recherche entrepris par les exploitants et les centres de recherche pour connaître et prévoir le comportement à long terme des terrains et l'évolution des émissions de gaz, du niveau et de la qualité des eaux, associés à ceux relatifs à la dépollution des sols, ont

permis d'ores et déjà d'utiliser leurs résultats pour réaliser des réhabilitations réussies d'anciens sites miniers.

Les "success stories" en sont nombreuses et les destinations des sites réhabilités très variées : espaces de loisirs, espaces sportifs, musées, espaces culturels, zones commerciales et industrielles...

Le cas de l'ancienne mine Mont-Cenis à Herne-Sodingen (Allemagne) présente un exemple intéressant de réhabilitation d'un site de 30 hectares qui était occupé par les 3 puits et les installations annexes d'une mine dont les travaux avaient débuté en 1873 et s'étaient terminés en 1978.

La réhabilitation en a fait un centre de formation continue abritée par une impressionnante structure en verre et qui, grâce à l'utilisation combinée du gaz de mine et de l'énergie solaire (centrale solaire intégrée au toit la plus grande du monde), permet une économie d'énergie de 50 % par rapport à des constructions classiques comparables.

DES SUCCES CERTES, MAIS DES VOIES DE PROGRES RESTENT OUVERTES...

Les travaux de recherche entrepris dans les pays membres avec l'aide de la CECA joints à ceux réalisés par les exploitants et centres de recherche sur leurs fonds propres ont permis des progrès très sensibles dont les "success stories" présentées au chapitre précédent ont donné quelques exemples.

Un certain nombre de problèmes liés aux impacts environnementaux des exploitations en cours ou en voie de fermeture ou déjà arrêtées restent toutefois sans réponse à ce jour ou avec des réponses partielles ou insuffisamment étayées par l'expérience. Le tableau ci-dessous en dresse une liste sans doute non exhaustive.

1. Axes de recherche à poursuivre pour une meilleure maîtrise des impacts environnementaux

Types de problèmes	
Emissions de gaz	<ul style="list-style-type: none"> - Evolution du réservoir souterrain après fermeture <ul style="list-style-type: none"> • Influence de la remontée des eaux sur la désorption du charbon ennoyé, • Qualification et quantification des transports de gaz par l'eau, • Evaluation de la capacité de production à long terme du réservoir - Transfert du gaz à la surface <ul style="list-style-type: none"> • Répartition en surface des flux de gaz • Présence et devenir du radon - Prévention des risques liés à la présence de gaz <ul style="list-style-type: none"> • Détection de gaz issus du milieu souterrain dans les espaces clos en présence d'autres types de gaz.
Puits de mine	<ul style="list-style-type: none"> • Moyens de prévention et de traitement de certains gaz particuliers (radon, sulfure d'hydrogène) - Détection de la présence de puits anciens mal ou non répertoriés ou localisés

	<ul style="list-style-type: none"> • Mise au point de méthodes pour le repérage d'anciens puits en milieu urbanisé - Stabilité et comportement à long terme des puits anciens remblayés <ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation de l'importance et de la qualité du remblayage entrepris • Stabilité du remblai en liaison avec la remontée des eaux et influence de travaux souterrains nouveaux.
Affaissement	<ul style="list-style-type: none"> - Evolution à long terme du comportement des terrains après ennoyage <ul style="list-style-type: none"> • Quantification prévisionnelle des évolutions de faible amplitude (remontée du sol)-Exploitation du retour d'expérience • Instabilité locale des chantiers remblayés (en particulier en gisement penté lors de la remontée des eaux) - Evolution à long terme du comportement des terrains au-dessus d'anciennes exploitations partielles <ul style="list-style-type: none"> • Prévision d'affaissement et effondrement potentiels • Méthodologie d'évaluation des risques • Risques de feux souterrains : contrôle et impact sur la stabilité
Eau	<ul style="list-style-type: none"> - Prévision de l'évolution de la qualité des eaux <ul style="list-style-type: none"> • Mise au point de méthodes prévisionnelles du comportement relatif des nappes profondes et de la nappe de surface • Mise au point de techniques d'isolation des horizons aquifères - Amélioration des méthodes de traitement des eaux en surface <ul style="list-style-type: none"> • Optimisation des méthodes combinées de lagunage et de filtration • Elimination de certains polluants toxiques issus de produits laissés par l'exploitation.
Terril	<ul style="list-style-type: none"> - Comportement à long terme des terrils <ul style="list-style-type: none"> • Prévision et prévention des risques de feux • Impact de l'humidification des pieds de terril sur leur stabilité • Prévision du comportement en fonction des aménagements du terril ou de son voisinage • Gestion à long terme des eaux : pérennité des systèmes hydrauliques de recueil des eaux de ruissellement. - Réutilisation des matériaux des terrils <ul style="list-style-type: none"> • Développement de nouvelles techniques de traitement et réutilisation des matériaux.
Réhabilitation	<ul style="list-style-type: none"> - Evolution à long terme des réhabilitations entreprises <ul style="list-style-type: none"> • Devenir de la végétation • Devenir de l'écosystème

	<ul style="list-style-type: none">• Impact économique et social- Réutilisation fonctionnelle d'anciens sites miniers
--	---

CONCLUSIONS

L'industrie minière européenne du charbon est une industrie en forte récession accompagnée aujourd'hui de nombreuses fermetures d'exploitations. La sensibilité environnementale des agents économiques et la volonté de réduction des risques pour l'homme et l'écosystème, traduite dans des dispositions réglementaires, ont amené les exploitants à mettre en œuvre une gestion de l'environnement minier depuis l'exploitation jusqu'à l'arrêt des travaux en lui donnant un rôle tout à fait prédominant dans la phase de fermeture.

Malgré les connaissances acquises jusqu'ici dues, en particulier, aux efforts communautaires de recherche de la dernière décennie aidés par la CECA, plusieurs problèmes nécessitent que de nouvelles recherches soient entreprises pour mieux maîtriser, à moyen terme et à long terme, les impacts potentiels environnementaux des exploitations. Les dispositions adoptées par l'Union Européenne pour utiliser, à des fins de recherche, les intérêts produits par les fonds de réserve existant à l'expiration du Traité de la CECA devraient permettre de contribuer à les résoudre.

D'ores et déjà, l'Europe peut considérer que le contexte économique de fermeture de l'industrie charbonnière, joint à sa sensibilité environnementale dans un écosystème sensible et sur un espace à forte densité de population, lui a permis d'acquérir un savoir-faire et de développer des technologies performantes pour gérer l'impact environnemental des exploitations charbonnières tout au long de leur cycle de vie.

Ce savoir-faire et ces technologies sont certainement des produits qui intéressent et intéresseront, dans l'avenir, des pays tiers qui ne les ont pas encore utilisés, tant pour des raisons économiques que par manque de sensibilité environnementale. Le transfert de ces savoir-faire et technologies dans un contexte de développement durable dans d'autres pays est un challenge pour les pays de l'Union Européenne.

Après 50 ans de développement économique et social des industries minières et sidérurgiques, coordonné et aidé par la CECA, nous saurons également avoir un regard sur le passé et satisfaire au devoir de mémoire et de reconnaissance envers tous ceux et celles qui, par leur travail, leur ingéniosité et parfois même le sacrifice de leur vie, ont contribué au développement industriel qui a construit l'Europe d'aujourd'hui. Ce devoir de mémoire s'exprime souvent par une volonté de préserver le patrimoine industriel dans une volonté conservatrice de sauvegarder, entretenir, aménager les bâtiments, les équipements, espaces, et même les résidus (terrils) de cette activité.

Sans renier ce devoir de mémoire et de reconnaissance, sachons trouver le juste équilibre entre la protection du patrimoine, la protection de l'environnement et le coût économique et social du maintien en l'état ou de l'aménagement des infrastructures témoins de cette activité qui, avec l'aide de la CECA, sur la seconde moitié du 20^{ème} siècle a mobilisé nos énergies, nos compétences et nos passions pour contribuer modestement à écrire une page de l'histoire du développement économique, technique et social de notre planète.