

## LES SYSTEMES EXPERTS DANS L'INDUSTRIE MINIERE : BILAN DE L'EXPERIENCE SOUT ET ORIENTATIONS FUTURES

Y. GUENIFFEY (1), S. KOUNIALI (1, 2),  
H. BAROUDI (2), et J. P. FIGUET (1, 2)

(1) *Laboratoire de Mécanique des Terrains - Ecole des Mines de Nancy*

(2) *Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)*

### RESUME

L'expérience accumulée depuis 1985 lors du développement de Sout, système expert d'aide au choix du soutènement dans les galeries minières, nous a fourni un certain nombre d'enseignements susceptibles d'orienter l'utilisation future de la technologie des systèmes experts dans l'industrie minière. Plus qu'une technologie nouvelle destinée à capter «magiquement» le savoir des experts, les systèmes experts, dès lors qu'il s'agit de les appliquer en vraie grandeur, s'avèrent être d'excellents révélateurs de la nécessité d'une étape de modélisation dans le travail du géotechnicien; le «transfert de connaissances» ne réussit que s'il est une modélisation et une interprétation des données d'observation et des savoirs des experts du domaine. Ces outils doivent s'intégrer aux autres moyens informatiques, tels que les bases de données nécessaires à l'archivage des informations géotechniques toujours plus nombreuses, ou les codes de calculs nécessaires au dimensionnement des ouvrages. Ils doivent bénéficier des avancées faites en matière d'interface homme-machine et garantir ainsi une convivialité maximale. Cette expérience nous a permis ainsi de proposer à nos collègues des charbonnages allemands (DeutscheMontanTechnologie, DMT Essen) une nouvelle version de Sout qui intègre leur expertise, et nous a poussé à envisager, en collaboration avec nos collègues espagnols également, un système intelligent de planification et de simulation d'une exploitation minière.

### ABSTRACT

Since 1985, we built and experienced Sout, a computer aided design for support in mining galleries, several points we have learned could pilot the future uses of expert-system technology in geotechnics.

Besides, more than a new technology able to capture the experts' knowledge «magically», experts systems, when they are used in a real context, teach us the absolute need for a modelling step in the geotechnician's work. The so-called «knowledge transfer» succeeds only when it is both a modelling and an interpretation of observationnal data and knowledge of experts in this field.

These tools must be combined easily with other computer tools from relationnal databases, useful to keep the more and more numerous geotechnical data, to calculation programmes necessary to design civil engineering structures. They must also benefit from the advance in man-machine studies to be as user-friendly as possible. So we have been able to propose our colleagues from the german coal mining industry (DeutscheMontanTechnologie, DMT Essen) a new Sout version augmented with their expertise, and to consider with our spanish colleagues also the development of an intelligent planning tool for the mining operations.

## 1. Introduction

### 1.1 Définition

Sout est un Système «Intelligent» d'Aide à la Décision (SIAD) en matière de choix du soutènement dans les galeries minières (cf. figure 1).

Le choix d'un type de soutènement doit prendre en considération toute une série de données et satisfaire un grand nombre de contraintes ; de plus, et c'est un point très important, ce choix engage la sécurité des hommes au travail. En outre, les gisements exploités en Europe étant de plus en plus profonds et les coûts s'accroissant en conséquence disposer d'un outil intelligent d'aide à la décision dans ce domaine est évidemment un atout crucial.

La technique des Systèmes à Base de Connaissances (SBC), une des techniques de l'intelligence artificielle (IA), a été choisie, parce que, contrairement aux algorithmes informatiques classiques, elle permet :

- de formaliser la connaissance et l'expérience,
- d'intégrer le savoir des experts et de garantir la cohérence de sa mise en oeuvre,
- de faciliter la mise à jour de ce savoir, ce qui est indispensable dans un contexte qui évolue avec le gisement et avec la technologie.

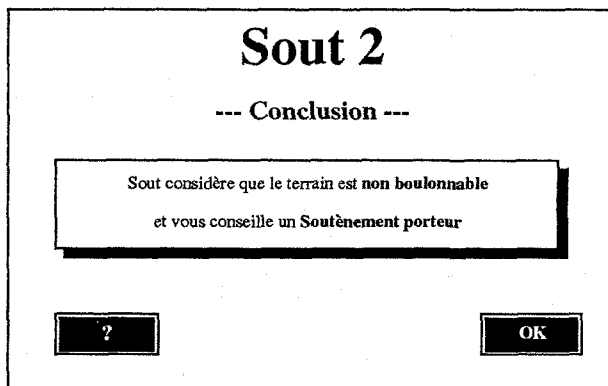


Figure 1 : Exemple de conclusion du SIAD Sout 2 concernant le type de soutènement à mettre en place.

### 1.2 Les systèmes à base de connaissances

#### 1.2.1 Généralités

Jusqu'en 1983, produire un système expert consistait en général à interroger un expert quant à son expertise et à la coder directement ; chaque règle correspondait à la réponse de l'expert à un problème dans un contexte donné. La connaissance et le savoir faire étaient mêlés étroitement. Cela conduisait à des systèmes qui certes fonctionnaient, mais dont le développement était plus ou moins anarchique, et surtout " fragiles " et difficiles à maintenir.

Depuis 1983, on parle de systèmes experts de seconde génération pour désigner les systèmes où l'on code de façon déclarative la connaissance indépendamment de la façon dont on l'utilise; on met ainsi en évidence des modèles de domaines spécifiques (classification, conception, diagnostic...) qui permettent de définir également des méthodes spécifiques d'acquisition des connaissances relatives à ces domaines.

Les explications fournies par les systèmes ainsi conçus sont beaucoup plus qu'une simple réexposition des règles ; ils sont moins fragiles, fondés qu'ils sont essentiellement sur des principes caractéristiques d'un domaine plus que sur des heuristiques ponctuelles.

La réflexion fondamentale sur la nature de l'expertise a depuis conduit à décrire plus finement des niveaux de connaissance [ Newell,1991 ] ; on distingue ainsi maintenant les tâches (ce qu'il y a à faire et dans quel contexte), des modèles (quel type d'information est disponible), et des méthodes (comment utiliser au mieux l'information pour tel type de tâches).

On peut préciser d'ailleurs qu'en ce qui concerne l'acquisition des connaissances relatives aux domaines d'application, on s'adresse plus aux spécialistes qu'aux experts (pour reprendre la distinction classique entre le spécialiste, dont le savoir est public, attesté par les livres et les publications, et l'expert, dont le savoir est essentiellement privé et fondé sur une expérience personnelle difficilement transmissible). La difficulté de l'acquisition des connaissances consistant plus en un problème d'interprétation et de modélisation qu'en un simple transfert au système informatique, la collaboration avec les spécialistes du domaine permet de simplifier cette phase.

Ces avancées, combinées avec l'utilisation systématique du formalisme objet, permettent maintenant de concevoir des systèmes qui réutilisent des modules développés pour d'autres applications, pour peu qu'ils correspondent à des domaines semblables ; on envisage même le partage de bases de connaissances.

De nouvelles architectures permettent d'aborder le problème de l'expertise hétérogène, celle qui résulte de la diversité des approches proposées pour résoudre un cas précis, mais aussi celle qui résulte tout simplement de la diversité des experts consultés. On parle alors de système multi-experts.

Les outils graphiques disponibles en standard sur la plupart des environnements informatiques ont grandement simplifié la réalisation d'interfaces utilisateurs conviviales (cf. § 3.1, figure 2).

Enfin, les systèmes ne sont plus isolés ; ils peuvent communiquer avec des applications standard mieux appropriées pour gérer les calculs numériques (tableurs ou codes de

calcul) et les informations de l'entreprise (bases de données). Cette intégration dans l'informatique "classique" des utilisateurs simplifie la mise en place de ces systèmes ; de moins ésotériques ils en deviennent plus "utilisables".

### 1.2.2 L'art de la mine

La conception et la conduite d'une exploitation minière relève plus d'un véritable "art" que d'une technique ou d'un ensemble de techniques. Les savoirs qui sont impliqués sont multiples. Cet "art de la mine" est un terrain propice à l'utilisation des méthodes de l'intelligence artificielle et plus particulièrement de celles qui permettent le développement de systèmes à base de connaissances. Là où les méthodes classiques d'optimisation n'apportent que des réponses partielles, les systèmes experts contribuent à intégrer la complexité des domaines concernés et des tâches à résoudre. Envisagés comme des systèmes d'aide intelligente à la décision, ils remplissent une mission d'assistance auprès des exploitants plus qu'ils ne "remplacent" les experts.

En fait, l'évolution de la recherche en systèmes experts telle que nous l'avons relatée ci-dessus n'a été prise véritablement en compte que tardivement dans notre projet Sout ; la raison évidente en est que le développement a été le fait d'ingénieurs et de chercheurs concernés principalement par la géotechnique des exploitations minières et informaticiens par nécessité, plus que celui de professionnels de l'intelligence artificielle.

## 2. Historique du projet Sout

Le projet Sout a démarré en 1985 et on peut dire qu'il a traversé, à l'image de l'intelligence artificielle et de ses applications, les trois époques suivantes :

### 2.1. Les débuts : le mythe de l'expert artificiel (de 1985 à 1988)

En 1985, lors de la grande époque de l'intelligence artificielle et des systèmes experts en particulier, Charbonnages de France (CdF) a décidé de confier au CERCHAR<sup>2</sup> la réalisation d'un système expert d'aide au choix du soutènement, avec l'idée assez répandue à l'époque, de «remplacer» les experts en soutènement. C'est ainsi qu'est né le projet Sout.

La réalisation de la base de connaissances de cette première version s'est déroulée en plusieurs étapes, conformément aux recommandations classiques de l'époque [Waterman 86].

<sup>2</sup> Centre d'études et de recherches des Charbonnages de France, devenu depuis INERIS.

**1985** : Réalisation d'une maquette de démonstration.

Au cours de cette phase, une première base de connaissances a été réalisée à partir d'une trentaine de règles. Elle a permis de tester la faisabilité du projet et de cerner les premiers problèmes liés à son développement [Baroudi 85].

**1986 à 1987** : Réalisation d'un prototype de recherche.

Après une période transitoire de quelques mois, destinée à familiariser avec le domaine minier, les personnes impliquées (par l'intermédiaire d'études bibliographiques, de visites de mines et de contacts avec les exploitants), on a abordé le développement règle par règle de la base de connaissance, en prenant soin de tester chaque règle sur un certain nombre de cas judicieusement choisis.

En plus des tests effectués au CERCHAR, plusieurs démonstrations étaient présentées dans les mines, futures utilisatrices du produit.

A la fin de cette phase, la base de connaissances contenait près de 250 règles.

**1988** : Réalisation d'un premier «produit final». Fin 1988, une version 0.1 de Sout est achevée [Baroudi & Revalor 88]. Cette version aurait dû servir dans les unités d'exploitation pour choisir de manière indépendante, i.e. sans intervention d'un spécialiste humain, le type de soutènement dans une galerie donnée.

### 2.2 La déception : Analyse de l'échec de la première phase (de 1989 à 1992)

A la fin des années 80, on s'est aperçu que les systèmes experts avaient du mal à tenir leur principale promesse («remplacer les experts»), et un sentiment général de déception s'installe. Le projet Sout n'y échappa pas. Outre un manque cruel de convivialité et un manque d'intégration (aucun interfaçage direct avec des bases de données existantes, peu d'accès immédiat à des programmes de calcul analytique ou numérique), on s'est vite aperçu qu'il y avait peu de chances pour que Sout "remplace" l'expert en soutènement. Le système Sout 0.1 resta alors en l'état jusqu'en 1992.

### 2.3 Le réalisme : les Systèmes Intelligents d'Aide à la Décision (depuis 1992)

Depuis le début des années 90, on assiste à un nouvel essor de l'intelligence artificielle et à une redéfinition du rôle des systèmes experts : ce sont des systèmes d'assistance et d'aide que des systèmes destinés à remplacer les experts. Une collaboration s'est alors établie entre l'INERIS, et nos collègues des charbonnages allemands : la DeutscheMontanTechnologie. Cette collaboration ainsi que les travaux de recherche et d'ingénierie réalisés depuis 1992 sont décrits en détail au paragraphe suivant.

### 3. Evolution du projet SOUT depuis 1992

La version 0.1 de Sout, achevée en 1988, est malheureusement restée très peu utilisée et peu d'efforts ont été consacrés à sa maintenance. L'intérêt de DMT, depuis Juillet 1992 pour les systèmes à bases de connaissances dans le domaine minier en général, et pour Sout en particulier, nous a permis, d'une part, de maintenir jusqu'à aujourd'hui une veille technologique dans le domaine des systèmes à base de connaissances, et d'autre part d'améliorer considérablement l'implémentation informatique de SOUT. Ce soutien de DMT nous a permis de "professionnaliser" le prototype expérimental Sout 0.1 réalisé à l'occasion d'une thèse de doctorat d'université [Baroudi 88] pour parvenir à la version Sout 2.0, véritable logiciel robuste, ergonomique et «prêt à l'emploi».

#### 3.1 Re-programmation informatique de l'expertise.

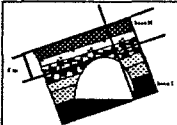
La version 0.1 de Sout était principalement destinée à démontrer l'intérêt et la faisabilité d'un système expert dans le domaine minier.

Cette version Sout 0.1, bien que comportant une excellente expertise dans les domaines de la géotechnique et de l'exploitation minière, ne tirait pas pleinement parti des nouvelles méthodologies des systèmes à base de connaissances. La réalisation informatique n'était pas non plus conforme aux exigences actuelles en terme de facilité d'utilisation et de robustesse. Les interfaces étaient peu conviviales et chaque mauvaise utilisation du prototype, ou l'introduction de données non prévues provoquait un "plantage" du programme.

Dans la version Sout 2.0, [Thoraval & al 94], [Sbiereczik & al 95], nous avons mis l'accent sur une programmation selon les règles de l'art en intelligence artificielle, en te-

**Acquisition des caractéristiques du terrain**

Banc:	Nature:	Epaisseur: (en m.)	Résistance: (en bars)
banc 3	calcaire	10	900
banc 2	charbon	2.20	150
banc 1	schiste	1	400



**Pourquoi ?**

**Continuer**

Figure 2 : Ecran graphique de saisie de la stratification au toit de la galerie.

<sup>3</sup> NexpertObject® est un générateur de systèmes experts développé par la société Neuron Data®

<sup>4</sup> Toolbook® est un générateur d'interfaces développé par la société Asymetrix®

nant compte des résultats récents des recherches dans ce domaine, tout en intégrant l'expertise de Sout 0.1.

Nous avons également prévu, par l'intermédiaire de fichiers externes, la possibilité pour l'utilisateur de créer une «banque de données», lui permettant de conserver des jeux de données «types». Ce stockage sur fichiers externes permet aussi de réaliser de véritables «backtracks» (retours en arrière du raisonnement), possibilité non offerte directement par NexpertObject®<sup>3</sup>.

Finalement, nous avons créé, avec Toolbook®<sup>4</sup> de véritables interfaces graphiques conviviales, tirant parti au maximum des possibilités offertes par la souris, les menus déroulants, les écrans graphiques, les boutons etc. (cf. figure 2).

**--- Justification : Terrain non boulonnable ---**

Sout considère que le terrain est non boulonnable pour deux raisons :

- 1. La zone étudiée est en état de surcontrainte :**  
Dans le cas de la galerie étudiée, le calcul de l'influence des anciennes exploitations a déterminé que la zone étudiée était en état de surcontrainte. Cela constitue un critère de non boulonnabilité fort, vu la capacité de soutènement généralement limitée et de toutes façon inférieure à celle d'un soutènement porteur.
- 2. Les couches de faible résistance affleurantes en couronne sont trop épaisses.**  
Dans le cas de la galerie étudiée, le calcul des couches de faible résistance et affleurantes en couronne a déterminé que celles-ci représentaient une épaisseur de plus de 1 m. dans le toit. En effet, il s'agit d'une couche de charbon de 2.20 m. d'une résistance de 150 bars. Cette couche est difficile à maîtriser et cela constitue un critère de non boulonnabilité.

Sout déconseille donc fortement le boulonnage de la galerie et conseille un soutènement porteur.

**OK**

Figure 3 : Exemple de conclusion du SIAD Sout 2 concernant le type de soutènement à mettre en place.

Un effort particulier a été fait, lors du développement de la version 2.0 de Sout, pour illustrer de façon interactive le raisonnement et pour expliquer et justifier les résultats du système (Cf. figure 3).

Les utilisateurs n'ont en effet confiance que dans les résultats dont ils peuvent obtenir une justification. C'est un point très important pour que l'outil soit accepté et surtout, utilisé. C'est de plus un des atouts pour que le produit serve à des fins de formation.

Ainsi, en actionnant par exemple le bouton «?» de la figure 1, on obtient une justification sur la conclusion de Sout (Cf. figure 3).

#### 3.2 Test du système Sout 2 par les experts allemands

La version 2 de Sout est suffisamment robuste et conviviale pour être utilisée par des novices en systèmes à base de connaissances (aucune connaissance particulière dans ce domaine n'est nécessaire) ; c'est ainsi que Sout 2 a pu être testé et évalué par les experts de DMT.

L'expertise de SOUT a été confirmée dans son ensemble par les experts allemands. Certains points étaient traités différemment en Allemagne mais les ingénieurs reconnaissent l'intérêt de disposer également de l'expertise française, même si elle n'est pas toujours adaptée aux conditions allemandes, du moment que cette expertise est clairement identifiée comme provenant d'experts français.

### 3.3 Le système PLANANK 0.1

En 1994, DMT décide de réaliser, en étroite collaboration avec l'INERIS, le système à base de connaissances «Planung des Ankerbaus» : PLANANK. Le but du projet est d'intégrer à terme, au sein d'un même système, l'ensemble de la connaissance disponible dans les charbonnages allemands en matière de boulonnage des galeries minières afin de réaliser un logiciel complet, traitant de tous les aspects du boulonnage, et pouvant être directement utilisé par tous les ingénieurs de DMT.

Dans un premier temps, DMT a financé en 1994 la conception et la réalisation, sous le pilotage de l'INERIS, d'un système expert de planification du boulonnage dans une voie de taille : «Ankerbaus für Abbaustrecken» (Cf. figure 4).

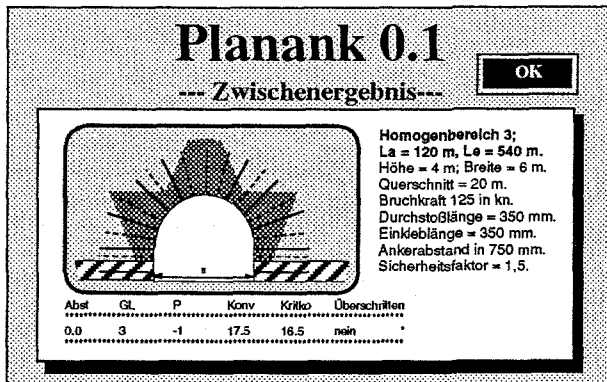


Figure 4 : Le SIAD pour le calcul du boulonnage des voies de tailles allemandes : PLANANK 0.1.

Ce système contient, conformément aux objectifs susmentionnés, la connaissance des spécialistes allemands en matière de boulonnage des voies de taille au creusement. Cette connaissance s'est avérée complémentaire et non contradictoire avec celle contenue dans SOUT.

Par ailleurs, le système PLANANK 0.1 a été particulièrement adapté aux conditions allemandes :

- il tient compte des particularités géologiques des gisements allemands (veines minces, terrains très stratifiés...),
- il intègre directement des programmes de calcul spécifiques réalisés par DMT pour le calcul de la longueur et la densité des boulons,

- il est conforme aux exigences de la législation allemande pour les schémas de boulonnage.

### 3.4 Objectifs pour 1995 : Le système multi-experts franco - allemand SOUT 3

Partant du système expert SOUT 2.0 ainsi que du système expert Planank 0.1, système expert de planification du boulonnage dans une voie de taille [Kouniali 95], nous nous proposons de réaliser un système multi-experts franco-allemand de calcul du schéma de boulonnage dans les galeries minières (Cf. figure 5).

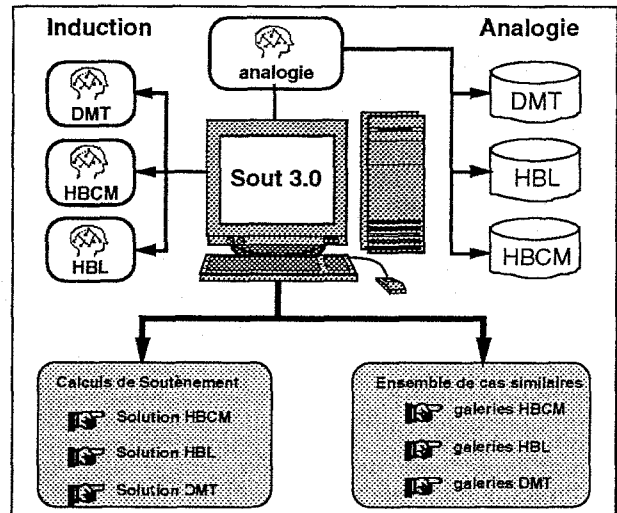


Figure 5 : Organisation du Système Multi Expert SOUT 3.

Ce travail s'effectuera dans le cadre d'un "projet ciblé" centrée sur le boulonnage dans les mines européennes et sera financé conjointement par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA), par Charbonnages de France (CdF) du côté français, et par DMT du côté allemand.

En effet, un des principaux objectifs du projet ciblé en question est la comparaison des différentes méthodes utilisées dans chaque pays pour déterminer le schéma de boulonnage des voies, afin de dégager les règles de la connaissance régissant ces méthodes. Cette connaissance est actuellement contenue, selon les pays, dans les notes de service, les textes législatifs, et surtout dans la tête des experts.

Comme il a été dit ci-dessus (Cf. § 1.2), l'approche multi-expert permet de modéliser le savoir et le savoir-faire de plusieurs experts au sein d'une base de connaissances regroupant les règles de raisonnement utilisées par les ingénieurs spécialistes dans le domaine pour définir et calculer le schéma de boulonnage en question.

Un tel système permettra d'intégrer les connaissances et l'expérience complémentaire de plusieurs spécialistes confirmés ainsi que de disposer d'un outil tout à fait unique pour la formation d'ingénieurs de spécialités différentes (Cf. figure 6).

--- Conclusions : Longueurs ---

Sout vous propose les longueurs suivants :

Auteur	min	max	Fact Cert
Etienne (CBTU)	2.09	2.09	1.00
Barton	2.56	2.56	1.00
Lang	3.00	non déterminée	1.00
Farmer	3.00	4.00	0.40
Dejean Raffoux	2.00	3.00	1.00
DMT/RAG	2.22	3.00	1.00

**OK**

Figure 6 : Résultats de Sout concernant des longueurs de boulons possibles.

Le système multi-experts devra intégrer les connaissances et l'expérience des experts français et allemands dans le domaine du boulonnage afin de pouvoir :

- conserver le savoir et le savoir-faire de ces spécialistes, entre autres pour d'autres spécialistes,
- servir à la formation continue des ingénieurs et des agents de maîtrise au sein de la Ruhrkohle AG (RAG), de CdF ou de DMT,
- disposer d'un outil d'aide à la décision en cas d'absence ou d'indisponibilité temporaire des experts humains.

#### 4. Sout et les évolutions envisagées

Les résultats récents et concluants du projet Sout en tant que SIAD, nous ont poussés à envisager, en collaboration avec nos collègues allemands et français, un système intelligent de planification et de simulation d'une exploitation minière.

La planification d'une exploitation minière comporte, en premier lieu, une série de décisions que nous qualifierons de "décisions de premier ordre" et qui sont très étroitement conditionnées par des considérations sur la géologie et l'histoire du gisement exploité : il s'agit de la géométrie du gisement, de sa régularité, de la position et de l'importance des failles, de l'existence et de la localisation d'anciens travaux, de l'existence, de la localisation et de l'état d'infrastructures préexistantes...

Ces décisions "du premier ordre" vont porter par exemple, sur le découpage des panneaux, l'ordre d'exploitation, la vitesse d'exploitation... Elles pourront être modifiées par la suite.

Ces premiers choix vont impliquer quasi-automatiquement un certain nombre de conséquences (par exemple en termes de créations d'infrastructures nouvelles ou de distribution des "pressions de terrains" dans le massif...). Ces conséquences sont évolutives, en ce sens qu'elles apparaîtront au fur et à mesure de la mise en oeuvre des décisions du "premier ordre". L'ensemble correspond en quelque sorte à une "initialisation" du système.

A partir de là, le projet concret d'exploitation va nécessiter un certain nombre de décisions de «2ème ordre». Leur objet est de permettre que soient remplies les conditions de réalisations des décisions «du premier ordre». Ces choix concernent :

- les méthodes de creusement des infrastructures,
- le soutènement des voies et galeries,
- les méthodes d'abattage dans les chantiers,
- le soutènement des chantiers,
- l'aérage,
- l'exhaure,
- ...

Une deuxième série de conséquences résultent de ces décisions. Elles s'expriment en terme de main d'oeuvre, de matières consommables, en investissements nécessaires, et déterminent des niveaux de production et des coûts.

**Les exploitants souhaitent disposer d'un outil intelligent d'aide à la décision, permettant des modélisations tridimensionnelles poussées, pour effectuer des simulations qui donnent une idée des conséquences des décisions de planification qu'ils envisagent.**

C'est un tel système intelligent de planification et de simulation d'une exploitation minière que nous envisageons maintenant de réaliser.

#### 5. Conclusion

La conception d'un système à base de connaissances est un processus complexe qui ne s'improvise pas. Les règles de l'art impliquées dans la réalisation d'un tel système sont finalement les mêmes que celles qui gouvernent la conduite d'un projet, qu'il soit informatique ou d'ingénierie en général. Les compétences spécifiques relatives au caractère cognitif du projet sont également difficilement contournables ; c'est parce que nous nous sommes décidés à les prendre réellement en compte que les experts et les exploitants se sont mis à considérer Sout comme un outil susceptible de faciliter leur métier et qu'ils ont accueilli favorablement les projets d'extension que nous avons mentionnés.

## 6. Bibliographie

[Baroudi 88] H. Baroudi. Choisir un soutènement des galeries : réalisation d'un système expert. Thèse de Doctorat Ecole des Mines-INPL, Nancy France.

[Baroudi & Revalor 88] H. Baroudi et R. Revalor. Vers un système expert pour le choix d'un soutènement en galeries. - Proceedings of the first canadian conference on computer applications in the mineral industry - Québec - 1988.

[Kouniali 95] S. Kouniali. Entwicklung eines Expertensystems zur Berechnung des Ankerbaus für Abbaustrecken. Rapport interne INERIS / DMT, janvier 1995.

[Newell, 1991] : A. Newell. Unified Theories of Cognition. Harvard University Press, 1991.

[Sbierczik & al 95] : G. Sbierczik, W. Kammer & S. Kouniali. Entwicklung eines Expertensystems zur Optimierung des Streckenausbaus durch Einbeziehen der Abbauplanung : Rapport CECA N° 7220-AB/136, 1995.

[Thoraval & al 94] A. Thoraval, M. Al Heib & S. Kouniali. Amélioration de l'avancement des voies au charbon à grande profondeur : Rapport CECA N° 7220-AB/311, 1995.

[Waterman, 1986] D. A. Waterman. A guide to expert systems. Addison Wesley, 1986.