

# Géotechnique et systèmes experts : bilan de l'expérience SOUT et orientations futures

Yves Gueniffey, Hafid Baroudi, Jack-Pierre Piguet

► **To cite this version:**

Yves Gueniffey, Hafid Baroudi, Jack-Pierre Piguet. Géotechnique et systèmes experts : bilan de l'expérience SOUT et orientations futures. Colloque International "Géotechnique et Informatique", Sep 1992, Paris, France. pp.539-546. ineris-00971848

**HAL Id: ineris-00971848**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00971848>**

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.

**GÉOTECHNIQUE ET SYSTÈMES EXPERTS :  
BILAN DE L'EXPÉRIENCE SOUT ET ORIENTATIONS FUTURES  
GEOTECHNICS AND EXPERT SYSTEMS :  
ASSESSMENTS OF THE SOUT EXPERIMENT AND PROSPECTS**

GUENIFFEY Y.

Laboratoire de Mécanique des Terrains, Ecole des Mines de Nancy, France

BAROUDI H.

Laboratoire de Mécanique des Terrains, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, France

PIGUET J.P.

Laboratoire de Mécanique des Terrains, Ecole des Mines de Nancy,  
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, France

**RÉSUMÉ :**

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 en géotechnique.

Ces outils doivent s'intégrer aux autres moyens informatiques, que ce soit les bases de données nécessaires à l'archivage des informations géotechniques toujours plus nombreuses, qu'aux 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.

Mais surtout, 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 enseignements corroborent les remarques effectuées sur le même sujet dans d'autres domaines d'application, mais aussi une des règles fondamentales de la démarche scientifique: l'accumulation de faits bruts ne constitue pas une théorie.

**SUMMARY :**

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.

These tools must be combined easily with other computer tools from relational 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.

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 modeling step in the geotechnician's work. The so-called "knowledge transfert" succeeds only when it is both a modeling and an interpretation of observationnal data and knowledge of experts in this field.

These teachings reach similar remarks on the same subject made by others in other fields of application. But it also reminds us of a basic law in scientific process: brute facts are not enough to build up a theory.

## **I - INTRODUCTION : LES SYSTEMES EXPERTS, DES OUTILS INTELLIGENTS D'AIDE A LA DECISION**

La technologie des systèmes experts (SE dans la suite du texte) est maintenant bien connue (BONNET et al., 1986), d'autant que le monde des sciences de la terre en a fourni parmi les premières applications vraiment industrielles (BONNET et al., 1982).

Une des principales caractéristiques des systèmes experts est de "séparer" au maximum les connaissances propres du domaine étudié (dans la base de connaissances) d'avec les procédures chargées d'effectuer le raisonnement sur ces connaissances (le moteur d'inférence); on évite ainsi les effets de bords de la programmation classique, mais on garantit surtout une meilleure accessibilité à l'information: on peut ainsi modifier simplement des données existantes ou rentrer des informations nouvelles moyennant une connaissance élémentaire du mode de représentation propre à l'outil. De plus, l'utilisateur final peut accéder plus commodément à l'information pertinente et se concentrer sur la résolution de son problème.

L'outil développé ne vaut essentiellement que par la qualité de la connaissance qu'il "contient", d'où l'importance de la phase d'acquisition de cette connaissance. Si l'on rappelle 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 cette acquisition consiste plus en un problème d'interprétation et de modélisation qu'en un simple transfert de l'expert au système informatique.

Nous centrerons notre communication sur ces deux aspects, l'acquisition et la validation des connaissances d'une part, et le rôle des SE pour l'utilisateur final d'autre part, parce qu'ils nous semblent les plus porteurs d'enseignements, en les illustrant par des exemples issus de l'expérience acquise lors du développement de SOUT.

SOUT est un système à base de connaissances pour l'aide à la décision en matière de choix de soutènement en galeries minières (BAROUDI, 1988). Sa conception a débuté en 1985, pratiquement au début de l'industrialisation de la technique des systèmes experts en France. Le projet s'est terminé en 1988; SOUT est actuellement utilisé sur trois sites (dont un en Allemagne).

## **II - ACQUISITION DES CONNAISSANCES : L'EXPERT ET LA CONNAISSANCE DOCUMENTAIRE**

L'acquisition des connaissances et leur validation constituent, on l'a vu, les étapes cruciales de la conception d'un système expert. Dans SOUT, deux types de connaissances ont été introduites: celles, diffuses, que l'on a extraites de la documentation relative au domaine, et celles que l'on a obtenues en collaborant avec des experts.

### **1 - La connaissance documentaire**

Dans le domaine du soutènement en galeries, on connaît plusieurs synthèses formalisées sous forme de manuels (TINCELIN et al, 1978), (TINCHON, 1986), (CHOQUET, 1987), mais aussi un grand nombre de publications spécialisées.

Un gros travail d'analyse de la bibliographie et des monographies d'experts a permis de repérer des "pseudo-règles" établies en identifiant dans le discours écrit, les éléments logiques équivalents à "SL... ALORS", puis à les valider en règle et les introduire dans la base (BAROUDI, 1988).

Cette démarche nous a demandé un temps relativement long du fait que pour affiner les conditions d'application d'une règle, il nous a fallu souvent fusionner plusieurs textes ou plusieurs auteurs, sans négliger les éventuelles contradictions et les difficultés d'interprétation.

## 2 - Les experts

Le travail effectué à partir de la connaissance documentaire (bibliographie et dossiers de cas) et à partir de discussions informelles avec les spécialistes du domaine, a permis la réalisation d'une maquette de démonstration. L'objectif essentiel de cette maquette était de démontrer la faisabilité de l'approche et de cerner les difficultés techniques (représentation des connaissances, mode de raisonnement,...) et pratiques (choix de l'outil de développement, et du système informatique-NexpertObject sur PC dans le cas de SOUT) liées au développement informatique. Cette première phase a duré six mois.

Une seconde phase a consisté à compléter la base de connaissances par la partie expertise proprement dite. Cette partie, autrement plus complexe parce qu'il s'est agi alors de mettre à plat et d'interpréter le savoir "privé" des experts, a vu l'intervention d'un nouvel acteur en la personne du géotechnicien-cogniticien (GC). En effet, un savoir spécialisé-le génie cognitif (VOGEL, 1988)- est souvent nécessaire pour réaliser cette tâche.

Il nous fallait quelqu'un de familier avec le domaine, qui connaisse les objets fondamentaux du domaine (milieu naturel et ouvrages) et qui soit conscient des enjeux de l'application. Nous avons choisi un géotechnicien-cogniticien plutôt qu'un cogniticien-géotechnicien: d'abord parce que la formation d'un géotechnicien aux techniques pratiques de l'intelligence artificielle est sans doute plus aisée que la formation d'un cogniticien à la géotechnique; ensuite parce qu'un géotechnicien, habitué à l'utilisation de modèles mathématiques parfois complexes, aborde naturellement la technique des SE comme une forme de modélisation à base de connaissances.

Deux experts ont été choisis ensuite; l'adhésion de ces experts au projet a été obtenue suite à une démonstration de la maquette; on peut noter que cette démonstration a suscité un certain enthousiasme. La dimension ludique ainsi créée a simplifié les interviews ultérieurs des experts et facilité les tests de validation finaux (il s'agissait en quelque sorte pour les experts, de "jouer à l'interview" et de "défier la machine").

Pour éviter dans un premier temps les conflits entre experts et les situations de blocage, un sous-domaine précis a été affecté à chaque expert: le premier était le soutènement par boulonnage, le second, le soutènement par cintres ou cadres métalliques.

La connaissance documentaire a constitué un élément fondamental pour le travail du GC avec les experts: souvent on commençait par une "idée" (pas forcément une règle précise, formalisée) issue de la bibliographie, voire d'une monographie de l'expert en question; le développement de l'idée sous forme d'associations libres de l'expert conduisait à une ou plusieurs règles plus ou moins formalisées. Bien évidemment, les questions posées à l'expert ne peuvent, ni ne doivent être conçues à l'avance ou strictement planifiées - une démarche spontanée permet parfois de mieux recentrer la discussion (SCOTT et al, 1991).

Les règles proprement dites ne sont pas écrites en présence de l'expert, la formalisation liée au mode de représentation des connaissances exigé par l'outil de développement ne constitue pas une démarche "naturelle" pour l'expert, ce qui peut perturber le développement de ses idées. Les règles sont montrées à l'expert au cours de sessions d'utilisation du système; elles sont alors placées dans leur contexte, en interaction avec les règles préalablement validées de la base de connaissances.

La difficulté n'est pas tant que l'on ne saurait pas extraire des connaissances, mais plutôt que l'on ne saurait pas trop quoi en faire, comment les organiser.

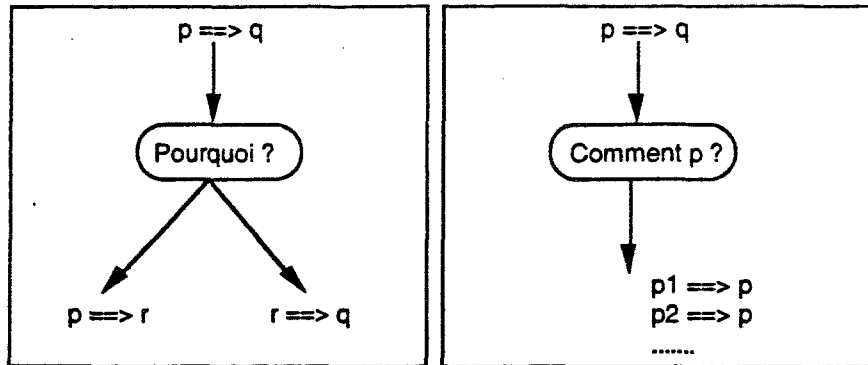
La construction d'un système expert ne consiste pas à établir une correspondance (si tant est qu'elle existe) entre des informations issues de l'expertise et les formalismes d'implémentation. Il faut abstraire, organiser et transformer, en un mot, modéliser.

Deux scénarios étaient souvent mis en oeuvre pour enrichir la base de connaissances:

a) scénario d' "éclatement d'une règle" par analyse de la conclusion:

On se pose la question "Pourquoi ?" sur la partie conclusive d'une règle donnée afin de déterminer un enchaînement intermédiaire plus fin; en cas de réussite, on peut "éclater" la règle en deux (fig. 1a). Par exemple soit la règle initiale:

Règle:       SI            les terrains sont fissurés  
               ET            la densité de fracturation est élevée  
               ET            les fissures sont ouvertes (ouverture > 3 mm)  
               ALORS        l'ancrage à la résine n'est pas recommandé.



a. Scénario d'éclatement d'une règle      b. Scénario d'éclaircissement d'une condition

Fig. 1: Scénarios permettant d'enrichir la base de connaissances

En se posant la question "Pourquoi ?", on éclate cette règle en deux règles, la règle 1 et la règle 2 :

Règle 1 :   SI            les terrains sont fissurés  
               ET            la densité de fracturation est élevée  
               ET            les fissures sont ouvertes (ouverture > 3 mm)  
               ALORS        il y a risque de perte de produit de scellement

Règle 2 :   SI            il y a risque de perte de produit de scellement  
               ALORS        l'ancrage à la résine n'est pas recommandé.

La règle 3 montre bien l'utilité de cette manipulation. On regroupe les mêmes concepts et on précise le raisonnement.

Règle 3 :   SI            terrains irréguliers  
               ET            présence de vides  
               ALORS        il y a risque de perte de produit de scellement

b) Scénario d' "éclaircissement d'une condition" :

On se pose la question "Peut-on préciser la nature de la partie-hypothèse de la règle ?", si oui, on ajoute les règles correspondantes (fig. 1b).

D'autres scénarios s'entremêlent au cours de l'élaboration de la base de connaissances. Il faut néanmoins prendre garde de ne pas aboutir à une "inflation", susceptible de faire perdre au domaine son caractère limité, essentiel à la bonne application de la technologie des systèmes experts.

On peut ainsi développer la base de connaissances d'un système expert dans un domaine géotechnique bien défini. On a utilisé pour SOUT une représentation modulaire des connaissances. La structuration de la base de connaissances finale repose sur la mise en évidence de plusieurs sous-domaines plus ou moins indépendants (connaissances géologiques, hydrogéologiques, de mécanique des roches ou des sols et des connaissances liées aux structures (y compris les matériaux) de l'ouvrage). La gestion de chacun de ces modules autorise une mise à jour simple. Le passage d'un module à l'autre est géré par des règles "stratégiques" fondées sur une analyse précise du domaine. Cette stratégie tient compte par exemple des interactions entre modules.

Le système expert d'aide à la définition d'un programme de reconnaissance pour les tunnels (LAOUINI et al., 1992), montre jusqu'à quel point on peut espérer formaliser les connaissances les plus diverses pour résoudre un problème en géotechnique.

### 3 - Problématique de la validation d'un système expert en géotechnique

La problématique de la validation des modèles numériques pour résoudre des problèmes en géotechnique est bien connue. Le manque de données et la connaissance souvent imparfaite du milieu nécessitent un processus de calage et de validation du modèle. Seule la connaissance du modèle et de ses limites permet d'utiliser les résultats avec un degré de confiance élevé (STARFIELD et al, 1988).

Un système expert est un modèle (non pas numérique mais symbolique, c'est-à-dire à base de connaissances), et il doit également être validé. Puisque le SE est censé simuler le raisonnement d'un expert humain, cette validation peut être vue sous différents angles:

- a) validation du raisonnement du SE, par confrontation avec l'expert; il s'agit alors d'une validation "cognitive" du modèle;
- b) validation des résultats donnés par le SE par comparaison avec ceux fournis par l'expert; elle permet de tester la cohérence du modèle, et parfois, de mettre en évidence des contradictions entre experts, pour peu qu'on en consulte plusieurs;
- c) validation des résultats donnés par le SE par comparaison avec ceux observés sur le terrain. Ce dernier type de validation peut être comparé à la validation d'un modèle numérique. C'est la démarche qui a été principalement adoptée pour SOUT et qui a permis de conclure à un accord global avec ce qui a été observé in situ.

Il faut cependant prendre garde que cette validation n'est pas suffisante:

- a) Le site n'est pas la référence absolue, le soutènement mis en place n'est pas forcément le soutènement optimal. Parfois les choix ne sont pas guidés par des considérations liées au comportement des terrains, mais plutôt par des contraintes d'organisation et de mise en oeuvre.
- b) Les recommandations fournies par SOUT sont parfois plus importantes au niveau du raisonnement adopté, plus qu'au niveau des résultats factuels.

Enfin, il faut considérer ce type de validation comme une première phase qui doit être complétée par une validation par les utilisateurs.

### III - LE SYSTEME EXPERT, OUTIL POUR L'EXPERT

Une autre facette de l'ensemble des fonctions assurées par les SE, est leur utilisation par les experts eux-mêmes, en soutien de leur activité.

Dans cette optique, on attend du SE qu'il rassemble, automatise, et donc augmente la productivité de certaines des opérations couramment effectuées par l'expert humain "en service", et aussi qu'il aide sa mémoire. (Ce dernier a généralement alors participé à l'élaboration de l'outil).

Dans le cas de la géotechnique, et du système SOUT, ce rôle est assuré grâce à différents interfaçages :

#### 1 - Interface avec des modules de calculs

Il s'agit de calculs simples sur lesquels les experts en choix du soutènement s'appuient fréquemment pour leur recommandations (souvent d'ailleurs implicitement).

Ainsi, par exemple, en terrain stratifié et pour des galeries minières de forme quadrangulaire, il est possible d'assimiler les bancs du toit à des poutres, en flexion plus ou moins complexe selon le comportement des appuis et la sollicitation en contrainte horizontale. Le calcul des moments fléchissants, des efforts tranchants et des contraintes résultantes peut soutenir le raisonnement. En l'espèce, il peut aider (mais pas à lui seul) à répondre aux prémisses de la règle suivante, contenue dans SOUT :

SI	terrain stratifié
ET	banc stable existe
ET	ce banc se trouve à moins de 3m de la paroi
ALORS	longueur des boulons minimale = $d + 0,3$ ( $d$ = distance de la paroi à ce banc stable).

En galeries à paroi curvilignes, assimilables en première approximation à des galeries circulaires, le diagnostic, et même la conception du soutènement peuvent être associés aux calculs analytiques classiques des contraintes à la paroi, comparées aux résistances des terrains, pour diverses lois de comportement, ou encore aux déplacements théoriques, fonction du déconfinement, permettant de mettre en oeuvre la méthode convergence-confinement.

A condition, bien entendu, d'être renseigné sur les valeurs des paramètres nécessaires à ces calculs, SOUT facilite donc le travail de l'expert qui souhaite fonder son avis sur des calculs analytiques de ce type, souvent fastidieux, sans avoir à recourir, en parallèle avec la consultation, à d'autres logiciels spécialisés.

#### 2 - Interface avec les références documentaires

Tout expert dans un domaine, dispose de sa bibliothèque personnelle, de ses "bonnes feuilles" dont il a eu l'occasion de vérifier la pertinence.

Cette connaissance documentaire rassemblée, triée, évaluée, constitue d'ailleurs un élément essentiel de son expertise. Elle est recherchée par les non-experts qui seraient vite engloutis, s'ils devaient s'y plonger, dans l'abondance d'écrits suscités aujourd'hui par la plupart des domaines scientifiques et techniques. La gestion de cette documentation sélectionnée, qui a pour caractéristiques d'être évolutive, périssable, et souvent volumineuse, est facilitée par le SE.

Dans notre cas, la connaissance utilisée dans SOUT est, comme on l'a vu précédemment, pour une part assise sur l'analyse des textes de la bibliographie et des monographies d'experts. Cette méthode permet de ne conserver dans la base de connaissances que des éléments "pré-digérés", mais l'accès aux textes bruts est parfaitement envisageable.

Dans le même ordre d'idées, SOUT permet d'accéder à des fiches techniques contenant les caractéristiques techniques des matériels disponibles pour le soutènement, établies généralement avec les informations fournies par les constructeurs (par exemple caractéristiques des différents types de boulons d'ancrage avec croquis éventuels, performances nominales, conditions de mise en oeuvre, etc...).

Il est clair que cette possibilité nécessite une mise à jour méthodique et régulière, qui relève de la maintenance du logiciel. Nous envisageons à cet effet l'utilisation des facilités multimédias proposées par les nouveaux interfaces graphiques disponibles sur PC (Windows).

### **3 - Interface avec des bases de données**

Dans la démarche de l'expert, les expériences, vécues ou appropriées par lui, sont invoquées devant les nouveaux cas, et inspirent souvent un raisonnement "par analogie". Ceci est tout particulièrement vrai en géotechnique. Les limites de cette méthode sont fixées par celles de la mémoire humaine, ses défaillances possibles, les dérives d'appréciations causées par le temps, surtout si l'expérience accumulée est riche et ancienne (c'est ce qui est reconnu comme l'apanage des meilleurs experts). Il est donc précieux de pouvoir accéder commodément aux informations objectives correspondant à cette expérience, rassemblées et sauvegardées dans une base de données.

Cet accès doit être permis, selon des critères choisis par l'utilisateur, qui peut souhaiter par exemple, examiner tous les ouvrages concernés par une certaine gamme de profondeur, et/ou telles conditions géologiques, etc....

Nous avons constitué une base de données de ce type, en liaison avec SOUT. Elle contient, à l'heure actuelle, des informations sur 86 secteurs de galeries minières, pour lesquelles ont été effectués 163 relevés (LAOUNI, 1989)

Pour toutes ces galeries, sont répertoriées les caractéristiques propres (identification, géométrie, profondeur, pendage, nature du soutènement, etc....), la description des conditions de liaison avec les chantiers d'extraction, les caractéristiques des terrains, sur les 8 premiers bancs au toit et au mur, et enfin des informations détaillées sur les modalités de mise en place du soutènement et du garnissage, en distinguant le cas des boulons (longueur, type d'ouvrage, diamètres, etc...), le cas des cadres (intercadre, type d'étais...), et le cas des cintres (distance entre cintres, nombre d'éléments, nombres d'étriers...). Un dernier fichier rassemble quant à lui, les éléments d'appréciation sur l'état de la galerie et son évolution dans les différentes phases de son existence.

Ce fichier contient les informations sur la hauteur restante de galerie après convergence, son état général et l'état du soutènement ventilé sur 3 classes (d'après l'avis des professionnels).

Il est prévu de compléter cette base de données avec des cas des charbonnages allemands, dans le cadre d'une collaboration entamée en 1992.

## **IV - CONCLUSION**

Pour conclure, il faut rappeler que ce mode d'utilisation du SE, au "profit" de l'expert, ne correspondait pas à l'objectif initial du projet (qui était à l'époque, d'espérer pouvoir "remplacer" les experts). Il s'est imposé dans la pratique de l'élaboration de l'outil, et par son usage. Il semble que ce glissement du SE vers l'outil d'assistance à la décision se soit produit dans beaucoup d'autres domaines (HATCHUEL et al., 1992), et il n'est sans doute pas étranger à la participation des experts à leur construction. En les confrontant à leur fonction, à leurs méthodes, la vogue des SE a contribué, en quelque sorte, à révéler



les experts à eux-mêmes. Ils ont été contraints à prendre conscience de la nature de leur rapport à leurs connaissances, de les organiser, de les formaliser, bref de les modéliser (CLANCEY, 1992). Réputés pour accommoder l'empirisme, les SE ne seraient-ils pas en train de le faire reculer?

## V - REFERENCES

- BAROUDI H., 1988  
Choisir le soutènement des galeries : réalisation d'un système expert.  
Thèse de Doctorat Ecole des Mines-INPL, Nancy - France.
- BONNET, A. et al., 1982.  
LITHO, un système expert inférant la géologie du sous-sol.  
Technique et Science Informatiques.
- BONNET, A., HATON, J. P., TRUONG-NGOC, J. M., 1986  
Systèmes experts. Vers la maîtrise technique. Interéditions.
- CHOQUET P., 1987  
Guide d'utilisation du boulonnage. Département de Mines et Métallurgie  
Université LAVAL. Sainte Foy. Québec, 1987.
- CLANCEY, W.J., 1992.  
Model construction operators. Artificial Intelligence (53) 1-115.
- HATCHUEL, A., WEIL, B., 1992.  
L'expert et le système. Economica
- LAOUINI, 1989.  
Choix du soutènement en galerie. Réalisation d'une base de données. Mémoire de DEA,  
Ecole des Mines-INPL.
- LAOUINI, DEFFAYET, ROBERT et GUENIFFEY, 1992.  
Développement d'un système expert d'aide à la définition d'un programme de  
reconnaissance pour les tunnels.  
Colloque International Géotechnique et Informatique, Paris.
- STARFIELD A.M., CUNDALL P.A., 1988  
Toward a methodology for rock mechanics modelling. Int. Journal of Rock Mech., Vol.  
25, No.3, pp 99-106.
- TINCELIN E., P. SIMON, 1978  
Mode d'action et règles du boulonnage. Document S.I.M. B4 1978.
- TINCHON L., 1986  
Le soutènement du toit en galeries dans les Charbonnages de France. Revue de l'Industrie  
Minérale, Novembre.
- SCOTT, A. et al, 1991.  
A Practical Guide to Knowledge Aquisition. Addison Wesley.
- VOGEL, C., 1988.  
Génie cognitif. Masson.