HAL
open science

Développement d'un système expert d'aide à la définition d'un programme de reconnaissance pour les tunnels

H. Laouini, M. Deffayet, A. Robert, Yves Gueniffey

To cite this version:

H. Laouini, M. Deffayet, A. Robert, Yves Gueniffey. Développement d'un système expert d'aide à la définition d'un programme de reconnaissance pour les tunnels. Colloque International "Géotechnique et Informatique", Sep 1992, Paris, France. pp.571-578. ineris-00971849

HAL Id: ineris-00971849

https://ineris.hal.science/ineris-00971849

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.

DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT D'AIDE À LA DÉFINITION D'UN PROGRAMME DE RECONNAISSANCE POUR LES TUNNELS
DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM TO ASSIST IN DEFINING A RECONNAISSANCE PROGRAMME FOR TUNNELS

LAOUINI H.
Laboratoire de Mécanique des Terrains - INERIS - Ecole des Mines de Nancy, France
DEFFAYET M, ROBERT A.
Centre d'Etudes des Tunnels, France
GUENIFFEY Y.
Ecole des Mines de Nancy, France

RÉSUMÉ : La définition d'un programme de reconnaissance pour un projet de tunnel s'efforce de prendre en compte le plus complètement possible le contexte particulier de chaque ouvrage, ainsi que l'ensemble des informations géologiques et géotechniques disponibles. La formalisation sous forme de règles de l'expérience acquise dans ce domaine, et son traitement par système expert permettent d'aider le spécialiste dans son choix d'un programme de reconnaissance adapté à la détermination de l'existence et à l'évaluation de l'ampleur des principaux problèmes posés par le cas étudié.

ABSTRACT : Defining an investigation programme for a tunnel project must endeavour to take into account as completely as possible the peculiar conditions of each structure, along with all available geological and geotechnical information. Formalizing as rules the experience gained in this field and processing it by means of an expert system assist the specialist in his selection of an investigation programme adapted to the determination of the main problems arisen by the investigated case, and to the evaluation of their extent.

I - INTRODUCTION - Pourquoi un système expert pour la reconnaissance des tunnels ?

Dans le cadre de l'étude d'un ouvrage souterrain, la stratégie de reconnaissance est essentiellement orientée vers la collecte de toutes les informations permettant d'estimer correctement le degré de difficulté de réalisation de l'ouvrage et par suite son coût.

Les reconnaissances seront tour à tour d'ordre géologique, hydrogéologique et géotechnique, chacun de ces aspects précisant un certain nombre de paramètre significatifs pour le projet.

La reconnaissance des terrains fait appel à un large domaine de connaissances (géologie, mécanique des sols, des roches, comportement des structures...) pour lesquelles le savoir des spécialistes repose sur des raisonnements dont l'enchaînement n'est pas prédéterminé, mais s'adapte au contexte, à la nature et la qualité des informations disponibles, qu'il s'agisse d'indices qualificatifs ou de mesures précises.

Colloque International "'Géotechnique et Informatique",
Paris, 29-30 septembre-1er octobre 1992, pp. 571-578.

Par exemple, dans certains cas, des données partielles provenant d'essais réalisés antérieurement dans le voisinage, pourront être utilisées, sous réserve de s'assurer de leur validité ; dans d'autres cas la carte géologique et un levé de terrain sommaire constitueront les seuls éléments disponibles pour orienter une étude préliminaire de faisabilité. La multiplicité des situations possibles rend ainsi difficile la mise en oeuvre d'une approche procédurale du raisonnement ; cela supposerait en effet qu'un ordre précis dans l'utilisation des informations puisse être défini, et applicable à tous les projets, ce qui ne correspond pas à la réalité.

D'autre part, tous les experts n'utilisent pas la même stratégie de résolution et un programme procédural exigeant le choix définitif de quelques unes de ces stratégies ne serait pas forcément bien admis par les utilisateurs.

Par sa capacité à traiter des connaissances incertaines ou incomplètes, dans un enchaînement non prédéterminé, le système expert se prête tout à fait à la spécificité du problème posé. De façon comparable à la démarche de l'expert, les informations disponibles s'imbriqueront pour situer le cas particulier étudié dans l'ensemble exhaustif des problèmes habituellement rencontrés lors de la réalisation d'un ouvrage souterrain.

II - CONCEPT ET REALISATION DU SYSTEME EXPERT

1 - Rappel sur les particularités d'un système expert

Un système expert est un programme informatique manipulant une grande masse de connaissances relatives à un domaine déterminé. Les connaissances proviennent entre autres de l'analyse et de la formalisation du savoir-faire d'experts chevronnés. Ce type de programme permet d'assister des spécialistes dans leur tâche de décision ; ils ont en effet l'avantage de permettre des échanges d'informations entre l'utilisateur et la machine, dans un langage "naturel". Ils savent, en outre, expliciter le raisonnement suivi en cours de consultation.

L'architecture de base des systèmes-experts, devenue désormais classique, est composée de :
1 - La base de connaissances : elle a pour ambition de rassembler la totalité des connaissances qu'utilise l'expert dans son domaine particulier. Son élaboration requiert la coopération franche et entière d'un spécialiste. Les performances d'un système expert dépendent au premier lieu de la qualité et de l'exhaustivité de sa base de connaissances.
2 - La base de faits (ou mémoire de travail) : elle décrit de façon aussi complète que possible la situation courante ; celle sur laquelle le système est appelé à opérer. La base de fait constitue en même temps l'endroit où sont introduites les données du problème et mémorisées les conclusions.
3 - Le moteur d'inférences : il confronte les faits décrits dans la base de faits aux règles ad hoc de la base de connaissances, pour en déduire de nouveaux faits, et conduire ainsi à une solution acceptable du problème.

Confronté à une situation particulière, et malgré le peu d'éléments dont il dispose, le projeteur bâtit une hypothèse qu'il soumet ensuite à l'épreuve des faits. La structure du moteur d'inférences reflète ainsi ce va-et-vient entre la démarche inductive (construction de l'hypothèse) et la démarche hypothético-déductive (consolidation de l'hypothèse).

2 - Démarche utilisée pour notre application

Le moteur que nous utilisons pour notre application est NEXPERT OBJECT*. Il fonctionne sous système DOS associé à l'environnement WINDOWS.

---

* *NEURON DATA*

Par analogie avec la démarche habituelle de l'expert, le système a été conçu sur la méthode du chaînage arrière (mode régressif). Plus précisément, considérant un but (hypothèse sur l'existence d'un problème global), le moteur d'inférences est amené à examiner les chemins conduisant à ce but (sous-problèmes du problème global), jusqu'à ce qu'il atteigne des faits connus (informations fournies) présents dans la base de faits ; il s'agit d'un raisonnement guidé par les buts.

L'intérêt d'une telle démarche est double :

- d'une part, axer d'emblée la réflexion sur les particularités des travaux en souterrain, plutôt que d'effectuer une approche géologique ou géotechnique globale du site, plus vaste et complexe que ne le nécessite le projet à l'étude. Une méthodologie comparable a guidé l'élaboration des recommandations AFTES [1] pour les travaux souterrains, ainsi que celle des principales classifications connues ;

- d'autre part, faciliter la construction du système et l'acquisition de la connaissance. L'interview des experts, pour être efficace, doit nécessairement être ciblée sur des aspects particuliers, préalablement positionnés logiquement dans un schéma cohérent et maîtrisé. Dans cette optique, l'idée de considérer tour à tour chacun des problèmes (§ III), de les décomposer en sous problèmes élémentaires dont on cherchera à définir les causes et les paramètres significatifs, constitue un excellent axe de travail.

3 - Fonctionnement du système

En 1990, une première maquette avait été mise au point pour juger de la faisabilité technique du système expert. La réflexion qui a suivi et sa formalisation ont permis de définir la structure du système (figure 1) et l'organisation des interfaces.

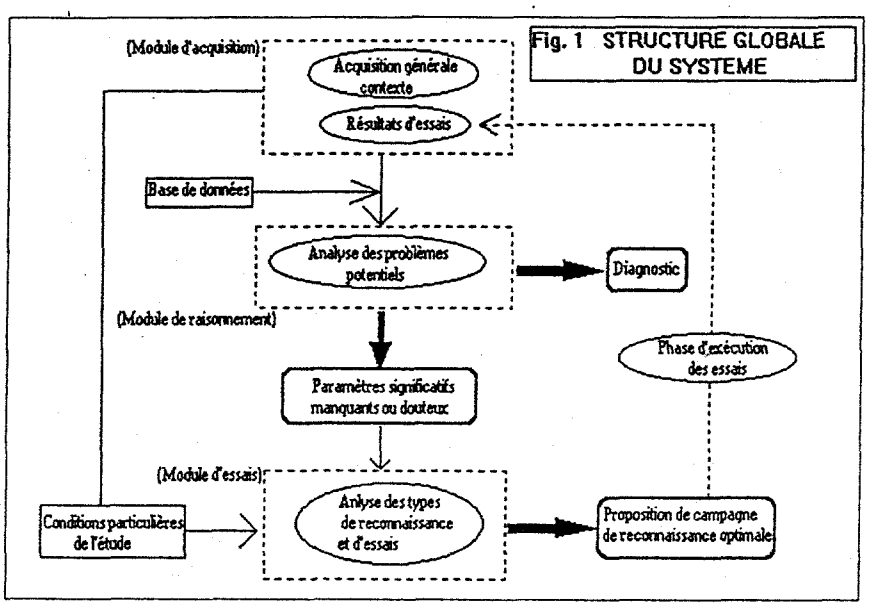

Fig. 1 STRUCTURE GLOBALE DU SYSTEME

Le système se présente sous forme de 3 modules :

a) Le module d'acquisition des données

Ce module constitue la phase de collecte des informations et d'identification des données de l'ouvrage.

* En premier lieu, il convient de fournir au système les indications géométriques du projet (diamètre de l'excavation, hauteur de couverture...) et la nature de l'environnement (site urbain, tunnel de traversée, tunnel de versant...).

* Ensuite un certain nombre de questions sont posées afin de permettre au système de prendre connaissance des premiers éléments (ou indices) disponibles et relatifs au terrain : nature pétrographique, carte géologique, levé de terrain, repérage des points d'eau, données provenant d'un site voisin, etc... Lors de cette phase de travail, le système raisonne sur des tronçons homogènes c'est-à-dire que l'ouvrage aura été préalablement découpé en zones à l'intérieur desquelles la nature pétrographique de la roche, sa résistance mécanique, ainsi que son environnement structural ne varieront pas de manière notable. L'ensemble des conclusions ou déductions de l'expertise se rapporteront ensuite uniquement à ce tronçon.

* Enfin, sont abordés les essais réalisés et les données quantitatives disponibles. Le module d'acquisition doit être adapté aussi bien à une approche globale (phase préliminaire d'étude) que détaillée lorsque des campagnes préalables de reconnaissance auront déjà été effectuées, permettant de fournir des valeurs précises à certains paramètres.

Ce module est réalisé avec TOOLBOOK*, utilisé comme outil de développement de l'interface avec NEXPERT OBJECT.

b) Le module de traitement des problèmes

En travaux souterrains, il est possible de séparer les différents problèmes susceptibles d'être rencontrés en deux groupes :
- un premier groupe rassemblant les problèmes de base, essentiels pour la faisabilité ou les implications d'un projet. Il s'agit des problèmes relatifs à la stabilité du terrain : insuffisance mécanique, discontinuités, présence d'eau, altérabilité. Ces aspects sont largement développés au paragraphe III. On remarquera qu'indépendamment de sa nature lithologique, toute roche peut être confrontée à ces différents problèmes, la nature lithologique intervenant dans une seconde étape du raisonnement pour préciser l'importance du problème et la manière avec laquelle il se manifestera ;
- un second groupe comprenant les problèmes liés à la technique de creusement tels que la dureté, l'abrasivité, l'injectabilité, etc... Ces problèmes ne remettent pas en cause la faisabilité du tunnel, mais participent à l'optimisation de la méthode de creusement choisie.

Une importante partie de la construction du système consiste à décortiquer ces problèmes en formalisant la connaissance qu'on peut en avoir, d'une part à partir de l'expérience bibliographique existante, et d'autre part à l'aide des confidences des experts.

En fonction du nom de la roche rencontrée dans le tronçon étudié, le système puise un certain nombre d'informations dans une base de données associée, ce qui lui permet de formuler un premier diagnostic de la situation. Dans les cas les plus simples, conformément à ce qui se passe dans la réalité, le système, sur ces seules données, pourra rapidement conclure à la bonne faisabilité du tunnel, moyennant un certain nombre de vérifications. Dans les cas plus complexes, ce diagnostic mettra en évidence les difficultés majeures, ainsi que les paramètres à déterminer pour quantifier les risques correspondants.

**ASYMETRIX CORPORATION*

Nous prendrons garde de distinguer ici les données certaines, c'est-à-dire tirées d'essais spécifiques, réalisés dans le cadre de la campagne de reconnaissances, des données plus incertaines soit issues de la banque de données générale, soit provenant d'essais plus anciens et mal documentés et qui ne pourront constituer que des indices dans le raisonnement.

c) Le module de proposition d'essais

Lors du passage en revue des différents problèmes, le raisonnement fait appel à un certain nombre de paramètres nécessaires à l'analyse ; en l'absence des valeurs de ces paramètres, le système poursuit tout de même sa progression en utilisant l'hypothèse la plus plausible, mais en mémorisant la donnée manquante.

Pour la proposition des essais, ces données manquantes ou incertaines seront récapitulées afin de choisir l'essai le plus approprié, compte tenu de la nature de la roche et de l'environnement du projet.
Cette démarche doit permettre d'optimiser la campagne de reconnaissance, en ce sens que le balayage exhaustif des problèmes dès le départ de l'étude devrait rentabiliser au maximum chacun des essais réalisés.

III - PRINCIPAUX SCHEMAS DES PROBLEMES RELATIFS A LA STABILITE

Les problèmes les plus importants rencontrés en travaux souterrains vont constituer pour le système les buts principaux. La démarche de réflexion consiste à analyser systématiquement les associations de faits (ou règles) y aboutissant, et ceci en prenant en compte, d'une façon exhaustive, l'ensemble des causes plausibles.

La figure 2 illustre la démarche utilisée dans la formalisation de la connaissance :

- d'une part des plans horizontaux correspondant aux schémas d'analyse des problèmes principaux, développés quasi-indépendamment de la nature lithologique de la roche,

- et d'autre part, des plans verticaux qui viennent se greffer à des niveaux précis de connaissance, en apportant des informations particulières liées à la nature pétrographique.

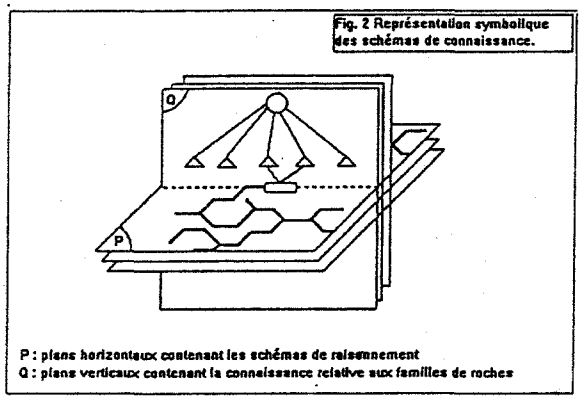

Fig. 2 Représentation symbolique des schémas de connaissance.

Les buts principaux retenus sont : l'instabilité liée à une insuffisance mécanique, l'instabilité liée à la fracturation, l'instabilité liée à l'altérabilité et les conditions hydrogéologiques.

La manière dont sont traités les problèmes relatifs à la stabilité (premier groupe) est développée ci-après :

1 - Le problème d'instabilité liée à une insuffisance mécanique

L'instabilité mécanique peut être la conséquence soit d'une rupture fragile de la roche, soit d'une déformation excessive du massif autour de l'excavation. Ce dernier phénomène concerne plutôt les roches non compétentes, voire les roches compétentes à grande profondeur. Cette forte déformation se traduit par une convergence élevée des parois du tunnel, et un risque de tassement en surface dans le cas d'ouvrages peu profonds.

Le système expert a plusieurs façons de juger de l'existence ou non d'un problème de déformabilité :
- avec des mesures de déformation en grand, résultant d'essais in situ, réalisées dans une galerie d'essais (essais à la plaque, mesure de convergence...),
- avec des mesures de déformation, réalisées soit depuis la surface avec des essais pressiométriques ou dilatométriques par exemple, soit sur échantillons prélevés dans les sondages. De telles mesures nécessitent un post-traitement pour remonter à la déformation en grand,
- avec des indices estimant le risque de déformation importante à partir d'une comparaison entre les contraintes mécaniques induites par le creusement et la résistance du massif.

L'analyse de ces indices est développée dans le système par une méthodologie voisine de celle de Hoek et Brown [2], de façon à prendre en compte la forme particulière de la galerie et le degré de fracturation du massif. Ainsi, sont introduites à la fois la résistance de la matrice (dépendant de la roche à excaver) et la résistance du massif à l'aide d'un facteur de pondération variable selon la densité et la nature des discontinuités. L'analyse, conduite à partir de là avec un rapport Ko tenant compte de la structure et du contexte tectonique permet de conclure à un problème potentiel de compression excessive, ou de traction excessive, à un schéma de rupture probable, ainsi qu'au rôle des discontinuités dans le déclenchement de l'instabilité.

2 - Le problème d'instabilité liée aux discontinuités (cf. figure 3)

Lorsque la matrice rocheuse est suffisamment résistante pour reprendre sans déformation notable les contraintes provoquées par le creusement, le comportement du massif se limite à un réseau de blocs, découpés par les discontinuités, et interagissant les uns avec les autres.

Le problème d'instabilité liée aux discontinuités apparaîtra dans les roches compétentes lorsque l'agencement ou la taille des blocs seront susceptibles de provoquer :
- à court terme, des chutes de matériaux pendant les travaux ou des hors profils importants,
- à long terme, des poussées localisées sur la structure de l'ouvrage réalisé.

Selon les informations fournies par l'étude des affleurements, l'observation des carottes, ou les résultats géophysiques, il sera possible pour le système de distinguer ce que nous appellerons les problèmes de bancs, les problèmes de blocs ou les problèmes de peau ; chacun de ces aspects préfigure un type d'instabilité ou de désordre et l'importance du problème.

Dans chaque cas, respectivement, le système examinera les facteurs d'instabilité, telles que nature et comportement mécanique du remplissage des discontinuités, importance de l'eau et conditions hydrauliques, orientation des discontinuités (critères AFTES [1]), densité de fracturation et direction associée.

La nature pétrographique de la roche (en dehors des milieux stratifiés) peut parfois impliquer une famille principale de discontinuités (cas de la schistosité par exemple), mais généralement l'analyse du problème se traitera de façon assez indépendante de celle-ci, étant donné que, dans cette partie, l'assemblage des blocs a une importance prépondérante par rapport aux blocs eux-mêmes.

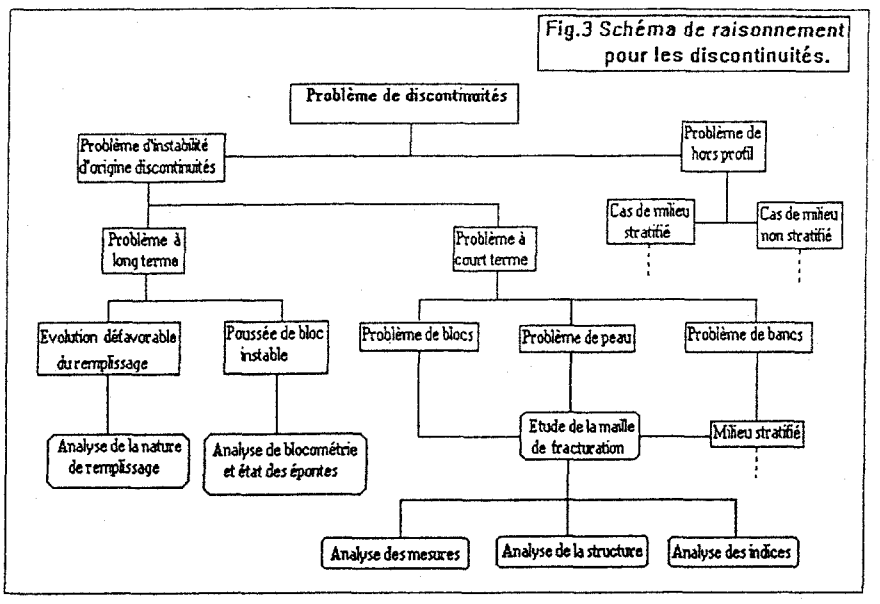

Fig.3 Schéma de raisonnement pour les discontinuités.

3 - Problèmes liés à la présence d'eau

L'eau par son action soudaine et insidieuse, constitue une difficulté majeure en travaux souterrains. Ses manifestations, en cours de construction, peuvent aller du simple inconfort pour les ouvriers jusqu'à l'arrêt total du chantier, alors qu'elles s'exprimeront par des charges supplémentaires sur le revêtement et des phénomènes de dégradations diverses de la structure en phase d'exploitation.

Dans sa démarche, chronologiquement, le système examine tour à tour et vérifie :
- la présence effective de l'eau, la position du tunnel dans le contexte hydrogéologique (en nappe, hors nappe, zone de battement, zone de drainage, accidents),
- le mode de manifestation de l'eau (ou circulation), ce qui sous-entend la caractérisation des venues d'eau : permanentes, non permanentes, soudaines et leur type : diffus ou ponctuel,
- les conséquences de la combinaison des conditions hydrologiques et des manifestations de l'eau.
Cette analyse peut conduire à conclure à l'existence d'un risque : de noyage de chantier, d'instabilité en grand, de boulance, de débourrage, de poussées hydrostatiques, etc...

4 - Le problème d'instabilité liée à l'altérabilité

La prévision, dès la phase initiale du projet, des phénomènes d'altération qui peuvent se développer au sein du massif encaissant est indispensable. Dans l'étude, l'altération a été définie comme étant le résultat d'un processus évolutif de nature chimique, physique ou physico-chimique, et l'altérabilité comme étant l'aptitude d'un terrain ou d'une roche à évoluer sous l'action de facteurs agressifs externes physiques ou chimiques, si le milieu devient favorable à leur manifestation. Dans ce présent schéma, seule la question de l'altérabilité est abordée. Remarquons cependant qu'un matériau altéré aura des caractéristiques mécaniques plus faibles, conformes avec son degré d'altération, et qui seront prises en compte dans l'analyse des autres problèmes.

Les problèmes liés à l'altérabilité sont séparés en deux groupes :

1 - altérabilité à court et moyen terme : ce groupe rassemble les types d'altération dont la durée de manifestation varie de quelques jours à quelques mois, et dans lequel nous inscrivons d'une part l'altération d'origine mécanique où interviennent par exemple la nature de la roche, le système de fissuration, etc... et d'autre part l'altération d'origine physique et chimique comprenant les problèmes spécifiques tels que le gonflement, le retrait, les dissolutions sous l'effet d'agents agressifs ;

2 - altérabilité à long terme : ce deuxième groupe comprend l'altération physique naturelle (effets thermiques, variations de contraintes...) et le processus physico-chimique naturel de dégradation liée à la circulation de l'eau et au drainage.

IV - CONCLUSION

Il convient tout d'abord de préciser que cet outil est encore en phase de développement et qu'en particulier le module de proposition des essais reste en grande partie à élaborer.

Il nous apparaît ensuite intéressant d'insister sur les deux aspects de la formalisation de la connaissance recueillie auprès des experts. D'une part cette opération, consistant à construire un réseau de règles à partir des interviews, exige une analyse rigoureuse et exhaustive des informations fournies "naturellement" par les experts et d'autre part, dans un deuxième temps, à partir d'un premier ensemble de règles nécessairement incomplet, elle suscite des interrogations à l'expert qui sera amené ainsi à fournir des informations "forcées" en explicitant certains processus de déduction qui "naturellement" restaient implicites.

Indépendamment de la mise au point du système expert, l'intérêt de ces deux aspects de la formalisation est de contribuer fortement à structurer logiquement un savoir restant pour une grande part d'origine empirique.

Enfin, devons nous préciser pour terminer que l'objectif de ce système expert n'est absolument pas de se substituer aux experts mais au contraire de devenir pour eux un outil d'aide à la décision, et de "vivre" en s'enrichissant de toutes les expériences traduites en règles que voudront bien lui transmettre les utilisateurs.

BIBLIOGRAPHIE

[1] AFTES (Association Française des Travaux en Souterrain)
"Recommandation pour la description des massifs rocheux utile à l'étude de la stabilité"
Tunnels et Ouvrages Souterrains - N° spécial de juillet 1982.

[2] HOEK E., BROWN E.T.
"Underground Excavations in rock"
Institution of Mining and Metallurgy, 1980.