

COMMENT EXPRIMER ET REPRESENTER LES INCERTITUDES GEOLOGIQUES EN TRAVAUX SOUTERRAINS ?

DESCRIPTION AND DRAWING OF THE GEOLOGICAL UNCERTAINTIES DURING TUNNEL PROJECTS

Jean PIRAUD ¹, Gianpino W. BIANCHI ²

1 - ANTEA, Orléans, France

2 - SEA Consulting, Turin, Italie

RÉSUMÉ – Cette communication expose l'état des réflexions d'un nouveau groupe de travail de l'AFTES (*Association française des Tunnels et de l'Espace souterrain*), créé en 2009 pour faire progresser la description et la représentation des incertitudes géologiques dans les projets de tunnels. Le groupe se penchera aussi sur la méthodologie de l'analyse des risques et sur sa place dans les DCE.

ABSTRACT – The aim of the paper is to explain the state of mind and objectives of a new working group of AFTES (*French Tunnelling Society*), established in 2009 in order to improve the methods of description and drawing of the geological uncertainties. The group shall also define an adequate methodology for performing Geological Risk Analyses and including its results in the tender documents.

1. Présentation de l'AFTES

L'*Association française des Tunnels et de l'Espace souterrain* (AFTES) regroupe l'ensemble des praticiens français des travaux et de l'urbanisme souterrains : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre (ingénieurs, géologues, architectes...), entrepreneurs, chercheurs... Elle comprend 540 membres individuels (dont 68 étrangers) et 145 membres collectifs ; elle organise un congrès international tous les trois ans. Mais elle est surtout connue pour avoir rédigé, depuis les années 1970, une centaine de « Recommandations techniques » qui ont été publiées dans sa revue bimestrielle *Tunnels & Espace Souterrain*. La plupart des textes postérieurs à 1990 sont maintenant disponibles, en français et en anglais, sur son site www.aftes.asso.fr.

2. Les incertitudes géologiques : un sujet mal traité !

Depuis une vingtaine d'années, l'AFTES s'est beaucoup préoccupée des incertitudes inhérentes aux travaux souterrains et de leur conséquences ; elle a publié à ce sujet trois recommandations principales, portant sur :

- la caractérisation des massifs rocheux, œuvre du groupe de travail n° 1 (GT1) ;
- la prise en compte des incertitudes géologiques dans les DCE (Dossiers de consultation des entreprises), œuvre du GT32 ;
- l'incidence des incertitudes sur la gestion des contrats et le coût des travaux, œuvre du GT25 (cf. références détaillées en Bibliographie).

A noter que ces textes, bien que rédigés dans la perspective des travaux souterrains, sont en grande partie transposables aux *autres types d'ouvrages géotechniques*. C'est pourquoi les organisateurs des JNGG 2010 nous ont invités à présenter l'état des réflexions de l'AFTES sur ce sujet.

Quel est le constat actuel ? Très souvent, la représentation des incertitudes géologiques sur les coupes prévisionnelles des tunnels est incomplète, maladroite ou ambiguë, voire absente (cf. Piraud, 1996). De plus, dans le *Mémoire de synthèse géotechnique*, qui est censé exprimer les connaissances (mais aussi les doutes) du maître d'œuvre sur les conditions du site, il y a une confusion fréquente entre les incertitudes de localisation, de fréquence et d'intensité relatives aux phénomènes géologiques incertains (cf. quelques exemples en figure 1). Enfin, on rencontre encore dans la Profession une attitude assez fataliste, voire complaisante, vis-à-vis de ces phénomènes :

- les entreprises y voient souvent une occasion de remettre en cause à leur avantage les conditions du marché;
- inversement, certains maîtres d'ouvrage restent assez évasifs à leur sujet dans le DCE, afin de ne pas donner prise à des réclamations.



Figure 1 - Exemples de phénomènes géologiques incertains :

- à gauche : interface irrégulière micaschiste-cargneule (descenderie de Modane)
- milieu : venues d'eau dans la galerie hydroélectrique de Pont-Ventoux (Piémont)
- à droite : fortes convergences dans la galerie de traitement du tunnel du Perthus

Consciente de cette situation, l'AFTES a considéré que les trois textes de recommandations précités méritaient d'être retravaillés et complétés ; à cet effet, elle a décidé en 2009 de réactiver le groupe de travail GT32, sous l'intitulé « *Incertitudes et risques géologiques* ». Ce nouveau groupe a suscité un vif intérêt, puisque 26 ingénieurs ou géologues s'y sont inscrits, avec des participants suisses et italiens, qui apportent une vision extérieure ; l'activité professionnelle des membres est très diversifiée :

- 12 membres représentent les maîtres d'œuvre,
- 9 les maîtres d'ouvrage,
- 3 l'enseignement et la recherche,
- 2 les entreprises de travaux souterrains.

Ce groupe est animé par les auteurs de la présente communication, dont l'objet est de présenter les objectifs et l'état actuel des réflexions du GT32 – ceci sans préjuger du texte final de la recommandation qui sera publié ultérieurement par l'AFTES à ce sujet.

3. Objectifs du groupe de travail GT32

Les membres du GT32 sont convaincus que les risques géologiques affectant les projets de tunnels doivent être *identifiés, représentés et évalués* aussi tôt et objectivement que possible. De même, les méthodes constructives pour les surmonter et leur mode de rémunération doivent être abordés dès le DCE, puis négociés et validés par les deux parties avant signature du marché de travaux. Le but recherché est que des moyens adaptés soient toujours prévus à l'avance pour faire face aux événements géologiques difficiles à prévoir ou à localiser, et que leur survenance n'occasionne pas d'arrêt de chantier pour cause de « Qui va payer ? », ni de renégociation du contrat, ni a fortiori de contentieux lors du règlement final.

Dans un premier temps, il est convenu que le travail du GT32 se concentre sur la prise en compte des incertitudes géologiques en phase « Etudes et mise au point du marché ». Ultérieurement, il est envisagé qu'il réfléchisse à la répartition optimale des risques entre les différents acteurs (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise, assureur...). Le groupe de travail s'est donc fixé quelques objectifs prioritaires, notamment :

- (1) Définir une terminologie commune pour tout ce qui touche aux incertitudes et risques géologiques ;
- (2) Inventorier et classer les événements géologiques incertains, eu égard à leurs conséquences sur les méthodes d'exécution les plus courantes ;
- (3) Etudier la meilleure façon de décrire les différents types d'incertitudes pouvant affecter un phénomène, un paramètre ou une interface géologique (incertitudes sur les données, sur la variabilité du paramètre étudié, incertitudes liées à l'interpolation, etc.) ;
- (4) Présenter diverses méthodes possibles pour estimer, voire quantifier la fiabilité des prévisions géologiques (cf. Bianchi et al., 2009) ;
- (5) Préconiser des méthodes claires et réalistes pour représenter graphiquement, sur les coupes géologiques, l'incertitude affectant les divers objets géologiques (interfaces entre couches, failles, hétérogénéités, etc.) ;
- (6) Proposer une méthodologie pour mener à bien l'« Analyse des risques géologiques » et établir le « Registre des risques » réclamé par les compagnies d'assurance (cf. *Code of Practice...*, ITIG, 2006) ;
- (7) Définir une procédure pour améliorer la prise en compte et le traitement de ces risques dans les DCE et les marchés de travaux : structuration du DCE, place et caractère contractuel ou non des pièces constitutives, rôle des acteurs dans le processus (cf. J. Robert, 2009).

Nous présenterons ci-après quelques réflexions du GT32 sur deux points, qui font l'objet de sous-groupes de travail spécifiques :

- le premier est consacré à la représentation graphique des incertitudes sur les coupes géologiques ;
- le second aux questions de terminologie.

4. Représentation graphique des incertitudes

Lorsqu'une coupe géologique est affectée d'une forte incertitude, il importe que celle-ci soit bien mise en évidence et que les commentaires faits à son sujet par le

géologue, dans son rapport, soient transcrits aussi clairement que possible. Hélas, il arrive souvent que ces « nuances » initiales soient peu à peu oubliées et que la coupe géologique prévisionnelle, que l'on voit souvent affichée dans les bureaux de chantier, finisse par acquérir un « statut » quasi officiel (la force de l'image !), lequel dépasse largement les intentions originelles du géologue. De plus, on sait que le Mémoire de synthèse géotechnique, qui est en quelque sorte la notice explicative de la coupe, n'est pas forcément lu en détail par tous. Il appartient donc au géologue de tenir compte de cette réalité dans la représentation des informations géologiques qu'il fournit.

Le GT32 s'est penché sur ce problème, qui n'est pas anodin car ses conséquences peuvent induire en erreur certains acteurs insuffisamment avertis, parmi tous ceux qui interviennent dans la chaîne des processus successifs depuis l'étude préliminaire jusqu'à l'achèvement de la construction de l'ouvrage. Le groupe a commencé à analyser les diverses façons de représenter les *interfaces incertaines* (limites de couches, failles, etc.) ; parmi les pratiques explorées, on peut citer, entre autres :

- une hiérarchisation des traits (traits pleins, traits tiretés, pointillés, etc.),
- des plages de couleur de plus en plus claires lorsque le dessin des couches devient de plus en plus hypothétique ;
- une représentation d'hypothèses extrêmes géologiquement vraisemblables (à la manière de ce que font parfois les géologues suisses) ;
- le dessin d'un « fuseau d'incertitude » affectant une interface, lorsque l'abondance de données permet un calcul géostatistique ;
- le rajout d'un « bandeau d'incertitude » sous la coupe géologique, pour visualiser en tout point l'extension de la plage d'incertitude (figure 2).

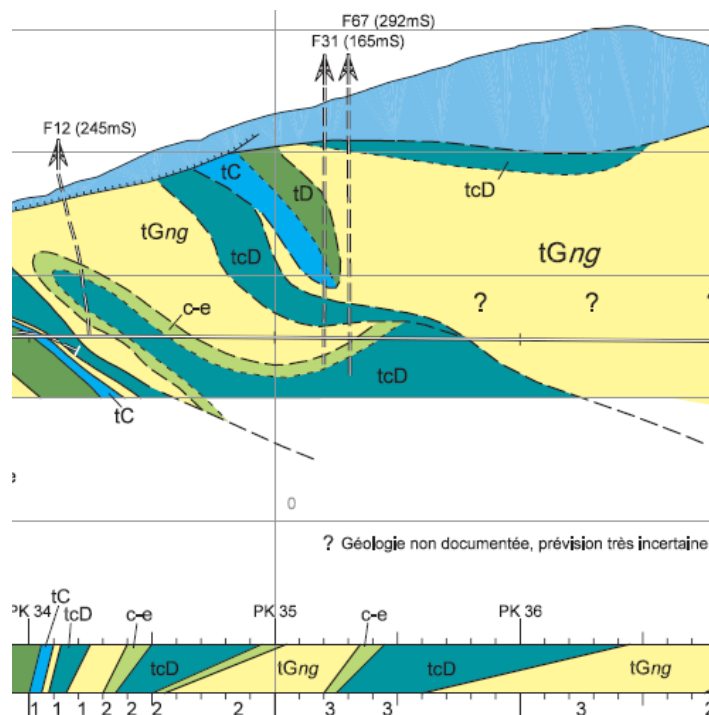


Figure 2 – Extrait de la coupe prévisionnelle d'un tunnel, avec en bas le « bandeau d'incertitude » (les traits sont d'autant plus inclinés que la position de l'interface est incertaine)

Le GT32 s'est également penché sur la manière de bien distinguer, de façon non ambiguë :

- la représentation des informations sûres (données de sondages, levés en galeries, etc.) et celle des interprétations ;
- le dessin des objets géologiques réels (failles reconnues, strates identifiées, etc.), et les « figurés symboliques » (de type plissements, inclusions, stratifications, etc.), qui peuvent parfois prêter à confusion.

5. Terminologie sur les incertitudes et les coupes géologiques

Le GT32 a analysé les différentes normes en vigueur dans le domaine de la gestion des risques. Il a convenu d'essayer de « coller » au mieux au projet de guide ISO 73 « Risk Management – Vocabulary », quitte à redéfinir parfois certains termes « au sens de l'AFTES ». Ainsi, il sera sans doute recommandé d'éviter l'emploi du terme *aléa géologique*, ou du moins de le réserver aux phénomènes géologiques extérieurs au tunnel, tel l'aléa sismique.

La notion de *modèle géologique* a aussi été longuement discutée ; il pourrait être défini comme étant l'idée que l'on se fait à un moment donné de la nature des diverses formations, de leur configuration et de leur organisation dans l'espace. Ce modèle est destiné à évoluer et à se préciser au fur et à mesure des reconnaissances ; par définition, il n'existe qu'en 3D, et l'informatique peut lui donner aujourd'hui une existence virtuelle. Les diverses sortes de coupes géologiques élaborées au cours du projet en sont toutes issues, par intersection du modèle avec un plan vertical ou horizontal.

Le GT32 s'est aussi intéressé au document de synthèse final établi par les géotechniciens et utilisé par les ingénieurs de génie civil, lequel comporte en haut la coupe géologique prévisionnelle, et en bas des lignes horizontales décrivant les propriétés géotechniques des terrains traversés (cf. recommandation du GT1 de l'AFTES, 2003) ; il a été convenu d'appeler cet ensemble « *profil en long géotechnique* », de préférence au terme de « maquette géotechnique ».

Sur ces divers thèmes, les discussions sont très animées au sein du GT32, ce qui reflète bien la sensibilité du sujet et ses implications contractuelles. De plus, le travail du groupe devra également prendre en compte la prochaine version du *Fascicule 69 du CCTG-Travaux*, relatif aux tunnels, qui est en cours d'approbation par le ministère français chargé de l'Équipement. Quoi qu'il en soit, le groupe espère pouvoir présenter ses premières conclusions lors du prochain congrès de l'AFTES, qui se tiendra à Lyon du 17 au 19 octobre 2011.

Bibliographie

- AFTES (2003) – Recommandations du GT1 : Caractérisation des massifs rocheux utile à l'étude et à la réalisation des ouvrages souterrains. Revue Tunnels & OS, n° 177, pp. 138-186.
- AFTES (2004) – Recommandations du GT32 : Prise en compte des risques géotechniques dans les DCE. Revue Tunnels & OS, n° 185, pp. 316-327.
- AFTES (2007) – Recommandations du GT25 : Comment maîtriser les coûts de son projet. Revue Tunnels & OS, n° 201, pp. 128-168.

- Bianchi, G.W, Perello P, Venturini G., Dematteis A. (2009) – Determination of reliability in geological forecasting for tunnel projects: the method of the R-index and its application on two case studies. Proc. of ITA-AITES World Tunnel Congress, Budapest, pp. 23-28.
- ITIG (2006) – Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works. Recommendations de l'*International Tunnelling Insurance Group*, traduites en français dans la revue Tunnels & OS, n° 214, nov. 2009, pp. 188-224.
- Lombardi G. (2002) – Les risques géotechniques dans l'évaluation financière des tunnels non urbains. Revue Tunnels & Ouvrages souterrains, n° 173, pp. 321-325.
- Ministère français chargé de l'Équipement – Fascicule 69 du Cahier des Clauses Techniques générales (nouvelle version en cours d'approbation).
- Piraud, J. (1996) – Vers une meilleure maîtrise de l'incertitude propre aux coupes géologiques prévisionnelles. Journées d'études AFTES, Chambéry, pp. 245-250. Ed. Spécifique
- Robert, J. (2009) – L'accompagnement géotechnique indispensable pour la réussite d'un projet – 17^{ème} Congrès int. de Mécanique des sols et d'ing. géotechnique, Alexandrie, vol. 3, pp. 2711-2714.