

L'INGENIERIE DES RISQUES GEOLOGIQUES

Alain BALAN¹, Alain DELHOMEL¹, Pascal D'HALLUIN¹, Bruno LANDES¹

¹ SNCF Ingénierie, La Plaine Saint Denis, France

RESUME - Le développement de l'ingénierie du risque géologique figure parmi les évolutions actuelles marquantes dans la maîtrise de la conduite des projets d'infrastructure.

Par ailleurs, dans le cadre de l'évolution des contrats de partenariat (Partenariat-Public-Privé) pour les projets complexes d'infrastructures autoroutières ou ferroviaires, il est indispensable de mener à bien l'analyse des données des risques géologiques.

L'objet de cet article est de rendre compte de l'approche de la SNCF Ingénierie pour minimiser l'impact des risques géologiques sur la conduite d'un projet tel que les lignes RER, les autoroutes ou les lignes nouvelles à grande vitesse.

La compétence des ingénieurs et des géologues s'exerce dans un contexte incertain, l'intégration d'une ligne ferroviaire ou d'un axe routier dans un paysage urbain ou rural est soumise en raison de l'ampleur des ouvrages à construire à de très nombreuses incertitudes :

- incertitudes sur l'environnement géologique ;
- incertitudes sur le comportement des matériaux ;

L'analyse des risques se fait au moyen de deux grilles, l'une par nature d'ouvrage et l'autre chronologique. Elle est effectuée à partir :

- de la lecture de l'environnement géologique ;
- de l'inventaire détaillé des incertitudes géologiques, géotechniques et hydrogéologiques, et de l'ensemble des reconnaissances à réaliser à chaque étape du projet ;
- du recensement des risques résiduels pouvant affecter négativement le projet.

Et ce recensement s'appuie sur des arbres d'évènements géologiques qui permettent d'identifier et d'évaluer les conséquences de risques en délais et en coûts sur le projet.

1. Introduction

Lors de la conception d'un projet d'infrastructure, face aux différentes options qui se présentent : la prise en compte de la géologie et de ses incertitudes est déterminante car la géologie est souvent une des causes principales des litiges et des contentieux.

Les problèmes, les risques, les aléas et les imprévus ne doivent pas être une fatalité.

L'étroite interaction entre les ouvrages d'art, les ouvrages en et les horizons géologiques justifie une approche rigoureuse des incertitudes pour les lever, des risques pour les couvrir, des aléas et des imprévus pour provisionner leur coût.

L'objectif est de définir le coût à terminaison du projet d'infrastructure à chaque étape de la conception et de la construction grâce à une bonne maîtrise des incertitudes et de leur couverture, en partenariat et à la satisfaction des acteurs de la construction : Maître d'ouvrage et entrepreneur.

La démarche retenue par la SNCF vise à évaluer les incidences potentielles en terme de délai et de coût liées aux risques résiduels, aléas et imprévus géologiques ainsi que les solutions de couvertures les plus adaptées.

2. Les investigations géologiques premières

La compréhension approfondie du contexte lithologique, géostructural, hydrogéologique est donc le premier instrument essentiel pour connaître et gérer à leur origine les incertitudes géologiques par des reconnaissances. L'absence de ces reconnaissances réfléchies est toujours à l'origine des éléments potentiels de contentieux avec les constructeurs lors de l'exécution des travaux.

D'où l'importance d'une évaluation correcte du contexte géologique pendant les phases préliminaires du projet dans le but d'une bonne définition et estimation des reconnaissances.

Parmi les investigations géologiques, il faut distinguer les investigations premières (études analytiques des photos aériennes, levés géologiques et hydrogéologiques de surfaces, investigations géophysiques) des investigations secondaires notamment l'exécution des forages, sondages, tranchées, puits et galeries de reconnaissance.

Les investigations premières permettent d'identifier les incertitudes et géologiques et les secondaires de les lever.

Leur combinaison apporte une amélioration indéniable de la fiabilité du modèle géologique par l'identification des risques prévisibles et la prise en compte des aléas et des imprévus géologiques.

Le contexte géologique peut-être défini par un modèle géologique de référence fiable pendant les différentes phases de projet.

Le modèle est lié à plusieurs paramètres :

. Investigations

- études analytiques des photos aériennes ;
- types des levés géologiques de surface et hydrogéologiques ;
- nombre et types d'investigations géophysiques ;
- cartographie des anomalies géophysiques ;
- nombre et type des reconnaissances géologiques ;
- nombre et type des reconnaissances géotechniques.

. Complexité du contexte géologique

- complexité du contexte morphologique ;
- complexité du contexte lithostratigraphique ;
- complexité du contexte structural ;
- degré d'hétérogénéité qui dérive du contexte géologique local.

A titre de recommandation, le montant de ces investigations géologiques premières devrait être compris entre 1 et 3 % du coût des reconnaissances.

3. L'approche des reconnaissances géologiques

Ces investigations géologiques, qui sont indispensables pour comprendre le contexte géologique et son impact sur le projet, permettent une définition rigoureuse des reconnaissances et une intégration correcte des résultats. Elles permettent aussi d'optimiser la campagne de reconnaissance du fait d'une identification de la nature des incertitudes et de leur positionnement sur le projet.

Cette reconnaissance reste donc l'outil principal pour la définition satisfaisante du modèle. La reconnaissance géologique est déterminante pour l'identification des risques, la caractérisation géologique, géotechnique et hydrogéologique.

Sachant que la définition couramment employée du risque est la mesure d'un danger associant l'occurrence d'un évènement redouté à une estimation des conséquences qu'il produit, il paraît nécessaire de préciser que le risque se différencie de l'aléa ou de l'imprévu selon la possibilité d'identifier ou non l'évènement, de le quantifier ou non, à savoir :

- si l'évènement est non identifiable, on parlera alors d'imprévu ;
- si l'évènement est identifiable et s'il n'est pas quantifiable, on parlera d'aléa ;
- si l'évènement est identifiable et quantifiable, on parlera alors de risques prévisibles.

A l'issue des reconnaissances et malgré leur densité et les imageries géologiques, de nombreuses incertitudes subsistent. Ces incertitudes résiduelles sont de nature à compromettre le respect des exigences du projet et sont donc de deux types :

- les risques prévisibles ;
- les aléas et les imprévus.

Si les risques prévisibles peuvent faire l'objet d'une nomenclature détaillée, le contexte géologique peut laisser présager plusieurs natures d'aléas :

- les cavités ;
- les sols compressibles ;
- les flexures locales des couches ;
- les systèmes de failles,...

Si ces phénomènes sont prévisibles, leurs localisations et leur ampleur peuvent rester une inconnue.

Les résultats des reconnaissances présentent donc toujours des imprécisions qui doivent être prises en compte notamment dans la cinématique des chantiers, les délais et les coûts.

- formations très contrastées et complexes par leur nature de terrain ;
- variations minéralogiques au sein d'un même faciès ;
- hétérogénéités des sols ;
- imprécision sur la position des interfaces entre couches.

Cet ensemble aléas et imprévus géologiques doit faire l'objet d'une provision financière et d'une marge dans la planification du projet.

Maîtriser les coûts d'un projet au cours de sa réalisation commence donc par la nécessité d'en maîtriser les incertitudes et les risques géologiques à chaque étape de sa conception et de sa construction.

4. Les spécificités de la géotechnique

La géotechnique est la discipline qui étudie le comportement des terrains en relation avec la méthode constructive.

Pour cela elle s'appuie sur les différentes sciences de la Terre : géophysique, hydrologie, mécanique des sols, mécanique des roches, géodynamique, géochimie, rhéologie de géomatériaux.

Sa complexité résulte de l'essence même de son sujet : la géologie.

Cette dernière est non visible, n'est reconnue que ponctuellement et ainsi dans tout projet, la part du connu géotechnique reste modeste et s'accroît progressivement par des campagnes de reconnaissances successives et au cours du suivi géotechnique en cours de travaux.

Les incertitudes résiduelles pèsent fortement dans la stratégie des matériaux et du mouvement des terres, les calculs de stabilité des ouvrages en terre, la maîtrise de la construction des remblais et des déblais, et le choix de la méthode de construction d'un tunnel, la définition de la nature de fondation d'un ouvrage d'Art...

Identifier le risque consiste donc en l'établissement d'une liste aussi exhaustive que possible sur la base des reconnaissances effectuées. Ces risques peuvent être représentés sur le modèle géologique identifiant les principales caractéristiques.

L'ensemble indique clairement les points ou zones d'incertitudes, les variabilités des caractéristiques, les interprétations et les extrapolations des paramètres géotechniques.

5. Le dossier Géologique, Géotechnique et Hydrogéologique

Les conditions géologiques ont une très grande incidence sur la réussite d'un projet tant en ce qui concerne la conception que les méthodes constructives des ouvrages linéaires et celles que soient la consistance et la qualité des études de sol pour l'établissement du projet, il peut subsister des incertitudes géologiques portant sur la nature des terrains, leur répartition spatiale et leur comportement.

La démarche d'analyse de risques, notamment géologiques, doit donc être prise en compte pour la réalisation des pièces du dossier de consultation des entreprises.

D'où l'objet du dossier Géologique, Géotechnique et Hydrogéologique (DGGH) de présenter l'ensemble des connaissances géologiques, géotechniques et hydrogéologiques qui ont été acquises aux différentes étapes de l'étude du projet.

Le DGGH a pour objectif d'attirer notamment l'attention des Entrepreneurs sur les incertitudes et les risques géologiques, géotechniques et hydrogéologiques.

Etabli par le Maître d'œuvre, il doit être une pièce de référence claire et précise notamment en cas de litige. Il tiendra donc compte de toutes les données fiables et il ne retiendra parmi les données brutes que celles utilisées pour l'interprétation.

Ce dossier comprend 3 cahiers :

Le cahier A est un recueil de données factuelles à travers notamment les rapports de reconnaissances des sols, loi sur l'eau, données antérieures au projet

Le cahier B constitue le mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique proprement dit, il donne l'interprétation que fait le maître d'œuvre de l'ensemble des données factuelles, avec notamment une caractérisation des terrains.

Le cahier C expose à titre d'information les méthodes constructives proposées par le Maître d'œuvre pour l'exécution des travaux qui ont permis d'établir le Détail Estimatif.

Mais aussi, une maquette géotechnique de synthèse des données

Il est donc recommandé que les différentes pièces d'un marché permettent de traiter de manière équitable les conséquences de ces événements géologiques et de faciliter ainsi le règlement des travaux tout en minimisant les risques réclamatoires.

6. L'analyse des risques

Cette analyse est entreprise par le Maître d'œuvre au stade de la conception du projet finalisé puis validée par le Maître d'ouvrage dans le cadre du DGGH.

Elle comporte deux étapes :

- l'identification des risques

Les risques sont en relation directe avec le degré des incertitudes subsistantes et la survenance d'aléas et d'imprévus ;

- l'évaluation des risques

Chaque risque identifié doit faire l'objet d'une évaluation prenant en compte :

- les actions préventives retenues au stade du projet pour maîtriser et minimiser ce risque, donc son impact potentiel : par exemple, amélioration du sol support ;

- les actions curatives définies préalablement et mises en œuvre seulement si le risque se réalise afin de limiter l'impact : par exemple, traitement des sols.

Cette analyse peut se faire au moyen de deux grilles :

l'une par nature d'ouvrage :

- fondations ouvrages d'art ;

- méthode de construction des tunnels ;

- déblais ;

- remblais ;

l'autre chronologique :

- risques de conception ;

- risques de construction.

L'analyse est effectuée à partir :

- des données géologiques, géophysiques, géotechniques et hydrogéologiques ;

- du recensement des événements pouvant affecter négativement le projet.

Ce recensement peut s'appuyer sur des arbres d'événements des projets antérieurs permettant d'identifier les conséquences de tous les événements ultérieurs possibles donnant naissance aux risques. Et ainsi pourront être établis des arbres de défaillance qui retraceront les causes à l'origine de chaque risque pour le projet considéré.

Cette approche permet de maîtriser ainsi les risques et d'assurer l'atteinte des exigences du client.

7. MERP ®

Le Mémoire d'Evaluation des Risques Prévisibles, développé par Lucien Guttières, qui consiste, pour le Maître d'oeuvre, à identifier les risques résiduels non couverts par la conception et la méthode constructive, est un véritable outil de gestion prévisionnelle des risques pendant la phase de construction.

L'Entrepreneur, en phase d'appel d'offres, doit naturellement compléter cette liste et quantifier l'impact financier. Il a ainsi associé sa compétence à celle du maître d'œuvre et a agit en véritable partenaire pour minimiser l'impact des risques géologiques sur le coût des travaux.

8. Conclusions

Les conditions de réussite, c'est à dire la maîtrise des événements géologiques, sont basées sur la préparation amont du projet par la conduite des investigations, reconnaissances, analyse des risques géologiques en :

- établissant un arbre de défaillance ;
- définissant un projet géologique ;
- mettant en place, dès l'origine, un Comité d'Experts ;
- associant les compétences AMO et Mœ pendant la phase de conception ;
- recourant à un contrat de partenariat avec l'Entrepreneur.

Il convient donc que chaque acteur du projet s'engage dans son domaine de compétence en apportant sa contribution pour la maîtrise du « flou » géologique. Ce « flou » restera quels que soient les nombreux efforts faits pour le réduire par des investigations et des reconnaissances.

La conséquence de cette situation est que, tant la conception que la construction doivent conserver une flexibilité dans l'adaptation du projet au terrain et des provisions suffisantes pour faire face aux conditions inattendues.

La recommandation finale pourrait être que le montant des reconnaissances soit compris entre 5 % et 10 % du coût objectif de l'ouvrage. Ce coût est naturellement fonction de sa nature et de son intégration dans le paysage géologique.

Et l'expérience montre, sans équivoque, que la dérive des coûts d'un projet au cours des travaux est inversement proportionnelle à l'investissement développé au cours des études, notamment en matière de reconnaissances géophysiques, géologiques, hydrogéologiques et géotechniques.

Et dans le cas des ouvrages souterrains, un montant des reconnaissances pouvant atteindre que 2 % peut induire un dépassement du coût objectif des travaux de 100 à 150 %.

Bibliographie

- Balan A., André D., (Géoline 2005) La prise en compte des aléas géologiques dans la conception du tunnel Eole :
- Balan A. (ENPC 2005) Le risque construction, le coût du sol, les recommandations en génie civil
- Balan A., Mudet M., Poitout M.J. (Géoline 2005) Le dossier Géologique, Géotechnique et Hydrogéologique
- Lombardi G. (AFTES N°173) Les risques géologiques dans l'évaluation financière des tunnels non urbains :
- Robert J. (AFTES 2002) L'analyse des risques par la maîtrise des incertitudes lors de la construction d'un tunnel
- Venturini G., Bianchi G.W., Delle Piane L., Demattais A., Perello P., Botte J., (AFTES 2005) Les investigations géologiques indirectes : outil économique et efficace mais sous estimé dans le cadre de la planification et construction des ouvrages souterrains
- Balan A., Guttières L Risque et Maîtrise d'œuvre : un nouveau concept.
- Balan A., Guttières L., Trannoy P., Application du MERP aux travaux souterrains et son intégration aux marchés publics.