

Etudiant : VASKOU Antoine  
Responsable pédagogique : COULOMBIE Claude  
Encadrant sur place : TORRI Riccardo  
Lieu du stage : Turin, Italie

## **Caractérisation géotechnique des ouvrages réalisés à l'air libre dans le cadre de la Nouvelle Ligne Ferroviaire Lyon-Turin**

### Abstract :

La nouvelle ligne ferroviaire Lyon-Turin, réalisé par LTF (Lyon-Turin Ferroviaire) se compose d'un tunnel de base d'environ 57 km de longueur, dont le tracé se situe entre Saint Julien-Mont-Denis à l'Est de Saint-Jean de Maurienne et Suse dans le val de Suse en Italie. Dans le cadre de la réalisation de ce Tunnel, plusieurs ouvrages sont envisagés : des aménagements à l'air libre, des sites de dépôt provisoires et définitifs, les sites d'attaque des descenderies et des sites de chantier. La localisation est évidemment différente pour chacun de ces ouvrages et ils font donc tous face à des problématiques différentes : proximité avec les aquifères superficiels et souterrains, pente, lithologies présentes, proximité avec les ouvrages réalisés auparavant, etc. La législation en vigueur est très complète, et diffère sur certains points entre la France et l'Italie (Loi sur l'eau, Eurocode 7 faisant référence au calcul géotechnique, etc.) : il est nécessaire de travailler en connaissance de cette législation et en la respectant. Chaque ouvrage réalisé devra donc s'adapter aux contraintes géologiques ou non qui lui sont propres, aux contraintes spécifiques liées à ce type d'ouvrage mais également à la législation en vigueur dans chaque pays. Lors du stage que j'effectue cette année à Turin, avec Sea Consulting (groupe GEODATA) en charge de la partie géologie de ce projet, j'ai pu prendre connaissance des différents ouvrages réalisés, en cours de réalisation ou prévus par le projet en lien avec le Tunnel de base, de la législation en vigueur et des différents types de reconnaissances effectuées. J'ai pu également prendre part à des réunions entre personnes qui s'occupent des sites de dépôt des matériaux, ce qui m'a permis d'apprécier le travail d'équipe, notamment comment plusieurs entreprises différentes travaillant sur les aspects différents d'une construction peuvent échanger leurs compétences spécifiques. De plus, je suis capable d'avoir une vision plus globale du projet mais aussi de suivre son avancement sur différents aspects (comme la géomécanique, l'hydrogéologie et la gestion des matériaux d'excavation, par exemple) en ayant accès aux documents livrables composés par des rapports techniques, des cartes et coupes thématiques.

### Présentation de la problématique :

La réalisation de la liaison ferroviaire Lyon-Turin nécessite l'aménagement de deux types principaux de sites à l'air libre : 1) certains faisant partie intégrale de la ligne ferroviaire tels que les bâtiments des gares, les ponts, les viaducs et les ouvrages accessoires et 2) en lien avec l'exécution des travaux, au voisinage de l'entrée des têtes des tunnels et des descenderies : il s'agit des sites de dépôt (provisoires ou définitifs) et des sites de chantier. Ce stage ne concerne que les sites décrits en 2).

Concernant les sites de dépôt provisoires : ils servent à stocker les matériaux qui seront plus tard valorisés pour faire les agrégats nécessaires à la réalisation du tunnel, utilisés pour faire des remblais ou alors stockés en l'attente du stockage sur les sites de dépôt définitifs (besoin d'un compactage par des matériaux plus dense, avant de stocker des matériaux qui le sont moins, par exemple).

Concernant les sites de dépôt définitif : ils correspondent généralement à des dépressions topographiques d'origines naturelle ou anthropique ou à d'anciennes carrières. La mise en dépôt des déblais va contribuer le plus souvent à restituer une morphologie plus régulière, voire à améliorer le paysage après une nouvelle croissance de la végétation, et parfois à supprimer certains risques naturels. Une caractérisation géologique, géotechnique et hydrogéologique est nécessaire pour chaque site pour assurer la stabilité du dépôt, l'impact sur les aquifères, etc. Les sites de dépôt définitifs, au jour d'aujourd'hui, sont au nombre de 5.

Concernant les sites de chantier : ils sont situés au niveau des têtes du tunnel et des têtes des descenderies et sont destinés aux installations de chantier nécessaires pour les desservir. Les descenderies (à l'état actuel réalisées) sont au nombre de trois : une à Saint-Martin La Porte, une à la Praz et la dernière à Modane, toutes espacées d'environ 10 km. Elles interceptent le Tunnel de base et ont plusieurs rôles : en premier lieu elles sont conçues comme des galeries de reconnaissance servant à affiner le modèle géologique en profondeur et au niveau du tunnel de base, caractériser de façon plus précise les problèmes identifiés ou non identifiés lors des forages/reconnaitances (eaux d'exhaure par exemple), deuxièmement à servir d'accès aux véhicules de chantier lors du creusement de l'ouvrage principal et finalement à servir d'aération/évacuation en phase de fonctionnement de la ligne, notamment en accueillant des stations de sécurité.

La problématique principale est de vérifier que ces sites, qui ont été choisis principalement pour des raisons de topographie, de proximité, de condition d'accès ou d'environnement ne présentent pas de caractères rédhibitoires, qui les rendraient impropres à leurs fonctions ou qui nécessiteraient de coûteux travaux de stabilisation ou de protection. Il faut également s'assurer que les risques identifiés ne seront pas aggravés lors de la réalisation des travaux prévus. Les risques naturels affectant les ouvrages à l'air libre doivent être identifiés : ils sont le plus souvent liés aux régimes hydrauliques des torrents et des rivières, telle l'Arvan au niveau de Saint-Jean de Maurienne et aux dynamiques gravitaires.

#### Méthodologie utilisée pour répondre à la problématique :

Concernant les sites de dépôt :

Pour répondre à la problématique, il est nécessaire, pour les sites de dépôt, de définir le contexte géologique, hydrogéologique et les risques naturels affectant chaque site. Il faut ensuite proposer les travaux et les aménagements envisagés pour la prévention de ces risques.

- Contexte géologique : il s'agit de caractériser la pente et la géomorphologie du site en premier lieu. La présence de falaises est également un élément important. Il faut ensuite caractériser les dépôts qui y sont présents : sont-ils récents ? Dans le cas d'un site se situant au niveau d'une ancienne carrière par exemple, les dépôts sont bien souvent récents et peuvent indiquer une instabilité liée à l'activité anthropique de carrière. Savoir si un dépôt est récent peut se vérifier en observant le terrain et les roches directement sur les affleurements (cassures fraîches et cassures anciennes n'ont pas le même aspect) ainsi que par la taille des blocs présents sur le terrain et leur cohésion afin de pouvoir être capable d'identifier les zones sujettes à des instabilités,

ou encore sur la végétation marquée par la chute de blocs. De la même manière, il faut caractériser les dépôts sur l'ensemble du site (amont, aval, Est, Ouest, Nord, Sud) et proposer des solutions adaptées

- Contexte hydrogéologique : il s'agit d'identifier les nappes d'eaux potentiellement présentes sur le site, et à quelle profondeur. Il est important également de vérifier si aucune source d'eau potable utilisée par la population ne se trouve sur le site ou à son voisinage, car les matériaux stockés peuvent avoir une chimie particulière et donc polluer ces sources. Un autre élément important est la présence de torrents ou de rivières en proximité du site de dépôt, qui peuvent avoir un impact très important sur celui-ci (alluvions, crues). L'accumulation des eaux météoritiques peut également être un problème dans le cas d'une dépression topographique. Il est important de vérifier la quantité de ces eaux et leur trajectoire, ainsi que la végétation présente sur le site qui est un frein à l'écoulement des eaux météoritiques.
- Risques naturels : ils dérivent directement de la définition du contexte géologique et hydrogéologique couplé avec la présence de l'homme des lieux ; différents risques peuvent être identifiés, tels que l'activité de versant (éboulement, effondrement rocheux), des coulées boueuses ou encore des risques liés à l'activité d'aquifères superficiels ou profonds (risque d'interférence avec le futur dépôt ou plus simplement de crues). Il est important de calculer l'occurrence, d'établir leur intensité afin d'établir la vulnérabilité des sites et calculer la probabilité de risque.

Concernant les sites de chantier :

A l'exception des sites de chantier localisés au niveau des portails des descenderies qui seront utilisés en phase de fonctionnement du tunnel, ils se localisent en proximité de la rivière l'Arc et ont un caractère provisoire lié à la phase de réalisation des ouvrages. Pour répondre à la problématique, les mêmes études sont effectuées concernant les risques géologiques, hydrogéologiques et les risques naturels que pour les sites de dépôts. Dans le cas spécifique des sites de chantier temporaires, il est nécessaire de caractériser les risques naturels en lien avec le régime hydrologique de l'Arc et des différents cours d'eau en proximité de ces ouvrages. Il est également important de vérifier la possibilité de mise en place de structures pour que les eaux polluées par les sites de chantier ne soient pas déversées dans l'Arc.

Tous les éléments géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques font partie des études environnementales pour l'évaluation des impacts liés à la gestion de la phase de construction et d'exercice de l'ouvrage. Dans ce cadre, il est important de fournir dans le projet les mesures de mitigation et de gestion du risque lié par exemple à la gestion des eaux polluées, du transport et du stockage des matériaux d'excavation.

Résultats obtenus et/ou attendus :

Beaucoup d'études et d'investigations ont déjà été réalisées, mais beaucoup d'autres sont encore en cours. La cause principale est l'évolution permanente du projet, qui engendre des modifications de localisation et/ou de dimensionnement des sites de chantier et de dépôt. Par exemple, modifier le volume de matériaux pour un site de dépôt que l'on souhaite utiliser ou modifier le type de matériaux demande de nouvelles investigations et de nouveaux calculs, qui sont des calculs complexes. Les normes évoluent également, et il est parfois nécessaire de devoir faire à nouveau des investigations pour proposer des solutions adaptées aux nouvelles normes.

Mesures générales acceptées pour la prévention des risques :

De nombreuses structures sont proposées pour pallier aux problèmes rencontrés, leur importance varie en fonction de l'importance du risque. Quelques exemples sont listés ci-dessous en sachant qu'il existe des protections différentes pour chaque situation différente et donc pour chaque site différent.

- Mise en place de dispositifs de protection hydraulique :
  - o Réalisation de chenaux au sommet de remblais, avec une pente suffisante pour permettre l'écoulement des laves torrentielles, une largeur suffisante pour permettre le dépôt de matériaux et assurer l'arrêt des chutes de blocs
  - o Mise en place de dispositifs de tranchées drainantes
  - o Base drainante en fond de remblai, dispositif de contrôle des écoulements torrentiels, caniveaux maçonnés en périphérie raccordés à la descente d'eau principale (dans le cas de la gestion du risque lié aux coulées boueuses)
  
- En ce qui concerne les phénomènes gravitaires :
  - o filet et grille métallique pour le risque de chute de blocs qui sont normalement installés le long des versants
  - o digue en terre beaucoup plus imposante qui est normalement envisagées en proximité des ouvrages à protéger.

Les protections sont toujours envisagées en fonction de l'hypothèse la plus critique.

En ce qui concerne les sources d'eaux potables, dans le cas de risques identifiés et reconnus, les études doivent permettre d'identifier une source compensatoire capable de garantir le même ravitaillement.

En annexe, un schéma d'organisation d'un site de dépôt résultant des investigations géologiques et des solutions envisagées aux problèmes, tous deux décrits ci-dessus.

#### Discussion et/ou perspectives :

La caractérisation géotechnique des ouvrages situés à l'air libre dans le cadre d'un projet de cette envergure nécessite une approche multidisciplinaire : il s'agit de répondre à des exigences de budget, de logistique liée à la construction du futur tunnel mais surtout à des contraintes environnementales très strictes. Il faut considérer que les chantiers seront actifs pour plusieurs années et il est donc essentiel d'insérer les études dans le contexte économique et social des lieux concernés. Pour ce faire, la géologie est un formidable outil qui permet d'estimer les risques présents, leur incidence sur du court terme comme du long terme, et les solutions à adopter.

Dans le cadre d'un tel projet où beaucoup d'entreprises travaillent ensemble sur une longue durée, l'évolution est permanente : cela rajoute une dimension supplémentaire (4D) et il faut à la fois acquérir les nouvelles données qui nous seront utiles afin de prévenir les risques, mais également se servir intelligemment des anciennes données acquises dans le cadre du même projet ou d'autres projets.

Après avoir travaillé déjà depuis plus d'un mois avec Sea Consulting lors de ce stage, je n'envisage pas la possibilité de faire des ouvrages de ce type sans caractérisation géologique, hydrogéologique et géotechnique, tant la chose est complexe et les risques nombreux ; même

