

COMMUNE DE VILLARODIN-BOURGET

Mise en dépôt des déblais du futur tunnel de base de la L.G.V. LYON-TURIN :

EXPERTISE GEOTECHNIQUE DES PROBLEMES SOULEVES

(28 novembre 2011)

Cette étude a été réalisée à la demande de la Commune de Villarodin-Bourget par le soussigné Denis FABRE, ingénieur-géologue expert, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris (Chaire de Géotechnique).

Elle est destinée à l'instruction de l'Instance judiciaire devant le Tribunal administratif de Grenoble, engagée à la requête de la Commune et de M. Philippe Delomme avec le concours de la SCP Galliard (Philippe Galliard, avocat), dirigée contre l'arrêté préfectoral du 30 mars 2011 (Préfecture de la Savoie), déclarant d'utilité publique les travaux et ouvrages de surface situés sur la commune de Villarodin-Bourget, notamment le projet de mise en dépôt de près de 3 millions de m³ (Mm³) sur la zone des Tierces, en rive gauche de l'Arc, non loin du village de Villarodin.

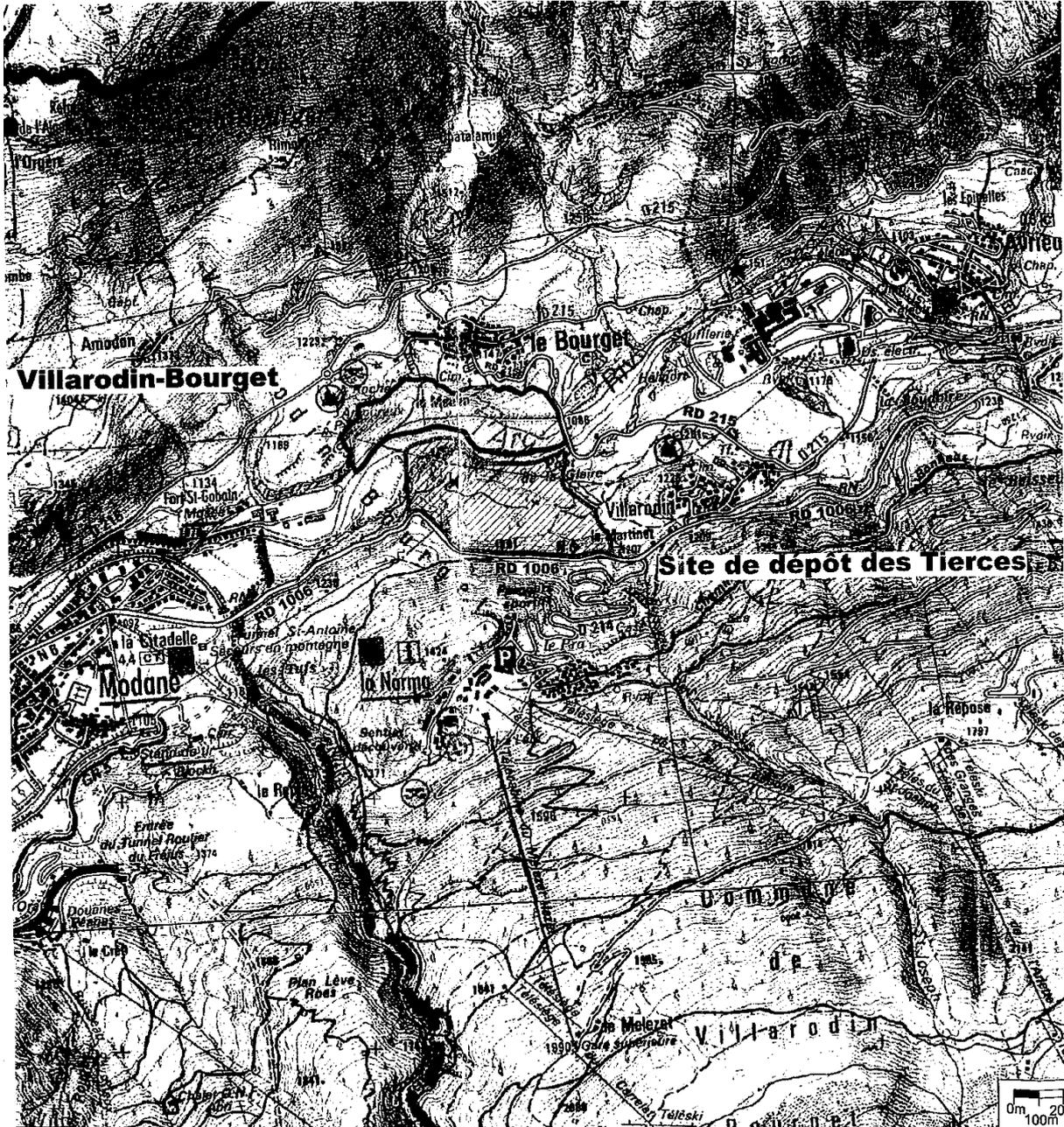
L'expert s'est rendu sur les lieux :

- le 13 juillet, avec Me Galliard et M. le Maire, pour une présentation générale de la problématique et des sites ;
- le 24 août, pour une reconnaissance de terrain (Les Tierces) et la consultation de documents en Mairie.

Dans le cadre de son enquête, l'expert s'est rendu également à Chambéry, au siège de la société LTF-SAS, le 3 octobre, pour consultation d'autres documents géotechniques (demande formalisée par la Mairie de Villarodin-Bourget).

La liste complète des documents consultés figure à la fin de ce rapport.

Carte générale de situation



*Denis FABRE : Mise en dépôt des déblais du futur tunnel de base de la L.G.V. LYON-TURIN :
à Villarodin-Bourget : Expertise géotechnique des problèmes soulevés (28 novembre 2011)*

INTRODUCTION

Bref rappel de la problématique générale des déblais du tunnel projeté

Le tunnel de base de la nouvelle liaison ferroviaire LYON-TURIN est un bitube de plus de 53 km de long. Plusieurs tronçons du tunnel seront creusés simultanément depuis les deux têtes du tunnel et depuis 3 attaques intermédiaires coté France.

Les volumes de matériaux à mettre en dépôt pour la partie française (estimation 2006) sont :

- St-Julien : 900 000 m³
- St-Martin-La-Porte : 1 300 000 m³
- La Praz : 2 800 000 m³
- Villarodin-Bourget/Modane : 3 000 000 m³

Le site de mise en dépôt des Tierces sur la commune de Villarodin-Bourget est le plus important des sites retenus par LTF (voir ci-dessous tableau de 2006).

Tableau de répartition des déblais à mettre en dépôt ou en remblai			
SITE D'EXTRACTION	VOLUME À METTRE EN DÉPÔT ET EN REMBLAI PAR ATTAQUE (M ³)	SITES DE DÉPÔT ET DE REMBLAI	VOLUME MIS EN DÉPÔT ET EN REMBLAI PAR SITE (M ³)
Saint-Julien	900 000	La Combe des Moulins ou La Porte	80 000
		Gare de St-Jean-de-Maurienne et cordon paysager	820 000
Saint-Martin-la-Porte	1 300 000	La Combe des Moulins ou La Porte	100 000
		Gare de St-Jean-de-Maurienne et cordon paysager	100 000
		Plan-d'Arc ou Les Resses	1 100 000
La Praz	2 800 000	La Combe des Moulins ou La Porte	60 000
		Gare de St-Jean-de-Maurienne et cordon paysager	980 000
		Plan-d'Arc ou Les Resses	1 760 000
Modane-Villarodin-Bourget	3 000 000	La Combe des Moulins ou La Porte	400 000
		Plan-d'Arc ou Les Resses	600 000
		Les Tierces	2 000 000

On notera (voir plus loin) que le volume attribué au site des Tierces n'a cessé d'augmenter depuis 2006, passant de 2 à 2,5 puis à 2,7 Mm³ en 2010...

Sur le choix du site de dépôt des Tierces

Le choix du dépôt des Tierces est fait principalement sur le critère de proximité de la descenderie de Modane, facilitant un transport par bande transporteuse (« le plus respectueux de l'environnement ») . 33 autres sites ont été analysés coté France selon une « analyse multicritères » (DUP 2010, Tome B, pièce n°3).

Les sites de petite taille obligent à une dispersion des déblais, donc à une logistique de transport complexe. Un site lointain de grande capacité a été étudié (Aiton). Il ne serait acceptable pour l'environnement qu'en excluant le transport routier. Il faudrait donc utiliser en partie la ligne ferroviaire existante et la compléter par des embranchements d'entrée et de sortie. La technique de transport par rail a été très utilisée pour les récents grands tunnels suisses.

L'étude de faisabilité de J. Burdin (2010) souligne la complexité du système (bandes transporteuses et/ou embranchements de grande longueur, halle de chargement, quais de déchargement), l'exiguïté des zones disponibles pour ces ouvrages annexes et temporaires ; et enfin le prix élevé de l'opération : 16 Euros la tonne -prix 2010*- , contre moins de 2 Euros la tonne -prix estimé dans la synthèse géotechnique d'Antea de mars 2000- pour la mise en dépôt aux Tierces.

(basé sur l'évacuation de 5,4 Mt soit 2,7 Mm3)*

Nous notons que cet important écart de coût n'est pas l'argument principal avancé pour écarter la solution transport par voie ferrée : la réponse officielle de LTF, relayée par le Conseil Général de la Savoie (lettre à M. le Maire de Villarodin-Bourget du 2 mars 2011) est la nécessité de réserver le potentiel du site d'Aiton (« Les Gabelins ») pour un tunnel à réaliser ultérieurement sous la chaîne de Belledonne.

Il m'apparaît regrettable que sur la liste des 34 sites étudiés ne figure pas dans sa globalité celui signalé pourtant comme potentiellement très important (2 à 3 Mm3) dans le rapport que j'avais effectué avec mes collègues des Universités de Grenoble (Pierre Antoine) et de Chambéry (Gilles Ménard), pour le compte de la SNCF (1991, voir référence dans la liste des documents), lors des toutes premières études du projet .

Ce site (« Plan des Sausses », voir planche photo n° 1) est situé en bordure de la voie ferrée, à coté de la descenderie de St-Martin : il consisterait à prolonger une structure de cône de déjections, en comblant un grand creux naturel au pied de la falaise de calcaire du Pas du Roc en rive droite de l'Arc, avec des possibilités complémentaires en rive gauche sur le lieu d'une carrière en fin d'exploitation.

Il suppose, comme tous les sites, des précautions (petit ruisseau à capter, quelques habitations à 500m) et il n'échappe pas au problème du transport par rail, mais son impact environnemental paraît moindre avec possibilité de requalifier une zone de « friches » (carrières et installations de traitement anciennes) et de carrières en exploitation sur les 2 rives de l'Arc.

LE SITE DES TIERCES

Morphologie

La zone des Tierces (planche 4) couvre une superficie totale de 27 hectares en bordure de l'Arc (attitude proche de 1080) et la route RD 1006 (altitude voisine de 170 à 1200 d'Ouest en Est).

Sa morphologie est irrégulière. Globalement, elle se décompose en :

- une pente boisée moyenne (26°5) au bord de l'Arc en pied de versant jusqu'à une altitude proche de 1130 ;
- un vaste replat occupé par une pâture clôturée (pente faible de 7° en moyenne) entre les altitudes 1130 et 1150 ;
- une pente plus forte (près de 35 degrés) sous la RD 1006 au-dessus de l'altitude 1150.

Dans le détail, on remarque la présence d'une petite bosse centrale au milieu de la pâture et d'entonnoirs de dissolution en partie Ouest du replat ; d'autres entonnoirs observés, plus à l'Est seraient dus à une séquelle des bombardements de la dernière guerre (à vérifier).

Les limites latérales Ouest et Est sont très différentes :

- à l'Ouest, on observe une échine de roches gypseuses depuis l'Arc (falaise) jusqu'au tournant de la RD 1006 (altitude 1173) ;
- à l'Est, c'est un talweg : celui du ruisseau de Saint-Joseph assez marqué.

On remarque enfin la forme très nette d'un petit talweg, qui prolonge vers l'Arc la zone des entonnoirs de dissolution de la partie Ouest du replat central.

Géologie

Le substrat rocheux de la zone des Tierces est majoritairement constitué de gypses triasiques appartenant à la « Nappe des gypses ». Ce substrat affleure aussi bien à l'Ouest qu'à l'Est et au Sud de la zone . Cette nappe est en fait constituée en profondeur d'anhydrite (sulfate de calcium anhydre) et le gypse n'en est que la partie superficielle altérée et hydratée. Gypses et anhydrites sont beaucoup plus solubles dans l'eau que le calcaire ; et la karstification des gypses de surface est un phénomène très souvent observé dans les Alpes. Des cavités de toutes tailles peuvent y exister.

Par ailleurs, on trouve aussi dans la Nappe des Gypses des blocs de grande taille (appelés « olistolites ») qui ont été entraînés lors du charriage. Le pointement rocheux au centre du grand replat central pourrait en être un.

On retiendra que le substrat de la zone est particulièrement hétérogène et que la tranche gypseuse, épaisse souvent de quelques dizaines de mètres, peut contenir des cavités ; enfin, que les gypses ont des propriétés mécaniques limitées et susceptibles d'évolution rapide en présence d'eau.

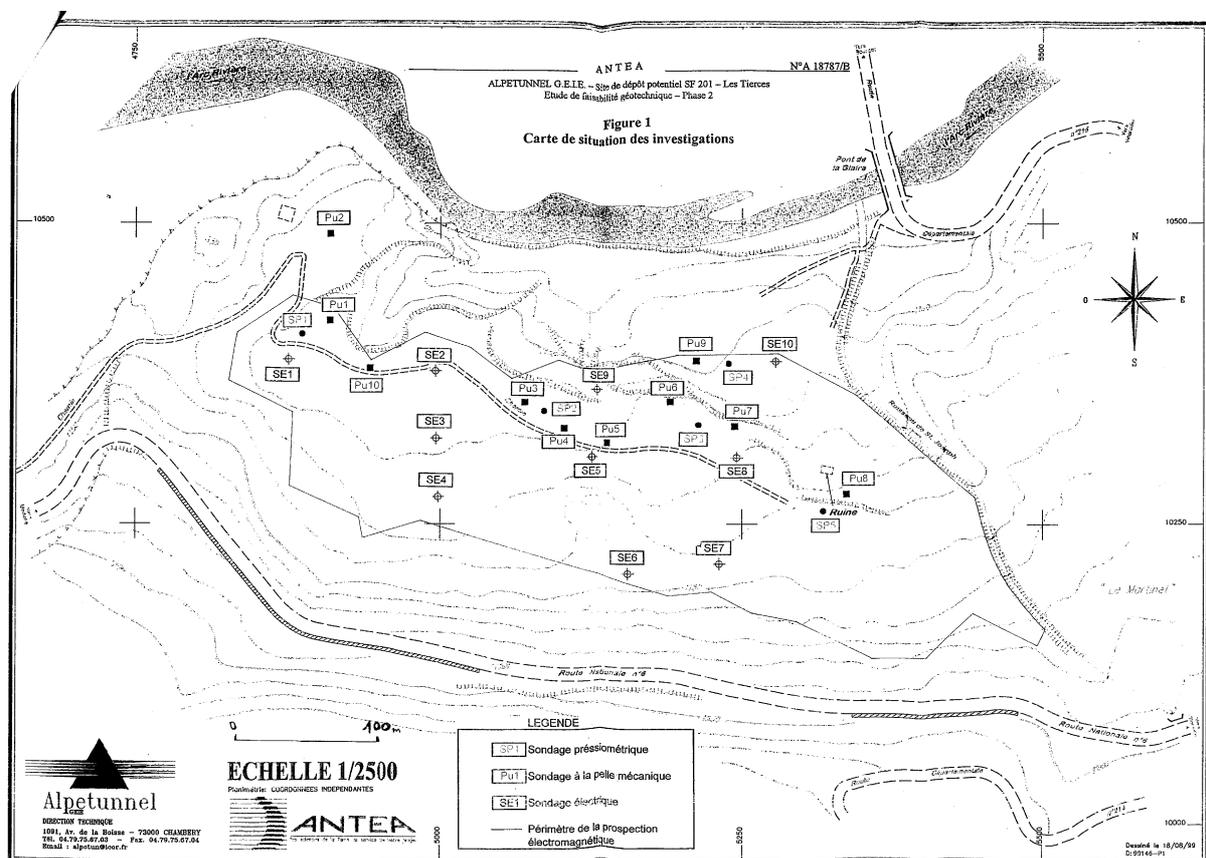
Au-dessus de ce substrat, on trouve des placages morainiques divers, des déjections torrentielles (torrent du Saint-Joseph) et des éboulis et colluvions provenant des pentes supérieures de schistes (La Norma) dont l'épaisseur et les propriétés ont pu être déterminées grâce à la campagne de reconnaissances réalisée.

Reconnaisances effectuées

Elles ont été réalisées à la fin de l'année 1999 par différentes entreprises (ANTEA, CEBTP Rhône-Alpes, EDG). La synthèse géotechnique a été faite par le bureau d'études ANTEA (agence Rhône-Alpes).

L'étude est de type classique : ce sont des missions qui seraient qualifiées aujourd'hui de G11, G12 et G2, selon la nouvelle norme des missions géotechniques (norme NFP 94 500 de décembre 2006). Elle combine :

- une cartographie géologique de terrain au 1/2500^e ;
- 10 sondages de reconnaissance superficiels à la pelle mécanique ;
- une prospection électrique (traîné électromagnétique à 2 profondeurs d'investigation ; 9 sondages électriques avec AB maximum de 200 à 300 mètres et un sondage d'étalonnage dans le gypse) ;
- 5 sondages destructifs profonds (15 à 21 mètres de profondeur) ;
- une dizaine d'essais pressiométriques pour chacun des sondages, avec mesure de la pression limite (pl) et du module de déformation mécanique en paroi.



*Denis FABRE : Mise en dépôt des déblais du futur tunnel de base de la L.G.V. LYON-TURIN :
à Villarodin-Bourget : Expertise géotechnique des problèmes soulevés (28 novembre 2011)*

Plan de localisation des reconnaissances effectuées en 1999

Cette prospection souligne le caractère hétérogène de la zone et la forte épaisseur des terrains de couverture, puisque le substrat rocheux pas pu être atteint, sauf peut-être à 14 mètres pour le sondage le plus à l'Ouest (SP1).

Les sols superficiels sont à dominante sableuse, avec cependant une zone plus argileuse vers le ruisseau de St Joseph (sondage SP4).

Il n'est pas fait état dans le rapport de synthèse (rapport ANTEA de janvier 2000) d'une analyse des paramètres de forage (d'éventuelles zones décomprimées, indices de la présence de cavités pourraient y être décelées). Cependant, d'une manière générale, l'analyse des sols paraît bien faite : les résistances mécaniques sont classiques pour des sols sableux, avec d'assez faibles valeurs : les sols ne sont pas très résistants (p_l entre 1 et 2 MPa) sur une épaisseur pouvant aller jusqu'à 7 m en SP1, SP2, SP3.

Les résistances faibles trouvées ($p_l < 700$ kPa jusqu'à 6m et ne dépassant pas 1,5 MPa entre 8 et 11m), caractéristiques de sols plus fins, conduisent logiquement à écarter la zone proche du torrent de St Joseph de l'emprise du déblai projeté.

Sur le plan hydrogéologique, seul un niveau d'eau est signalé en fond de forage en SP4. Ceci est un peu surprenant pour des niveaux sableux donc perméables ; un suivi dans le temps aurait pu déceler une éventuelle petite nappe de versant ... ; mais les forages ont pu aussi passer à côté de circulations par chenaux drainants du versant.

Le projet retenu

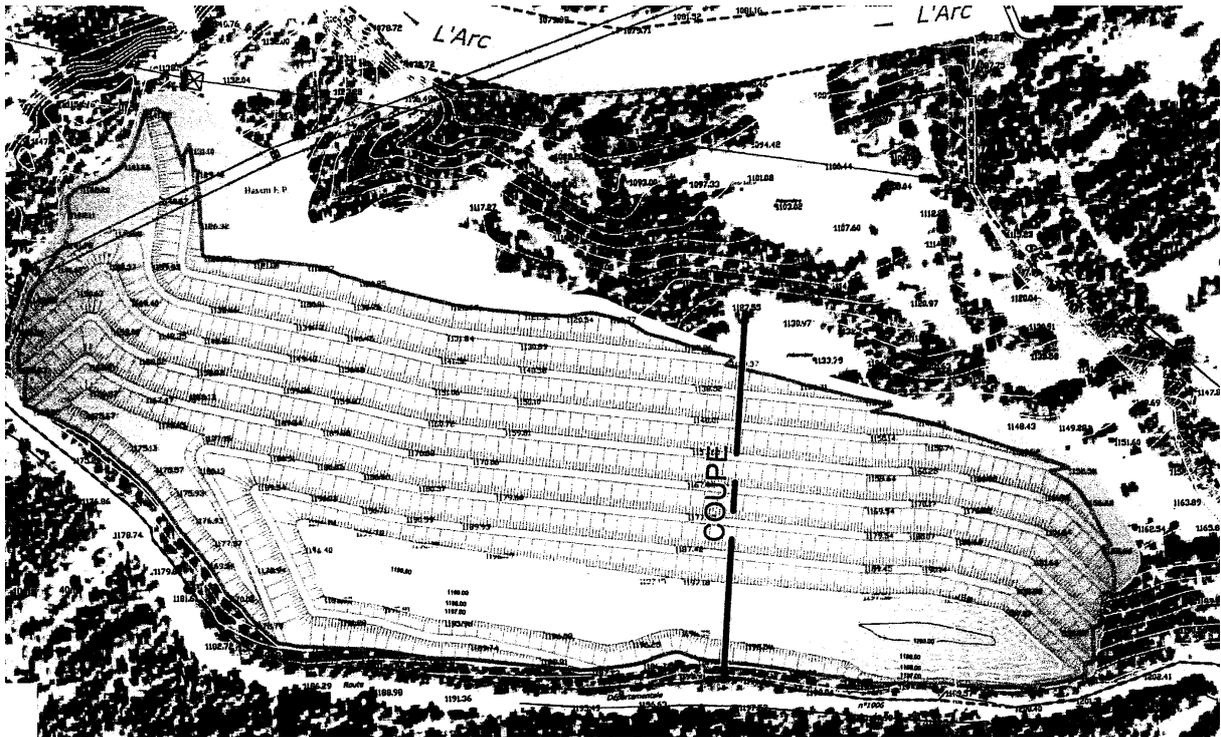
Comme déjà indiqué en introduction, le site des Tierces est le plus proche de la sortie des déblais provenant du grand tunnel projeté par la descenderie de Modane. Le volume pris en compte pour les études est passé de 2 millions de m³ à 2,7 millions de m³ entre 2000 et 2010. La surcharge totale créée serait donc de l'ordre de 5,5 millions de tonnes.

L'emprise au sol s'écarte des zones les plus sensibles :

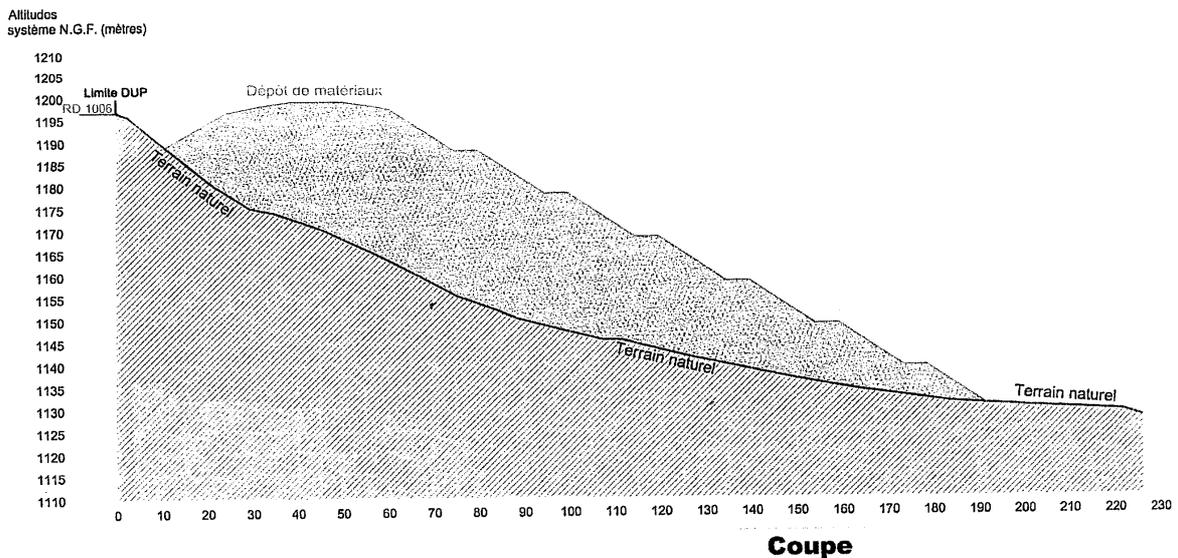
- elle évite les bords de l'Arc (distance d'au moins 90m et différence d'altitude de 30m, nettement au dessus des plus hautes eaux) ;
- elle s'éloigne de la zone des mauvais terrains autour du ruisseau de Saint-Joseph (distance de 50 m au minimum)
- elle n'atteint pas le gros affleurement gypseux de la bordure Ouest (10 à 25 m) ; cependant elle recouvre certains des entonnoirs de la partie Ouest (et ceux de l'Est du replat central).

La partie haute coïncide approximativement avec le niveau de la RD 1006 (plate-forme de plus d'un hectare dans la version 2,5 Mm³). L'épaisseur maximale atteint 45m dans la version 2,7 Mm³.

La pente des talus tient compte des propriétés des matériaux mis en remblai et des commodités de mise en place. Elle a été fixée à 3 horizontal pour 2 vertical (angle de 33°), avec une risberme de 5m de large tous les 10 m de dénivelée , ce qui équivaut globalement à une pente à 2 horizontal pour 1 vertical (angle de 26,5°).



Carte du déblai projeté (hypothèse 2,7 Mm³)



Problèmes géotechniques posés

La mise en remblai pose d'abord un double problème de stabilité mécanique :

- aptitude de la zone d'emprise à devenir le terrain de fondation d'un ouvrage lourd, de grande ampleur ; ici, la topographie est irrégulière, en pente et le sous-sol est hétérogène...

Le risque est de provoquer des mouvements : un affaissement localisé sur des zones molles ou des cavités ; un glissement important vers l'aval... ;

- stabilité interne du remblai, étroitement liée au profil de sa pente finale ; ce problème est bien maîtrisé, puisque le matériau à mettre en place est connu et contrôlé avant sa mise en dépôt.

A ces problèmes de stabilité mécanique, s'ajoutent aussi des considérations d'ordre hydrogéologique et hydraulique :

- la stabilité de la zone de fondation dépend aussi également des conditions hydrogéologiques : existence d'une nappe de versant et/ou de circulations souterraines privilégiées (axes drainants naturels) ;

- la stabilité externe doit être assurée contre le risque de ravinement hydraulique consécutif aux fortes pluies. Ceci est bien maîtrisé par la mise en place d'un réseau de collecte et de gestion des eaux de ruissellement.

Dans le cas présent, le risque majeur est donc constitué par une instabilité du versant provoquée par la surcharge du remblai. Ceci peut entraîner un glissement de grande ampleur qui pourrait affecter les bordures Est ou Ouest (on a vu que le sous-sol à proximité des gypses et à proximité du ruisseau de Saint-Joseph n'était pas particulièrement résistant), ou une part plus importante du remblai.

Ce dernier aléa à une probabilité plus faible, à cause du pointement de rocher calcaire identifié au centre de la zone d'emprise ; mais l'enjeu deviendrait très fort, car l'Arc serait alors certainement atteint (risque d'une embâcle temporaire de son cours ?).

Insertion paysagère

Ce sujet n'est abordé ici que sous l'angle de la morphologie.

Il est frappant de constater que le modèle retenu pour la mise en dépôt est presque toujours celui de gradins réguliers successifs : risbermes plates de 5 mètres de large tous les 10 m de dénivelée, pente des talus intermédiaires à 3 horizontal pour 2 vertical (angle de 33,5 °)...

Même si une végétation arbustive y est installée, celle-ci peine à masquer cette morphologie qui attire immédiatement l'œil et signale le caractère artificiel de la zone.

On s'éloigne fortement de la pente régulière de bon nombre de terrains naturels (cônes de déjections, pentes de versants sur roche tendre et /ou altérée homogène...).

Ceci est plus choquant encore dans une haute vallée alpine (l'Arc à l'amont de Modane) à proximité immédiate d'espaces protégés (Parc National de la Vanoise).

Si le recours à un profil en gradins peut se justifier à court terme (facilité de circulation des engins) et en site hétérogène (sécurité par rapport aux chutes et aux glissements de blocs), il n'en existe pas, à notre avis, de justification géotechnique en termes de stabilité à long terme : le talutage continu ramène la pente à 2 horizontal pour 1 vertical (dans le cas retenu ici), ce qui est favorable pour la stabilité (angle global de la pente de 26,5°) ; et n'exclut pas la possibilité de réaliser quelques pistes de visite et/ou d'exploitation finale.

Le petit déblai réalisé à l'aval de la zone des Tierces en rive gauche de l'Arc, lors du creusement de la descenderie de Modane-Le Bourget (voir planche photo 1), montre malheureusement le mauvais exemple de la création d'une zone artificielle très visible dans le

paysage et, qui plus est, reste totalement inexploitable (aucun chemin ne permet d'y accéder... !).

CONCLUSIONS

S'il était réalisé, le dépôt sur la zone des Tierces serait le plus important côté français du projet de tunnel de base de la nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin. L'étude géotechnique préliminaire le concernant a été menée principalement en 1999 et 2000.

À cette époque le volume maximal pris en compte était de 2,5 millions de m³ : dans le rapport de synthèse établi par le bureau d'études ANTEA en mars 2010, il est stipulé : « le volume de dépôt varie de 1,9 à 2,5 Mm³, 2,5 millions devant être considéré comme le volume maximal susceptible d'être stocké ».

La zone prospectée, d'une vingtaine d'hectares, a fait l'objet de sondages superficiels à la pelle mécanique (10), de mesures géophysiques (cartographie de résistivité par prospection électromagnétique ; dix sondages électriques), de sondages profonds (5 sondages entre 15 et 20 m de profondeur) avec des essais pressiométriques (une dizaine par sondage) pour déterminer les propriétés mécaniques des couches traversées.

Cette reconnaissance fait apparaître une forte épaisseur de terrains de couverture, puisque le substrat rocheux pas pu être atteint, sauf peut-être à 14 mètres pour le sondage le plus à l'ouest.

Les propriétés mécaniques conduisent à écarter comme assise possible du futur remblai la partie Est du site, proche du torrent et de ses déjections sur le versant. Pour des raisons morphologiques et de sécurité hydraulique par rapport à l'Arc, la partie basse du site entre les altitudes 1080 (l'Arc) et 1110 à 1130 (voir carte) est également écartée. Ceci amène à retenir comme base du futur remblai une surface de 12 hectares située « à mi-pente » au-dessus de l'Arc jusqu'au niveau approximatif de la route RD 1006 (1170 à l'Ouest, 1200 à l'Est). Sur cette base en pente moyenne de 18,5 degrés (plus faible entre 1120 et 1150, plus élevée sous la route), la hauteur maximale du déblai peut atteindre 40 mètres, soit une surcharge verticale maximale d'environ 800 kPa.

Il nous apparaît que l'étude géotechnique réalisée, quoique conséquente, n'est pas suffisante pour garantir la stabilité à long terme de l'ouvrage.

Plusieurs points nécessitent des études complémentaires :

- le volume total du dépôt a été porté à 2,7 millions de m³. Si un complément d'étude a été réalisé, sa mention n'en est pas faite dans le dossier d'utilité publique de 2010 ; de toutes façons, un contrôle des hypothèses et des calculs complémentaires avec le logiciel Talren me paraissent indispensables : les valeurs données des coefficients de sécurité ne sont pas très importantes (1,3 alors qu'on recherche en général 1,5) ; l'hypothèse d'une surface de rupture profonde (voir plus loin) doit aussi être considérée ;

- aucun échantillon ni des sols superficiels, ni du substrat rocheux n'a été prélevé et analysé (essais de laboratoire) à ce stade de l'étude ; pour les sols superficiels, on dispose de paramètres mécaniques déduits des essais pressiométriques ; pour le substrat gypseux, les valeurs prises sont purement hypothétiques ; un contrôle par des essais mécaniques de laboratoire de tous les paramètres pris en compte dans les calculs de stabilité m'apparaît comme indispensable ;
- les conditions hydrogéologiques du versant sont encore inconnues et nécessitent des recherches complémentaires ; l'axe conducteur repéré par la cartographie de résistivité électrique en partie Ouest de l'emprise du dépôt est peut être lié à des circulations préférentielles en relation avec la karstification. ; aucun suivi piézométrique n'a par ailleurs été mis en place dans les terrains de couverture ;
- les propriétés de la zone d'assise du côté Ouest sont faibles (pression limite de seulement 1 200 kPa pour les cinq premiers mètres du sondage SP1) ; il existe en surface des indices de cavités dans les gypses sous-jacents (entonnoirs de dissolution) et la morphologie d'un petit talweg bien marqué dans ce secteur permet de s'interroger sur la présence éventuelle d'une zone karstifiée importante au sein des gypses ;
- la zone Ouest justifie donc un complément de reconnaissances (sondages et méthode géophysique adaptée à la recherche de cavités) ;
- le risque de rupture profonde du versant dû à la surcharge importante du déblais sur un sol épais et en pente ne paraît pas avoir été pris en compte dans la modélisation mécanique effectuée ; rappelons que le substrat n'a pas été clairement identifié dans 4 des 5 sondages, et que les propriétés retenues pour un substrat gypseux probablement majoritaire sont purement hypothétiques ; seuls des cercles de rupture superficielle sont présentés...

Ces études complémentaires devraient être confiées à un bureau d'études spécialisé dans les problèmes de stabilité des pentes, différent de ceux qui ont participé aux premières études.

Fait à Grenoble le 28 novembre 2011

Denis FABRE
Ingénieur-géologue
Professeur au Cnam (Chaire de Géotechnique)

LISTE DES DOCUMENTS CONSULTÉS

En mairie de Villarodin-Bourget :

- Liaison ferroviaire Lyon-Turin : Dossier d'enquête publique, Tome B : Etude d'impact (vol 7, tome 3), Avril 2006
- Liaison ferroviaire Lyon-Turin : Dossier d'enquête publique : Travaux et ouvrages de surface sur la commune de Villarodin-Bourget. Tome B : Etude d'impact (pièces 3,4 et 6), Avril 2010
- Plate-forme Villarodin-Bourget/Modane : Faisabilité de l'évacuation des matériaux par train , rapport de J. Burdin pour LTF, Décembre 2010

Dans les bureaux de LTF à Chambéry :

- ANTEA : Etude de faisabilité géotechnique sur le site du dépôt potentiel SF 201 « Les Tierces ». Phase 1 : Etude préliminaire, Septembre 1999
- EDG : Prospection électrique et électromagnétique , Les Tierces , Octobre 1999
- CEBTP Rhône-Alpes : Rapport sur les puits à la pelle (les Tierces), Novembre 1999
- CEBTP Rhône-Alpes : Rapport sur les sondages pressiométriques, Les Tierces, Novembre 1999
- ANTEA : Etude de faisabilité géotechnique sur le site du dépôt potentiel SF 201 « Les Tierces » . Phase 2 : Synthèse des reconnaissances géotechniques, Janvier 2000
- ANTEA : Etude de faisabilité géotechnique sur le site du dépôt potentiel SF 201 « Les Tierces » . Phase 3 : Synthèse de l'étude de faisabilité géotechnique

Autres :

ANTOINE P., FABRE D., MENARD (1991) - Traversée ferroviaire alpine. Tunnel Maurienne-Ambin. Etude géologique et géotechnique préliminaire. Rapport de contrat SNCF(VOSN) - LGM, 55p., 3 coupes, cartes et annexes.