

La revue technique des entreprises de Travaux Publics

Travaux

n°850
Mars 2008



A41 NORD ANNECY - GENÈVE

- La concession
- Construire l'A41 Nord en 29 mois : un défi technique et organisationnel
- L'ingénierie intégrée
- Les aspects environnementaux
- Le tunnel du Mont-Sion
- Conception et réalisation des têtes du tunnel
- Les viaducs
- Terrassements et soutènement
- Les ouvrages d'art (hors viaducs)
- Géotechnique, matériaux et chaussées
- Les équipements définitifs (hors péage)
- La barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux

A41 Nord Annecy - Genève

Vers une autoroute verte



Xavier Rigo
Président d'ADELAC

Face à la diabolisation croissante de l'usage de tout véhicule motorisé à titre personnel ou de tout transport de fret par la route, la décision de proposer puis de construire des ouvrages linéaires à vocation routière requiert une grande dose de courage, compte tenu des enjeux qu'implique ce type de projet.

Si, bien évidemment, le transport ferroviaire et d'autres formes de transports en commun doivent être encouragés et privilégiés, ils ne sauraient néanmoins satisfaire l'ensemble des besoins de déplacement de la population.

De nombreux points de congestion du trafic actuel, lourds en termes de pollution, de nuisances sonores, d'insécurité, voire de pollution accidentelle, ne pourront être réduits sans entreprendre des réalisations neuves sur le réseau routier français. On ne peut aujourd'hui se contenter d'attendre l'arrivée du train ! De surcroît, on oublie trop souvent que les investissements ferroviaires sont lourds et que les sources de financement possèdent, ici comme ailleurs, leurs limites.

Parallèlement aux évolutions très positives et prometteuses de nos véhicules en termes de consommation – et donc de pollution –, la conception et la construction des routes et autoroutes ont également beaucoup progressé par la mise en application de la politique de développement durable. Comment pourrait-on réussir de telles entreprises, vouées aux gémonies par certains et paradoxalement peu soutenues par ceux qui les utiliseront, sans rechercher sans fin le compromis qui mène au durable ?

Les actions allant dans ce sens sont aujourd'hui nombreuses. Elles sont, hélas, trop souvent mal expliquées ou insuffisamment valorisées pour contrebalancer un discours dominant d'opposition systématique.

Ces actions, quelles sont-elles ? De manière générale, elles comprennent toutes les mesures mises en place par les entreprises et qui visent à « mieux travailler » en prenant fortement en compte les conditions de travail des collaborateurs, en optimisant l'utilisation des matériaux et des énergies. Ces actions significatives résultent très souvent de la politique d'innovation et de développement propre à chaque entreprise ou groupe de travail.

Au niveau de chaque projet, de chaque chantier, des actions sont également mises en œuvre pour répondre de façon spécifique aux attentes des riverains, des associations environnementales, du monde agricole, des élus et futurs usagers. Cette attitude d'écoute permanente est aujourd'hui une obligation pour tout maître d'ouvrage responsable.

On pourrait penser que les longues périodes de lancement des grands projets aboutissent, à un moment donné, à un relevé quasi exhaustif des contraintes. Il n'en est rien. De même que le paysage, la faune et la flore se modifient en permanence, les besoins – voire même les avis – exprimés changent. Écouter et prendre en compte tout au long d'un projet ces modifications est un travail d'autant plus difficile que les délais impartis à la réalisation du projet sont de plus en plus courts.

Ce travail important effectué, notamment sur les grands projets dont l'acceptabilité sur le terrain n'est jamais définitivement acquise, mérite d'être porté à la connaissance des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises. Par ce partage d'expérience, chacun pourra ainsi parfaire son savoir-faire.

Je souhaite que ce numéro spécial remplisse cet objectif.

La concession

En octobre 2005, la société Adelaç devenait officiellement concessionnaire de l'autoroute A41 Nord, section Villy-le-Pelloux – Saint-Julien-en-Genevois, plus communément appelée Anancy – Genève sur un engagement particulièrement audacieux : la réalisation d'une autoroute en secteur montagneux d'environ 19 kilomètres de long mais composée d'un grand nombre d'ouvrages très techniques (quatre viaducs, un tunnel bitube, une trentaine d'ouvrages d'art courants, une tranchée couverte et ouverte, des murs de soutènement...). En renforçant le maillage autoroutier savoyard, l'achèvement de cet axe clef du sillon alpin favorisera les échanges régionaux et fluidifiera les déplacements transfrontaliers quotidiens en offrant à ses utilisateurs un itinéraire alternatif évitant les bouchons récurrents de Cruseilles et de Saint-Julien-en-Genevois. Par l'A41 Nord, Anancy ne sera plus qu'à 20 minutes de Genève !

■ Un facteur de développement économique et de création d'emplois

La création d'une liaison rapide entre les grandes villes du sillon alpin, de Grenoble à Genève, est de nature à développer les échanges régionaux et à stimuler l'émergence de véritables pôles de compétence régionaux. Elle contribuera également au renforcement de la coopération économique entre la Haute-Savoie et la Suisse. Grâce à ses diffuseurs, elle assurera une bonne desserte des communes situées sur son tracé qui sera bénéfique pour les entreprises et l'emploi locaux. Enfin, en ouvrant le cœur de la Haute-Savoie à un plus grand nombre de touristes, l'A41 Nord stimulera également le développement de nombreuses activités de service dans tout le département.

■ Une sécurité routière accrue

Offrant à ses usagers les conditions de circulation les plus sûres, l'A41 Nord participera non seulement à l'amélioration de la sécurité routière départementale, mais également, en délestant cet axe d'une partie de son trafic, à celle de la qualité de vie des habitants des communes traversées par la RD 1201 (figure 1).

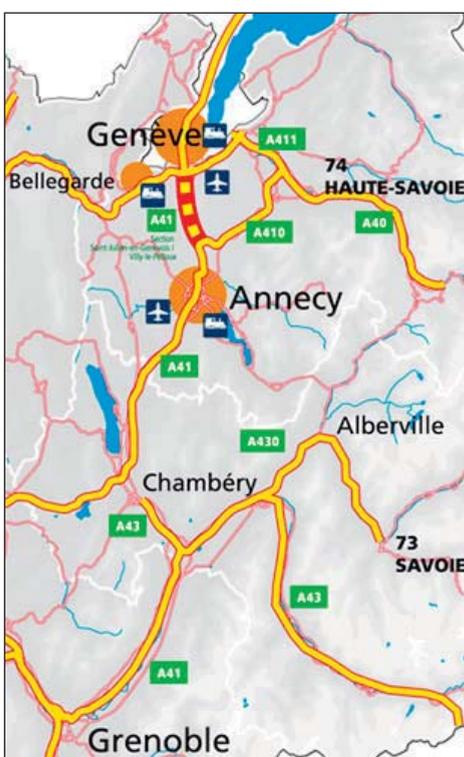


Figure 1

Carte du tracé de l'A41
Map showing the route
of the A41

■ Un projet déjà ancien

Inscrit au schéma directeur routier national dès 1988, ce projet fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique.

En avril 1995 le ministre de l'Équipement et du Tourisme déclara son intention de confier la concession de cette autoroute à ATMB.

On notera que cette intention concernait également la section Annemasse-Thonon.

Dans l'attente de la signature de la convention de concession, le Directeur des Routes autorisa en 1996 ATMB à procéder aux acquisitions foncières, aux études préliminaires et auxancements des travaux préparatoires.

En février 2000, après avis du Conseil d'État, le ministre de l'Équipement met fin, pour des raisons juridiques (fin de la pratique de l'adossement) à cette dévolution. La suspension des travaux génère en Haute-Savoie de nombreuses manifestations et prises de position politiques notables, à l'instar de celle de l'actuel président de l'Assemblée nationale, Bernard Accoyer, député-maire d'Anancy-le-Vieux, en faveur du lancement d'une nouvelle procédure. Ce qui fut fait en 2004.

■ Un nouveau concessionnaire

Désignée comme concessionnaire pour 55 ans, Adelaç, société spécialement créée pour le projet, réunit un actionariat solide pourvoyeur de compétences complémentaires.

Ainsi, Adelaç est filiale d'acteurs importants du paysage autoroutier français : Area (groupe APRR) et le groupe Bouygues (présent à travers quatre entreprises du groupe Bouygues Construction et Colas), le groupe Caisse d'Épargne (via la Caisse d'Épargne Rhône-Alpes) et Setec grand groupe français d'ingénierie (figure 2).

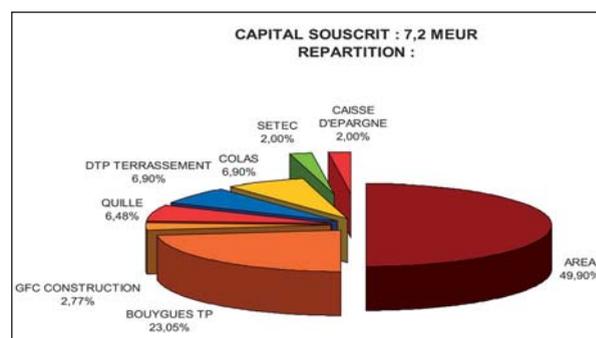


Figure 2

L'actionariat
Shareholders

Adelac réunit ainsi un savoir-faire exceptionnel : l'expérience d'Area dans l'exploitation autoroutière en milieu alpin, l'expertise internationalement reconnue des entreprises du groupe Bouygues – au nombre desquelles figure Colas, leader mondial de la construction de routes – et de Setec dans la conception et la construction d'ouvrages routiers et, enfin, la maîtrise de l'ingénierie financière de la Caisse d'Épargne, acteur majeur du monde de la finance bénéficiant d'une forte implantation régionale.

■ Le financement

Afin de réaliser une autoroute s'inscrivant de façon optimale dans les paysages traversés, l'État français a élaboré un projet qui prévoyait à cette fin la construction d'ouvrages importants tels que le tunnel du Mont-Sion ou la tranchée du Noiret. Cette volonté de faire de l'insertion environnementale de l'autoroute une priorité a une conséquence directe sur le coût de l'ouvrage. En dépit de sa longueur restreinte d'environ 19 km, l'A41 Nord s'avère, en effet, un projet très technique dont la conception et la construction s'élèvent, en y intégrant les travaux et études effectués par ATMB, à 667 M€, ce qui représente 76,5 % du budget total de l'A41 Nord. Le financement du projet est intégralement effectué sur des fonds privés, sans aucune subvention publique (figure 3).

La qualité de l'insertion environnementale que l'on attend d'une autoroute moderne a une influence directe sur le coût de l'ouvrage et, par voie de conséquence, sur les tarifs de péage. Le niveau de péage envisagé pour cette section autoroutière sera équivalent à l'alternative autoroutière existante (A410 + A40). Le gain de temps réalisé et les économies en carburant liées à la brièveté du trajet et à la fluidité du trafic sont cependant des éléments importants à prendre en compte. En outre, une politique d'abonnement sera mise en place pour les clients de l'autoroute. Elle leur permettra de bénéficier de réductions sur les prix du parcours et leur donnera accès au système de télépéage Liber-t.

■ Développement du projet

Un ouvrage très technique

D'une longueur restreinte, l'A41 Nord n'en constitue pas moins un ouvrage complexe à réaliser. En effet, les 19 km de son tracé comportent un tunnel bitube à 2 x 2 voies unidirectionnelles de 3100 m sous le Mont-Sion, quatre viaducs longs de 264 m, 270 m, 212 m et 360 m, une tranchée en partie couverte en contrebas

du Noiret, un échangeur avec l'A40 et l'A401 à Saint-Julien-en-Genevois, un demi-diffuseur à Copponex, un diffuseur (Cruseilles), une barrière de péage pleine voie à Villy-le-Pelloux et une aire de repos à proximité des ponts de La Caille (figure 4).

Un planning de réalisation ambitieux

Adelac s'est engagée contractuellement à réaliser l'A41 Nord dans un délai de seulement 38 mois : 9 mois de développement, 29 mois de construction. Pour tenir ce véritable challenge – eu égard à la complexité de l'ouvrage à réaliser – Adelac s'appuie sur l'expertise de son GIE Constructeurs composé des équipes des entreprises de Bouygues Construction, de Colas et de Setec et sur le savoir-faire d'Area pour la définition et l'intégration notamment des équipements d'exploitation.

Emplois	Millions d'euro	%	Ressources	Millions d'euro	%
Conception/construction	595,0	68,3	Capitaux propres	174,3	20,0
Études et travaux ATMB	72,4	8,3	Emprunts	697,2	80,0
Coûts de la société concessionnaire	56,4	6,5			
Foncier, archéologie, remembrement	32,0	3,7			
Charges et coûts financiers	115,7	13,3			
Total emplois	871,5	100,0	Total ressources	871,5	100,0

Figure 3
Le plan de financement
Financing plan



Figure 4
Synoptique de l'ouvrage
Block diagram of the project

La mobilisation d'importants moyens matériels et humains (plus de 150 machines de terrassement et jusqu'à 1300 collaborateurs), le creusement du tunnel du Mont-Sion au tunnelier, la division du chantier en quatre sous-projets autonomes (viaducs, tunnel, linéaire et barrière de péage de Villy-le-Pelloux), la construction simultanée des quatre viaducs, une gestion optimisée des matériaux de déblais sont au nombre des solutions qui permettent de relever le défi de la construction en 29 mois de l'A41 Nord.



Régis Lanaud
Directeur technique
Adelac

Raphaël Vallée
Responsable financier
et foncier
Adelac

Philippe Bourdon
Directeur
B'N'T Communication

La concession

Photo 1

Un centre d'entretien bien équipé
A well equipped maintenance centre



APRR - AREA - Xavier Chabbert



Concertation et transparence

En charge de la réalisation d'une infrastructure au service de la Haute-Savoie, Adelaç se devait d'associer à ce grand projet tous ceux qu'il concerne : élus locaux, riverains, organisations professionnelles, représentants du milieu associatif et agricole. Écoute, dialogue et concertation sont les maîtres mots de la méthode d'Adelaç. Par l'organisation de réunions publiques dans les communes, par des rencontres individuelles et en se donnant pour règle intangible de répondre à chaque demande, Adelaç a instauré un dialogue des plus constructifs avec l'ensemble des parties prenantes au projet.

Une information complète et transparente sur le projet et une communication de proximité régulière avec tous les acteurs locaux sont pour Adelaç les clefs de l'établissement d'un indispensable climat de confiance.

Photo 2

Le poste de contrôle CESAR (Centre d'exploitation, de sécurité et d'assistance routière)

The CESAR control station (operation, safety and roadside assistance centre)



AREA

Deux sites Internet (www.adelaç-a41.com et www.rn201.com) ainsi qu'une « e.letter » régulière permettent à chacun de prendre connaissance et de suivre l'évolution du projet, mais également d'être informé des perturbations que la construction de l'autoroute peut générer à certains endroits. La disponibilité des équipes d'Adelaç à l'égard de la presse et la réponse favorable qu'elles apportent aux différentes demandes de participation à des réunions publiques ou organisées par différents cercles constituent également des éléments essentiels de cette communication de proximité.

■ Un service de qualité pour les usagers

En confiant à Area (groupe APRR) la maintenance et l'exploitation de l'A41 Nord, Adelaç s'appuie sur le savoir-faire reconnu d'un concessionnaire ayant une grande expérience des conditions d'exploitation en milieu alpin.

Un centre d'entretien équipé pour assurer la viabilité de l'infrastructure

C'est à partir du centre d'entretien d'Anney Nord, situé à proximité immédiate de la future autoroute, que s'effectueront toutes les opérations de maintenance et d'entretien permettant d'assurer une viabilité permanente de l'ouvrage. Très bien équipé pour assurer cette mission en période hivernale, le centre d'entretien d'Anney Nord dispose d'un important parc de chasse-neige et de saieuses et abrite des stockages de saumure et de sel (photo 1).

Le dispositif de viabilité hivernal sera complété par la construction d'un point d'appui à la tête nord du tunnel du Mont-Sion.

Un PC ultramoderne

Le poste de contrôle CESAR (Centre d'exploitation, de sécurité et d'assistance routière), situé sur l'autoroute A43, à hauteur du lac d'Aiguebelette, assurera la gestion du trafic sur l'ensemble de l'A41 Nord, y compris pour le tunnel du Mont-Sion. Via les équipements de télésurveillance qui lui seront directement connectés, le PC recevra et traitera en permanence l'ensemble des données collectées par les caméras, les stations de comptage, les stations météo, les réseaux d'appel d'urgence, les liaisons radio et téléphoniques, etc.

Des opérateurs, présents 24 heures sur 24, disposeront en continu des éléments d'information nécessaires à la gestion du trafic et à la prise en charge des événements (incidents, accidents, pannes de véhicule...).

Connectés en cas de situation de crise avec les postes de commandement des services de secours (PC opérationnel du centre d'entretien et de maintenance d'Annecy Nord, ou PC avancé en tête de tunnel, ou PC fixe de la préfecture de Haute-Savoie), c'est à eux qu'il reviendra de déclencher les interventions adéquates, en fonction de procédures parfaitement définies, et de répercuter l'information sur les services concernés (dépannage, pompiers, gendarmerie...) (photo 2).

Des moyens d'information efficaces

Afin que les usagers de l'A41 Nord aient la possibilité d'accéder facilement à l'ensemble des informations utiles pour voyager dans de bonnes conditions, Area mettra à leur disposition l'ensemble des moyens d'information utilisés sur son réseau, notamment un serveur vocal accessible 24 heures sur 24 et une station de radio Autoroute Info 107.7 diffusant régulièrement des flashs sur les conditions de circulation. ■

ABSTRACT

Concession arrangement

R. Lanaud, R. Vallée, Ph. Bourdon

The A41 Highway, declared as a public utility project, will link Annecy to Geneva in 20 minutes. Adelac, regrouping as shareholders Bouygues Group, Area, Setec and Caisse d'Épargne Rhône Alpes, signed the concession agreement of this 19 km long highway in October 2005 for 55 years. Its mission consists in financing, designing, building, maintaining and operating this section. Technically complex, the total amount to finance reaches 900 M€, brought by private investors. Opening this highway 38 months only after signature of the concession agreement is an ambitious planning. Discussing with local actors, respecting the landscape and taking into account environmental constraints, mobilising huge human and technic means and keeping the public informed at all time are the main characteristics of the development and construction phases. After the opening in december 2008, Area which will operate the highway will ensure a high quality of service.

RESUMEN ESPAÑOL

La concesión

R. Lanaud, R. Vallée y Ph. Bourdon

Fundándose en una declaración de utilidad pública, la autopista A41 Norte pondrá en comunicación Annecy con Ginebra en 20 minutos. La empresa Adelac, que reúne el grupo Bouygues, AREA, Setec y la Caja de Ahorro Ródano-Alpes, ha conseguido la concesión de este tramo de autopista de 19 km en octubre de 2005 para 55 años teniendo como misión la financiación, el diseño, la construcción, la operación y conservación de este tramo. Este proyecto técnicamente complejo precisa una financiación de unos 900 millones de euros, integralmente privada. El planning ambicioso contempla una entrada en servicio únicamente 38 meses después de la firma del acuerdo de concesión. Una concertación con todos los participantes locales, con un afán permanente de insertarse lo mejor posible en el paisaje y respetar el medioambiente, una movilización de medios materiales y humanos sumamente importantes y una información continua disponible para todos caracterizan las etapas de desarrollo y de construcción. La apertura en diciembre de 2008 permitirá apreciar las competencias de Area, que tendrá a su cargo la conservación y la explotación de la autopista.

Construire l'A41 Nord en et organisationnel

Construire l'autoroute A41 Nord en 29 mois est un véritable défi technique, car il s'agit de réaliser simultanément, dans un délai très court des ouvrages à la fois très complexes et très variés.

En s'appuyant sur les compétences reconnues des différentes sociétés de Bouygues construction et de Colas, le GIE Constructeurs A41 a ainsi pu mettre en place une organisation efficace, par métiers, en ayant recours à l'ingénierie concourante pour faire face au délai très tendu, avec l'objectif de maîtriser au mieux les risques inhérents à ce type de projet. La réussite de l'A41 passe également par le souci constant des constructeurs d'intégrer le projet dans son environnement et par un dialogue permanent avec les acteurs locaux.

D'un linéaire restreint, la future autoroute s'inscrit dans un contexte montagneux nécessitant la mise en œuvre de nombreuses techniques de génie civil et d'une organisation de chantier spécifique.

Caractéristique des autoroutes de montagne, l'A41 Nord comporte, sur seulement 19 km de tracé, un grand nombre d'ouvrages : un tunnel bitube de 3,1 km, quatre viaducs, une tranchée couverte et pas moins d'une trentaine d'ouvrages d'art courants. À cela s'ajoute la réalisation d'une aire de repos, d'un demi-diffuseur, d'un échangeur autoroutier avec l'A40 et d'une barrière de péage pleine voie à construire, difficulté supplémentaire, sous circulation (cf. encadré « Les chiffres clés du projet »).

Figure 1
Le planning général de l'opération
General project schedule

■ Un projet complexe, un délai court

Deux facteurs se conjuguent pour faire de la construction de l'A41 Nord un chantier complexe, à savoir : le nombre important de techniques de génie civil à mettre en œuvre sur ce projet et la brièveté du délai imparti au GIE Constructeurs A41 pour le réaliser.

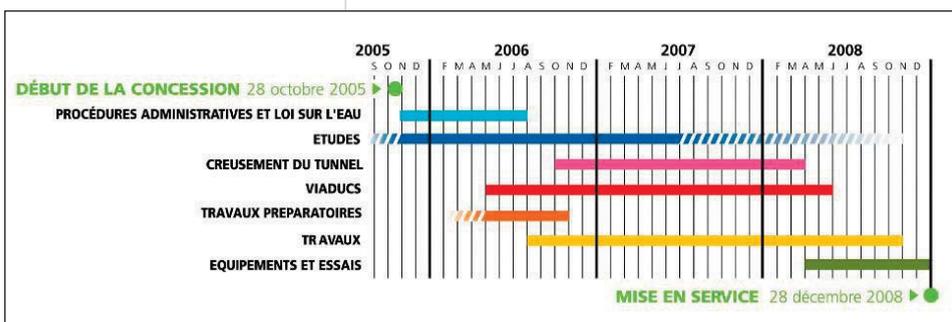
Au plan technique, le projet nécessite de faire appel à une grande variété de compétences dans des domaines parfois très pointus, tels que le creusement de tunnel au tunnelier, le lancement de charpentes métalliques de grandes longueurs et la réalisation de hautes piles sur les viaducs, le creusement de tranchée par minage, la mise en place de dispositifs d'assainissement dans des zones particulièrement escarpées, le réemploi des matériaux rocheux ou la mise en œuvre des équipements d'exploitation et de sécurité.

À cet aspect très technique du projet, s'ajoute la contrainte supplémentaire d'un planning très serré pour livrer l'autoroute. La société concessionnaire Adelaç s'est, en effet, engagée contractuellement à réaliser l'A41 Nord en 38 mois à compter de la date de signature du contrat de concession (figure 1).

Pour le GIE Constructeurs A41, cela signifie 38 mois seulement pour effectuer, à la fois, le développement du projet et la construction proprement dite de l'ouvrage.

LES CHIFFRES CLÉS DU PROJET

- Une autoroute de 19 km
- 1 tunnel bitube (2 x 2 voies) de 3 100 m nécessitant la pose de 18 300 voussoirs préfabriqués (98 000 m³ de béton, 8 000 t d'acier) et l'excavation de 680 000 m³ de déblais
- Un tunnelier de 12 m de diamètre et 180 m de long capable de creuser 30 m de tunnel par jour
- Une usine de préfabrication des voussoirs de 3 000 m² construite en quatre mois
- 4 viaducs franchissant des brèches à plus de 50 m de hauteur (25 000 m³ de béton, 6 000 t de charpente métallique et 4 200 t de ferrailage)
- une trentaine d'ouvrages d'art courants (30 000 m³ de béton, 600 t de charpente métallique et 2 300 t de ferrailage) y compris ouvrages importants et boviducs
- Une barrière de péage pleine voie de 29 voies à réaliser sous circulation
- Une tranchée couverte de 290 m de long
- 170 machines de terrassement mobilisées au plus haut de l'activité pour déplacer 7 000 000 m³ de matériaux
- 1 600 000 m³ de matériaux excédentaires
- Un chantier mobilisant jusqu'à 1 300 personnes
- 9 mois de développement
- 29 mois de construction



29 mois : un défi technique



Michel Bonnet
 Directeur du GIE
 Constructeurs A41
 Bouygues TP



Philippe Bourdon
 Directeur
 B'N'T Communication

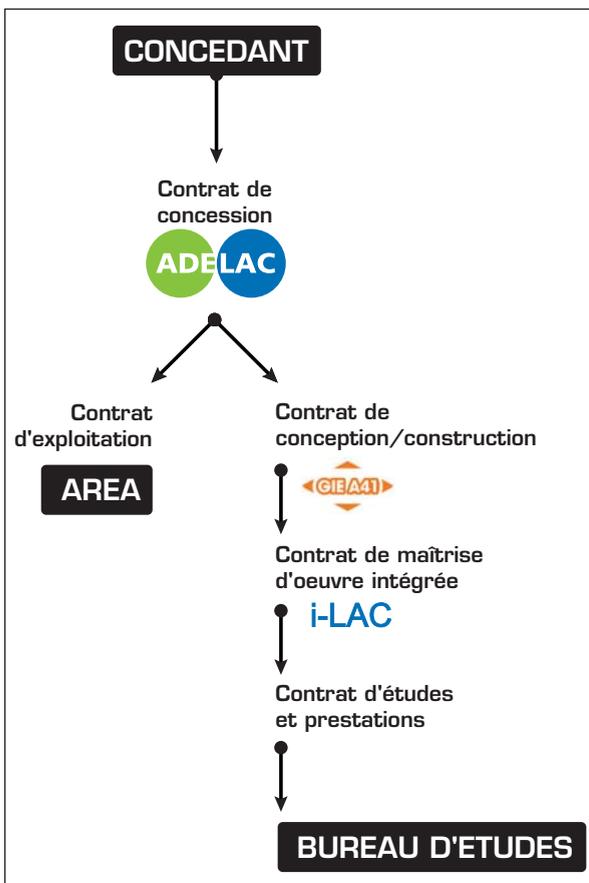


Figure 2
 Schéma de l'organisation contractuelle du projet
 Diagram of project contractual organisation

Deux solutions essentielles ont été retenues par le GIE Constructeurs A41 pour faire face à cette double contrainte – complexité technique et délais tendus – : le recours à l'ingénierie concourante en phase de développement et l'organisation du chantier par métiers.

■ Le recours à l'ingénierie concourante

Cette méthode de travail s'avère particulièrement bien adaptée à ce type de grand projet. Elle consiste à intégrer simultanément, au fur et à mesure de l'avancement du projet, les différentes données provenant des innombrables études en cours (géologie, hydraulique, environnement, acoustique...), les retours d'information de la concertation ou encore les paramètres issus de la définition des modes opératoires des constructeurs. L'ingénierie concourante qui nécessite une grande rigueur dans l'intégration permanente de nouvelles données, a joué un rôle déterminant dans la réalisation, en neuf mois seulement, de la phase développement du projet, au cours de laquelle est établi

l'avant-projet autoroutier et sont obtenues les diverses autorisations administratives requises pour pouvoir commencer les travaux. Elle a, notamment, constitué un atout majeur pour la gestion d'interfaces nombreuses et parfois critiques.

La réalisation de la barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux (photo 1) offre un bon exemple de l'intérêt de cette méthodologie. En effet, sur un même site se concentrent des travaux de génie civil, la construction de bâtiments d'exploitation et de chaussées, des terrassements, de l'installation d'équipements électriques et électromécaniques. Tout cela suppose la mise en place de très nombreuses interfaces internes, mais également externes du fait de la réalisation concomitante de giratoires sur les routes avoisinantes ou l'installation d'écrans de protection acoustique pour les riverains du chantier. Il est clair, que seules les méthodes de travail de l'ingénierie concourante ont permis d'intégrer rapidement, en permanence, un si grand nombre de paramètres variant au fur et à mesure de l'évolution du chantier (figure 2).

■ Un chantier organisé par métiers

La complexité technique du projet a pour sa part conduit les constructeurs à concevoir une organisation du chantier par métiers. Une démarche rendue possible par le large éventail de compétences des entreprises du groupe Bouygues présentes dans le groupement et par la complémentarité de leurs expertises.

La construction simultanée des viaducs et la réalisation du tunnel du Mont-Sion ont ainsi été dévolues aux équipes de Bouygues Travaux Publics. La construction des 29 ouvrages d'art courants et celle des

Photo 1
 Barrière de péage
 de Villy-le-Pelloux –
 Saint-Martin-Bellevue
 (13 décembre 2007)
 Villy-le-Pelloux/Saint-
 Martin-Bellevue toll system
 (13 December 2007)



Construire l'A41 Nord en 29 mois : un défi technique et organisationnel

LE GIE CONSTRUCTEURS AUTOROUTE A41

- Bouygues Travaux Publics : 50 %
- GFC : 10 %
- Quille : 10 %
- DTP Terrassement : 15 %
- Colas : 15 %

bâtiments d'exploitation de l'autoroute ont, pour leur part, été confiés aux équipes de GFC et de Quille, tandis que les terrassements, l'assainissement et les ouvrages de soutènement revenaient à DTP Terrassement. Enfin, Colas et ses filiales effectuent l'ensemble des travaux de chaussée (cf. encadré « Le GIE Constructeurs A41 »).

■ Le respect du planning, un des principaux défis de l'A41 Nord

Avec un délai total de 38 mois pour concevoir, construire et livrer une autoroute opérationnelle prête à être exploitée, le respect du planning représente un des enjeux principaux du chantier A41 Nord.

Un enjeu financier, en premier lieu, puisque le GIE Constructeurs A41, qui s'est engagé contractuellement sur un délai fixe et un prix de construction forfaitaire, serait soumis, en cas de retard, à de fortes pénalités pouvant aller jusqu'à 165 000 € par jour.

Toute la stratégie du chantier a donc été basée sur le respect du planning. Cette volonté s'est notamment traduite par la mise en place de sous-chantiers autonomes garants de l'efficacité et de la réactivité des différentes équipes. Quatre entités ont ainsi été constituées : le chantier viaducs en charge de la construction simultanée des quatre viaducs, le chantier tunnel pour le creusement du tunnel du Mont-Sion et la préfabrication des voussoirs, le chantier barrière de péage pleine voie et équipements, et enfin un chantier travaux linéaires (figure 3).

■ Un chantier à risques

Dans le schéma contractuel du projet, la quasi-totalité des risques, hormis la mise à disposition du site incombant à la société concessionnaire Adelaç, est assumée par le constructeur. Or, sur un projet aussi complexe à

réaliser dans un délai très court, l'opération comporte des risques non négligeables et de diverses natures. À commencer par les risques inhérents à la construction elle-même, nécessitant la réalisation d'ouvrages techniquement délicats à réaliser dans un contexte montagneux : piles de viaducs sur des versants escarpés, murs de soutènement, plates-formes décalées, tranchée creusée par minage...

La difficulté d'accès à certains points du chantier, les aléas géotechniques du creusement des deux tubes du tunnel du Mont-Sion, les caprices de la météo savoyarde ou encore la construction sous circulation de la barrière de péage de Villy-le-Pelloux contribuent, entre autres, à faire de l'A41 Nord un chantier à risques.

À ces facteurs « internes » au processus de construction viennent, de surcroît, s'ajouter d'autres catégories de risques « externes » pouvant, le cas échéant, avoir des conséquences sur le planning de construction. Dans ce domaine, les risques liés à la concertation avec les riverains de l'autoroute, les associations, les élus des communes concernées et les représentants du monde agricole comptent parmi les plus importants car ils génèrent de nombreuses modifications ponctuelles du projet et peuvent parfois s'avérer de véritables causes de blocages.

L'obtention dans les délais des nombreuses autorisations administratives est également un élément capital. L'autorisation au titre de la loi sur l'eau, l'ICPE, l'avis de la CNESOR pour la réalisation du tunnel, les passages devant la Commission des sites et paysages pour les viaducs... sont autant de phases clés du planning puisqu'elles conditionnent le lancement des travaux. Le grand soin apporté à la constitution de ces différents dossiers extrêmement détaillés et l'anticipation, à cette fin, des différentes études ont permis aux constructeurs de l'A41 Nord d'obtenir en temps et en heure toutes ces autorisations (cf. encadré « Les dates clés du projet »).

■ Une priorité : l'environnement

La préservation de l'environnement naturel et humain est devenue un postulat de base de la réalisation des grands projets d'infrastructures. Un corpus législatif et réglementaire de plus en plus étoffé, accompagné sur chaque projet d'un ensemble de mesures locales spécifiques exigées par l'État, garantit la réalité de la prise en compte de cet impératif par les maîtres d'ouvrage et leurs constructeurs.

Afin de satisfaire à la totalité de ces exigences réglementaires, mais aussi de favoriser l'acceptation de l'autoroute dans un secteur aussi sensible au maintien de la qualité de son cadre de vie et de son riche patrimoine naturel que le Genevois français, le GIE Constructeurs

Figure 3

L'organisation du GIE Constructeurs

Organisation of the contractors' consortium

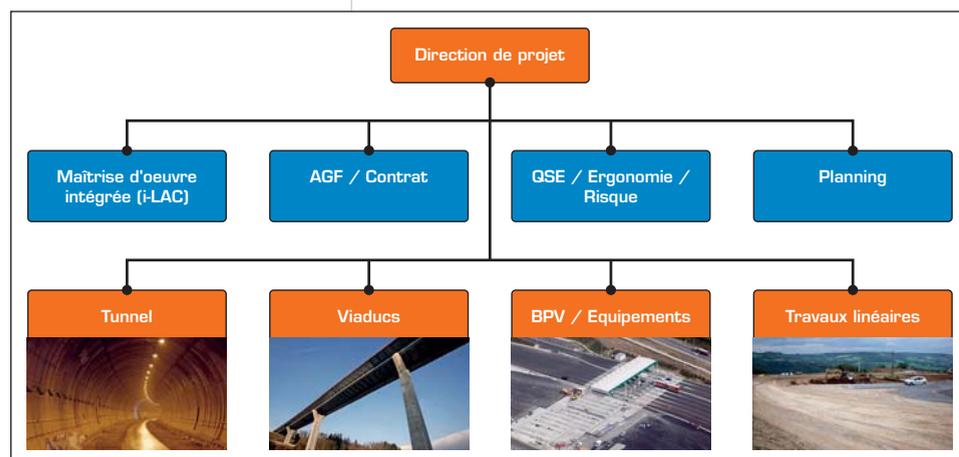




Photo 2

Ouvrage de la Ravoire
(16 décembre 2007)

Ravoire Bridge
(16 December 2007)

A41 a recherché, dès la conception de l'autoroute, les solutions techniques les plus performantes au plan environnemental. Un très gros travail a ainsi été effectué, en collaboration avec les services de l'État, afin que l'impact de l'autoroute sur l'écoulement des eaux soit totalement nul.

La mise en œuvre, afin de préserver les zones boisées, d'une variante diminuant le nombre des appuis du viaduc du Nant de Saint-Martin; la réalisation sur la Ravoire (photo 2) d'un ouvrage spécifique de grande hauteur pour protéger l'habitat d'une espèce protégée, en l'occurrence l'écrevisse à pieds blancs; la mise en place de « merlons » acoustiques et d'écrans antibruit afin de réduire à la source les nuisances sonores de l'autoroute ou encore la réalisation d'études d'impact de

l'ouvrage sur la qualité de l'air, notamment dans le secteur du tunnel, témoignent de cette prise en compte en amont de l'environnement par les constructeurs de l'A41 Nord.

Le respect de l'environnement ne se limite cependant pas à la conception de l'ouvrage. Un volet très conséquent de mesures concerne de façon spécifique la phase travaux. Elles visent à atténuer au maximum les nuisances environnementales pendant toute la durée de la construction de l'autoroute. Parmi ces mesures, la mise en place d'assainissements provisoires, l'établissement d'un plan de secours sur le captage AEP de la Douai permettant de garantir, en cas d'incident, l'alimentation en eau potable du secteur, l'arrosage systématique des pistes de chantier pour éviter la poussière, le nettoyage régulier des voiries locales et l'isolation phonique de l'usine à voussoirs, méritent d'être citées.

LES DATES CLÉS DU PROJET

- 25 juillet 2005 : signature du contrat de fourniture du tunnelier
- 28 octobre 2005 : signature par Adelaç du contrat de concession
- 24 novembre 2005 : signature du contrat travaux Adelaç - GIE Constructeurs A41
- 30 novembre 2005 : DM d'approbation de l'APSM
- 13 avril 2006 : arrêté d'autorisation au titre de la loi sur l'eau
- 18 avril 2006 : avis favorable de la préfecture sur le dossier préliminaire de sécurité du tunnel du Mont-Sion
- 28 avril 2006 : ordre de service de démarrage des travaux préparatoires
- 28 juillet 2006 : notification de la date de démarrage des travaux
- 28 décembre 2008 : livraison de l'ouvrage

■ Un dialogue local déterminant

La réalisation d'une infrastructure telle que l'A41 Nord a de fortes implications dans la vie locale qui se traduisent par l'instauration de multiples échanges avec l'ensemble des personnes concernées par le projet. Elle nécessite, en premier lieu, une concertation permanente avec les riverains, notamment pour tout ce qui concerne les rétablissements de voirie, mais aussi avec le monde agricole très attaché à la préservation des terres cultivables. Au terme d'un dialogue constructif, le GIE Constructeurs A41 s'est engagé à remettre en état de culture les Zones de matériaux excédentaires (ZME), ce qui a nécessité la mise en œuvre sur ces zones de sous-couches agricoles et d'une couverture adéquate de terre végétale.

Construire l'A41 Nord en 29 mois : un défi technique et organisationnel

Les associations constituent également des interlocuteurs incontournables pour les constructeurs. Sur l'A41 Nord, certaines d'entre elles ont joué un rôle important dans la détermination de l'architecture retenue pour les têtes du tunnel.

Par ailleurs, la réalisation de l'A41 Nord génère des aménagements importants sur la RD1201, l'axe qu'elle vise à délester d'une partie d'un important trafic inadapté à cette voie. De tels travaux provisoires ou définitifs (giratoires, accès de chantier, ponts, etc.) ne peuvent être entrepris qu'en étroite partenariat avec les services du Conseil général de Haute-Savoie.

Enfin, informer les utilisateurs des réseaux routiers locaux susceptibles d'être perturbés par l'ensemble de ces travaux est une obligation à laquelle souscrivent pleinement les constructeurs.

Cet effort de communication vers toutes les parties prenantes du projet génère assurément un surplus de travail conséquent pour les différentes équipes du constructeur. Il a, tout aussi indéniablement, contribué à créer un bon climat autour du projet autoroutier et à faciliter son acceptation dans les communes riveraines.

Le succès jamais démenti des visites de chantier organisées par le concessionnaire Adelac et les offices de tourisme locaux, ainsi que l'engouement suscité par la journée « Portes ouvertes » de septembre dernier (pas moins de 3000 visiteurs!) attestent de cette bienveillance et souvent d'un réel intérêt pour le projet.

■ Un impact important sur l'économie locale

Avec un effectif atteignant 1300 personnes, le chantier de l'A41 Nord représente une manne importante pour les activités de service des communes voisines de la future autoroute. L'impact économique et social du projet ne se limite cependant pas à la durée de la construction de l'ouvrage. Face à la difficulté de recrutement dans une région voisine de la Suisse, le GIE Constructeurs A41 a mis en place, en collaboration avec la Région, un plan de formation et de recrutement qui a permis à une centaine de Haut-Savoyards d'être embauchés sur le chantier. Effectuées par l'Afpa, le Gréta et relayées par les ANPE locales, les formations dispensées ont été sanctionnées par une certification professionnelle. Au terme de leurs contrats à durée de chantier, les compagnons, employés et cadres ainsi recrutés se verront proposer d'intégrer l'une des entreprises du GIE. ■

ABSTRACT

Construction of the A41 North motorway in 29 months : a technical and organizational challenge

M. Bonnet, Ph. Bourdon

Construction of the A41 North motorway in 29 months represents a real technical challenge, requiring the simultaneous execution of a great variety of very complex structures in a very short period of time.

Supported by the recognised competencies of the various companies of Bouygues Construction and Colas, the A41 Contractors consortium established an efficient organisation, by specialist activity, using concurrent engineering to meet the very tight deadline, for optimum management of the risks inherent in this type of project.

The success of the A41 is also attributable to the contractors' constant concern for integration of the project into its environment and constant dialogue with the local stakeholders.

RESUMEN ESPAÑOL

Construcción de la autopista A41 Norte en 29 meses : un reto técnico y organizacional

M. Bonnet y Ph. Bourdon

La construcción de la autopista A41 Norte en 29 meses representa un verdadero reto técnico, ya que se trata de ejecutar simultáneamente, en un plazo sumamente corto, diversas obras a la vez muy complejas y muy variadas.

Tomando apoyo en las reconocidas competencias de las distintas empresas de Bouygues Construction y de Colas, la GIE Constructores A41 ha podido así implementar una organización eficaz, por actividades, recurriendo a la ingeniería concurrente para hacer frente a los plazos muy cortos, con el objetivo de controlar mejor los riesgos inherentes a este tipo de proyecto.

El éxito de la autopista A41 pasa también por el afán permanente de los constructores en integrar el proyecto en su entorno y por un diálogo constante con los protagonistas locales.

L'ingénierie intégrée



Jean-Émile Croiset
 Directeur de projet
 Ingénierie i-LAC
 Setec TPI



Stéphane Moutot
 Directeur de projet
 Ingénierie adjoint i-LAC
 Setec International



Christian Roulet
 Directeur de projet
 Ingénierie adjoint i-LAC
 Bouygues Travaux
 Publics



Édith Floret-Miguet
 Gestionnaire de projet
 Planning-Qualité i-LAC
 Setec Organisation

Sur une courte longueur, l'autoroute A41 Nord présente une grande diversité d'ouvrages avec chacun leur complexité spécifique. Les principaux défis relevés ou restant à relever pour l'ingénierie intégrée i-LAC ont consisté :

- à tenir les délais d'établissement des dossiers vis-à-vis des procédures administratives tant avec le concédant et les autorités publiques qu'avec la société concessionnaire;
- à optimiser la conception du projet;
- à surveiller la réalisation des travaux pour permettre la réception de l'ouvrage et sa mise en service à l'échéance du 28 décembre 2008.

■ Présentation générale

L'ingénierie

L'ingénierie du projet est réalisée par i-LAC, groupement entre Setec et les entreprises de construction : Bouygues TP, GFC Construction, Quille, DTP Terrassement, Colas Rhône-Alpes, Screg Sud-Est et Sacer Sud-Est.

L'objectif recherché, en regroupant ainsi le bureau d'études et les entreprises de construction dans une même structure d'ingénierie, est d'intégrer au plus tôt les impératifs et les choix constructifs dans la conception de l'ouvrage.

Les principales missions de l'ingénierie concernent :

- la réalisation des études relatives aux différentes procédures administratives du projet : dossier loi sur l'eau, dossier de sécurité du tunnel, etc.;
- la réalisation des études de conception : avant-projet, projet, spécifications techniques détaillées;
- les visas des études d'exécution;
- le contrôle extérieur de la qualité des travaux.

L'organisation générale d'i-LAC s'articule autour :

- d'une équipe présente sur site et dont la mission est double :
 - > pour les études : définition des études à réaliser, pilotage, contrôle et réception,
 - > pour les travaux : contrôle extérieur de la qualité des travaux, avec pilotage des prestataires extérieurs (laboratoires...);
- de prestataires extérieurs dont les principaux sont :
 - > Setec pour l'ensemble des études, hors génie civil du tunnel,
 - > le bureau d'études Bouygues TP pour le génie civil du tunnel,
 - > les architectes de l'opération : AOA (Christophe Cheron et Thomas Lavigne) pour les ouvrages et Richard Couturier pour les auvents de péage et les bâtiments d'exploitation.

Le thème général de l'ingénierie du projet A41 Nord mériterait des développements multiples. Cet article propose de mettre l'accent sur quelques points qui ont influé sur l'organisation et le déroulement général des études, à savoir :

- les délais de l'ensemble de l'opération;
- la technicité du projet;
- l'environnement;
- l'optimisation.

Les délais

Les délais de l'ensemble de l'opération sont assez courts : 38 mois pour la mise en service à compter de la date de signature du contrat de concession. Il convient de noter que le paramètre « délai » est un paramètre clé des réponses aux appels d'offres de concession, les délais serrés devenant la règle pour ce type d'opération.

Ce délai global se décline en plusieurs délais intermédiaires, dont ceux qui permettent le démarrage des travaux :

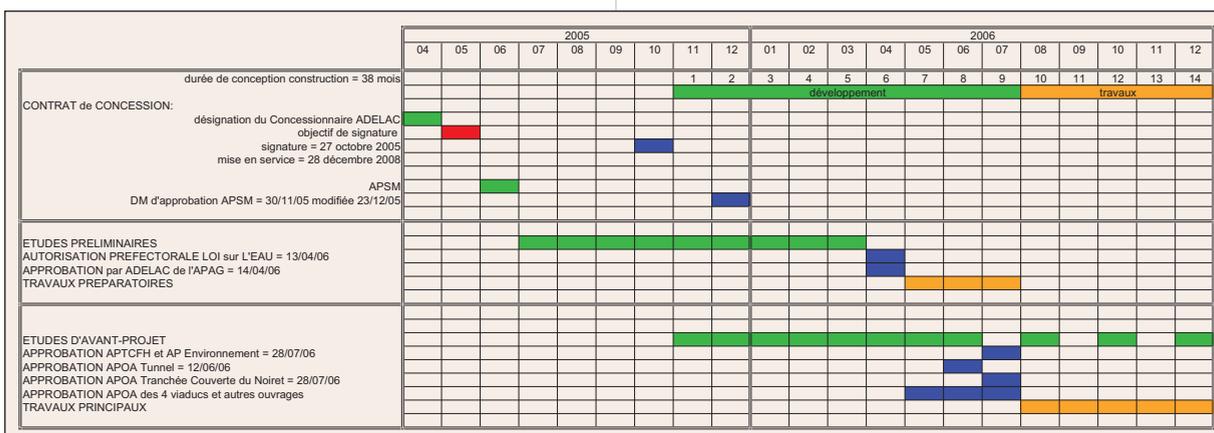


Figure 1
 Planning simplifié des études de développement
 Simplified schedule of development engineering

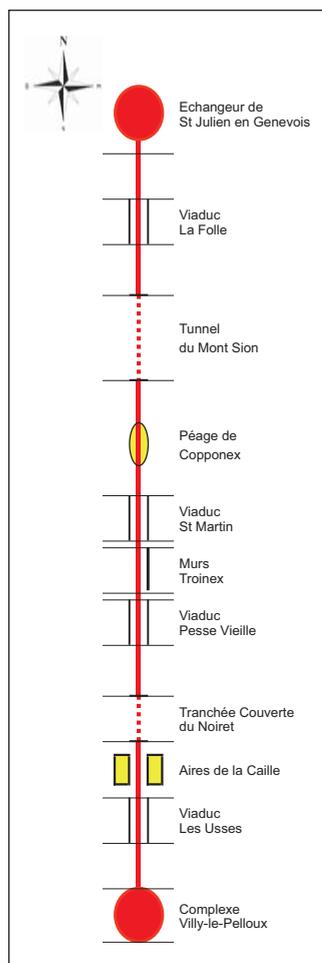


Figure 2
Synoptique de l'autoroute A41 Nord
Block diagram of the A41 North motorway

- 6 mois pour le démarrage des travaux préparatoires;
 - 9 mois pour le démarrage des travaux principaux.
- L'objectif de ces délais assez courts était de pouvoir bénéficier de la saison d'été 2006 pour le début de la réalisation des terrassements, malgré la signature du contrat de concession retardée de mai 2005 à octobre 2005.

Un certain nombre d'études et de prestations ont donc été engagées avant la signature du contrat de concession, comme :

- les acquisitions de données (topographie, environnement, géotechnique) permettant d'engager les études d'avant-projet;
- les études à durée incompressible ou débouchant sur des procédures administratives longues, principalement :
 - > les études du tunnelier pour permettre la commande du tunnelier dès la signature du contrat de concession,
 - > le dossier loi sur l'eau réalisé sur la base d'études techniques anticipées, de façon à lancer au plus tôt l'enquête publique,
 - > l'étude préliminaire d'ouvrage d'art (EPOA) du tunnel du Mont-Sion, afin d'engager l'instruction de ce dossier dès la signature du contrat de concession (figure 1).

Les études se sont ensuite développées selon le principe de l'ingénierie concourante, avec chevauchement des différentes phases entre elles et prise en compte le plus en amont possible des choix constructifs définitifs. Ceci suppose, entre autres, une réactivité très forte de l'ensemble des intervenants, aussi bien chez i-LAC que chez les prestataires extérieurs.

La technicité du projet

Malgré sa courte longueur (environ 19 km), le projet comporte un grand nombre de sujets techniques différents :

- le complexe de Villy-le-Pelloux à l'extrémité sud, avec un diffuseur local, une barrière de péage et une bifurcation autoroutière, le tout étant à réaliser sous circulation d'A410 (Annecy ↔ Chamonix);
- quatre viaducs de 200 m à 400 m de longueur environ;
- une tranchée couverte, à phaser en construction pour conserver la RD1201 (artère Annecy-Genève) en circulation;
- un tunnel bitube de 3 km de longueur;
- des murs de soutènement de grande hauteur (11 à 12 m) dans un versant en limite de stabilité;
- des terrassements, non courants dans certaines zones (zones à stabilité limite et certains ouvrages de grande hauteur – hauteur maximale de remblai = 27 m) (figure 2).

Ces éléments, développés dans les parties suivantes, ont influencé l'organisation d'i-LAC et en particulier :

- il a été décidé de rassembler dans l'équipe du site des spécialistes de toutes les disciplines rencontrées, chacune étant dotée d'un responsable : géométrie, ouvrages d'art, tunnel, géotechnique et équipements;
- le complexe de Villy-le-Pelloux a été traité comme un sous-ensemble du projet sous l'autorité d'un responsable unique, ce qui a permis de mieux gérer les problèmes de coordination entre les différentes disciplines techniques.

L'environnement

Le projet se développe dans un site remarquable par la qualité des paysages et des espaces traversés. Un grand soin a donc été apporté à l'aspect environnemental, dans le respect des engagements de l'État annexés au contrat de concession.

Pour illustrer ces propos, on peut citer les zones de matériaux excédentaires dans lesquelles sont stockés à la fois les matériaux de déblai non réutilisables et le marin du tunnel. Une recherche approfondie de sites potentiels a permis d'en identifier deux nouveaux (Montailloux et la Caille) dont l'utilisation se révèle moins agressive sur l'environnement que certains sites du précédent projet d'ATMB.

Autre illustration de l'impact de l'environnement sur le projet (et non l'inverse) : l'ouvrage de la Ravoire. Il est apparu au cours de l'enquête publique relative à la loi sur l'eau, que le ruisseau de la Ravoire abrite des écrevisses à pieds blancs dont l'habitat doit être protégé. La présence de cette espèce n'était pas connue jusqu'alors. À la suite de cette découverte, la décision fut prise de réaliser un ouvrage d'art spécifique très important en remplacement de la buse initialement prévue (photo 1).



Photo 1
La coulée verte de la Ravoire
The Ravoire green swathe

L'optimisation

En plus de l'aspect « délai », paramètre clé, on l'a vu, des réponses aux appels d'offres de concession, s'ajoute un autre critère important : le coût.

L'optimisation à tous les niveaux du projet doit donc rester présente à l'esprit des concepteurs et des constructeurs, et ce dans le respect des impératifs de qualité. Ceci est illustré aussi bien dans la recherche des tracés et profils en long généraux, que dans le choix des structures dont certaines ont été adoptées après mise en compétition économique de plusieurs solutions de performances techniques égales.

■ L'ingénierie des ouvrages linéaires

Des ouvrages linéaires dans un site complexe

Le projet de l'A41 est marqué par les coupures naturelles que constituent notamment le Mont-Sion et les Nants de la Folle, Saint-Martin, Pesse-Vieille et des Usses.

L'ensemble du projet se développe sur une topographie de moyenne montagne qui nécessite, pour le franchissement du Mont-Sion et des Nants, la construction d'ouvrages d'art non courants constituant autant de ruptures dans une section autoroutière de 19 km.

À ses extrémités, l'autoroute A41 se connecte, au nord, à la bifurcation actuelle de Saint-Julien-en-Genevois (A40-A401) exploitée par ATMB et au sud à la barrière de péage de Villy-le-Pelloux qui délimite l'A410 vers Chamonix et l'A41 vers Grenoble.

Ces deux raccordements sont des nœuds autoroutiers dont la complexité résulte notamment de l'exiguïté des sites et de la densité du trafic.

Un projet influencé par de précédentes études

Le projet de l'autoroute A41 avait été porté par la société ATMB au milieu des années 90.

La définition de la géométrie de l'infrastructure et de ses annexes était très engagée; de nombreux choix techniques avaient été effectués. Ainsi les acquisitions foncières étaient très avancées si bien que les évolutions et optimisations du projet ont été cadrées pour bénéficier de la maîtrise des terrains et engager des travaux dès que possible.

Des délais de conception record

Un des enjeux de l'opération était le lancement des premiers terrassements dès l'été 2006, alors que la

convention de concession liant l'État et Adelaç a été approuvée par décret le 27 octobre 2005.

La conception a donc été planifiée pour obtenir, dans ces délais tout à fait inhabituels, les autorisations et accords nécessaires, en particulier la validation de l'avant-projet relatif à la géométrie, aux terrassements, couches de forme et à l'hydraulique, ainsi que l'autorisation au titre de la loi sur l'eau.



La géométrie

L'avant-projet géométrie a été découpé en trois secteurs : la section courante (et les rétablissements) d'une part, et les deux extrémités d'autre part; la conception de ces nœuds autoroutiers étant soumise à une concertation avec les sociétés ATMB et Area et à l'exercice du droit d'évocation par l'État.

Une des difficultés du calage du tracé en section courante se situe dans les coteaux de Cruseilles (photo 2) où l'autoroute chemine en balcon, accrochée au versant avec un profil en travers en chaussées décalées (la différence altimétrique pouvant atteindre 5 m), avec aux points les plus critiques, des murs de soutènement atteignant 12 m en déblai (au-dessus de la voie haute) et 12 m en remblai (en dessous de la voie basse).

Malgré des contraintes fortes, le tracé en plan ne comporte pas de rayon inférieur à 650 m. Compte tenu du classement de l'autoroute A41 en catégorie L2 (au sens de l'ICTAAL 2000), le profil en travers en section courante est donc en toit sauf au raccordement à l'actuelle A401 dans le nœud de Saint Julien.

Le profil en long comporte deux secteurs pentés à 5 % dont un nécessite la création d'une voie supplémentaire pour véhicules lents.

Le nœud de Saint-Julien se caractérisait par des trafics forts (en particulier aux heures de pointe du matin) et

Photo 2

La trace de l'autoroute sur les versants de Cruseilles
Motorway route on the slopes of Cruseilles

L'ingénierie intégrée

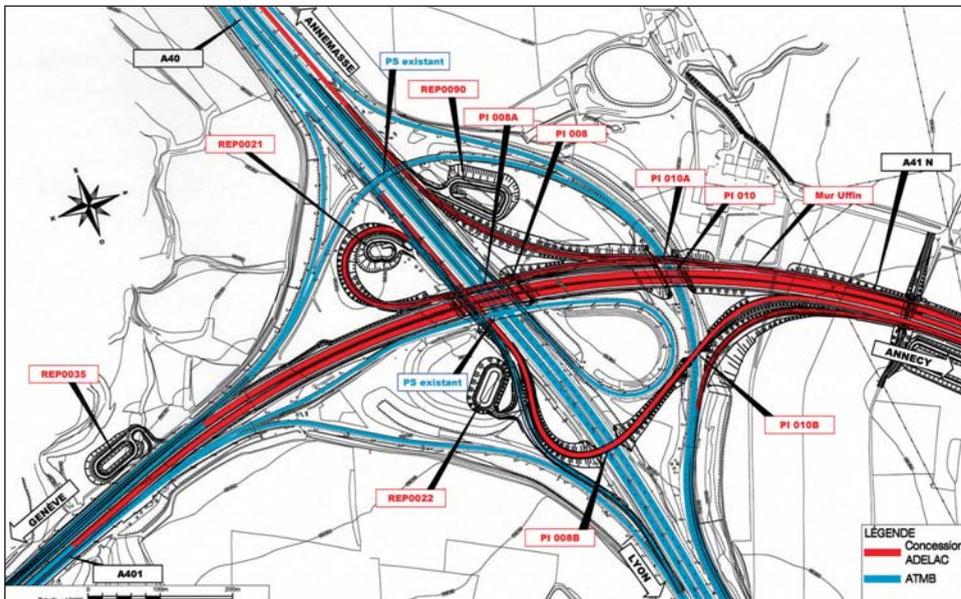


Figure 3
 Vue en plan du nœud autoroutier de Saint-Julien-en-Genevois
 Plan view of the Saint-Julien-en-Genevois motorway interchange

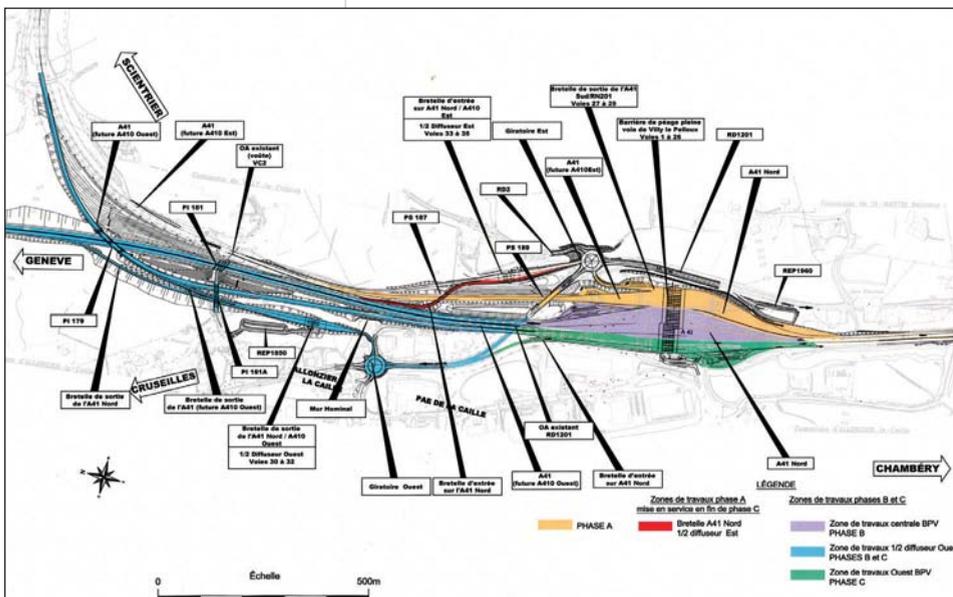


Figure 4
 Vue en plan de la bifurcation de Villy-le-Pelloux
 Plan view of Villy-le-Pelloux junction

dissymétriques car liés au trafic pendulaire des usagers (principalement des transfrontaliers) de l'A40 et de la future A41, vers et en provenance de la Suisse. Une analyse poussée de ces trafics a conduit à modifier la conception générale de ce nœud (telle qu'elle était envisagée dans les années 90) et en particulier à concevoir une bretelle semi-directe pour le sens A40 - Annemasse vers A41 - Annecy (figure 3).

Le nœud de Villy-le-Pelloux était contraint : par l'exiguïté du site, par des impératifs fonctionnels liés à la différenciation tarifaire entre les flux de l'A41 Nord et de l'A410, et par la nécessité d'assurer tous les échanges dans les deux sens de circulation entre l'A41 et l'A410 d'une part, et la RD1201 d'autre part. Ces sujétions ont amené à concevoir une nouvelle BPV (barri-

ère pleine voie) décalée de 50 m environ au sud de la barrière existante, et à décomposer la réalisation des travaux en de nombreuses phases et sous-phases (figures 4 et 5).

Établi sur la base d'une étude préliminaire de géométrie (postérieure à l'avant-projet sommaire modificatif), l'avant-projet géométrie de la section courante a été approuvé par Adalac le 14 avril 2006, et a permis le lancement des travaux préparatoires 6 mois après approbation de la convention de concession.

Les dossiers de géométrie des nœuds ont fait l'objet de plusieurs réunions de contrôle avec les services de la Direction générale des routes se soldant par deux décisions ministérielles d'approbation, les 2 et 3 octobre 2006.

La concertation pour le rétablissement des communications et des réseaux

Deux équipes ont été constituées pour mener à bien la concertation avec les tiers au sujet du rétablissement, des voies de communication d'une part et des réseaux interceptés par le projet d'autre part.

Les échanges avec les collectivités ont été pilotés par Adalac, la mise à jour et la présentation des propositions techniques étant effectuée en temps réel par i-LAC.

Les quatre rétablissements de la RN201 ont fait l'objet de réflexions avec les services de la DDE74 et du CG74, anticipant ainsi le transfert de cette infrastructure (rebaptisée RD1201) dans le domaine du CG74, le 1^{er} janvier 2006. Des dossiers de projet de route nationale ont été établis et soumis à la DDE74 conformément à la circulaire du 5 mai 1994. Depuis son transfert, la vocation future de cette route fait l'objet de réflexions importantes (transit ou desserte locale...) qui ne sont pas sans incidences sur les aménagements prévus dans le cadre des rétablissements, notamment en matière de carrefours (quatre nouveaux giratoires) et de maintien ou abandon de créneaux de dépassement existants.

En matière de réseaux, l'inventaire des interférences avec le projet a révélé plus de 75 ouvrages dont l'alimentation en eau potable de Cruseilles, deux importants gazoducs, des lignes électriques THT (très haute tension) et des artères de télécommunication en fibre optique à rétablir dans des délais allant de six mois à un an. Compte tenu de l'incompatibilité de ces délais avec les procédures applicables aux collectivités en matière de commande publique, une structure d'étude spécialisée a été constituée pour l'établissement des avant-projets et projets de rétablissement de réseaux et la maîtrise d'œuvre des travaux correspondants, en lien avec les exploitants concernés.

L'autorisation au titre de la loi sur l'eau

Tous les arrêtés au titre de la loi sur l'eau obtenus par ATMB étant caducs, l'ensemble du projet a fait l'objet d'une nouvelle procédure au titre de ce chapitre du code de l'environnement. Un dossier de demande d'autorisation a donc été élaboré en étroite concertation avec les services, en parallèle à l'étude préliminaire de géométrie. Sur la base de ce dossier, la saisine du préfet de la Haute-Savoie a été effectuée le 2 novembre 2005. L'enquête publique s'est déroulée du 19 décembre 2005 au 27 janvier 2006. L'arrêté préfectoral d'autorisation a été pris le 13 avril 2006.

Les études de terrassements

L'avant-projet Terrassements - couches de forme - hydraulique traite l'ensemble de la section autoroutière et met en évidence onze ouvrages de terrassements de grande ampleur qui ont fait l'objet d'une étude de stabilité particulière. Ces études se fondent sur les reconnaissances effectuées anciennement par ATMB et sur des reconnaissances complémentaires (engagées en parallèle à l'avant-projet) dans des secteurs spécifiques. Les sols identifiés sont des moraines (graves limono-argileuses à limono-graveleuses, argiles limoneuses) surmontées de limons de couverture. Le substratum est molassique (marneux et gréseux) et calcaire.

Le mouvement des terres est le fil conducteur de l'étude. En effet, les coupures naturelles que sont les profonds thalwegs des ruisseaux et le Mont-Sion découpent autant de sous-sections pour lesquelles a été recherché un équilibre entre les déblais réutilisables et les besoins en remblais.

Cette étude a été menée en étroite collaboration avec le GIE A41 afin d'optimiser le réemploi en fonction des options prises en matière de moyens et des périodes prévisibles pour l'exécution des travaux.

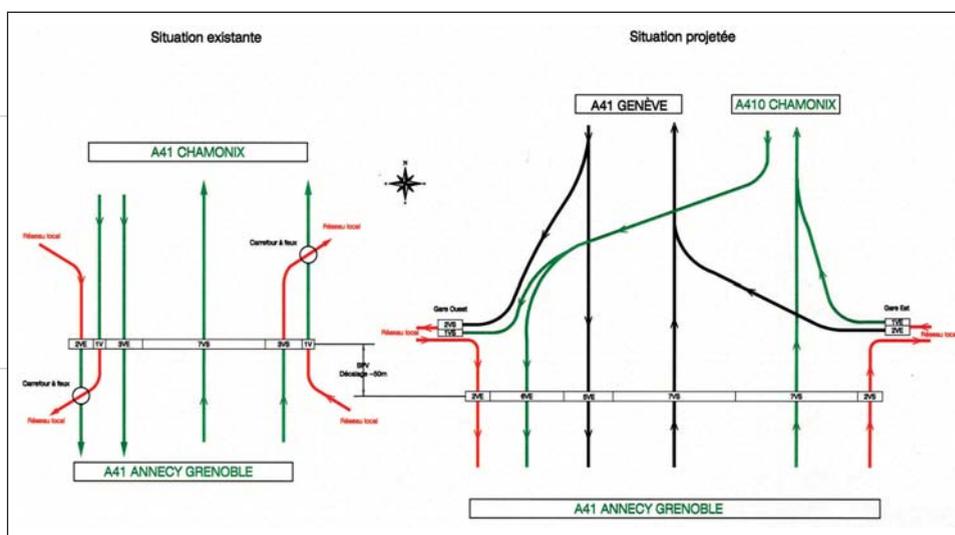


Figure 5
Synoptique fonctionnel du péage de Villy-le-Pelloux
Functional block diagram of Villy-le-Pelloux toll system

Au total, le mouvement des terres dépasse les 5 millions de mètres cubes de déblais (y compris décapage de la terre végétale) et ressort nettement excédentaire compte tenu d'une part du marin du tunnel (molasses marneuses surconsolidées non réutilisables en l'état) et de certains matériaux de qualité médiocre issus des déblais effectués dans la sous-section sud. L'excédent d'environ 1 600 000 m³ est principalement constitué de matériaux impropres destinés à être mis en dépôt. La sécurité du mouvement des terres est apportée par le recours éventuel au traitement des sols (figure 6).

Les matériaux nobles pour assises de remblai, bèches, masques, éperons, tranchées drainantes, purges, PST et couche de forme au sud du tunnel (soit environ 1 000 000 m³), sont en très grande partie couverts par les matériaux rocheux issus de la tranchée du Noiret. En effet, les calcaires crétacés à faciès urgoniens rencontrés dans cette butte correspondent à des calcaires blancs massifs et résistants (classés R21 au sens du GTR). Leur transformation par concassage a été organisée à proximité directe du lieu d'extraction sur le site des futures aires de repos de la Caille.

Le dossier d'avant-projet Terrassements - couches de forme - hydraulique a été approuvé par Adelaç le 28 juillet 2006 et a permis le lancement des travaux en grandes masses.

Les zones de matériaux excédentaires

Le devenir des matériaux excédentaires était déjà un sujet d'importance du projet promu par ATMB.

Afin de limiter les quantités de ces matériaux, le mouvement des terres du projet d'Adelaç a été optimisé d'autant plus que ce projet doit tenir compte d'environ 400 000 m³ de matériaux supplémentaires provenant du percement du second tube du tunnel du Mont-Sion

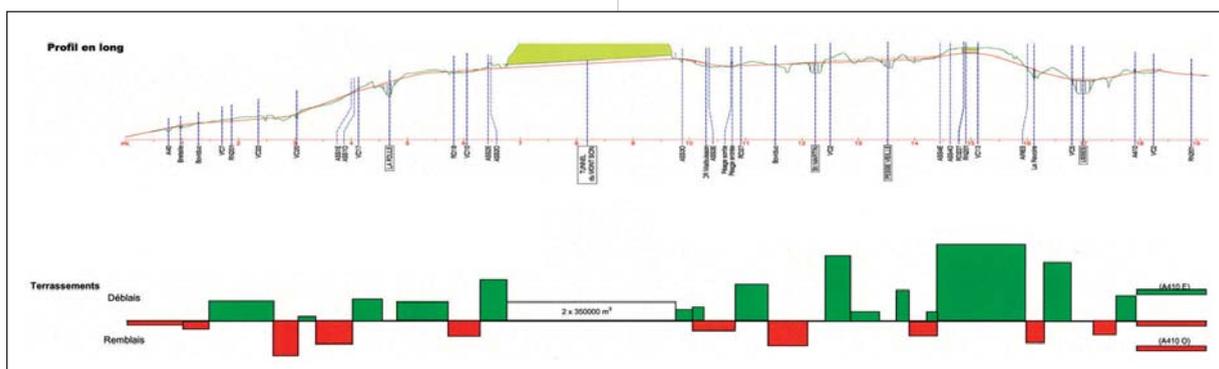


Figure 6
Profil en long autoroutier et répartition déblais-remblais
Longitudinal profile of motorway and earth cut/backfill breakdown

L'ingénierie intégrée

Photo 3

ZME (Zone de matériaux excédentaires) de Pomier
Pomier excess material areas



(non prévu dans le mouvement des terres d'ATMB). Le mouvement de ces impropres et excédents a fait l'objet d'importantes décisions. En effet, le morcellement de la section, la concentration de ces matériaux dans certaines buttes et sous-sections, et le planning tendu de l'opération nécessitaient de maîtriser des zones de matériaux excédentaires à proximité des zones d'extraction.

Par ailleurs, certains des sites retenus dans les années 90 posaient des problèmes de stabilité, d'intégration paysagère et d'environnement, notamment par la proximité de cours d'eau. En outre, le transport de matériaux par des moyens routiers empruntant la RD 1201 était à limiter au strict nécessaire compte tenu du trafic important sur cet itinéraire.

Trois des cinq sites précédemment inventoriés (et d'une capacité totale d'environ 900 000 m³) ont ainsi été abandonnés au profit de deux nouveaux, l'un situé en tête nord du tunnel du Mont-Sion et l'autre à proximité des ponts de la Caille (pour une capacité totale équivalente).

Ces sites ont fait l'objet d'autorisations au titre des installations de stockage de déchets inertes (photo 3).

Les études d'environnement

L'avant-projet environnement a été établi sur la base d'études d'inventaire du patrimoine naturel préexistantes (richesses écologiques, faunistiques et floristiques) et d'études complémentaires permettant l'actualisation des précédentes, en particulier sur des sites sensibles déjà identifiés. Il traite les thèmes des eaux souterraines et superficielles, des milieux naturels, de l'agriculture, de l'acoustique, de la qualité de l'air, du patrimoine culturel et archéologique, du paysage, des emprunts et zones de matériaux excédentaires.

Le cadrage de ces études a été effectué en concertation avec la DIREN Rhône-Alpes.

Divers enjeux ont été identifiés (présence de tulipes et orchidées sauvages notamment) déclenchant des inventaires détaillés validant finalement l'absence de placette abritant ces espèces dans l'emprise des travaux.

Des corridors biologiques ont été identifiés, notamment le vallon des Usses où l'on note la présence de chamois, sangliers, chevreuils, blaireaux et renards (à noter que la transparence générale du projet est assez largement assurée par la construction de quatre viaducs et d'un tunnel ouvrant l'infrastructure sur plus de 4 km au total).

Les mares forestières du vallon des Usses abritent par ailleurs des populations de sonneurs à ventre jaune (espèce d'amphibien de grande valeur patrimoniale); une clôture spécifique a été mise en place afin d'éviter la divagation d'amphibiens situés à proximité directe du chantier.

Des expertises des zones humides ont été menées, en particulier dans la zone des Ebeaux surplombant l'A41 dans un secteur en fort déblai. Cette zone humide d'environ 2 ha, pentue (25 %) située à 725 m d'altitude présente une mosaïque de milieux. La flore est très diversifiée mais ne comporte pas d'espèce protégée. Le peuplement avifaunistique compte une vingtaine d'espèces nicheuses.

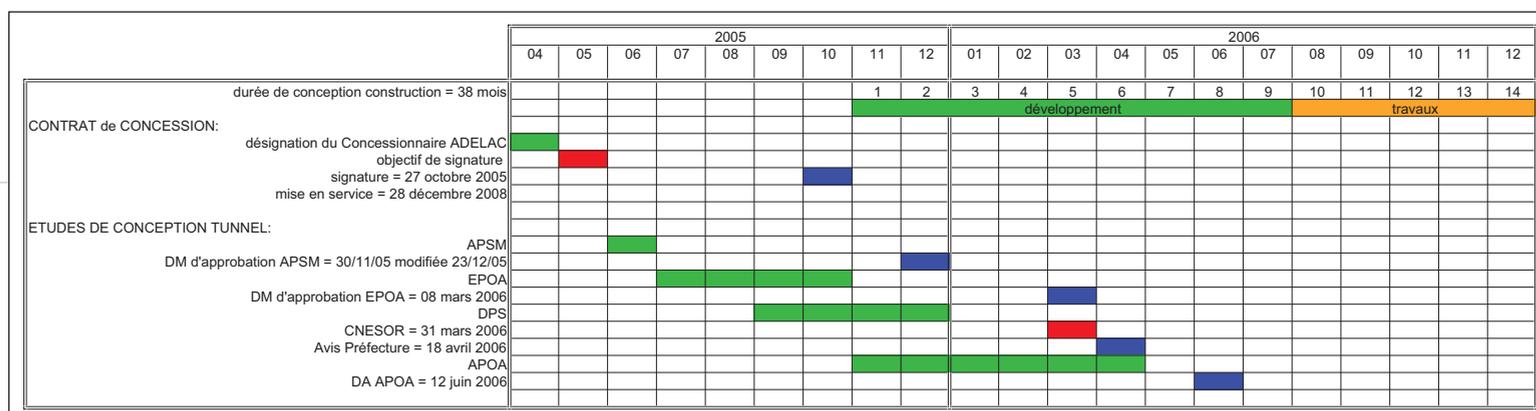
Pour cette zone de forte sensibilité biologique, il a été décidé de concevoir les proches ouvrages de manière à préserver la biodiversité de ce marais.

Le ruisseau de la Ravoire héberge une des plus grosses populations d'écrevisses à pieds blancs (*austroptombius pallipes*) de Haute-Savoie. Cette espèce et son milieu sont protégés par plusieurs textes nationaux et internationaux, si bien que l'ouvrage hydraulique initialement prévu pour le rétablissement du ruisseau de la Ravoire a été abandonné au profit d'un ouvrage d'art important permettant le franchissement de ce ruisseau et de ses abords sans impact significatif sur le milieu protégé. Cet ouvrage servira par la même occasion de passage privilégié pour la faune.

Le dossier d'avant-projet environnement a été approuvé par Adelaç le 28 juillet 2006.

Les chaussées

Le dimensionnement des chaussées de la section courante de l'A41 a été établi sur la base d'un scénario d'entretien planifié sur toute la durée de la concession.



Au stade de l'avant-projet, les calculs menés en matière d'endommagement progressif de la chaussée ont permis de repousser à 12 ans (pour 10 ans initialement prévus) le premier entretien structurel. La chaussée ainsi dimensionnée est composée de la façon suivante : 4 cm de BBM, 6 cm de BBSG, 10 cm de GB4 sur une plate-forme PF3 (au sens du Guide sur les terrassements routiers - GTR).

■ L'ingénierie des ouvrages non linéaires

Autoroute de montagne, l'A41 Nord est ponctuée de nombreux ouvrages dont beaucoup sont majeurs. Sur les 19,8 km de projet, les ouvrages d'art non courants totalisent environ 6 km, soit 30 % de la longueur du projet.

Tunnel du Mont-Sion

Le tunnel du Mont-Sion constitue l'ouvrage phare du projet de l'autoroute A41 Nord. D'une longueur de 3,1 km, calé entre les parties d'ouvrages des têtes du tube ouest, antérieurement réalisées par ATMB, il sépare en deux le chantier :

- côté nord : versants du Genevois et raccord sur l'autoroute A40 au nœud de Saint-Julien;
- côté sud : versants de Cruseilles et raccord à la BPV (barrière pleine voie) avec création de la bifurcation de Villy-le-Pelloux.

Ses fonctionnalités au sens de la circulaire 2000-63 :

- tunnel non urbain bitube à 2 x 2 voies unidirectionnel;
- trafic non faible;
- vitesse limitée à 110 km/h;
- ouvrage dimensionné pour le passage des TMD (transport des matières dangereuses);
- niveau de surveillance D4 assuré par le PC CESAR d'Area,

ont fait l'objet d'une attention concertée soutenue sur le plan de la sécurité par les services de secours et la préfecture de Haute-Savoie, dans une région fortement éprouvée par les accidents en tunnel. Aussi, certaines dispositions de la directive européenne ont été anticipées dès 2005 dans l'élaboration des différents dossiers APSM (avant-projet sommaire modificatif),

EPOA (étude préliminaire d'ouvrage d'art), APOA (avant-projet d'ouvrage d'art), DPS (dossier préliminaire de sécurité), et les observations de la CNESOR (Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers) ont abondé dans ce sens. On peut citer en particulier l'espacement des niches de sécurité (150 m au lieu de 200 m) et de la signalétique des issues de secours (25 m au lieu de 50 m), l'espacement des batteries de ventilation (200 m au lieu de 100 m initialement prévus) permettant d'améliorer au-delà de la réglementation les performances de la ventilation longitudinale en cas de sinistre.

Sur le plan de l'exploitation et dans le contexte des opérations de rénovation du tunnel de l'Épine sur l'A43 par Area, au cours des étés 2005 et 2006, ces fonctionnalités ont également été poussées, offrant la possibilité occasionnelle d'une exploitation bidirectionnelle dans un seul tube malgré l'itinéraire alternatif sur l'ancienne RN 201.

Du point de vue de la conception générale, le design prévoit la réalisation d'une galerie technique dans chaque tube, située sous chaussée et abritant l'ensemble des alimentations d'équipements (alimentation électrique, conduite incendie, ventilation des niches et des intertubes). Par ailleurs, le contexte géologique (massif de molasses recouvertes par les formations fluvioglaciales, avec peu ou pas de présence d'eau) et l'anticipation des risques sur le planning avaient conduit dès l'offre, au choix d'un tunnel creusé au tunnelier et à la réalisation d'anneaux inspirés de la méthode suisse : voussoirs préfabriqués avec drainage extérieur par remplissage du vide annulaire à la gravette pour la partie supérieure de l'anneau.

C'est également dans le cadre de la maîtrise du planning que les études de conception se sont déroulées :

- anticipation de l'EPOA pour une diffusion dès la mise en vigueur du contrat de concession;
- déclenchement immédiat du montage du DPS permettant de passer au 31 mars 2006 à la première commission de sécurité CNESOR (remplaçant l'ancienne CESTR, Commission d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers);
- APOA monté en parallèle et approuvé directement par la société concessionnaire par délégation du concédant, pour la première fois dans l'histoire des tunnels autoroutiers (figure 7).

Enfin, et dans la démarche d'intégration des ouvrages

Figure 7

Planning des études de conception du tunnel
Tunnel design engineering schedule

L'ingénierie intégrée

Photo 4

Tympan architectural en tête de tunnel du Mont-Sion, projet initial

Architected front wall on the portal of Mont-Sion Tunnel, initial design



Photo 5

Tympan architectural en tête de tunnel du Mont-Sion, projet concerté

Architected front wall on the portal of Mont-Sion Tunnel, concerted design



▶ dans l'environnement, les têtes de tunnel, initialement dessinées avec une volonté de mise en évidence de l'ouvrage, ont été estompées pour se fondre dans le paysage du massif du Mont-Sion, résultat consensuel de la concertation architecturale menée avec le Cabinet A.O.A. auprès des mairies de Présilly et d'Andilly ainsi qu'auprès du Syndicat mixte du Salève (photos 4 et 5).

Tranchée couverte du Noiret

Située à la moitié du tronçon sud de l'A41 Nord, en contre-haut de la rive nord du vallon des Usses, dans un contexte riverain sensible, la tranchée ouverte du Noiret est au droit du franchissement de la RD 1201 (ex RN 201) couverte sur une longueur de 290 m.

Bien que non assujettie à la réglementation applicable aux tunnels, la tranchée couverte du Noiret n'en a pas moins fait un point d'examen attentif de la préfecture et des services de secours sur les sujets de sécurité au-delà des minima requis dans la circulaire 2000-63 pour ce type d'ouvrages.

Outre les PAU (postes d'appel d'urgence) aux têtes ainsi que les niches de sécurité, les études de conception prévoient des dispositions complémentaires :



Photo 6

Tympan architectural de la tranchée couverte du Noiret
Architected front wall of the Noiret cut-and-cover

signalétique à l'intérieur de la tranchée, feux d'affectation des voies en entrée avec séquence simplifiée de signalisation avertissant l'utilisateur en cas de sinistre, poteau incendie en entrée avec réservoir situé au-dessus de la tranchée.

Sur le plan du génie civil, la conception en deux alvéoles a été maintenue pour des raisons de sécurité (séparation des flux). La structure, initialement constituée d'une dalle de surface à poutres préfabriquées dont la capacité portante était fonction des zones de charges (sous ou hors voirie), a été optimisée en double voûte sous remblai permettant de s'affranchir des contraintes de différenciation des chargements dans la mise au point du phasage des déviations de voirie.

Sur le plan architectural, la tranchée couverte du Noiret a également fait l'objet d'une intégration des structures dans les parements calcaires de la tranchée ouverte, dans une zone à proximité du site inscrit des ponts de la Caille (photo 6).

Ouvrages d'art non courants (OANC) : les quatre viaducs

Les nombreux vallons qui jalonnent les versants de part et d'autre du Mont-Sion ont nécessité leur franchissement par des ouvrages non courants. Quatre viaducs ponctuent le tracé de l'A41 Nord :

- au nord du tunnel : le viaduc du Nant de la Folle (264 m en cinq travées);
- au sud du tunnel :
 - > le viaduc du Nant de Saint-Martin (270 m en trois travées),
 - > le viaduc du Nant de Pesse-Vieille (212 m en trois travées),
 - > le viaduc des Usses (360 m en cinq travées).

L'ingénierie a conçu les quatre viaducs suivant le même principe de structures : piles en béton armé et

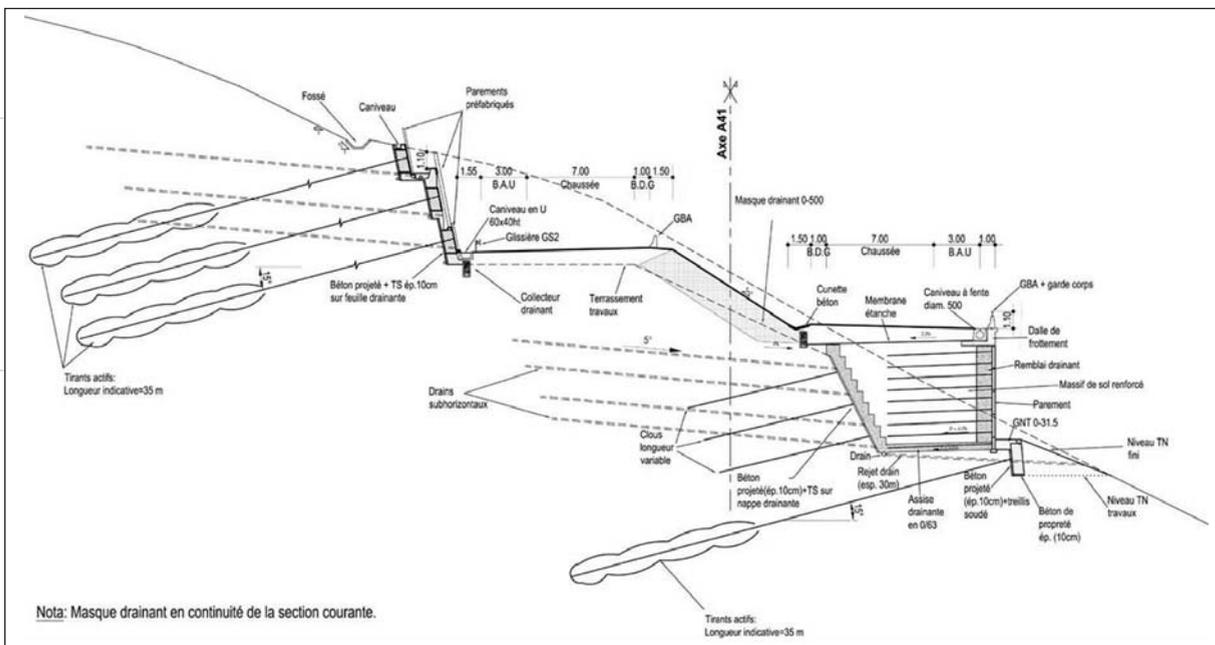


Figure 8

Coupe transversale de l'autoroute au droit des murs de Troinex

Cross section of the motorway at the level of the Troinex walls

tabliers en ossature mixte bipoutre métallique avec hourdis béton. Les particularités de chacun conduisent naturellement pour la réalisation du profil en travers (PT) :

- à un tablier unique à pièces de ponts (viaduc des Usse);
- ou deux tabliers séparés (PT avec voie supplémentaire pour véhicules lents sur le viaduc de la Folle; chaussées dénivelées pour les viaducs de Saint-Martin et Pesse-Vieille).

En ce qui concerne les fondations, c'est du sur-mesure affiné au fur et à mesure des sondages géotechniques à l'avancement du chantier :

- réduction significative des longueurs de pieux;
- puits remplacés par des semelles superficielles.

Enfin, le respect de l'environnement, perceptible dans l'architecture effilée des viaducs a été poussé sur Saint-Martin jusqu'à réviser les travures en minimisant les appuis (trois travées au lieu de cinq) afin de préserver au mieux les espaces boisés et d'améliorer les dispositions relatives au dossier loi sur l'eau.

À noter qu'en termes de procédures d'études, le concédant dans sa DM (décision ministérielle) de l'APSM a d'une part notifié l'approbation des chapitres OANC - Viaducs considérés comme EPOA et d'autre part délégué l'approbation des APOA à la société concessionnaire.

L'ouvrage de la Ravoire (OANC)

Initialement prévu en buse hydraulique sous grand remblai de section courante, les contraintes environnementales (protection de l'habitat des écrevisses à pieds blancs) ont transformé l'ouvrage de la Ravoire en ouvrage d'art aux caractéristiques exceptionnelles : pont à travée isostatique de 38 m de portée, réalisé en tablier mixte acier-béton posé sur des culées en sol renforcé de 25 m de hauteur.

Les murs de Troinex (OANC)

Le long des versants de Cruseilles, dans un contexte hydrogéologique complexe (moraines argilo et limono sableuses sur un substratum de molasses), l'autoroute A41 Nord présente, entre le demi-diffuseur de

Copponex et la tranchée couverte du Noiret, un PT à demi-chaussées dénivelées nécessitant entre les viaducs de Saint-Martin et de Pesse-Vieille d'importants ouvrages de soutènement sur une longueur cumulée amont + aval d'environ 650 m, pour des hauteurs maximales de l'ordre de 11 à 12 m.

Côté amont, le soutènement du déblai consiste en un mur clouté réalisé de haut en bas par passes horizontales successives avec cloutage et béton projeté provisoire, puis mise en place de tirants actifs de type 4 à 6 T15S sur les éléments de mur définitifs.

Côté aval, le soutènement consiste en la réalisation d'un remblai armé, renforcé à sa base par une longrine ancrée par des tirants actifs de 8 et 11T15S (figure 8). Afin de préserver la zone humide des Ébeaux située en amont des murs, l'ingénierie a révisé la conception de l'offre en remplaçant la tranchée drainante continue initialement proposée, par des éperons drainants de surface et des drains subhorizontaux permettant de limiter la pression hydrostatique à l'arrière des murs, sans toutefois porter atteinte à la zone humide.

Enfin, au cours de leur réalisation, les murs de Troinex ont fait l'objet d'un suivi et de mesures dont l'analyse des relevés a conduit à ajuster au fil du chantier les dispositions constructives : rajout d'inclusions et de puits de décharge.

Des OAC pas si courants...

Au nombre de 26 dont six sur le nœud de Saint-Julien et cinq sur la bifurcation de Villy-le-Pelloux, les ouvrages d'art courants se répartissent sur la section courante avec un intervalle moyen de 500 m.

Ces ouvrages se partagent en 9 PS (passages supérieurs) et 17 PI (passages inférieurs). L'ingénierie a cherché à uniformiser leur conception sur le principe de ponts-dalles à tablier précontraint pour les PS, et d'ouvrages type buses pour les PI.

Cependant, les particularités de chacun (biais et courbes très prononcés) ou les contraintes de site (versants inclinés nécessitant des profils en long très prononcés, réalisation sur ou près d'autoroute en service) ont conduit pour beaucoup à des ouvrages particuliers et complexes.

Les exemples ci-dessous illustrent cette complexité :

L'ingénierie intégrée

- en termes de conception :
 - > PS 179 en bipoutre métallique très courbe avec pile centrale à cheville marteau débiaisé,
 - > PI 181 en poutrelles enrobées, le tablier venant en recouvrement d'un PI existant en buse béton armé,
 - > PS 187 avec culées en remblai armé,
 - > PS 189 avec murs culées en palplanches;
- ou en termes de réalisation :
 - > les six PI du nœud autoroutier A41N - A40, la pose des tabliers s'opérant au-dessus de l'autoroute A40.

Dans ce contexte, l'uniformisation n'est donc pas une règle absolue en matière d'ouvrages d'art courants.

■ Bilan de l'ingénierie

Les défis qui avaient été posés à i-LAC en phase de conception, tant en termes de respect des délais que d'optimisation de l'ouvrage, ont été relevés : les dossiers techniques nécessaires au maître d'ouvrage pour obtenir les autorisations administratives, comme les études d'avant-projet (conformes à la circulaire n° 87/88 du 27 octobre 1987 sur la construction et l'aménagement des autoroutes concédées) ou les spécifications techniques du projet et les dossiers PRO nécessaires aux études d'exécution, ont tous été produits en s'adaptant au plus près aux évolutions du projet, et les travaux ont ainsi pu être engagés en respectant le calendrier directeur de l'opération.

À moins d'un an de l'objectif de mise en service de l'A41 Nord, seule reste d'actualité l'instruction du dernier sous-dossier d'avant-projet : l'APA de synthèse et du dossier de sécurité du tunnel (DS) exigé par le code de la voirie routière, ainsi que les derniers dossiers PRO liés aux équipements qui seront mis en œuvre au second semestre 2008.

La pression sur les délais ne s'est pas relâchée pour autant : elle se ressent fortement sur la phase d'exécution de l'opération, et donc sur l'équipe i-LAC en charge du contrôle extérieur de la qualité des travaux. Celle-ci mobilise tout son savoir-faire et celui de ses sous-traitants pour apporter, avec réactivité et efficacité, des réponses adaptées aux exigences du projet : produire un ouvrage de qualité, dans le respect de l'environnement, des délais et des coûts.

On peut enfin noter, pour illustrer le chevauchement des différentes phases intrinsèques à l'ingénierie concourante, que simultanément à l'achèvement de la phase de conception et au déroulement de la phase d'exécution, s'est engagé depuis l'automne 2007 l'établissement des dossiers de récolement. ■

ABSTRACT *Integrated engineering*

J.-E. Croiset, St. Moutot, Ch. Rouillet,
E. Floret-Miguet

Highway A41, north section, has a limited length of about 20 km and presents a large variety of complex structures on such a length.

i-LAC, the Engineer for the project, has had to take up several challenges :

- *to be on time for the preliminary studies in relation with the administrative procedures with the technical bodies of the French Administration, the local authorities and the owner;*
- *to optimise the project in terms of time and cost for construction;*
- *to control the quality of the works and make sure that the opening date of December 28th, 2008 will be fulfilled.*

RESUMEN ESPAÑOL *Ingeniería integrada*

J.-E. Croiset, St. Moutot, Ch. Rouillet
y E. Floret-Miguet

En una pequeña longitud, la autopista A41 Norte presenta una gran diversidad de estructuras y cada una muestra una complejidad específica. Los principales retos aceptados o que quedan por aceptar para la ingeniería integrada i-LAC consistieron en :

- *respetar los plazos de establecimiento de los expedientes con relación a los procedimientos administrativos tanto con el concedente y los poderes públicos como con la empresa concesionaria;*
- *optimizar el establecimiento del concepto del proyecto;*
- *supervisar la ejecución de los trabajos para permitir la recepción de la obra y su puesta en servicio para la fecha de vencimiento, o sea el 28 de diciembre de 2008.*

Les aspects environnementaux du projet



Vincent Hamonet
Représentant
Environnement travaux
linéaires
DTP Terrassement

Le chantier de l'A41 Nord s'étale en piémont ouest du Mont Salève, dans un contexte naturel et humain sensible : 16 cours d'eau potentiellement impactés, des espèces protégées à préserver, 12 communes traversées, un site classé majeur du département, des sources et des périmètres de captages à protéger, un protocole occupations temporaires et des engagements de l'État à mettre en œuvre : rude programme pour seulement 19 km d'autoroute. Ajouter à cela un contexte réglementaire sur l'environnement en pleine évolution, et des mesures spécifiques en phase travaux pour maîtriser les impacts du chantier, voici un aperçu de l'énergie que le GIE A41 doit insuffler dans son organisation pour mener à bien sa mission.

L'un des grands enjeux du projet d'autoroute A41 Nord réside dans la richesse environnementale des territoires traversés. En effet, à la complexité technique, s'ajoute la nécessaire prise en compte des particularités sociales et naturelles propres à cette région. Tout ceci a conduit à la mise en place de mesures environnementales spécifiques permettant d'apporter une réponse adaptée aux situations rencontrées.

■ La localisation géographique

Situé en piémont ouest du Mont Salève, le chantier de l'A41 Nord s'inscrit dans un contexte de moyenne montagne, avec des altimétries comprises entre 486 m côté Saint-Julien-en-Genevois et 635 m à Villy-le-Pelloux, le sommet du profil en long étant rencontré au niveau de la tranchée couverte du Noiret avec 685 NGF.

■ Le milieu naturel

Les cours d'eau et zones humides

Du point de vue hydrologique, le Mont-Sion constitue l'élément charnière à la frontière des deux unités formant le réseau hydrographique local :

- au nord, le bassin versant de l'Aire dans lequel plusieurs affluents sont directement concernés par le chantier :

- > nant de Ternier,
- > ruisseau du « Macumba »,
- > nant de la Folle,
- > ruisseau de la Teppe,
- > ruisseau de Montailoux,
- > ruisseau des Morsulles;
- au sud, le bassin versant des Usses, avec là encore des affluents directement franchis ou concernés par le projet (photos 1 et 2) :
 - > rivière des Usses,
 - > ruisseau de la Férande,
 - > ruisseau de Malbuisson,
 - > ruisseau du Follon,
 - > nant de Saint-Martin,
 - > nant de Pesse-Vieille,
 - > ruisseau de la Ravoire,
 - > ruisseau du Bougy,
 - > ruisseau du Véran,
 - > ruisseau de Croisegniers.

Sur ces 16 cours d'eau, cinq sont franchis par des viaducs ou ouvrages exceptionnels (Folle, Saint-Martin, Pesse-Vieille, Ravoire et Usses), et trois ne sont impactés que par le biais d'ouvrages de raccordement (Ternier, Macumba et Croisegniers); le franchisse-

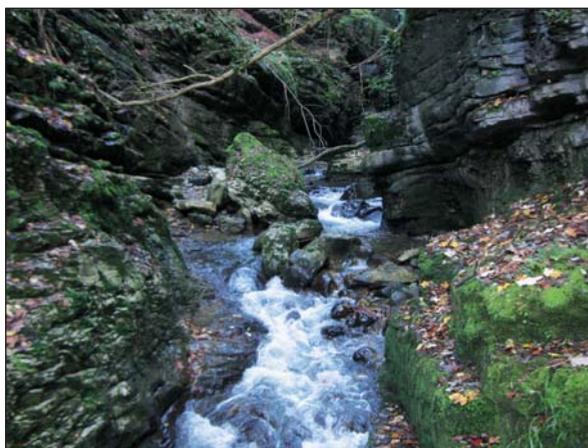


Photo 1
Rivière des Usses à l'aplomb
du pont de la Caille
*Usses River directly
below Caille Bridge*



Photo 2
Rivière des Usses
sur le territoire de la commune
de Copponex
*Usses River in the Copponex
district*

Les aspects environnementaux du projet



Photo 3
Ouvrage de rétablissement
du ruisseau du Montailoux
*Montailoux Stream restoration
structure*



Photo 6
Orchis Bouffon, espèce
protégée observable
à proximité du chantier
*Orchis Bouffon, protected
species observable
in the vicinity of the works*



Photo 4
Ruisseau du Montailoux - Détails d'aménagement du lit
reconstitué - Utilisation de galets
*Montailoux Stream - Restored bed development details -
Use of pebbles*



Photo 5
Écrevisse à pieds blancs
(*austropotamobius pallipes*)
*White-footed crayfish
(austropotamobius pallipes)*

ment des huit derniers a nécessité la dérivation définitive du lit des cours d'eau concernés. Du fait des contraintes techniques et géométriques résultant notamment du régime à caractère torrentiel de ceux-ci, l'utilisation des enrochements bétonnés s'est imposée comme solution de base, avec des variations aux limites faisant appel aux techniques végétales ou aux ouvrages préfabriqués. (Photos 3 et 4).

Les espèces protégées

La découverte d'une population d'écrevisses à pieds blancs (photo 5) dans le cours d'eau de la Ravoire a conduit à réaliser un ouvrage monumental en terre armé. Cette solution répond à la contrainte réglementaire interdisant toute atteinte à l'habitat protégé de cette espèce, à savoir le cours d'eau bien sûr, mais aussi ses berges associées.

Autre espèce animale sensible, le sonneur à ventre jaune (petit batracien), dont la présence a été détectée au cours des études APA dans le secteur du vallon des Usses. Le principal enjeu identifié pour cette espèce concernait la phase chantier et le risque d'interférence entre ses axes de déplacement et les aménagements provisoires (pistes) réalisés dans les coteaux. Sa protection a été assurée par la mise en place de filets à batraciens. Comme, à terme, la transparence du projet dans ce secteur sera assurée par l'édification d'un viaduc perché à plus de 70 m de haut, il y a peu de chance qu'il y ait un impact.

Également identifié en limite de zone travaux, un bois abritant une population d'orchidées sauvages intéressante (photo 6). Là encore, la mise en place de dispositions particulières (clôtures spécifiques, affichage informatif à destination du personnel de chantier) a permis la préservation de cette richesse écologique.

■ Le contexte anthropique

Milieu humain

Au vu du caractère majestueux du site, on en oublierait presque que les travaux se déroulent toujours à proximité d'habitations, avec la présence de la Suisse toute proche et de l'agglomération genevoise qui induit une forte pression immobilière. Sur 19 km, douze communes sont traversées, et le tracé, souvent sinueux, s'efforce à contourner hameaux ou agglomérations, tout en s'accrochant au coteau.

Sites classés

Sur les communes de Cruseilles et Allonzier-la-Caille, l'autoroute A41 Nord tangente le périmètre de protection du pont de la Caille (photo 7), monument inscrit à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques le 6 mai 1966.

Ce pont métallique suspendu franchit à plus de 145 m et en une seule portée les gorges vertigineuses des Usses. Cet ouvrage est particulièrement reconnaissable par ces deux tours crénelées fichées en rives et supportant les suspentes du platelage bois. Construit en 1838, il a été doublé en 1928 par un arc en béton de 138 m

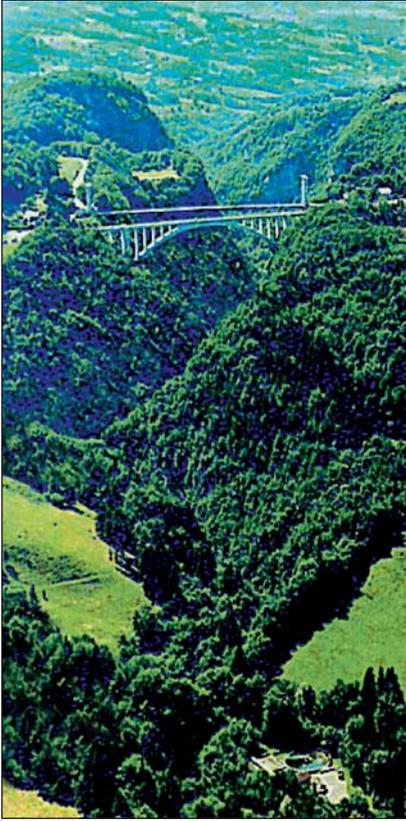


Photo 7

Les ponts de la Caille enjambant les gorges des Usses

The bridges over the Caille straddling the Usses Gorge

de portée, aujourd'hui emprunté par la RD1201. L'ouvrage suspendu et ses abords, également protégés, constituent un ensemble paysager remarquable, parmi les plus pittoresques de Haute-Savoie. Conformément à l'article L.621-31 du code du Patrimoine, le projet a fait l'objet d'une demande d'autorisation de passage, à proximité du monument.

Sources

L'eau, bien commun ! Ce principe inscrit dans la législation française prend une fois de plus un sens particulier sur le tracé de l'A41 Nord : trois périmètres de protection des captages traversés, 92 sources inventoriées et suivies, car potentiellement impactées par les travaux : véritables châteaux d'eau, les piémonts du Salève et du Mont-Sion, avec les nappes morainiques, constituent une richesse locale qu'il convient de préserver (photo 8).

Certaines sources, fortement impactées par la construction de l'ouvrage, sont rétablies en engageant des projets techniques conséquents qui tiennent compte des possibilités hydrogéologiques et topographiques pour chacune d'elles, afin de restituer à la population un approvisionnement de qualité.

■ Les engagements de l'État repris par le concessionnaire

Dans le cadre de la procédure aboutissant à la déclaration d'utilité publique du projet, l'État concédant a pris des engagements en faveur de la protection de l'environnement. L'ensemble de ces dispositions



Photo 8

Source - Hameau de Féchy-Cruseilles

Spring - Féchy-Cruseilles hamlet

est retranscrit dans le « Cahier des engagements de l'État » annexé au contrat de concession s'imposant au concessionnaire. Les mesures y figurant concernent notamment :

- la ressource en eau : préservation de la qualité des eaux et maîtrise des débits des rejets issus de l'infrastructure, tant en phase chantier qu'en exploitation ;
- les milieux naturels : limitation stricte de l'emprise en secteur boisé, cohérence avec l'insertion paysagère, maintien des déplacements de la grande faune sauvage et lutte contre l'intrusion au moyen de clôtures adaptées, garantie de franchissabilité de l'ouvrage par la petite faune ;
- agriculture : maintien du drainage des parcelles, transparence du projet vis-à-vis des déplacements des engins agricoles et du bétail ;
- aménagement et urbanisme : rétablissement des voies de communications et des réseaux, atténuation des impacts de proximité ;
- le bruit ;
- le patrimoine culturel ;
- le paysage ;
- la sécurité.

■ Le contexte réglementaire en évolution permanente

La réglementation française évoluant sans cesse, et en particulier du fait de l'intégration des directives européennes, il peut arriver qu'en cours de projet les règles changent.

L'A41 Nord n'a pas fait exception comme en témoignent les deux exemples ci-après.

Les aspects environnementaux du projet

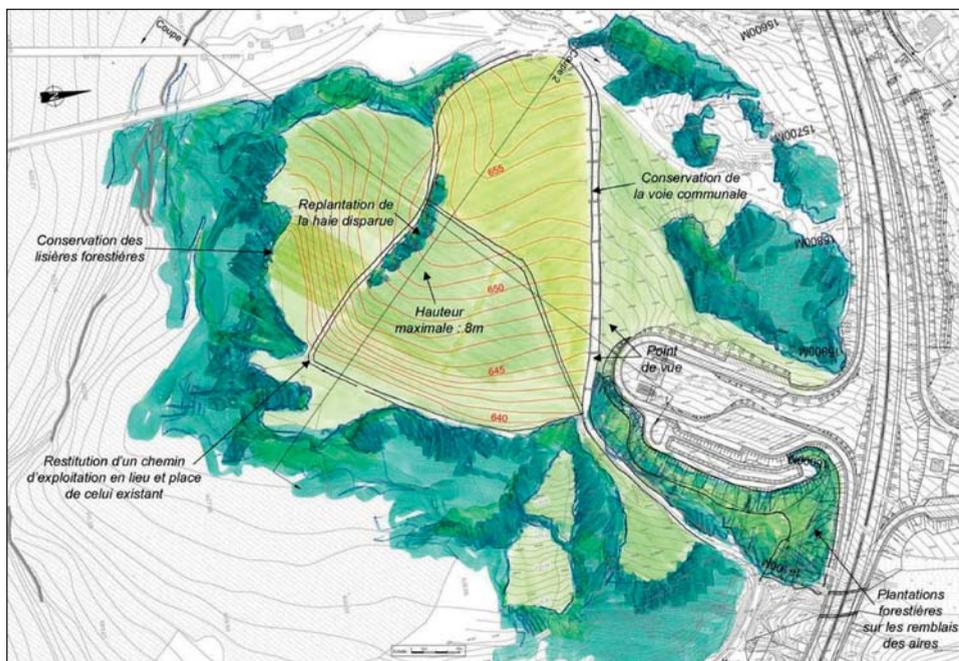


Figure 1
ZME de la Caille - Extrait du dossier de demande d'autorisation
La Caille excess material area - Excerpt from the permit application file

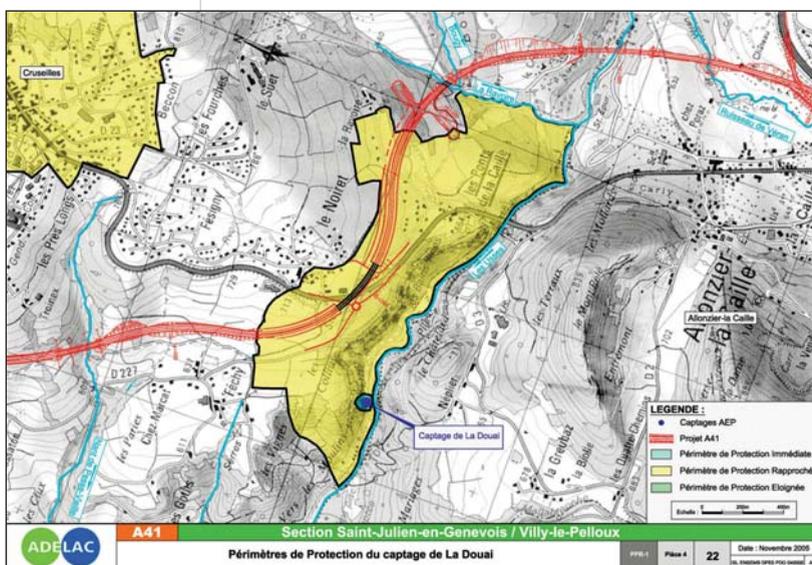
Photo 9

Source de la Douai - Point de captage à proximité des Usse
Douai spring - Catchment point near Usse



Figure 2

Source de la Douai - Carte du tracé de l'A41 à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée
Douai spring - Map of the A41 route within the close protection area



ZME : passage des ITD aux ISDI

Les zones de matériaux excédentaires (ZME) (figure 1) étant devenues, en application de l'article L.541-30-1 du code de l'Environnement, des installations de stockage de déchets inertes (ISDI), la procédure lancée en conformité avec le code de l'Urbanisme (R.442-1 et R.442-2) au titre des installations et travaux divers (ITD) est devenue caduque en cours d'instruction. Il a donc fallu reprendre les dossiers pour les quatre ZME du projet, représentant 1,6 million de m³ de dépôt, en pleine phase de préparation du chantier, puisque le décret d'application est sorti le 15 mars 2006 (décret n° 2006-302).

Changement des rubriques de la nomenclature loi sur l'eau

L'arrêté préfectoral signé le 13 avril 2006 autorisant la réalisation des travaux hydrauliques du projet A41 Nord est basé, comme tout arrêté similaire, sur la nomenclature « Eau » dont le contenu a significativement évolué à la mi-juillet de la même année. Cette modification réglementaire aurait pu avoir de lourdes conséquences si l'évolution technique du projet, liée aux nécessaires ajustements des dispositifs à mettre en place, avait nécessité le recours à une nouvelle procédure. Heureusement, ce ne fut pas le cas.

Les mesures spécifiques en phase travaux

Plan de secours de la Douai

Les travaux de construction de l'A41 Nord traversent le périmètre de protection du captage de la Douai (photo 9). Cette ressource est exploitée par la Communauté de communes du Pays de Cruseilles (CCPC) pour l'alimentation en eau potable de 13000 personnes environ. Une réflexion spécifique a été mise en place avec ce gestionnaire afin de répondre à l'obligation réglementaire qui consiste à mettre en place des alternatives pour maintenir l'alimentation en eau potable des populations desservies par ledit captage. Ainsi, d'importants travaux de renforcement du réseau pour la connexion avec le bassin genevois ont été entrepris (augmentation des capacités de pompage et de stockage).

Par ailleurs, d'importants moyens ont été mis en œuvre pour parvenir, à court terme, à assurer une connexion pérenne avec le bassin annecien. Le tout concourant donc à disposer d'un réseau parfaitement fonctionnel et reliant les deux grands pôles que sont Annecy à Genève. La mise en place d'un tel dispositif était

conditionnée par la nécessaire collaboration de tous les acteurs locaux impliqués (communes, communauté de communes du Genevois, CCPC, syndicat AEP de la filière, C2A...). Ces différentes interconnexions participent au plan de secours spécifique mis en place pendant la durée des travaux, dans ce secteur particulièrement sensible, afin de pallier une éventuelle rupture d'approvisionnement en eau de la Douai en cours de chantier (figure 2).

À ceci se greffe un plan de suivi de la qualité de l'eau au niveau de la source, qui comprend :

- la mise en place d'un appareillage de suivi permanent des paramètres physico-chimiques (température, turbidité, conductivité, débit de la source) ainsi que la mise en place d'une station météorologique au niveau des locaux de la station de pompage de la Douai;
- un suivi périodique par un laboratoire agréé;
- la réalisation de mesures en cas d'événements exceptionnels.

La gestion de ce plan est confiée au bureau d'études Ginger Environnement.

Par ailleurs, au niveau de la zone de travaux, la localisation du périmètre de protection est matérialisée par un affichage distinct permettant une sensibilisation permanente du personnel de chantier.

Procédure d'urgence

« Si un engin ne fuit pas, c'est qu'il n'y a plus d'huile ! » Sans aller jusqu'à prendre à la lettre cet adage de mécanicien, il est impossible, malgré les procédures d'entretien préventif, et l'attention portée par les chauffeurs à leur machine, qu'un chantier se déroule sans qu'il y ait la moindre fuite d'hydrocarbures : rupture de flexible, incident mécanique, malveillance...

Afin de gérer dans les meilleures conditions possibles ces aléas, une procédure d'urgence, dite PPSUCR (Procédure de prévention des situations d'urgence et de capacité à réagir) a été établie dans le cadre du projet. Elle consiste, outre la formation et la sensibilisation du personnel, à la mise en place de kits de produits absorbants hydrophobes, qui permettent de récupérer tous types d'hydrocarbures utilisés sur les chantiers : huile moteur, huile hydraulique, fioul...

Assainissement provisoire

Afin de maîtriser au mieux l'impact du chantier sur les eaux superficielles, tant en qualité qu'en débit, des dispositifs d'assainissement provisoire sont à mettre en place chaque fois que cela est nécessaire, en fonction de l'avancement des travaux (figure 3 et photo 10).

Les eaux extérieures au chantier sont réputées propres, et ne sont pas, dans la mesure du possible, incorporées

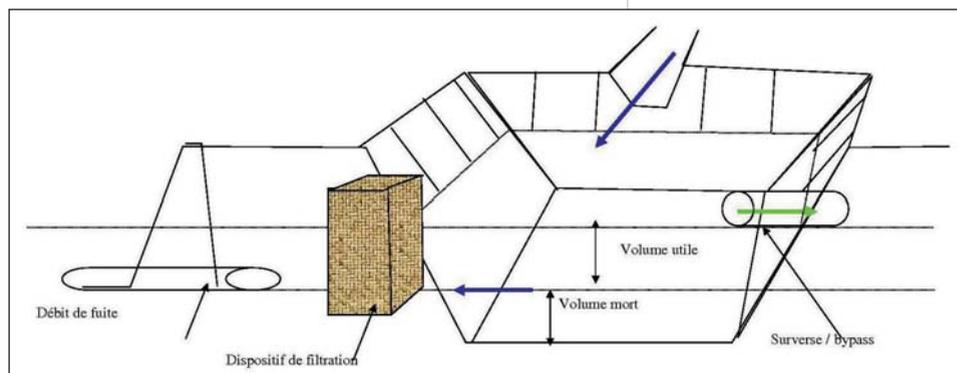


Figure 3

Assainissement provisoire. Schéma type de bassin de décantation-régulation

Temporary drainage - Typical diagram of settling and control basin

Photo 10

Assainissement provisoire. Dispositif béton en cascade avec filtre géotextile

Temporary drainage - Cascade concrete system with geotextile filter

au réseau d'assainissement provisoire avec les eaux de chantier (dites sales). Cette séparation des flux permet de limiter le dimensionnement des dispositifs de traitement au minimum nécessaire. Des fossés extérieurs sont donc réalisés dans ce sens aussi souvent que possible.

Les bassins de rétention sont dimensionnés pour une occurrence biennale, en tenant compte des surfaces contrôlées par le dispositif, à raison de 100 m³ de volume utile par hectare de surface contrôlée.

Remise en état agricole des terrains

La problématique agricole est un enjeu majeur en Haute-Savoie, au regard de l'importante pression foncière existante, consécutive à une très forte urbanisation. Aussi, la profession agricole a-t-elle souhaité, dès le début de la concertation, participer activement au projet afin de réduire les besoins en surface cultivable. De nombreuses discussions ont conduit à la signature d'un protocole avec les organismes consulaires représentant la profession agricole, visant à définir les conditions de remise en état des terrains occupés temporairement durant les travaux et devant être restitués à l'usage agricole. Ce protocole prévoit en effet la réalisation systématique d'étude agropédologique de chaque terrain avant son occupation donnant lieu à

Les aspects environnementaux du projet



Photo 11

ICPE - Installation de concassage des aires de la Caille
 Facility classified for environmental protection - Crushing plant for the La Caille areas

constats contradictoires. Le but étant de reconstituer à terme les horizons de sols identiques à ceux initialement en place et restituer ainsi aux exploitants des conditions de rentabilité équivalentes. Ce protocole revêt d'autant plus d'importance qu'il constitue une garantie fondamentale pour les agriculteurs ayant accepté le principe de mise en dépôt des matériaux excédentaires du chantier sur leurs parcelles.

Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Comme sur tout chantier de taille importante, des installations relevant du régime des ICPE sont mises en place, afin de répondre aux besoins du chantier :

- soumis à déclaration : installations de chantier avec les ateliers mécaniques, compresseurs... (rubrique 2930...);
- soumis à autorisation : installation de concassage (photo 11) et stockage de matériaux (rubriques 2515, 2517), centrale de fabrication d'enrobés (rubrique 2521).

Au regard de la durée limitée de l'exploitation de ces installations, il a été possible de solliciter une autorisation provisoire (durée de validité 6 mois renouvelables une fois). ■

ABSTRACT Environmental aspects of the project

V. Hamonet

The building site of Northern A41 spreads out in Western Piedmont of the Salève mount, in a sensitive natural and human context : 16 potentially impacted rivers, species protected to preserve, 12 municipalities crossed, 1 major classified site of the department, the sources and the perimeters of collectings to be protected, a protocol temporary occupations and engagements of the state to implement: Hard program for only 19 kilometers of motorway. To add to that a lawful context on the environment in full evolution, and of specific measurements in phase works to control the impacts of the building site, you will have an outline of the energy which the GIE A41 has to breathe in his organization to bring to a successful conclusion its mission.

RESUMEN ESPAÑOL Aspectos medioambientales del proyecto

V. Hamonet

La obra de la autopista A41 Norte se extiende a lo largo de una llanura oeste un poco inclinada del Mont Salève, en un contexto natural y humano sensible : 16 ríos potencialmente impactados, diversas especies protegidas a preservar, 12 municipios atravesados, un sitio clasificado de interés superior del departamento, fuentes y perímetros de captaciones a proteger, un protocolo ocupaciones temporales y diversos compromisos del Estado que se tratan de implementar : programa riguroso para únicamente 19 km de autopista. Si se añade a todo esto un contexto normativo relativo al medio ambiente en plena evolución, y medidas específicas durante los trabajos para controlar debidamente los impactos de la obra, se puede obtener una imagen fiel de la energía que la GIE A41 debe insuflar en su organización para llevar a buen término su misión.

Le tunnel du

Dans le cadre de la construction de l'autoroute A41 Nord qui constituera un lien direct de 19 km entre Annecy et Genève, le GIE A41 Nord réalise actuellement le creusement du tunnel du Mont-Sion pour le compte de la société concessionnaire Adelac. Cet ouvrage, de plus de 3 km de long est constitué de deux tubes parallèles de 10,70 m de diamètre intérieur et comportant chacun deux voies de circulation monodirectionnelles. Il a été conçu pour répondre aux exigences les plus récentes en matière de sécurité applicables tant sur le plan national qu'au niveau européen. Creusé à l'aide d'un tunnelier à mode ouvert dans un massif molassique, son revêtement de conception originale permet d'une part d'atteindre des vitesses de creusement importantes, mais autorise aussi la mise en place à l'avancement d'une partie des équipements définitifs.

■ Localisation - Contexte

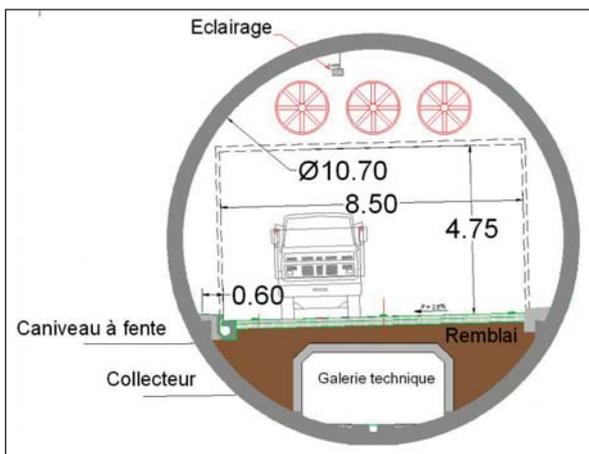
Le tunnel du Mont-Sion constitue l'ouvrage le plus significatif à réaliser le long des 19 km de la future autoroute A41 Nord.

Ce tunnel d'une longueur approximative de 3 100 m de longueur comporte deux tubes à circulation unidirectionnelle dimensionnés pour une vitesse maximale autorisée de 110 km/h. Il permettra ainsi le franchissement du Mont-Sion au nord depuis la commune de Présilly et au sud au niveau de celle de Jussy.

Enfin, sur le plan de la sécurité, la conception retenue prend comme hypothèse une possible autorisation de passage des véhicules transportant des marchandises dangereuses (TMD) ainsi que l'intégration de l'autoroute sur le réseau routier transeuropéen (RTE).

Figure 1

Coupe type du tunnel
Typical section
of the tunnel



■ Un bitube de 3 100 m de longueur

Le tracé en plan de l'A41 au droit du Mont-Sion est globalement orienté nord-sud et décrit un enchaînement de courbes de rayon supérieur à 3 000 m.

Le profil en long de l'A41 au droit du tunnel du Mont-Sion présente une pente constante de 0,75 % du nord au sud pour les deux tubes. Nous le verrons par la suite, le creusement des tunnels s'effectue depuis le nord, en montant vers le sud et le tunnel Ouest avant le tunnel Est.

Chaque tunnel comporte à ses extrémités les ouvrages de tête réalisés à l'air libre et une partie centrale réalisée en souterrain à l'aide d'un tunnelier.

Afin de permettre le montage des principaux équipements au plus tôt dans le programme de construction, les locaux techniques de tête ont été concentrés sur les têtes ouest correspondant au premier tube creusé. Cette distinction dans la fonctionnalité des têtes Ouest et Est explique leur différence de longueur (cf. article suivant sur la conception et la réalisation des têtes du tunnel). Il en résulte, pour le tube Ouest, une longueur de 2 914 m réalisée en souterrain puis aux extrémités des ouvrages de tête d'une longueur unitaire de 74 m, alors que pour le tube Est ces longueurs sont

LE TUNNEL DU MONT-SION EN QUELQUES DATES

- 25 juillet 2005 : signature du contrat de fourniture (étude et fabrication) du tunnelier
- 18 avril 2006 : avis favorable de la préfecture du dossier préliminaire de sécurité du tunnel du Mont-Sion
- 12 juin 2006 : approbation de l'APOA du tunnel du Mont-Sion
- 15 juillet 2006 : livraison des premières pièces et début du montage du tunnelier tête nord
- 30 août 2006 : début de production de l'usine de préfabrication des voussoirs
- 10 octobre 2006 : début de foration du tunnelier
- 12 juin 2007 : percement du premier tube (1 an après l'approbation de l'APOA)
- 10 septembre 2007 : fin du transfert du tunnelier et démarrage du 2^e tube
- 21 janvier 2008 : livraison du génie civil de la sous-station électrique du 1^{er} tube

Dates prévisionnelles :

- Mi-mars 2008 : percement du 2^e tube
- Fin juillet 2008 : fin des travaux de niches et intertubes sur le 2^e tube

À l'issue de la fin des travaux de génie civil sur le 2^e tube (niches et intertubes, trottoirs, chaussées) il ne restera plus alors que 4 mois pour achever la pose des équipements définitifs et mener les essais préalables à la réception (SDIS, CNESOR, préfecture) et à la livraison de l'ouvrage.

Mont-Sion

respectivement portées à 2966 m en souterrain et 25 m pour chaque tête.

Enfin, la section courante de chaque tunnel a été développée pour permettre la circulation sur deux voies de 3,50 m de largeur et comportant des bandes dérasées de part et d'autre, fournissant ainsi une largeur roulable totale de 8,50 m sur une hauteur de 4,75 m.

Pour ces dimensions et en tenant compte de la tolérance de positionnement du revêtement du tunnel, le diamètre fonctionnel intérieur du tunnel qui a été retenu est de 10,70 m (figure 1).

Le volume laissé libre, sous la chaussée par la géométrie de l'anneau a permis la mise en place d'une galerie technique (d'environ 4,00 m de largeur et de 2,00 m de hauteur) sous la chaussée, dans chacun des deux tubes permettant le cheminement de la conduite incendie, des réseaux de câbles (courants forts et faibles, incendie...) et la circulation du personnel de maintenance. Il faut également noter que la structure préfabriquée de cette galerie fait aussi office de gaine de ventilation longitudinale pour l'alimentation des ouvrages transversaux de raccordement entre les deux tubes.

Un remblai est mis en place de part et d'autre de la galerie technique. Ce remblai est constitué par un matériau stabilisé mis en œuvre par compactage permettant de garantir, sur le long terme, l'absence de déformation de la chaussée (photo 1).

■ Un niveau de sécurité répondant aux standards européens

Sur le plan de la sécurité, la conception suit les prescriptions définies par la législation en vigueur et en particulier le décret n° 2005-701 du 24 juin 2005 relatif à la sécurité d'ouvrages du réseau routier et la circulaire 2006-20 du 29 mars 2006. En outre, du fait de l'hypothèse retenue d'une appartenance future possible du tunnel au réseau routier transeuropéen, la conception des ouvrages de sécurité suit également la directive européenne 2004/54/CE du 29 avril 2004.

De nombreuses dispositions découlent de l'application de ces réglementations parmi lesquelles, certaines, on le verra, ont eu un impact significatif sur le génie civil de l'ouvrage.

Pour la section courante d'une part, cela conduit, outre l'aménagement d'un trottoir d'une largeur minimale de 0,60 m du côté de la voie lente, à la création d'un dévers transversal pour la chaussée (2,5 %) et à la mise en place d'un réseau de collecte des eaux de chaussées composé d'un caniveau à fente continue se déversant, tous les 50 m, dans un collecteur situé dans le remblai, par l'intermédiaire des regards siphoniques.

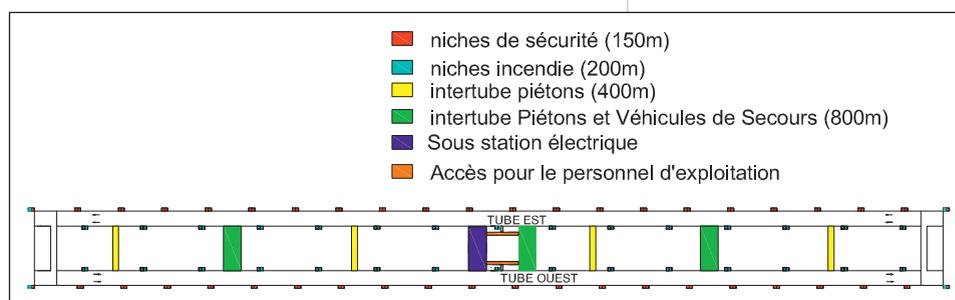
Les autres aménagements concernent les passages entre tubes et les niches.



Photo 1

Galerie technique en partie basse du tunnel

Pipe gallery in the lower section of the tunnel



Philippe Autuori
Concepteur
du génie civil et de la
géotechnique du tunnel
du Mont-Sion
Bouygues TP



Dino De Lorenzi
Directeur exploitation
génie civil – Équipement
tunnel du Mont-Sion
Bouygues TP

En raison de la longueur de l'ouvrage et de la couverture du tunnel, la solution retenue pour l'évacuation des personnes est celle de communications entre tubes. Elles sont espacées de 400 m environ. Au total, sept galeries de communication entre tubes sont aménagées, dont quatre affectées au passage exclusif de piétons, et trois qui permettent également le passage des véhicules de secours. Une interruption du terre-plein central est prévue à chaque extrémité hors des tunnels. Il convient de préciser que ces intertubes sont accessibles aux personnes à mobilité réduite (PMR) par la présence d'un passage surbaissé au niveau du trottoir situé du côté de la voie rapide des tunnels.

L'ouvrage dispose de niches de sécurité équipées, entre autres, d'extincteurs portatifs et d'un poste d'appel d'urgence, espacées de 150 m, soit 20 niches de sécurité dans chaque tube, situées du côté de la voie lente.

De même, pour l'intervention des personnels de secours, le tunnel disposera de niches incendie tous les 200 m, soit 15 niches incendie par tube, situées côté voie rapide.

La figure 2 présente de manière schématique la disposition des niches et ouvrages de liaison entre les tubes le long des 3,1 km de l'ouvrage.

On peut aussi noter la spécificité de l'intertube central

Figure 2

Synoptique du tunnel

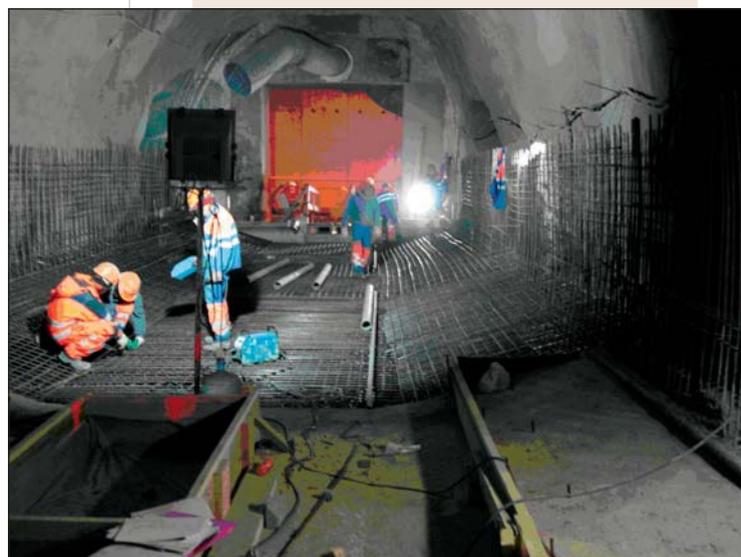
Block diagram of the tunnel

Le tunnel du Mont-Sion

Photos 2 et 3

Intertube

Intertube



qui jouxte des locaux techniques ainsi que deux galeries d'accès spécifiques, réservées au personnel d'entretien et de maintenance de l'exploitant. Elles permettent un accès direct du personnel depuis la galerie technique vers les sous-stations électriques sans avoir à passer par l'espace trafic.

La construction des ouvrages de liaison entre les tubes nécessite, à cause du découpage des anneaux préfabriqués, des structures de reprise d'effort relativement importantes et denses en ferrailage (photos 2 et 3).

Enfin, le dernier impact pour les éléments de structure qui découle de l'application de la circulaire concerne la résistance au feu de certains éléments. Sans décrire

toutes les dispositions retenues, il s'agit en particulier de garantir la tenue de la galerie technique sous l'effet d'un feu hydrocarbure d'une durée de 2 heures afin de préserver les réseaux de sécurité y circulant et de maintenir la ventilation qui assure la mise en surpression des ouvrages intertubes. Les portes d'accès à ces derniers doivent également être conçues pour résister à un feu du même niveau.

■ La géologie du Mont-Sion

La chaîne du Mont-Sion est un massif globalement orienté est-ouest, situé à l'ouest de la montagne calcaire du Salève.

Le profil en long géologique (figure 3) laisse clairement apparaître deux unités géologiques distinctes :

- en couverture, on trouve des formations glaciaires et fluvio-glaciaires constituées de graves sablo-limoneuses, de graves argileuses et de sables ;
- au-dessous, le substratum « rocheux » est constitué d'une molasse tertiaire marno-gréseuse. À l'exception des premières dizaines de mètres du tunnel situées à proximité des ouvrages de tête, l'ensemble du tunnel est creusé dans cet horizon avec des couvertures variant entre 50 et 150 m.

Plusieurs familles de discontinuités ont été mises en évidence lors de l'analyse des sondages carottés, correspondant soit à une stratification, soit à des failles inverses, sécantes à la stratification mais de direction parallèle à cette dernière, ou soit à des failles de décrochement senestre.

L'analyse structurale montre que le massif a subi plusieurs phases tectoniques de compression ou d'extension, la dernière correspondant à une phase de compression NO-SE depuis la fin du Miocène jusqu'à l'époque actuelle, faisant chevaucher le massif calcaire du Salève sur le substratum molassique. Les différents états de contraintes induits par ces mouvements sont à l'origine de l'apparition de plusieurs familles de failles susceptibles d'être rencontrées lors du creusement du tunnel. Ces failles de faible extension peuvent également représenter des zones de circulation d'eau privilégiées. Cependant, les perméabilités mesurées dans le massif restent très faibles probablement à cause du caractère essentiellement argileux des molasses et de l'état de compression régnant dans le massif. Les faibles venues d'eau constatées au cours du creusement du premier tube (tube ouest) tendent à confirmer cette hypothèse.

Sur le plan des caractéristiques mécaniques, la molasse peut être différenciée en quatre catégories :

- molasse argilo-gréseuse (MAG) : marnes sableuses à limoneuses relativement compactes ;

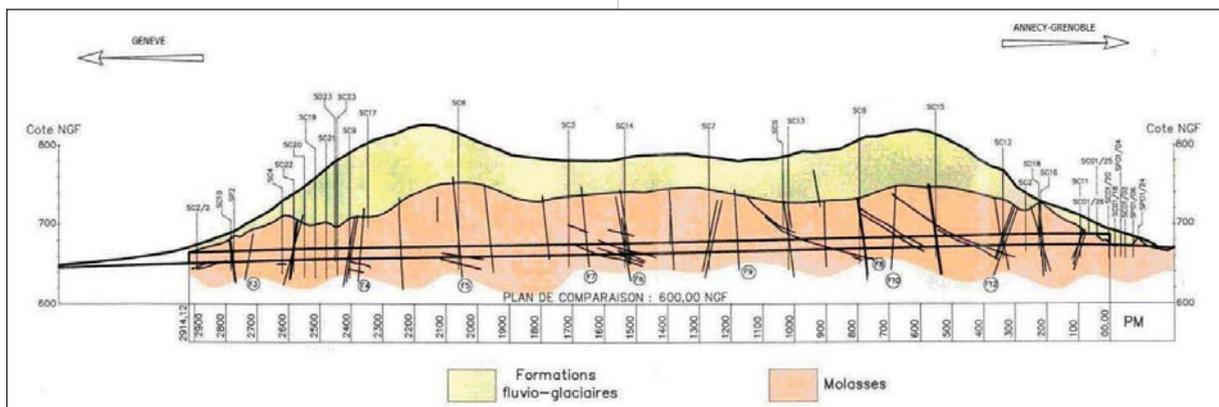


Figure 3
Profil en long géologique
Longitudinal geological
profile

- molasse argileuse (MA) : marnes plus sensibles à l'eau que les MAG;
- molasse franchement argileuse (MFA) : marnes très argileuses tendres à très tendres, peu altérables mais très limoneuses;
- molasse gréseuse (MG) : grès franc, très compact.

Les propriétés des molasses, en relation avec leur composition, évoluent de manière continue entre un pôle gréseux et un pôle argileux avec des résistances moyennes à la compression variant de 6 MPa à 28 MPa.

En fonction de leur teneur en argile, les molasses peuvent présenter un risque de gonflement sur le long terme. Dans cette hypothèse plusieurs séries d'essais en laboratoire ont été conduites afin de déterminer le chargement à prendre en compte pour le dimensionnement de l'ouvrage.

■ Un revêtement de conception originale adapté à la mécanisation du creusement du tunnel

La méthode d'excavation

Sur la base des informations géologiques et géotechniques disponibles au stade de l'appel d'offres en combinaison avec le linéaire total de tunnel à creuser, de l'ordre de 6 km, le choix du GIE A41 Nord s'est orienté vers une solution de creusement mécanisée. En effet, à l'exception des zones proches des entrées en terre, la résistance mécanique des molasses et le faible risque de rencontrer des venues d'eau importantes autorisaient l'emploi d'un bouclier mécanisé ouvert, à soutènement latéral et à appui longitudinal.

Le creusement des deux tunnels se fait depuis le nord vers le sud en attaque montante permettant une meilleure évacuation des eaux éventuellement rencontrées au cours du creusement.

Pour sécuriser les zones d'extrémité où la partie supérieure du tunnel se trouve partiellement dans les for-

mations glaciaires ou fluvio-glaciaires de surface et avec des couvertures plus faibles, une pré-excavation a été réalisée avant passage du tunnelier, par des moyens traditionnels sur le tiers supérieur de la section à excaver. Le soutènement y est constitué de voûte parapluie reposant sur des cintres et du béton projeté.

Le tunnelier est ensuite venu excaver et construire le revêtement définitif à l'abri de ce soutènement sans risque d'instabilité de front ou sans créer de tassements de surface significatifs.

La conception du revêtement du tunnel

La conception du revêtement, indissociable du tunnelier et de la cinématique de montage associée, est inspirée de celui parfois pratiqué pour les ouvrages de diamètres équivalents dans les massifs molassiques environnants. Il est ainsi composé d'anneaux drainés d'une longueur de 2,00 m. Chaque anneau est lui-même composé de six voussoirs préfabriqués dont le plus petit est situé en partie basse (la clé).

La principale innovation sur ce revêtement réside dans la suppression du deuxième revêtement intérieur coulé en place dans la partie supérieure, dont le rôle est de tenir une membrane d'étanchéité, évitant ainsi la chute d'eau sur la chaussée; l'eau ainsi drainée est collationnée dans la partie basse de l'anneau au travers des joints entre voussoirs.

La solution technique utilisée sur le tunnel du Mont-Sion consiste à réaliser un anneau préfabriqué d'épaisseur constante de 0,45 m, et de remplir dans les zones de venues d'eau les joints entre voussoirs situés au-dessus de la chaussée, par un joint d'étanchement spécialement développé pour le projet. Les eaux drainées circulent à l'extérieur de l'anneau jusqu'à sa partie basse, où elles peuvent alors traverser les joints et être récupérées dans le collecteur situé en radier dans la galerie technique.

Les voussoirs sont également munis d'orifices afin de permettre l'injection du matériau de bourrage (gravette

Le tunnel du Mont-Sion



Photo 4

Anneau de poussée et vérins du tunnelier
TBM thrust ring and cylinders



pour le drainage en partie supérieure et mortier en partie inférieure) permettant le remplissage du vide annulaire depuis le train suiveur du tunnelier. Enfin, même si la pente est constante, le revêtement doit pouvoir suivre les courbes en plan. Deux types d'anneaux sont donc utilisés, (l'un pour réaliser des courbes à droite, l'autre pour les courbes à gauche) et sont combinés pour suivre l'ensemble de l'alignement du projet.

Le creusement au tunnelier

Le tunnelier

Le tunnelier, de type tunnelier pour roche dure avec anneau de poussée, est de fabrication Herrenknecht. Il offre un diamètre de coupe de 11,93 m pour un poids d'environ 2275 t. Il se compose d'un bouclier d'environ 9 m de long et d'un train suiveur d'une longueur totale

de 160 m. La poussée totale mobilisable est de 8200 t par l'intermédiaire de 24 vérins séparés (photo 4). L'excavation au front de taille est réalisée par la tête d'abattage au moyen de molettes (pour les molasses de résistance moyenne, ainsi que pour les bancs durs gréseux) ou de dents (pour les molasses de faible résistance). La tête de coupe, qui pèse à elle seule environ 230 t, est équipée de 72 molettes. L'évacuation des matériaux est assurée par convoyeur vers l'extérieur du tunnel. La conception du tunnelier permet la pose à l'avancement de la galerie technique et du remblai adjacent à celle-ci. La photo 5 montre l'ensemble du bouclier et de son train suiveur à la fin de l'assemblage, avant le démarrage du creusement du premier tunnel.

Le cycle de creusement

La progression de la machine est assurée par des vérins de poussée qui prennent appui longitudinalement sur

Photo 5

Tunnelier. Bouclier et train suiveur
TBM.
Shield and backup train



le revêtement déjà posé. L'excavation s'arrête ainsi à la fin de l'allongement des vérins. Le revêtement est alors assemblé à l'abri de la jupe, après rétraction de l'ensemble des vérins de poussée. Une fois l'anneau entièrement assemblé, les vérins sont alors remis en pression, le ramenant ainsi contre le précédent. Le creusement peut alors reprendre pour un nouveau cycle.

Le vide annulaire est ensuite rempli de produits de bourrage, en partie basse lors de la reprise de l'avancement de la machine.

Parallèlement, quelques anneaux derrière, le complément de remplissage du vide annulaire par la gravette drainante est assuré depuis la première remorque du train suiveur, au travers de réservations spécialement prévues à cet effet lors de leur préfabrication, dans les voussoirs.

Toujours réglés sur l'avance du tunnelier, les éléments préfabriqués constituant la galerie technique sont posés à l'aide des équipements du train suiveur; puis le remblai latéral est mis en place et compacté de part et d'autre de la galerie par des moyens classiques immédiatement après l'atelier de pose de la galerie.

À noter également que le cycle de creusement, pour des contraintes de planning, intègre aussi la pose d'équipements définitifs à l'avancement du tunnelier : éclairage définitif, ligne 20 kV, conduite incendie, éclairage et détection incendie en galerie technique (cf. article sur les équipements définitifs).

Le montage de l'anneau de voussoirs

Les voussoirs sont approvisionnés depuis l'extérieur vers leur position de pose par des trains sur pneus jusqu'à l'arrière du train suiveur, pris en charge par un portique situé sur le train suiveur, ils sont ensuite acheminés vers l'avant. Les voussoirs sont manipulés par l'érecteur (combinant mouvements radiaux et de rotations) et maintenus provisoirement en place dans la jupe, suivant la cinématique très particulière spécifique à la méthode utilisée (figure 4).

Le vide annulaire est rempli de produits de bourrage constitués en partie inférieure d'un mortier et en parties latérales et supérieure d'une gravette. Ils sont mis en œuvre pendant l'avancement de la machine (creusement) et la libération de l'espace annulaire.

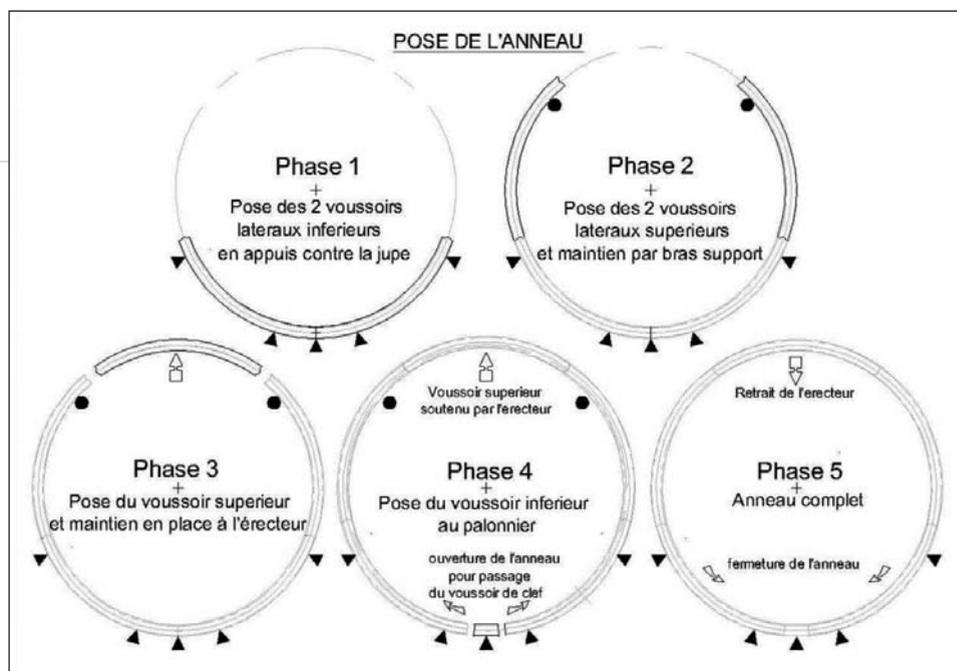


Figure 4
Cinématique de montage de l'anneau
Kinematic drawing of ring assembly

L'évacuation des matériaux excavés (marinage)

Le matériau excavé est d'abord acheminé au travers de la tête de coupe vers la chambre d'abattage vers un convoyeur extracteur traversant la machine.

Un convoyeur de reprise transporte ensuite les déblais jusqu'à l'entrée du tunnel (en tête nord), où ils sont stockés provisoirement puis repris par des camions ou *dumpers* pour être mis en dépôt définitif.

■ Le défi du Mont-Sion

Le tunnel du Mont-Sion, pièce majeure de la future autoroute A41 Nord, réalisé à l'aide d'un tunnelier en mode ouvert a été conçu pour répondre aux dernières exigences de sécurité en vigueur, tant en France qu'en Europe. Toutefois, la présentation de défi que représente sa construction ne serait pas complète si le challenge que constitue son programme de conception et de construction qui s'y rattache, n'y est pas associé.

En effet, entre la date de mise en vigueur de la concession et la date prévisionnelle de mise en service, il devrait s'écouler seulement 38 mois.

Après une période préparatoire de 6 mois, comprenant les principales étapes de l'ingénierie, les démarches administratives ainsi que le lancement de la fabrication de la machine, les travaux d'installation se sont déroulés comprenant le montage de l'usine de préfabrication des voussoirs de tunnel située au niveau de la tête nord de l'ouvrage.

À l'issue de la livraison et du montage du tunnelier sur site, le programme prévoit environ 19 mois au total

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur unitaire de tunnel : 2 x 3100 m
- Volume excavé (hors têtes) : 660 000 m³
- Nombre de voussoirs : 18 000
- Nombre d'éléments de galerie : 2 000
- Volume béton (hors têtes) : 100 000 m³

Le tunnel du Mont-Sion



Photo 6

Percement du tube ouest
Drilling the western tube

► pour le creusement des deux tubes (y compris la phase de transfert du tunnelier). Conformément à ce programme, le percement du premier tube s'est déroulé au début du mois de juin 2007 (photo 6), le second devrait être réalisé courant mars 2008.

Il ne restera plus alors que 8 mois pour achever les structures internes des deux tubes (trottoirs, chaussées, équipements), finaliser la mise en place et les tests sur l'ensemble des équipements assurant le bon fonctionnement et la sécurité de l'ouvrage, avant l'ouverture à la circulation prévue à la fin décembre 2008. ■

ABSTRACT Mont-Sion Tunnel

Ph. Autuori, D. De Lorenzi

For the A41-North motorway project that will represent a new direct connection, 19 km long, between Annecy and Geneva, the GIE A41 Nord is presently boring the Mont-Sion tunnel for the concessionaire Adelac. This structure of more than 3 km long consists in two 10,70 m internal diameter tubes including each 2 lanes road. The tunnel and the associated equipments have been designed to follow the most recent road tunnel safety requirements applicable not only in France, but also for all the European motorway networks. Bored using an open mode tunnel boring machine in the molasse of the Mont-Sion, an original structural design and construction method gives the opportunity to reach significant advance speeds and provide enough room for placing during the construction cycle some of the final tunnel equipments.

RESUMEN ESPAÑOL El túnel del Mont-Sion

Ph. Autuori y D. De Lorenzi

Situándose en el marco de la construcción de la autopista A41 Norte que habrá de constituir un enlace directo de 19 km entre Annecy y Ginebra, el GIE A41 Norte lleva a cabo actualmente la perforación del túnel del Mont-Sion por cuenta de la empresa concesionaria Adelac. Esta obra, de una longitud de más de 3 km está formada por dos tubos paralelos de un diámetro interior de 10,70 metros y que constan cada uno de dos carriles de circulación monodireccionales. Esta obra se ha diseñado para responder a los requerimientos mas recientes en materia de seguridad aplicables tanto a nivel nacional como europeo. Perforado mediante una tuneladora de modo abierto en un macizo molasico, su revestimiento de diseño original permite en primer lugar alcanzar importantes velocidades de perforación, y en segundo lugar autoriza la implantación por avance de una parte de los equipamientos definitivos.

Conception et réalisation des têtes du tunnel



Benoît Saunier
Ingénieur d'études -
Bureau d'études
techniques
Bouygues Travaux
Publics

Le présent article décrit les structures qui constituent les quatre têtes du tunnel du Mont-Sion. Il insiste sur les choix qui ont permis de concevoir ces structures. Ces choix ont été guidés par trois contraintes majeures : l'existence de structures de soutènement (parois moulées) construites en 1997 lors des premiers travaux; un planning travaux très tendu et une stabilité au feu à respecter du fait que deux des quatre têtes abritent les locaux techniques utiles au bon fonctionnement du tunnel.

Les extrémités nord et sud des deux tubes formant le tunnel du Mont-Sion sont pourvues de structures de génie civil réalisées à l'air libre appelées têtes. Deux de ces structures abritent notamment les locaux techniques destinés au fonctionnement du tunnel.

■ Les contraintes à prendre en compte

Trois contraintes majeures sont venues guider la conception et la réalisation des structures des têtes :

- l'existence de parois moulées existantes;
- un planning de réalisation très serré;
- différents niveaux de résistance au feu (au sens de la circulaire interministérielle 2000-63).

Lors des premiers travaux datant de 1997, des parois moulées avaient été réalisées afin de construire les structures des têtes au nord et au sud sur chacun des tubes Est et ouest. Pour le tube ouest l'ensemble des parois moulées avait été construit; pour le tube Est seule la moitié avait été réalisée (photo 1).

Le planning ne permettant pas de réaliser de nouvelles structures de soutènement lourdes, il était donc nécessaire de réutiliser ces parois moulées pour la réalisation des têtes.

Le planning de réalisation du tunnel étant très tendu, il était intéressant de pouvoir, dans la mesure du possible, prévoir l'aménagement des locaux techniques abrités par les têtes le plus tôt possible. Le tube ouest du tunnel étant construit en premier, il a été décidé d'abriter l'intégralité des locaux dans les têtes ouest (têtes nord-ouest et sud-ouest), contrairement à ce qui était prévu initialement (une partie des locaux techniques se situait à l'intérieur des têtes Est).

Les différents niveaux de résistance au feu, au sens de la circulaire 2000-63, étaient les suivants :



Photo 1

Paroi moulée tube ouest.
Tête sud du tunnel
du Mont-Sion

*West tube diaphragm wall.
Southern portal of Mont-Sion
Tunnel*

- niveau N3 (HCM120 + CN240) pour la dalle des locaux techniques des têtes ouest (en considérant un feu dans l'espace trafic); il en était de même pour les gaines de descente de câbles et de ventilation. Seules ces structures seront recouvertes d'une protection thermique rapportée;
- niveau N1 (CN120) pour le restant de la structure (notamment les voiles latérales bétonnées contre les parois moulées).

■ Conception et réalisation des têtes ouest

Ce sont donc les têtes ouest (têtes nord-ouest et sud-ouest) qui abritent l'ensemble des locaux techniques nécessaires au bon fonctionnement du tunnel (cf. supra).

Les structures de chacune des têtes (largeur 16 m, hauteur 15 m, longueur 75 m) sont découpées en six parties (présence de cinq joints de dilatation) (figure 1). Les structures internes comprennent :

- une dalle sous chaussée (épaisseur 35 cm), supportant les couches de roulement et le trafic;
- des voiles latérales inférieures, juxtaposés aux parois moulées, d'épaisseur 35 cm;
- une dalle intermédiaire dite dalle des locaux techniques (épaisseur 80 cm);
- des voiles latérales supérieures, juxtaposés aux parois moulées, d'épaisseur 35 cm;
- une dalle de couverture d'épaisseur 1 m, qui sera recouverte d'un remblai de hauteur 1,50 m.

Les parois moulées existantes, construites en 1997, à l'abri desquelles sont réalisées les structures internes

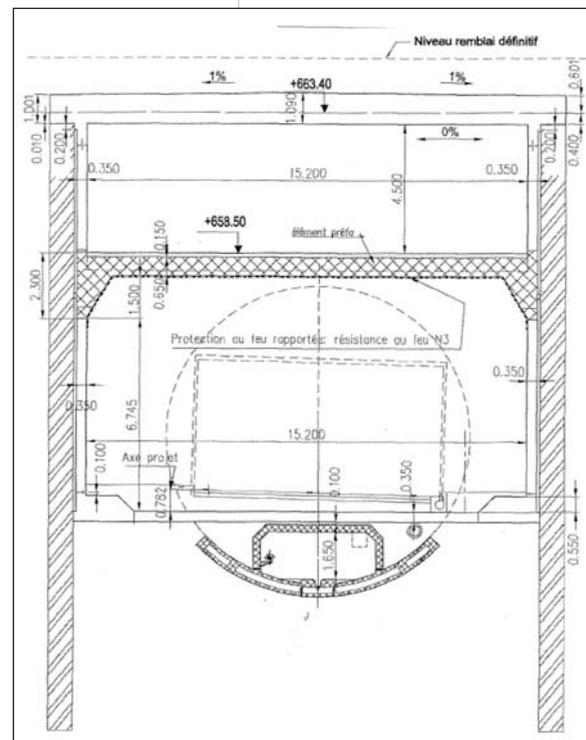


Figure 1

Coupe type tête ouest
du tunnel

*Typical section of the western
tunnel portal*

Conception et réalisation des têtes du tunnel

Photo 2

Tête nord
du tunnel

*Northern tunnel
portal*

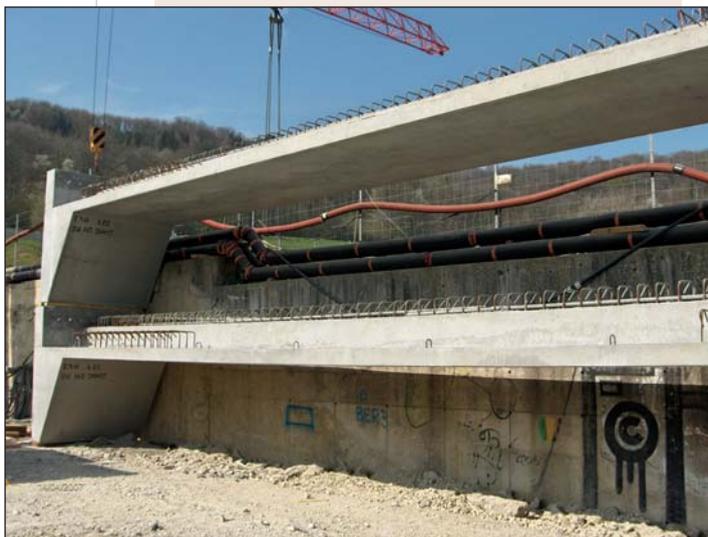


Photos 3 et 4

Poutres préfabriquées
en béton armé
des planchers
des locaux techniques.

Tête ouest

*Prefabricated
reinforced concrete
beams of the plant
room floors. Western
portal*



ont été justifiées comme des structures définitives, capables de reprendre la poussée des terres et la pression hydrostatique (photo 2). Les efforts ainsi repris par les parois moulées sont transmis aux éléments butonnants des structures internes que sont la dalle de couverture (épaisseur 1,00 m), la dalle des locaux techniques (épaisseur 80 cm) et la dalle sous chaussée (épaisseur 35 cm).

Ces parois moulées étaient prévues pour être butonnées provisoirement à trois niveaux; seuls les deux premiers niveaux étaient réalisés (un niveau de butons et un niveau de tirants précontraints). Il a donc fallu d'abord terminer l'excavation de la « boîte » et réaliser le troisième niveau de butonnage (tirants précontraints). Notons qu'une fois les structures internes réalisées, les tirants seront désactivés.

La conception des structures en termes de drainage-étanchéité implique que les structures internes ne reprennent pas de pression hydrostatique; aussi, une nappe drainante a été mise en place entre les parois moulées et les voiles latéraux, ceci afin de récupérer les eaux infiltrées à travers les parois moulées. Une étanchéité continue est disposée sur la dalle de couverture, et est descendue le long des parois moulées afin qu'il y ait recouvrement avec la nappe drainante.

La stabilité des voiles latéraux inférieurs sous incendie plus important que CN120 dans l'espace trafic (rappelons que les voiles latéraux ne sont pas protégés par une quelconque protection thermique) n'étant pas assurée, il a été décidé de dissocier la partie inférieure (radier et voiles latéraux inférieurs) de la partie supérieure (dalle des locaux techniques, voiles latéraux supérieurs et dalle de couverture). En situation de service, la partie supérieure repose « simplement » sur la partie inférieure (pas de liaison mécanique, mais un joint sec). En cas d'incendie, si la résistance des voiles inférieurs n'est plus suffisante, la partie supérieure se retrouve suspendue : un appui de la dalle de couverture en tête de paroi moulée (sur 50 m) ou un ancrage de la dalle dans la paroi moulée (sur les 25 m restants) a été prévu.

Le planning de réalisation étant très tendu, on ne pouvait pas attendre le recul du train suiveur du tunnelier côté nord-ouest ainsi que la sortie du tunnelier côté sud-ouest, prévus après l'excavation totale du tube ouest pour construire la dalle des locaux techniques (et ainsi les aménager au plus tôt). On a donc retenu un niveau de dalle afin que celle-ci ne se retrouve pas en conflit avec le gabarit du train suiveur côté nord-ouest et celui du tunnelier côté sud-ouest. Ce niveau n'était pas celui prévu lors de la conception des parois moulées en 1997.

De plus, il fallait éviter l'étalement de la dalle pour son bétonnage; en effet, installer un étalement dans la tête nord-ouest aurait fortement perturbé les approvisionnements du tunnelier ainsi que la circulation dans le tunnel.

Pour ces deux raisons, il a été décidé de concevoir et de réaliser des poutres préfabriquées en béton armé formant la demi-épaisseur de la dalle des locaux techniques. Chacune de ces poutres pèse 40 t. Elles présentent la particularité de posséder des goussets de 1,50 m de haut à leur extrémité; ceux-ci permettent d'assurer un niveau de butonnage identique à celui prévu lors des études de 1997. Ainsi, on vérifie un niveau de dalle cohérent avec les gabarits à respecter, et un niveau de butonnage des parois moulées cohérent avec leur résistance (photos 3 et 4).

Une fois ces poutres mises en place côte à côte, un hourdis béton était coulé en place et permettait de liaisonner ces poutres et d'éviter le phénomène de pianotage.

Le phasage de réalisation des têtes ouest est le suivant :

- réalisation des semelles latérales ainsi que des voiles latéraux inférieurs;
- mise en place des poutres préfabriquées formant la dalle des locaux techniques;
- coulage du hourdis béton au-dessus des poutres préfabriquées; la dalle des locaux techniques est alors totalement terminée;
- réalisation des voiles latéraux supérieurs;
- réalisation de la dalle de couverture (photo 5);
- réalisation du radier sous chaussée.

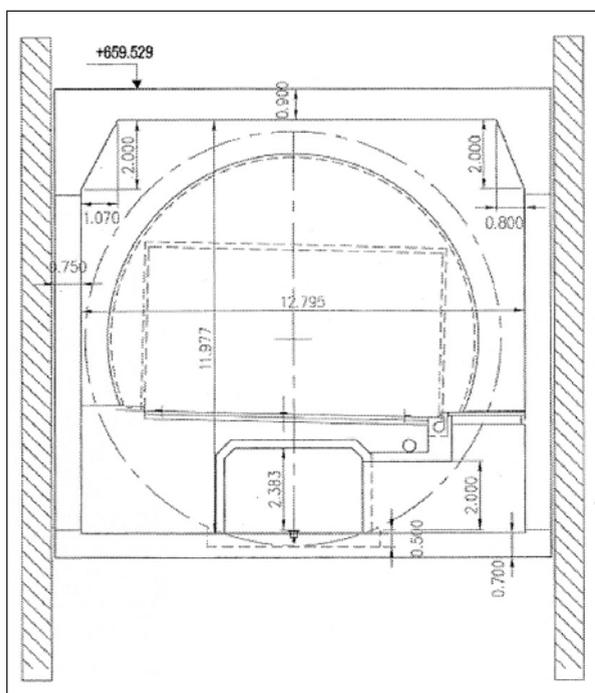


Photo 5
Réalisation de la dalle de couverture. Tête nord-ouest
Cover slab construction.
North-western portal

■ Conception et réalisation des têtes Est

Les dimensions de ces structures sont les suivantes : largeur 14 m, hauteur 15 m et longueur 26 m (figure 2). La structure ne présente pas de joint de dilatation.

Les structures internes sont constituées des éléments suivants :

- un radier d'épaisseur 70 cm supportant les couches de roulement et de trafic;
- des voiles latéraux d'épaisseur 75 cm;
- une dalle de couverture d'épaisseur 90 cm, qui sera recouverte d'un remblai de hauteur 5 m.

À l'intérieur, un remblai de hauteur 3,50 m en moyenne est mis en place sur le radier; dans ce remblai circule la galerie technique existant en tunnel.

Les parois moulées construites en 1997, à l'abri desquelles sont réalisées les structures, n'avaient pas été totalement achevées; seule une moitié avait été

Figure 2
Coupe type tête Est du tunnel
Typical section of the eastern tunnel portal

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Adelac

Maitre d'œuvre

I-LAC

Entreprise

Bouygues TP

Bureau d'études

Bureau d'études techniques de Bouygues TP

Conception et réalisation des têtes du tunnel



Photo 6

Tube Est. Tête sud du tunnel

East tube. Southern tunnel portal



réalisée. Il fallait donc prévoir la fermeture de la « boîte » par l'intermédiaire d'un soutènement supplémentaire; le choix s'est porté sur une paroi type berlinoise (profilés métalliques type HEB 550 espacés tous les 2 m et blindage par béton projeté associé à un treillis soudé), du fait de la bonne tenue à court terme du terrain et des faibles venues d'eau (photo 6).

Une fois cette paroi berlinoise exécutée, on a pu passer à l'excavation de la « boîte ». Le butonnage des parois provisoires (parois moulées et berlinoises) était assuré par un lit supérieur de butons et un lit inférieur de tirants précontraints.

Les structures des têtes Est étaient initialement prévues pour être étanches et ainsi résister à la poussée hydrostatique (le soutènement était « oublié » à long terme). Les venues d'eau observées, une fois la

« boîte » excavée, étant très faibles, il a été décidé de modifier la conception en optant pour un drainage des têtes Est. Ce drainage était envisageable car le débit calculé ne demandait pas de dispositions lourdes. Ainsi les structures des têtes ont pu être allégées (en termes de quantité de béton et d'armatures).

Les dispositions de drainage prévues pour les têtes ouest ont été reconduites pour les têtes Est : mise en place d'une nappe drainante entre le soutènement (parois moulées ou berlinoise) et étanchéité sur la dalle de couverture.

Concernant le niveau de résistance au feu, seules les gaines de ventilation et de descente de câbles devaient présenter un niveau de type N3 au sens de la circulaire 2000-63. Ces gaines seront, comme pour celles des têtes ouest, recouvertes d'une protection thermique.

Bien que seul le niveau de stabilité au feu N1 (CN120) soit exigé pour la structure même des têtes, des dispositions supplémentaires ont été prises afin de se prémunir contre un risque d'effondrement en cas d'incendie plus important dans l'espace trafic. Pour se faire, les voiles latérales et la dalle de couverture (en sous-face) ont été pourvus d'une épaisseur sacrificielle de béton (épaisseur de 10 cm).

Celle-ci est ferrillée à l'aide d'un treillis soudé destiné à confiner le béton susceptible d'éclater lors d'un incendie.

La justification des voiles et de la dalle de couverture prenait en compte la présence de cette épaisseur sacrificielle; le ferrillage principal était placé « derrière » ces 10 cm de béton neutralisés.



Photo 7

Tube Est.

Tête nord du tunnel

East tube.

Northern tunnel portal

Le phasage de réalisation des têtes Est est le suivant :

- réalisation du radier (photo 7);
- réalisation des voiles ainsi que d'un des deux tympan (côté tunnel);
- réalisation de la dalle de couverture;
- réalisation du second tympan.

■ Autres structures

Une galerie de raccordement relie les deux têtes nord du tunnel; il en est de même au sud. Ces structures permettent d'assurer une liaison piétonne entre deux têtes, ainsi que le passage de certains réseaux d'une tête à l'autre.

Notons également que différents édicules sont prévus en surface des dalles de couverture des têtes ouest (aération, ventilation).

■ Façades architecturales

Dans l'esprit de l'ensemble des ouvrages d'art de cette section de l'autoroute A41, les entrées du tunnel du Mont-Sion seront traitées avec simplicité, en cherchant à respecter au mieux le paysage environnant.

Afin d'éviter une multiplication d'éléments disparates, l'idée qui a été retenue est le regroupement des sorties de chacun des tubes en une tête unique. Pour cela, un mur tympan général sera réalisé en utilisant notamment le tympan existant constitué de panneaux de parois moulées. On veillera à reconstituer une unité dans la couleur des différents bétons constituant ce tympan général.

Entre les deux tubes, l'espace sera occupé par un merlon paysager dont la vocation est d'assurer la meilleure intégration de l'ouvrage et d'empêcher le recyclage des fumées et des pollutions d'un tube vers l'autre. ■

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton (type C35/45) : 9000 m³
- Armatures (type HA feE500) : 1500 t
- Poutres préfabriquées : 51 poutres avec un ratio de 320 kg/m³

ABSTRACT *Design and construction of tunnel portals*

B. Saunier

The present paper describes the structures part of the four entrances of the Mont-Sion Tunnel. It points up the choices allowing the design of the structures. Three main criteria were guiding these choices : existing diaphragm walls built in 1997 during a primary phase of the construction work, shorts delays, stability under strong fire conditions to allow because two of the four tunnel entrances are including technical premises used for a successful operation of the tunnel.

RESUMEN ESPAÑOL *Establecimiento del concepto y ejecución de bocas de túnel*

B. Saunier

En el presente artículo se describe las estructuras que constituyen las cuatro bocas del túnel del Mont-Sion y se enfoca sobre las opciones que permitieron establecer el concepto de estas estructuras. Estas opciones fueron guiadas por tres principales imperativos : la existencia de estructuras de contención (pantallas continuas) construidas en 1997 en el momento de los primeros trabajos; un planning trabajos sumamente corto y una estabilidad al incendio que cabe respetar debido a que dos de las cuatro bocas albergan los locales técnicos útiles para el correcto funcionamiento del túnel.

Les viaducs : un des de l'A41 Nord

La construction simultanée, dans un délai très court, de quatre viaducs permettant le franchissement de brèches étroites et profondes constitue l'un des enjeux majeurs du projet de l'autoroute A41 Nord. Situés dans un environnement montagneux, présentant une géologie hétérogène et complexe, les quatre ouvrages sont constitués de tabliers bipoutres métalliques, dont la longueur varie entre 212 et 360 m. L'une des premières difficultés rencontrée par les équipes du GIE Constructeurs A41 a été la réalisation des pistes et des plates-formes d'accès aux piles, dans des vallées où les pentes sont très escarpées. Ont suivi la réalisation des appuis, l'assemblage et le lançage des charpentes métalliques, puis la réalisation des hourdis, les chantiers ayant tous été menés de front. Au plus fort de l'activité, plus de 120 personnes travaillaient sur les viaducs. Une planification et une organisation rigoureuse des travaux ont donc été nécessaires afin de coordonner les équipes, et respecter le planning.

■ Quatre viaducs : 7 tabliers, 20 piles et 14 culées

La problématique du chantier « viaducs », un des grands défis de l'A41 Nord, est de franchir quatre brèches étroites et profondes, avec un nombre important d'interfaces, sur une durée de 25 mois.

Les viaducs du Nant de la Folle, du Nant de Saint-Martin et du Nant de Pesse-Vieille sont constitués de deux tabliers 1 x 2 voies bipoutres métalliques à entretoises. Celui des Usses comporte un tablier 2 x 2 voies bipoutre métallique à pièces de pont.

Le viaduc du Nant de la Folle a une longueur de 264 m, répartie en cinq travées : 37,50 m – 3 x 63 m –

37,50 m. Il franchit le ruisseau, dit Nant de la Folle, à une hauteur de 40 m environ. Le tracé du viaduc est en alignement droit, le profil en long est rectiligne et en pente constante de 3,73 % sur toute la longueur de l'ouvrage. Les tabliers sont constitués de deux poutres principales en acier, de 2,50 m de hauteur constante, espacées de 6,60 m pour le viaduc Est et de 7,25 m pour le viaduc ouest, régulièrement entretoisées, et d'un hourdis en béton armé, d'épaisseur variable de 0,25 m à 0,41 m.

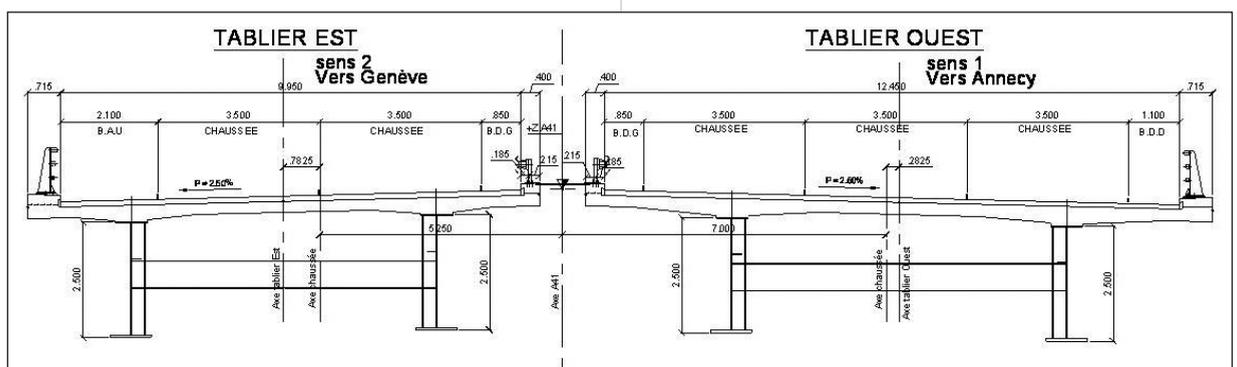
Le tablier Est du viaduc du Nant de Saint-Martin a une longueur de 270 m, répartie en trois travées : 82 m – 106 m – 82 m, le tablier ouest a une longueur de 264 m, répartie en trois travées : 82 m – 100 m – 82 m. Il franchit le Nant de Saint-Martin à une hauteur d'environ 70 m. Le tracé du viaduc se développe suivant un arc de cercle de 1950 m de rayon. Le profil en long est rectiligne et en pente de 0,5 % pour le tablier ouest et de 1.0 % pour le tablier Est. Les tabliers sont constitués de deux poutres principales en acier, de 3,80 m de hauteur constante, espacées de 6,60 m, régulièrement entretoisées, et d'un hourdis en béton armé, d'épaisseur variable de 0,25 m à 0,37 m.

Le viaduc du Nant de Pesse-Vieille a une longueur de 212 m, répartie en trois travées : 68 m – 76 m – 68 m. Il franchit le Nant de Pesse-Vieille à une hauteur proche de 40 m. Le tracé du viaduc se développe suivant un arc de cercle de 2000 m de rayon. Le profil en long est rectiligne et en pente de 0,5 %. Les tabliers sont constitués de deux poutres principales en acier, de 2,95 m de hauteur constante, espacées de 6,60 m, régulièrement entretoisées, et d'un hourdis en béton armé, d'épaisseur variable de 0,25 m à 0,37 m.

Le viaduc des Usses a une longueur de 360 m, répartie en cinq travées : 60 m – 3 x 80 m – 60 m. Il franchit le ruisseau des Usses à une hauteur de 66 m. Le tracé du viaduc se développe suivant un arc de cercle de 3000 m de rayon. Le profil en long est rectiligne et en rampe de 0,5 %. Le tablier est constitué de deux poutres princi-

Figure 1

Coupe transversale du viaduc du Nant de la Folle
Cross section of Nant de la Folle viaduct



grands défis



Jean-Luc Bouchet
 Directeur Viaducs
 Bouygues Travaux
 Publics – GIE
 Constructeurs A41



Nicolas Berthe
 Coordinateur technique
 Viaducs
 Bouygues Travaux
 Publics – GIE
 Constructeurs A41

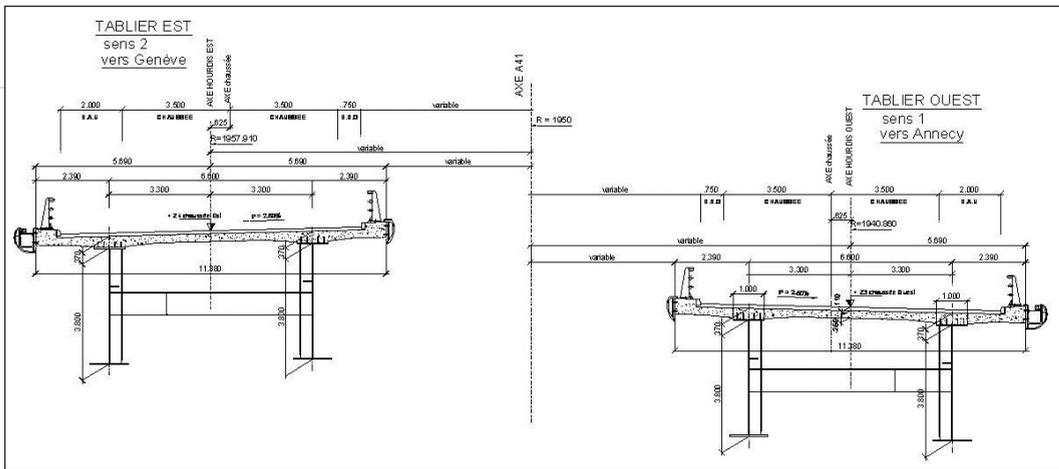


Figure 2
 Coupe transversale du viaduc du Nant de Saint-Martin
 Cross section of Nant de Saint-Martin viaduct

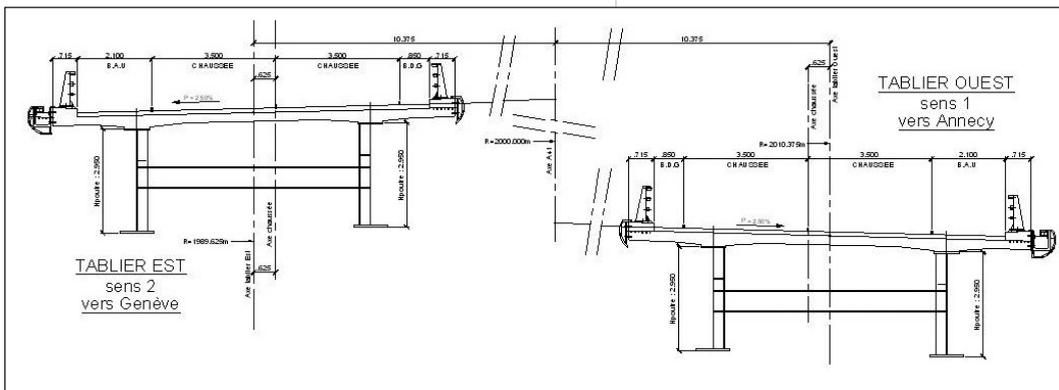


Figure 3
 Coupe transversale du viaduc du Nant de Pesse-Vieille
 Cross section of Nant de Pesse-Vieille viaduct

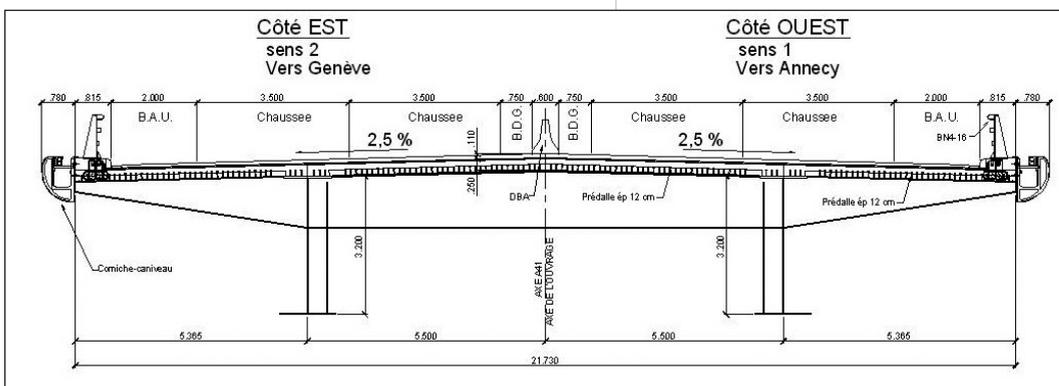


Figure 4
 Coupe transversale du viaduc des Usse
 Cross section of Usse viaduct

pales en acier, de 3,20 m de hauteur constante, espacées de 11 m, reliées par des pièces de pont tous les 4,00 m, et d'un hourdis en béton armé, d'épaisseur constante de 0,25 m. Le hourdis est réalisé à l'aide de prédalles collaborantes. Chaque chaussée est déversée vers l'extérieur à 2,5 % (figures 1 à 4 et photo 1).

■ Une géologie complexe dans un site montagneux

Malgré sa faible altitude, l'A41 Nord est bien une autoroute de montagne, avec toutes les difficultés techniques que cela implique. Les terrassements des pistes et des plates-formes ont



Photo 1
 Vue générale du viaduc du Nant de la Folle
 General view of Nant de la Folle viaduct

Les viaducs : un des grands défis de l'A41 Nord

Photo 2

Vue du versant nord du viaduc du Nant de Saint-Martin
View of the north slope of Nant de Saint-Martin viaduct



Photo 3

Remblai de préchargement de la culée C5 du viaduc des Usse
Initial backfill for abutment C5 of the Usse viaduct



mis en évidence des terrains instables, comprenant de nombreuses arrivées d'eau, qu'il a fallu sécuriser et qui ont rendu indispensables la mise en œuvre d'éperons drainants importants.

Les vallées étroites, avec des pentes très escarpées, ont rendu difficile la construction des premières piles, notamment en termes d'accès. La vallée du Nant de Saint-Martin, avec ses versants à 45°, en est le plus bel exemple. En effet, le projet prévoyait la construction d'un ouvrage à doubles tabliers mixtes comportant cinq travées, avec quatre piles en fond de versant. Il aurait donc fallu réaliser des pistes pour accéder à ces appuis entraînant un déboisement massif et notamment le passage côté sud dans un espace boisé classé. Il a été décidé de transformer le projet en le passant à trois travées. Cela a eu comme conséquences de supprimer quatre piles, de « remonter » au milieu des versants les quatre piles restantes, d'augmenter les portées centrales

de 76 m à 106 m et 100 m respectivement pour le tablier Est et ouest. Le poids des charpentes métalliques fut quant à lui porté de 1 300 t à 2 200 t (hauteur des poutres 3,80 m au lieu de 2,65 m). Cette révision de conception a permis de sauvegarder l'espace boisé classé et de fortement minimiser les déboisages.

Néanmoins, trois plates-formes ont été réalisées sur chacun des versants afin d'optimiser le linéaire restant de pistes et ainsi la durée des travaux :

- une plate-forme « basse », de dimensions réduites, située au niveau des piles, où seuls les engins de terrassement avaient la possibilité d'accéder via une piste de forte pente;
- une plate-forme « intermédiaire », sur laquelle a été installée la grue à tour;
- une plate-forme « haute », servant d'aire de stockage (coffrages, ferrailage, etc.), de préfabrication des cages d'armatures et même de zone de retournement des camions.

Les différents coffrages, le ferrailage des piles et des chevêtres, le béton ainsi que tous les matériaux et matériels étaient ainsi livrés au niveau de la plate-forme « haute », puis descendus jusqu'aux piles via la grue à tour installée en contrebas. Le GIE Constructeurs A41 a ainsi pu réduire l'emprise au sol des pistes d'accès, diminuer la surface totale des parois clouées, et accélérer la cadence des travaux (photo 2).

D'autre part, le GIE Constructeurs A41 a dû faire face aux qualités très hétérogènes des sols supports, composés en majeure partie de moraines (argileuses, sableuses ou graveleuses) et de molasses (altérées ou fracturées). À titre d'exemple : la culée sud du viaduc des Usse a été réalisée sur une couche fluvio-glaciaire compressible épaisse de 19 m. Un remblai de préchargement important de 20 000 m³ et un drainage subhorizontal du remblai (15 drains de 20 m) ont donc été nécessaires afin de diminuer les effets du tassement dans le temps. En raison de cette couche compressible, la culée est fondée sur quatre pieux longs de 25 m. A contrario, sur le versant nord, le même viaduc présente deux piles (P1 et P2) fondées superficiellement sur la molasse (photo 3).

LES VIADUCS DE L'A41 EN CHIFFRES

- 1 182 m de pieux
- 14 culées
- 20 piles
- 7 tabliers
- 24 781 m³ de béton armé
- 4 071 t d'armatures passives
- 6 445 t de structures métalliques



Photo 4

Pile P2 du viaduc des Usses

Pier P2 of Usses viaduct

■ Réalisation des appuis

Les piles des viaducs du Nant de la Folle, du Nant de Saint-Martin et du Nant de Pesse-Vieille sont toutes identiques. Deux coffrages ont été nécessaires à la réalisation des huit piles doubles (deux tabliers séparés) correspondant à ces trois viaducs.

Le viaduc des Usses, lui, est composé de quatre piles simples du fait du tablier unique. La silhouette de ses piles est identique aux piles des trois autres viaducs mais avec une dimension plus importante.

Les coffrages sont de type grim pant manipulés à la grue. Chaque coffrage a une hauteur de 5 m et la cadence est d'une levée tous les deux jours. Les piles de géométrie variable présentent un fruit sur les faces latérales : en tête le fût, de section creuse, s'évase à partir de la section supérieure (identique pour toutes les piles) jusqu'à la section sur semelle à la base de la pile.

Les piles sont surmontées par un chevêtre en V portant les appareils d'appuis (photos 4 et 5).

■ Réalisation des charpentes métalliques

Les travaux des charpentes métalliques ont été sous-traités aux entreprises françaises Baudin-Chateaufort (en charge des viaducs du Nant de la Folle et des Usses) et Eiffel (en charge des viaducs du Nant de Saint-Martin et du Nant de Pesse-Vieille).

Les poutres principales, les entretoises (et les pièces de



Photo 5

Mise en œuvre du ferrailage du chevêtre de la pile P2 du viaduc du Nant de Saint-Martin

Placing cap reinforcements for pier P2 of the Nant de Saint-Martin viaduct



Photo 6

Tablier Est du viaduc du Nant de Pesse-Vieille en cours de lancement

Eastern deck of Nant de Pesse-Vieille viaduct undergoing launching

pont dans le cas du viaduc des Usses) ont été fabriquées en usine, puis transportées sur site par convois exceptionnels (longueur variant de 20 à 28 m).

Chaque charpente métallique a ensuite été calée et assemblée sur site sur une plate-forme, puis lancée :

- viaduc du Nant de la Folle : plate-forme située côté nord - Longueur 150 m - deux lancements ;
- viaduc du Nant de Saint-Martin : plate-forme située côté nord - Longueur 320 m - un lancement ;
- viaduc du Nant de Pesse-Vieille :
 - > tablier Est : plate-forme située côté sud - Longueur 140 m - Quatre lancements (photo 6),
 - > tablier ouest : plate-forme située côté nord - Longueur 130 m - Deux lancements ;
- viaduc des Usses : plate-forme située côté nord - Longueur 170 m - Trois lancements.

Une planification et une organisation très rigoureuse

Les viaducs : un des grands défis de l'A41 Nord

Photo 7

Prédalles collaborantes
du viaduc des Usse
Compositely acting
precast slabs of Usse
viaduct



des travaux ont été nécessaires pour utiliser au mieux les ressources humaines, car tous les chantiers avançaient simultanément. Ainsi, au plus fort de l'activité, les différentes équipes de « métallurgistes » descendaient sur appuis provisoires le tablier Est du viaduc du Nant de Saint-Martin, effectuaient un second lancement du tablier du viaduc des Usse, soudaient et assemblaient les tabliers Est des viaducs du Nant de la Folle et du Nant de Pesse-Vieille. Sur une année, c'est plus de 6400 t de charpentes métalliques qui ont été « oxycoupées », soudées, assemblées, lancées, posées puis peintes.

■ Réalisation des hourdis

Les hourdis des viaducs du Nant de la Folle, du Nant de Saint-Martin et du Nant de Pesse-Vieille ont été réalisés à l'aide d'équipages mobiles. Afin de limiter la fissuration du hourdis, chaque tablier a été bétonné par plots successifs, par pianotage, au moyen de deux équipages mobiles, l'approvisionnement du béton se faisant via un mât de bétonnage et une pompe.

La réalisation de six tabliers courts, situés au-dessus de

PLANNING DES TRAVAUX

- Installation générale : mai 2006 à octobre 2006
- Terrassements des pistes et des plates-formes : mai 2006 à décembre 2006
- Fondations : juillet 2006 à mai 2007
- Culées (hors joints de chaussée) : octobre 2006 à octobre 2007
- Piles : août 2006 à juin 2007
- Charpentes métalliques (phase chantier, hors peinture de finition) : avril 2007 à février 2008
- Hourdis béton : octobre 2007 à juin 2008
- Superstructures et équipements : janvier 2008 à septembre 2008
- Finition : juillet 2008 à octobre 2008

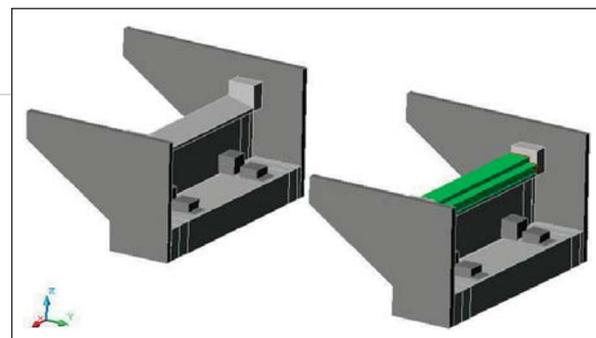


Figure 5

Exemple type d'une culée, sans et avec coin fusible
Typical example of an abutment, without and with
fuse wedge

brèches abruptes, plaçant les opérations de montage et de démontage des équipages mobiles sur le chemin critique de l'opération. Le GIE Constructeurs A41 a cherché à réduire au minimum la durée de ces tâches, tout en garantissant un maximum de sécurité (utilisation de barrières garde-corps, accès aux équipages et aux passerelles permettant la circulation des compagnons en toute sécurité, points de levage prévus systématiquement, etc.).

Dans le respect de l'environnement, un soin particulier a également été apporté à l'étanchéité et à la récupération d'éventuelles coulures, pour protéger les cours d'eau franchis.

Les prédalles collaborantes du viaduc des Usse ($e = 0,12$ m) ont été préfabriquées depuis la culée C5, puis posées à l'avancement à l'aide d'un équipage autonome. Cet équipage a été conçu pour prendre en charge deux trames de trois prédalles, pour un poids total de 40 t environ. La seconde partie ($e = 0,13$ m) a été bétonnée manuellement (photo 7).

■ Aspect technique particulier - Zone de forte sismicité

Les quatre viaducs appartiennent aux ouvrages de classe D, selon les recommandations AFPS 92 et l'arrêté préfectoral n° 96-1124 du 13 juin 1996.

Afin de ne pas surdimensionner les fondations des culées, ni même les joints de chaussée vis-à-vis des déplacements sismiques, le GIE Constructeurs A41 a mis en œuvre des joints de chaussée, de souffles réduits, supportés par des coins fusibles en béton armé. L'objectif était de réduire les efforts provenant du choc du tablier sur la culée sous l'effet du séisme.

Le souffle du joint de chaussée a donc été dimensionné selon le « Guide de conception des ponts courants en zone sismique » du Sétra (souffle de dimensionnement

= 0,4 x dilatation + souffle sismique/3).

Le libre déplacement du tablier à ses extrémités est donc assuré :

- en service : par des joints de chaussée de dimensions courantes;
- en cas de séisme provoquant des déplacements supérieurs : par rupture du coin fusible, ce qui permet alors le libre déplacement longitudinal du tablier sans report de charges sur le mur garde-grève de la culée (figure 5).

■ Conclusion

Malgré la problématique importante du franchissement des quatre brèches étroites et profondes, la réalisation des viaducs en simultané se déroule dans les délais impartis, en respectant des critères très stricts en matière de qualité des ouvrages, de sécurité des biens et des personnels, et du respect de l'environnement. Ainsi, le fait d'être concepteur nous a autorisés à optimiser des pistes pour minimiser les emprises et les déboisages. De plus, la réalisation d'un réseau d'assainissement provisoire performant a permis de limiter les impacts environnementaux et notamment les rejets dans les cours d'eau. La construction des viaducs s'inscrit pleinement dans la démarche de développement durable de Bouygues Construction. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Contrôle extérieur

Setec - Terrasol - Institut de Soudure

Bureaux d'études structures

Bouygues Travaux Publics (viaducs du Nant de la Folle et du Nant de Pesse-Vieille) - Quille (viaduc du Nant de Saint-Martin) - Cogeci (viaduc des Usses)

Bureau d'études géotechnique

Groupe J

Entreprises

- Charpentiers métalliques : Baudin-Chateauneuf (viaducs du Nant de la Folle et des Usses) - Eiffel (viaducs du Nant de Saint-Martin et du Nant de Pesse-Vieille)
- Pieux forés : Presspali
- Pistes et plates-formes d'accès aux piles : Benedetti
- Remblais des culées : GIE A41 travaux linéaires (DTP Terrassement)
- Fourniture et pose des armatures passives : Welbond Armatures

ABSTRACT

Viaducts : one of the great challenges of the A41 North motorway

J.-L. Bouchet, N. Berthe

Simultaneous construction, within a short time, of four viaducts allowing the crossing of narrow and deep breaches is one of the major challenges of the project of the Northern A41 motorway. Located in a mountainous environment, presenting a heterogeneous and complex geology, the four viaducts are made of composite structure, of which the length varies between 212 and 360 m. One of the first difficulties met by the teams of the GIE A41 was the realisation of the tracks and the access platforms to the piers, in valleys where the slopes are very strong. The realisation of the abutments and the piers, the assembly and the launching of the steel frames and the realisation of the concrete deck have then followed, the building sites all having been carried out at the same time. During a few months, more than 120 people were working on the viaducts. A rigorous organisation of works was then necessary in order to coordinate the teams, and to respect the planning.

RESUMEN ESPAÑOL

Los viaductos : uno de los retos más importantes de la autopista A41 Norte

J.-L. Bouchet y N. Berthe

La construcción simultánea, en un plazo sumamente corto, de cuatro viaductos que permiten el franqueo de estrechas y profundas vaguadas constituye uno de los principales retos del proyecto de la autopista A41 Norte. Ubicadas en un entorno de montaña, que presenta una geología heterogénea y compleja, las cuatro estructuras están formadas por tableros metálicos de doble viga, cuya longitud oscila entre 212 y 360 metros. Una de las primeras dificultades con que tropezaron los equipos de la GIE Constructores A41 ha sido la realización de las pistas y plataformas de acceso a las pilas, en los valles donde los pendientes son sumamente escarpados. A continuación se ha ejecutado los apoyos, el ensamblaje y el lanzamiento de las estructuras metálicas, y después la realización de las bovedillas, dado que todas las obras fueron ejecutadas desde el frente. En el momento más álgido de la actividad, más de 120 personas trabajaban en los viaductos. Por consiguiente, Una planificación y una organización rigurosa de los trabajos fueron necesarias con objeto de regular los equipos, y respetar el planning.

Terrassements et soutènement

**La réalisation des travaux linéaires de l'auto-
route A41, compte tenu de la diversité du
projet, de la complexité géotechnique des
terrains rencontrés, des contraintes environ-
nementales, des phasages de construction et
du délai général très court, fait appel à prati-
quement toutes les techniques de réalisation
des terrassements, des ouvrages d'art et des
chaussées.**

■ Présentation des travaux linéaires

Les travaux linéaires de l'A41 représentent 19 km de section courante, une trentaine d'ouvrages d'art courants, une tranchée couverte de 290 ml, 24 rétablissements de communications et 250 000 t d'enrobés, mais ils se caractérisent surtout par une succession d'obstacles naturels à franchir qui constituent autant de coupures au droit de chacun des quatre viaducs et du tunnel. Cette situation génère la mobilisation de moyens exceptionnels pour construire des pistes en zone montagneuse et déplacer les 7 millions de mètres

cubes du mouvement des terres. Dans chacun des métiers, les contraintes sont à ce point variées qu'elles engendrent le recours à de multiples techniques de réalisation :

- en terrassement, la diversité des matériaux rencontrés nous amène à traiter les déblais dans la partie nord à la chaux et au liant, pour en faire des remblais et des couches de forme traitées; dans la partie sud les déblais calcaires minés de la tranchée du Noiret permettent de couvrir les besoins en dispositifs confortatifs, les PST et les couches de forme de la zone sud, dont certains remblais atteignent 30 m de haut;
- les ouvrages d'art « dit courants » sont pour certains réalisés avec des charpentes métalliques, pour d'autres lancés au-dessus de l'autoroute A40 en service ou réalisés sur des culées de 25 m de haut comme pour l'ouvrage sur la Ravoire.

La réalisation de la tranchée du Noiret avec sa double voûte de 290 ml nécessite un phasage délicat avec la RD 1201, des tirs de mines à proximité des habitations et des précautions particulières liées à la présence de la zone de protection du captage de la Douai (photo 1);

- les murs de soutènement de Troinex permettent d'inscrire des chaussées décalées entre les deux viaducs du Nant de Saint-Martin et de Pesse-Vieille;
- la réalisation des Chaussées nécessite des travaux



Simon Bonne
*Directeur d'exploitation
des travaux linéaires
DTP Terrassement*



Laurent Masson
*Responsable travaux
de terrassements,
assainissements
et chaussées
DTP Terrassement*



Jérôme Rayrole
*Responsable
des travaux sous-traités
DTP Terrassement*



Guy Robert Simon
*Directeur exploitation
Rhône-Est
Solétanche Bachy*



Bruno Clerc
*Directeur travaux
Solétanche Bachy*



Photo 1
Tranchée couverte du Noiret
Noiret cut-and-cover

Terrassements et soutènement

Photo 2

Barrière de péage de Villy
Villy toll gate



Photo 3

Nœud de Saint-Julien
Saint-Julien interchange



Photo 4

Tête nord
Northern portal



phasés, sous circulation au niveau de la bifurcation de Villy-le-Pelloux à l'extrémité sud et au niveau de l'échangeur avec l'autoroute A40 à l'origine du projet côté nord (photos 2 et 3).

Les travaux linéaires de A41 ont été organisés suivant des principes éprouvés sur l'autoroute A28 (Rouen-Alençon) et avec une grande partie des équipes qui avait réalisé cette première expérience de travaux autoroutiers en concession. Les équipes des travaux linéaires ont été intégrées au projet dès le début de la période de développement. Elles sont intervenues dans la mise au point du projet, dans la concertation, dans l'animation des réunions publiques et dans le pilotage des procédures administratives. Ces mêmes équipes ont participé activement au développement de l'ingé-



Photo 5

Libération de la plate-forme de lancement des Usse
Release of the Usse launching platform

nierie concurrente, en proposant des options techniques très tôt et en pilotant en parallèle les études d'exécution tout en dégagant des choix d'intérêt général intermétiers : Terrassements - Assainissements - Ouvrages d'art - Chaussées.

■ Le terrassement au service des ouvrages

Le chantier de l'A41 présente des caractéristiques très classiques à première vue en terrassement; à savoir pour un linéaire de 19 km :

- 1 million de m² de décapage;
- 7 millions de mètres cubes de matériaux à terrasser et à déplacer dont 1 million de m³ de déblais rocheux à valoriser;
- un excédent de 1,6 million de m³ à mettre en dépôts.

La présence d'un tunnel, de quatre viaducs, d'une tranchée couverte et d'ouvrages courants qui n'ont rien de classiques, tel que l'ouvrage sur la Ravoire, induit un morcellement très contraignant pour les terrassements. De surcroît, le délai d'exécution impose de réaliser l'ensemble des travaux simultanément, les terrassements répondent donc à des priorités de libérations de plates-formes pour les ouvrages qui constituent autant de points durs.

Les terrassements liés au tunnel

Pour permettre l'assemblage du tunnelier au plus tôt, la libération de la trace à la tête nord du tunnel sur un linéaire de 400 m a nécessité la mobilisation de plusieurs échelons de terrassement afin d'extraire 300 000 m³ de déblais, soit 3 mois après l'OS de démarrage des travaux préparatoires.

En parallèle, les terrassements des plates-formes des installations de chantier étaient réalisés et plus parti-



Photo 6
 Plate-forme de lancement de Pesse-Vieille
Pesse-Vieille launching platform

culièrement ceux de l'usine de préfabrication des voussoirs (photo 4).

Viaducs : des mouvements de grande ampleur

Les viaducs de structure mixte, requièrent très rapidement l'aménagement de plates-formes de lancement et d'accès, nécessaires aux convois exceptionnels chargés des poutres métalliques de 25 à 30 m de long constituant la charpente.

Ainsi, des brèches telles que celle du « Calvaire » à Copponex devaient être comblées pour permettre l'accès à la plate-forme de lancement du viaduc de Saint-Martin. En conséquence, dès le début du chantier, ce remblai d'une vingtaine de mètres de haut, 80000 m³ sur une base drainante avec une bêche en pied, a été réalisé en travaux préparatoires.

Un phasage par moitié a également été nécessaire pour livrer cette plate-forme dès le début du mois d'avril 2007.

De même les viaducs des Usses, de Pesse-Vieille et de la Folle ont requis des terrassements considérables pour aménager les plates-formes et leurs accès (photos 5, 6 et 7).

Les terrassements des ouvrages « courants »

Simultanément, des travaux de terrassement étaient menés pour libérer les emplacements des ouvrages courants. Trois mois après l'OS des travaux préparatoires, les PS 17 et 19 pouvaient démarrer (photo 8). Et ainsi de suite, jusqu'au dernier ouvrage courant, le PI 58 qui a été libéré début novembre 2007 après renforcement de la berge du ruisseau de la Folle, nécessaire à la stabilité du terrain sous les murs en retour (photos 9 et 10). De même, le phasage de la tranchée couverte (TC) est



Photo 7
 Plate-forme de lancement de Saint-Martin
Saint-Martin launching platform



Photo 8
 Terrassement de la fouille d'un PI
Earthworks for underpass excavation



Photo 9
 Berge de la Folle PI 58
Bank of the Folle River, underpass 58



Photo 10
 Interface terrassements - OA courants (PI 103 à Copponex)
Earthworks/standard structures interface (underpass 103 at Copponex)



Terrassements et soutènement



Photo 11

Libération de la tranchée couverte phase 2
Release of cut-and-cover phase 2



Photo 12

Libération des fouilles tranchée couverte phase 2
Release of cut-and-cover phase 2 excavations



Photo 13

Plate-forme installations et accès poutre tranchée couverte phase 2
Plant platform and beam access, cut-and-cover phase 2

Photo 14

Bifurcation de Villy-le-Pelloux
Villy-le-Pelloux junction



Réalisation de la bifurcation et de la barrière de péage de Villy-le-Pelloux

Ces travaux de terrassements se sont déroulés selon des méthodes très précises et un calendrier à la journée, de façon à livrer dans les temps les différentes phases de construction du génie civil des gares de péage avec les déviations provisoires nécessaires, les ouvrages d'art concernés, les assainissements et les chaussées, tout en garantissant en permanence toutes les fonctions du diffuseur de Villy-le-Pelloux en service (photo 14).

Les moyens matériels

Le chantier a mobilisé 170 machines en pointe avec un échelon de décapeuses (CAT 631 E), un échelon de pelles CAT 385 avec dumpers rigides (CAT 769), deux échelons de pelles de 65 t avec des tombereaux articulés de 40 t et de nombreux échelons de pelles de 45 t et de 30 t.

L'exploitation du déblai de la tranchée ouverte du Noiret a nécessité deux à trois foreuses en moyenne et jusqu'à quatre en pointe. Le minage a été effectué par le groupement d'entreprises Serfotex - Stips (photos 15, 16 et 17).

Le calcaire extrait alimente deux concasseurs à percussion : un primaire pour produire le 0/150 de la PST et une chaîne avec un primaire et un secondaire pour le 0/31,5 de la couche de forme. La production journalière a atteint en pointe 12000 t/j. Le concassage est assuré par l'entreprise Budillon Rabatel. La production cumulée des produits concassés toutes granulométries confondues dépasse 1 million de tonnes.

Pour assurer l'approvisionnement des dispositifs constructifs, bêche, assise drainante, masques, éperons, une flotte d'une vingtaine de camions en moyenne,

une parfaite illustration de terrassements phasés pour les besoins des ouvrages d'art. En effet, l'avancement du terrassement dans la zone sud a été dicté par le besoin de libérer la zone de la tranchée couverte avec une plate-forme d'installation sur 100 m, en ayant réalisé le minage sur 200 m et une piste d'accès pour les semi-remorques et les toupies (photos 11, 12 et 13).

8 x 4 ou semis a été nécessaire pour charrier le matériau calcaire 0/500 par la RD1201.

Aménagements sur les infrastructures existantes

Pour accueillir ce trafic, ainsi que l'approvisionnement des ouvrages en acier et en béton, la RD1201 a dû être aménagée provisoirement.

En effet, parallèlement, entre avril et octobre 2006, avec le concours du Conseil général de Haute-Savoie, trois giratoires provisoires et un carrefour à feux ont été aménagés sur cette voie (ex-RN201) pour accéder au tunnel, à la zone de Copponex, au viaduc des Usse et au secteur compris entre la tranchée couverte et le nord du viaduc des Usse dans lequel on retrouve l'ouvrage de la Ravoire et le PI 167. De manière plus classique, trois déviations provisoires de la RD ont été nécessaires pour assurer la construction de deux PS et de la tranchée couverte du Noiret en conservant une circulation quasi normale.

Bilan des terrassements

Dès le démarrage des travaux, les terrassements ont été organisés dans un souci de libération des accès et des plates-formes nécessaires aux ouvrages. C'est ainsi que plus de 2 millions de mètres cubes de déblais ont été réalisés en travaux préparatoires.

La fin des travaux de terrassements sera rythmée par l'achèvement du tunnel et des viaducs (clavage) en vue de la réalisation des chaussées de la section courante, du réseau d'appel d'urgence et des bétons extrudés.

Ainsi, du début à la fin du chantier, la majeure partie de l'activité terrassements aura été et sera dictée, par les besoins et les contraintes générées par les ouvrages qui morcellent le tracé.

■ Les murs de soutènement - Les murs de Troinex

Le tracé retenu de l'A41 nécessite la construction d'ouvrages de soutènement de plus de 10 m de haut en contrebas du quartier de Troinex à Cruseilles.

Ces ouvrages sont situés sur 500 m environ, entre les PK 12.850 et 13.350. Les contraintes géotechniques, géométriques et les contraintes propres au site ont conduit à la réalisation de deux chaussées décalées flanquées de murs à parement vertical et subvertical pour permettre un franchissement autoroutier.

Le mur amont, dit M2, est réalisé en déblai et constitué de une à quatre longrines en béton armé ancrées dans le sol par des tirants précontraints. Ce mur est habillé



Photo 15
Échelon de décapeuses
Fleet of scrapers



Photo 16
Échelon de pelles
Fleet of excavators



Photo 17
Foreuses en action
Drilling machine

Terrassements et soutènement

Figure 1
Profil en travers type
Typical cross section

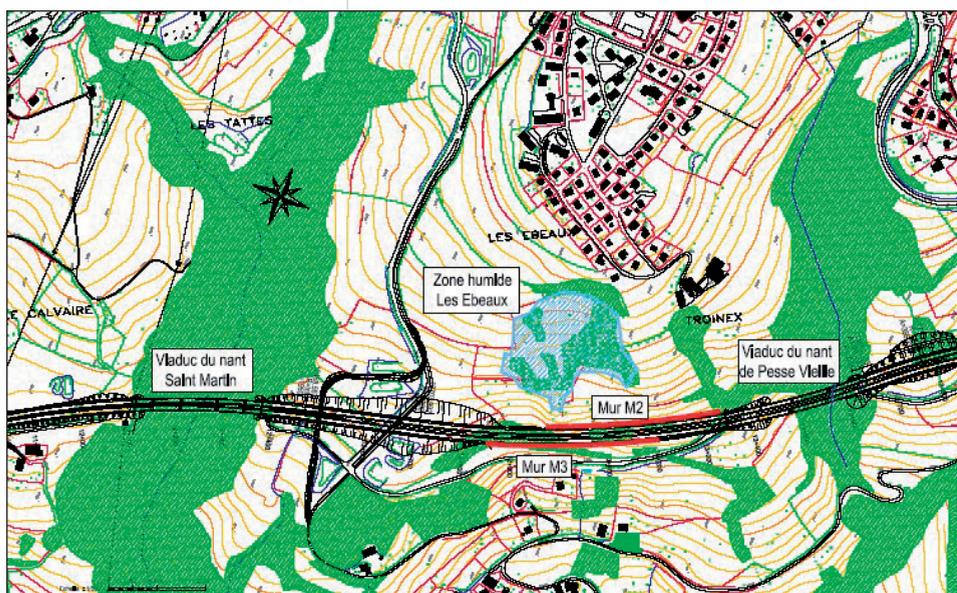
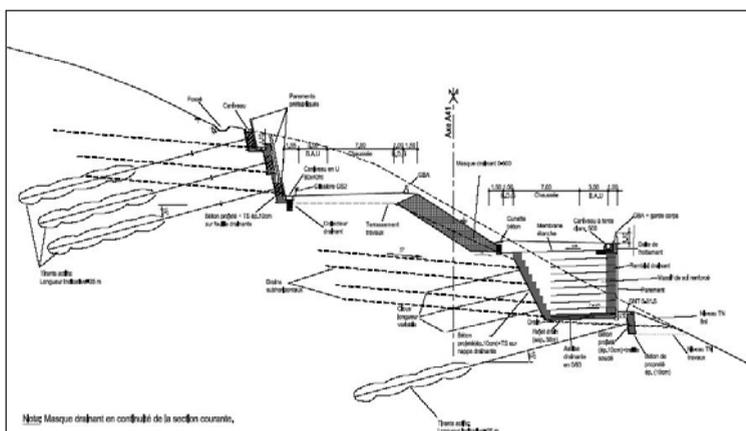


Figure 2
Contexte environnemental
Environmental context



d'un parement préfabriqué architectural. Le mur M3 réalisé à l'aval est formé d'une poutre ancrée par tirants précontraints à la base et surmontée d'un remblai en terre armée. En complément de l'ouvrage de soutènement, un important dispositif de drainage a été mis en œuvre au fur et à mesure de la réalisation des murs.

Dans la zone des murs, le profil en travers de l'autoroute est constitué de deux plates-formes de 14 m de largeur séparées par un TPC en talus à 3/2 (figure 1).

Contexte géologique et géotechnique

Sur ce secteur, le contexte géologique et géotechnique est complexe, et présente des variations brutales.

Géomorphologie

Le site est bordé au sud par le Nant de Pesse-Vieille. En rive droite, le versant concerné par les travaux de soutènement présente des pentes transversales de 15° à 20°, avec localement des ressauts plus abrupts et des

anomalies morphologiques qui traduisent l'existence de glissements anciens fossilisés.

Géologie

Les principaux horizons détectés lors des campagnes de reconnaissance réalisées sur la zone sont :

- des argiles plus ou moins sableuses, géologiquement classées dans les moraines, mais distinguées du point de vue géotechnique du fait de leur forte teneur en fines;
- des moraines à éléments pluricentimétriques, voire à blocs métriques, et à matrice argilo-sableuse à limono-sableuse;
- un substratum molassique argileux à gréseux, constitué d'une alternance de bancs argileux, marneux, gréseux, présentant une frange supérieure altérée.

Les limites entre les couches ne sont pas franches, l'épaisseur des couches est variable et le toit du substratum molassique est assez chahuté sur la zone des travaux.

Hydrogéologie

Le versant est alimenté par les précipitations et les eaux du plateau de Cruseilles. Il semble que la zone humide des Ebeaux, en amont du projet fonctionne comme un bassin déversant sur le toit de la molasse, suite à l'obstruction d'un ancien talweg par des matériaux argileux supposés glissés.

Cinq sources ont été recensées sur la zone. L'hydrologie de la zone peut être considérée comme spatialement très hétérogène, et très variable dans le temps.

Les moraines constituent un aquifère discontinu, siège de nappes libres ou localement en charge, et siège de zones de circulation préférentielles de type chenaux.

La molasse est le siège d'une nappe communiquant au contact de celle des moraines; cette nappe peut être localement en charge sous l'effet de l'écoulement de pente et des écarts de perméabilité du matériau, notamment entre les bancs.

Les ordres de grandeur moyens des perméabilités sont de 10⁻⁵ m/s dans les moraines et 10⁻⁶ m/s dans les molasses.

Contexte environnemental

Le site est marqué par la présence en amont de la zone humide des Ebeaux – un marais de 2 hectares en pente vers l'ouest –, ceinturée en grande partie par des bois denses et élevés; il s'inscrit dans une vaste zone de pâturage. Des niches d'arrachement traduisant des instabilités locales de la pente sont visibles en plusieurs endroits.

Le drainage nécessaire à la stabilité de la pente doit préserver cette zone (figure 2).

Choix techniques

Pré Terrassement, drainage préalable, assainissement

Le talus à l'amont des murs a été réglé à 1V/2H, les eaux de ruissellement sont reprises dans un fossé bétonné à l'amont. La pente entre le fossé amont et les murs est drainée par un réseau de tranchées de 3 m de profondeur, collectées dans un fossé bétonné situé à l'arrière de l'entrée en terre du mur (photo 18).

Mur M2

Le mur M2 est un mur en déblai incliné 1H/5V dont la fonction est d'assurer le soutènement des terres en amont de la chaussée Est. D'une longueur de 375 m, il peut se décomposer en un mur M2 sud et un mur M2 Nord, séparés par une zone de transition de faible hauteur. La réalisation des murs se fait en descendant par passes successives, et par plots alternés si nécessaire. Les excavations sont stabilisées en phase provisoire par la pose d'une nappe drainante et la mise en place de clous courts (3 à 12 m) scellés au terrain et accrochés à un parement en béton projeté de 10 cm renforcé par un treillis soudé.

Les tirants d'ancrage des longrines BA sont espacés verticalement de 2,5 à 3 m et de 2 m à 5 m horizontalement. Les tirants ont une longueur variable de 20 à 50 m selon l'épaisseur de moraine rencontrée. Pour le mur M2 leur capacité est variable de 4 à 7 T15,7 (photo 19).

Des drains subhorizontaux de 20 m, à la maille moyenne 2,50 x 2,50 sont mis en place au fur et à mesure de l'avancement des travaux pour assurer le rabattement de la nappe et la chute des pressions interstitielles à l'arrière des murs.

Ces drains ont un rôle en phase construction et en phase définitive (photo 20).

MURS DE TROINEX - LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

L'ensemble des travaux de Troinex avec les déblais en grande masse compris entre le viaduc de Saint-Martin et le viaduc de Pesse-Vieille a été confié à un groupement d'entreprises sous-traitant du GIE A41 :

- Benedetti (pilote du groupement) : déblais en grande masse de la zone 4 (400 000 m³) et déblais, pistes, masques, éperons drainants associés aux murs de soutènement de Troinex.
- Guelpa et Cecon : génie civil des murs de Troinex et des murs de soutènement de la Ravoire.
- Solétanche Bachy et Sif-Groutbor : ancrages et tirants des murs de soutènement de Troinex



© Michel Rudolf

Photo 18
Drainages
Drainage systems



Photo 19
Atelier de forage de tirants
Tie anchor drilling equipment



© Michel Rudolf

Photo 20
Mur M2 Sud
South wall M2

Terrassements et soutènement

Photo 21

Travaux de drainage sous remblais et de purge sous l'assise du mur M3

Drainage work under backfill and rock removal under the footing of wall M3



qs projet (kPa)	Nature du sol (kPa)	Nombre d'essais (u)	qs moyen (kPa)	qs min (kPa)
80	Moraines peu compacte	7	192	127
150	Molasse argileuse	3	293	243
250	Molasse compacte	1	365	365
30	Argile	3	55	39
30	Argile/Moraine peu compacte	2	162,5	135
120	Moraine compacte	3	365	365

Tableau I

Les clous d'essais
Test nails

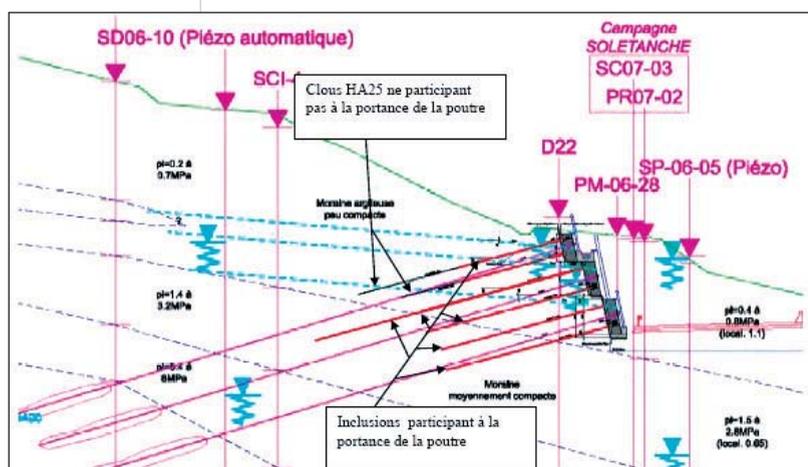


Figure 3

Coupe de calcul avec renforcement des poutres par inclusions dans la zone PK 13.000
Computation section with beam reinforcement by inclusions in zone PK 13.000



Mur M3

Le mur M3 est un mur en terre armée à parement vertical posé sur une longrine BA, ancré par tirants précontraints, destiné à soutenir la chaussée en aval. La hauteur soutenue atteint 10 m.

Talutage provisoire et drainage

La réalisation du mur en sol renforcé nécessite le talutage du terrain à l'arrière. Le blindage de ce talus a été réalisé en béton projeté cloué avec un fruit 1H/2V et un maillage de clous de 2 x 1,50 m de longueur 6 à 12 m sur la moitié sud de l'ouvrage, et par purge de la tranche argileuse sur la moitié nord. Des drains subhorizontaux de 20 à 30 m de longueur ont été mis en place à la maille 2,00 x 1,50 m pour faire baisser les pressions interstitielles dans le massif à l'arrière des murs (photo 21).

Assises du mur en sol renforcé

Les terrains au niveau de la base de ce mur sont très variables (argiles, moraines peu compactes, surmontant des moraines compactes ou la molasse). Cette configuration a imposé la réalisation d'un dimensionnement interactif, après reconnaissances complémentaires à maillage resserré, afin de définir les purges et substitution des terrains de caractéristiques insuffisantes par de la grave traitée pour assurer la stabilité externe du massif en sol renforcé, et la portance du sol sous la longrine tirantée.

Le drainage sous l'assise du mur est assuré par deux lignes de drains subhorizontaux en partie sud de l'ouvrage et une ligne de puits de décharge dans la molasse en partie nord.

Renforcement par tirants en pied du mur

Une longrine en béton armé de 2 m x 0,70 m, ancrée par des tirants précontraints de 30 à 50 m de longueur, espacés de 2,00 m et de capacité 900 à 1350 kN est nécessaire pour assurer la stabilité globale. Ces tirants sont tendus progressivement en fonction de la montée du mur en sol renforcé.

Réalisation des ouvrages, dispositif de suivi, dimensionnement interactif

Réalisation des ouvrages

Campagne complémentaire de reconnaissance

Une campagne complémentaire de reconnaissance par sondages carottés et sondages pressiométriques a été réalisée en début de chantier afin de préciser la stratigraphie sur des profils de calculs complémentaires (janvier à avril 2007).

Tirants d'essais et clous d'essais

Les tirants d'essais et clous d'essais préalables ont été réalisés en décembre 2006 et janvier 2007. Ces essais ont permis de confirmer les valeurs retenues (des tirants de 98 kN/ml pour un forage réalisé en diamètre 115 mm) (cf. tableau I).

Instrumentation des murs pour leur surveillance

Une instrumentation complémentaire à celle préexistante a été mise en place en début de travaux. Elle comprend notamment :

- le suivi des déformations du massif par inclinomètres;
- le suivi des déformations de l'ouvrage par cibles topographiques faisant l'objet de relevés réguliers;
- le suivi des niveaux des nappes des moraines et de la molasse par piézomètres sélectifs, ou non;
- le suivi des tensions dans les tirants par cellules dynamométriques.

Cette instrumentation a fait l'objet d'un relevé bimensuel, le pas de mesure a été resserré chaque fois qu'étaient relevées des déformations plus importantes à celles attendues. L'exploitation des résultats a été faite sous 48 heures par le bureau d'études afin de détecter en temps réel les écarts entre le comportement attendu de l'ouvrage et le comportement réel et mesuré. Cette surveillance a notamment permis d'anticiper et d'adapter le projet de soutènement du mur M2 nord.

Exemple de dimensionnement interactif : le cas du mur M2 en partie nord

Dès l'exécution des premiers travaux des signes d'instabilité ont été détectés à partir du suivi des inclino-

mètres. Il convient de noter que ce secteur est situé immédiatement à l'aval de la zone humide, où un artésianisme de plusieurs mètres a été mis en évidence, entraînant des pressions interstitielles élevées.

Les reconnaissances complémentaires ont par ailleurs révélé des caractéristiques mécaniques du sol, à l'arrière du mur, très insuffisantes pour assurer la stabilité des longrines sous l'effet des charges amenées par la précontrainte des tirants d'ancrage. Cette difficulté technique a pu être résolue par un dimensionnement de la longrine en fondation mixte, fondée à la fois comme une fondation sur semelle, et pour une partie des charges, comme une fondation sur inclusions ou micropieux (la répartition des charges entre les deux types de fondation étant estimée à l'équivalence des tassements calculés).

Une ligne de 12 puits de pompage a par ailleurs été installée en amont du PK 13.000 afin de tenter de baisser les pressions interstitielles dans le massif, 50 m à l'amont du mur. En cours de travaux cette zone a été le siège de déplacements pluridécimétriques inquiétants, qui ont pu être contenus après la réalisation des puits et dès la mise en tension des tirants d'ancrage de la deuxième poutre (figure 3).

Les principales quantités mises en œuvre sur ces murs sont reportées en encadré.

MURS DE TROINEX - LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Mur amont M2

- 9300 ml de drains subhorizontaux de 20 à 30 m de long (diamètre 50 et 100 mm)
- 1400 ml d'ancrages passifs (clous HA 25 et HA 32) de 3 à 12 ml de long
- 400 tirants de 35 ml de longueur (104000 kg)
- 2000 ml d'inclusions diamètre 140 mm
- 1200 ml de poutres tirantées en béton armé
- 3500 m² de béton projeté pour les soutènements provisoires
- 2000 m² de murs de parement architecturés préfabriqués

Mur aval M3

- Hauteur maximale 12 m
- Longueur : 300 m
- Assise renforcée par une poutre tirantée en béton armé
- 2500 m² de béton projeté (soutènement provisoire)
- 2000 m² de mur de soutènement en sol renforcé

Terrassements et soutènement



Photo 22

Mur de soutènement réalisé à l'aide du procédé VSol®
Retaining wall constructed using the VSol® process

► ■ Soutènement - Les murs d'Uffin et d'Hominal

L'insertion d'un projet autoroutier comme celui de l'autoroute A41 dans un environnement périurbain nécessite habituellement l'acquisition et la démolition de nombreux bâtiments.

La volonté du maître d'ouvrage, qui souhaitait limiter les acquisitions de bâtiments existants, a conduit à une réduction de l'assiette des travaux en remplaçant les talus de remblais par des murs de soutènement.

Ainsi, ont pu être préservés un bâtiment industriel et le siège d'une importante exploitation agricole.

La proximité de ces bâtiments et celles d'autres habitations nécessitait une structure de soutènement simple, économique et d'aspect esthétique, le choix s'est donc porté naturellement sur le procédé VSol®.

Ces murs de soutènement, d'une surface respective de 250 m² et 800 m², ont été réalisés à l'aide de parements en béton préfabriqués, en panneaux de grande dimension (1,68 m x 2,08 m) qui assurent une pose rapide (photo 22). ■

ABSTRACT

Earthworks and supporting structures

S. Bonne, L. Masson, J. Rayrole,

G.-R. Simon, Br. Clerc

To perform linear works on the A41 motorway, given the diversity of the project, the geotechnical complexity of the land encountered, environmental constraints, construction phasing and the very tight overall deadline, practically every technique was used for execution of earthworks, engineering structures and pavements.

RESUMEN ESPAÑOL

Movimientos de tierra y contención

S. Bonne, L. Masson, J. Rayrole,

G.-R. Simon, Br. Clerc

La realización de los trabajos lineales de la autopista A41, cuenta habida de la diversidad del proyecto, de la complejidad geotécnica de los terrenos existentes, de las restricciones medioambientales, de la planificación de construcción y del plazo general muy reducido, recurre a prácticamente todas las técnicas de ejecución de movimientos de tierra, de las obras de fábrica y de los pavimentos.

Les ouvrages d'art hors viaducs

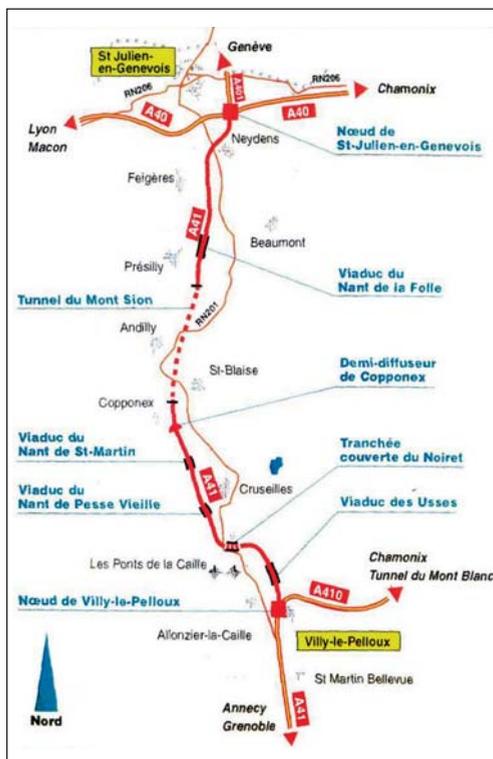
L'A41 comprend 26 ouvrages d'art dits courants, une tranchée couverte de 290 ml et l'ouvrage de franchissement du Nant de la Ravoire. Tous ces ouvrages présentent de fortes spécificités liées à l'environnement du tracé de l'A41 et la plupart des structures connues ont été utilisées pour ce type d'ouvrage. Le délai très court pour les réaliser a été possible par la mise en place de moyens spécifiques, dont l'ingénierie concourante, et par la forte implication de partenaires et sous-traitants face aux enjeux de ce projet.

L'A41 est un chantier linéaire qui concentre de nombreuses difficultés – tracé à flanc de montagne, géologie complexe, déblais rocheux à miner, vallées encaissées, zones fortement habitées et agricoles, espèces protégées, voies établies, échangeur autoroutier connecté au concessionnaire ATMB (A40), échangeur connecté au réseau AREA –, où doivent s'intégrer, sous circulation, de nombreux ouvrages d'art, et qui plus est dans un temps record ! (18 mois) (figure 1).

Figure 1

Plan A41

A41 plan



■ Des ouvrages d'art courants... pas si courants !

Les ouvrages usuellement désignés comme courants se déclinent sur l'A41 de la façon suivante : ponts mixtes bipoutres, tablier PRAD (poutres en « I » et poutres dalle en « T ») inversé, tablier à poutrelles enrobées, PSDP, cadres et voûtes préfabriqués, buse métallique. Ces ouvrages sont réalisés sur fondations variées : superficielles, pieux, sols renforcés, palplanches. Compte tenu des délais courts, les études d'exécution ont été confiées à des bureaux d'études spécialisés qui ont travaillé en synergie avec une maîtrise d'œuvre intégrée, assurant au fil de l'eau la conception des ouvrages en fonction de l'avancement de la concertation.

Toutes les entités du GIE ont participé à la réalisation de ces ouvrages. La diversité de ces équipes représentait une richesse non négligeable compte tenu des enjeux.

Pôle PS

Neuf voies rétablies vont franchir la trace de l'A41 Nord (photo 1). Ces dernières emprunteront des ponts de type passages supérieurs (PS), conçus de la façon suivante :

- cinq PS à dalle précontrainte (PSDP), deux travées : PS 17, PS 19, P22, PS 41, PS 109. Ce sont les PS dits « courants » ;

Photo 1

Voies rétablies par PS

Roads restored by overpass



Emmanuel Størksen
Directeur d'exploitation
Quille



Alain Legeay
Chargé des études techniques OAC et tranchée couverte
Bouygues Construction



Nicolas Caris
Chargé des OAC et PI la Ravoire
Quille



Sébastien Grange
Chargé de la tranchée couverte
Quille

Les ouvrages d'art hors viaducs

Photo 2

Trois PS courants
Three standard overpasses



- un PS à dalle précontrainte (PSDP), quatre travées : le PS 125 ;
- un PS bipoutre mixte : le PS 179 ;
- un PSDP isostatique sur sol renforcé : le PS 187 ;
- un PSDP isostatique sur culées palanques : le PS 189.

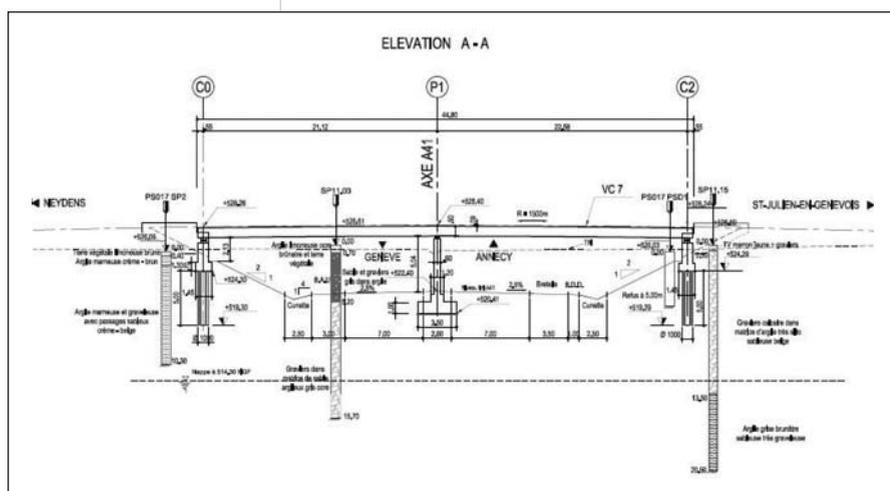


Figure 2

Coupe type PS 17
Typical section of overpass 17

Photo 3

Étanchéité PS
Overpass waterproofing



Photo 4

Montage écailles VSol® PS 179
Mounting VSol® scales,
overpass 179



PS courants (PS 17, PS 19, PS 22, PS 41, PS 109)

Les PS dits « courants » permettent le franchissement de l'A41 par des voies nationales, départementales ou communales. La conception de ces ouvrages, de type dalles précontraintes, résulte de la prise en compte de plusieurs critères : biais en général faible, type d'ouvrage simple, robuste, économique et esthétique (photo 2). La prise en compte du séisme dans leur dimensionnement a conduit, entre autres, à retenir des fondations de culées sur pieux (figure 2), et à réaliser des butées de blocage sur les culées afin de reprendre les efforts transversaux de séisme. Un coin fusible sur les murs garde-grève vient compléter ce dispositif. Les ouvrages supportant un trafic important comportent des dalles de transition à l'arrière de leur culée. La géométrie des piles, comme celle des culées et des vaux des tabliers ont été harmonisés pour standardiser leur réalisation. Les dispositifs de sécurité de l'ensemble de ces ouvrages sont constitués de barrière Tetra® 13 ou 16 t, dans un souci d'uniformisation et de sécurité. L'étanchéité de ces ouvrages a été réalisée en feuille bitumeuse collée, après grenailage et préparation des supports, avant d'être recouverte d'une couche d'enrobés de 6 cm d'épaisseur (photo 3).

La standardisation et la spécialisation des équipes ont été les maîtres mots de l'organisation du chantier de ces PS : une équipe par parties d'ouvrage (semelle, piles, sommier, murs en retour, tablier, perrés). Cependant, le nombre relativement faible de ces ouvrages (cinq) et la juxtaposition très fréquente des études de conception, de réalisation et des travaux en eux-mêmes, n'ont pas favorisé l'amortissement des investissements réalisés et ont conduit à des ratios unitaires de réalisation plutôt élevés.

PS 179

Le PS 179 permet le franchissement de l'A41 par la bretelle ouest de l'A410. Les particularités de cet ouvrage résident dans ses caractéristiques géométriques : biais très fort (35 grades), pente longitudinale (5,5 %), dévers (6 %) et rayon de courbure (400 m) importants. Plusieurs solutions ont été envisagées au stade de l'APS : pont-dalle quatre ou cinq travées, double portique de type PIPO, ouvrage mixte deux travées. C'est finalement cette dernière qui a été retenue pour sa relative simplicité et son moindre coût.

Photo 5

Chevêtre pile PS 179
Pier cap, overpass 179

L'ouvrage, constitué d'un tablier bipoutre mixte acier-béton, a été allongé pour être débiaisé (70 grades). À ses extrémités, le tablier repose sur deux culées remblayées de grande hauteur, 8,50 m depuis la chaussée supérieure jusqu'à la base des semelles, avec murs en retour réalisés en écailles VSol® (photo 4).

L'unique pile, située dans le TPC, dispose d'un chevêtre massif précontraint qui présente un désaxement par rapport au fût de pile constitué d'un voile de 60 cm. Cette géométrie, ayant aussi permis de débiaiser l'ouvrage, a été optimisée en réduisant l'entraxe des appareils d'appui et en faisant porter la charpente sur une entretoise centrale conséquente (photo 5).

La charpente métallique, posée à la grue sur des appuis provisoires, fera l'objet, après la pose et le clavage des dalles préfabriquées, d'une dénivellation d'appui de 15 cm sur la pile, afin de comprimer le hourdis (photo 6).

PS 189

Il permet le franchissement de la branche Est de l'A410 par la RD1201. Au stade de l'avant-projet sommaire, il était prévu un pont-dalle biais (50 gr) à trois travées, de portée 12 m, 20 m et 12 m, fondé superficiellement et mis en place par ripage.

Des contraintes supplémentaires du type :

- rétablissement de la RD1201 en place avec une déviation du tracé, pendant la durée des travaux, entre les ouvrages existants PS 15 et giratoire sur une distance de 170 m (figure 3);
- campagne géotechnique et analyse des fondations de l'ouvrage existant à proximité ont révélé des caractéristiques de sol médiocre;
- élargissement de la brèche à franchir suite à l'insertion d'une bretelle d'entrée à l'A410 et à l'augmentation de la largeur des dispositifs de recueils des eaux – ont conduit au choix d'ouvrage réalisé :
 - > ouvrage très biais : 45,45 gr, impliquant la mise en place de butées transversales et longitudinales afin de minimiser les effets des actions sismiques,
 - > tablier précontraint monotravée de 25,5 m, 11,13 m de largeur droite, dont 9,5 m utiles, épaisseur de 1,15 m. Il repose sur des culées porteuses constituées d'un rideau de palplanches surmonté d'un chevêtre épais en béton armé. Les palplanches fondées (ancrées) dans les molasses (substratum) sont maintenues en tête par des tirants passifs (HA40). Elles sont ancrées dans une dalle de transfert reliant l'ensemble des palplanches. Ce dispositif découle d'une mauvaise surprise géotechnique au moment de la réalisation des tirants, puisque les terrains dans lesquels ils étaient censés s'ancrer se sont avérés beaucoup plus poreux et friables que prévu,
 - > les murs en retour sont également constitués de



Photo 6

PS 179, vue d'ensemble
Overpass 179,
general view



Figure 3

PS 189, vue d'ensemble
Overpass 189,
general view

Les ouvrages d'art hors viaducs



Photo 7

PS 189, vue de l'ouvrage fini

Overpass 189, view of finished structure



rideau de palplanches reliés entre eux par des tirants passifs,
 > cet ensemble mur de front, murs en retour et dalle de transfert confère à la structure de culée un comportement monolithique global (photo 7).

La réalisation de cet ouvrage, inscrite dans un délai extrêmement tendu, car conditionnant l'ouverture de la phase A de la BPV, a sans cesse été soumise à la découverte d'aléas techniques et géotechniques majeurs. Malgré cela, la mobilisation de l'ensemble des équipes a permis de limiter les retards et d'ouvrir l'ouvrage sans perturber l'échéance globale de la phase A.

Pôle PI

Les passages inférieurs le long des 19 km de l'A41 permettent le rétablissement de :

- trois boviducs : les PI 12, 111 et 115;
- une route départementale : le PI 58;
- six voies communales : les PI30, 60, 103, 143, 167, 181 et 181A.

Les passages inférieurs se subdivisent en quatre familles :

- les cadres préfabriqués : PI 12, 58, 60, 115 et 143;
- les voûtes préfabriquées : PI 30, 103, 167 et 181A;
- tablier en poutrelles enrobées sur sol renforcé VSol® : PI 181;
- buse métallique : PI 111.

Ces ouvrages initialement prévus en cadres béton coulé sur place ont été « variantés » en cadres et voûtes préfabriqués (brevet Matière), poutrelles enrobées et buse métallique pour les raisons suivantes :

- réalisation moins sensible à la météo (temps réduit d'intervention *in situ*);
- gain de temps de réalisation (préfabrication en temps masqué).

Ils sont réalisés par la justification d'un certain nombre de tronçons élémentaires (anneaux). Cette disposition leur assure un meilleur comportement au séisme.

Les cadres préfabriqués PI 12, 115 et 143 de dimensions intérieures modestes $b \times h = 4 \times 4,8$ m maxi se composent de deux « U » s'emboîtant par l'intermédiaire de rotules. Les anneaux supérieurs des ouvrages sous chaussées sont clavés transversalement pour éviter les phénomènes de pianotage et de déformations excessives de la chaussée (photo 8).

Les voûtes préfabriquées PI 30, 103, 167 et 181 sont constituées de deux piédroits avec semelles extérieures de 52 m² de section d'ouverture et d'une voûte de 30 ou 40 m² de section d'ouverture (photo 9).

Le PI 181 est constitué d'un tablier en poutrelles enrobées de portée unique biaise de 22 m, fondée en tête sur un soutènement-culée en sol renforcé (VSol®).

Le choix du type de structure (tablier et fondation) s'imposait du fait du profil en long de la future A41 et

Photo 8

Cadre type préfabriqué
 Typical prefabricated frame



Photo 9

Voûte préfabriquée type
 Typical prefabricated arch



de la présence d'un ouvrage voûte existant pré-contraint en pied. L'opération de raboutage d'une extension se révélant trop délicate pour être envisagée. Les appuis réalisés en sol renforcé évitent de surcharger l'ouvrage existant.

Le PI 111 porte la RD 27 (bretelle d'accès à l'A41) et constitue le boviduc de Follon. Il dégage un gabarit de 2,8 x 2,8 m. Il a la particularité de supporter les charges militaires PEB et MC120 (photo 10).

Le PI 60 est un optcadre de dimension intérieure 9,5 m de large et 6,55 m de haut. Il est constitué de deux « U » s'emboîtant par l'intermédiaire de rotule : le « U » supérieur entièrement préfabriqué (45 cm d'épaisseur), et le « U » inférieur avec deux piédroits préfabriqués en « L » clavés par un radier coulé en place (40 cm d'épaisseur).

En plus de la voie communale, le PI 60 supporte également le ruisseau du Montailloux (photo 11).

L'ensemble de ces ouvrages (hors PI 111 et PI 181), sous-traités à l'entreprise Matière, ont été posés à l'aide de grues de 90 à 220 t. L'ensemble des remblais techniques a été réalisé en matériau concassé 0/100 extrait de la tranchée couverte du Noiret.

Les travaux des massifs en sol renforcé du PI 181 vont nécessiter la réalisation d'une paroi clouée de 8 m de haut par 40 m de long, pour soutenir les talus de l'A410 en circulation.

Nœud de Saint-Julien

L'interconnexion de l'A41 au réseau de l'A40 existante nécessite la réalisation d'un certain nombre de passages inférieurs qui constitue le nœud de Saint-Julien (photo 12).

- les PI 10 et 10A pour le franchissement de la bretelle existante RD 1201 en direction de Genève et Annemasse par l'A41 et la bretelle Annecy – Annemasse – Mâcon;
- les PI 10B pour le franchissement de la bretelle existante RD 1201 en direction de Genève et Annemasse par la bretelle EF (Annemasse vers Annecy);
- les PI 08 pour le franchissement de l'A40 par l'A41 axe Annecy – Genève;
- le PI 08A pour le franchissement de l'A40 par la bretelle Annecy – Mâcon – Saint-Julien-en-Genevois;
- le PI 08B pour le franchissement de l'A40 par la bretelle Annemasse – Annecy (via A41).

PI 10, 10A et 10B

Compte tenu du maintien de la circulation de l'A40 et de ses bretelles, le choix du type de structure s'est porté sur des PIPO à traverse préfabriquée du type PRAD.

Le respect du gabarit au-dessus de la bretelle et le profil en long de l'A41, et ses bretelles, ont conduit au



Photo 10
Buse métallique
Steel culvert



Photo 11
PI 60 coupe type
Underpass 60,
typical section

Photo 12
Vue d'ensemble nœud de Saint-Julien
General view of Saint-Julien interchange



Les ouvrages d'art hors viaducs

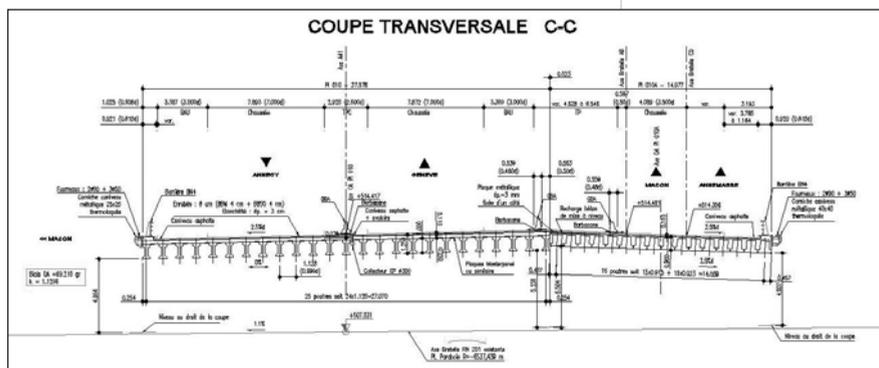


Figure 4
Profil transversal PI 10
Cross section of underpass 10

Photo 13

Pose de nuit des poutres en I
Placing I-beams by night



Photo 14

PI 10B ouvrage posé
Underpass 10B,
installed structure



choix de deux structures de traverse, à savoir (figure 4) :

- des poutres précontraintes par fil adhérent en « I » pour les PI 10 et 10B;
- des poutres dalles précontraintes par fil adhérent pour le PI 10A.

La grande particularité de ses trois ouvrages est la liaison traverse précontrainte sur les piédroits latéraux par encastrement. Des dispositions particulières de ferrailage ont été prises pour tenir compte des effets de fluage, de transfert et de redistribution des sollicitations de la traverse aux piédroits (photos 13 et 14).

La pose de ces éléments préfabriqués s'est déroulée de nuit, sous coupure totale de circulation, alors que les bétonnages des traverses ont été réalisés de jour, sous circulation, moyennant d'importantes précautions.

PI 08 - 08A - 08B

Le PI 008 et le PI 008A sont au cœur de cet échangeur où les contraintes sont particulièrement fortes : buttes, espaces restreints entre les boucles de l'échangeur circulées, proximité d'un ouvrage similaire existant, le PS 1, maintien permanent de la circulation pendant les travaux.

Au vu de cet environnement, le choix s'est porté en premier lieu, pour les PI 08 et 08A, sur des trois travées en caisson mixte, à l'identique de l'ouvrage existant,

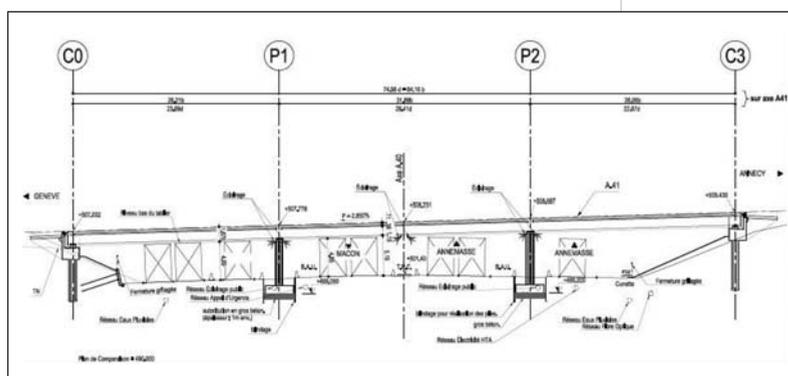


Figure 5
Coupe PI 08
Section of underpass 08

avant de s'orienter finalement sur des bipoutres mixtes poutres métalliques - dalles béton pour des raisons d'allégement et de simplification.

Les piles, réalisées dans les terre-pleins centraux, sont composées de deux fûts en vis-à-vis, de section semi-oblongue, de 1 m d'épaisseur sur semelles superficielles; chacune des quatre culées comporte un chevêtre sur pieux avec murs-caches latéraux et garde-grève (figure 5).

Le choix de méthodologie pour la mise en place des tabliers devait répondre à de nombreuses contraintes et notamment avoir le moins d'impact possible sur la circulation de l'A40. Ainsi, en concertation avec l'exploitant de l'A40, ATMB, la solution consistant à lancer les charpentes au-dessus du trafic avec les dalles béton posées dessus s'est avérée la plus pertinente, malgré le surdimensionnement induit sur les poutres métalliques. Un dossier d'exploitation sous chantier détaille l'ensemble de ces phases de lancement et les déviations temporaires de circulation associées (figure 6). Les dalles seront ensuite clavées, et l'ensemble du tablier déveriné sur piles afin de comprimer le hourdis.

Le PI 08B est un ouvrage mixte à une travée isostatique de 32 m de portée et 7 m de large, avec un dévers transversal de 7 %. Cette conception permet, entre autres, d'éviter la réalisation de piles. Elle a un impact réduit sur le trafic, car la pose de la charpente et des dalles béton se fait de nuit.

■ Des ouvrages spécifiques dans un environnement complexe...

PI 161 - La Ravoire

Le PI 161 est l'ouvrage qui permet le franchissement par l'A41, du ruisseau de la Ravoire, sur la commune de Cruseilles. Au stade de l'APSM, le franchissement de la Ravoire était constitué d'un dalot sous fort remblai. Ce traitement, s'est par la suite révélé incompatible avec les contraintes environnementales très fortes du site.

L'ouvrage, situé à la limite du périmètre du site inscrit des abords du pont de la Caille (arrêté ministériel du 12 juin 1993), doit répondre à deux préoccupations environnementales majeures :

- la préservation de l'habitat des écrevisses à pieds blancs (espèce protégée au titre de l'arrêté du 21 juillet 1983) (photo 15);
- le passage de grande faune.

La conception retenue pour cet ouvrage a donc été la suivante :

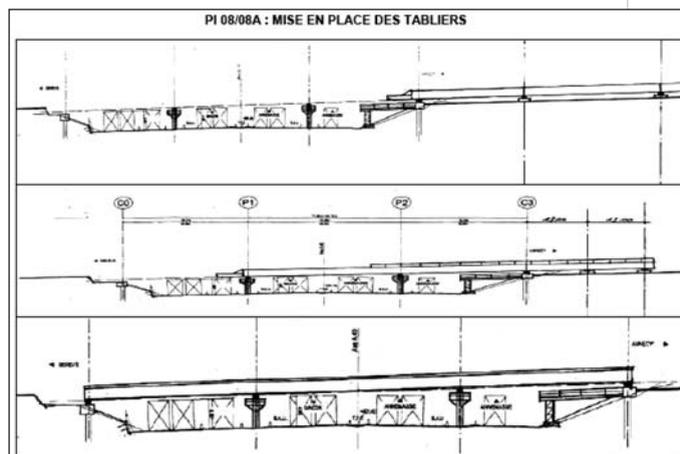


Figure 6
Cinématique de lancement du tablier PI 08
Kinematic drawing of deck launching, underpass 08



Figure 7
Coupe architecturale ouvrage de la Ravoire
Architectural section of Ravoire Bridge

- soutènements-culées de part et d'autre en limite de brèche;
- tablier sans appuis intermédiaires appuyé en tête des soutènements-culées, sur fondations superficielles (figure 7).

Ainsi défini, cet ouvrage présente des soutènements de très grande hauteur, environ 25 m, avec un tablier de portée moyenne d'environ 38 m. Les avantages tirés de cette conception sont :

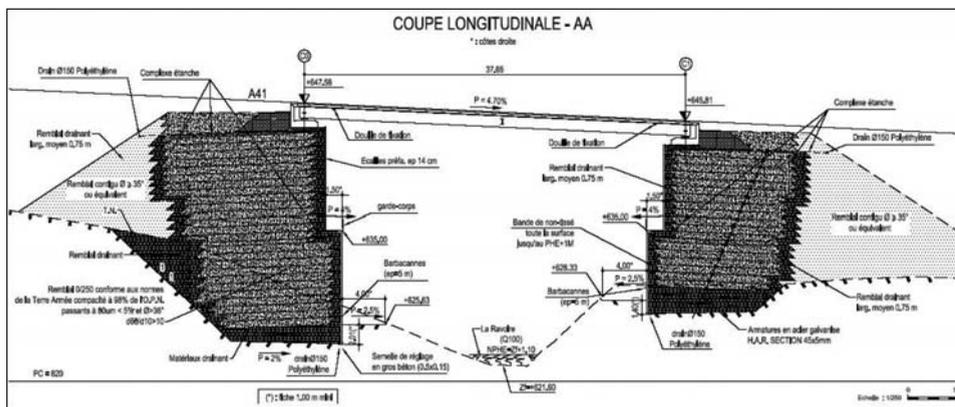
- la transparence lumineuse nécessaire à la préservation de l'environnement;
- la préservation de la bande sensible de 15 m à conserver intacte pendant les travaux, et a fortiori en définitif;
- l'évasement prononcé de la plate-forme autoroutière à l'approche de l'aire de la Caille;
- le parti pris de disposer d'une risberme intermédiaire, pour faciliter la visite et l'entretien des imposants soutènements, améliorer l'esthétique et renforcer le sentiment de sécurité;
- la simplicité d'exécution des culées béton et les solutions économiques pour la réalisation du tablier.

Concernant l'aspect structurel, les considérations technico-économiques ont conduit à retenir des soutènements en remblai renforcé réalisés en Terre Armée® et un tablier de type ossature mixte acier-béton. Chaque tablier est constitué de quatre poutres métal-



Photo 15
Écrevisse à pieds blancs
White-footed crayfish

Les ouvrages d'art hors viaducs



Figures 8 et 9

Coupe PI 161 et vue en plan des prédalles

Section of underpass 161 and plan view of precast slabs

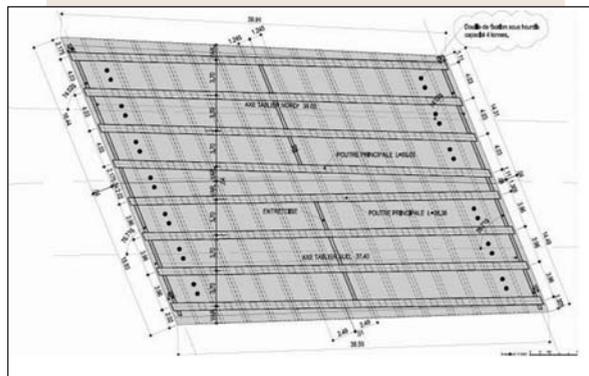


Photo 16

Vue aérienne
Aerial view



liques d'inertie variable liaisonnées par des entretoises. Des prédalles de 12 cm d'épaisseur y sont positionnées avant un clavage général (figures 8 et 9).

Les soutènements, point sensible de cet ouvrage, ont été étudiés dans le détail, en particulier :

- le fuseau granulaire des remblais spécifique : les remblais du massif armé devant être peu sujets aux tassements, les « fines » constitueront une faible proportion du tamisat, à savoir les passants à 80 µm représenteront moins de 5 % de l'ensemble ;
- les armatures protégées, en tête, par une nappe constituée d'une géomembrane d'épaisseur 1 mm associée à un géotextile anti-poinçonnant de masse surfacique 300 g/m² ;
- le massif enveloppé par une épaisseur de remblai drainant, avec un exutoire en point bas du soutènement ;

- les soutènements seront instrumentés pour suivre la déformation des parements en continu depuis la réalisation jusqu'à la mise en service, puis périodiquement en cours d'exploitation. Pour cela des témoins de durabilité seront systématiquement placés dans le remblai du massif armé.

Plus de six mois ont été nécessaires pour réaliser ces murs en Terre Armée® et de très grandes précautions ont été prises pour préserver le site des impacts du chantier, à savoir :

- déplacement des écrevisses avant travaux ;
- protection des secteurs non modifiés durant les travaux, délimités physiquement ;
- protection de l'eau contre les polluants et matières susceptibles de se mettre en suspension.

Les poutres métalliques du tablier seront assemblées deux à deux sur l'aire de montage, puis mises en place avec deux grues de 200 et 160 t positionnées sur chacune des culées. Les prédalles d'un poids unitaire de 4 t seront, elles aussi, posées à l'aide d'une grue de 200 t.

Tranchée couverte du Noiret

Le site

Par respect des engagements de l'État, afin d'atténuer les nuisances sonores provenant de l'autoroute, et limiter les atteintes au paysage, une tranchée couverte de 290 ml au droit du hameau du Noiret, commune de Cruseilles, sous la RD 1201, est prévue dans le cadre de la réalisation de l'A41.

Ce projet se situe dans le périmètre du site inscrit des abords du pont de la Caille, à l'intérieur de celui de protection rapprochée du captage de la Douai, et au cœur d'une tranchée en déblai rocheux de 1300 m et 1000000 m³ (photo 16).

Prévue initialement sur le principe d'une couverture légère constituée de poutres préfabriquées isostatiques, d'une portée de 15 m, supportant une dalle coulée en place de 15 cm d'épaisseur, reposant sur des culées perchées continues et sur un piédroit central de 10 à 13 m de haut, cette tranchée a fait l'objet d'une variante technique de la part du GIE A41.

Cette variante repose sur le principe d'une double voûte remblayée (photo 17).

L'environnement

Zone de captage de la Douai

Ce captage correspond à l'exsurgence du réseau karstique du massif calcaire de Salève et constitue l'une des ressources principales en eau potable de la Communauté de communes du Pays de Cruseilles.

Des mesures de protection particulières ont donc été adoptées, en phase travaux :

- interdiction de stockage de produits susceptibles de contaminer la source ;



Photo 17

Le Noiret. Vue générale

Le Noiret. General view

- hors périmètre, implantation des aires de stationnement et entretien des engins sur une plate-forme étanche;
- mise en place d'un plan de secours avec les gestionnaires et les services de l'État.

Les voiries interceptées dont la RD 1201

Dans la zone de la tranchée couverte, trois voiries sont interceptées par l'A41 : le RD 27, la VC 13 et la RD 1201. Cette dernière, axe majeur entre Annecy et Genève, est fréquentée par près de 20000 véhicules jour.

La présence de ces voiries, rétablies sur la tranchée couverte, a conduit mettre en œuvre la couverture de la tranchée en deux phases pour maintenir le fonctionnement de la RD (figure 10). Une première de 60 ml est réalisée avec des dispositifs de soutènements provisoires (figure 11). Elle permet de basculer la route nationale dessus, de faire sauter le bouchon et de poursuivre les 240 m de tranchée restants (photo 18).

Contexte géotechnique et sismique

La tranchée s'inscrit dans un massif calcaire quasi affleurant, relativement fracturé dans la partie haute, puis peu facturé en partie basse. Dans ce contexte, l'aléa karstique a été pris en compte par des reconnaissances complémentaires à la fin de l'excavation par minage.

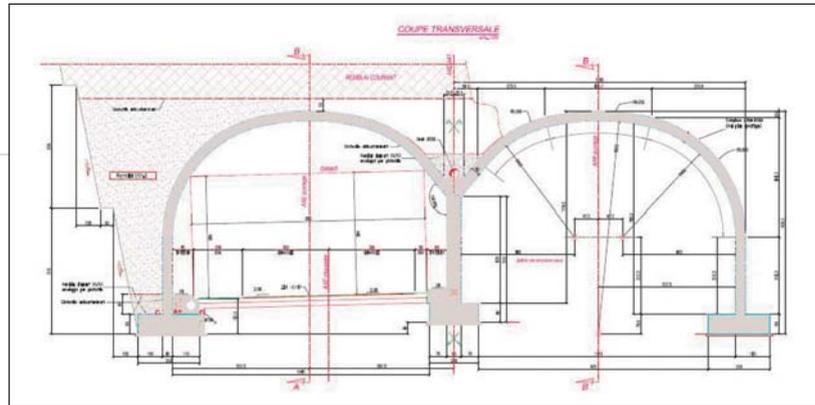


Figure 10

Coupe de la tranchée couverte
Cut-and-cover section

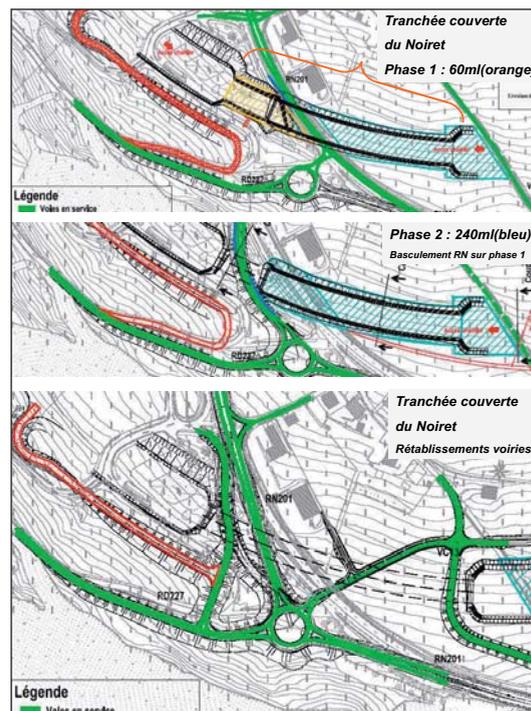


Figure 11

Phasage de la tranchée couverte et voies en service

Phasing of cut-and-cover tunnel and lanes in service



Photo 18

Interface phase 1 / phase 2
Phase 1 / phase 2 interface

Les ouvrages d'art hors viaducs

Photo 19

Phase 2 en cours de minage

Phase 2 during blasting



Photo 20

Tête nord, mur Terratrel

Northern portal, Terratrel wall



En zone de sismicité Ib, l'ouvrage classé en catégorie C, est dimensionné avec une accélération nominale $a_N = 2,0 \text{ m/s}^2$.

La technique

Tracé

Le tracé en plan présente un rayon de 650 m dans l'axe du TPC. Le profil en long est constitué d'un rayon de 14000 m avec un sommet de parabole au milieu de la tranchée.

Contraintes de sécurité et d'exploitation

Au regard des obligations réglementaires de la circulaire 2000-63, l'ouvrage, considéré comme tunnel non urbain à trafic non faible, doit disposer :

- de niche de sécurité obligatoire à l'extérieur et à chaque tête;
- d'un éclairage de la tranchée.

Il est soumis à un niveau de protection N1 vis-à-vis du feu, stabilité de 2 heures sous un feu ISO. La tranchée est équipée d'un réseau propre de lutte contre l'incendie.

Structure en béton armé

La solution retenue est constituée de deux voûtes symétriques en béton armé, couvrant chacune la largeur de chaussée correspondant à un sens de circulation. Chaque voûte s'appuie sur deux piédroits porteurs verticaux, en BA, filants sur toute la longueur de la tranchée.

Le piédroit central, commun aux deux voûtes, assure la séparation entre les deux sens de circulation.

Le béton retenu est un C35/45 avec fissuration préjudiciable.

Compte tenu du risque karstique en calcaires urgoniens, l'ouvrage est dimensionné pour pouvoir reprendre une perte d'appui sous semelle de 2,5 m de longueur.

L'épaisseur de la voûte est de 40 cm et a fait l'objet d'une modélisation spécifique.

Le modèle de calcul « 2D » sur une bande de 1 m de large prend en compte des ressorts de sol du type contact élastique sous les semelles d'appuis et le long des piédroits latéraux. La modélisation tient compte :

- du phasage particulier de remblaiement :
 - > remblaiement symétrique des piédroits latéraux 50 cm au-dessus des clefs de voûte,
 - > remblaiement de la zone centrale,
 - > remblaiement dissymétrique (1,0 m maximum) au-dessus du remblai technique voûte après voûte (phases remblais);
- des engins de terrassements utilisés et de leur énergie de compactage;
- de l'action du séisme en considérant l'incrément de poussée dynamique, l'effet inertiel de la structure béton et des remblais de couverture (calcul élastique linéaire);
- de l'affaiblissement des caractéristiques des matériaux pour le calcul au feu et de la formation de rotule plastique dans les sections les plus sollicitées.

Des joints de dilatation sont prévus tous les 30,75 m. L'étanchéité est de type géomembrane PVC en extra-dos.

Un traitement architectural est réalisé en têtes de tranchée couverte par des habillages préfabriqués et un mur en Terratrel (photos 19 et 20).

Le remblai technique est phasé (figure 12) et réalisé par des engins spécifiques compte tenu de la sensibilité de la structure.

Le remblai technique est phasé (figure 12) et réalisé par des engins spécifiques compte tenu de la sensibilité de la structure.

Méthodes travaux

Les semelles sont réalisées par plot de 30,75 m et le piédroit central par plot de 10,25 m.

Les piédroits latéraux et voûtes sont réalisés en une phase sur 3 jours par plot de 10,25 m, à l'aide d'un outil coffrant spécifiquement étudié et conçu pour cette tranchée.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Tranchée couverte du Noiret

- Stips / Serfotex : minage
- Budillon-Rabatel : concassage

■ Conclusion

En résumé, le GIE Constructeurs A41 a réalisé beaucoup d'ouvrages de natures très différentes, et cette variété, véritable challenge technique montre bien les bons compromis de standardisation.

Chaque étude d'exécution, chaque méthode, chaque ouvrage furent finalement spécifiques, et notamment du fait des contraintes environnementales fortes du projet. ■

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

PS courants (PS 17, PS 19, PS 22, PS 41, PS 109)

- Surface tablier : 2200 m², soit 450 m² en moyenne par PS
- Béton : 3250 m³, soit 650 m³ en moyenne par PS
- Acier passif : 285 t, soit 57 t en moyenne par PS
- Précontrainte : 54 t, soit 11 t en moyenne par PS
- Nombre d'heures pour la réalisation : 26600 heures

PS 179

- Poids de la charpente : 90 t
- Ratio ferrailage dalles : 340 kg/m³
- Béton : 1300 m³
- Aciers passifs : 180 t

PS 189

- Palplanches : 200 t
- Tirants : 2 x 24 tirants de 30 m de long en HA40
- Béton : 1250 m³, dont dalles de transfert 700 m³
- Précontrainte : 11 t
- Aciers passifs : 90 t, dont 5 t de tirants passifs et 25 t de ferrailage dalles de transfert

PI : 102 - 58 - 60 - 115 - 143 - 130 - 103 - 167 - 181A - 181 - 111

- Remblais techniques : 70000 m³
- Longueur cumulée des PI : 500 m environ
- Temps de pose moyen d'un ouvrage préfabriqué (hors remblais) : 6 semaines

PI 10, 10A et 10B

- Nombre de poutres I préfabriquées : 32
- Nombre de poutres dalles préfabriquées : 16
- Béton (hors préparation) : 3000 m³
- Acier (hors préparation) : 350 t

PI 08 - 08A - 08B

- Poids charpente : 365 t
- Béton : 5000 m³
- Aciers passifs : 280 t

PI 161 - La Ravoire

- Surface de parement : 4000 m²
- Volume de remblais : 80000 m³
- Poids de la charpente : 190 t
- Ratio ferrailage/dalle tablier : 325 kg/m³

Tranchée couverte du Noiret

- Déblais meubles excavés : 35000 m³
- Déblais rocheux excavés : 105000 m³
- Béton B35 : 7500 m³
- Aciers passifs : 1100 t
- Remblai technique : 22500 m³
- Remblai courant : 65000 m³

ABSTRACT Engineering structures (excluding viaducts)

E. Størksen, A. Legeay, N. Caris,
S. Grange

The A41 includes 26 structures called currents, a 290 metres trench covered and a structure crossing Nant de La Ravoire.

All of these structures have been strongly linked to specific environmental route of the A41 and most of the known structures have been used for this type of work.

The very short time to achieve them has been made possible through the establishment of specific resources, including concurrent engineering, and the mobilization of partners and subcontractors to the challenges of this project.

RESUMEN ESPAÑOL Las obras de fábrica (viaductos no incluidos)

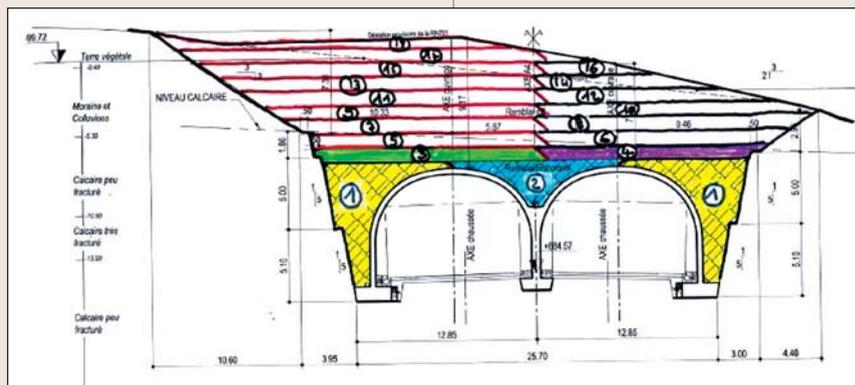
E. Størksen, A. Legeay, N. Caris
y S. Grange

La autopista A41 incluye 26 obras de fábrica ordinarias, un falso túnel de 290 metros y la estructura de franqueo del río Nant de la Ravoire.

Todas estas estructuras presentan importantes especificidades vinculadas con el entorno del trazado de la autopista A41 y la mayor parte de las estructuras conocidas fueron utilizadas para este tipo de obra.

El plazo sumamente corto para su ejecución ha sido posible mediante la implantación de medios específicos, entre los cuales la ingeniería concurrente, y por la fuerte implicación de los socios y subcontratistas de cara a los retos de este proyecto.

Figure 12
Phase remblai tranchée couverte
Cut-and-cover backfill phase



Géotechnique,

Les terrassements de l'A41 se situent dans un contexte géologique molassique, morainique et calcaire en environnement montagneux. Les terrains présentent une grande variété : matériaux fins nécessitant des traitements chaux et/ou liant et matériaux rocheux plus ou moins résistants extraits par minage. Aussi, les ouvrages de grande hauteur sur forte pente imposent des dispositifs confortatifs conséquents (drainage, redans, bèches, encagements). Les plates-formes supports de chaussées de niveau PF3 sont obtenues par traitement ou en calcaire concassé du site. Enfin, la chaussée est de type évolutive et tout bitume, avec à l'ouverture une structure de 20 cm. Les coupures que constituent les différents ouvrages (OAC, viaducs, tranchée couverte, tunnel) nécessitent des moyens et un phasage particulier pour les terrassements, les raccordements des chaussées et les équipements.

■ Géotechnique et matériaux

Présentation géologique et géotechnique

Cadre général

Le cadre général recoupé par le projet peut se subdiviser en deux entités :

- un substratum sédimentaire constitué de formations

molassiques tertiaires (Aquitaniens) recouvrant en discordance un large anticlinal de calcaires secondaires (Barrémien et Aptien) formant l'ossature du massif du Salève, entre Villy-le-Pelloux et le Mont-Sion;

- une couverture de terrains quaternaires correspondant à des dépôts glaciaires et périglaciaires successifs.
- Sur le plan morphologique, la topographie est assez accusée dans la partie sud, marquant la présence du substratum, plus douce en partie nord, traduisant l'approfondissement de ce dernier.

Les terrains rencontrés (description Nord - Sud)

Les sols rencontrés lors des terrassements du PK 0 (échangeur A40) à PK 6,7 (tête nord du tunnel du Mont-Sion) correspondent presque exclusivement à des dépôts quaternaires glaciaires et périglaciaires (moraines). On distingue trois faciès géotechniques :

- les limons de couverture (classe GTR A1 à A2);
- les graves limono-argileuses (classe GTR C1A1 à C1B5), D_{max} 200 mm;
- des argiles limoneuses (classe GTR A1 à A2).

L'ensemble de ces dépôts du fait de leur origine, présente de fréquentes variations de faciès tant latéralement que verticalement. Cette particularité a nécessité la mise en place d'une stratégie particulière de réutilisation et de valorisation des matériaux pour constituer les ouvrages de terrassement (figure 1).

Du PK 9,8 (tête sud du tunnel du Mont-Sion) au PK 14,4 (origine du déblai calcaire du Noiret), les terrains concernés par les terrassements sont constitués par le

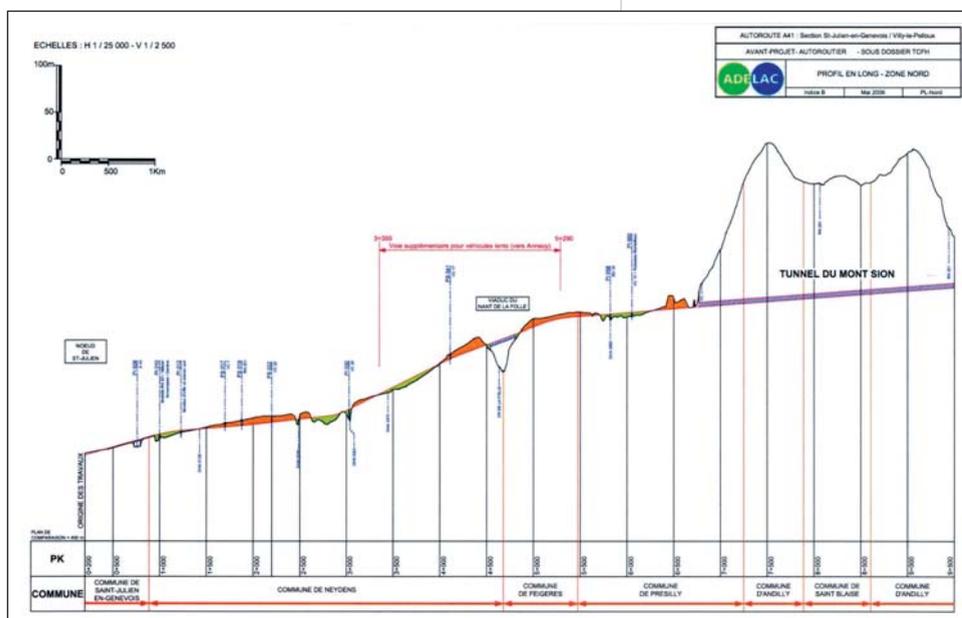


Figure 1
Premier profil en long
- Zone nord
First longitudinal
profile - North zone

matériaux et chaussées



Emmanuel Lavallée
Contrôle externe
géotechnique
DTP Terrassement



Patrice Bonel
Responsable chaussées
extrudées
et signalisations
verticales - horizontales
Screg

substratum molassique tertiaire, surmontés de dépôts glaciaires quaternaires (ce sont les mêmes faciès qu'au nord du tunnel) et localement de dépôts palustres –, ces dépôts de couverture étant toutefois peu représentés.

La molasse tertiaire présente trois faciès principalement recoupés en :

- un faciès gréseux (classe GTR R42 à R43, évoluant pour les formations les plus tendres en C1B3);
- un faciès sableux constitué de sables fins résultant de l'altération ou d'une mauvaise cimentation du faciès précédent (classe GTR B1 à B5);
- un faciès marneux (classe GTR R32 à R34 dérivant en un sol CIA1 à A1 à CIA2 à A2 après extraction). Certaines de ces marnes sont constituées d'argiles gonflantes.

Ces trois faciès se rencontrent le plus souvent en séquences stratigraphiques intercalées. Ce qui a conduit, pour un même déblai, à des modes d'extractions différents (extraction en meuble, en ripage et en minage) associés à des tris de matériaux en fonction des réutilisations (figure 2).

Du PK 14,4 au PK 16, 0, le projet recoupe les assises crétacées du massif du Salève (déblai du Noiret). Il s'agit de calcaires massifs de classe GTR R21, à stratification horizontale, le plus souvent peu fracturés, mais pouvant être affectés de conduits karstiques de faibles amplitudes. Ce gisement constitue la ressource en matériaux nobles des dispositifs terrassements du projet (potentiel de 1 million de mètres cubes).

Au-delà du PK 16,0 (vallon des Usses), le projet traverse deux déblais constitués d'une molasse gréseuse à

intercalation marneuse, surmontés d'un recouvrement morainique limono-graveleux peu épais.

Au droit de la zone de raccordement de l'A41 existante (zone de Villy-le-Pelloux) on rencontre des dépôts palustres (argiles organiques vasardes) de caractéristiques géotechniques médiocres, ayant nécessité des substitutions importantes en matériaux granulaires.

Éléments hydrogéologiques

Sur la sous-section nord, le contexte hydrogéologique se caractérise par des circulations d'eau préférentielles (nappes perchées) dans les formations morainiques.

Sur la sous-section sud, on retrouve des circulations préférentielles au sein des dépôts de couverture (moraines et colluvions) dont certaines sont à l'origine de glissement de terrains anciens. Les venues d'eaux les plus importantes se situent au contact de la molasse. Ces caractéristiques hydrogéologiques ont nécessité la mise en place de nombreux dispositifs confortatifs et de drainage.

Les contraintes géotechniques

Pour les ouvrages de grande hauteur on dénombre :

- cinq remblais dont la hauteur varie de 10 à 28 m;
- six déblais dont la hauteur varie de 10 à 30 m.

Aléas sismiques

Le tracé se situe au sein d'une région active sur le plan sismotectonique. Cette activité se traduit réglementairement par un classement du secteur concerné en zone de sismicité Ib.

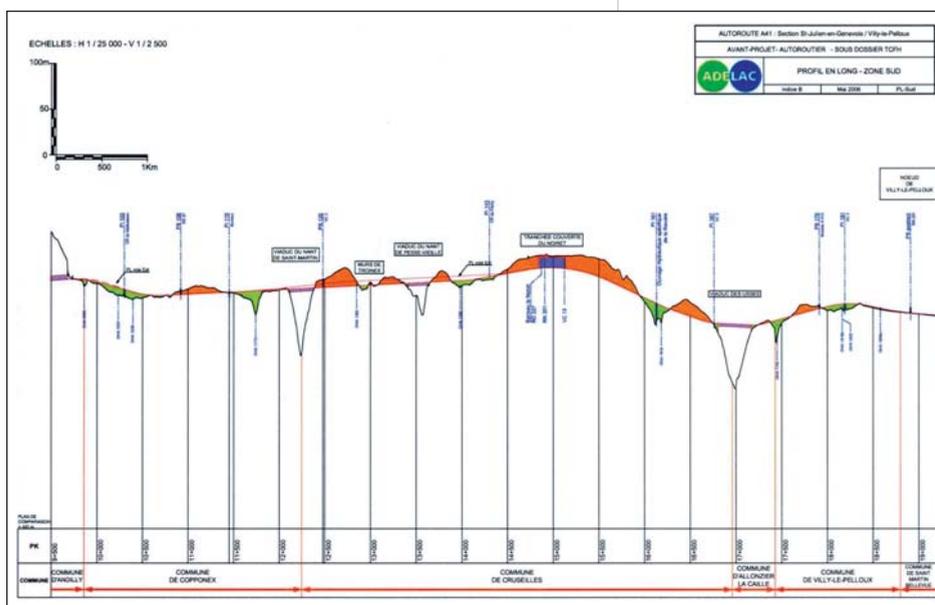


Figure 2
Second profil en long -
Zone sud
Second longitudinal
profile - South zone

Géotechnique, matériaux et chaussées

Photo 1

Versant au sud
du viaduc
de Pesse-Vieille
Slope south
of the Pesse-Vieille
viaduct



Photo 2

Déblai calcaire du Noiret
Noiret calcareous earth cut



Figure 3

Profil en travers type
des grands remblais
Typical cross section of large
embankments

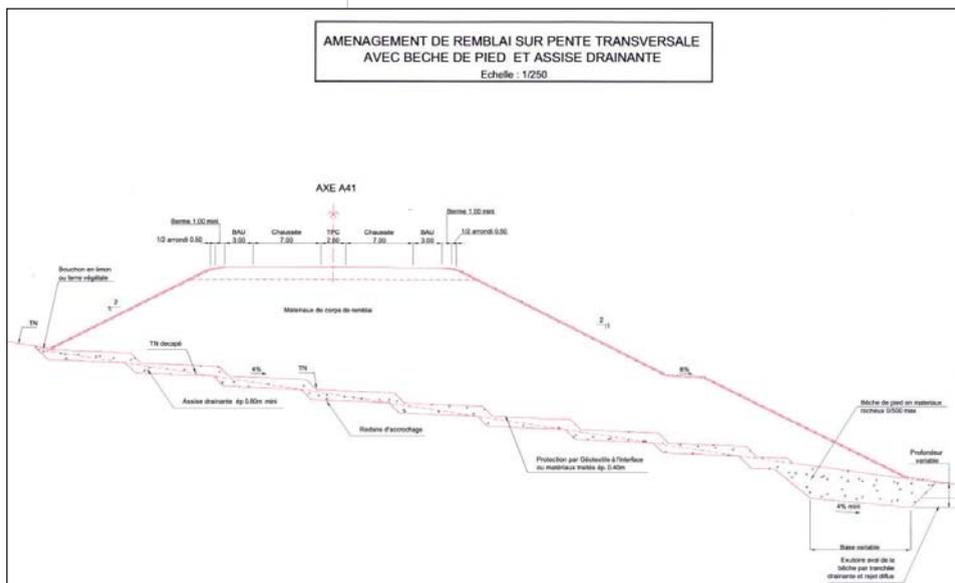


Photo 3

Tapis drainant sur redans (Mouvis)
Drainage blanket on stepping (Mouvis)



Stabilité des pentes de talus

La présence de versants à fortes pentes (10 à 30 %) recouverts de dépôts morainiques ou colluvionnaires associés à des circulations d'eau est un facteur de déclenchement de mouvements de versant. Le projet étant, en effet, en grande partie situé en flanc de montagne (photo 1).

Une pente de talus généralisée à 2H/1V (26°) a été retenue, avec toutefois des adaptations à 3H/1V (18°) pour certains déblais de grande hauteur situés en versant sensible, associés à des dispositifs confortatifs. Le déblai calcaire du Noiret a pour lui une pente de talus de 1H/3V (72°) obtenue au minage et associée à un piège à cailloux de 10 m de largeur (photo 2).

Des dispositifs confortatifs généralisés

D'une façon générale, à l'exception du déblai calcaire du Noiret, tous les ouvrages de terrassement ont nécessité la mise en place de dispositions particulières ou de dispositifs confortatifs.

Pour les ouvrages en remblai les principales dispositions mises en œuvre sont :

- pente maximale des talus de 26° (2H/1V) localement ajustée à 18° (3H/1V) avec mise en place d'une banquette pour les ouvrages supérieurs à 10 m et d'une double banquette pour un des ouvrages de 28 m;
- réalisation d'importants redans d'accrochage sur les versants;
- mise en place de tapis drainant sur les redans en assise de remblai ainsi que sur les flancs de coteaux (épaisseur de 0,60 à 1 m de matériaux granulaires) (figure 3 et photo 3);
- réalisation de tranchées drainantes (épaisseur : 1 à 4 m) pour le rabattement des niveaux de nappe ou pour la collecte de points d'arrivée d'eau de type source;



Photo 4

Stabilisation des talus de déblais par éperons drainants

Stabilisation of earth cut embankments by trench drains

- mise en place de bêches en pied aval des remblais afin de vérifier la stabilité au glissement (épaisseur 2 à 5 m, largeur 4 à 10 m).

Pour les ouvrages en déblai :

- pente maximale des talus de 26° (2H/1V) localement ajustée à 18° (3H/1V) avec mise en place d'une risberme pour les ouvrages les plus sensibles ;
- réalisation de masques et éperons drainants pour assurer la stabilité générale et épidermique des talus (photo 4) ;
- réalisation systématique de masques sur les talus intermédiaires dans la configuration des terrassements en chaussées décalées (figure 4 et photo 5).



Photo 5

Masque en chaussées décalées
Facing membrane on staggered roadways

Les ouvrages situés en zones sensibles ont nécessité la mise en place d'équipements de surveillance, par instrumentations de type inclinométrique, piézométrique, tassométrique, contrôle des pressions interstitielles, repères topographiques.

Pour certains de ces ouvrages, les instrumentations seront pérennisées en phase exploitation.

Qualité, réemploi et extraction des matériaux

Hormis les calcaires massifs de la butte du Noiret, tous les matériaux sont sensibles à l'eau à l'état naturel. Cette particularité a impliqué :

- une organisation de chantier afin d'exécuter autant que possible les travaux en bonnes conditions climatiques ;
- le recours au traitement de sol (traitement à la chaux, dosages de 1 à 2 %) afin d'augmenter le taux de réemploi et permettre la mise en œuvre de maté-

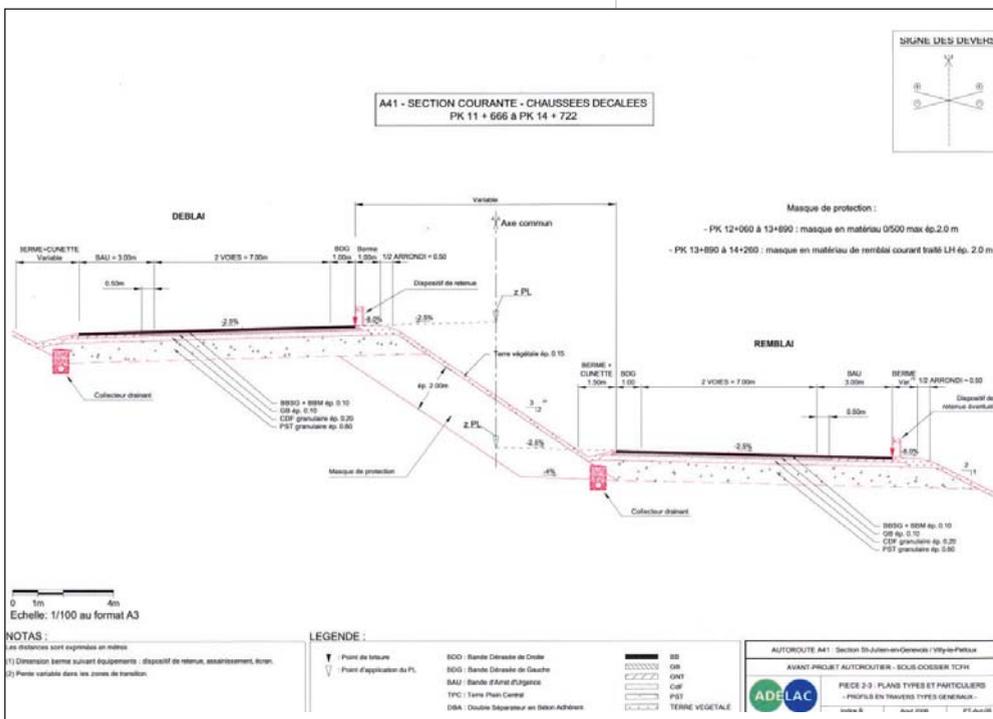


Figure 4

Profil en travers type en chaussées décalées

Typical cross section of staggered roadways



Photo 6
Bull D8 et charrue
au traitement
Bull D8 and plough
during surfacing

riaux fins en base des remblais de grande hauteur en lieu et place de matériaux rocheux plus habituellement utilisés pour ces niveaux d'ouvrage (photo 6);

- une stabilisation des arases par traitement afin d'assurer la traficabilité et le dimensionnement de la plateforme.

Par ailleurs, les formations marneuses de la molasse ont fait l'objet d'un traitement et d'une distribution spécifique permettant d'optimiser leur réutilisation et la neutralisation des argiles gonflantes en présence.

Ces marnes sur la base d'une étude de traitement et de sensibilité au gonflement ont fait l'objet d'un traitement systématique à la chaux (dosage de 1 à 1,5 %) et d'un mode de mise en œuvre par principe d'encagement, uniquement dans les parties hautes des remblais (zone des 10 mètres supérieurs) (figure 5).

Dans les zones excédentaires en terrassement, ces matériaux ont été prioritairement déposés en ZME.

En ce qui concerne les matériaux gréseux fragmentables, un principe de fragmentation accru a été mis en place entre l'extraction (ripage ou minage) et le compactage (chenillage, arrosage et compactage intense), afin de neutraliser le caractère évolutif de ces matériaux en remblai. Ces matériaux ont subi un traitement au liant dans les ouvrages les plus hauts pour assurer une résistance à l'érosion des talus.

Les calcaires du déblai du Noiret ont été valorisés dans les dispositifs confortatifs, les PST et CDF.

L'extraction des matériaux

Les matériaux d'origine glaciaire (moraines) sont extraits à la pelle de forte puissance ou à la décapeuse avec ripage préalable dans les niveaux de moraines très compactes.

Dans la molasse marneuse altérée, l'extraction se fait à la pelle de forte puissance. Pour la molasse gréseuse, le mode d'extraction à l'explosif a généralement été retenu (300 000 m³ à miner).

Dans la butte calcaire du Noiret, l'extraction a été réalisée à l'explosif (1 000 000 m³ minés) (photo 7).

Minage et concassage des matériaux nobles du Noiret

Le déblai de calcaire massif (classe GTR R21) du Noiret (1 million de m³) constitue l'ensemble des besoins en matériaux nobles (185 000 m³ de brut de minage 0/500 et 815 000 m³ de matériaux concassés) des terrassements, à savoir :

- dispositifs confortatifs;
- blocs techniques OA;
- blocs techniques OH;
- PST zone sud;
- CDF zone sud et tunnel;
- assises de chaussées en BAU, enrochements et divers.

Le minage et la gestion des contraintes

(photo 8)

Le déblai miné a présenté plusieurs contraintes :

- déblai situé au centre d'un hameau dont les habitations les plus proches sont situées à 30 m des entrées en terre du tracé;
- déblai traversant la zone de périmètre de protection rapprochée du captage de la source de la Douai située en contrebas;
- présence de riverains en activité commerciale;
- déblai traversé par la RD 1201 (20 000 véhicules/j).
- réalisation en simultané de la tranchée couverte du Noiret.

Ces différentes contraintes ont requis les actions ou adaptations suivantes :

- réalisation de tirs d'essais préalables pour valider la

Figure 5
Principe d'encagement
des marnes
Marl caging technique

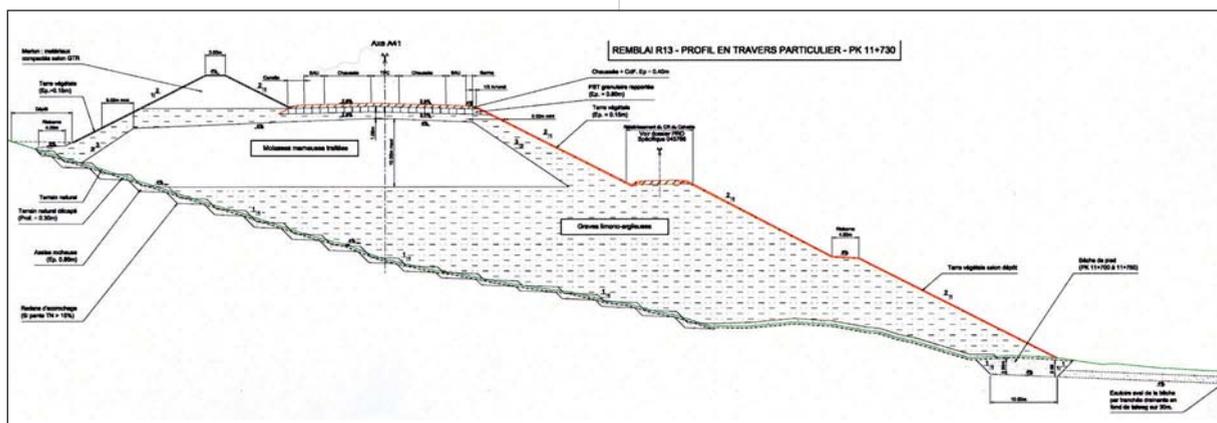




Photo 7

Minage au Noiret

Blasting at Noiret

- nature des explosifs et caractériser « les signatures sismiques » des charges explosives élémentaires;
- réunions d'information auprès des riverains;
- exécution d'un référentiel préventif de toutes les habitations situées dans un rayon de 200 m du déblai;
- interdiction d'utiliser un explosif en vrac au profit d'explosifs encartouchés (émulsions et dynamites) pour se préserver des risques d'infiltration des substances explosives vers la zone de captage, et en adéquation avec le risque karstique;
- coups de la route nationale fortement fréquentée pour les tirs situés dans un rayon de 200 m;
- définition des seuils de vibrations admissibles sur les différents types d'ouvrages environnants (habitations, monuments historiques, ouvrages en construction : tranchée couverte, murs en sol renforcé, viaducs);
- mise en place de six capteurs de mesures de vibrations, lors de chaque tir, au droit des habitations ou ouvrages les plus proches;
- couverture de certains tirs pour éviter d'éventuelles projections.

Les techniques de tir

Les principales caractéristiques de tir sont les suivantes :

- minage de masse : tirs de 1500 à 4000 m³/j :
 - > charge de pied en dynamite,
 - > charge de colonne en émulsion encartouchée,
 - > détonateurs non électriques,
 - > fronts de 3 à 6 m,
 - > tirs étagés jusqu'à 6 - 8 m,
 - > bourrage de 2,5 à 3,5 m,
 - > protection des tirs par géotextile haute performance;
- découpage :
 - > découpage des talus de la tranchée ouverte par minage amorti,
 - > découpage des parements de la zone de tranchée couverte par cordeaux détonants;



Photo 8

Vue aérienne, sensibilité des riverains au minage

Aerial view, sensitivity of frontage residents to blasting

- minage spécifique : tirs de 6000 à 10000 m³/j :
 - > minage avec détonation électronique pour optimiser les volumes de tirs, la maîtrise des vibrations et les projections en situations sensibles (proximité d'habitations, de la route nationale et de la tranchée couverte en construction).

Le concassage (photo 9)

Un total de 815000 m³ de matériaux est concassé avec les moyens suivants :

- deux concasseurs mobiles type Locotrack à percussion équipés de crible et scalpeuse;
- une unité semi-fixe : concasseurs primaires à percussion et secondaires à giratoire avec cribles et scalpeur.

Les matériaux produits :

- dispositifs confortatifs :
 - > 200000 m³ de 0/500 brut de minage,
 - > 80000 m³ de 0/150 concassés,
 - > 25000 m³ de 50/150 concassés;
- blocs techniques OA :
 - > 100000 m³ de 0/100 concassés,
 - > 25000 m³ de 0/31,5 concassés;
- blocs techniques OH :
 - > 25000 m³ 0/31,5 concassés;
- PST zone sud :
 - > 260000 m³ de 0/150 concassés;
- CDF zone sud et tunnel
 - > 140000 m³ de 0/31,5 concassés;
- divers :
 - > 160000 m³ de 0/31,5 à 0/150 concassés.

Les plates-formes support de chaussées

Sous-section nord

Les dépôts morainiques (classe GTR C1A1 à C1B5) majoritairement représentés, ont été valorisés par trai-



Photo 9

Installation de concassage

Crushing plant

Géotechnique, matériaux et chaussées

Photo 10

Traitement PST et CDF
Formation level and capping
layer surfacing



Photo 11

Mise en œuvre de la PST
granulaire
Application of granular
formation level

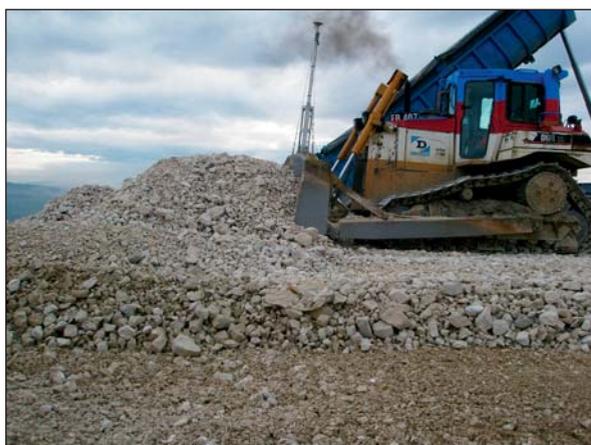


Photo 12

Réalisation du giratoire
de Villy-le-Pelloux
Execution of Villy-le-Pelloux
roundabout



Photo 13

Application grave bitume
entonnement BPV
Villy-le-Pelloux
Application of bitumen treated
base material, Villy-le-Pelloux
toll plaza exit



tement pour constituer les PST et couche de forme. La classe de plate-forme PF3 a été retenue, avec un couple PST-CDF de type AR2 + 0,35 m de CDF traitée de classe mécanique 5.

Le dosage et les épaisseurs de traitement ont été définis sur la base du manuel de conception des chaussées de Scetauroute et au gel, avec la prise en compte d'un indice de gel de référence de 245 °C x j pour l'hiver rigoureux exceptionnel.

La PST est constituée de moraines traitées à 1 % CaO + 3 à 3,5 % liant routier à base laitier afin de vérifier une quantité de gel admissible : $Q_g = 4$ (matériaux peu gélifs).

La couche de forme est réalisée avec deux gisements de matériaux : un gisement (40000 m³) de moraine de classe GTR C1A1 et un gisement (20000 m³) de moraine de classe GTR C1B5. Compte tenu de la nature graveleuse de ces matériaux (D_{max} 200 mm), les gisements ont fait l'objet d'une mise en stock préalable avec prétraitement à la chaux et criblage (élimination de la fraction supérieure à 50 mm) lors de la reprise.

Le dosage retenu pour le traitement de la CDF est de 1 % CaO + 5 à 5,5 % liant routier à base laitier afin de vérifier une classe mécanique 5 dans le cadre d'un traitement en place (photo 10).

Sous-section sud

Sur la section sud, la présence de matériaux rocheux calcaires R21 du gisement du Noiret a conduit à un dimensionnement des PST et CDF en matériaux granulaires élaborés par concassage sur site.

Le niveau de plate-forme retenu : PF3 et les contraintes de gel sont identiques à la sous-section nord. Le dimensionnement est de type AR3 (matériaux 0/150 sur 0,80 m d'épaisseur) + couche de réglage ayant pour rôle de couche de forme (matériaux 0/31,5 sur 0,20 m d'épaisseur) (photo 11).

■ **Les chaussées**

Organisation

La mise en synergie de l'ensemble des filiales du groupe Colas intégrées au sein du GIE Constructeurs A41, permet la réalisation d'une prestation complète : dimensionnement, réalisation des enrobés, des assainissements de surface, équipements de sécurité, signalisations horizontale et verticale.

Conception

Suivant les prévisions de trafic à long terme, le principe de dimensionnement retenu est une solution de chaussée évolutive (20 cm à l'ouverture, 35 cm en

2060, au terme du scénario d'entretien et de rechargement).

Le corps de chaussée sur la plate-forme PF 3 est constitué par :

- une couche de base : 10 cm GB 0/14 classe 4;
- une couche de liaison : 6 cm de BBSG 0/10 classe 3;
- une couche de roulement :
 - > en section courante : 4 cm de BBM 0/10 Rugocompact® (produit Sacer spécialement étudié pour les climats rigoureux présentant de bonnes caractéristiques en rugosité, compacité, longévité à 12 ans, possédant une bonne résistance à l'orniérage et à la fissuration),
 - > aux barrières de péage : 5 cm de BBSG 0/10 Screg Apprin® (produit à base de bitume modifié présentant une forte résistance à l'orniérage),
 - > dans le tunnel : 2,5 cm de BBTM 0/10 Colclair® (produit Colas à base de bitume de synthèse clair et de granulats blancs pour assurer un revêtement possédant de bonnes caractéristiques de luminance et de spécularité) permettant d'assurer le niveau de luminosité requis dans cet ouvrage.

Le TPC est minéralisé, les BAU (10 cm de GNT 0/31,5) sont recouvertes du BBL et du BBM.

Les granulats proviennent essentiellement des carrières d'Izeaux (pour la GB et le BBL) et de La Patte (pour les couches de roulement).

Spécificité du chantier chaussées

Le chantier se décompose en trois grands axes de réalisation avec des contraintes spécifiques pour chacun :

- section courante en 2008 : chaussées décalées, un tunnel, une tranchée ouverte et quatre viaducs avec un délai restreint;
- travaux sur la RD1201 en 2006 et 2007 (axe des frontaliers entre Annecy et Genève avec une circulation de 20000 véhicules/j/sens) imposant des restrictions dans l'organisation des travaux sous circulation, l'élaboration de phasages complexes pour maintenir en permanence les deux sens de circulation, minimiser la gêne aux usagers ce qui a nécessité d'importants dispositifs constructifs et de sécurité. À savoir : un

CHIFFRES CLÉS

- Assainissements extrudés coffrage glissant : 30000 ml
- Assainissements préfabriqués : 8000 ml
- GBA/DBA : 22000 ml
- Glissières métalliques : 20000 ml
- Balisage lourd provisoire : 6000 ml
- Signalisation verticale : environ 2500 m² de panneaux
- Marquage au sol : 130000 ml
- 305000 t d'enrobés



Photo 14

Application couche de liaison entonnement BPV Villy-le-Pelloux

Application of binder course, Villy-le-Pelloux toll plaza exit



Photo 15

Application Rugocompact® barrière de Villy-le-Pelloux

Application of Rugocompact®, Villy-le-Pelloux barrier

carrefour tourne à gauche à feux provisoire, trois giratoires provisoires, trois giratoires définitifs, trois déviations provisoires, trois rétablissements définitifs sur 19 km (photo 12);

- le raccordement à deux autoroutes sous circulation :
 - > nœud A40 à Saint-Julien-en-Genevois imposant de nombreux mouvements de balisage lourd et de signalisation pour le phasage des travaux d'ouvrages d'art,
 - > barrière de péage A41 de Villy-le-Pelloux qui se décompose en trois grandes phases dont deux en 2007 (représentant 50000 t d'enrobés) avec des mises en circulation provisoires (photos 13, 14 et 15).

Les chiffres clés sont reportés en encadré.

Les moyens utilisés

Pour la réalisation des chantiers de rétablissement et les deux premières phases de Villy-le-Pelloux (en 2006 et 2007)

Mobilisation de deux postes fixes (un TSM 25 de 350 t/h et un TSM 15 de 150 t/h) avec les moyens de trois agences locales routières (jusqu'à quatre équipes « finishers » en activité de pointe), une machine coffrage glissant avec les moyens d'une agence locale de signalisation.

Géotechnique, matériaux et chaussées



Photo 16

Réalisation caniveau Ø 50 x 50 en section courante

Construction of 50 x 50 mm drainage channel on continuous section

Pour la section courante (en 2008)

Assainissements de surface

Pour réaliser les 30 km d'assainissement en quatre mois (mars à juin), deux centrales à bétons sont mobilisées ainsi que trois machines à coffrages glissants, trois pelles à pneus et deux équipes de maçonnerie pour les raccordements et la pose des éléments préfabriqués (photo 16).

Enrobés

Pour tenir le délai de trois mois (juillet à septembre) de réalisation du barreau autoroutier, le chantier a été divisé en deux zones de 110 000 t (nord et sud) à réaliser en parallèle, comportant chacune :

- une plate-forme chaussée avec un poste mobile (un Astec 400 au nord et un TSM 25 Major au sud);
- un finisseur grande largeur Titan 525 (équipé d'une table HPC), un finisseur pour les BAU (Titan 423), un alimentateur Franex 392, quatre cylindres vibrants type CC 722;
- une trentaine de semi-remorques (avec des bennes poussées au niveau du tunnel et de la tranchée couverte);
- une bouille grande capacité et un gravillonneur;
- un atelier de BAU (un élargisseur, une niveleuse, un CC 422 et un P3);
- un atelier de finition assainissement et terre végétale.

Compte tenu de la complexité du chantier et du passage, la cadence moyenne d'application retenue est de 2000 tonnes/jour.

Signalisation

De septembre à novembre 2008, deux centrales à bétons seront mobilisées pour les GBA-DBA, deux machines à coffrage glissant, deux sonnettes pour la mise en œuvre des glissières métalliques, deux équipes de pose de panneaux ainsi qu'un camion applicateur de peinture grand rendement. ■

ABSTRACT

Geotechnics, materials and pavements

E. Lavallée, P. Bonel

The earthworks for the A41 are located in a molassic, morainic and calcareous geological context in a mountainous environment. There is a great variety of ground : fine materials requiring lime and/or binder treatments and more or less resistant rocky materials extracted by blasting.

Accordingly, the very high engineering structures on steep slopes require substantial consolidation systems (drainage, stepping, cutoff walls, caging).

The level PF3 formation levels are obtained by treatment or with crushed limestone from the site.

Finally, the pavement is of the variable-configuration fully asphalted type, with a 20 cm structure at the opening. The cuts represented by the various structures (standard structures, viaducts, cut-and-covers, tunnels) require special facilities and phasing for earthworks, roadway connections and equipment.

RESUMEN ESPAÑOL

Geotécnica, materiales y pavimentos

E. Lavallée y P. Bonel

Los movimientos de tierra de la autopista A41 se han ejecutado en un contexto geológico molásico, morainico y cálcico en un entorno de montaña. Los terrenos presentan una gran variedad : materiales finos que precisan tratamientos con cal y/o ligante y materiales rocosos más o menos resistentes extraídos mediante trabajos con explosivos.

De este modo, las estructuras a gran altura en pendientes pronunciados presuponen dispositivos de consolidación consecuentes (dragado, redientes, zarpas de anclaje, enjaulados).

Las plataformas soportes de pavimentos de nivel PF3 se obtienen mediante tratamiento o en caliza machacada del propio emplazamiento.

Finalmente, el pavimento es de tipo evolutivo y totalmente bituminoso, en la apertura una estructura de 20 cm. Los cortes que constituyen las distintas estructuras (OAC, viaductos, falso túnel, túnel) precisan diversos medios y una planificación particular para los movimientos de tierra, las conexiones de los pavimentos y los equipamientos.

Les équipements définitifs (hors péage)



David Coulet
Coordonateur Études/
Travaux - Responsable
équipements
GIE A41 Nord
Bouygues TP



Alexandre Raynaud
Ingénieur équipements
définitifs GIE A41 Nord
Setec ITS

L'autoroute A41 Nord, en reliant Annecy à Genève, permettra d'achever la liaison entre les principales villes du sillon alpin (Grenoble, Chambéry, Annecy, Genève). Ce dernier tronçon autoroutier comporte différents ouvrages d'art dont un tunnel de 3100 m de long et une tranchée couverte de 290 m.

Cet article expose dans un premier temps l'ensemble des équipements qui seront mis en œuvre sur l'autoroute A41 Nord au niveau du tunnel du Mont-Sion, de la tranchée couverte du Noiret et de la section courante puis, dans un second temps, deux spécificités de ces derniers : l'exploitation et l'intégration dans un poste de commande existant (PC César d'AREA) et la pose des équipements à l'avancement des travaux de génie civil.

■ Descriptif des équipements de l'A41

Les équipements mis en œuvre sur l'autoroute A41 Nord peuvent être organisés en quatre types :

- les équipements du tunnel du Mont-Sion;
- les équipements de la tranchée couverte du Noiret;
- les équipements de péage;
- les équipements de section courante de l'autoroute.

Les équipements de péage ne seront pas abordés ici mais ils seront décrits dans l'article suivant.

Les équipements du tunnel du Mont-Sion

Généralités

Le tunnel du Mont-Sion comporte (figure 1) :

- deux tubes monodirectionnels 2 x 2 voies;
- une galerie technique sur toute la longueur du tunnel dans chaque tube;
- quarante niches de sécurité, soit 20 niches par tubes, placées tous les 150 m environ;
- trente niches incendie, soit 15 niches par tubes, placées tous les 200 m environ;
- trois intertubes prévus pour le passage de véhicules;
- quatre intertubes prévus uniquement pour le passage de piétons;
- six locaux techniques : deux à chaque tête et deux au centre.

La définition des équipements s'est faite selon la circulaire interministérielle 63-2000 sur les caractéristiques suivantes du tunnel :

- tunnel non urbain;
- tunnel à deux tubes unidirectionnels;
- trafic non faible;
- tunnel de gabarit > à 3,50 m;
- tunnel de longueur d'environ 3000 m;
- circulation possible de transport de matières dangereuses.

Alimentation électrique

Le principe d'alimentation électrique du tunnel du Mont-Sion est basé sur les éléments suivants :

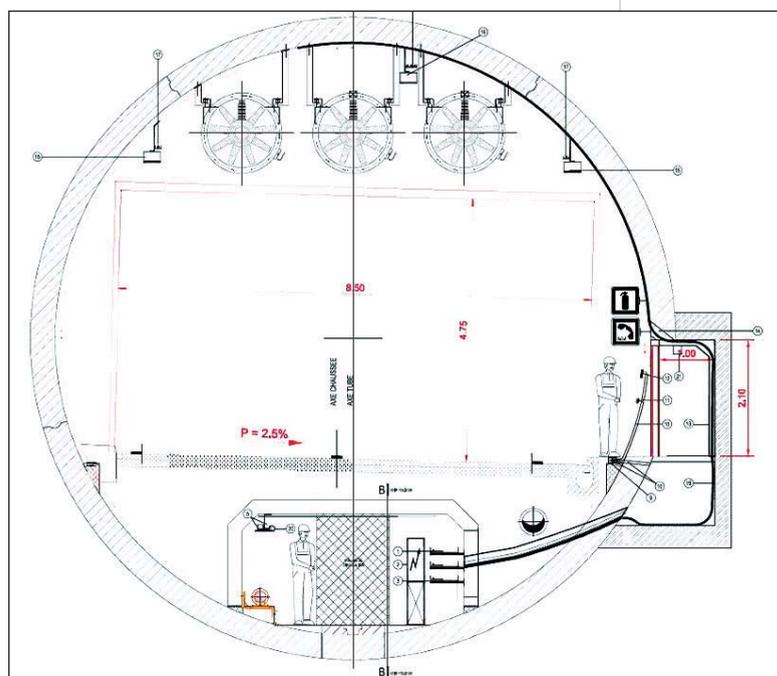


Figure 1

Coupe du tunnel
en section courante
Standard section of tunnel

Les équipements définitifs (hors péage)



- deux postes de livraison EDF 20 kV à chaque extrémité du tunnel depuis deux sources EDF distinctes;
- deux artères privées 20 kV circulant dans les galeries techniques sous chaussée;
- six postes de transformation (deux à chaque tête et deux dans une sous-station électrique au centre du tunnel), les transformateurs d'un tube permettant de reprendre la globalité de la puissance de l'autre tube;
- deux réseaux de distribution basse tension 400 V et 690 V, cette dernière tension étant dédiée à l'alimentation des accélérateurs situés en espace trafic;
- une alimentation électrique des deux tubes par des postes de transformation HT/BT et des postes de distribution BT distincts mais couplables en basse tension;
- un système d'alimentation sans interruption d'une autonomie de 120 minutes pour les équipements importants de la sécurité (éclairage de secours, balisage, GTC, etc.) (figure 2).

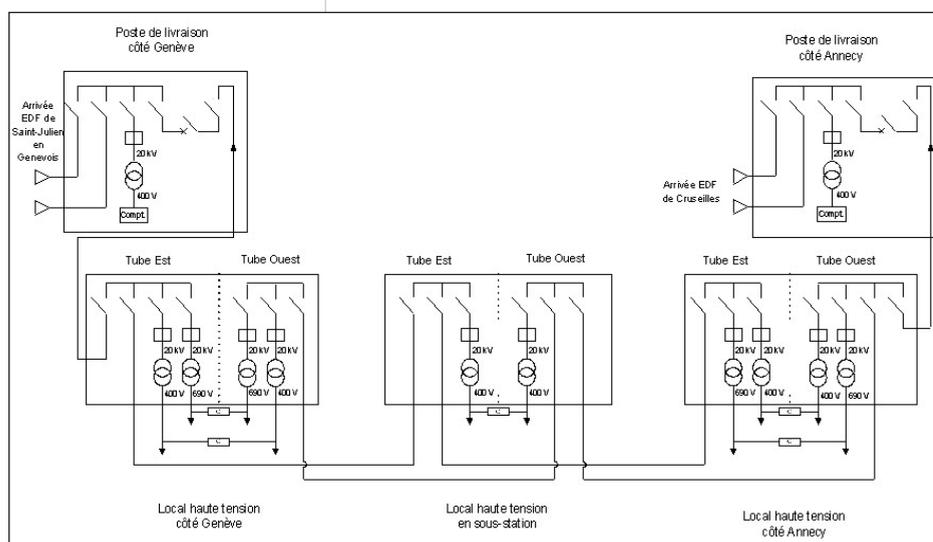


Figure 2

Architecture
haute tension
High voltage
architecture

Éclairage de l'espace trafic

Les hypothèses de calcul prises pour le dimensionnement de l'éclairage du tunnel sont les suivantes :

- tunnel non urbain à trafic non faible orienté nord-sud en zone peu dégagée;
- tube unidirectionnel;
- vitesses des véhicules = 110 km/h;
- chaussée éclaircie (R2);

Avec ces hypothèses, l'éclairage de base de l'espace trafic est réalisé à l'aide d'une ligne centrale d'appareils fixés sur des pendants et chemins de câbles selon un pas de 12 m et respectant des cantons de 600 m de long.

Les appareils d'éclairage sont des appareils trisources munis de lampes à sodium haute pression de 70 W chacune. Ils sont alimentés par trois circuits (dont un

circuit secouru) permettant de réaliser trois régimes d'éclairage.

L'éclairage de renforcement est installé aux entrées de tunnel, soit les têtes nord-ouest et sud-est, et ce sur une longueur de 350 m en cinq paliers. Il est réalisé à l'aide de deux lignes latérales d'appareils monosources de puissance variant entre 100 et 400 W fixés sur des pendants et chemins de câbles selon un pas variable en fonction du palier considéré.

Réseau de lutte contre l'incendie

Le réseau de lutte contre l'incendie est constitué :

- d'une colonne humide DN200 installée dans chaque tube en galerie technique. Un maillage entre les deux colonnes permettant de pallier l'éventuelle rupture de canalisation est effectué par les intertubes. Des vannes de sectionnement permettent le découpage du réseau en tronçons de 600 m environ;
- d'un réservoir à deux compartiments de 100 m³ chacun (2 x 80 m³ destinés exclusivement à la lutte contre l'incendie et 2 x 20 m³ destinés aux besoins pour l'entretien du tunnel), situé dans les locaux techniques de la tête sud du tunnel;
- un surpresseur constitué de trois pompes multicellulaires de 60 m³/h chacune (dont une de secours);
- des nourrices incendie disposées tous les 200 m dans une niche incendie côté voie rapide;
- des poteaux incendie aux têtes de tunnel.

Des extincteurs positionnés dans les niches de sécurité complètent le dispositif de lutte contre l'incendie (figure 3).

Ventilation

Le tunnel du Mont-Sion est équipé de systèmes de ventilation permettant d'assurer :

- la ventilation hygiénique du tunnel afin de rester en deçà des niveaux de pollution réglementaires;
- le désenfumage des ouvrages en cas d'incendie;
- la ventilation des intertubes, des galeries techniques et des locaux techniques au centre du tunnel.

La ventilation de l'espace trafic du tunnel est de type longitudinal. Elle s'appuie sur 38 accélérateurs (18 dans le tube ouest et 20 dans le tube Est) de 55 kW de puissance unitaire, réversibles à 100 % et présentant une résistance de 2 heures à une température de 400 °C.

Le contrôle d'atmosphère dans l'espace trafic est effectué à l'aide de cinq stations de mesures par tube comprenant chacune un anémomètre, un opacimètre, un analyseur CO et un analyseur NO.

La ventilation des galeries techniques, des intertubes et des locaux techniques au centre du tunnel s'appuie sur deux unités de ventilation situées dans les locaux techniques de la tête nord du tunnel.

Dans chaque unité de ventilation, deux ventilateurs

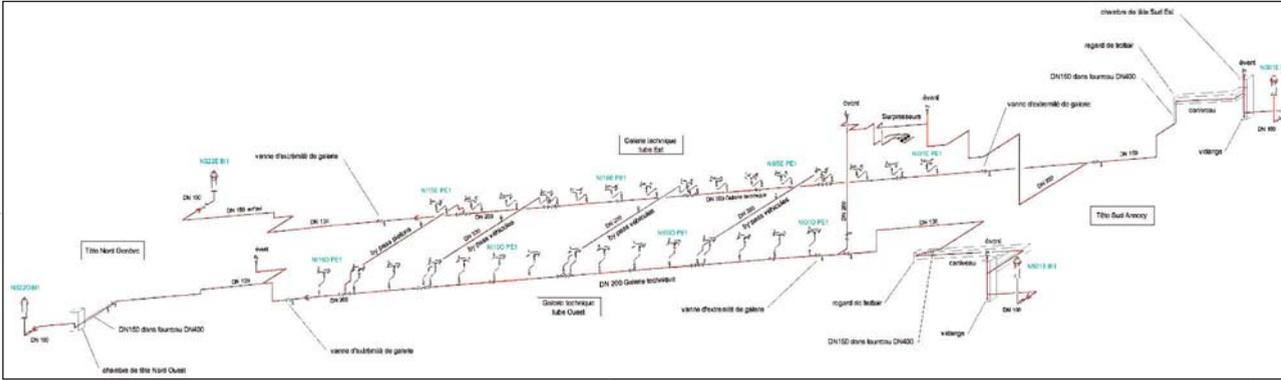


Figure 3
Architecture réseau incendie
Fire network architecture

(un normal et un de secours) réversibles, à vitesse variable, avec une fonction principale de soufflage, permettent de fonctionner selon plusieurs régimes (exploitation normale, incendie en tunnel et incendie en galerie). Chacune des unités de ventilation est reliée à une galerie technique par une gaine débouchant en pleine section de la galerie.

L'alimentation en air frais des intertubes et des locaux techniques au centre du tunnel se fait directement en pleine section des deux galeries techniques par l'intermédiaire de deux ventilateurs (un par galerie) dédiés à chacun des ouvrages (figure 4).

Vidéosurveillance, enregistrement et détection automatique d'incidents

Un système de vidéosurveillance et de détection automatique d'incidents est mis en œuvre dans le tunnel du Mont-Sion. Il est basé sur :

- 44 caméras couleur en tunnel. Fixes et à capteur CCD, elles sont implantées en voûte légèrement excentrées sur la voie lente. Elles sont reliées à un coffret implanté en galerie technique sous chaussée;
- 14 caméras dans les intertubes. Elles permettent en cas d'incident de dénombrer les personnes présentes dans les dispositifs d'évacuation et de contrôler l'évacuation le cas échéant;
- quatre caméras aux têtes de tunnel. Une caméra couleur fixe implantée sur mât à 100 m environ du tunnel et une caméra couleur mobile implantée sur mât à 250 m environ du tunnel permettent de visualiser les entrées de chaque extrémité du tunnel.

L'architecture pour le transport des images est de type réseau informatique. Les images obtenues sont renvoyées sous forme de signaux numériques par le support de transmission fibres optiques local cheminant dans chaque galerie technique du tunnel et par le support de transmission longue distance le long de l'autoroute A41 Nord au PC de secours de la tête nord, au centre d'entretien d'Annecy Nord et au PC César.

Le système vidéo est couplé :

- à un système d'enregistrement des images par enregistreurs numériques permettant, en temps différé, de disposer des séquences animées représentant les situations avant, pendant et après incident;
- à un système de détection automatique d'incidents assurant en tunnel et pour les caméras situées à 100 m de l'entrée du tunnel la détection des incidents suivants :

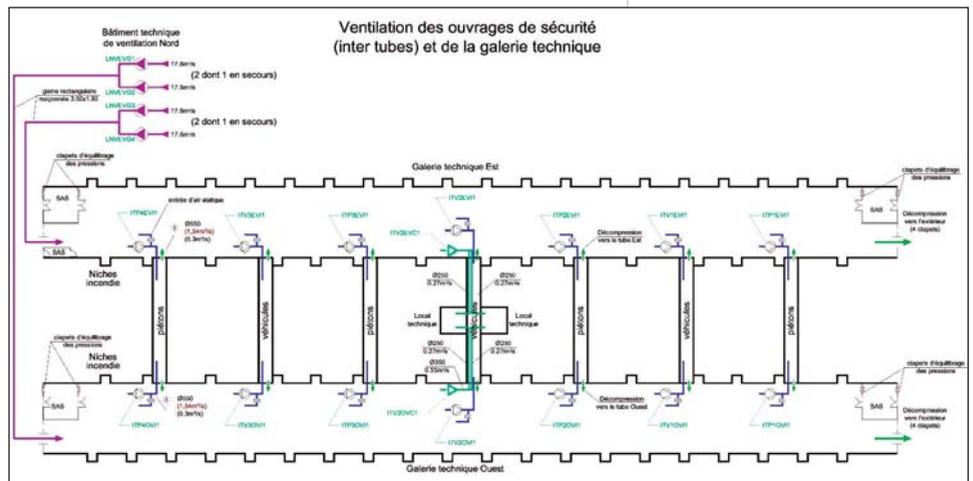


Figure 4
Architecture ventilation ouvrages de sécurité
Safety structure ventilation architecture

- > véhicule arrêté;
- > véhicule lent;
- > fumées;
- > piéton.

L'ensemble avec un temps de détection de 15 secondes, un taux de détection de 95 % (98 % pour un véhicule arrêté) et un taux de fausse alarme d'une alarme par caméra et par quinzaine.

Signalisation des dispositifs de sécurité

Les dispositifs suivants sont mis en place :

- signalisation des niches de sécurité par panonceaux lumineux allumés en permanence représentant un téléphone noir et un extincteur rouge positionnés au-dessus des niches de sécurité;
- signalisation des intertubes, par panneaux lumineux allumés en permanence représentant une issue de secours. Une sursignalétique par feux clignotants est déclenchée en cas d'incident;
- signalétique de guidages des usagers vers l'intertube le plus proche, par panneaux rétro réfléchissants indiquant la distance à l'intertube le plus proche positionnés tous les 25 m côté voie rapide;
- balisage lumineux, par plot de balisage ambre et bleu implantés tous les 10 m sur chaque piédroit.

Détection incendie

Les différents locaux techniques aux extrémités et au centre du tunnel ainsi que les deux galeries techniques sous chaussée sont dotés d'un système de détection incendie basé sur trois centrales incendie adressables, des détecteurs de fumée à double optique, des déclen-

Les équipements définitifs (hors péage)

cheurs manuels à proximité des issues de secours et des diffuseurs sonores.

Réseau d'appel d'urgence

Installé en tunnel, il permettra aux usagers en difficulté de demander l'intervention des secours et d'obtenir une aide. Un contact vocal direct en duplex est établi entre l'utilisateur et l'exploitant de l'A41 Nord qui est ainsi renseigné sur la nature de la panne ou de l'accident.

Ce réseau d'appel d'urgence est constitué :

- de postes d'appel d'urgence à l'intérieur de chaque niche de sécurité, aux extrémités du tunnel et dans chaque intertube;
- du support de transmission en tunnel sous forme d'une boucle de fibres optiques cheminant dans chaque galerie technique sous chaussée;
- d'un poste de centralisation des appels dédié A41 Nord situé dans les locaux techniques de la tête nord du tunnel;
- d'un réseau de transmission à mettre en œuvre jusqu'au PC César avec possibilité de gestion des appels depuis le centre d'entretien d'Annecy Nord.

Téléphonie

Des téléphones d'exploitation seront installés dans les différents locaux techniques et dans le PC de secours ainsi que dans les galeries techniques sous chaussée au droit de chaque niche de sécurité.

Ces téléphones seront reliés à un autocommutateur dédié à l'A41 Nord implanté dans les locaux techniques de la tête sud du tunnel. Cet autocommutateur sera lui-même relié à l'autocommutateur d'AREA situé au PC César. La transmission des communications sera assurée par le réseau de transport à base de fibres optiques mis en œuvre le long de l'A41 Nord (figure 5).

Radio

Le système radio a pour but de rediffuser dans le tunnel :

- les fréquences des services de secours (SDIS, Samu, Gendarmerie) en mode numérique;
- le 107.7 ainsi que cinq autres fréquences FM déterminées après enquête médiamétrique;
- la radio d'exploitation d'AREA également présente dans la galerie technique.

La radiodiffusion dans le tunnel se fait à l'aide d'un câble rayonnant situé en voûte. La diffusion dans la galerie technique se fait à l'aide d'antennes.

Les signaux ré-émis sont soit captés par des antennes situées à la tête sud du tunnel, soit reçus du PC César d'AREA par l'intermédiaire du réseau fibres optiques (107.7).

Réseau de transmission

Le réseau de transmission est prévu pour l'ensemble des communications entre les équipements centraux et les équipements terrain des différents systèmes. Il est défini par un réseau de transport propre à l'A41 Nord et par son interface au niveau de la barrière de péage de Villy-le-Pelloux, avec le réseau de transport AREA, afin d'assurer l'ensemble des échanges d'exploitation normale avec le PC César et les équipements terrain.

Support de transmission

Le support de transmission dispose :

- d'un support de transmission terrain propre aux équipements du tunnel constitué d'un câble de 72 fibres optiques circulant dans chaque galerie technique et formant ainsi une boucle sur l'ensemble du tunnel;
- d'un support de transmission longue distance dédié au réseau de transport A41 Nord installé dans la multitubulaire sens Annecy → Genève jusqu'au centre d'entretien d'Annecy Nord.

Signalisation dynamique et dispositif de fermeture

La signalisation dynamique mise en place est la suivante :

- une signalisation et des dispositifs d'arrêt à chaque tête de tunnel et tous les 800 m en tunnel constitué d'un panneau à messages variables (PMV) et de deux feux R24;
- deux lignes de signaux d'affectation de voie en tête de tunnel et des feux d'affectation des voies tous les 400 m en tunnel;
- une signalisation de police dotée de panneaux à LED indiquant les limitations de vitesse et les interdictions de dépassement;
- un dispositif de fermeture du tunnel et la signalétique associée à chaque tête de tunnel;
- un balisage lumineux en tunnel.

Les équipements d'affectation de voie, de fermeture du tunnel et de police sont également prévus pour envisager l'exploitation du tunnel en mode bidirectionnel dans un seul tube.

Gestion technique centralisée

Une gestion technique centralisée est mise en place pour la supervision des équipements du tunnel :

- éclairage, gestion des différents niveaux d'éclairage pour l'éclairage de base et de renforcement;
- ventilation et contrôle d'atmosphère, gestion des différents scénarios de désenfumage et de ventilation sanitaire;
- énergie électrique, gestion des différents équipements d'alimentation électrique, des basculements basse tension, des équipements haute tension;

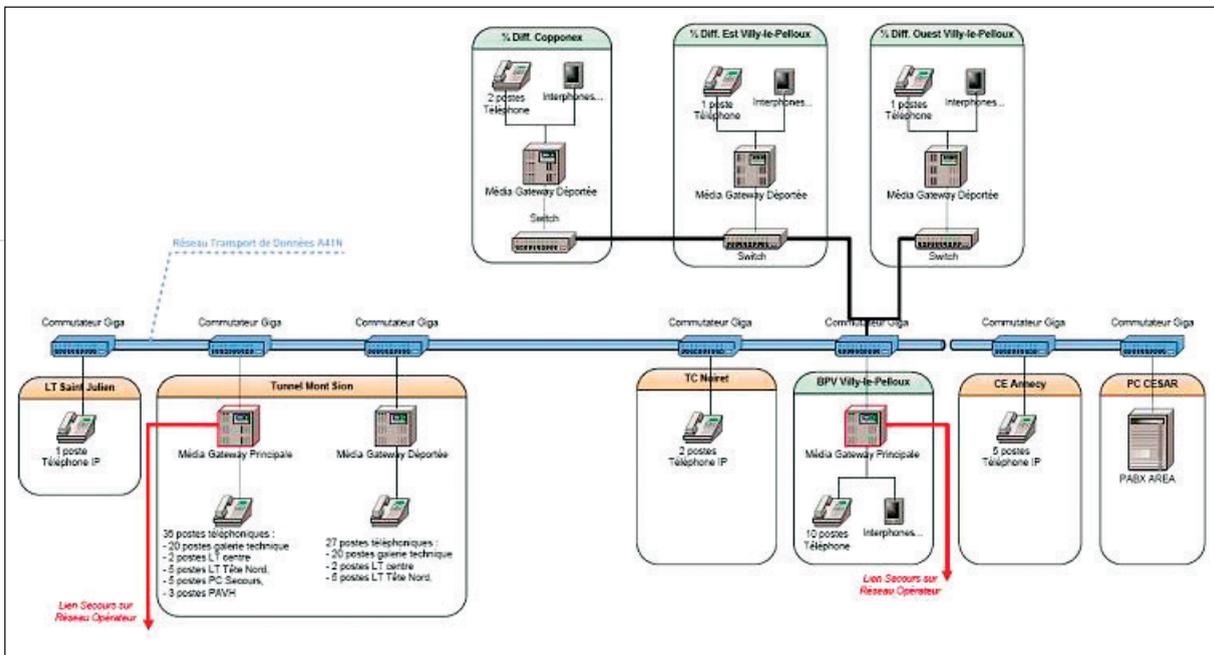


Figure 5
Architecture téléphonique
Telephony architecture

- signalisation, gestion des PMV, signaux d'affectation de voies et différents panneaux de police dynamiques;
- équipements de sécurité, postes d'appel d'urgence, extincteurs incendie en niche;
- dispositifs de fermeture des accès au tunnel.

La gestion technique centralisée du tunnel du Mont-Sion s'appuie sur :

- quatre automates (un automate et son secours par tube) positionnés dans les locaux techniques nord et sud du tunnel, gérant les 8000 points environ du tunnel;
- des boîtiers d'entrées-sorties déportés placés dans les différents coffrets niches de sécurité et intertubes en galerie technique;
- un anneau optique de transmission tunnel 72 fibres optiques circulant en galerie technique sous chaussée.

L'organe principal de commande et de gestion est situé au PC César dans un système de supervision et d'exploitation qui gère, à la fois la GTC, mais aussi les équipements de vidéosurveillance du réseau d'appel d'urgence, de la retransmission radio, etc.

Une supervision de la GTC est installée dans les locaux techniques de la tête nord du tunnel et au niveau du PC César pour aider les équipes d'exploitation et de maintenance.

Les équipements de la tranchée couverte du Noiret

Généralités

La tranchée couverte étant d'une longueur inférieure à 300 m, peu d'équipements définitifs sont strictement exigibles mais, au-delà des exigences de la circulaire 63-2000, des dispositions complémentaires ont néanmoins été installées pour accroître la sécurité; c'est le cas notamment du réseau incendie, de la vidéosurveillance et de la signalisation dynamique.

Équipements de base

Alimentation électrique

L'alimentation électrique de la tranchée couverte se fait à partir d'un poste EDF 20 kV alimenté en antenne. Un transformateur 20 kV/400 V permet alors d'alimenter deux tableaux généraux basse tension. Un système d'onduleur et de batteries d'une autonomie de 120 minutes permet d'alimenter sans interruption les équipements importants pour la sécurité (éclairage de sécurité, GTC, vidéosurveillance).

Éclairage

L'éclairage de base et de renforcement de la tranchée couverte du Noiret sont réalisés à l'aide de deux lignes d'appareils monosources à sodium haute pression disposées sur chacun des piédroits de la tranchée couverte.

Niches de sécurité

La tranchée a été dotée de deux coffrets de sécurité par tête qui hébergent un poste d'appel d'urgence du réseau de section courante, deux extincteurs de 6 kg et un coffret de prises électriques dédiées au pompier.

Équipements complémentaires

Réseau incendie

La tranchée couverte dispose d'un réseau incendie humide gravitaire constitué d'un réservoir de 160 m³ situé au-dessus de la tranchée couverte et d'un poteau incendie à chaque extrémité de la tranchée.

Videosurveillance et détection automatique d'incidents

Le parti a été pris d'équiper la tranchée couverte d'un système de vidéosurveillance et de détection automatique d'incidents identique à celui mis en œuvre dans le tunnel du Mont-Sion.

Ce système comprend sur trois caméras par tube. Les analyseurs DAI et les enregistreurs sont positionnés dans les locaux techniques du tunnel du Mont-Sion.

Les équipements définitifs (hors péage)

Signalisation dynamique

Un système de signalisation dynamique a été mis en œuvre aux abords et dans la tranchée couverte du Noiret. Celui-ci est constitué de deux rangées (à 300 m et à 800 m de la tranchée) de panneaux à messages variables et de signaux d'affectation de voies en entrée et sortie de la tranchée couverte.

Gestion technique centralisée

La tranchée couverte dispose également d'une gestion technique centralisée qui permet la surveillance et la conduite automatiques des différents équipements (alimentation électrique, éclairage, signalisation dynamique, etc.).

Cette GTC est basée sur un automate positionné dans les locaux techniques de la tranchée couverte et piloté depuis le serveur de supervision implanté dans les locaux techniques du tunnel du Mont-Sion.

Les équipements de la section courante

La section courante de l'autoroute A4 Nord héberge également un certain nombre d'équipements définitifs décrits ci-après.

Réseau d'appel d'urgence

Un réseau d'appel d'urgence est déployé le long de l'autoroute A41 Nord. Il s'appuie sur des couples de postes d'appel d'urgence positionnés tous les 2 km ou aux points particuliers tels que les têtes de la tranchée couverte ou les aires de repos de la Caille.

Réseau de transport

Le long de l'A41 Nord circule le support de transmission assurant la connexion des différents équipements définitifs au PC César d'AREA. Ce support de transmission se présente sous la forme d'un faisceau de 72 fibres optiques monomodes.

Vidéosurveillance

À l'extrémité nord de son tracé, l'A41 se raccorde au niveau de Saint-Julien-en-Genevois à l'autoroute A40. Une vidéosurveillance des bretelles du nœud de raccordement des deux autoroutes se fait à l'aide de deux caméras orientables montées sur des mâts. Les images sont diffusées dans le PC de secours situé dans les locaux techniques du tunnel, au centre d'entretien d'Annecy Nord et au PC César.

Station météorologique

Une station météorologique sera également mise en place en bordure de chaussée au niveau de la tête nord du tunnel du Mont-Sion pour disposer d'information locale quant à l'état du réseau dans la partie nord de l'A41 Nord.

Panneau à messages variables (PMV)

En complément des PMV entrant dans le cadre du dispositif de fermeture du tunnel du Mont-Sion, un panneau à messages variables complémentaire destiné à informer les usagers est implanté au nord du tunnel en direction sud → nord.

À noter que les PMV entrant dans le dispositif de fermeture du tunnel du Mont-Sion pourront également être utilisés en dehors de période d'incidents sur le tunnel pour diffuser des informations aux usagers.

Comptage

L'A41 Nord sera équipé de quatre stations de comptage :

- une station au niveau du nœud de Saint-Julien-en-Genevois;
- une station en amont de la tête nord du tunnel du Mont-Sion;
- une station au niveau du demi-diffuseur de Copponex;
- une station au sud de la barrière de péage de Villy-le-Pelloux.

Ces stations de recueil de données trafic (RDT) permettent de mesurer les paramètres qualitatifs et quantitatifs du trafic (débit, vitesse, taux d'occupation, pourcentage de poids lourds...).

■ L'exploitation des équipements de l'A41 Nord

L'exploitation de l'autoroute A41 Nord par AREA s'appuie sur quatre sites particuliers :

- le PC César existant d'AREA, situé à Nances sur l'A43, à proximité de Chambéry;
- un PC de secours situé dans les locaux techniques de la tête nord du tunnel du Mont-Sion;
- le centre d'entretien existant AREA d'Annecy Nord;
- un point d'appui et de viabilité hivernale situé à la tête nord du tunnel du Mont-Sion.

Le PC César

L'exploitation de l'autoroute A41 Nord se fait depuis le PC César d'AREA qui assure un degré D4 de surveillance humaine au sens de la circulaire n° 200-63 du 25 août 2000. Ainsi, toutes les missions temps réel 24 heures sur 24, notamment de surveillance du réseau d'appel d'urgence, de commandes des équipements de sécurité, d'informations routières, de compte rendu aux autorités seront accomplies par les opérateurs du PC César.

En cas de panne du système d'aide à l'exploitation du PC César, l'exploitation se poursuit en mode dégradé,

en effectuant les commandes des équipements depuis un superviseur de marche dégradée également installé au PC César.

En cas de coupure de la liaison entre le PC César et les équipements de l'A41 Nord, un lien de secours externe permet la commande des équipements.

Le PC de secours

En cas d'indisponibilité totale et de longue durée du PC César, la supervision du tunnel du Mont-Sion et de la tranchée couverte du Noiret sera assurée par l'intermédiaire du PC de secours situé dans les locaux techniques de la tête nord du tunnel du Mont-Sion.

Le centre d'entretien d'Annecy Nord

L'entretien et la maintenance de l'A41 Nord seront effectués par le centre d'entretien d'Annecy Nord d'AREA. Dans ce centre seront également disposés des moniteurs permettant de visualiser les images du système vidéo de l'A41 Nord ainsi qu'une console permettant de gérer les appels en provenance du réseau d'appel d'urgence de l'A41 Nord.

Le point d'appui et de viabilité hivernale

Enfin, un point d'appui et de viabilité hivernale sera disposé au niveau de la tête nord du tunnel. Ce PAVH doté d'un local personnel, de cuves à saumure et d'un hangar à sel sera le point de départ des tournées de salage de l'A41 Nord.

En cas de crise ce PAVH jouera également le rôle, pour l'extrémité nord du tunnel, de poste médical avancé et de centre de regroupement des moyens.

■ La pose des équipements à l'avancement du génie civil

Les délais de réalisation de l'autoroute A41 Nord impactent les conditions de mise en œuvre des équipements et en particulier ceux du tunnel du Mont-Sion, des locaux techniques du tunnel du Mont-Sion et ceux de la tranchée couverte du Noiret.

Pour faire face à ces contraintes, une intime collaboration entre les travaux de génie civil et travaux d'équipements, décrite ci-après, est requise.

Le tunnel du Mont-Sion

Le délai de 4 mois (essais compris) entre la fin du génie civil du second tube et la réception de l'ouvrage ne permet pas une installation des équipements à l'issue

de l'achèvement du génie civil. Le parti a donc été pris de mettre en œuvre un certain nombre d'équipements à l'avancement des travaux de creusement du tunnel. Pour le tube ouest, les équipements suivants ont ainsi été mis en œuvre dès l'automne 2006 :

- l'éclairage de base de l'espace trafic du tunnel (utilisé comme éclairage de chantier);
- l'éclairage de la galerie technique sous chaussée (qui sert également d'éclairage de chantier);
- l'artère haute tension en galerie technique (c'est l'alimentation du tunnelier);
- le réseau incendie en galerie technique (utilisé comme circuit de refroidissement du tunnelier).

L'été 2007 au cours duquel le tunnelier a été démonté à l'extrémité du tube ouest et remonté au début du tube Est a été mis à profit pour procéder à l'installation d'autres équipements dans le tube ouest :

- les chemins de câbles de distribution basse tension et de courants faibles en galerie technique;
- le système de détection incendie de la galerie technique;
- l'éclairage de balisage de l'espace trafic.

Le bon déroulement des travaux de pose de ces équipements sur le tube ouest a permis de reconduire l'opération sur le tube Est et de l'étendre à d'autres séries d'équipements.

Les locaux techniques du tunnel du Mont-Sion

Le tunnel du Mont-Sion requiert six sites techniques dans lesquels sont installés les différents systèmes centraux :

- deux sites techniques à la tête sud du tunnel pour alimenter les tubes Est et ouest;
- deux sites techniques à la tête nord du tunnel pour alimenter les tubes Est et ouest;
- deux sites techniques au centre du tunnel pour alimenter les tubes Est et ouest.

Les locaux techniques aux extrémités du tunnel sont enterrés et situés au-dessus de l'espace trafic de chacun des tubes. Pour ne pas lier la réalisation des locaux techniques à la fin de la réalisation du tube Est, trois solutions ont été mises en œuvre :

- la conception des locaux techniques de tête a été revue de sorte que les deux sites techniques de chacune des extrémités soient positionnés au-dessus du tube ouest, le premier à être réalisé. Ainsi, il n'est plus requis d'attendre la fin du creusement du tube Est pour mettre en œuvre les équipements centraux dédiés au tube Est;
- une partie des locaux techniques situés au-dessus du tunnel a été réalisée pendant le creusement du tunnel sous circulation des engins d'approvisionnement du tunnelier, en appliquant des solutions basées sur

Les équipements définitifs (hors péage)

► l'utilisation de poutres préfabriquées. Ainsi, la réalisation des 2/3 des locaux techniques de tête a pu débuter dès janvier 2007, alors que le creusement du tube ouest a été achevé en juin 2007.

L'aménagement de la partie restante a débuté en septembre 2007 après transfert du tunnelier sur le tube Est;

- l'agencement des locaux techniques a été réexaminé de sorte que les locaux les plus critiques en termes de planning (haute tension, basse tension, onduleurs) soient positionnés de manière anticipée dans les 2/3 réalisés.

Au final, la mise en œuvre des équipements définitifs dans les locaux aux extrémités sud et nord du tunnel a débuté en novembre 2007.

De manière similaire, les deux sites techniques situés au centre du tunnel seront intégralement réalisés depuis le tube ouest, premier tube réalisé, de sorte que la mise en œuvre des équipements définitifs puisse débuter dès le mois de février 2008 (photo 1).

La tranchée couverte du Noiret

La réalisation de la tranchée couverte requiert un phasage délicat pour passer sous la route départementale RD 1201. Ce phasage implique une fin des activités de génie civil au début de l'été 2008. Pour ne pas mettre l'intégralité des activités d'équipements définitifs de la tranchée couverte sur le chemin critique, comme pour le tunnel du Mont-Sion, le parti a été pris de réaliser la pose d'une partie de ces équipements à l'avancement du génie civil. Ainsi, les éclairages de base et de renforcement de la tranchée couverte du Noiret seront réalisés en cinq phases successives (chacune couvrant un linéaire de 60 ml de tranchée et ce dans chaque tube) entre le mois de janvier 2007 et le mois de juin 2008. ■

Photo 1

Mise en œuvre des équipements dans les locaux techniques

Equipment setup in plant rooms



ABSTRACT

Final equipment (excluding toll system)

D. Coulet, A. Raynaud

The A41 North motorway, linking Annecy to Geneva, will complete the link between the main towns along the French Alps (Grenoble, Chambéry, Annecy, Geneva). This motorway section contains various engineering structures, including a 3100-metre long tunnel and a 290-metre cut-and-cover. This article first describes all the equipment that will be installed on the A41 North motorway at the level of the Mont-Sion Tunnel, the Noiret cut-and-cover and the continuous section, and then the two specific features of this equipment : operation and incorporation in an existing control station (AREA's PC César) and installation of the equipment as civil engineering work progresses.

RESUMEN ESPAÑOL

Equipamientos definitivos (peaje no incluido)

D. Coulet y A. Raynaud

La autopista A41 Norte, que pone en comunicación Annecy con Ginebra, permitirá finalizar el enlace entre las principales ciudades del surco alpino (Grenoble, Chambéry, Annecy, Ginebra). Este último tramo de autopista incluye distintas obras de fábrica entre las cuales un túnel de 3100 metros de longitud y un falso túnel de 290 metros. En el presente artículo se describe en primer lugar el conjunto de los equipamientos que serán implantados en la autopista A41 Norte a nivel del túnel del Mont-Sion, del falso túnel del Noiret y del tramo normal y, en segundo lugar, dos especificidades de estos últimos : la explotación y la integración en un puesto de mando existente (PC César de AREA) y la instalación de los equipos según el avance de los trabajos de ingeniería civil.

La barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux

Un chantier au cœur du chantier

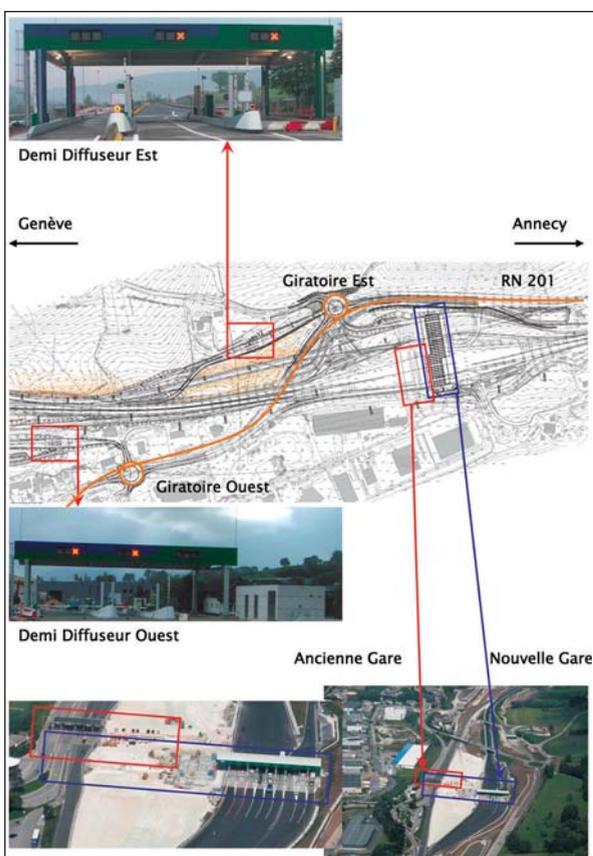
À l'extrémité sud du projet de l'A41 Nord se situe la Barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux.

Cette barrière était initialement constituée de 17 voies de péage et était placée sur le tracé originel de l'A41 Nord conduisant les usagers venant d'Annecy vers Annemasse ou Chamonix.

L'objet de l'ouvrage consiste en la réalisation d'une barrière substitutive pleine voie comprenant 29 voies de péage et englobant les deux autoroutes A410 (ex A41 Nord) dont le concédant est AREA et A41 Nord concédé à Adelaç. La capacité actuelle de la barrière de péage est donc doublée. Cela crée un vaste échangeur complété par deux demi-diffuseurs composés de trois voies chacun (sorties et entrées) vers ou depuis la RD 1201 (ex RN 201). Enfin, la réalisation de deux nouveaux giratoires (Est et ouest) permet ces nouveaux transferts de flux de circulation vers les différents accès de l'autoroute (figure 1).

Figure 1

Vue d'ensemble
General view



■ Historique

À l'origine du marché, la barrière existante devait être prolongée sur sa partie Est pour pouvoir la compléter avec les infrastructures liées au nouvel axe de circulation vers Genève.

Pour des raisons d'homogénéité tant architecturales que fonctionnelles, il fut décidé de déplacer la barrière de 50 m vers le sud entraînant ainsi la déconstruction de l'ancienne barrière parallèlement à la construction de la nouvelle (figure 2).

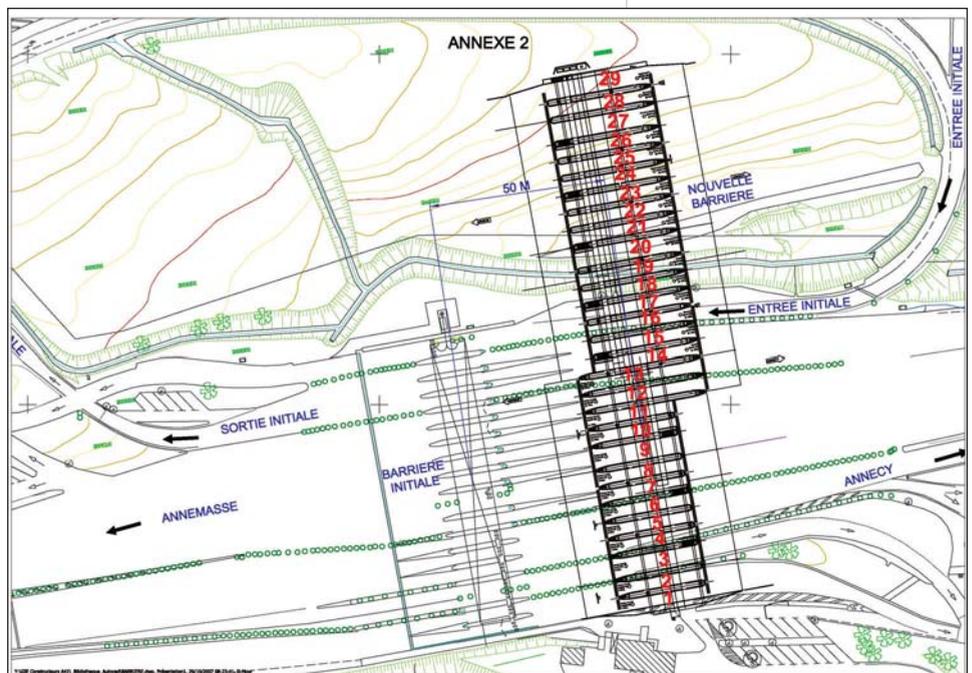
■ Contexte

La réalisation des travaux tout en conservant l'exploitation de la gare de péage existante constitue la principale difficulté du projet. Par ailleurs, les circulations et les contraintes environnementales immédiatement situées en bordure du projet devaient également faire l'objet d'une attention particulière.

Dans ce cadre, il a fallu imaginer un phasage des travaux compatible avec la circulation existante pour laquelle toutes modifications et opérations de rétablissement devaient être vues avec les autorités en charge des infrastructures : exploitant de l'autoroute, Conseil général, Communauté de communes, agglomérations... Toutes ces actions sont encadrées par des

Figure 2

Positionnement de la nouvelle barrière de péage
Location of the new toll plaza



Emmanuel Størksen
Directeur d'exploitation
barrière de péage
de Villy-le-Pelloux
Quille



Damien Buffet
Responsable travaux
équipements de péage
Bouygues TP



Gilles Pian
Responsable travaux
barrière de péage
Bouygues TP



Jean Kessler
Responsable travaux
linéaires
DTP Terrassement



Marc Bocqueraz
Responsable travaux
génie civil péage
Bouygues TP

La barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux. Un chantier au cœur du chantier

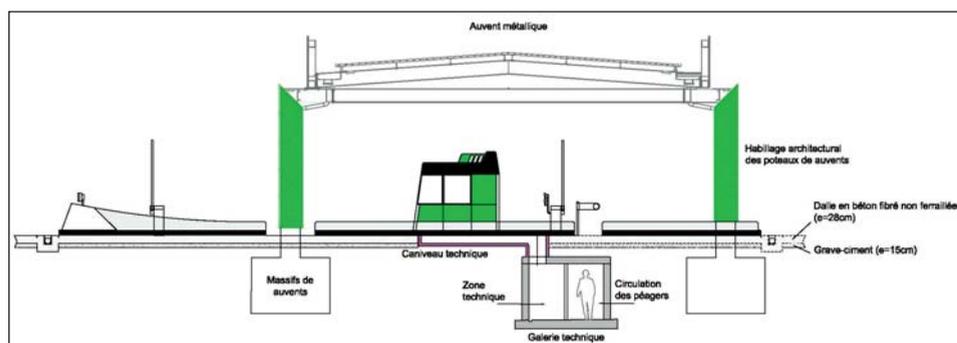


Figure 3
Coupe type
de la barrière
*Typical section
of the plaza*



DESC (Documents d'exploitation sous chantier) et sanctionnées par des arrêtés de circulation. Pour rappel, la RD1201 menant à Saint-Julien-en-Genevois et la Suisse voisine depuis le bassin annecien, comporte une circulation très chargée le matin dans le sens montant et le soir dans le sens opposé.

■ Descriptif des ouvrages

La barrière de péage pleine voie et les demi-diffuseurs associés sont constitués d'une part de travaux de génie civil (ouvrages en béton armé, bâtiments tous corps d'état, charpente métallique), et d'autre part de matériel d'exploitation (courants forts et faibles, matériel de perception, transport pneumatique de fond). Les travaux de terrassements, d'assainissements, de chaussées, de dispositifs de sécurité, de signalisation, d'ouvrages d'art... complètent le panorama d'activités mis en œuvre par le GIE A41 à cet endroit.

Sur la barrière pleine voie, une fois terminés les travaux de terrassements et les purges, la construction d'une nouvelle galerie technique est lancée. Celle-ci se décompose en deux parties permettant de séparer la zone des équipements d'exploitation de la zone de circulation des péagers. Une cloison grillagée matérialise cette séparation (figure 3).

La zone technique reçoit les chemins de câbles, les armoires de distribution électrique, les réseaux CF/Cf, les fibres optiques et le transport pneumatique de fond. Parallèlement aux travaux de galerie les massifs de fondations du futur auvent sont réalisés. Après le remblaiement de la galerie, les dalles de circulation en béton fibré balayé sont exécutées au droit de la future zone de transaction. Les îlots de péage sont construits directement sur ces dalles. La mise en place de l'auvent intervient immédiatement après les travaux de génie civil. Des matériels de péage doivent également y être installés (feux d'affectation des voies).

Les équipementiers prennent alors possession des supports afin de mettre en place les différents équipements actifs et passifs.



Photo 1
Système Freeride
Freeride system

Les équipements de perception sont de natures diverses :

- en voies d'entrée, des BTP (bornes tous paiements), télépéage, et NEVE (prise de ticket);
- en voies de sortie, des BTP, des cabines STEMM (avec receveur), télépéage et lecteur de cartes bancaires Freeride (photo 1).

Les demi-diffuseurs sont réalisés de la même manière mais ne comprennent pas de galerie souterraine car ils sont équipés de BTP (bornes de péage automatiques) et non de cabines (photo 2).

Sur ces demi-diffuseurs, des bâtiments sont construits en limite des voies circulées. Ils accueillent des locaux techniques (basse tension, courant faible, salle coffre et groupe électrogène pour les circuits secours).

Tous les équipements sont raccordés et les informations rapatriées par des fibres optiques vers le nouveau bâtiment d'exploitation AREA (hors lot GIE A41).

Liées à cette barrière de péage des haltes simples sont mises en œuvre sur trois zones :

- en bretelle de sortie Cruseilles;
- sur la trace de l'A41 Nord;
- sur l'axe de l'A410.

Des bâtiments sanitaires y sont également construits en tous corps d'état.

La répartition des voies entre Adelaç et AREA est distinguée sur la figure 4. Toutes ces voies sont enfin complétées par des boucles de passage, des portiques gabarits, des feux de passage...

En complément des travaux des barrières de péage, des

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Terrassements déblais : 430 000 m³
- Remblais : 330 000 m³
- Enrobés : 75 000 t
- Longueur de la barrière : 160 m
- Nombre de voies en pleine voie : 29
- Nombre de voies sur demi-diffuseur : 2 x 3
- L'ensemble des travaux réalisés sur la barrière de Villy-le-Pelloux représente environ 8 km de section courante



Photo 2

Bornes de péage automatiques
Automatic toll terminals

installations d'éclairage public, des réseaux humides (EP, EU, AEP), secs et d'assainissement, des bassins collectant les eaux de plates-formes, des clôtures sont à réaliser.

■ Phasage d'exécution

La problématique majeure est la réalisation des travaux sous circulation et par conséquent le maintien de l'exploitation de l'autoroute existante. L'ensemble des ouvrages a nécessité un phasage précis en dehors de l'ordonnancement habituel des différents intervenants. Celui-ci a été décliné en trois phases principales dénommées ci-après A, B et C. Pour chacune de ces phases interviennent tous les corps de métiers nécessaires à la réalisation d'un TOARC depuis les terrassements jusqu'à la déconstruction de l'existant.

La phase A

Objectif : ouvrir le demi-diffuseur Est en remplacement des voies d'entrée sens montant (d'Annecy vers Annemasse-Chamonix) ainsi qu'un tiers de la barrière pleine voie (partie Est) reprenant les voies de sortie vers la RD1201 et les voies de paiement de l'A410 sens montant.

La phase A s'est elle-même déclinée en trois sous-phases A1, A2 et A3.

Un nouveau tracé de l'A410 Ouest vers Chamonix devait également être construit pendant le déroulement de la phase A. Cela impliquait la construction

d'un deuxième ouvrage de franchissement (dénommé PS 189) de l'autoroute par la RD 1201. Une déviation provisoire de la RD 1201 a donc dû être mise en œuvre.

La phase A1 (juillet 2006 - début mai 2007)

Objectif : construire puis ouvrir le demi-diffuseur Est permettant la déconstruction de l'ancienne bretelle d'entrée.

Les espaces nécessaires à la réalisation de l'entonnoisement sud vers la nouvelle barrière de péage ont pu alors être libérés.

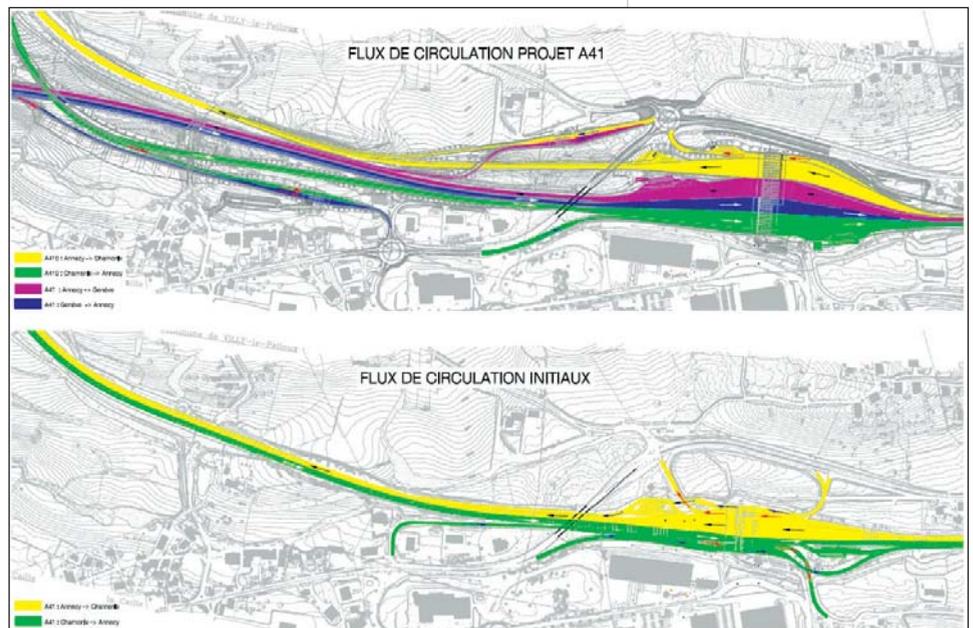


Figure 4

Répartition des voies entre Adélaç et AREA
Breakdown of lanes between Adélaç and AREA

La phase A2 (septembre 2006 - fin mai 2007)

Objectif : ouvrir les trois voies de sortie de l'A41 Sud vers la RD 1201 permettant, entre autres, de lancer les premiers travaux de déconstruction de la barrière existante :

- démantèlement des équipements de péage;
- démolition du génie civil.

L'ouverture à la circulation de l'ouvrage PS 189 à l'issue de la phase A2 a rendu possible la démolition de la déviation provisoire de la RD 1201, et la finalisation de la phase A3.

La phase A3 (septembre 2006 - fin juin 2007)

Objectif : réaliser et ouvrir sept voies de péage permettant le démarrage des travaux de la phase B.

Pour permettre l'exploitation de la nouvelle barrière de péage partiellement construite, un certain nombre de réseaux provisoires a été mis en place. À terme, ils

La barrière de péage pleine voie de Villy-le-Pelloux. Un chantier au cœur du chantier

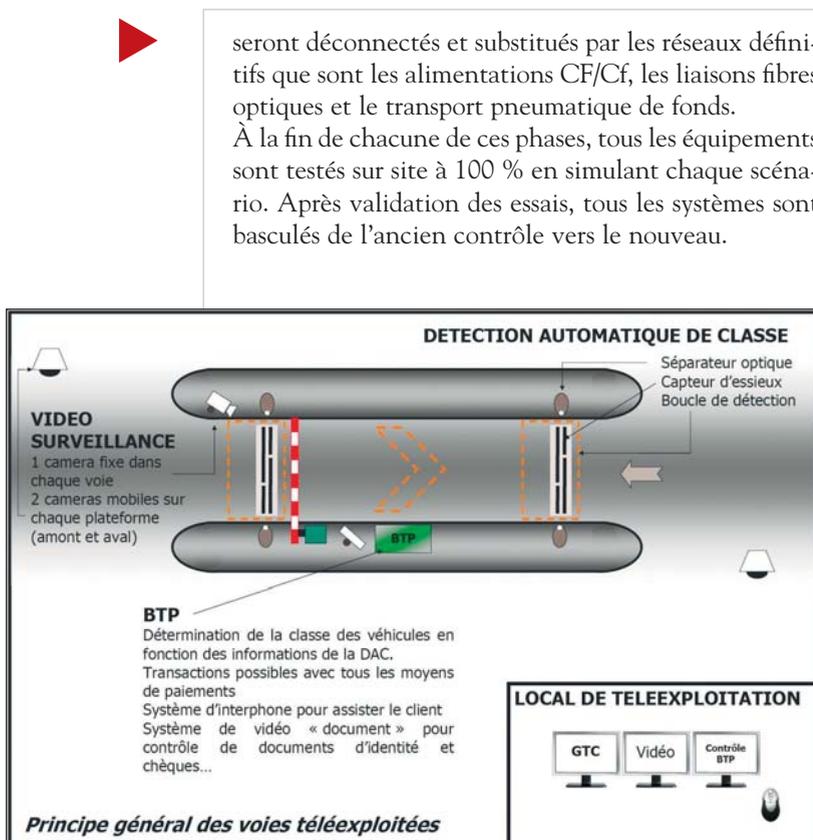


Figure 5

Principe général
des voies téléexploitées

General principle
of remote toll lanes

seront déconnectés et substitués par les réseaux définis que sont les alimentations CF/Cf, les liaisons fibres optiques et le transport pneumatique de fonds. À la fin de chacune de ces phases, tous les équipements sont testés sur site à 100 % en simulant chaque scénario. Après validation des essais, tous les systèmes sont basculés de l'ancien contrôle vers le nouveau.

La phase B

Objectif : ouvrir la partie centrale de la nouvelle barrière en équipant onze nouvelles voies.

Cette zone comprend :

- des voies d'entrées provisoires (9 et 10) depuis la RD 1201 vers l'A41 Sud;
- des voies de paiement sens Annemasse - Annecy.

Cette phase a également pour objet de déplacer les voies de sortie de l'A410 Ouest initialement situées sur la barrière de péage existante, vers le demi-diffuseur ouest.

La phase B se décline en deux phases de travaux B1 et B2.

La phase B1 (avril 2007 - octobre 2007)

Objectif : réaliser le demi-diffuseur ouest.

Son ouverture au public est liée à la réalisation de l'ouvrage PS 179 sur lequel se trouve la nouvelle bretelle descendante de l'A410.

La phase B2 (juin 2007 - décembre 2007)

Objectif : prolonger la barrière pleine voie en reprenant la même logique de construction que pour la phase A.

Pour l'ouverture au public en décembre 2007, seules les voies liées à l'A410 ont été équipées avec le matériel définitif.

Les réseaux provisoires sont prolongés et les tests sont exécutés à l'identique de la phase A.

Pendant la phase B également, la déconstruction de la première moitié de la gare de péage existante a eu lieu. La totalité des ouvrages en béton armé a été broyée et envoyée en filière de retraitement. La galerie existante a été recépée sur une hauteur de 80 cm. Dans sa partie basse, les réseaux provisoires ont été disposés. Les équipements actifs et passifs sur les îlots de péage mis hors service ont été démantelés et remis à l'exploitant.

Sans lien direct mais dans le même temps, le giratoire ouest est construit et mis en circulation.

La phase C

Cette phase termine la barrière pleine voie en équipant les huit dernières voies. Elle se décline en deux phases d'ouverture C1 et C2.

La phase C1 (janvier 2008 - août 2008)

Objectif : prolonger la barrière pleine voie en suivant toujours la même logique de construction.

La galerie est raccordée au bâtiment d'exploitation et les réseaux définitifs viennent remplacer les réseaux provisoires circulant dans l'ancienne galerie. La déconstruction de la deuxième partie de gare est exécutée simultanément. Les voies d'entrée sont ouvertes au public en juillet 2008 (phase C1) afin de rendre les voies 9 et 10 provisoirement équipées pour l'A410 (cf. phase B) en voies définitives pour l'A41.

La phase d'ouverture C2

Objectif : ouvrir la totalité de la barrière de péage pour les concessions A410 et A41 Nord dans sa version définitive.

■ Organisation

Tous les passages ont été réglés en concertation permanente avec les différents services routiers (Adelac, CG 74) et autoroutiers (AREA) afin de rendre les basculements de circulation les moins pénalisants possibles pour les usagers. Pour s'assurer de la compatibilité de nos opérations, des réunions de coordination avec tous les intervenants internes et externes concernés, sont organisées chaque semaine pour valider les dispositifs, les modifier, ou en initier d'autres.

L'exécution des travaux des gares de péage a été confiée en quasi-totalité à des sous-traitants (45). Une équipe de dix personnes du GIE était en charge du pilotage et de la coordination des travaux. Les activités de terrassements et de chaussées y compris l'assainissement, les signalisations verticale et horizontale et

les dispositifs de sécurité ont toutefois été réalisés en part propre.

Une coordination précise était nécessaire afin de définir, de valider ou d'invalider les calendriers d'exécution des différents intervenants.

La maîtrise d'œuvre intégrée i-LAC présente sur site durant la totalité des opérations a permis de traiter les sujets techniques sans délais.

En marge des travaux décrits, l'équipe a aussi en charge :

- l'exécution d'un demi-diffuseur sur la zone de Copponex;
- la fourniture et la pose des écrans antibruit sur la totalité du tracé;
- la mise en place d'isolation de façades des riverains impactées par les nuisances sonores du projet;
- la pose de l'ensemble des éclairages publics.

■ Équipements de péage

La création de la nouvelle barrière de péage a conduit à modifier en totalité les matériels nécessaires à l'exploitation.

Les spécifications fonctionnelles ont fait l'objet d'une collaboration étroite entre Adelac, AREA et le GIE. Pour gérer la barrière pleine voie ainsi que les demi-diffuseurs, l'exploitant a besoin à tout moment de piloter et agir sur l'ensemble des matériels. En conséquence, les équipements sont raccordés sur la GTC (gestion technique centralisée) et certaines voies sont téléexploitées depuis le local de surveillance (figure 5). Le personnel d'exploitation peut en permanence intervenir sur chaque voie grâce aux nombreuses télécommandes.

Tous les lots courants forts, faibles, interphonie, équipements de perception, transport pneumatique de fonds, etc. ont été confiés au GIE.

■ Conclusion

La construction de la barrière de péage de Villy-le-Pelloux, des demi-diffuseurs ainsi que les ouvrages annexes, est un chantier à part entière dans le projet de l'A41. Toutes les activités, hors tunnel, s'y retrouvent. Les résultats déjà obtenus, planning, qualité, sécurité, sont les fruits de la multiplicité des compétences, de l'implication de tous et de l'esprit d'équipe qui animent l'ensemble des personnels intervenant sur ce projet. ■

ABSTRACT *The Villy-le-Pelloux toll plaza. A project within the project*

*E. Størksen, D. Buffet, G. Pian, J. Kessler,
M. Bocqueraz*

Located at end south of Northern A41, the turn pike of Villy-le-Pelloux is a vast exchanger (35 ways) which comes in substitution from an existing barrier (17 ways) on the motorway axis A41 existing, in circulation, and transformed to allow the creation of the junction on project A41N. Work proceeds in an environment in exploitation which should not be stopped. Consequently a phasage of execution declined in three principal phases was implemented. This phasage is studied with the maintenance of related circulations (RN, RD) by integrating them into the project. The process of perception and the whole of work are treated by the GIE A41. Particular building site in the motorway building site, the turn pike is delivered key in hands.

RESUMEN ESPAÑOL *El peaje de plena vía de Villy-le-Pelloux. Una obra en pleno centro de la obra*

*E. Størksen, D. Buffet, G. Pian, J. Kessler
y M. Bocqueraz*

Ubicado en el extremo Sur de la autopista A41 Norte, el peaje de Villy-le-Pelloux constituye un importante difusor de tráfico (35 carriles) que sustituye un peaje ya existente (17 carriles) en la autopista A41 existente, en circulación, y transformado para crear la bifurcación en el proyecto A41 Norte. Los trabajos se desarrollan en un entorno en explotación que no se debe interrumpir. En consecuencia se ha puesto en aplicación una planificación de ejecución declinada en tres etapas principales. Esta planificación está estudiada con el mantenimiento de las circulaciones conexas (carretera nacional y departamental) integrándolas en el proyecto. El proceso de percepción y la totalidad de los trabajos están procesados por la GIE A41. Obra particular en la obra de autopista, el peaje está entregado manos en llave.