

Bouclage de l'autoroute A86 à l'Ouest

Réalisation des niches du tunnel EST 1

J-L TORIS, VINCI CONSTRUCTION Grands Projets
P. BONY, EIFFAGE TP

Résumé :

Le tunnel Est 1 est le premier tronçon (long de 4,5 km) du bouclage de l'Autoroute A86 à l'Ouest.

L'article aborde les contraintes de réalisation des 13 niches de désenfumage (une tous les 400 m) et des 18 niches de sécurité avec escalier de transfert (une tous les 200 m).

Toutes ces niches ont été réalisées avec des phasages et techniques spécifiques avec notamment pour 5 d'entre elles (situées dans des terrains sablonneux sous nappe) l'utilisation de la congélation de sol.

Abstract:

The Socatop tunnel (Paris A86 orbital road). Construction of the emergency recesses in the East 1 tunnel

The East 1 tunnel is the first part (4.5 km long) of the A86 motorway link-up in the West.

The article mentions the realisation constraints of the 13 smoke evacuation refuge areas (one every 400 m) and of the 18 interconnecting stairway refuge areas (one every 200 m). All these refuge areas have been executed with specific sequencing and techniques with, in particular, the use of ground freezing for 5 among them (located in sandy grounds under water table).

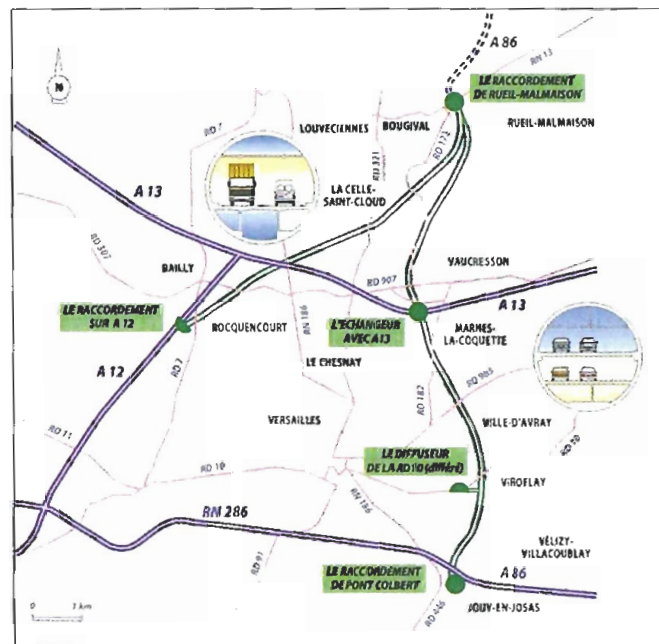


Figure 1
Plan général bouclage A86

Contexte général – Description des ouvrages

Le bouclage de l'autoroute A86 à l'ouest comprend un premier lien constitué par le tunnel Est, tunnel à gabarit réduit, qui sera réservé à la circulation des véhicules légers (VL). D'une longueur de 10 km entre Rueil-Malmaison et Pont Colbert (au sud de Versailles) il comporte un échangeur intermédiaire au PK 4.5 à Vaucresson avec l'autoroute A13. (Figure 1)

L'Etat (Concedant) a confié le financement, la conception, la réalisation et l'exploitation de cet ouvrage à Cofiroute, société concessionnaire, qui a confié à Socatop (Groupement d'entreprises constitué de sociétés du Groupe Vinci,

d'Eiffage et de Colas) la partie conception et construction.

L'aspect innovant de ce projet est lié au fait qu'il intègre dans le même tube les deux sens de circulation de manière superposée (2 voies de circulation + 1 BAU sur chaque niveau) et les deux espaces de ventilation associés (eux-mêmes séparés en deux par une cloison isolant la partie extraction/désenfumage de la partie soufflage /amenée d'air neuf). (Figure 2)

Pour permettre de relier l'espace trafic inférieur à la gaine d'extraction associée, des niches de désenfumage sont disposées tous les 400m du côté Est du tunnel à l'extrados du revêtement de ce dernier. (Figure 3)

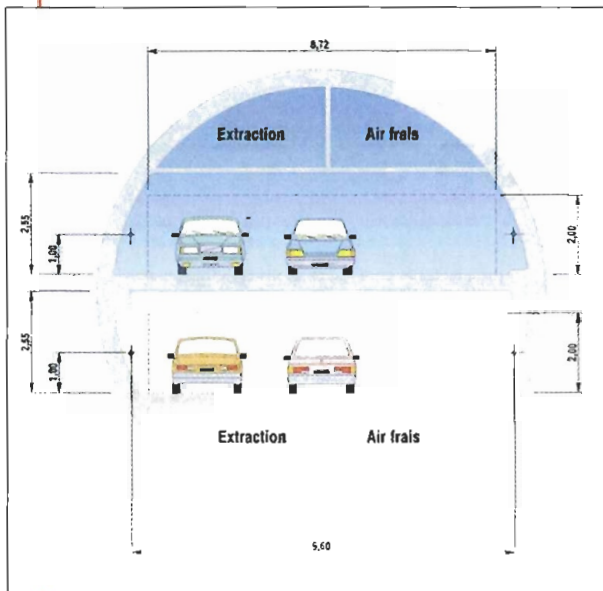


Figure 2 - Coupe type tunnel VL

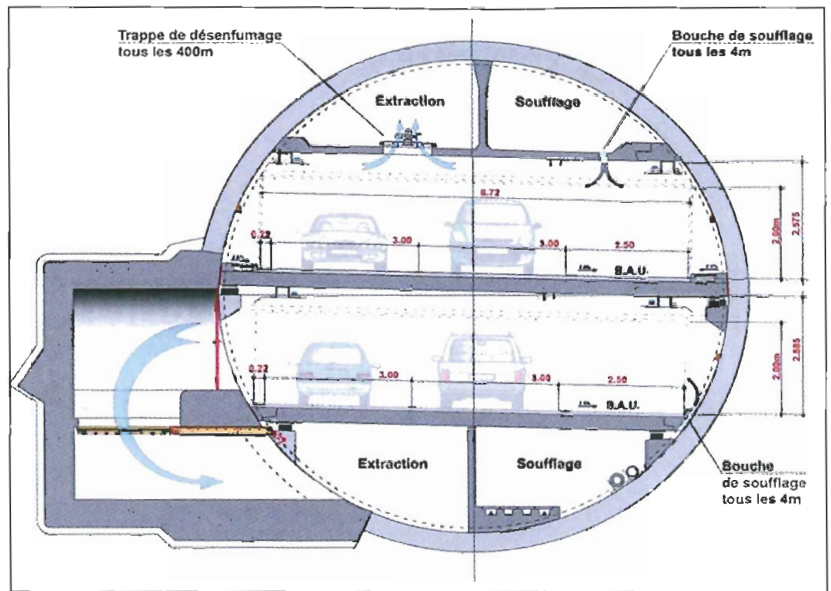


Figure 3 - Coupe tunnel VL au droit d'une ND

Côté Ouest du tunnel, à l'extrados de son revêtement, des niches de sécurité avec escalier de transfert sont réalisées tous les 200m. Elles permettent de relier entre eux les deux espaces trafic, de recevoir côté tunnel les équipements de sécurité (appel d'urgence, borne incendie, extincteur ...), servent de refuge et intègrent les armoires (puissance et commande) des équipements en tunnel. (Figure 4)

Sur le premier tronçon du tunnel Est, entre Rueil Malmaison et Vaucresson, il y a ainsi 13 niches de désenfumage (ND) et 18 niches de sécurité avec escalier de transfert (NSET) à réaliser.

Contraintes de réalisation

La conception des niches (leur nombre, leurs fonctionnalités et donc leurs dimensions) a été perturbée par la prise en compte, en cours de l'étude, des prescriptions complémentaires découlant de l'application de la circulaire tunnel d'août 2000. De ce fait, le démarrage des travaux correspondant est intervenu alors que le tunnel était terminé (excavation et pose du revêtement en voussoirs préfabriqués par le tunnelier) ainsi que la dalle basse. Cette dernière était interrompue au droit de chaque niche afin de permettre la réalisation des parties de ces ouvrages situées

sous la dalle basse, un platelage métallique provisoire étant mis en place afin de maintenir la circulation chantier.

Dans l'organisation et la préparation du chantier, les principales contraintes suivantes ont dû être prises en compte :

- Le chantier des niches représentait 31 ateliers répartis sur 4.5 km (compte tenu des différentes phases de réalisation pour chaque atelier, les différents intervenants pianotaient sur plusieurs niches en cours simultanément)
- La stabilité du tunnel lors de l'ouverture de son revêtement et de l'excavation des niches, ce qui a entraîné des adaptations de la géométrie de celles-ci (ex : les niches de désenfumage étaient dédoublées dans les terrains défavorables) et le découpage de leur réalisation en plusieurs sections.
- La logistique linéaire en tunnel, croisant les différents ateliers de niche en cours de réalisation, la logistique comprenait le trafic lié à l'approvisionnement de chaque atelier en matériaux, consommables, au transport du personnel, aux transferts des matériels, coffrages, installations provisoires –platelages, estacades, ventilation– etc.
- La très grande diversité géologique.

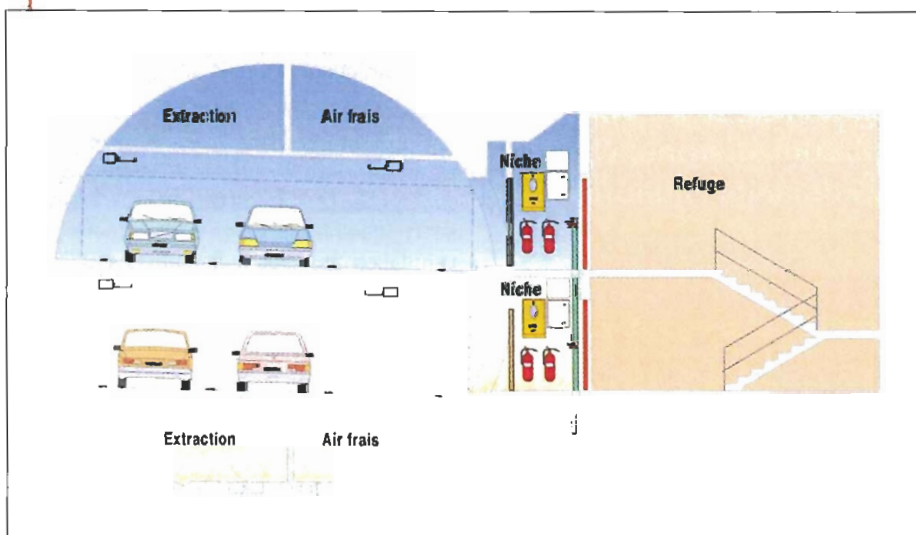


Figure 4 - Coupe tunnel VL au droit d'une NSET



• Confortement du tunnel :

Plusieurs dispositifs de confortement du tunnel ont été mis en place en fonction de la géométrie de la niche à réaliser, du phasage d'ouverture des voussoirs utilisé, et de la localisation géologique. Ont ainsi été mis en œuvre :

- des plots de cisaillement (tube de diamètre 250 mm scellé entre deux anneaux sur une profondeur de 25 cm dans un carottage préalablement réalisé)
- du clouage au terrain du revêtement en voussoir
- des cintres demi-lune
- des cintrages complets du tunnel

• Réalisation de la niche :

Une fois l'ensemble de ces tâches préalables exécutées, les niches étaient réalisées selon le phasage ci-après (Figures 6a et 6b) :

- Installation au droit de la niche : déviation éventuelle des réseaux provisoires/câbles, installation armoires électriques, éclairage renforcé, pose de protections vis-à-vis de ces équipements, montage de l'estacade provisoire d'accès à la demi section supérieure, pose de GBA et barrière pour la protection de l'emprise du chantier.
- Demi-section supérieure : Ouverture du revêtement en voussoir par sciage puis démolition au BRH, excavation /soutènement provisoire de la niche par cintres et/ou boulons, pose de l'étanchéité par l'entreprise ETANDEX (complexe de membranes PVC), revêtement béton (avec réalisation préalable de micropieux dans les cas d'assises insuffisantes) (Figure 6a)

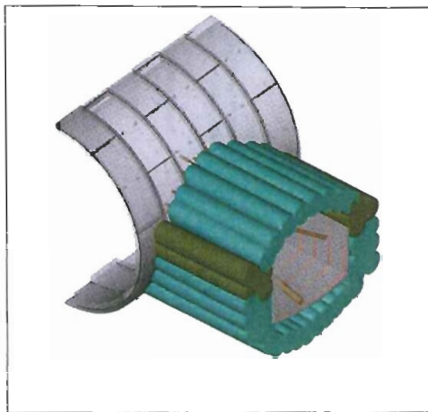


Figure 7 - Plan de tir 3D niche de désenfumage

- Demi-section inférieure : Après repli de l'estacade provisoire et dépose du platelage, réalisation de la demi-section inférieure selon un phasage identique à celui utilisé pour la demi-section supérieure (Figure 6 b)
- Réalisation des structures internes de la niches : cloisonnements, plancher, escaliers
- Dépose du platelage provisoire au droit de la dalle basse et réalisation de la fermeture de la dalle basse.

Cas particulier de la congélation

La congélation a été utilisée pour la réalisation de cinq niches situées pour quatre d'entre elles dans les sables de Fontainebleau et pour la dernière dans les sables d'Auteuil, sous nappe. La granulométrie très fine de ces horizons, la très fai-

ble perméabilité associée et la présence d'eau non circulante nous ont conduits à mettre en œuvre cette technique.

Elle consiste à réaliser une coque de terrain gelé, à la fois résistante et étanche autour du volume à excaver (Figure 7).

Pour ce faire, des forages sous sas (soustraités au Groupement Spie fondations/ Soletanche-Bachy) sont réalisés depuis l'intérieur du tunnel avec un espacement d'un mètre de manière à envelopper le volume de la future niche. Ces forages tubés sont équipés ensuite d'un tube intérieur à travers lequel arrivera la saumure à -30 °C, saumure qui s'évacuera dans l'espace annulaire entre le tube intérieur et le tube extérieur, pour circuler ensuite un groupe froid.

Compte tenu des terrains en place, des excavations à réaliser et des résultats des essais sur échantillons de terrain congelé c'est une épaisseur minimale d'un mètre de terrain congelé à -10°C qu'il fallait obtenir avant d'excaver la niche. L'obtention de ce critère était contrôlée via des thermocouples installés dans le terrain qui permettaient également de suivre l'évolution de la progression des températures et du front de congélation.

En moyenne, une fois le circuit de congélation en place, un délai de 4 à 8 semaines selon la géométrie/volume de la niche était nécessaire pour la mise en froid du terrain et l'obtention de la coque congelée requise. Cette dernière est ensuite maintenue pendant toute la durée de réalisation de la niche jusqu'à la réalisation complète de son revêtement.

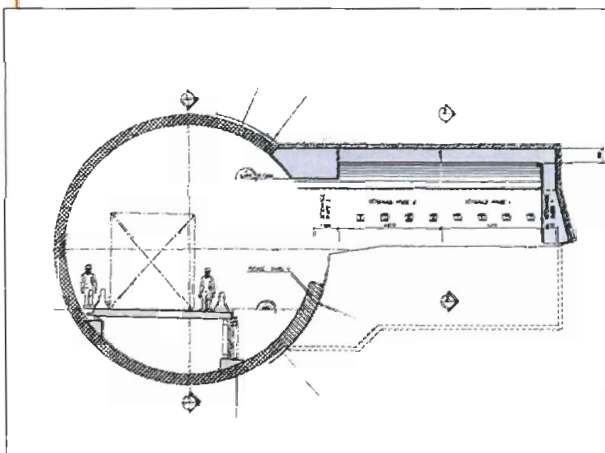


Figure 6a - Réalisation d'une demi-section supérieure

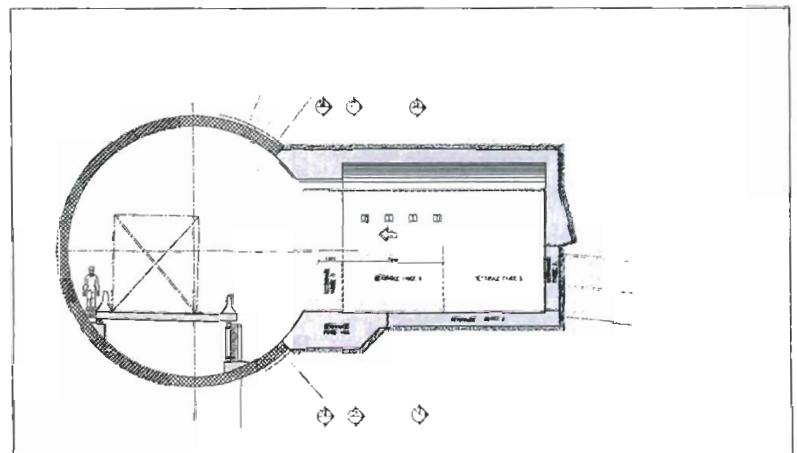


Figure 6b - Réalisation d'une demi-section inférieure

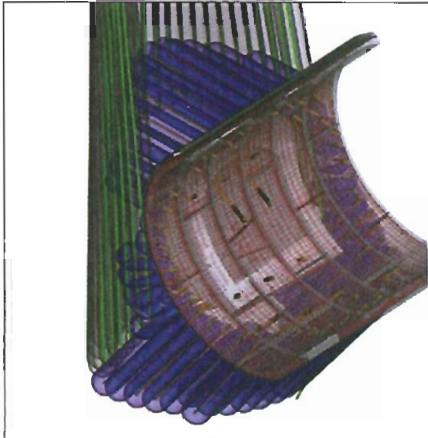


Figure 8 - Tirs en fond de niche depuis la galerie provisoire

La principale difficulté rencontrée dans l'élaboration des plans de tir a résidé dans les contraintes géométriques fortes liées au volume important des niches à réaliser au regard de la section du tunnel. Les conséquences furent les suivantes : positionnement très difficile, des forages en voûte et en radier (respectivement au dessus et au dessous de la niche), l'inaccessibilité pour des tirs venant du tunnel pour fermer la

coque à l'arrière des niches. Une intervention depuis la surface étant impossible, nous avons dû nous résoudre à réaliser une galerie provisoire dite " de traitement " à partir de laquelle des forages verticaux pour la congélation du fond des niches ont pu être réalisés. Cette galerie d'une longueur de 700 m et d'un diamètre intérieur de 3.60m a été réalisée dans les sables de Fontainebleau, depuis un puits d'accès dans les emprises de chantier de l'échangeur A13, 1 mètre au dessus du niveau de la nappe, avec un tunnelier en mode ouvert qui posait un revêtement en cintre et bois. A l'issue de la réalisation des niches cette galerie a été comblée. (Figure 8)

Au niveau équipement, pour la congélation, le chantier s'est doté de 2 groupes de froid de 240 kW et de 2 groupes froid de 70 kW. Ces groupes étaient secourus par des groupes électrogènes et étaient refroidies à l'eau. L'ensemble de la chaîne de production de froid, de son alimentation et les points de mesure de températures et pressions faisait l'objet d'un monitoring continu avec alarmes sur les points critiques. Des équipes de maintenance et/ou de surveillance, en liaison avec les

services d'intervention du fournisseur des groupes froids, ont été mises en place en permanence pendant les phases critiques (excavation en cours) afin de garantir la pérennité de la coque de terrain gelé.

La présence des tubes de congélation dans ces cinq niches a empêché de réaliser une étanchéité en membrane PVC. L'étanchéité a été réalisée à l'aide d'un procédé d'enduit mince, résistant à une contre pression de 200 m d'eau et mis en œuvre par la société ETANDEX en adhérence à l'intrados du revêtement.

Conclusion

La réalisation des niches du tunnel Est 1 fut un chantier dans le chantier, où les enjeux principaux pour tenir la qualité d'ouvrage requise et le planning de réalisation, furent la parfaite maîtrise technique des méthodes utilisées et la coordination et le pilotage serrés des intervenants qui se succédaient sur les nombreux fronts en activité simultanée. Ces objectifs ont été pleinement atteints ce qui a permis une mise à disposition anticipée du génie civil aux équipementiers.

Sur place

SCS avec GSM intégré

- Imprime les valeurs maximales pondérées
- Stocke les signaux
- Alarme sonore/visuelle



A distance

**Alarme:
SMS /e mail**

**Interrogation
du SCS à partir d'un PC**



**Récupération des signaux sur
votre PC:
rapports et décisions rapides**

**Surveillance de l'impact des vibrations
sur l'environnement et les structures**



IDETEC - 15, Lot. Com. Pesquier - 13120 GARDANNE - FRANCE - TEL. 04 42 51 57 13 - FAX 04 42 58 42 29
Vente - Location - Prestation de service - mail : idetec.gardanne@wanadoo.fr - web: http://pro.wanadoo.fr/idetec

TUNNEL DE L'A 86

Réalisation des structures internes du tunnel VL 1

J.L. TORIS

Directeur du secteur VL
VINCI Construction Grands Projets

P.BONY

Responsable des travaux tunnel VL 1
EIFFAGE TP

► TUNNEL DE L'A86. RÉALISATION DES STRUCTURES INTERNES DU TUNNEL VL 1

La construction du premier tronçon (VL 1) du bouclage de l'autoroute A 86 est entrée dans sa phase " génie civil ". Compte tenu des spécificités et originalités du projet, les structures internes de l'ouvrage constituent un chantier très important et de haute technicité.

Cet article présente les 12 ateliers principaux qui se succèdent tout au long du tunnel.

Beaucoup d'entre eux sont à l'image du projet " spécifiques et originaux "

L'article illustre un certain nombre des points évoqués lors de la journée d'information sur l'emploi des bétons en tunnel de Lyon du 8/12/05 et montre bien que, dans ce domaine également, nos entreprises sont à la pointe de l'innovation et du développement.

► THE A86 ROAD-TUNNEL CONSTRUCTION OF THE INNER STRUCTURES OF THE VLI TUNNEL

The first tunnel (VLI) of the A86 Paris outer ring last section has now reached the civil works construction phase. The specificities and originalities of the project make the construction of the inner structures a very large and high-technology jobsite. The authors describe the 12 main work units proceeding along the tunnel, most of them being as "specific and original" as the project itself. The paper illustrates some of the topics presented during the information session held in Lyon (8/12/2005) on the use of concrete in tunnels and shows that, in that field too, our contractors use the most advanced and innovative technologies.

1 - LE PROJET, SON CALENDRIER ET SES PHASAGES

Le bouclage de l'autoroute A 86 autour de Paris se décompose en deux ouvrages :

- un tunnel " VL " (véhicules légers) ou " tunnel Est " de 10 km
- un tunnel " TT " (tout trafic) ou " tunnel Ouest " de 7 km

A ce jour, seuls les travaux du tunnel VL sont en cours

Ils se décomposent eux-mêmes en deux sections :

- VL 1 sur 4.5 km (entre l'A 86 à Rueil et l'autoroute A 13 à hauteur de Vaucresson)
- VL 2 sur 5.5 km (entre l'A 86 à hauteur de " Pont Colbert " et l'A 13)

La section VL 1 sera mise en service en octobre 2007 et la section VL 2 fin 2009.

Le tunnelier a achevé le creusement du tunnel VL 1 le 14 octobre 2003 (et a repris sa course sur VL 2 mi-2005).

Les travaux de réalisation des 31 niches de sécurité et des 4 puits de secours et ventilation de VL 1 se terminent au printemps 2006.

Parallèlement, la phase principale de construction du génie civil intérieur du tunnel (dit : " structures internes ") a démarré début 2005. C'est à cette phase du chantier qu'est consacré cet article.

2 - L'ORIGINALITÉ DU TUNNEL VL : 1 OUVRAGE... MAIS 3 CHANTIERS !

Généralement, dans les ouvrages souterrains, une fois la " percée " réalisée l'essentiel est fait. Il peut y avoir quelques ouvrages annexes, des bétons de plate-forme, voire

une ou deux dalles et cloisons, mais cela représente (ou est considéré comme tel) peu de choses par rapport au creusement et revêtement principal du tunnel.

Il n'en est pas de même pour le tunnel VL du bouclage de l'A 86 :

- L'exécution des niches et puits implantés tout au long de l'ouvrage constitue déjà un deuxième chantier à part entière. Par leur nombre, leur importance et la diversité des terrains dans lesquels ils étaient à réaliser, ces ouvrages ont mobilisé des moyens et une énergie tout à fait comparables à ceux mis en œuvre pour le creusement du tunnel au tunnelier.
- Le génie civil intérieur à réaliser dans l'ouvrage est tout aussi exceptionnel. Le tunnel étant à 2 niveaux de circulation superposés, c'est donc en fait 2 " génies civils " qu'il faut exécuter à l'intérieur d'un seul tube. Un challenge supplémentaire consiste en outre à réaliser une section " véhicules légers " sur un linéaire important avec des moyens qu'il est difficile de rendre toujours " légers ".....

La construction de l'ouvrage aura donc bien vu se succéder (et souvent se superposer) 3 chantiers :

- Le creusement au tunnelier
- La réalisation des niches et puits
- Le génie civil intérieur du tunnel

On pourrait en ajouter un quatrième : les chaussées et équipements. Ce ne sera pas le moins exceptionnel et impressionnant.

3 - LES STRUCTURES INTERNES DU TUNNEL : LA COUPE TYPE

On se référera à la coupe jointe en fig 1.

Le tunnel est divisé en 6 sections :

- 2 espaces " trafic " (de 25 m² chacun environ)

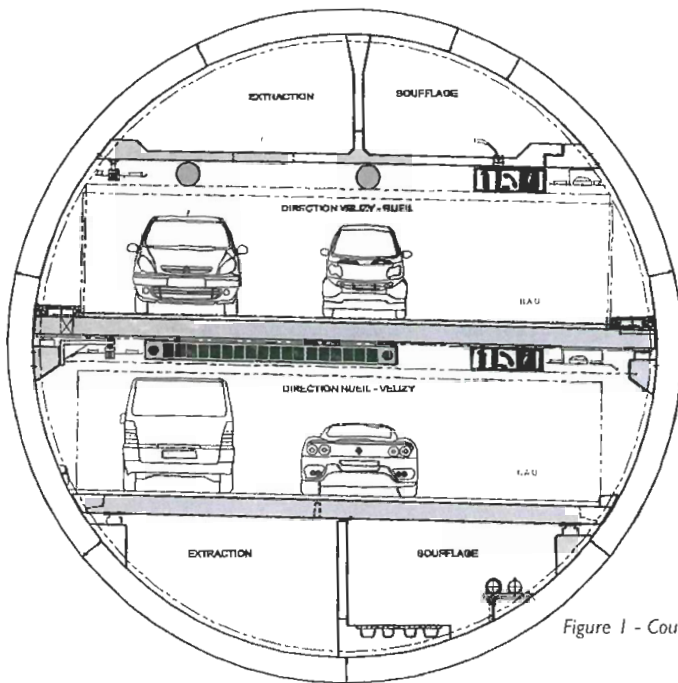


Figure 1 - Coupe type de tunnel

- 1 " gaine d'air frais " et 1 gaine " d'extraction " pour chacun des 2 espaces (de 6 m² chacune environ)

On a donc à construire 3 dalles et 2 cloisons :

- 1 dalle basse sur laquelle s'écoulera le trafic de l'espace inférieur (mais dimensionnée pour les circulations " lourdes " en phase chantier). Elle fait 30 cm d'épaisseur et a une portée de 7.70 m entre appuis
- 1 dalle médiane servant de plafond à l'espace trafic inférieur et de dalle de roulement pour l'espace trafic supérieur. Elle fait 30 cm d'épaisseur et a une portée de 10 m environ entre appuis
- 1 dalle haute servant de plafond à l'espace trafic supérieur. Elle fait 15 cm d'épaisseur pour une portée de 8 m environ
- 1 cloison basse séparant sous dalle basse les gaines de ventilation de l'espace trafic inférieur. Elle fait 15 cm d'épaisseur et environ 2 m de haut
- 1 cloison haute séparant de même les gaines de ventilation de l'espace trafic supérieur. Elle fait également 15 cm d'épaisseur pour environ 2 m de haut

La réalisation de ce génie civil nécessite l'exécution préalable de scellements, décapages de surface, longrines ou corbeaux, ouvrages d'appuis.

Le génie civil principal est également complété d'éléments fonctionnels variés : radier-caniveau dans la gaine d'air frais inférieure, bordure latérale et bute-roues dans l'espace trafic inférieur, caniveaux électriques dans l'espace trafic supérieur.

Pour 1 m linéaire de tunnel en section courante, les ratios ressortent à 40 m² de surfaces coffrées et 7.5 m³ de béton.

4 - LES CONTRAINTES PARTICULIÈRES : TOLÉRANCES, QUALITÉ, CALCULS AU FEU, CYCLES ET CONDITIONS DE BÉTONNAGE, PHASAGES

La mise au point des méthodes s'est trouvée confrontée aux contraintes habituelles aux travaux en tunnel liées principalement à la

linéarité de l'ouvrage. Celles-ci sont augmentées singulièrement ici par l'obligation de devoir travailler, in fine, dans un long tunnel uniquement desservi par des véhicules légers.

Ces aspects sont illustrés par les photos fig.2 et fig.3

D'autres contraintes spécifiques ont cependant dû être prises en compte :

- **Tolérances géométriques** : les gabarits des différents espaces ont été optimisés et calculés " au plus juste ". Le respect de ces gabarits est donc impératif et les tolérances très faibles.

Pour les dalles des espaces trafic, par exemple, la chaussée mise en œuvre faisant 57 mm au total en 3 couches de moins de 20 mm, les possibilités de rattrapage altimétrique sont donc minimes.

La tolérance altimétrique sur les dalles ressort donc à + ou - 10 mm.

- **Qualité** : l'Etat doit récupérer, à l'issue de la concession, dans 70 ans, un ouvrage en parfait état. Autant dire que le niveau de qualité exigé est élevé.

Des contraintes architecturales, sont également à prendre en compte : aspect lisse et filant des corbeaux, sous-faces des dalles non peintes et donc aspect soigné et lisse demandé...

- **Calculs de tenue au feu** : inutile de préciser que les aspects " risque incendie " sont omniprésents dans la conception et les études du projet.

Les contraintes qui en découlent se retrouvent à différents niveaux : définition des bétons, prise en compte des déplacements des différentes structures sous condition de

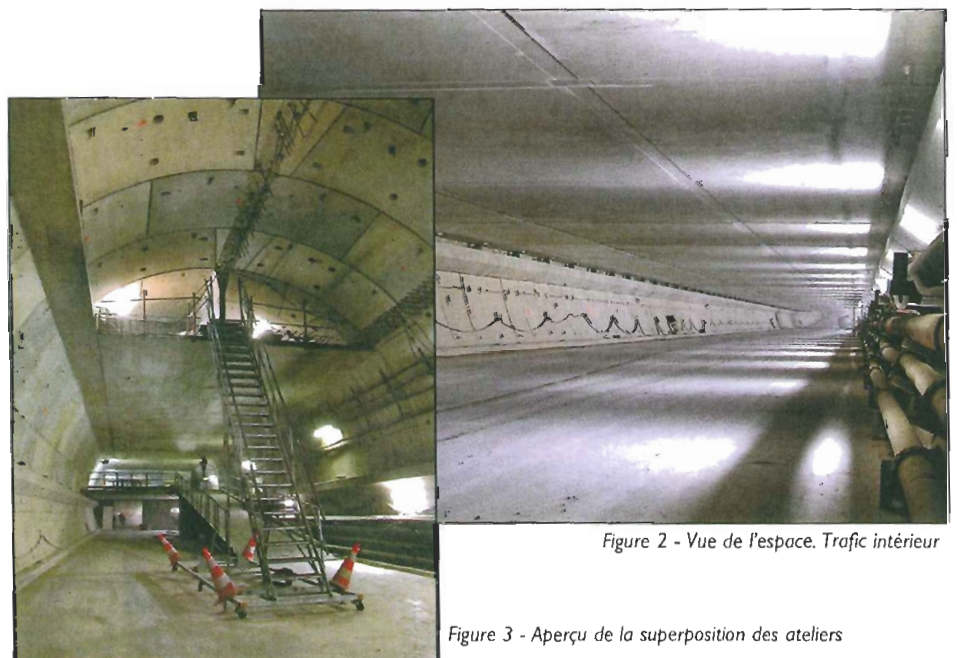


Figure 2 - Vue de l'espace. Trafic intérieur

Figure 3 - Aperçu de la superposition des ateliers

feu (d'où un joint entre espaces de ventilation inférieurs très performant par exemple), nécessité d'encastrier en 2 points la structure supérieure...

- **Cycles et conditions de bétonnage** : la mise au point des formulations de béton a relevé du " casse-tête ". Les bétons devaient être performants (une majorité de B 50), être résistants aux conditions agressives, atteindre des résistances élevées à très court terme mais conserver une bonne ouvrabilité, voire être auto-plaçants...

L'aide du laboratoire du chantier et des experts internes des sociétés du groupement a été précieuse dans ce domaine et a permis une mise au point rapide de formules performantes.

- **Phasages** : un autre aspect a dû être pris en compte dans le choix des méthodes : la capacité de démontage / transfert / remontage des outils.

En effet les délais découlant des travaux de réalisation des niches dans les terrains sableux sous nappe (avec congélation) n'ont pas permis au chantier d'organiser les ateliers des structures internes en une phase linéaire d'une extrémité à l'autre du tunnel. Il a fallu démarrer du Pm 3300 vers le Pm 0 et repartir du PM 3300 vers le PM 4500.

Le dernier tronçon de chantier n'est, en outre desservi que par un puits et une trémie dans la tranchée de l'unité de ventilation de l'échangeur avec l' A 13.

5 - LES DIFFÉRENTS OUTILS ET ATELIERS

Le " train " des différents ateliers de préparation et réalisation des structures internes constituerait, même en resserrant les postes au maximum, un chantier de plus d'un kilomètre.

Le respect des cadences imposées par le planning nécessite, par exemple, de disposer de 120 ml de coffrages pour la dalle haute...

Nous allons parcourir les différents ateliers par " ordre d'entrée en scène ".

5.1 - La dalle basse

La dalle basse a été réalisée derrière le train suiveur du tunnelier (dalle utilisable 300 ml environ derrière le tunnelier)

Les travaux préparatoires (traçage, décapage de surface, forages et scellements des aciers d'accrochage des longrines) ont été exécutés depuis une remorque dédiée située en neuvième et dernière position du back-up du tunnelier.

Un coffrage outil métallique (fourniture : PERI) de 60 ml de long environ permettait la réalisation des longrines latérales, des bosages d'appui et le clavage latéral et longitudinal des éléments de dalles préfabriqués.

Ces pièces préfabriquées sur site (en travaux propres) ont une longueur de 2.67 m (suivant l'axe longitudinal du tunnel), 8m de large et pèsent près de 16 tonnes.

Leur mise en place, ainsi que l'approvisionnement des différents postes de travail du coffrage étaient assurés par un portique de manutention (fourniture INGERSOLL) circulant sur des rails fixés aux voussoirs.

Le recyclage de ces rails et l'approvisionnement de la zone amont de l'atelier étaient faits au moyen d'un portique auto-moteur roulant sur les voussoirs (fourniture : TECHNIMETAL)

L'objectif était de réaliser au plus tôt cette dalle pour permettre le lancement des ateliers " niches " et " structures internes " pendant la poursuite du creusement, l'espace sous dalle étant réservé aux approvisionnements du tunnelier, l'espace sur dalle à la logistique des ateliers niches et structures internes.

5.2 - Le traçage

La topographie et le traçage constituent des étapes importantes de ces travaux.

Le tunnel " tel que creusé " a été relevé dès la sortie du train suiveur par les géomètres du chantier. Si nécessaire la " ligne rouge " du projet a été recalée pour optimiser le respect des contraintes géométriques de l'ouvrage et les gabarits mini en prenant en compte les éventuels errements centimétriques du tunnelier et des voussoirs.

Cette ligne rouge optimisée sert alors de référence pour les implantations du génie civil.

Il convient donc de tout implanter et tracer en référence à cette ligne rouge ; il n'est en effet

pas question de repartir des voussoirs dont les tolérances en roulis et position sont incompatibles avec la précision visée pour les ouvrages des structures internes (centimétrique)

Ces implantations ont été réalisées en amont pour l'ensemble des dalles et cloison par une équipe d'une dizaine de géomètres et traceurs équipés de divers modèles de nacelles.

5.3 - Le radier et la cloison basse

Cet atelier a été lancé le premier pour des raisons de planning. En effet la gaine d'air frais sert également de galerie technique pour les réseaux d'exhaure et incendie ainsi que pour l'alimentation électrique et le réseau de fibres optiques de l'ouvrage.

La forme de 4 caniveaux et la cloison ont été coulées au moyen de 2 coffrages outils de 24 ml chacun (fourniture BERNOLD).

L'approvisionnement du béton (auto-plaçant pour la cloison) est réalisé avec une logistique située sur la dalle basse par l'intermédiaire de passages faits dans la dalle basse pour le passage des conduites à béton.

Les caniveaux sont couverts de 36 000 dallettes préfabriquées (fourniture ABM).

Autant dire qu'il a fallu mécaniser leur approvisionnement sous dalle...

D'une manière générale, cette zone de travail exigüe, à la géométrie peu commode et à l'accès difficile aura consommé de nombreuses heures de travail de manutentions et nettoyage.

Les photos fig.4 et fig.5 illustrent " l'ambiance " de cet atelier et de cette partie d'ouvrage

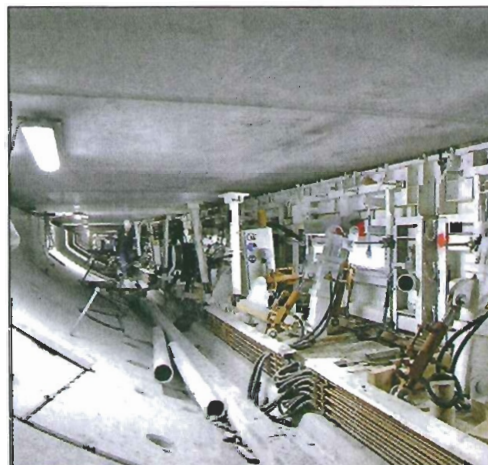


Figure 5
Gaine d'air frais sous dalle basse
avec caniveaux et dallettes

Figure 4 - Coffrage de la cloison basse

5.4 - La foration pour les scellements

Le problème à résoudre était une nouvelle fois à l'échelle du projet : 5 liaisons ouvrages/voussoirs pour les structures supérieures soit environ 120 000 forages à réaliser pour 4.5 km de tunnel.

Les solutions " manuelles " ont été vite écartées !

La solution " portique " bien que présentant des avantages n'a pu être retenue compte tenu des contraintes de réalisation discontinue (en " sautant " certaines zones et en ayant donc à faire des aller-retours dans le tunnel).

C'est donc finalement une solution "jumbo " qui a été choisie.

En effet, certains d'entre nous ayant fréquenté des tunnels creusés à l'explosif, nous avons pris l'option de " détourner " de son habituel usage un jumbo ROBOFORE 3 bras (fourniture ROBODRILL) pour réaliser ces forages.

Les glissières ont été conservées mais équipées de " petits " marteaux perpendiculaires à celles-ci pour effectuer les forages de 35 cm de profondeur.

Les fonctions " plans de tir " du ROBOFORE se sont avérées fort utiles pour prédéterminer les différents cas de figure à traiter suivant le roulis variable des anneaux, le type de voussoir rencontré (standard, contre-clé, clé) et donc son ferrailage.

Ce matériel s'est montré performant et précis mais parfois un peu lourd (42 tonnes) pour certaines zones spécifiques de la dalle basse (platelages métalliques ou dalles incomplètes au droit des niches à franchir). Il a donc fallu remplacer ses roues avant par des " rollers " répartiteurs de charges.....

De quoi dérouter certains vieux mineurs travaillant dans les niches ! (voir photo fig.6)

5.5 - Le rabotage

La tâche consiste à redonner aux parements glacés du tunnel la rugosité nécessaire à une bonne reprise au niveau des liaisons voussoirs / structures internes.

Il y avait donc 5 fois 4500 m de " bandes " de 40 à 60 cm de large à raboter sur 1 à 2 centimètres en créant des rugosités de l'ordre de 5 mm.

Pour les mêmes raisons que pour les forages (besoin de mobilité), c'est une solution " fraise sur porteur " qui a été retenue.

Après analyse des contraintes, il a fallu renoncer à trouver un engin " catalogue " et se résoudre à faire construire une machine spécifique.

Une pelle FIAT HITACHI EX 215 sur chenilles de 20 tonnes, suffisamment stable pour supporter l'ensemble de rabotage de 2.5 tonnes et ses efforts dynamiques, a été choisie comme porteur.

Un bras télescopique multi-directionnel a été fabriqué par TECHNIMETAL pour permettre l'approche radiale du bâti de fraisage en tout point du tunnel.

Un ensemble bâti avec glissières de 2.20 m (pour raboter un voussoir sans déplacement de la pelle), lasers d'implantation, réglages fins et fraise à tambour SIMEX a été construit par WITECK.

L'ensemble de la machine a été monté chez TECHNIMETAL et finalisé et mis au point sur site avec les différents intervenants.

On peut voir cette machine sur la photo fig.7

5.6 Les scellements

Ayant à réaliser 120 000 forages, il fallait bien se résoudre à avoir à faire 120 000 scellements...

Malheureusement, la mécanisation de cette tâche avec le niveau de qualité requis ne nous est pas apparu possible et c'est donc manuellement à partir de nacelles que les scellements ont été réalisés.

5.7 - Les corbeaux

Il s'agit de réaliser les 3 corbeaux des dalles supérieures :

- 2 corbeaux de la dalle médiane
- 1 corbeau pour la dalle haute

Pour les 2 autres contacts (dalle haute et cloison haute), il s'agit d'encastresments. Ils sont donc coulés avec la dalle et la cloison.

Cet atelier est le premier de la "série portique ou trains de tables " .

Les équipes du chantier l'ont d'ailleurs baptisé ATTILA car devant lui, il fallait faire place nette !

Il s'agit d'un coffrage outil métallique motorisé de 24 ml permettant le coulage quotidien de 24 m des 3 corbeaux (cf. photo fig.9a). Il a été fourni par la société SIMPRA.

Les bossages d'appui de la dalle médiane sont coulés en deuxième phase après décoffrage et translation du coffrage.

Les appuis néoprène sont mis en place en suivant.

5.8 - Le ferrailage de la dalle haute

L'atelier suivant est la réalisation de la dalle et de la cloison haute.



Figure 6 - Forage au RoboFore pour scellement des attentes



Figure 7 - Raboteuse pour reprise de la surface des voussoirs



Figure 8 - Portique de ferrailage baptisé Popeye

Afin de limiter les interfaces et donc de fiabiliser les cycles de coffrage et bétonnage, il a été décidé de dissocier le poste de ferrailage.

Celui-ci est donc mis en place entre l'atelier des corbeaux et l'atelier de coffrage de la dalle haute par un portique de ferrailage surnommé POPEYE, (cf. photo 8) à cause de son bras "musclé".

Les éléments préfabriqués en surface sont déchargés par ce bras depuis les remorques de transport et positionnés sur la table de ferrailage.

L'assemblage est assuré par les ferrailleurs sur la table. La ferraille est ensuite suspendue à la voûte du tunnel par des palans fixés aux inserts des voussoirs.

Ce portique a été fabriqué par RB PIM.

5.9 - La dalle haute

C'est l'atelier le plus spectaculaire : 5 jeux de 24 ml de tables de coffrage soit 120 ml de long ! La photo fig.9 illustre bien l'ampleur de l'atelier.



Figure 9 - Coffrage de la dalle haute



Figure 9a - Coffrage des corbeaux



Figure 9b - Coffrage voile

Ce nombre important de coffrages est rendu nécessaire par les contraintes de résistance à atteindre pour pouvoir décentrer les tables : pour la dalle elle-même, mais surtout pour la cloison coulée 2 plots derrière la dalle.

La dalle est mince (15 cm) mais dotée de sur-épaisseurs au niveau de son appui sur le corbeau ouest et de son encastrement côté est. Une amorce est également coulée avec la dalle pour la jonction avec la cloison haute.

Le recyclage des tables s'effectue par éléments de 12 m. Il est réalisé à l'aide d'un chariot automoteur permettant le décoffrage, le transfert sous les tables en place et le recoffrage en aval des tables de coffrage.

Les tables prennent appui sur les corbeaux de la dalle médiane et non sur la dalle basse pour cause de vibrations sur cette dernière, au passage des toupies à béton desservant la dalle médiane, incompatibles avec une prise correcte du béton.

Les tables de coffrage ont été fabriquées par SIMPRA et le chariot (dénommé HERCULE !) par TECHNIMETAL.

5.10 - La cloison haute

Cet atelier vit caché sur la dalle haute. La cloison haute est réalisée par plots de 24 m à l'aide d'un coffrage outil motorisé unique translaté tous les jours sur le béton de la dalle haute.

La cloison haute est coulée sur le plot de dalle haute de l'avant-veille (il y a donc 1 plot d'écart entre les 2 ateliers).

Le béton mis en œuvre est un béton auto-plaçant. La principale difficulté de cet atelier est la réalisation d'un bon clavage du plot, particulièrement dans les zones de pente à 4.5%.

En sécurité un tuyau permettant une injection de coulis (ou le contrôle du bon clavage) est mis en place au contact du voussoir en clé.

La situation " en voûte " de cet atelier, avec une faible largeur de hauteur supérieure à 1.75m, rend le poste de travail peu confortable (voir illustration photo fig.10)

Le coffrage a été fourni par RB PIM



Figure 10 - Vue de la gaine d'extraction supérieure et de la cloison haute

5.11 - La dalle médiane

C'est le dernier " grand atelier " des structures internes.

Cette position en bout de chaîne n'est évidemment pas un hasard : au-delà, l'ouvrage est parvenu à sa géométrie définitive, c'est-à-dire réservé aux véhicules légers.

Tous les bétons à réaliser ensuite (caniveaux, clavages de dalles, rebouchages de trémies....) seront à faire avec des moyens (toupies à béton par exemple) respectant le gabarit de 2.15m de haut.

Le pas de réalisation est le pas " standard " de 24 m / jour

L'option a été prise de ne pas réaliser la dalle en pleine largeur. L'un des arguments principaux a été de ne pas couper tout accès personnel, à ce niveau, par un plot de 24 m en cours de coulage ou de prise. Cette solution facilitait en outre le dégagement maximal d'un " corridor " central de circulation " VL " à travers l'atelier.

La réalisation de " banquettes " latérales en première phase offrait de plus l'avantage de créer de meilleurs postes de travail pour la réalisation du " gros " plot central.

L'idée retenue est de disposer de 5 plots (soit 120 m) de coffrages de banquettes, plus

larges que les 2 banquettes latérales à réaliser pour faire également office d'étais de rive pour la partie centrale.

Cette partie centrale est coulée en partie sur les bords des tables de rives et sur un jeu de 3 tables centrales de 8 m recyclées à chaque coulage. Ces tables sont décintrées lorsque la résistance prévue à la note de calcul est atteinte et la dalle repose alors pour la fin de sa montée en résistance sur les 2 séries de tables de rive.

Les différentes tables ont toutes un pas de 8 m. Il faut donc 6 tables pour faire un plot de 24 m de 2 rives et 3 tables pour couler un plot central (un seul jeu de 3 tables déplacé tous les jours). Une fois en place, les tables centrales permettent le passage des véhicules légers.

Les plots de rives et de centre sont coulés avec un plot de décalage (entre autres, pour ne pas solliciter les aciers en attente d'un plot de rive " frais " lors du ferrailage de la partie centrale).

Les tables ont été fournies par SIMPRA et le transporteur multi-directionnel de tables (sur-nommée ARIANE du fait de ses nombreuses navettes) par TECHNIMETAL.

Les photos des fig.11 et 12 présentent deux phases de cet atelier.

5.12 - Les ateliers de VRD

En arrière de ces ateliers, il reste quelques tâches " annexes " à réaliser :

- Bordure latérale avec inserts de soufflage sur dalle basse
- Bute-roue (préfabriqué) sur dalle basse
- Caniveaux électriques sur dalle médiane (des 2 côtés)
- Clavages finaux des tronçons de dalles et recalage des appuis après achèvement des phases de retrait (les dalles sont, en effet, continues sur 4.5 km)
- Rebouchage des trémies d'approvisionnement des équipements
- Mise en place des joints de calfeutremments (haut de cloison basse, bords des dalles)

Il restera en outre à réaliser début 2007 les chaussées claires des espaces trafic.



Figure 11 - Préparation pour un bétonnage d'un plot central de dalle médiane

Cette chaussée est à exécuter en 3 couches d'une épaisseur totale de 57 mm dans un espace de 2.15 m de haut. Encore un challenge à relever...

6 - CONCLUSIONS : LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES, LES RÉSULTATS OBTENUS ET LES PERSPECTIVES POUR LA SUITE DU PROJET

On peut mesurer à la lecture de ce qui précède l'ampleur de cette partie de chantier.

Moins médiatique que la progression du tunnelier, la réalisation des structures internes n'en a pas moins nécessité une forte et rapide mobilisation de moyens. Les effectifs dédiés à ces travaux sont d'environ 250 personnes en production et une cinquantaine de personnes pour les services généraux (mécanique, électricité, centrale à béton). C'est donc sensiblement plus que pour le tunnelier.

Cette mobilisation a dû être très rapide puisque 6 mois seulement se sont écoulés entre le lancement du premier atelier et du dernier.

Les 2 " gros " ateliers des dalles haute et médiane ont en outre été démarré pendant la période des congés d'été.

Cela s'est traduit par des montages et démarrages moins rapide qu'espérés. Par contre les montées en cadence ont été très satisfaisantes et tous les ateliers ont atteint en quelques semaines (moins de 2 mois) leur vitesse de croisière de 24 m / jour.

Il ne suffit pas, par ailleurs, de réussir indépendamment une douzaine d'ateliers, échelonnés dans le tunnel, il faut les coordonner et les " faire vivre ensemble ".



Figure 12 - Bétonnage d'un plot de dalle médiane

L'option a consisté à passer en 3 postes, 5 jours par semaine et à synchroniser les ateliers principaux :

- Matin : fin de recyclage, réglage des coffrages et fin des ferrailages
- Après-midi : bétonnages
- Nuit : prise du béton, ferrailage et début des recyclages

La réussite de cette montée en cadence doit beaucoup à la compétence et à l'efficacité de l'encadrement mis à la disposition du chantier par les entreprises du groupement. Celui-ci a su constituer des équipes performantes à partir de personnel d'origines très variées et souvent néophytes dans ce genre de tâches (il est vrai, peu courantes).

Quelques adaptations et équipements spécifiques se sont avérées nécessaires :

- Améliorations diverses sur les engins prototypes (Robofore pour perçages, raboteuse)
- Fourniture d'un jeu de tables centrales télescopiques pour la dalle médiane pour donner plus de latitude de décoffrage en période hivernale
- Equipement de la centrale à béton pour la rendre " tous temps " et permettre le coulage des 170 m³ quotidiens quelque soit la température extérieure et l'obtention des résistances au décoffrage (température de sortie centrale du béton garantie)
- Ajout de dispositifs d'étuvage et de cure sur tous les ateliers sensibles afin de sécuriser les montées en résistance des bétons.
- ...

L'année 2006 verra la fin du génie civil du tunnel VL1 avec des outils rodés et performants et des équipes complètement opérationnelles.

Tous les ateliers réalisent régulièrement 24 ml/jour, permettant ainsi de tenir les cadences moyennes " objectif " fixées à 100 ml / semaine.

Ces ateliers seront ensuite démontés et transférés sur le tronçon VL2 où le creusement du tunnelier et la réalisation de la dalle basse sont déjà en cours.

Ces outils seront adaptés aux contraintes propres de ce nouveau chantier en terme de phasages de réalisation.

Avec l'expérience acquise sur VL 1 et la capacité d'adaptation et d'innovation des hommes de nos entreprises, gageons que les objectifs seront également atteints.

INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Cofiroute

Maître d'œuvre : Groupement Socatop

Entreprises : Groupement Socatop
(Vinci VCGP, GTM GCS,
Eurovia, Eiffage, Colas)