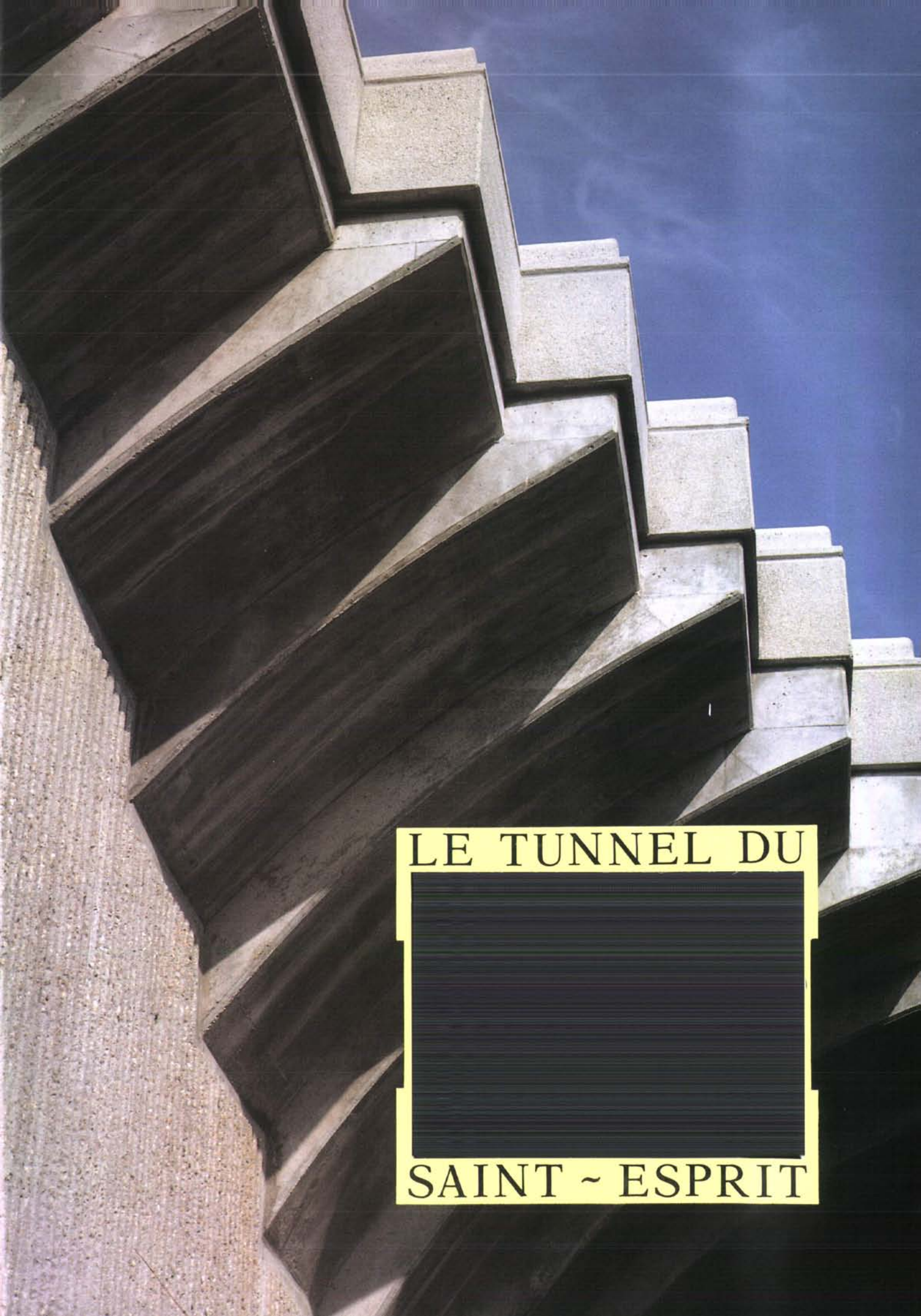
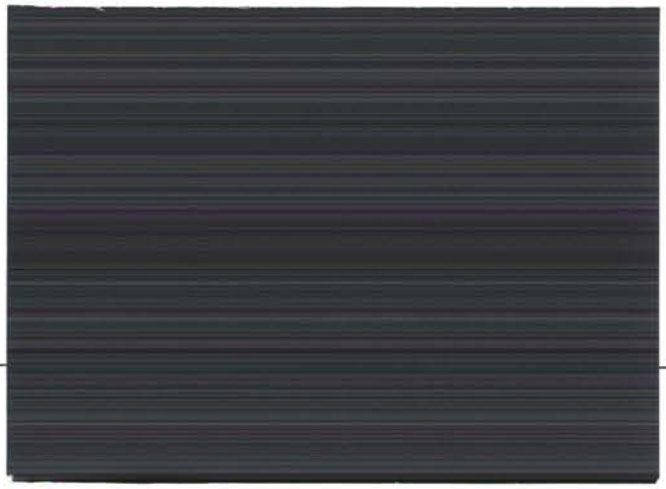


LE TUNNEL DU SAINT ~ ESPRIT

Brochure éditée par le Ministère des Travaux Publics et par la Ville de Luxembourg
à l'occasion de l'ouverture du tunnel du Saint-Esprit le 18 juin 1988,
en présence de S.A.R. le Grand-Duc Jean.



Photos: René Biwer
Marc Kalbusch
Raymond Reuter
Georges Schuster

Mise en page: Ponts et Chaussées

Impression: Imprimerie Joseph Beffort Luxembourg

Par la loi du 2 décembre 1980 le législateur a modifié la loi du 16 août 1967 ayant pour objet la création d'une grande voirie de communication et d'un fonds des routes pour autoriser le Gouvernement à procéder à la construction d'une liaison souterraine entre le Viaduc et la Côte d'Eich à Luxembourg.

Réclamé de longue date, le projet afférent fait partie intégrante d'un programme global qui, outre la réalisation du contournement de la Ville de Luxembourg, prévoit au profit de cette dernière des mesures complémentaires telle que la construction de la rocade de Bonnevoie racccordée par l'échangeur de Gasperich à la grande voirie de l'Etat.

Le tunnel du Saint-Esprit ne constitue dès lors qu'un maillon d'une chaîne qu'il importera de boucler en vue de la réalisation d'un réseau routier cohérent, efficace et performant.

Telle est la vocation primordiale que le Gouvernement a attribué à cet ouvrage.

Subsidiairement le tunnel du Saint-Esprit – qui a pu être réalisé sans impact majeur sur les milieux urbain et naturel – remplira dès à présent une fonction de dégagement des rues et ruelles de la vieille ville.

Dès son ouverture à la circulation, le tunnel permettra la mise en oeuvre d'un programme de restauration et de revalorisation que le Gouvernement se propose d'effectuer dans l'intérêt de la conservation du patrimoine de l'Etat au coeur même de la capitale.

Dans ce contexte je mentionnerai notamment la restauration des façades du Palais grand-ducal et de la Chambre des Députés, projet qui pourra enfin être entamé après la fermeture à la circulation de la rue du Marché-aux-Herbes.

En ma qualité de membre du Gouvernement chargé des travaux publics, je m'en voudrais partant de ne point adresser tous mes remerciements et félicitations à tous ceux qui ont contribué à la construction de cet ouvrage astucieux dans sa conception, remarquable dans sa réalisation et, comme je l'espère, fidèle à sa vocation.

Marcel Schlechter
Ministre des Travaux Publics

L'ouverture du tunnel du Saint-Esprit constitue la réalisation d'une idée qui a eu sa genèse il y a des années et qui ne manquera pas de marquer d'une façon déterminante le flux de la circulation à travers la Ville. Ce tunnel est une étape de plus parmi les mesures susceptibles de maîtriser le transit du centre ville.

Si la construction du pont Adolphe et aussi celle du pont Grande-Duchesse Charlotte ont contribué, chacune à son époque, à l'expansion de la Ville, la première plutôt dans le but de répondre aux nécessités découlant d'un éclatement jusqu'alors sans pareil de l'agglomération urbaine suite au démantèlement de la forteresse, la seconde, pour préparer l'accueil sur notre territoire des institutions européennes, le tunnel du Saint-Esprit, pour sa part, est destiné à jouer un rôle tout autre, certes non moins important. Sa présence ouvrira, en effet, de nouvelles perspectives pour l'épanouissement des secteurs centraux de la Ville:

- le décongestionnement de la ville-haute et de la vieille ville en premier lieu permettra d'envisager l'aménagement de nouvelles aires pour piétons en y incorporant notamment les vieux quartiers, de restaurer les sites et bâtiments historiques, de rendre au secteur sa dimension humaine;
- le passage d'une partie importante du trafic sous la Ville assurera un écoulement plus fluide de la circulation en général, non seulement au niveau purement urbain, mais également au niveau inter-quartiers ou même régional.

Au nom de mes concitoyens, au nom des visiteurs de la Ville que leurs occupations ou leurs loisirs amènent chez nous, et en mon nom personnel, j'ai à coeur de féliciter et de remercier sincèrement tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à la planification et à la réalisation d'un projet qu'il n'est pas difficile de qualifier d'extraordinaire. Nous disposerons dorénavant, avec cet ouvrage magnifique doté par ailleurs des équipements de service et de sécurité les plus modernes, d'un outil indispensable à la bonne gestion de notre chère capitale.

Lydie Wurth-Polfer
Bourgmestre de la Ville de Luxembourg

La FonctioN

Depuis de longues années, spécialistes du pays et de l'étranger, qui se sont occupés des questions de la circulation de la Ville de Luxembourg, ont conclu à la nécessité de compléter le réseau des axes routiers des secteurs centraux de la ville, à savoir le boulevard Royal, l'avenue de la Liberté, la place de la Gare, l'avenue de la Gare (plus tard la rocade de Bonnevoie) et la Côte d'Eich, par une jonction se situant à l'est de la ville-haute.

Ce concept ayant été partagé par les autorités nationales, la construction d'une liaison souterraine entre le Viaduc et la Côte d'Eich a été inscrite dans la déclaration gouvernementale des 4 juillet 1974 et 24 juillet 1979, et, le 4 novembre 1980, la Chambre des Députés a approuvé, par 54 voix contre 1 abstention, le projet de loi n° 2419 ayant pour objet d'inscrire ladite jonction souterraine au programme général de la grande voirie.

Le but et la fonction du futur tunnel ont été ainsi décrits dans l'exposé des motifs:

. . . . . une remarque préliminaire s'impose. Capitale administrative et judiciaire du pays, siège de diverses institutions européennes, place financière importante, la Ville de Luxembourg doit faire face à des problèmes qu'on ne rencontre dans aucune autre ville du pays et qui dépassent nettement le cadre communal. Ceci est vrai en particulier pour l'infrastructure routière. Si on y ajoute qu'une grande partie des rues de la capitale, et notamment les plus importantes, font partie de la voirie de l'Etat, il est évident que l'intervention du Gouvernement en matière de réalisations routières sur le territoire de la Ville de Luxembourg s'impose.

Après cette remarque d'ordre général, il paraît indiqué de tracer les grandes lignes de la politique en matière d'infrastructure routière sur le territoire de la capitale.

Cette politique se concrétise dans un schèma cohérent qui tient compte à la fois des projets du Ministère des travaux publics et de ceux de l'Administration communale.

Retraçons les grandes lignes dudit schéma en passant de l'extérieur vers l'intérieur.

1° Dans le concept retenu, il faut en premier lieu citer les autoroutes qui convergent comme un faisceau de rayons vers la capitale. Leur mission principale consiste à relier le réseau routier national à la grande voirie des pays limitrophes et d'assurer de bonnes liaisons routières entre les diverses régions nationales.

A l'ouest de la Ville les différentes autoroutes sont reliées entre elles par le boulevard de contournement qui se prolongera plus tard, si besoin il y aura, vers l'est.

Le double rôle destiné à ce contournement est le suivant:

a) écarter le trafic de transit des quartiers bâtis;

b) recevoir le trafic de destination pour le diriger rapidement vers les quartiers qu'il veut gagner sans l'obliger pour autant à passer par d'autres secteurs bâtis, et inversement, accueillir par le chemin le plus direct le trafic d'origine pour l'écouler alors, sur un trajet périphérique plus long le cas échéant, mais dans un temps plus court, vers sa destination en dehors de la Ville.

2° La seconde catégorie de voies primaires, les pénétrantes, sont essentiellement destinées, comme prolongement des autoroutes, à amener le trafic de destination respectivement le trafic d'origine depuis le contournement vers les différents secteurs de la Ville et vice versa.

Ces pénétrantes n'auront généralement pas les caractéristiques des autoroutes, mais plutôt celles de voies express avec la possibilité de raccordement aux autres routes de la Ville, et ceci à l'aide de signaux lumineux.

3° Une fois le trafic amené à l'intérieur de la Ville, il devra pouvoir se répartir suivant sa destination, et comme, en général, il restera des distances plus ou moins considérables à parcourir, l'on devra mettre à disposition, dans l'hiérarchie des voies, un nouvel échelon, celui des distributeurs que nous appelerons à la suite par leur bon nom, les routes collectrices.

Il appartiendra à ces dernières de rassembler, ou de "collecter" les véhicules en provenance des simples rues du quartier, pour les acheminer ensuite vers d'autres routes du même ordre ou à circulation encore plus élevée, et vice versa; ces collectrices pourront, suivant leur importance, être bâties ou non; normalement, la circulation aux carrefours qu'elles formeront avec d'autres rues et routes sera réglée par feux.

Dans notre cas, les plus importantes routes de cette catégorie seront

- l'ensemble des liaisons rond-point Schuman – Hollerich constitué par le boulevard de la Foire, le boulevard Grande-Duchesse Charlotte et le boulevard Joseph II, le tronçon nord de la route d'Esch,
- l'ensemble du circuit boulevard Royal – avenue de la Liberté – place de la Gare – rocade de Bonnevoie – Viaduc – tunnel place du Saint-Esprit – Côte d'Eich,
- une éventuelle voie de communication entre le plateau du Kirchberg (Weimershof) et les quartiers de Hamm et Bonnevoie et la pénétrante de Thionville.

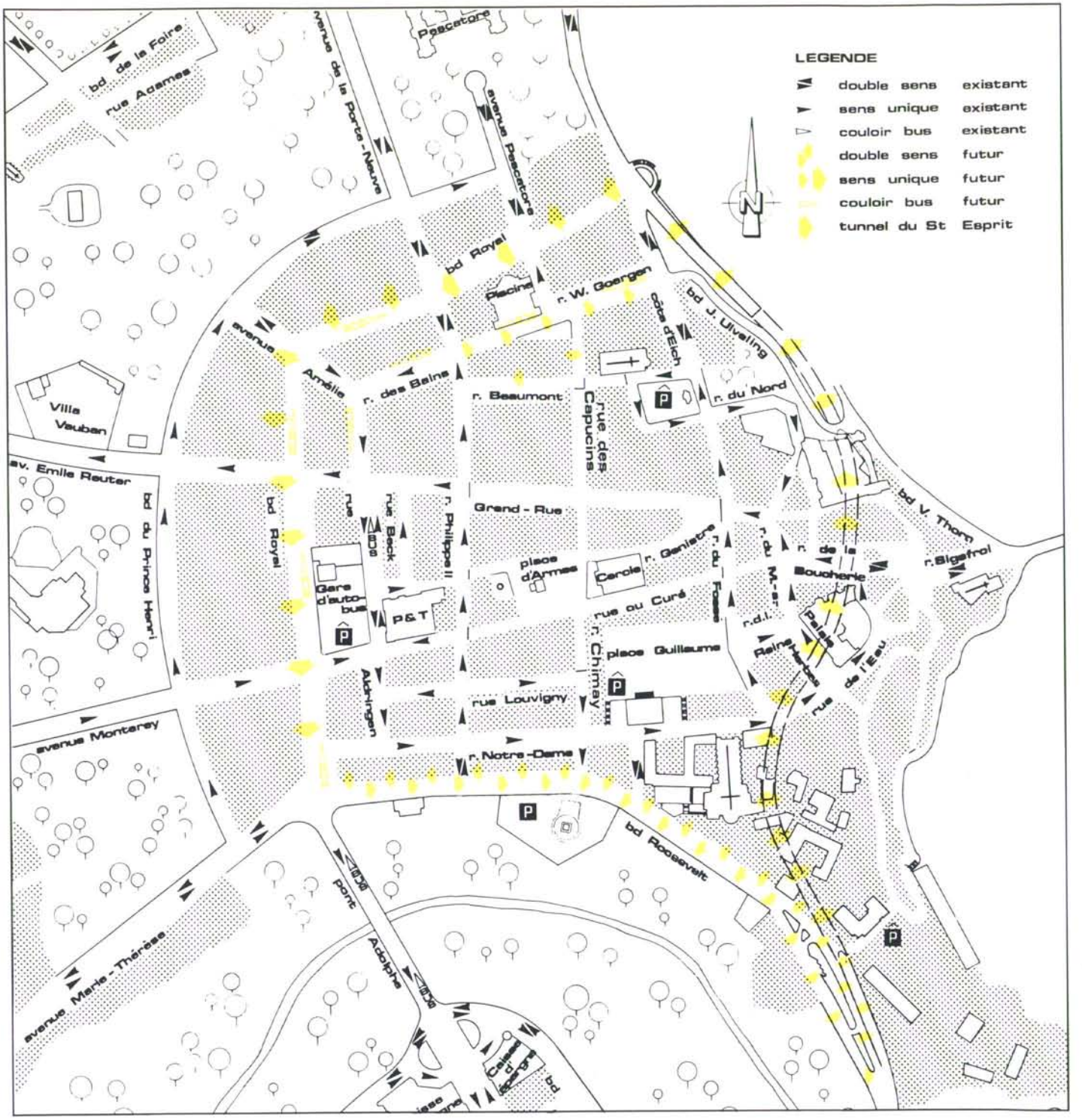
Un maillon important dans cette chaîne est constitué par la ceinture des secteurs de la ville-haute et du quartier de la gare, ceinture constitué par le boulevard Royal – l'avenue de la Liberté – la place de la Gare – l'avenue de la Gare (plus tard la rocade de Bonnevoie) – le Viaduc – le tunnel place du Saint-Esprit – Côte d'Eich.

Cette ceinture a pour but de décongestionner le secteur central de la ville-haute et de garantir en même temps une meilleure évacuation du trafic. Pour pouvoir l'atteindre il faudra mettre en sens unique le boulevard Royal, actuellement déjà surchargé, dans le sens nord-sud, et créer à l'intention du sens opposé une voie nouvelle. Or de ce côté, c'est-à-dire celui de la vieille ville, il n'y a aucune voie pouvant être adaptée à cet effet. Encore est-il que les contraintes d'ordre esthétique et historique n'admettent pas le recours à une nouvelle solution en surface ou surélevée.

La liaison ne pourra donc être réalisée que moyennant le creusement d'un tunnel reliant le plateau du Saint-Esprit à la Côte d'Eich.

Sans vouloir énumérer tous les arguments techniques qui plaident en faveur de cette liaison souterraine il y a lieu de relever toutefois que le trafic qu'il est escompté d'y faire passer journellement s'élèvera à plus de 25.000 unités de véhicules – ce qui représente à peu de choses près la charge actuelle de la Passerelle dont près de la moitié s'infiltre maintenant via la rue de l'ancien Athénée dans la partie est de la ville-haute. Par ailleurs le boulevard Roosevelt, décongestionné avec l'ouverture du tunnel et remis à double sens, pourra alors à nouveau servir de plate-forme d'accueil pour les nombreux touristes attirés par ce coin de la Ville.

La FonctioN



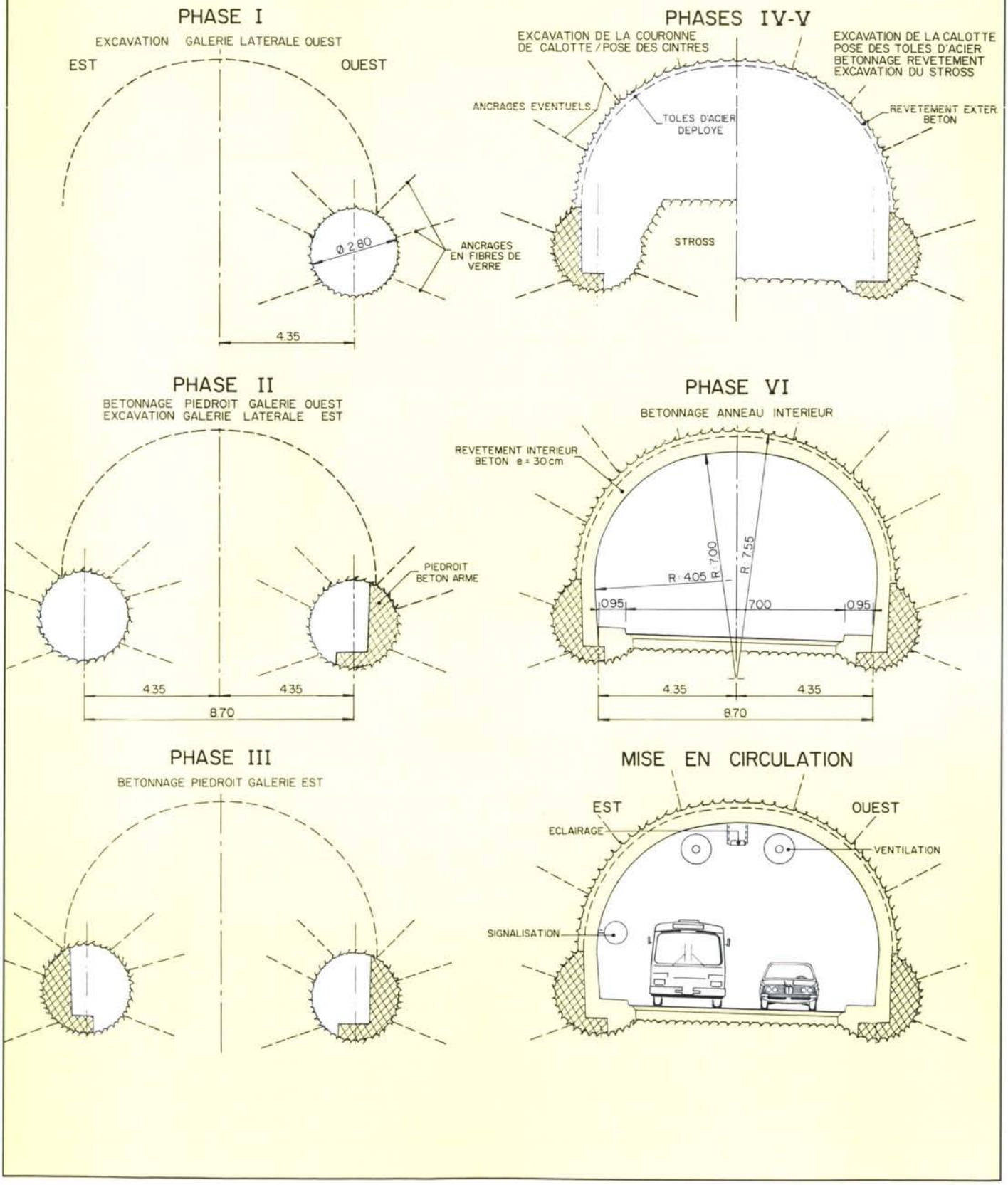
La justification du tunnel du Saint-Esprit, telle que décrite dans l'exposé des motifs, garde aujourd'hui, huit ans après qu'elle avait été formulée, son entière validité.

Aussi les autorités communales procéderont-elles dès l'ouverture au public de l'ouvrage à l'application des mesures destinées à améliorer l'écoulement de la circulation, le décongestionnement surtout de la vieille ville et aussi de certaines artères qui s'ensuivra permettant par après, à plus ou moins courte échéance, d'étendre encore la zone piétonne commerciale, d'instaurer aussi une zone piètonne historique, et de conférer à d'autres rues dont en premier lieu le boulevard Roosevelt, une image plus humaine répondant de manière plus adéquate à leur destination d'origine.

R. Goerens
Chef de service
Service de la circulation
Ville de Luxembourg

TunneL du SainT-EspriT

Phases d'exécution



La réalisation du tunnel du Saint-Esprit reliant la Passerelle à la Côte d'Eich a été décidée par la loi du 2 décembre 1980. L'étude de l'ouvrage a été confiée à l'association des bureaux Lombardi de Locarno et SGI de Genève. Les travaux de construction ont été adjugés sur base d'une soumission publique lancée en 1982 à l'association momentanée des entreprises Tralux (Luxembourg), Sotral (Luxembourg), Chantiers Modernes (France), F. Giorgetti (Luxembourg), Kurt & Frank (Luxembourg).

Le financement de l'ouvrage a été assuré par les crédits du Fonds des routes.

Le projet

Le projet mis en adjudication publique eut son origine à la sortie de la Passerelle sur la Pétrusse pour déboucher dans l'axe de la Côte d'Eich entre la rue Willy Goergen et le boulevard Royal.

Par la suite le tracé a été déplacé vers la Vallée de l'Alzette pour les raisons suivantes:

- contournement des tréfonds des propriétés privées de la rue du Fossé
- aménagement plus favorable du carrefour formé par le boulevard Royal et la Côte d'Eich
- nuisances du chantier réduites pour les riverains
- pas de déplacement de réseaux à la Côte d'Eich
- démolition d'aucun bâtiment

Le nouveau tracé prend son origine toujours devant la Caserne Vauban pour passer successivement sous l'immeuble de l'Administration des Contributions, l'Eglise du Culte Protestant, le bâtiment de l'Inspection Générale des Finances, l'îlot Clairefontaine, la Chambre des Députés, le Musée de l'Etat et le Palais de Justice.

La longueur totale du tunnel est de 638,5 m dont 447,5 m ont été exécutés par forage tandis que 191 m ont été réalisés à ciel ouvert. Le tunnel prend fin derrière le bastion des Trois Pigeons. Un ouvrage d'art d'une longueur de 170 m relie la fin du tunnel à la Côte d'Eich au niveau du carrefour formé avec le boulevard Royal.

Un élargissement du tunnel a été prévu du PK 398 au PK 486 afin de permettre ultérieurement, et sans perturber la circulation dans le tunnel, la construction d'une deuxième sortie vers la rue Sosthène Weis.

Le tunnel est entièrement situé dans la formation du grès de Luxembourg.

La couverture rocheuse minimale est de 2,15 m sous le bâtiment des Contributions. La couverture maximale est de 24 m près de la Chambre des Députés.

Exécution des travaux

Les travaux ont débuté en septembre 1983.

Différents modes d'exécution ont été retenus pour la construction du tunnel selon les conditions géologiques, topographiques et géométriques rencontrées

a) construction à ciel ouvert

b) construction en souterrain.

a) construction à ciel ouvert

Dans la zone du portail d'entrée sur la place du Saint-Esprit, le tunnel a été construit à ciel ouvert sur une longueur de 62 m, la couverture rocheuse étant insuffisante pour une excavation souterraine. Dans la zone de sortie entre les Trois Tours et le Bastion des Pigeons, l'ouvrage a également été réalisé à ciel ouvert avec une section rectangulaire moins haute que le profil courant du fer à cheval, afin de garantir le rétablissement du boulevard Ulveling sur l'ouvrage.

b) construction en souterrain

Pour la partie du tunnel excavée en souterrain sur une longueur de 447,50 m et se situant sous la vieille ville, la méthode d'excavation par profil partiel a été retenue pour éviter tout risque de déformation en surface.

Ainsi l'excavation a débuté par le forage de la galerie de pied ouest d'une section circulaire de 2,80 m de diamètre.

1

La machine foreuse utilisée de marque Robbins (fig. 1 et 2) est équipée d'une tête de forage à molettes, entraînée par deux moteurs électriques à 100 CV, d'un système d'appui se butant avec une force de 120 to latéralement contre le rocher, d'un poste de commande, d'un transformateur 315 KVA 5000/380 ainsi que d'un tapis roulant évacuant les déblais récupérés à la tête de forage vers l'arrière de la machine. Le transport de ces matériaux vers l'extérieur s'est fait par wagonnets sur rails déplacés par un tracteur sur pneus (fig. 3).

Entreprises ayant participé à la construction:

Génie Civil: Association momentanée: Tralux-Sotral-Chantiers Modernes – F. Giorgetti-Kurt et Frank, Luxembourg

Sous-traitants: Armatures; Bâtichimie; J. Cajot; Efco; Eurasol; Feidt; Ferrac; Fondasol; Jacquemart; Karp-Kneip; Murer; Ets. Parisotto; SETIP.

Installation de sécurité, Ventilation: Association momentanée Electro-Auto/ERG Luxembourg

Eclairage et courant fort: Luxelec, Bertrange

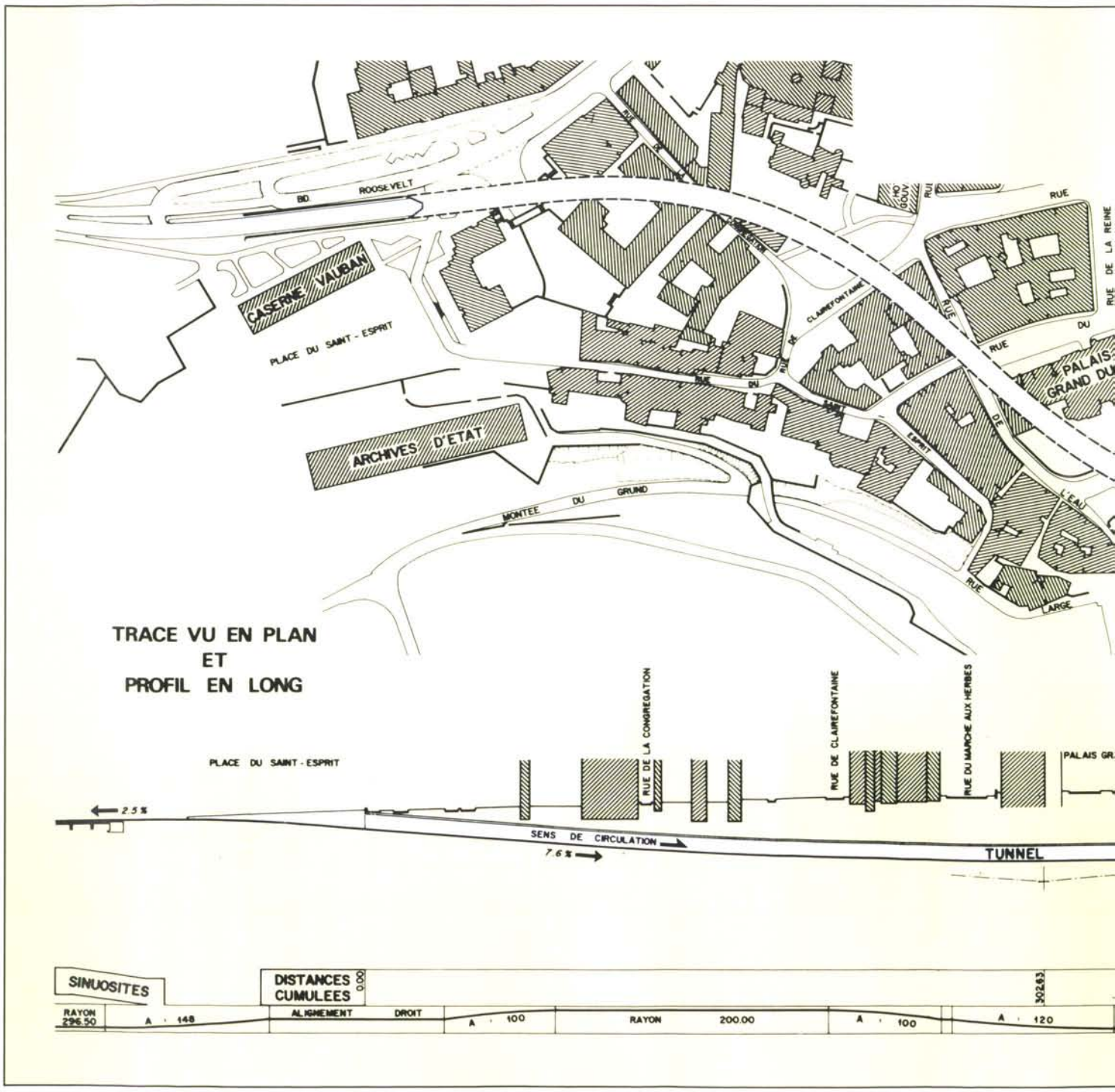
Régulation du trafic: AEG, Luxembourg; Signalbau Huber, Munich; Assa Electric, Esch-sur-Alzette

Giclage automatique: Boschung Mecatronic, Fribourg (CH)

Panneaux acoustiques: Tralux, Luxembourg; MICE, Liège

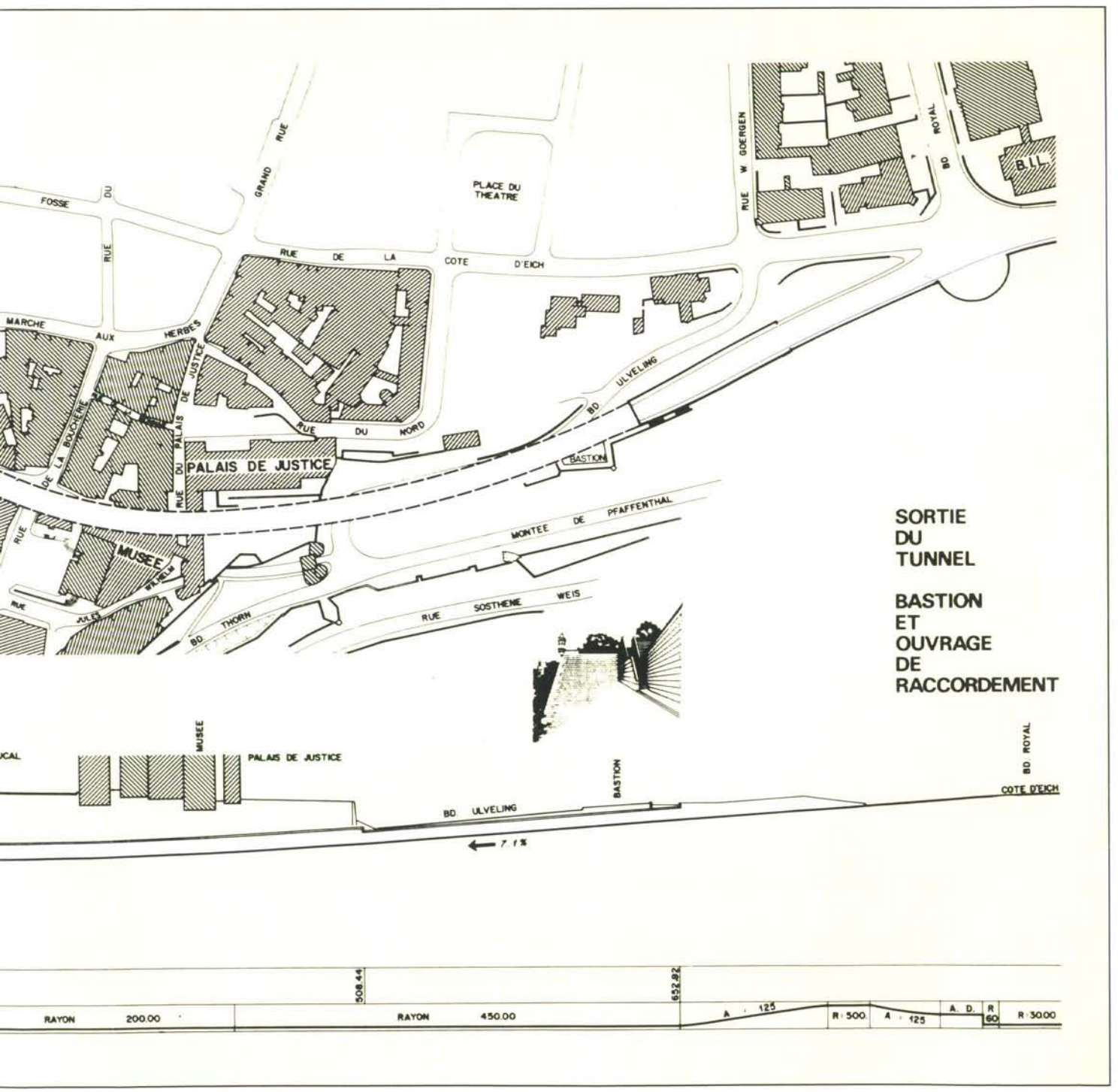
Antenne FM radio-téléphone: AEG, Luxembourg

Divers: Améco; Bonaria-Frères; CEL; Equipement Industriel; Lucius; Massard; J. Ries; Sichel; Stasiak.



Les principales quantités

tunnel:	32.800 m³	de terrassement à ciel ouvert
	61.800 m³	de terrassement en souterrain
	15.760 m³	de béton
viaduc:	8.020 m³	béton
	1.130 to	d'acier rond
	4.000 m²	de pierres naturelles



2

3

4

5

L'orientation à la machine fut donnée par un théodolite distomat équipé d'une source laser donnant par l'intermédiaire d'une fibre optique le rayon directionnel sur une cible placée à l'arrière de la tête de forage. La géométrie atteinte, contrôlée régulièrement, fut très satisfaisante avec un écart moyen de l'ordre de 5 cm par rapport à la géométrie théorique. Des écarts maximaux de l'ordre d'une vingtaine de cm furent atteints dans les zones de failles où les qualités mécaniques du terrain ne permettaient pas un bloquage parfait des patins du tunnelier.

L'avancement moyen par jour, en trois postes de travail fut de 10 m, ce qui correspond à 60 m^3/jour.

Ainsi la première galerie de pied a été achevée le 16 mars 1984, après 3 mois de creusement (fig. 4).

Par la suite la machine foreuse a été ramenée vers le front d'attaque près des Trois Tours pour entamer l'excavation de la galerie de pied est, parallèle à la première, tandis que simultanément le bétonnage des pieds-droits dans la galerie ouest a pu être démarré.

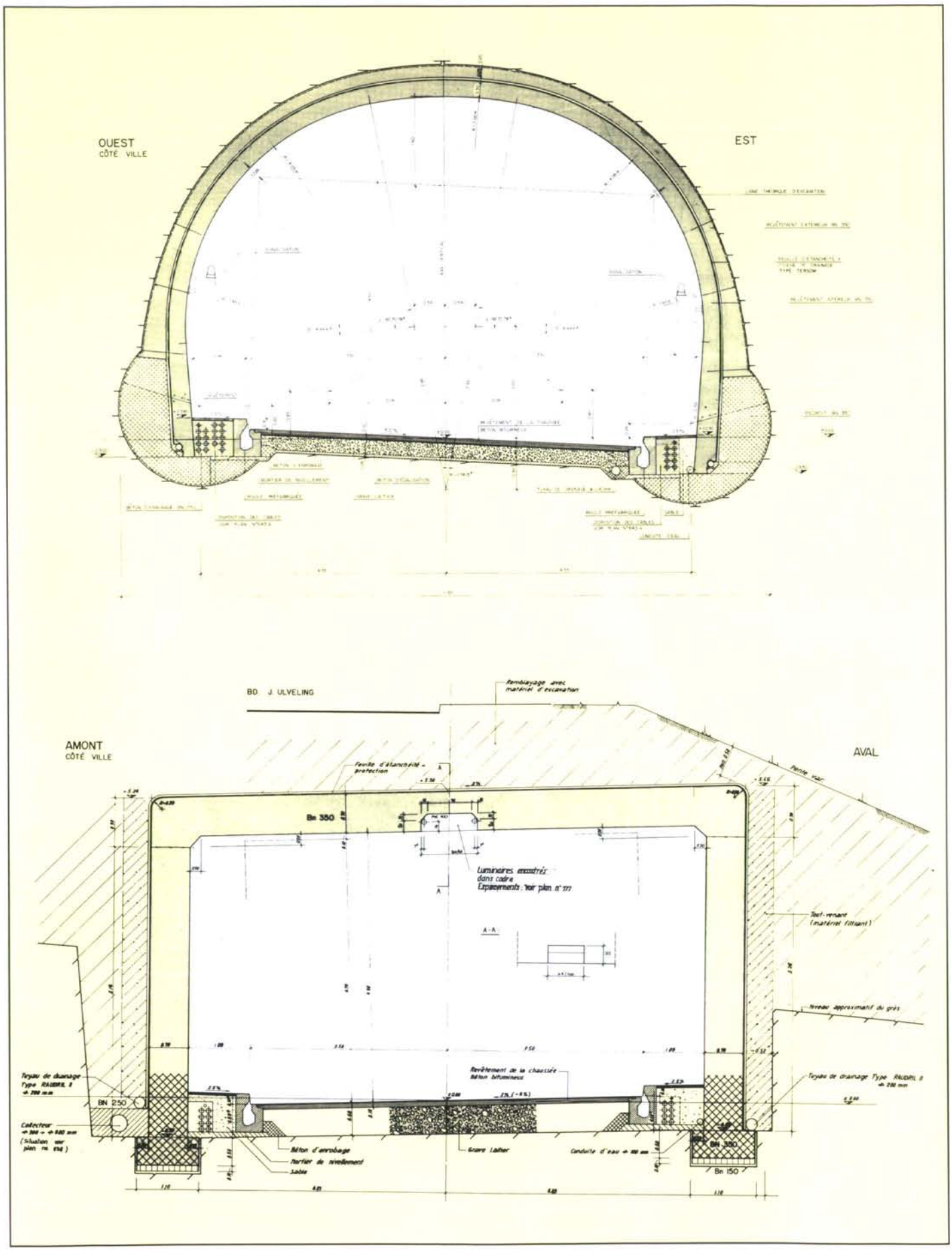
La deuxième galerie a été terminée le 13 juin 1984. La construction des galeries de pied a permis une meilleure connaissance des caractéristiques du rocher, la détection des accidents géologiques et a garanti le minimum de déformation en surface.

Après la réalisation des pieds-droits est et ouest, l'excavation de la calotte du tunnel a pu être entamée. Dans le même souci d'éviter toutes déformations en surface, les travaux ont été réalisés en respectant les étapes suivantes:

6

7

La ConstructioN



TunneL du SainT-EspriT

- excavation de la calotte et calage de cintres métalliques HEB 160 tous les 1,20 m, afin d'obtenir les pressions de stabilisation requises.
- bétonnage de l'anneau extérieur derrière la machine; dans les sections du tunnel avec une faible couverture rocheuse les mesures de sécurité ont été accrues et le bétonnage a suivi directement le front de taille (fig. 5).

Le creusement de la calotte a été réalisé à l'aide d'une machine à attaque ponctuelle de type Paurat (fig. 7). Cette machine, longue de 12 m dispose d'une tête foreuse en spirale à pics d'attaque ponctuelle en carbure de tungstène, entraînée par un moteur de 230 KW à 500 V. Son poids s'élève à 70 to. Elle est capable de travailler dans des roches atteignant une résistance à la compression de 1400 kg/cm². L'avancement moyen a été de ca. 2,40 m par jour en deux postes de travail ce qui correspond à 110 m³/j. Les déblais ont été évacués vers l'extérieur au moyen de pelles Emco, puis par camions vers des décharges en attendant leur réemploi. Les travaux de creusement de la calotte ont débuté le 3 juillet 1984 et ont été terminés le 2 juillet 1985.

front. Un seul type d'ancrage a été utilisé. Il s'agit d'ancrages Dywidag d'un diamètre de 26,5 mm de 35 to de résistance à la rupture, leur longueur et leur espacement variant de 3 à 6 m respectivement de 1,5/2,0 m à 1,5/1,5 m selon la géométrie de la zone. Ensuite plusieurs couches de béton projeté d'une épaisseur totale de 15 cm, armées de deux nappes de treillis, ont été mises en place. Ces ancrages exercent sur le rocher une pression de stabilisation de 10 à 15 t/m² nécessaire à l'équilibre de la voûte. Après la réalisation de l'anneau extérieur, constitué d'un béton B35 d'une épaisseur théorique de 25 cm dans la section courante et d'une couche de gunite épaisse de 15 cm dans la section élargie, une feuille d'étanchéité en PVC de 2 mm a été appliquée (fig. 6). Une couche de drainage posée derrière l'étanchéité et reliée à un drain situé au bas des pieds-droits permet d'éviter que la couche d'étanchéité ne soit mise sous pression par des venues d'eau éventuelles. Les eaux de drainages, ainsi que les eaux superficielles, sont récoltées au point bas du tunnel dans une fosse de décantation. Après passage dans un déshui-

8

Dans une troisième phase le stross, ou noyau de la section, a été enlevé à l'aide de deux brises-roches.

Dans la zone de la bifurcation vers la sortie annexe de la rue Sosthène Weis, s'étendant du PK 398 au PK 486, l'emploi de cintres comme mesure de stabilisation de l'excavation a dû être abandonné du fait de la géométrie variable des profils. Ainsi la largeur du tunnel passe progressivement de 8,92 m mesurée horizontalement entre les faces internes du revêtement définitif à 17,96 m tandis que la hauteur atteint 9,97 m.

L'excavation s'est faite par étapes successives.

Le profil d'excavation définitif a été stabilisé lors de chaque passage au moyen d'ancrages posés directement au

leur ces eaux sont évacuées gravitairement vers le réseau urbain de canalisation de la rue Sosthène Weis moyennant un tuyau foré d'un diamètre de 250 mm et d'une longueur de 105 m.

En dernière phase un anneau intérieur de béton non armé d'une épaisseur de 30 cm a été mis en œuvre par l'utilisation d'un coffrage métallique se déplaçant par tronçon de 8 m à l'intérieur de l'ouvrage. Cette méthode a permis d'obtenir un aspect fini de première qualité, indispensable pour un tunnel urbain. La cadence de bétonnage d'un élément par jour, avec le décoffrage au bout de 12 heures, a nécessité l'emploi d'un béton spécial.

Les Equipements

a) l'éclairage

Il a été admis un système d'éclairage dit à "mobilisation de contraste" ou à "contre-jour". L'axe de la chaussée à l'entrée du tunnel est dirigé approximativement Sud-Nord. La luminance dans la zone d'approche admise pour le calcul de l'éclairage de la zone d'entrée est de L = 4800 cd/m².

L'éclairage du tunnel comprend trois zones:

- la zone d'entrée longue de 65 m
- la zone de transition de longueur variant de 20 à 100 m selon l'échelon d'allumage
- la zone intérieure ou section courante. Aucun complément d'éclairage n'est prévu pour la zone de sortie.

La luminance pour l'échelon supérieur de la zone d'entrée est fixée à 120 cd/m² avec des échelons d'allumage à 78, 36 et 22 cd/m².

Dans la zone intérieure, la luminance d'exploitation est fixée à 8 cd/m² de jour. Les valeurs réduites de nuit hors trafic intense seront de 4 cd/m² sur les 350 premiers mètres, puis 2 cd/m² au-delà.

Les échelons d'allumage sont commandés par un luminance-mètre placé à une cinquantaine de mètres avant le portail d'entrée.

Les sources lumineuses sont à sodium haute pression (Na-HP) pour le renforcement de la zone d'entrée et de transition et à basse pression (Na-BP) pour la section centrale.

Un balisage de secours est prévu tous les 24 m à environ 1 m au-dessus de la chaussée garantissant un marquage de bord de chaussée en cas de présence de fumées opaques en voûte ou en cas de panne de l'éclairage principal.

b) la ventilation

Vu la longueur relativement limitée du tunnel, la ventilation est du type longitudinal continu, assurée au moyen de ventilateurs-accélérateurs fixés par paires à la voûte du tunnel. Le nombre de paires d'accélérateurs a été fixé à quatre.

Ils sont munis de silencieux à l'aspiration et au refoulement.

La vitesse de soufflage du ventilateur est de 41 m/sec avec une poussée nominale de 589 N. Le débit d'air maximal est de l'ordre de 88 m³/sec. La ventilation consiste à maintenir un courant d'air longitudinal forcé par l'action des ventilateurs accrochés en voûte en transmettant leur quantité de mouvement à la masse d'air contenue dans le tunnel. Les ventilateurs sont conçus pour souffler dans un seul sens, celui de l'écoulement du trafic, leur efficacité étant maximale vu que la circulation des véhicules est unidirectionnelle.

Deux niveaux de ventilation ont été considérés:

- ventilation maximum: 4 paires de ventilateurs en fonctionnement
- ventilation minimum: 4 ventilateurs en fonctionnement soit un par paire.

La commande des ventilateurs est automatique et les régimes de fonctionnement sont commandés en fonction de l'analyse des mesures de CO et d'opacité.

1) par les mesures de CO
   Ordre de démarrage
   1er niveau: 60 ppm
   2e niveau: 100 ppm
   Ordre d'arrêt ou de commutation de niveau
   2e niveau – 1er niveau: 80 ppm
   1er niveau – arrêt total: 40 ppm
2) par l'opacimètre
   ordre de démarrage
   1er niveau: 40%
   2e niveau: 80%
   ordre d'arrêt ou de commutation de niveau
   2e niveau – 1er niveau: 60%
   1er niveau – arrêt total: 20%
3) cumul
   Aucun des systèmes de commande décrit ci-dessus n'est prioritaire. Le niveau de ventilation en marche correspondra toujours à la valeur de mesure la plus défavorable.
   Un alarme vers le dispatching central sera transmis si malgré la ventilation, la concentration en CO atteint 180 ppm ou l'opacité dépasse les 100%.

c) les installations de sécurité (fig. 9)

Les installations de sécurité comprennent l'ensemble des installations de contrôle et de surveillance nécessaire au bon fonctionnement d'un tunnel routier et permettent de garantir la securité et le confort des usagers. Faut-il rappeler qu'un accident ou un accrochage peuvent avoir dans un tunnel des conséquences beaucoup plus graves qu'à l'air libre et que le comportement "psychologique" de l'usager diffère largement de son comportement sur route normale.

9

Les équipements de sécurité comprennent les éléments suivants:

– les niches de secours

Le système d'alarme du tunnel comprend sept niches de secours équipées d'un poussoir d'alarme pour annonce de panne, accident ou feu, de deux extincteurs à main et d'un téléphone de secours en liaison directe avec le dispatching central de la Ville de Luxembourg, situé rue Glesener au commissariat central. Le local technique du tunnel, situé près de l'entrée du tunnel place du Saint-Esprit, n'est pas occupé en permanence.

– distribution d'eau

Pour les besoins de fonctionnement du tunnel une conduite d'eau d'un diamètre de 100 mm a été posée permettant de nettoyer périodiquement le tunnel et de combattre les incendies importants. Toutes les armoires de secours sont ainsi équipées d'un poste d'incendie complet avec raccordement sur l'hydrant.

– détection d'incendie

Un des facteurs essentiels de l'efficacité de la lutte contre l'incendie est la rapidité d'intervention. Une installation de détection automatique est prévue afin de détecter les incendies éclatant dans le tunnel, de les signaler au poste de surveillance, d'arrêter le trafic à l'amont du sinistre par l'action de la signalisation routière et d'agir sur la ventilation. Le système de détection sera constitué d'un capteur (tube sonde en cuivre) et d'un réservoir de compensation.

Divers

Les alarmes tels que excès de teneur en CO ou prise d'un extincteur auront pour effet un changement instantané des feux d'accès au tunnel, qui pourra être fermé automatiquement par passage au rouge des feux d'entrée et des signaux directionnels. La fermeture automatique des barrières à l'entrée de la trémie matérialise la fermeture totale ou d'une voie du tunnel. Le contrôle de hauteur des véhicules effectué par barrière optique quelques centaines de mètres avant l'entrée réglera également les feux d'entrée du tunnel.

Un système de comptage des véhicules (par boucles d'induction) et de détection de colonnes sera installé tout le long du tunnel.

L'ensemble du tunnel sera surveillé depuis le dispatching central (fig. 10), par un réseau de caméras de télévision (fig. 11) couvrant la totalité de l'ouvrage.

Un équipement d'antennes radio-téléphone est installé afin de garantir aux différents services de secours le maintien des liaisons radio dans le tunnel. Un canal en bande de fréquence FM (92,5) peut également être capté.

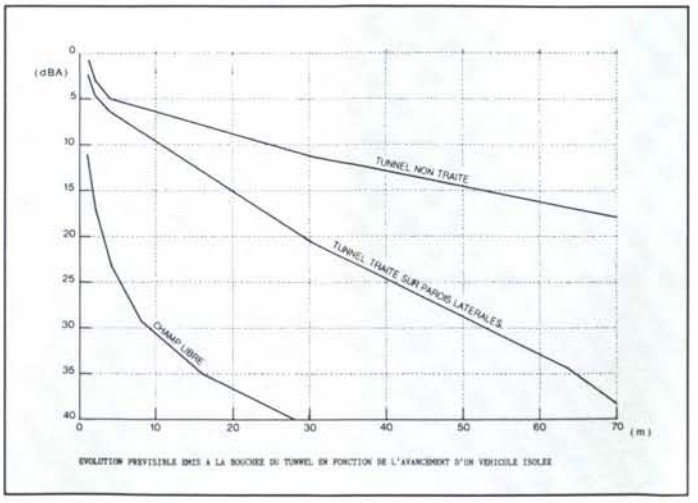
11

Traitement des parois par un revêtement acoustiquement absorbant

A l'entrée et à la sortie d'un tunnel le niveau de bruit émis par le trafic automobile est plus élevé que dans un champ libre. Ceci est dû au fait que la quantité d'énergie acoustique rayonnée dans le tunnel par les véhicules y circulant se propage pratiquement sans atténuation vers les extrémités du tunnel. La raison essentielle de ce phénomène est la qualité du revêtement des parois constituant le tunnel, celles-ci réfléchissant fortement les sons, si bien que le bruit en sortie du tunnel est faiblement atténué.

Pour réduire le bruit venant du tunnel, il est nécessaire de diminuer la quantité d'énergie acoustique rayonnée par les parois internes. C'est pour cette raison qu'un

10



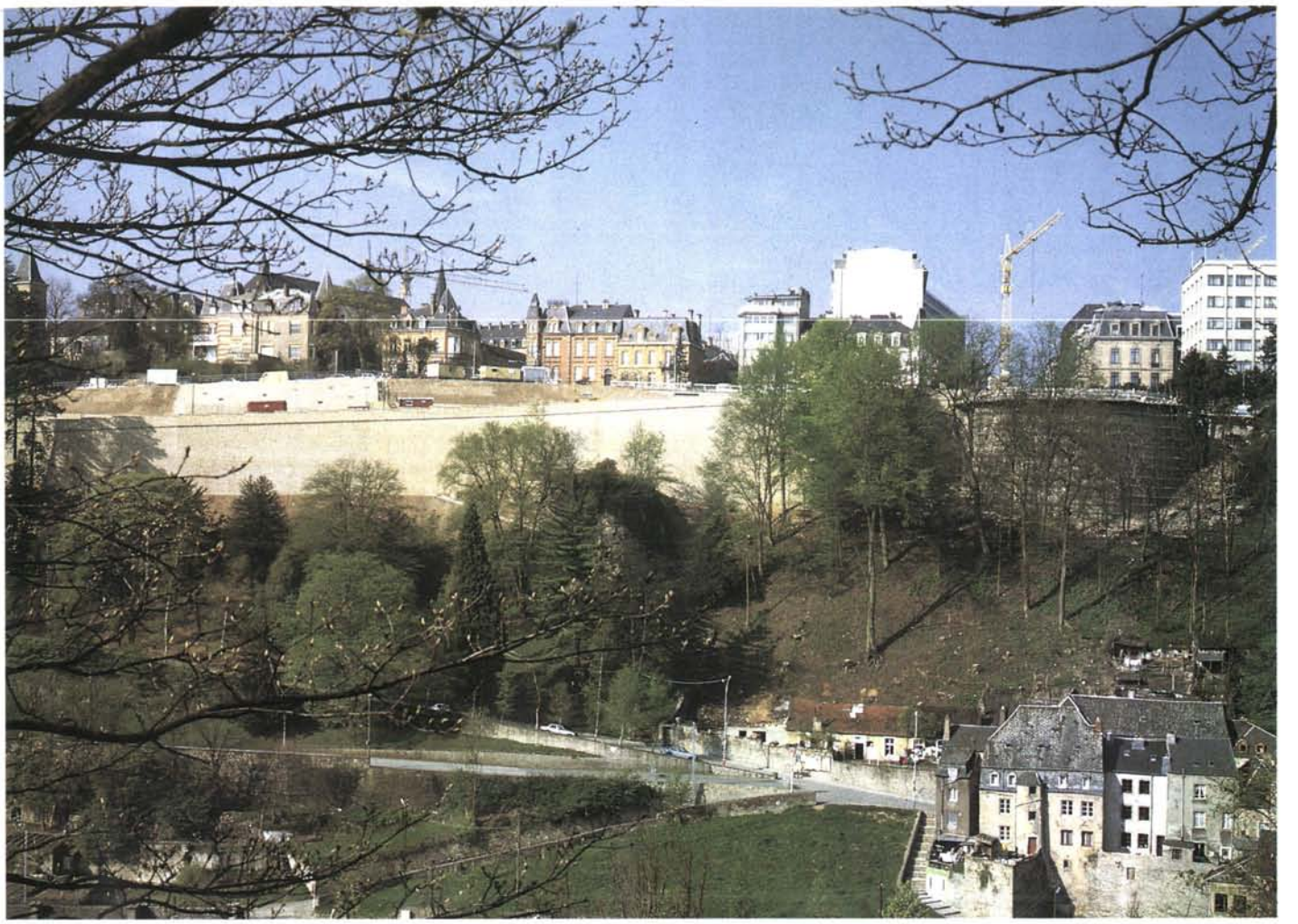
12

revêtement à haut coefficient d'absorption a été placé sur les parois du tunnel à l'entrée et à la sortie sur une longueur de 70 respectivement 130 m.

Sur le graphique (fig. 12), nous pouvons comparer l'évolution sans traitement et celle après traitement des parois du tunnel. On constate que le gain obtenu par un véhicule isolé situé à 70 m de l'entrée sera de l'ordre de 25dB(A).

Giclage automatique de fondants chimiques

A la sortie du tunnel sur le viaduc de la Côte d'Eich, à l'endroit où pendant les heures de pointe les colonnes commencent à se former devant le croisement, la pente de la chaussée s'élève à 7%. Afin de garantir également pendant les périodes de gel un écoulement fluide et sûr du trafic, un dispositif spécial pour la lutte contre le verglas a été prévu. Il s'agit d'une installation automatique de fondants chimiques, consistant en l'aménagement sur le tronçon exposé parallèlement à la chaussée, d'une conduite forcée avec des buses de giclage disposées à intervalles réguliers. L'état du revêtement de la route reste sous le contrôle permanent d'un système de détection de verglas. Dès que le danger de formation de verglas se présente, une pompe, installée dans le nouveau bastion de la Côte d'Eich se met automatiquement en marche en prélevant le fondant chimique dans un réservoir, pour alimenter les buses de giclage.



L'ouvrage de raccordement à la Côte d'Eich

L'ouvrage reliant la tête nord du tunnel du Saint-Esprit à la Côte d'Eich s'inscrit dans le cadre des travaux de réalisation de la liaison place du Saint-Esprit - Côte d'Eich.

Les exigences particulières qui se sont posées à l'ouvrage sont son intégration dans le site de la forteresse de la Ville de Luxembourg et la topographie extrêmement difficile (talus à la limite de la stabilité) dans lequel il devait être construit.

Pour ces raisons, diverses études préliminaires ont été menées, afin de respecter au mieux les contraintes imposées.

- Etudes esthétiques matérialisées par des perspectives et des maquettes
- Etudes géologiques effectuées par le laboratoire de géologie appliquée de l'Université de Liège et complétées par des forages
- Localisation exacte des casemates présentes sur le site
- Etudes préliminaires de structures menées par différents Ingénieurs Conseils.

La solution finalement retenue est un mur de soutènement à parement de pierres naturelles imitant les murs de la forteresse. Le projet est raccordé à la Côte d'Eich par l'intermédiaire d'un bastion circulaire centré sur l'axe du boulevard Royal.

Structure de l'ouvrage

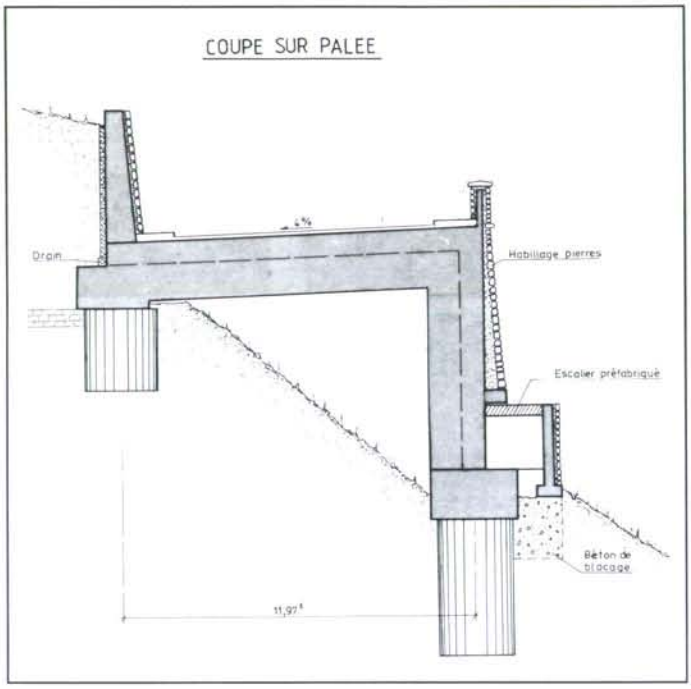
La nature des terrains en surface et leur pente très raide rendent irréaliste une solution comportant un seul mur de soutènement effectivement remblayé (fig. 15). La solution retenue comprend donc deux murs longitudinaux supportant un tablier, aucun remblai n'étant réalisé entre les deux murs (fig. 19). Sur une partie de l'ouvrage, où celui-ci se trouve en profil mixte, le voile amont fait également office de mur de soutènement. Le tablier est constitué de poutrelles T en béton armé préfabriquées disposées tranversalement et de façon jointive et reposant sur les deux voiles longitudinaux implantés à la limite de la plate-forme routière. Une dalle d'une épaisseur de 22 cm

15

16

17

18



19

complète le tablier. La portée des voiles est de 25 m en moyenne. L'ensemble des structures est fondé sur des puits faits à la main de 244 cm de diamètre descendus dans le grès (fig. 16 et 17). Au droit de chaque file de puits l'ensemble de la structure est entretroisé par un portique qui assure la répartition des efforts horizontaux entre les deux files de puits. Les puits ont été réalisés à l'abri de blindages métalliques, mis en place au fur et à mesure de l'avancement des terrassements. Ces puits ont été descendus jusque dans le grès et ont une profondeur variant de 7,4 à 25,6 m selon les conditions rencontrées (fig. 18). Au fond du puits des forages de reconnaissance ont été exécutés pour détecter la présence éventuelle de galeries ou de crevasses sous pieu. Le cas échéant on a procédé soit au remplissage de la cavité soit à l'approfondissement du puits.

R. Biwer
ingénieur diplômé EPFZ
Ponts et Chaussées

La RégulatioN du TrafiC

Dès le départ la conception du tunnel du Saint-Esprit, du point de vue planning en matière de circulation, visait comme but primordial de décongestionner le vieux quartier de la ville-haute, berceau du Luxembourg. Comme chaque jour quelque 12.000 véhicules transitent par les ruelles en cause avec toutes les conséquences que cela comporte – émissions nocives et d'une façon plus générale troubles de l'environnement dont les habitants et les visiteurs sont les victimes –, la mise en service du tunnel du Saint-Esprit contribuera considérablement à minimiser les nuisances en question. D'autre part le boulevard Roosevelt, avec son intensité de trafic importante, constitue actuellement une coupure urbanistique entre la ville-haute d'un côté, la vallée de la Pétrusse et le quartier de la gare de l'autre, coupure qui, avec un peu de bonne volonté de tout un chacun, pourra être réduite au strict minimum.

Par décision du Collège Échevinal en date du 5 janvier 1984 l'étude du système de régulation de trafic du tunnel du Saint-Esprit a été confiée au bureau Kocks Consult de Coblence et a été réalisée en étroite collaboration avec le service de la circulation de la Ville. Par procédure de soumission restreinte, la société AEG-Luxembourg (Signalbau Huber Munich, sous-traitant) a été déclarée adjudicataire pour la réalisation de la régulation du trafic du tunnel, ceci par décision du Conseil de Gouvernement en date du 20 août 1987. La gestion de l'ensemble de la régulation du trafic sera, comme suite à ce marché, assurée par un ordinateur de trafic du type Hewlett-Packard; outre les périphériques standard, une signalisation lumineuse installée à l'entrée du tunnel contrôlera le flux de circulation, et des panneaux de signalisation routière vont à tout instant informer l'usager de la route afin de lui permettre de circuler en toute sécurité et de garantir la fluidité de la circulation.

Le tunnel du Saint-Esprit, avec son entrée à la place du Saint-Esprit et sa sortie au lieu-dit "Les Trois Tours", ne se limite pas, du point de vue d'un ingénieur de circulation, à ces deux points cités, mais le système de régulation du trafic du tunnel commence en soi déjà à la hauteur de la passerelle et trouve sa fin au carrefour boulevard Royal – Côte d'Eich. Le tronçon de rue ainsi défini représente en fin de compte une longueur d'environ 1.300 mètres. Une fois engagé dans ce système routier, une possibilité d'échappatoire n'est guère possible, ni sur la passerelle, ni dans l'ouvrage lui-même.

Le code de la route prescrit une hauteur maximale des véhicules de 4,00 mètres. Le gabarit d'espace libre dans le tunnel est limité dans sa largeur à 7,00 mètres et dans sa hauteur à 4,50 mètres. En raison de ce fait, à deux endroits définis, la hauteur des véhicules se dirigeant vers le tunnel du Saint-Esprit sera détectée automatiquement et en cas de surhauteur l'entrée du tunnel sera instantanément condamnée. A côté des informations données aux usagers de la route par l'intermédiaire des panneaux de signalisation cités ci-devant, le flux de circulation est contrôlé en ce qui concerne son intensité, sa vitesse de croisière, et la distance entre les véhicules. Cette méthode d'observation, basée sur un algorithme mathématique complexe, permet au système de régulation de détecter tout incident endéans quelques secondes et de réagir en conséquence. Nous entendons par là notamment:

- le barrage alternatif d'une voie de circulation
- le dosage de l'intensité du flux de circulation entrant dans le tunnel en fonction des données du système de régulation et du système d'exploitation de l'ouvrage (p. ex. degré de pollution, niveau d'opacité, détection d'un incendie, appel par l'intermédiaire des niches de secours).

L'entrée du tunnel est gérée par un poste de commande performant qui permet de contrôler la circulation par neuf programmes de régulation différents dont un déclenche, en cas de fermeture totale du tunnel, automatiquement la déviation du flux de circulation par le boulevard Roosevelt.

Toutes les informations concernant le déroulement du trafic et les informations du système d'exploitation de l'ouvrage sont transmises au dispatching de contrôle central. A ce niveau le contrôle du fonctionnement du tunnel est assuré en permanence, c'est-à-dire 24 heures sur 24. Les responsables ont pour mission de contrôler les informations, d'observer le flux de circulation et d'enclencher, en cas de nécessité, les mesures appropriées.

R. Robert
ing. dipl. EPFZ
service de la circulation
Ville de Luxembourg

TunneL du SainT-EspriT