

Au travers de Liège, par la liaison E40-E25

SOMMAIRE

- 0 Introduction**
- 1 Les différentes facettes d'un grand défi**
 - 1.1 Le chaînon manquant entre Amsterdam et Milano
 - 1.2 Une succession d'ouvrages d'art
 - 1.3 La SOFICO
 - 1.4 Permis de bâtir et prise en compte de l'environnement
 - 1.5 L'intégration dans le tissu socioéconomique
- 2 Les chantiers de la rive gauche**
 - 2.1 L'échangeur des Guillemins et le pont de l'Observatoire
 - 2.2 Les tunnels de Cointe
 - 2.3 L'échangeur des Tilleuls
 - 2.4 Les voiries périphériques « des Tilleuls »
- 3 Le franchissement de la Meuse**
 - 3.1 L'identité d'un pont
 - 3.2 Une porte pour la ville
 - 3.3 Une réalisation par phases
- 4 Les chantiers de la rive droite**
 - 4.1 La traversée de Kinkempois
 - 4.2 Le passage des « Grosses-Battes »
 - 4.3 Le pont de Sauheid
- 5 Récapitulatif des chantiers**
- 6 L'équipement des ouvrages**
 - 6.1 La conception de la voirie
 - 6.2 La ventilation
 - 6.3 La protection acoustique et l'aménagement des abords
 - 6.4 Les équipements électriques et de transmission
- 7 L'exploitation et la gestion du trafic**
 - 7.1 Le centre « Tilleuls »
 - 7.2 Le recueil des données
 - 7.3 Les plans d'action
- 8 Conclusion**
- 9 Lexique**

0 INTRODUCTION

L'inauguration d'une nouvelle autoroute constitue toujours un événement : que ce soit parce qu'aujourd'hui, les nouvelles infrastructures ne sont pas nombreuses ou parce qu'un petit bout d'autoroute peut modifier profondément les habitudes quotidiennes des automobilistes...

Toutefois, l'ouverture de la liaison E40-E25 à Liège revêt un caractère particulier en raison de son importance stratégique pour le réseau autoroutier wallon, belge mais aussi européen : elle constitue, en effet, le maillon qui permettra, désormais, de relier Amsterdam et Milano.

Autre caractéristique : cette autoroute passe à proximité du cœur de la ville de Liège, raison pour laquelle sa construction a dû tenir compte de contraintes très strictes au point de vue du tracé. Des solutions techniques ont dû être trouvées, notamment pour traverser les obstacles naturels et pour franchir les infrastructures existantes. Des formules de financement originales ont également été imaginées. Enfin, une attention particulière a été accordée à la limitation des nuisances sur l'environnement et à l'intégration harmonieuse dans le tissu urbain.

La liaison E40-E25 comprend de nombreux ouvrages d'art : échangeur des Guillemins avec accès à la gare TGV, tunnels à travers la colline de Cointe, échangeur des Tilleuls, pont haubanné sur la Meuse, passage sous le site ferroviaire de Kinkempois et tunnel des Grosses-Battes, qui rejoint l'E25.

On verra pourquoi ces choix ont été arrêtés et de quelle manière ils ont été mis en œuvre. On décrira leur réalisation technique, remarquable, parfois même spectaculaire, et qui témoigne incontestablement de l'audace et du savoir-faire de notre Région. On s'attardera aussi sur les équipements qui veillent à la sécurité et au confort des usagers. On comprendra, en fait, comment l'ancien maillon manquant est devenu une infrastructure performante, intégrée à son environnement et vitale pour le développement économique de la Wallonie !

Ce cahier est une réédition, pour le volet du génie civil, du cahier publié sous le même titre, en octobre 1998. Un autre cahier (collection *Techniques* n°16) décrit par ailleurs les équipements électromécaniques mis en place par la direction générale des Services techniques (D.G. 4) du MET. Le présent cahier donne cependant un aperçu de ces équipements.

Un lexique technique, pour le public non spécialisé, figure en fin de volume : les termes qui s'y trouvent sont marqués d'une astérisque dans le texte.

Remarque terminologique

Dans ce cahier, nous employons le terme « échangeur » pour désigner les entrées et sorties de la liaison autoroutière à hauteur des Guillemins, des Tilleuls et des Grosses-Battes : dans ce cas, la direction générale des Autoroutes et des Routes parle plus précisément d'« échangeur de type B », c'est-à-dire un croisement d'autoroute(s) et de route(s). Toutefois, l'usage plus approprié du terme « accès » s'impose de plus en plus, tant dans la communication qu'au niveau des usagers, limitant l'emploi du terme « échangeur » pour désigner *stricto sensu* un croisement d'autoroutes, ce qu'on appelle aussi « échangeur de type A » : par exemple, les échangeurs de Dausoulx ou de Loncin.



Figure 1 : avant l'ouverture de la liaison, le trafic passait inévitablement par la ville et, notamment, par le pont de Fragnée et le quai des Ardennes, dès lors souvent encombrés (mars 2000).
© D. 434 (n° 00/958)



Figure 2 : la liaison E40-E25, véritable autoroute urbaine, fait disparaître l'un des maillons manquants du réseau routier européen – Au centre, le quadrilatère ferroviaire et le pont sur la Meuse ; à l'arrière-plan, la colline de Cointe et l'élargissement des voies de chemin de fer qui s'engagent dans la gare des Guillemins ; dans le fond, la jonction avec l'A602 (vue prise au-dessus des Grosses-Battes en janvier 2000) • © D. 434 (n° 00/145)

1 LES DIFFÉRENTES FACETTES D'UN GRAND DÉFI

1.1 LE CHAÎNON MANQUANT ENTRE AMSTERDAM ET MILANO

Au cœur de l'Europe, la Wallonie est pourvue d'un réseau autoroutier très dense. De par sa situation géographique, la ville de Liège en constitue un nœud important. Mais, elle ne dispose pas encore d'un réseau périphérique complet.

En effet, jusqu'à présent, il n'existait pas de liaison entre l'autoroute E25, qui débouche au sud de Liège (quartier des Grosses-Battes), et les autoroutes qui rejoignent l'E40 (Bruxelles – Aachen) à l'échangeur de Loncin et aboutissent au nord de la ville (quartier des Guillemins) : les autoroutes venant de Namur (E42), d'Antwerpen (E313), de Maastricht (E25) et de Prüm (E42) au sud de Verviers. Cette lacune entraînait, sur les voiries du centre-ville, un trafic de transit important, qui venait s'ajouter au trafic urbain intense.

La nouvelle liaison, longue de 4 kilomètres, réalise la jonction qui constituait, jusqu'alors, le chaînon autoroutier manquant entre Amsterdam et Milano. Toutefois, pour entourer Liège d'un ring complet, le même type de liaison manque encore à l'est de l'agglomération, entre Cerexhe (E40) et Beaufays (E25).

Dès à présent, la liaison E40-E25 permet, d'une part, de réaliser un itinéraire autoroutier pour le trafic de transit, tout en délestant le centre-ville de celui-ci, et, d'autre part, d'améliorer la distribution du trafic en direction de la ville, par les différents échangeurs périphériques qu'elle offre aux usagers.

1.2 UNE SUCCESSION D'OUVRAGES D'ART

Longue de 4 kilomètres, la liaison E40-E25 répond au type « autoroute urbaine » à deux voies de circulation (3,5 mètres de large) par sens. Elle s'inscrit dans le prolongement de la A602, autoroute de pénétration dans Liège, démarrante à l'échangeur de Loncin pour aboutir au quartier des Guillemins.

L'échangeur des Guillemins, point de départ de la liaison, permettra, notamment, d'accéder à l'arrière de la future gare TGV, via le pont de l'Observatoire, particulièrement spectaculaire. Deux tunnels, creusés dans la roche, traversent ensuite la colline de Cointe, pour déboucher sur l'échangeur des Tilleuls, où un poste de commande assure la surveillance et la gestion courante de l'ensemble de la liaison.

La liaison franchit alors la Meuse, sur plus de 150 mètres, par un pont haubanné, pour rejoindre la rive droite du fleuve. Elle plonge ensuite directement sous le quadrilatère ferroviaire de Kinkempois, dans une section en tunnel (tranchée couverte), avant de ressortir dans une tranchée ouverte, calée entre les voies de chemin de fer et le canal de l'Ourthe. Une nouvelle section en tunnel (tranchée couverte), au lieu-dit des Grosses-Battes, lui permet enfin de rejoindre l'E25, tandis qu'un échangeur en surface permet aux véhicules d'emprunter l'autoroute à cet endroit.

La liaison E40-E25 comporte donc de nombreux ouvrages d'art, de réalisation très complexe : les échangeurs des Guillemins, des Tilleuls et des Grosses-Battes ; les tunnels de Cointe, de Kinkempois et des *Grosses-Battes* ; et le pont sur la Meuse.

Tous ces chantiers, ainsi que les marchés connexes d'équipement et d'intégration dans l'environnement, ont été menés de façon à ouvrir la liaison en juin 2000. Une inauguration qui coïncide avec l'organisation, à proximité de ce site, d'un événement sportif international : le championnat d'Europe de football (EURO 2000).

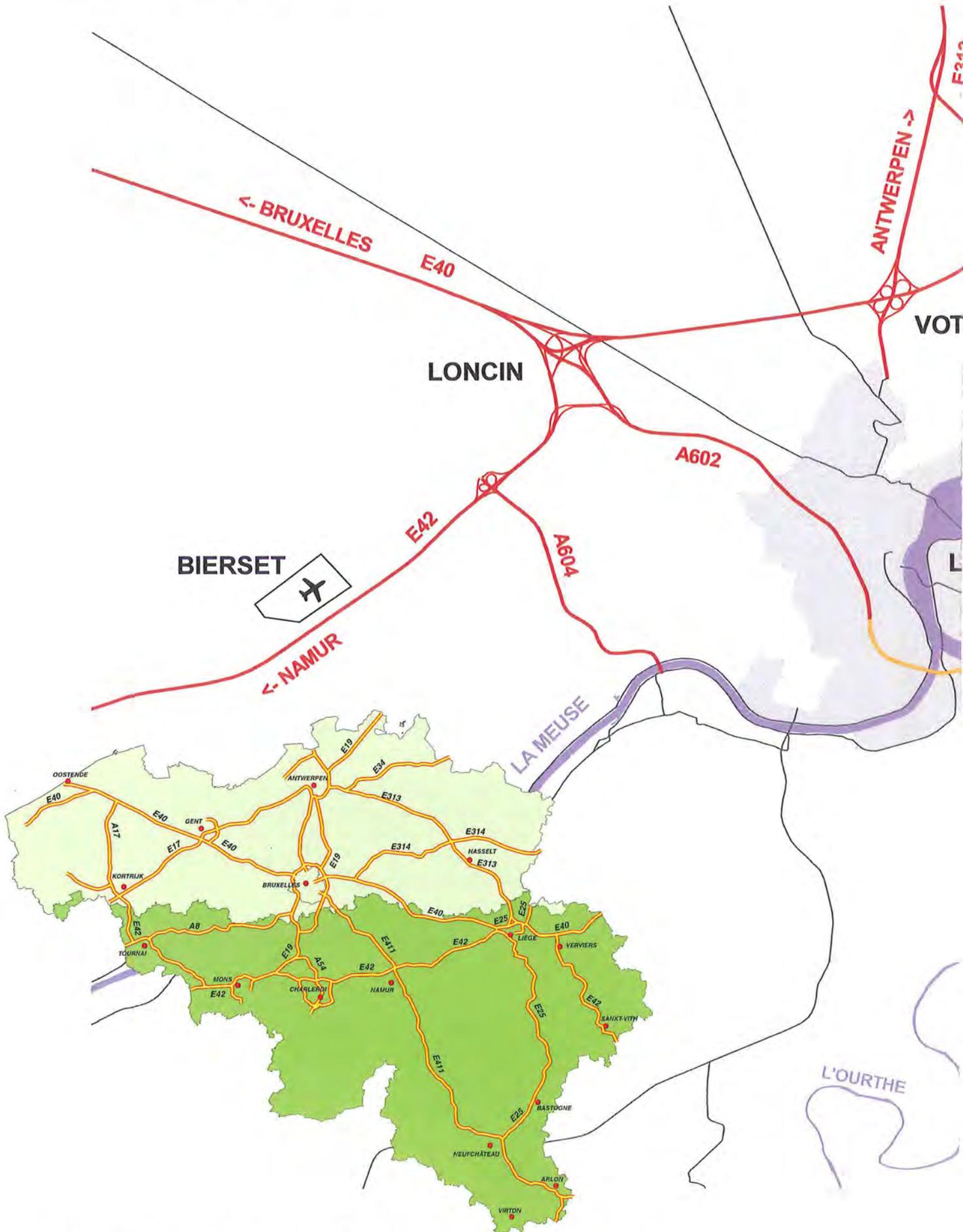
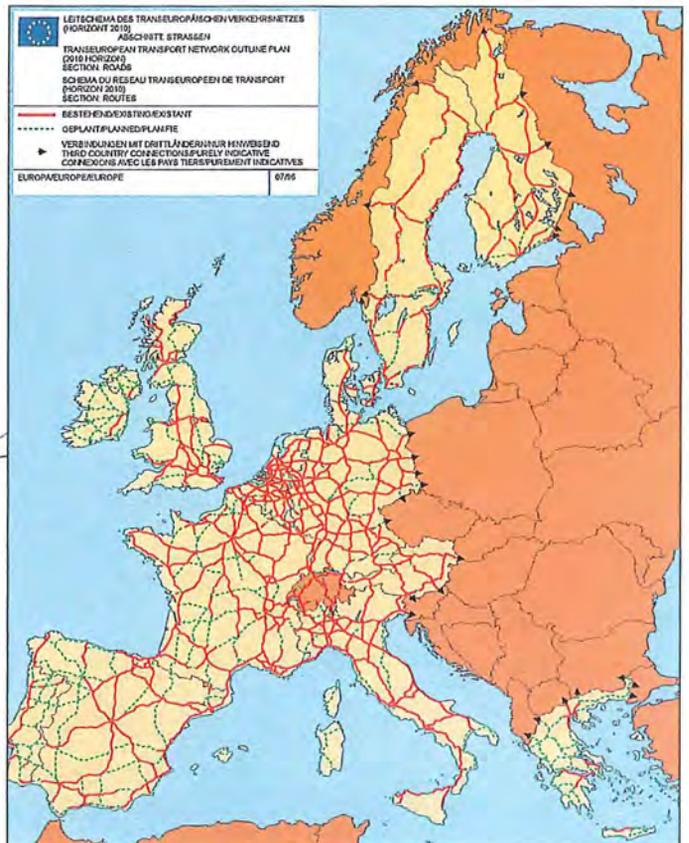
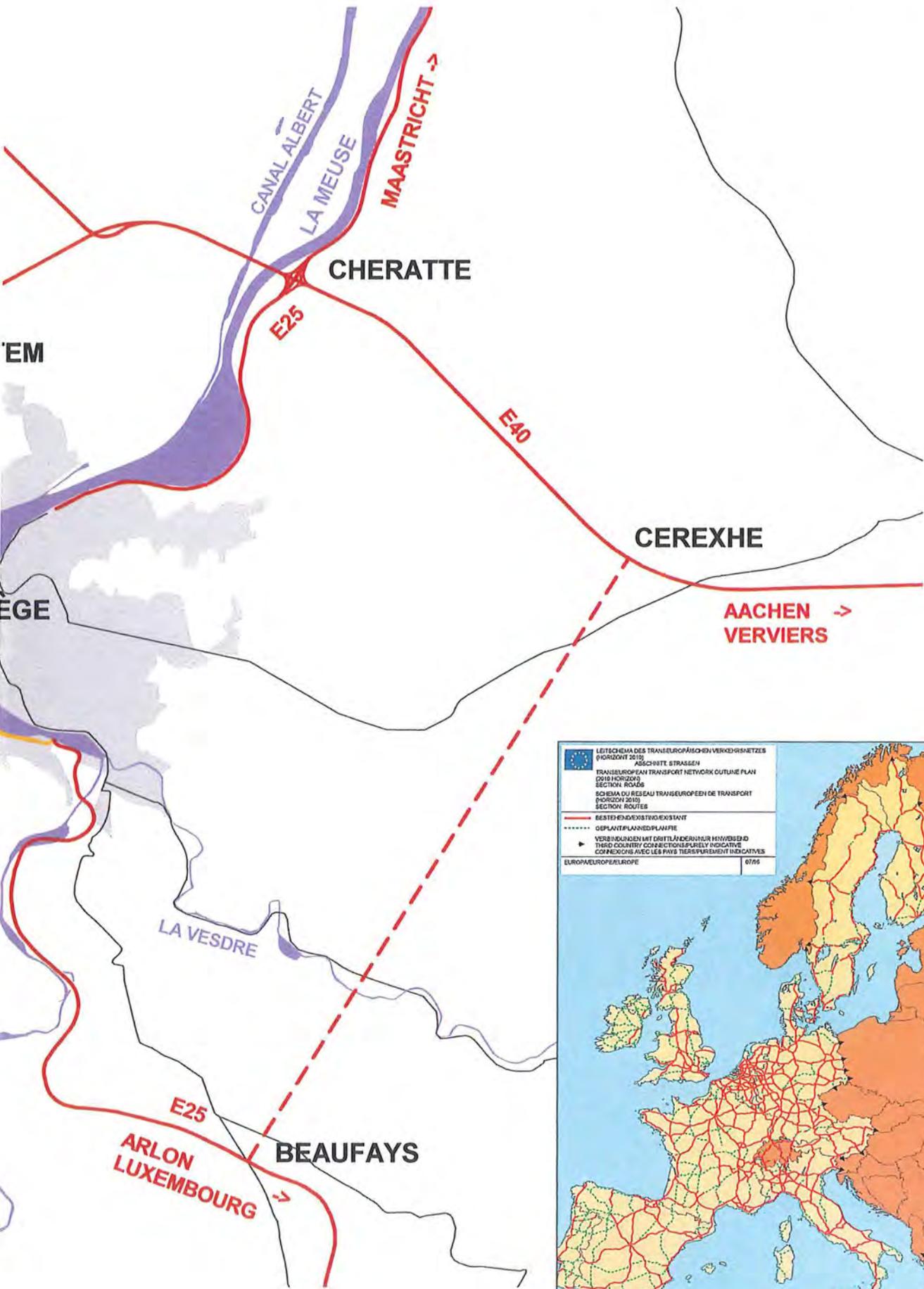


Figure 3 : de par sa situation, Liège est au cœur d'un important réseau autoroutier belge et européen (en orange, la liaison E40-E25 ; en pointillés rouges, la future liaison Cereche – Beaufays). • © D. 114



En encadré, schéma du réseau autoroutier européen • © Source : Ue

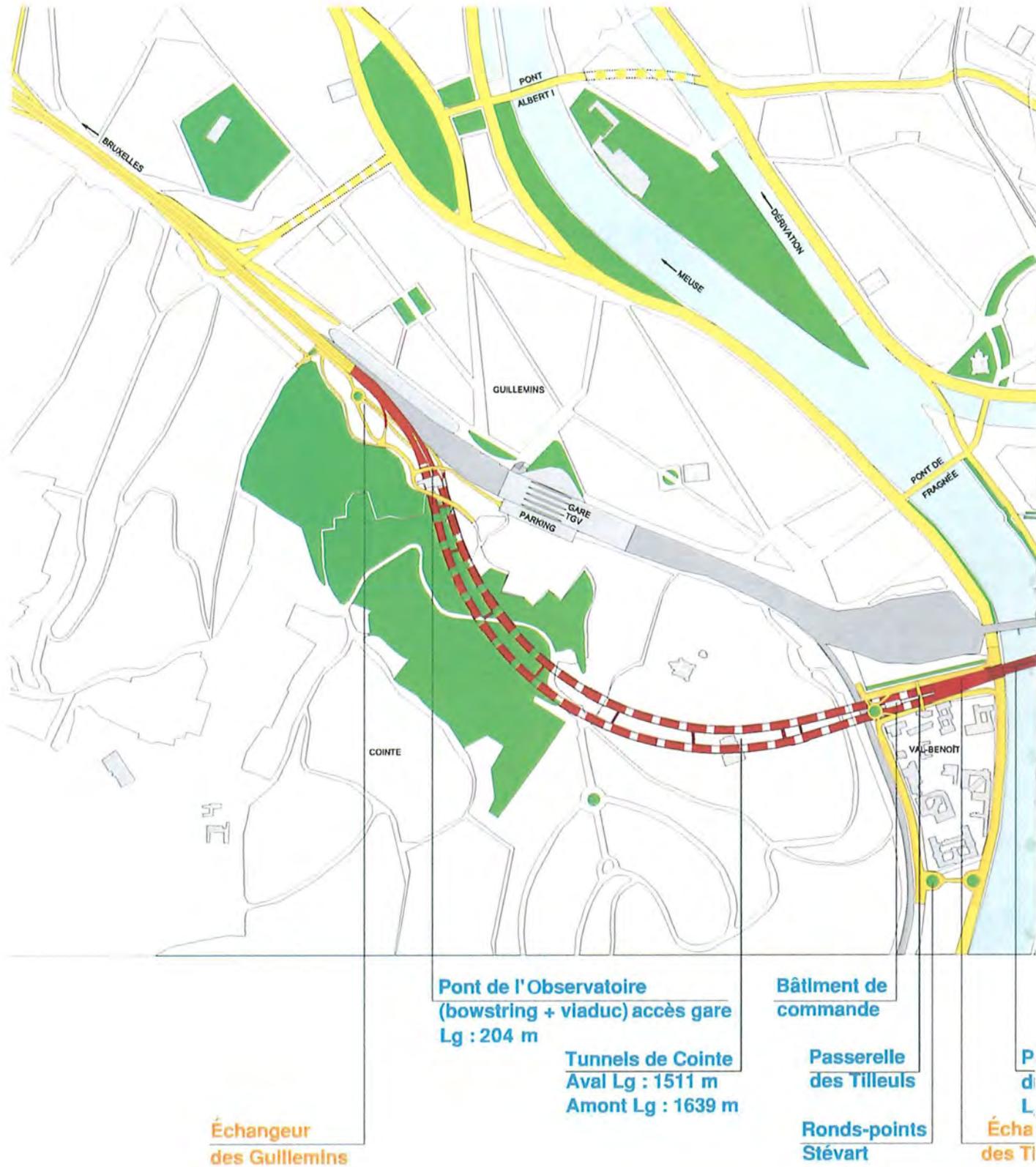
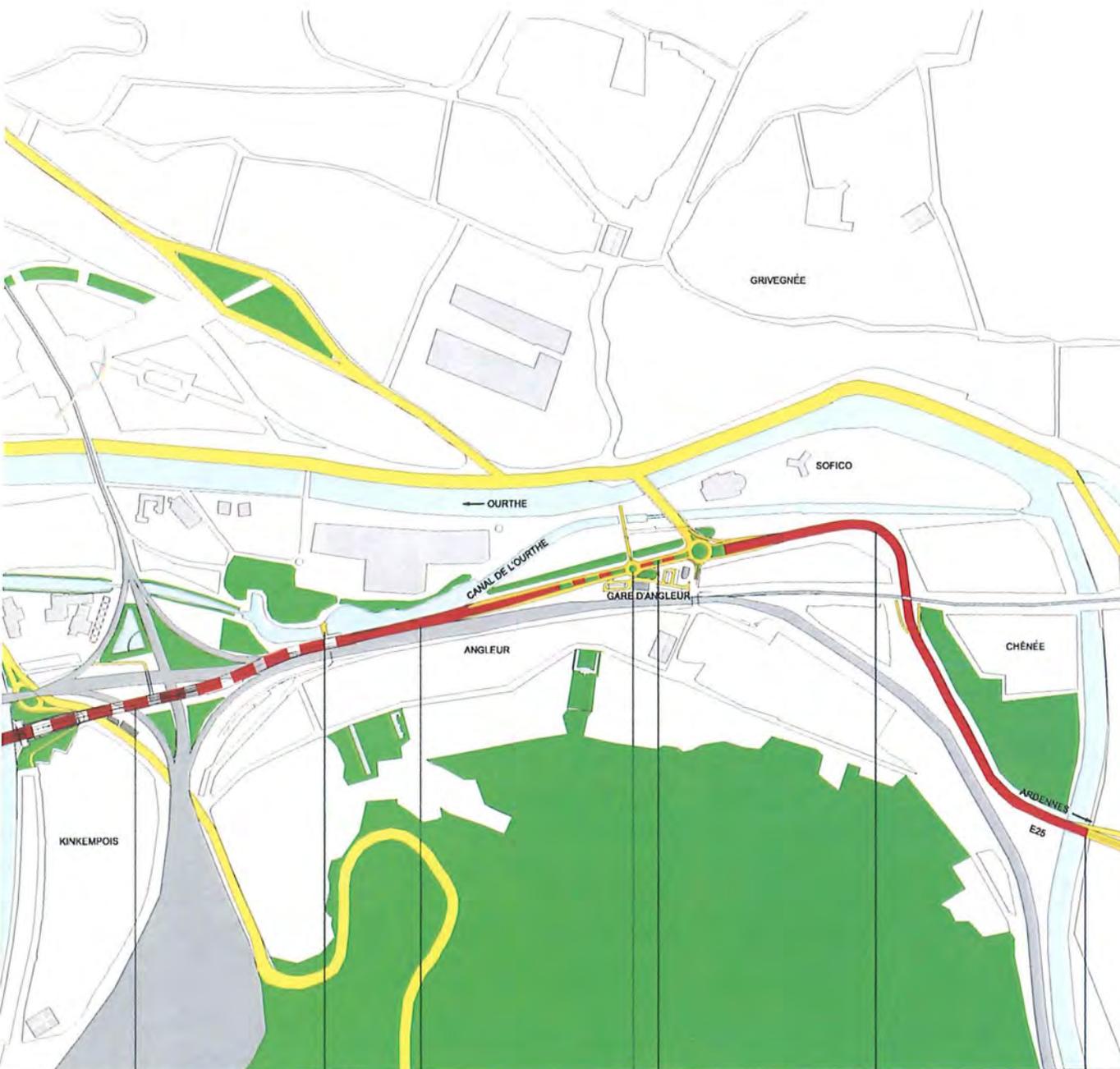


Figure 4 : les principaux ouvrages d'art qui équipent la liaison E40-E25 dans sa traversée de Liège • © Beg



**Pont levant
des Aguesses**

Tunnel de Kinkempois
Lg: 635 m

Tranchée ouverte
Lg : 480 m

Trémie 18 arcades

Pont de Sauheid

Tunnel des Grosses-Battes
Lg : 376 m

**Pont haubané
de Val-Benoît**
Lg : 327 m

**Échangeur
des Grosses-Battes**

**Échangeur
des Grosses-Battes**

D'autres services du MET ont également apporté leur collaboration :

- la division des Programmes et de l'Exploitation (I.G. 11) ;
- la direction de la Coordination et de l'Information routière (D. 115) ;
- la division du réseau Est (I.G. 15) ;
- la division des Recettes et de la Comptabilité (I.G. 03) ;
- la division des Ouvrages d'art et des Marchés (I.G. 41) ;
- la division du Contrôle technique (I.G. 42) ;
- la division du Contentieux et des Études juridiques (I.G. 43) ;
- la division de l'Électricité, de l'Électromécanique, de l'Informatique et des Télécommunications (I.G. 45) ;
- la direction des Études et des Programmes (D. 451) ;
- la direction des Équipements de télécontrôle et de transmission (D. 455).

1.4 PERMIS DE BÂTIR ET PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT

La liaison autoroutière E40-E25 traverse un tissu urbain très dense. L'étude devait tenir compte de cet environnement.

En 1985, le ministère des Travaux publics obtint aisément le permis de bâtir pour le tronçon de la liaison relatif aux tunnels sous Cointe. Par la suite, la législation et les règlements en matière de permis devinrent très contraignants. L'obtention du permis de bâtir pour le tronçon allant de l'échangeur des Tilleuls aux Grosses-Battes connu, dès lors, les étapes suivantes :

1990	Étude de faisabilité concernant principalement le tracé en niveau (profil en long). Trois alternatives : — une aérienne : un pont sur la Meuse et un viaduc au-dessus de Kinkempois ; — une souterraine : un tunnel des Guillemins jusqu'à Angleur ; — une mixte : un pont sur la Meuse et un tunnel sous Kinkempois.
1990	Pré-étude d'incidences sur l'environnement (recueil des données pour faire un choix)
1992	Choix du profil en long : alternative mixte
1993	En fonction des contraintes et du site, choix du type de pont : pont haubanné
Décembre 1993	Demande de permis de bâtir
1994	Étude d'incidences sur l'environnement
Juillet 1995	Délivrance du permis de bâtir

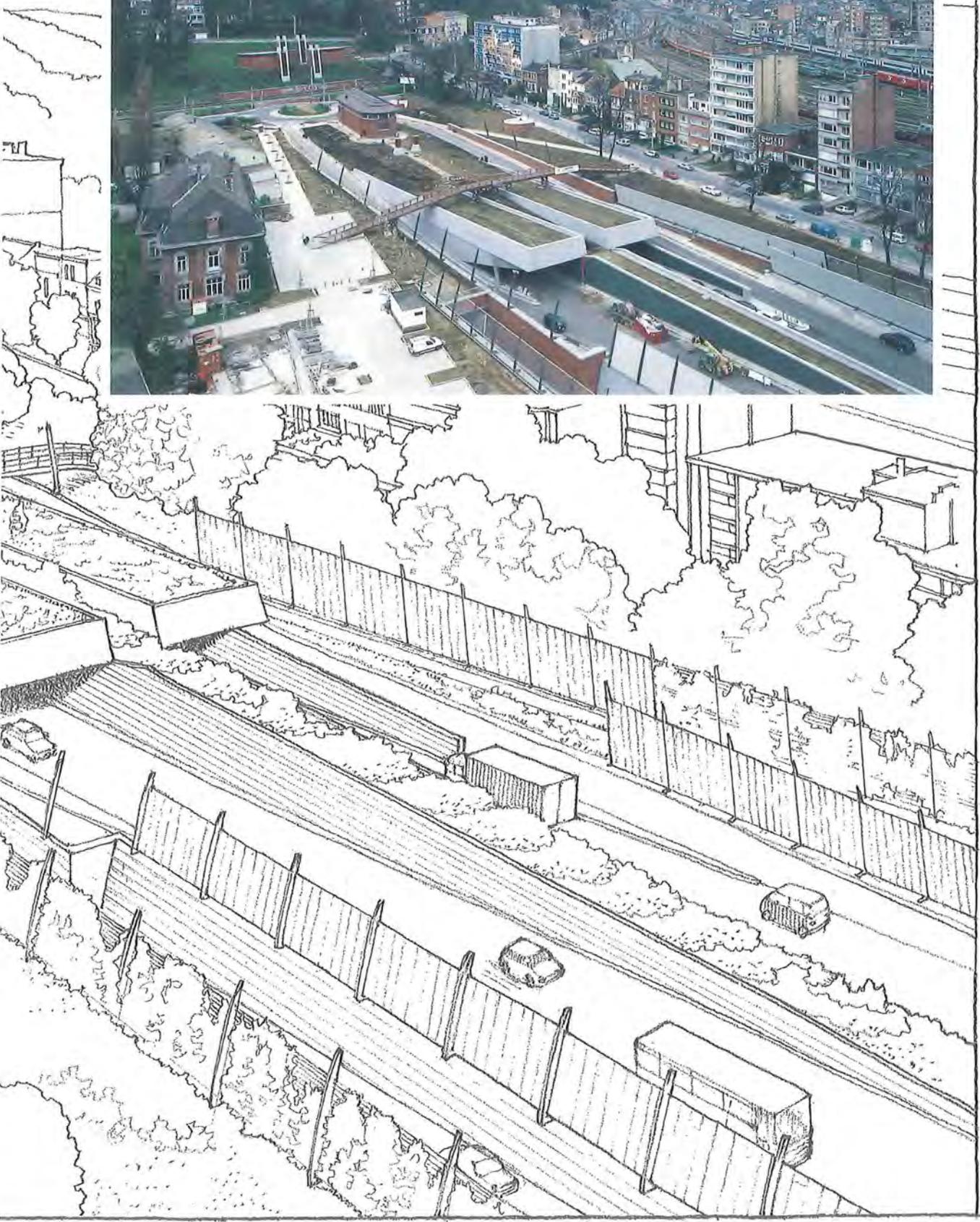
Suite aux études préalables à la demande de permis de bâtir, le projet présenté contenait déjà de multiples mesures environnementales.

Le permis délivré en 1995 était cependant conditionnel. En effet, il autorisait la réalisation du projet moyennant la prise en compte de nombreuses mesures supplémentaires visant à réduire ou à compenser les nuisances sur l'environnement.

Depuis lors, d'autres demandes de permis complémentaires ou modificatives ont été introduites (échangeur des Guillemins, voiries Banning-Stévant-Solvay, passerelles cyclo-pédestres, ...). Ces dossiers comprennent évidemment aussi de nombreuses mesures environnementales. Toutes les décisions prises le furent sur la base de procédures qui ont recueilli l'avis des personnes et des autorités concernées : la Ville, l'Urbanisme et l'Aménagement du territoire, les techniciens, les habitants, ...



Figures 6 et 7 : représentation des aménagements paysagers de l'échangeur des Tilleuls et vue « réelle » du site en avril 2000
© Dessin 2000 SA Pissart-Van Der Stricht • Cliché Daylight



1.5 L'INTÉGRATION DANS LE TISSU SOCIOÉCONOMIQUE

Les études entreprises en vue de déterminer les retombées de l'ouverture de la liaison montrent, d'abord, qu'elle doit désengorger le centre-ville de Liège et les quais de la Dérivation du trafic de transit, constitué essentiellement de vacanciers et de poids lourds. Ce trafic devrait encore augmenter, dans les prochaines années, avec une part de plus en plus grande prise par les poids lourds. L'accès au centre-ville se voit ainsi protégé par la nouvelle liaison.

Les études menées en 1999 dans le cadre du plan de déplacement de Liège estiment que le trafic sur la liaison atteindra 45 000 à 50 000 u véh/jour et qu'il pourrait augmenter jusqu'à 60 000. Corrélativement, on s'attend à une augmentation du trafic sur l'E40 entre Cheratte et Loncin, de même qu'à la sortie du tunnel de Cointe. Par contre, le boulevard de l'Automobile, le pont de Fragnée, le pont Albert, le quartier Sainte-Marie et les quais de la Dérivation devraient connaître une diminution sensible de circulation.

Par ailleurs, une volonté de développement et d'investissement, à proximité immédiate de la liaison, se manifeste particulièrement dans la zone de Sclessin et du Val-Benoît, ainsi que dans le parc d'affaires Zénobe Gramme, à côté du centre commercial Belle-Île. Ceci témoigne de la valorisation économique des quartiers jouxtant la liaison.

Une large majorité d'entreprises estime, en outre, que la liaison influencera de manière positive le développement global de l'économie wallonne. Elle facilitera l'approvisionnement et l'expédition des marchandises et renforcera l'attractivité de la région liégeoise.

Enfin, si cette nouvelle liaison doit supprimer les nuisances dues au trafic de transit, et contribuer au développement de la vie économique, elle aura aussi permis de redessiner et de revaloriser les quartiers traversés, par les diverses mesures environnementales qui y ont été menées, tant au niveau de la circulation locale et lente (piétonne et cycliste) que de l'aménagement des abords et de l'intégration paysagère. Citons ainsi, par exemple, le bas de l'avenue de l'Observatoire à Cointe, le quartier des Tilleuls et, en rive droite, le quartier de la gare d'Angleur et les abords de Kinkempois ainsi que les abords du canal de l'Ourthe, ... Nous aurons l'occasion de reparler plus particulièrement des équipements d'intégration, dans le chapitre 6.



Figure 8 : l'ensemble du domaine universitaire du Val-Benoît, doté d'une véritable ceinture et ainsi largement valorisé, attire aujourd'hui les acteurs du développement économique, comme en témoigne l'installation future du FOREM dans l'ancien Institut de mathématique, visible sur la gauche (mars 2000).
© D. 434 (n° 00/923)



Figure 9 : l'implantation, à proximité, du parc d'affaires Zénobe Gramme et du centre commercial de Belle-Île, n'est pas étrangère à la création de la nouvelle liaison autoroutière et de l'échangeur des Grosses-Battes tout proches (vue de mars 2000).
© D. 434 (n° 00/952)



Figures 10 et 11 : exemples de mesures environnementales prises pendant les travaux – Les déblais ont été évacués par la voie d'eau, et, avant la mise à sec du canal de l'Ourthe, les poissons ont été capturés par pêche électrique et réintroduits après les travaux. • © J.-P. Roland et V. Remy



fig. 12



fig. 13



fig. 14



fig. 15

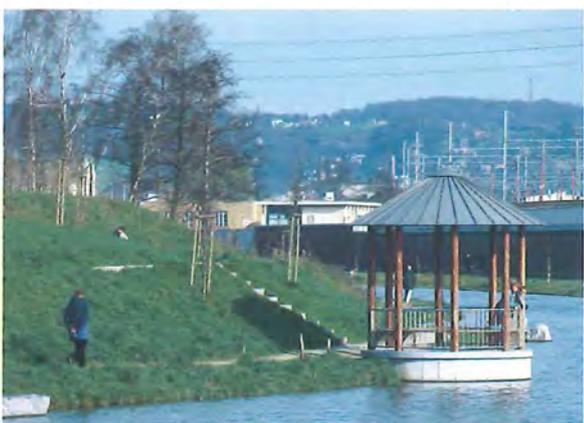


fig. 16



fig. 17

Figures 12 à 17 : aménagements paysagers réalisés le long du tracé de la nouvelle liaison – Plantations et piétonnier au pied de l'avenue de l'Observatoire à Cointe ; passerelle en bois et aménagements piétonniers face au Val-Benoît dans l'échangeur des Tilleuls ; cheminements cyclo-pédestres en rive gauche de la Meuse ; cheminements cyclo-pédestres et aménagements paysagers le long du canal de l'Ourthe ; place des Aguesses et passerelle surplombant le canal de l'Ourthe à Angleur (vues de mars et d'avril 2000)
© Daylight

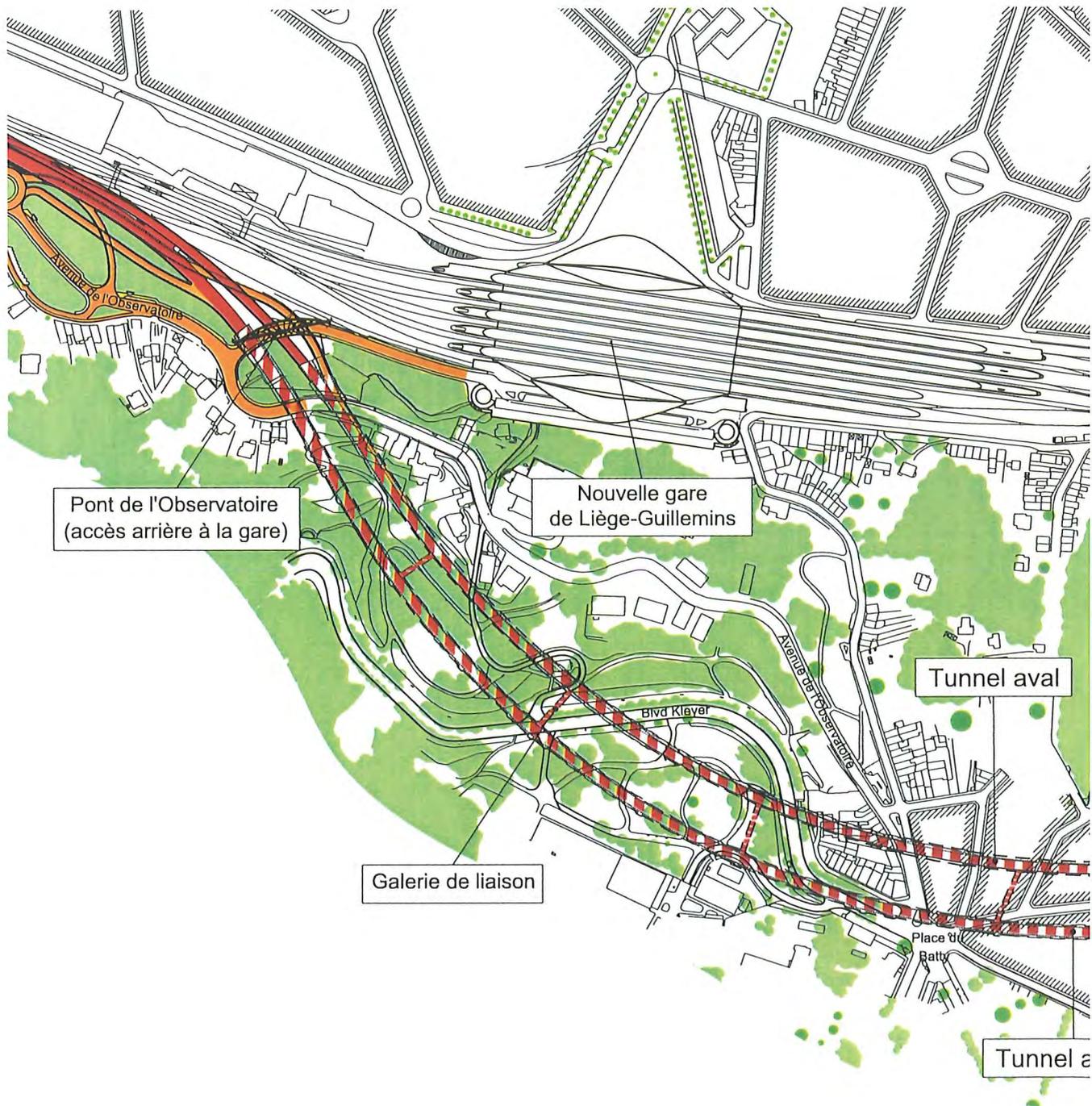


Figure 18 : schéma des ouvrages en rive gauche de la Meuse – Les tunnels de Cointe, l'échangeur des Tilleuls et celui des Guillemins, avec l'accès à la future gare TGV • © 2000 SA Pissart-Van Der Stricht

2.1 L'ÉCHANGEUR DES GUILLEMINS ET LE PONT DE L'OBSERVATOIRE

2.1.1 L'échangeur

L'échangeur des Guillemins marque l'extrémité nord de la liaison, à la fin de l'A602, plus connue sous le nom de « piste de ski », puisqu'elle comporte un viaduc autoroutier surplombant les voies SNCB et présente une pente de l'ordre de 4, puis de 2 %.

Cet échangeur se positionne dans une zone particulièrement exiguë entre les voies de chemin de fer entrant dans la gare des Guillemins, l'avenue de l'Observatoire, le flanc de la colline de Cointe et, bien évidemment, les entrées et sorties des tunnels. Le quartier a été complètement redessiné de façon à intégrer les différentes voies d'accès et à donner, à l'avenue de l'Observatoire, un tracé compatible avec les nouvelles fonctions routières.



Figure 19 : plan d'aménagement de l'échangeur des Guillemins et du pont de l'Observatoire • © Groupement E5/E9

L'aménagement de l'ensemble de l'échangeur témoigne d'un souci permanent d'intégrer au mieux les travaux dans leur environnement urbain. Ainsi, le nouveau tracé de l'avenue de l'Observatoire a-t-il été étudié de façon à concilier différents paramètres — le trafic, la protection des riverains, le cadre de vie, l'urbanisme, etc. — dans le respect des limites budgétaires. Par exemple, l'avenue proprement dite a été écartée des habitations, dont l'accès est assuré par une desserte locale.

Par ailleurs, la totalité de l'échangeur a été traitée comme un ensemble urbanistique cohérent, incluant plusieurs types de travaux — nombreuses plantations, protections acoustiques, revêtements routiers, traitement des têtes des tunnels au moyen de moellons et d'éléments métalliques, ... — qui s'articulent idéalement autour d'un élément architectural important et fort qu'est le nouveau pont de l'Observatoire.



Figure 20 : le site de l'échangeur des Guillemins, avec le pont de l'Observatoire, en mars 2000 – Longeant les voies ferrées, la nouvelle liaison autoroutière qui s'engage dans les tunnels de Cointe, dont les têtes sont surplombées par le nouveau pont de l'Observatoire ; à droite, les voiries de l'échangeur et l'avenue de l'Observatoire • © D. 434 (n° 001944)



Figure 21 : vue du pont après la pose des suspentes (avril 2000) • © D. 434

Le chantier comporte différents aménagements parmi lesquels :

- les structures à proximité des têtes de tunnels ;
- le viaduc de jonction entre le viaduc existant (A602) et les tunnels ;
- les divers viaducs nécessaires aux voies d'accès de l'échangeur ;
- les terrassements ainsi que les dispositifs de soutènement indispensables vu la configuration des lieux ;
- les travaux routiers des nombreuses voiries ;
- le pont de l'Observatoire, qui donne accès à l'arrière de la nouvelle gare des Guillemins (voir ci-après).

L'environnement du chantier rendait la réalisation de toutes ces infrastructures particulièrement délicate et impliquait de nombreuses contraintes dont les plus exigeantes sont celles liées aux voies ferrées : proximité de lignes très fréquentées et des quais de la gare des Guillemins, qui imposait un travail très soigneusement planifié, des précautions importantes et des prestations à horaire décalé.



Figure 23 : le site en mars 2000 – À l'avant-plan, le futur pont de l'Observatoire, dont l'arc vient d'être monté en cinq tronçons, et le viaduc qui le prolonge – On le voit, entre la colline de Cointe et la gare, la configuration des lieux rendait délicate l'exécution des travaux.

© D. 434 (n° 00/922)

Figure 22 : le chantier de la liaison à hauteur des Guillemins en juin 1999 – Dans le fond, l'échangeur est tracé, et la tête des tunnels est en cours de parachèvement.

© D. 434 (n° 99/1814)

2.1.2 Le pont de l'Observatoire

Une convention entre la SNCB, EuroLiège TGV, la Région wallonne et la SOFICO prévoit la création d'une liaison directe entre le parking de la future gare des Guillemins et l'autoroute, via l'échangeur des Guillemins. Ceci permettra à Liège de devenir l'une des premières villes européennes à posséder une gare TGV en liaison directe avec une autoroute de première importance.

Même si la gare n'est pas encore terminée, cet accès « arrière » est réalisé par la SOFICO, dans le cadre des travaux de la liaison E40-E25. En effet, surplombant les têtes de tunnel, il ne pourrait plus être réalisé après la mise en circulation. Pour assurer une parfaite harmonie avec l'architecture de la nouvelle gare des Guillemins et, ainsi, obtenir un ensemble cohérent, l'étude de cet accès est assurée par le même architecte. Celui-ci a proposé un ouvrage complètement métallique avec un tablier en béton.



Figure 24 : maquette du nouveau pont de l'Observatoire – Le dessin particulièrement soigné conduit à une structure très légère de couleur blanche, qui sera particulièrement visible pour les automobilistes se dirigeant vers l'Ardenne, au-dessus de l'entrée dans les tunnels de Cointe. • © Maquette bureau Calatrava • Cliché Daylight



Figure 25 : maquette de la future gare TGV – Le permis de bâtir est accordé, et les travaux ont commencé. • © Cliché de L. Goossenaarts • SNCB-ELTGV

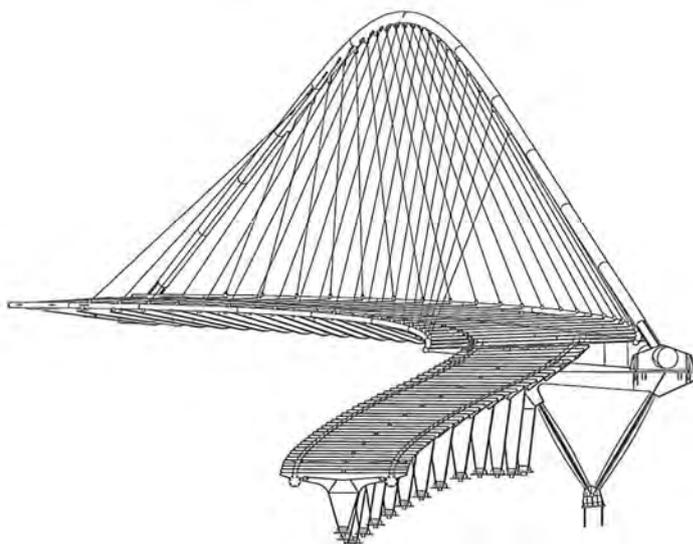


Figure 26 : schéma des parties métalliques de l'ouvrage
© Atelier Poncin

D'une longueur totale d'environ 200 mètres, l'ouvrage se compose de deux parties :

- un pont de type Bowstring de 82 mètres, permettant de franchir les têtes des tunnels depuis l'avenue de l'Observatoire ;
- un viaduc de 122 mètres de long, qui prolonge le précédent en longeant le pied de la colline de Cointe et qui aboutit à l'arrière de la future gare des Guillemins.

• Le pont Bowstring

Constitué d'une structure en acier sur laquelle repose un tablier en béton armé, le nouveau pont est du type « mixte » acier-béton, la liaison étant assurée par des goujons connecteurs. L'ensemble est soutenu par un arc métallique unique, de 750 mm de diamètre et de 80 mm d'épaisseur, par l'intermédiaire de 42 suspentes. La structure en acier du tablier comprend un « *tube tirant** », de 1 420 mm de diamètre et de 40 mm d'épaisseur, sur lequel sont soudées 25 entretoises. Ce tube tirant est droit, et la courbure en plan du pont implique la position rayonnante des entretoises. De ce fait, chaque entretoise possède une géométrie unique et une orientation spécifique sur le tube.

Ces entretoises sont reliées entre elles par des tubes de rive, sur lesquels sont fixées les attaches inférieures des suspentes. La partie supérieure des suspentes est fixée à l'arc par l'intermédiaire d'oreilles soudées à celui-ci.

Les deux extrémités de l'arc sont reliées au tube tirant, formant ainsi le « pied d'arc ». La réalisation de ces pièces, fortement raidies par des tôles d'épaisseurs importantes, a nécessité le dépôt d'une grande quantité de soudure, provoquant ainsi des tensions internes considérables. La relaxation de ces contraintes est assurée par un recuit dans un four à une température de 600 °C.

Ces pieds d'arc reposent sur des appuis en néoprène fretté qui transmettent les efforts, du côté « Observatoire », à une culée en béton et, de l'autre côté, à une *palée** métallique (palée AA) sur laquelle vient également s'appuyer le viaduc.

• Mode de réalisation du Bowstring

Cet important ouvrage a fait l'objet d'une réalisation aux délais particulièrement serrés, étant donné que sa construction a duré moins d'un an. Les principales étapes ont été les suivantes :

- **réalisation des piles et des culées**, dont les fondations sont constituées, notamment, de pieux forés de grand diamètre ;
- en parallèle, **fabrication de la structure métallique en atelier** : palée AA, tube-tirant, entretoises, tubes de rive, pieds d'arc, arc ;
- **montage à blanc**, en atelier, de la structure métallique, afin de s'assurer de la bonne géométrie des nombreuses pièces, toutes différentes, et de vérifier les accostages entre les divers éléments. Vu les dimensions de l'ouvrage, ce montage à blanc a été réalisé en plusieurs tronçons distincts, liaisonnés entre eux de manière théorique sur base d'un relevé topographique ;
- **montage sur le site** du tablier (parties métalliques) : palée AA, pieds d'arc, tube-tirant, entretoises et tubes de rive mis en place au moyen de palées provisoires. Les assemblages sont réalisés par soudage manuel, à l'électrode enrobée, contrôlé par ultrasons ou radiographie ;

- ferrailage et bétonnage du tablier ;
- montage de l'arc en cinq tronçons, assemblés par soudage. Chaque joint bout à bout de l'arc a nécessité 64 heures de travail et plus de 100 passes de soudure ;
- mise en place des suspentes, composées de 7 torons* T15 (150 mm² de section et 1 860 N/mm² de charge de rupture), revêtus d'une gaine en acier inoxydable ;
- enlèvement des supports provisoires du tablier ;
- peinture de la structure métallique (couleur blanche) ;
- travaux de parachèvement : chape, revêtement hydrocarbonné, glissières de sécurité, garde-corps, trottoirs, éclairage, etc.



Figure 27 : montage à blanc du tablier du Bowstring en atelier (octobre 1999) • © D. 434 (n° 99/3046)



Figure 28 : positionnement du troisième tiers du tube-tirant, entre les deux premiers et le pied d'arc situé sur la palée AA, à la jonction entre le Bowstring et le viaduc ; complication importante, ce pied d'arc se situe exactement au-dessus de la voie ferrée du quai n° 14 de la gare des Guillemins (décembre 1999). © D. 434 (n° 99/3737)



Figure 29 : mise en place du cinquième élément d'arc, la clef de voûte, de l'arc du Bowstring, le 16 mars 2000 • © D. Verlaine



Figure 30 : pose des premières suspentes du Bowstring, le 23 mars 2000 • © D. 434 (n° 00/1173)

- **Le viaduc**

Le viaduc est composé de 14 piles métalliques entredistantes de 9 mètres. Une travée de 5 mètres relie la première pile du viaduc à la palée métallique. Ces piles sont reliées entre elles par des tubes de 457 mm de diamètre et de 20 mm d'épaisseur. Entre les deux piles, on retrouve également deux entretoises intermédiaires, qui, comme les piles, supportent le tablier en béton.

- **Mode de réalisation du viaduc**

Le mode de réalisation du viaduc est sensiblement identique à celui du Bowstring. La construction des piles, des entretoises et des longrines s'est effectuée en atelier. L'ensemble du viaduc a fait l'objet d'un montage à blanc en quatre phases, la liaison entre les tronçons étant également réalisée de manière théorique sur base de relevés topographiques. Pour des raisons de transport, les piles ont dû être construites en deux parties, qui ont été soudées sur le site. Quant aux ensembles longrines-entretoises, ils ont été préassemblés au sol et, ensuite, positionnés entre les piles (voir figures 32 et 33). Le joint de rabouillage des longrines a été réalisé par soudage.

Les opérations de ferrailage et de bétonnage du tablier ont ensuite été menées. Celles-ci ont également compris la construction des trottoirs en encorbellement du viaduc, grâce à un dispositif particulier de soutien du coffrage. Enfin, les travaux de peinture, de parachèvement et de finition (identiques au Bowstring) ont finalisé la construction du viaduc.

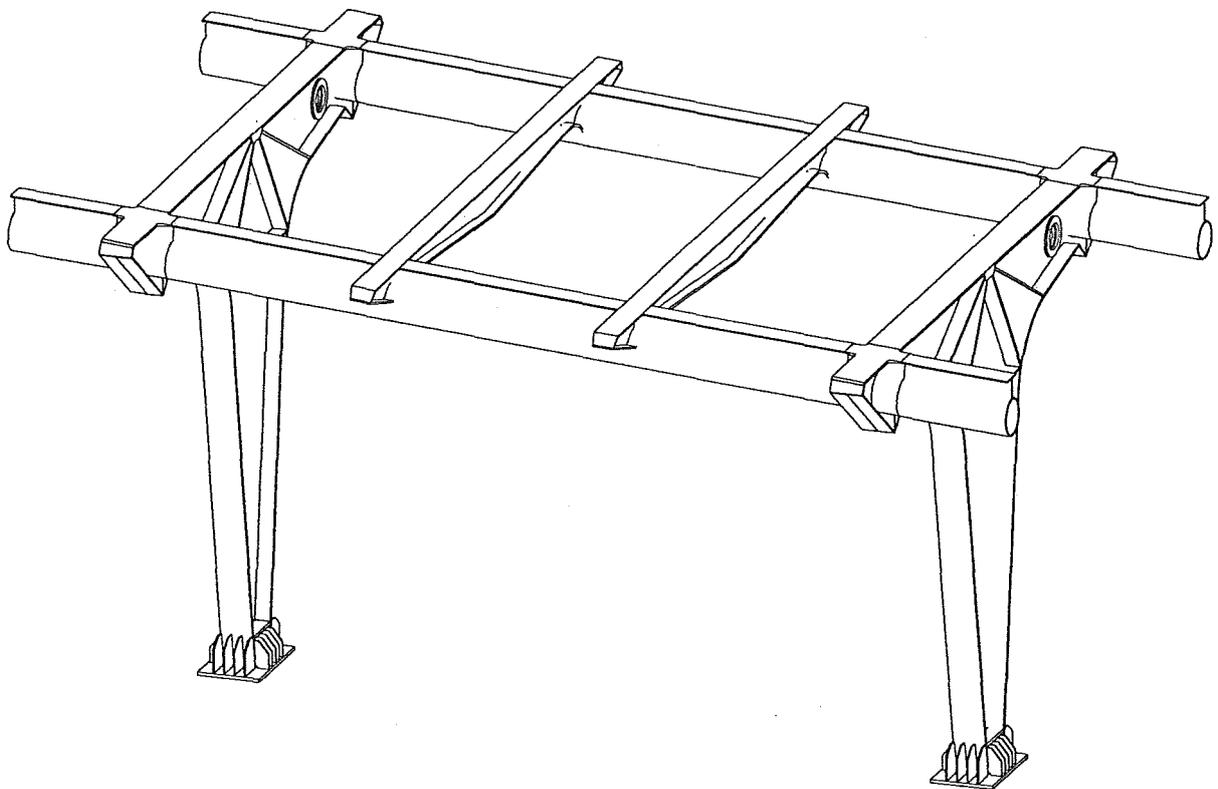


Figure 31 : croquis de l'ensemble piles-entretoises-longrines • © Atelier Poncin



Figures 32 et 33 : montage du viaduc d'accès à l'arrière de la future gare TGV, entre le flanc de la colline de Cointe et les voies ferrées – Les ensembles longrines-entretoises, préassemblés au sol, sont hissés, au moyen d'une grue, et positionnés entre les piles (janvier 2000) ; à l'arrière-plan, on distingue l'autoroute, qui descend vers les tunnels de Cointe. • © D. 434 (n° 00/28 et 00/39)

2.2 LES TUNNELS DE COINTE

2.2.1 Caractéristiques générales et particularités

Les deux tunnels de Cointe sont le tunnel **aval** (sens Ardenne → Bruxelles) et le tunnel **amont** (sens Bruxelles → Ardenne). Ils affichent respectivement une longueur de 1 511 et de 1 639 mètres. Leur tracé en plan se définit par une courbe de 700 mètres de rayon, un alignement droit relativement court et une contre-courbe de 600 mètres de rayon (voir la vue en plan des deux tunnels, fig. 18, p. 18).

En partie courante, les axes des tunnels sont distants de l'ordre de 50 mètres afin d'éviter des problèmes d'interférence de charges lors du creusement. Aux têtes, l'entre-axe est ramené à 30 mètres. Leur enfouissement atteint 15 à 58 mètres sous le terrain naturel. Chaque tunnel, de section quasi circulaire de 116 m² comporte deux bandes de circulation de 3,50 mètres. La longueur de l'ouvrage implique une ventilation semi-transversale. Cela explique, d'une part, la présence d'un conduit d'air vicié de 12 m² à la partie supérieure et, d'autre part, l'existence d'une gaine d'air frais de 6 m² sous la chaussée. Un caniveau technique existe également sous la chaussée.

En ce qui concerne la structure, deux anneaux superposés, de 30 centimètres d'épaisseur chacun, se prolongeant en un radier de 60 centimètres, forment l'élément principal :

- l'**anneau extérieur** et le radier reprennent la pression des terrains. La voûte est constituée de béton projeté et de *cintres réticulés** ;
- l'**anneau intérieur**, en béton armé coulé en place, supporte, d'une part, les charges hydrostatiques (dues à l'eau) éventuelles et, d'autre part, les pressions de confinement additionnelles qui peuvent se développer lors de convergences postérieures à la réalisation de l'ouvrage ;
- un **drain** et une **membrane d'étanchéité** sont interposés entre les deux anneaux.

En outre, de nombreux dispositifs ont été prévus pour assurer la sécurité des usagers. Ils sont présentés dans le chapitre 6.



Figure 34 : la cheminée d'extraction de l'air vicié, située au Chéra, sur le plateau de Cointe (voir le point 6.2, consacré à la ventilation, pp. 85-87) • © Daylight

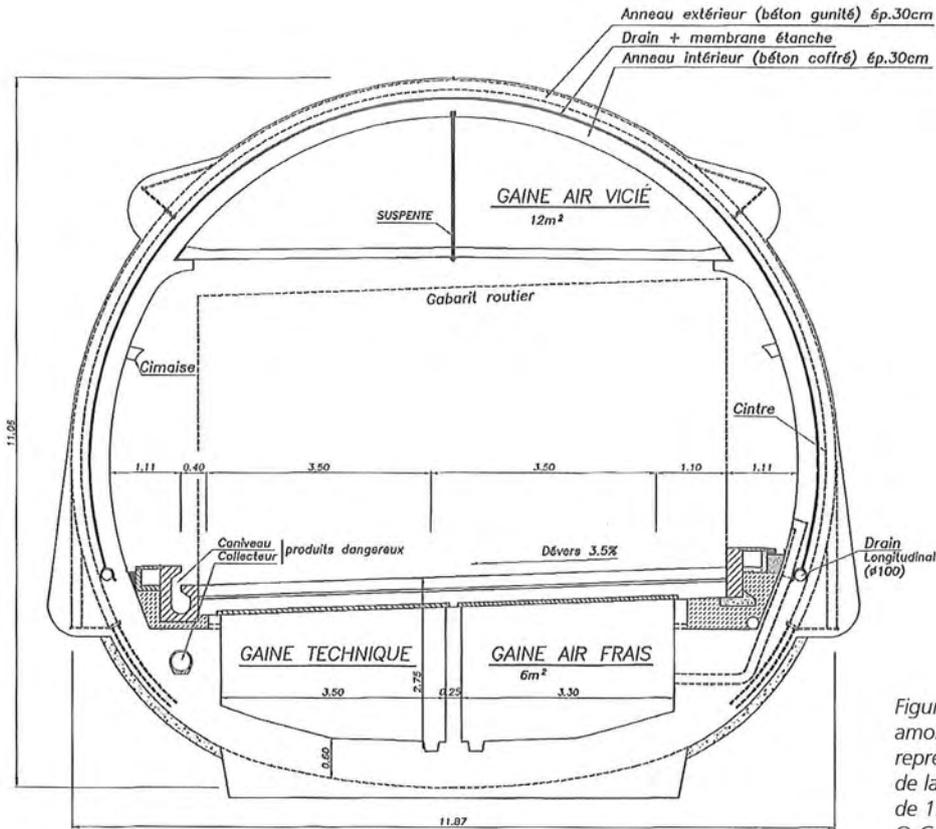


Figure 35 : coupe dans le tunnel amont en section courante, représentant les divers pertuis de la section quasi circulaire de 12 mètres de diamètre © Groupement E5/E9

TUNNEL AMONT (vue en direction des Tilleuls)



Figure 36 : l'un des deux tunnels de Cointe, avec ses parachèvements (avril 2000) • © Daylight

2.2.2 Mode de réalisation des tunnels

• Les têtes « Tilleuls » et « Guillemins »

Comme pour tout tunnel, les têtes constituent des points très délicats, qui nécessitent des études poussées et des techniques tout à fait particulières : utilisation de *pieux sécants** et de *tirants d'ancrage**, congélation du sol, injections, etc.



Figure 37 : vue, en 1986, du chantier de construction de la tête « Tilleuls », qui doit passer sous la rue Solvay et sous deux voies de chemin de fer importantes (ligne Liège-Namur) • © A. Maréchal



Figure 38 : le chantier de construction de la tête « Tilleuls » en 1987 • © A. Maréchal



Figure 39 : les débuts de la construction de la tête « Guillemins », en 1988 • © Ex-MTP (n° 200 652)

• La géologie

Le sous-sol de la colline de Cointe est particulièrement hétérogène. Il est constitué, en alternance, de couches de schistes, de grès et de schistes gréseux. On y rencontre des roches de caractéristiques géomécaniques très variables allant des schistes altérés et décomposés aux grès très résistants et à forte teneur en quartzite. Le massif comporte diverses failles ainsi que des couches de charbon qui ont fait l'objet, il y a plusieurs siècles, de nombreuses exploitations non recensées.

Des campagnes importantes de reconnaissance géologique et d'autres études ont pu déterminer la méthode de creusement la plus appropriée. Il fallait prendre en considération la géologie complexe du terrain, l'importance de la section à creuser, la longueur et les risques liés aux exploitations minières antérieures.

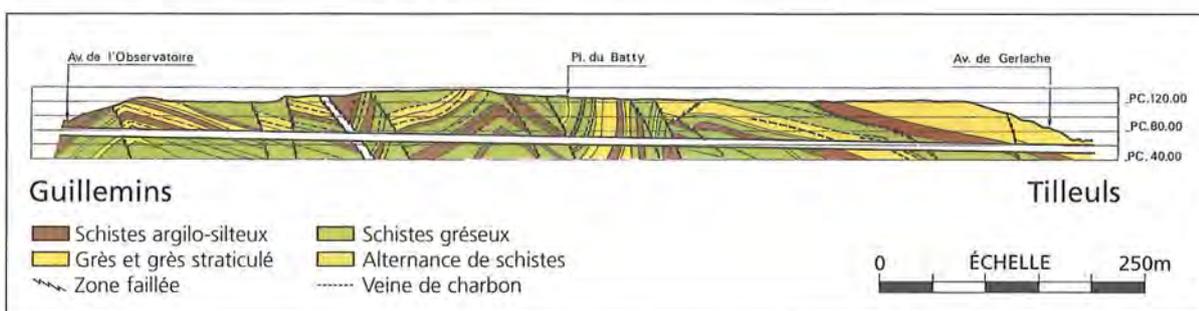


Figure 40 : coupe géologique schématique dans la colline de Cointe, avec position du tunnel • © Met

• La méthode de creusement

Les conditions géologiques et la longueur moyenne des tunnels rendaient l'utilisation d'un *tunnelier full face**, trop hasardeuse et économiquement peu rentable. De plus, la faible profondeur et la proximité des habitations interdisaient l'utilisation d'explosifs.

La méthode retenue fut celle d'une machine à attaque ponctuelle, une haveuse, d'une puissance effective de coupe de 300 kW. Son poids — 130 tonnes — lui assure une stabilité remarquable et lui permet de développer le maximum de sa puissance lorsqu'elle rencontre des terrains dont la résistance dépasse localement 1 500 bars.



Figure 41 : la haveuse, qui sert au creusement des tunnels de Cointe • © A. Maréchal

L'importance de la section imposait une réalisation par **passes successives**

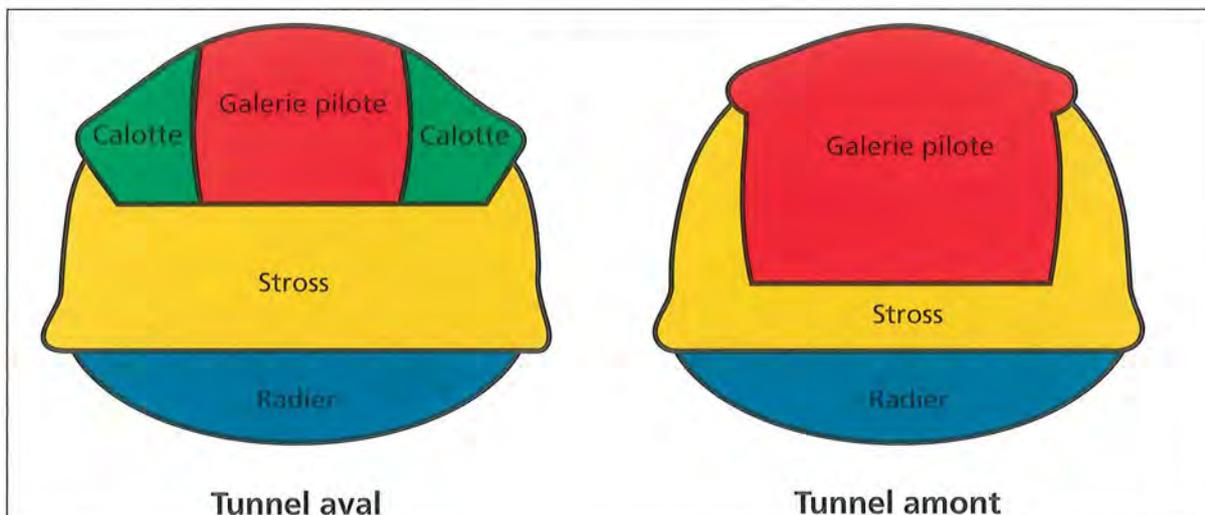


Figure 42 : les différentes phases de creusement des deux tunnels de Cointe • © D. 151

Pour le premier tunnel (aval), celles-ci ont été :

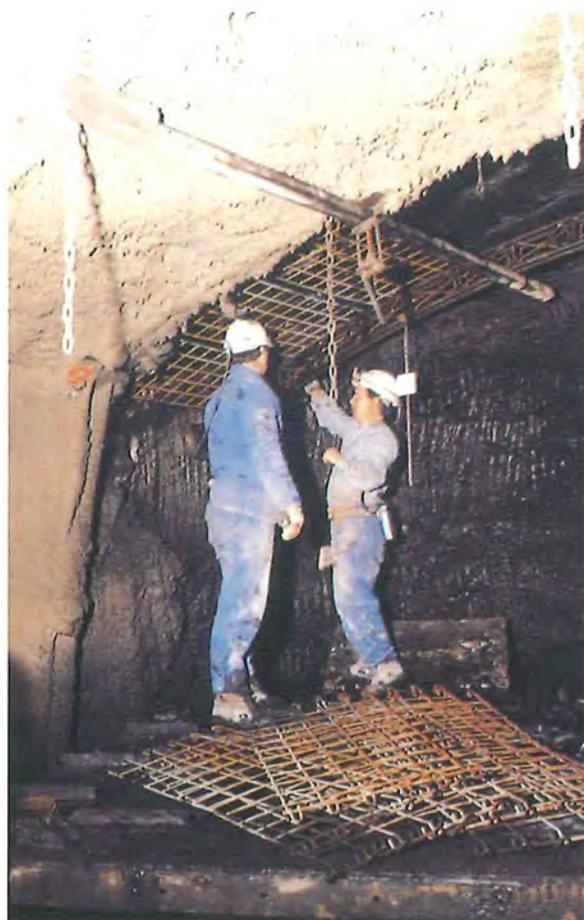
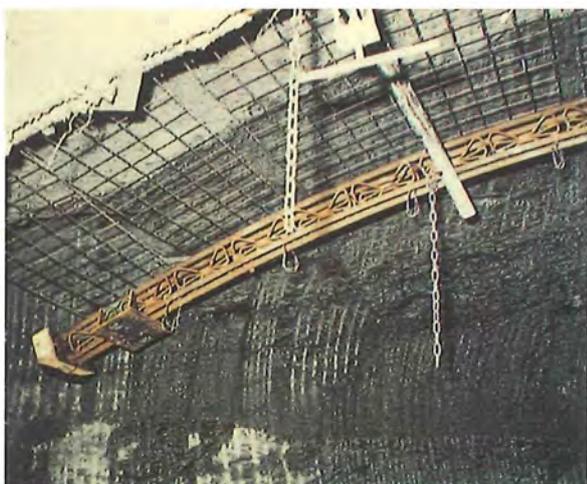
- la **galerie pilote**. Cette galerie de 36 m² de section, située à la partie supérieure de la section du futur tunnel, a été creusée sur toute la longueur de celui-ci. Elle permet, d'abord, d'avoir une reconnaissance directe de tous les terrains et d'identifier les différentes difficultés géologiques dans une galerie de dimensions moyennes ; ensuite, d'analyser le comportement des roches et des soutènements ; enfin, de tester le matériel et de vérifier les hypothèses de calcul ;
- la **calotte** ;
- le **stross*** ;
- le **radier**.

Pour le second tunnel (amont), l'expérience acquise lors du creusement du premier, les derniers progrès enregistrés dans la mise au point des engins de creusement et l'optimisation des techniques ont permis de réaliser des économies. Ainsi, trois phases seulement ont été nécessaires pour le creusement : galerie pilote, stross et radier. Le soutènement a également pu être réduit.



Figure 43 : la hacheuse en fonctionnement pour le creusement d'un des tunnels de Cointe, en 1995 (galerie pilote du tunnel amont)
© A. Maréchal

Le creusement s'est effectué en trois pauses successives de huit heures, le week-end étant réservé aux travaux de reconnaissance, d'entretien et de préparation.



Figures 44 à 46 : mise en place d'un cintre réticulé, pose d'un treillis métallique et gunitage*, en 1988 – Le positionnement correct du cintre est indispensable au respect du tracé, tant en plan qu'en niveau. L'implantation est donc guidée par deux rayons laser matérialisant l'axe optique de deux théodolites*. • © MEF

- La réalisation de la structure des tunnels

À l'occasion des différentes phases de creusement, l'anneau extérieur — partie supérieure, au-dessus du futur radier — a été progressivement exécuté. Il a été réalisé par la projection de béton (gunité) sur les parois rocheuses avec la pose de cintres réticulés — entredistants de 1,5 mètre —, de treillis métalliques et de boulons (un par mètre carré) (voir fig. 43 à 46, pp. 32 et 33).

Ont alors suivi plusieurs **portiques**, grâce auxquels on a exécuté :

— le **ferraillage** et le **bétonnage du radier**. Celui-ci était pourvu d'un pont qui permettait aux engins d'atteindre, en permanence, le front de creusement, notamment pour l'évacuation des déblais ;

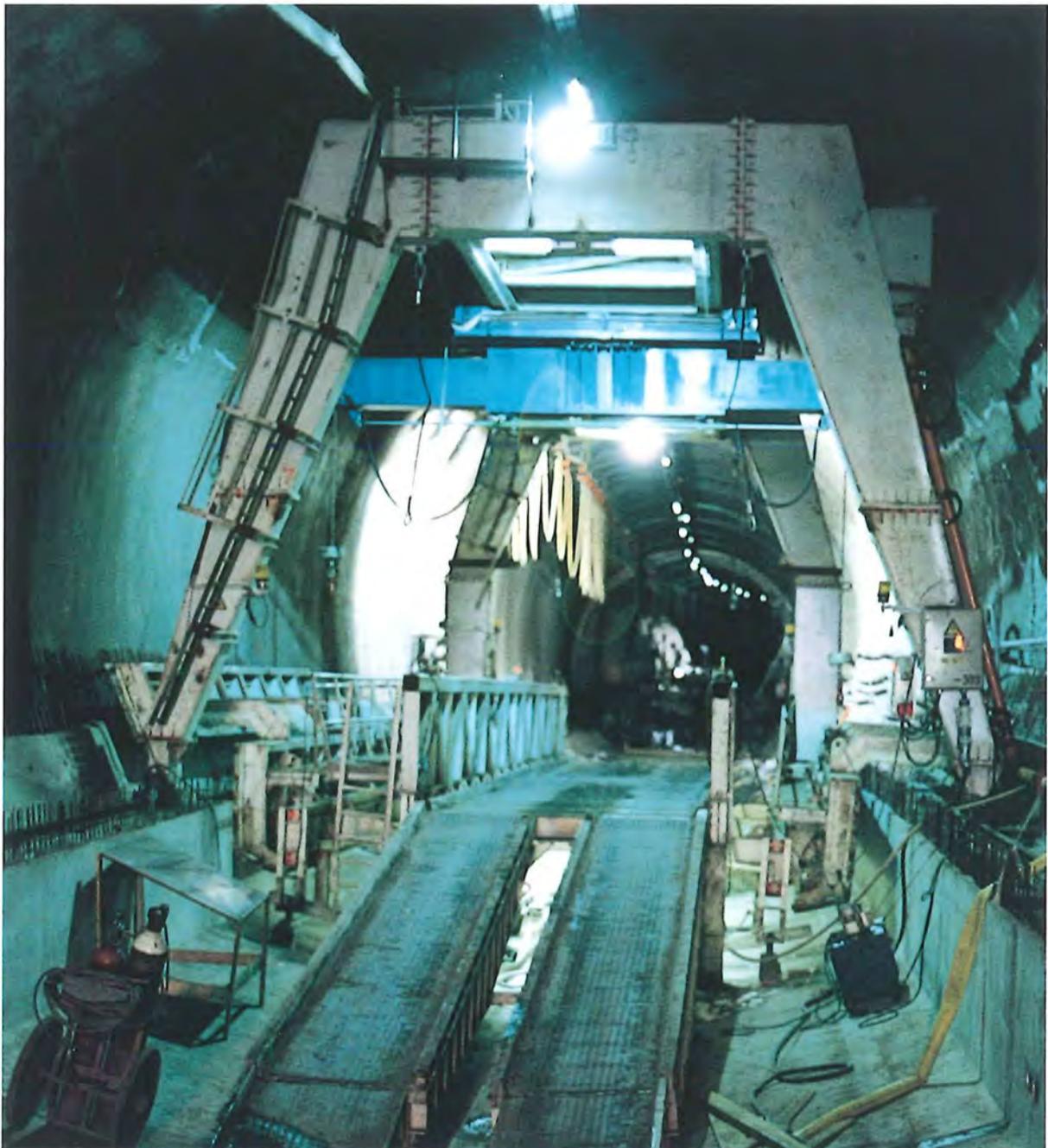


Figure 47 : portique de ferrailage et de bétonnage du radier (1998). On distingue, à l'arrière-plan, la haveuse au front de creusement. • © A. Maréchal

- le *ragréage** de l'anneau extérieur ;
- la mise en place du drain et de la membrane étanche ;



Figures 48 et 49 : pose du drain et de la membrane (vues de septembre 1997 et d'août 1998) • © Daylight

- le ferrailage de l'anneau intérieur ;
- le bétonnage de l'anneau intérieur ;



Figure 50 : portique de bétonnage de l'anneau intérieur avec, en arrière-plan, le portique de ferrailage de l'anneau intérieur (vue de septembre 1997) • © Daylight



Figures 51 et 52 : ces deux figures illustrent très bien l'adaptation latérale nécessaire du portique de bétonnage dans une section élargie, illustrée sur la photo de droite (vues d'août 1998). • © A. Maréchal et Daylight

— le ferrillage et le bétonnage de la dalle de route (voile* central, banquettes et dalle) ;



Figures 53 et 53' : réalisation de la dalle de route (vues d'août 1998) • © Daylight

— le ferrailage et le bétonnage de la **dalle de faux plafond**.



Figure 54 : portique de faux plafond (1998) • © A. Maréchal

Tous ces portiques et les travaux correspondants devaient continuellement s'adapter aux particularités des tunnels (sections élargies, présence de réservations pour les niches et les bouches de ventilation, raccordement aux galeries de liaison, etc.).

De plus, ils devaient tous avancer à une vitesse à peu près égale, car ils ne pouvaient, en aucun cas, se rattraper ou se dépasser. L'avancement moyen était dicté par celui du creusement, soit plus ou moins 25 mètres par semaine pour les portiques de radier, le drain, la membrane et l'anneau intérieur. Les portiques de dalle de route et de dalle de faux plafond ne pouvaient, quant à eux, démarrer qu'à la fin du creusement, et leur vitesse d'avancement était plus rapide (50 mètres par semaine).

• La méthode de calcul

La méthode de calcul de la structure (double anneau de béton) est fondamentalement liée à la méthode d'exécution. En effet, grâce à l'excavation par passes successives, on peut profiter de la décompression des terrains. Ce phénomène engendre une diminution importante de la pression de confinement jusqu'à environ 30 % de la pression géostatique initiale.

Ce comportement particulier, qui relève de l'interaction « massif-structure », peut être mis en évidence par une méthode de calcul récente, dite de *convergence-confinement*. Cette méthode est alors complétée par des calculs très précis (éléments finis) nécessitant l'intervention de puissants programmes informatiques et permettant d'optimiser le dimensionnement.

Celui-ci est adapté aux variations très fréquentes des qualités des massifs rencontrés. Il n'est cependant pas possible d'adapter continuellement le soutènement. Pour les études, sont prises en compte les caractéristiques moyennes qui conduisent à un dimensionnement suffisant dans 90 % des cas. Les mauvaises zones font alors l'objet de traitements additionnels tels qu'injections de consolidation, densification du boulonnage et/ou des cintres, etc.

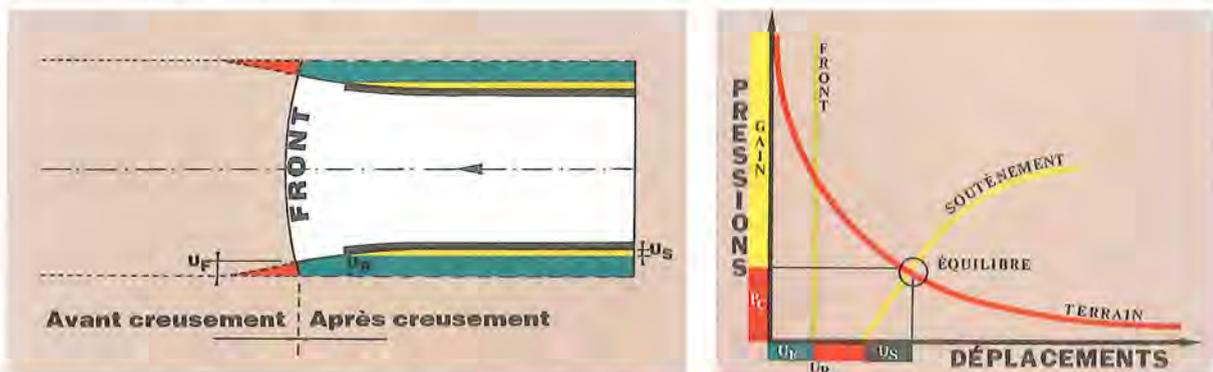


Figure 55 : schéma des déplacements constatés lors des creusements et graphique représentant les pressions en fonction des déplacements, appelés convergences • © MET

• La métrologie

En cours de creusement — et même ultérieurement —, les déplacements du terrain et leurs influences doivent être constamment contrôlés. C'est pourquoi l'on procède à différentes mesures (voir planche 1, ci-contre). On mesure ainsi notamment :

- la convergence du rocher (voir planche 1-1) ;
- les tensions dans la structure (cellules à cordes vibrantes permettant de déterminer les elongations et donc les contraintes) (voir planche 1-2) ;
- les tassements en surface (voir planche 1-3) ;
- le débit d'eau en galerie et l'évolution du niveau de la nappe phréatique (voir planche 1-4) ;
- la décompression du rocher vers la surface (voir planche 1-5).

En outre, grâce à ces mesures, on peut s'assurer d'une bonne concordance avec les résultats obtenus lors du dimensionnement de la structure.



Figure 56 : le creusement sous la colline de Cointe, en juin 1998 • © Daylight

2.3 L'ÉCHANGEUR DES TILLEULS

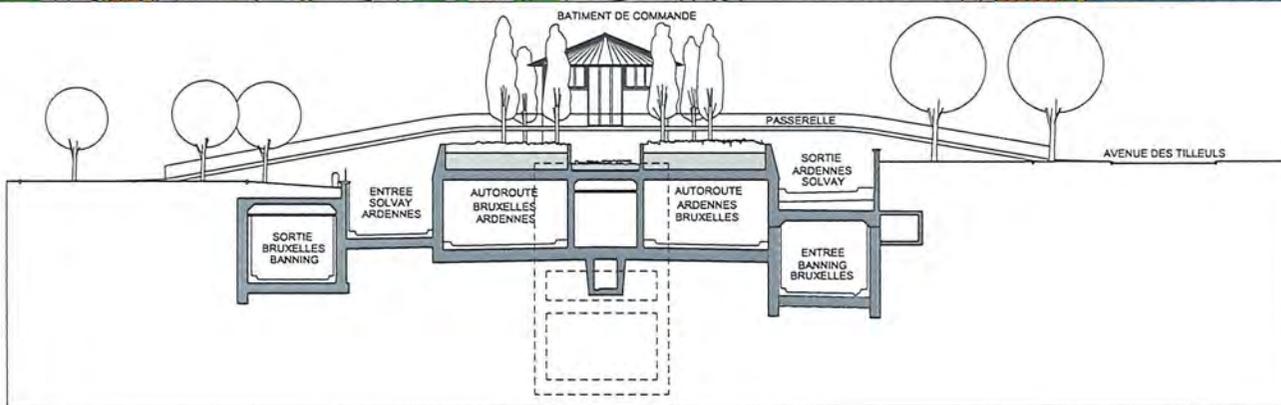
L'échangeur des Tilleuls se situe entre l'extrémité des tunnels de Cointe et le pont haubanné sur la Meuse, au Val-Benoît, dans une zone particulièrement exiguë entre le domaine universitaire et l'avenue des Tilleuls.

Complètement redessinée, la zone autorise aujourd'hui toutes les connections (entrées et sorties) : celles avec Bruxelles empruntent le quai Banning, tandis que celles avec l'Ardenne utilisent la rue E. Solvay. L'étude architecturale se fondait sur un aménagement complet, compatible avec l'environnement urbain du chantier (voir points 1.4 et 1.5 et fig. 6 et 7, pp. 12 et 13).

Sur le plan technique, pour faire face aux contraintes importantes du site et du projet — notamment, l'exiguïté de l'espace disponible, la rampe, inclinée à 6 %, de l'auto-route vers le pont, la présence de la nappe phréatique, la réalisation de quatre branches d'entrées et de sorties, la gestion de la circulation existante, la planification serrée, etc. —, on a utilisé de nombreuses méthodes d'exécution adaptées et divers types de matériaux.



Figure 57 : la tête « Tilleuls » avec la sortie des tunnels ; l'échangeur ; la passerelle en bois, entre l'avenue des Tilleuls et le Val-Benoît ; le poste de commande, véritable centre nerveux de la liaison, au cœur même de l'échangeur ; et les prises d'air frais (mars 2000) • © D. 434 (n° 001/1010)



Le chantier comportait différents aménagements et infrastructures parmi lesquels :

- les **structures** à proximité des têtes de tunnels ;
- les **terrassements et les dispositifs de soutènement**, indispensables vu la configuration des lieux (rideaux de palplanches, pieux sécants, fouilles blindées, parois moulées, ...). Ces dispositifs de soutènement sont similaires à ceux utilisés pour les chantiers de Kinkempois et des Grosses-Battes (voir points 4.1 et 4.2, pp. 62-75) ;
- la réalisation, via les dispositifs de soutènement, d'une **enceinte étanche**, car l'ensemble des structures est situé sous le niveau de la nappe phréatique ;
- les **structures** de l'échangeur (radiers, voiles, dalles supérieures) en béton armé. Précision importante : la dalle surplombant l'autoroute a été prolongée de 65 mètres vers la Meuse afin de protéger au mieux les riverains de l'avenue des Tilleuls ;
- les **revêtements** des structures au moyen de pierres bleues, de briques, de bardages métalliques et acoustiques, de couvre-murs, etc. ;
- les **voiries de l'autoroute** et les diverses **voies de l'échangeur** qui se superposent, car la longueur disponible est trop réduite (moins de 300 mètres) pour permettre la succession habituelle des branches de sortie et d'entrée ;
- l'adaptation des **voiries** que sont les quais de Rome et Banning (N617), la rue E. Solvay (N617e) et l'avenue des Tilleuls ;
- les modifications nécessaires au domaine universitaire du **Val-Benoît** ;
 - les **cheminements pour piétons et cyclistes**, munis de nombreux trottoirs et de piétonniers en pavés de bétons et en dolomie, ainsi qu'une **passerelle en bois** reliant l'avenue des Tilleuls au domaine du Val-Benoît ;
 - les **plantations**, sur les dalles, les talus, les abords, ainsi que la constitution d'écrans végétaux ;
 - les **fondations**, sur pieux forés de grand diamètre, de la culée du pont sur la Meuse en rive gauche ;
- le **bâtiment de prise d'air frais**, nécessaire à la ventilation des tunnels de Cointe (voir chapitre 6, p. 86) ;
- le **bâtiment de commande**, situé au cœur de l'échangeur. Sur une hauteur totale de huit étages, il regroupe différentes fonctions vitales à l'exploitation de la liaison E40-E25. Ainsi, dans la partie inférieure, un bassin d'orage récolte les eaux de ruissellement provenant des tunnels de Cointe et de l'échangeur des Tilleuls, qui sont ensuite pompées et évacuées en Meuse (les produits dangereux éventuellement répandus sur la chaussée sont regroupés dans des bassins séparés). Suivent ensuite plusieurs étages nécessaires aux équipements électromécaniques. Dans la partie supérieure, se trouve le poste de commande, véritable centre nerveux de la liaison, puisque, de cet endroit, s'effectue la gestion courante et la surveillance (voir chapitre 7, pp. 92-94).



fig. 59 : le chantier en mars 1986 • © A. Maréchal

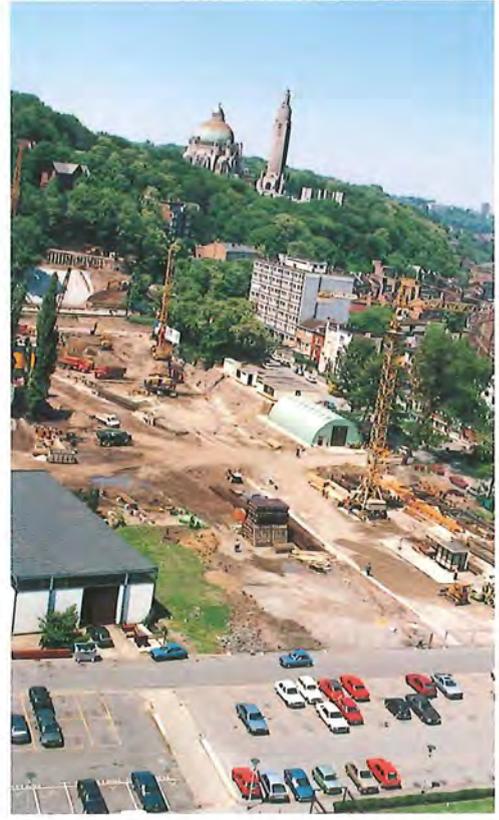


fig. 60 : le chantier en août 1986 • © A. Maréchal

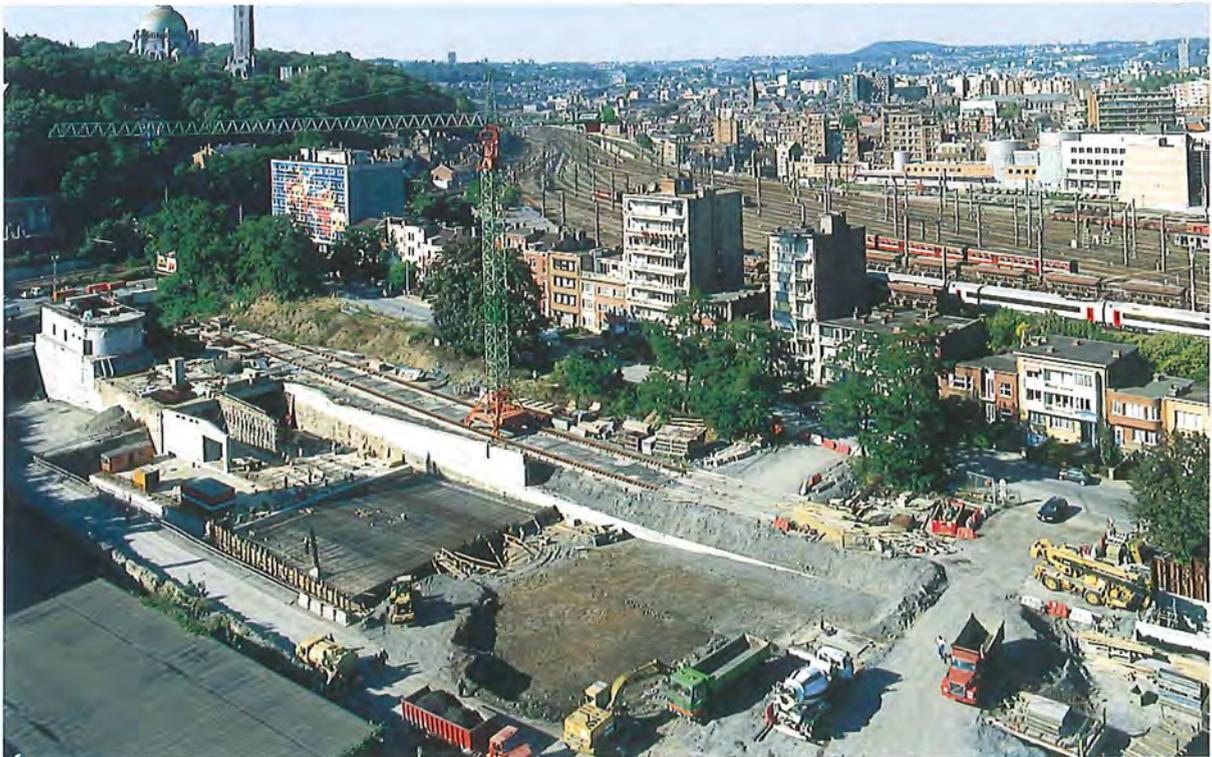


fig. 61 : le chantier en septembre 1997 • © Daylight

Figures 59 à 63 (pages 44 et 45) : la réalisation de l'échangeur des Tilleuls – Évolution du chantier entre 1986 (construction de la tête des tunnels) et 2000



fig. 62 : le chantier en juin 1998 • © Daylight



fig. 63 : le chantier en avril 2000 • © Daylight



Figure 64 : plan d'aménagement d'ensemble, comprenant l'échangeur et les voiries périphériques nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci • © 2000 SA Pissart-Van Der Stricht

2.4 LES VOIRIES PÉRIPHÉRIQUES « DES TILLEULS »

Pour être complet et permettre une circulation dans toutes les directions, l'échangeur des Tilleuls devait disposer d'une ceinture autour du domaine universitaire du Val-Benoît.

Les différentes voiries constituant cette rocade ont dès lors été adaptées pour permettre un trafic fluide et sûr, tant pour les usagers de la route — y compris les transports en commun — que pour les piétons et les cyclistes. Ces voiries — le quai Banning (N617), la rue A. Stévant (N617d) et la rue E. Solvay (N617e) —, qui font partie intégrante de l'échangeur, sont aujourd'hui dotées d'un nouveau tracé et de carrefours adaptés au volume du trafic, à la configuration des lieux et à la sécurité.

2.4.1 Les carrefours

Le carrefour « **échangeur – rue Solvay** ». Il s'agit d'un rond-point, qui accueille, notamment, les voies d'entrée et de sortie venant ou en direction de l'Ardenne.

Le carrefour « **rue Solvay – rue Stévant** ». Il s'agit d'un rond-point, qui comporte un *by-pass* pour la circulation de Sclessin vers le quai, afin d'orienter au mieux le trafic de transit vers le quai. L'ancien accès au passage à niveau, peu sûr et très régulièrement fermé, est supprimé à cet endroit et remplacé par un passage supérieur, réalisé à quelques centaines de mètres en amont vers Sclessin. Ce nouveau passage du chemin de fer, construit par la SNCB, a bénéficié d'une participation financière de la SOFICO.

Le carrefour « **quai Banning – rue Stévant** ». Il s'agit d'un rond-point, compatible avec le trafic et avec le nombre de bandes de circulation du quai.

Le carrefour « **quai Banning - échangeur** ». Doté de feux tricolores, il accueille, notamment, les voies d'entrée et de sortie venant de ou en direction de Bruxelles. Le trafic provenant de Bruxelles pourra se diriger vers Liège par une manœuvre de demi-tour dans le rond-point au carrefour « quai Banning – rue Stévant ».

Ces divers carrefours permettent de marquer la rupture entre, d'une part, les voies rapides venant de l'autoroute ou de Huy, via les quais de la Meuse, et, d'autre part, les voiries strictement urbaines. Ce sont, en quelque sorte, des signaux d'entrée dans la ville de Liège.

2.4.2 Les voiries

Le quai Banning. Le tracé, qui crée une bande « tourne à gauche » pour le trafic venant de Huy et entrant sur l'autoroute, est compatible avec projet de mise à quatre bandes de circulation des quais, en amont du carrefour « quai Banning – rue Stévant ».

La rue Stévant. Elle est quelque peu déplacée afin d'assurer un bon raccordement de ses extrémités aux deux ronds-points.

La rue Solvay. Pour favoriser l'entrée en ville des bus, le tracé crée un site propre destiné aux transports en commun à l'approche des deux ronds-points. On a aussi réalisé de nouveaux trottoirs, confortables, ainsi qu'une piste cyclable (entre le passage sous voies et les aménagements de l'échangeur, et le long du quai de Rome).

2.4.3 La réalisation des travaux

L'aménagement des voiries Banning, Stévant, Solvay et des carrefours « Banning – Stévant » et « Stévant – Solvay » a fait l'objet d'un marché séparé, distinct de celui de l'échangeur, car ces travaux routiers sont plus classiques. La réalisation de ce chantier, qui devait tenir compte d'un important trafic, a été soigneusement planifiée.



Figure 65 : le site du Val-Benoît en bordure de la Meuse, en mars 2000, doté d'une véritable ceinture constituant l'échangeur © D. 434 (n° 00/966)



Figure 66 : les nouveaux ronds-points de l'échangeur, adaptés au volume du trafic et à la configuration des lieux, doivent garantir une sécurité maximale aux usagers (vue de mars 2000). • © D. 434 (n° 00/951)

3 LE FRANCHISSEMENT DE LA MEUSE

3.1 L'IDENTITÉ D'UN PONT

Un important ouvrage d'art permet de franchir la Meuse et, ainsi, de relier l'échangeur des Tilleuls, situé en rive gauche, et le tunnel sous le quadrilatère de Kinkempois, en rive droite de la Meuse.

Il s'agit d'un pont haubanné dont le pylône, haut de 75 mètres, est situé en rive droite. La portée centrale de l'ouvrage développe 162 mètres. Une travée intermédiaire permet le franchissement, en rive gauche, du quai Banning.

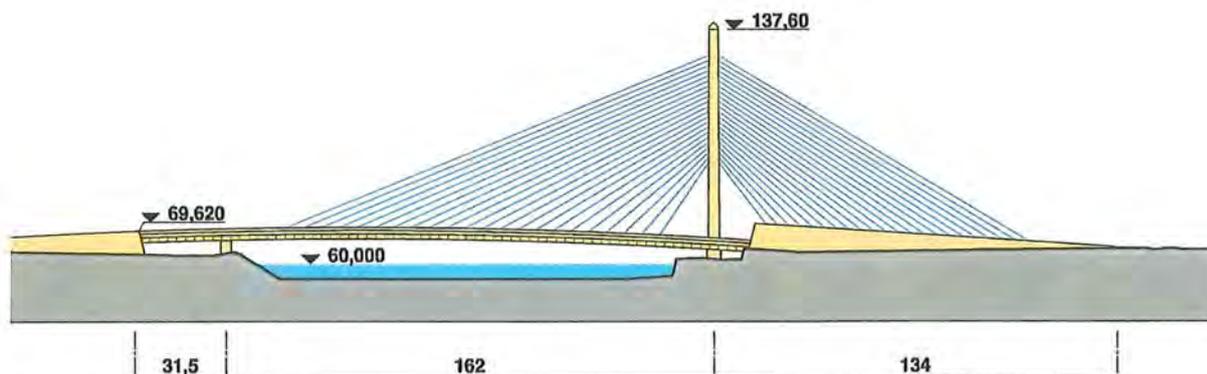


Figure 67 : le pont sur la Meuse — Vue en élévation • © Beg

Pour des raisons liées au site — plongée directe sous le quadrilatère ferroviaire, proximité directe de quartiers habités —, la travée d'équilibrage classique a été remplacée par une structure couverte, dénommée *culée-contrepoids*, s'enfonçant progressivement dans le sol une fois la Meuse franchie.

Cette configuration permet, d'une part, de mobiliser le poids nécessaire à l'équilibrage de la travée surplombant la Meuse et, d'autre part, de préserver au maximum les riverains directs des nuisances acoustiques.

Vingt-deux paires de haubans assurent le report des efforts du tablier vers le pylône et la culée-contrepoids.

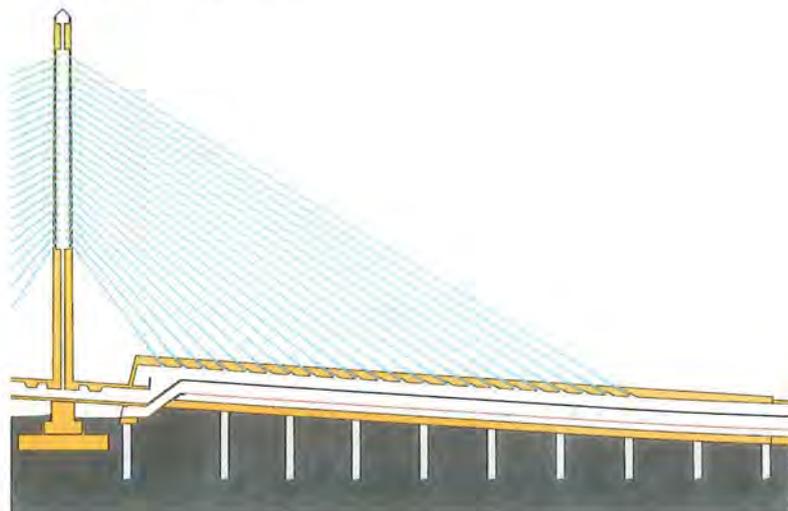
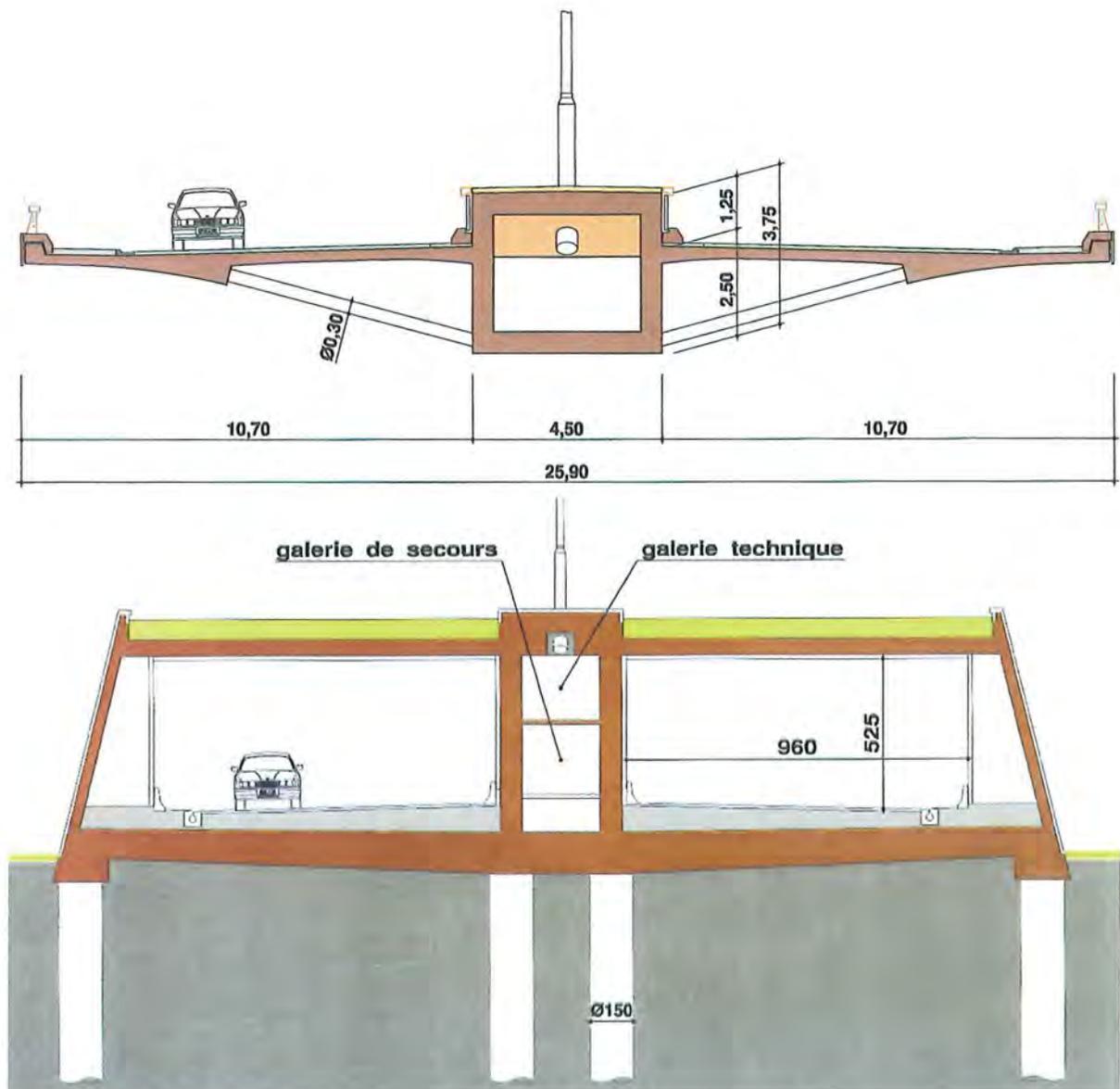


Figure 68 : le pont sur la Meuse — Coupe longitudinale dans la culée-contrepoids • © Beg

La section transversale de l'ouvrage met en évidence un caisson central de dimensions réduites (4,5 m x 3,75 m) sur lequel viennent se greffer, aux deux tiers de la hauteur, deux dalles de platelage supportant chacune un sens de circulation. Des *bracons** métalliques, disposés tous les 3 mètres, assurent le report d'une partie du poids des dalles de platelage vers la base inférieure du caisson. Le tablier est postcontraint longitudinalement et transversalement. Dans le caisson, des *bossages**, disposés tous les 6 mètres, réceptionnent les ancrages inférieurs des haubans.

Le pylône, haut de 75 mètres, épouse une forme *tronconique** : le diamètre en base atteint 4,3 mètres, alors que le diamètre en tête est de 3,2 mètres. À partir de la mi-hauteur, une cage métallique, assurant la réception des ancrages supérieurs des haubans, est noyée dans le béton sur une hauteur de 35 mètres.



Figures 69 et 70 : le pont sur la Meuse — Coupes dans le tablier et dans la culée-contrepoids • © Beg



Figure 71 : le pylône du pont, de forme tronconique, s'élève à 75 mètres de haut (vue d'avril 1999). • © Daylight



Figure 72 : les bracons sous le tablier du pont (vue d'octobre 1999) © Daylight



Figure 73 : le pont sur la Meuse – La culée-contrepoids et l'aménagement des abords de Kinkempois, en mars 2000 • © D. 434 (n° 00/949)



Figure 74 : détail de l'ancrage des haubans (mars 2000, vers Cointe) • © Daylight

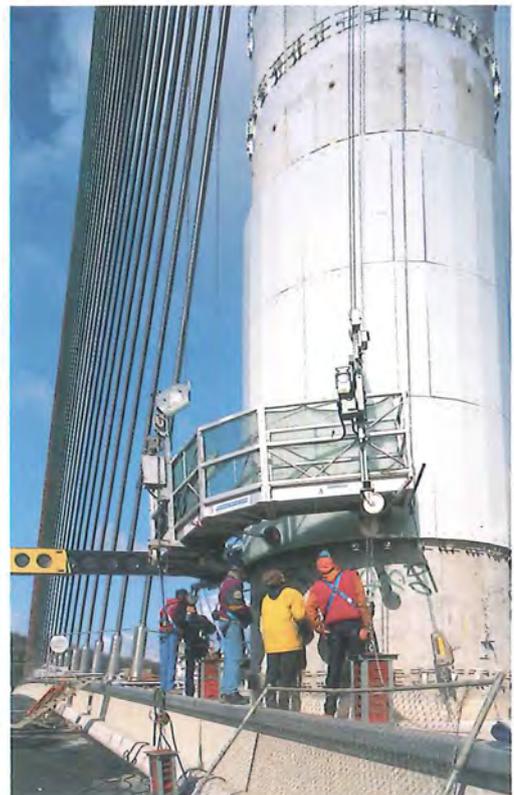


Figure 75 : pose des plaques en verre sur le pylône, en mars 2000 • © Daylight

La culée-contrepoids se présente comme une structure couverte à parements inclinés s'enfonçant progressivement dans le sol. Des parois intérieures délimitent les deux sens de circulation ainsi que les galeries de fuite (conduisant aux issues de secours) et technique dans le prolongement de celles réalisées pour le tunnel sous Kinkempois. Pour des raisons de stabilité et de géométrie, cette culée repose sur un ensemble de quarante pieux forés de grand diamètre.

Le profil en long de l'ouvrage a été conditionné par le respect d'un certain nombre de points de passage obligés :

- le raccordement avec les tunnels de Cointe passant sous la ligne de chemin de fer Namur–Liège et sous la rue Ernest-Solvay (point bas) ;
- le maintien d'un gabarit routier au droit du quai Banning (point haut). Par ailleurs, le quai Banning a été localement abaissé au droit de l'ouvrage à construire ;
- le maintien des gabarits fluviaux en Meuse (point haut) ;
- le passage sous la rue d'Ougrée, en rive droite, et la plongée sous le quadrilatère ferroviaire de Kinkempois (point bas).

3.2 UNE PORTE POUR LA VILLE

Situé en milieu urbain, l'ouvrage constitue un signal majeur qui marque l'entrée en ville. À cet effet, un effort important d'intégration des structures dans le site a été consenti.

Ainsi, outre les parachèvements esthétiques importants du pont — gainage en inox des haubans, revêtement des surfaces bétonnées avec des pierres de taille, traitement architectural de la culée-contrepoids, etc. —, d'importants travaux annexes ont été menés dans le cadre de cette entreprise. On peut notamment citer :

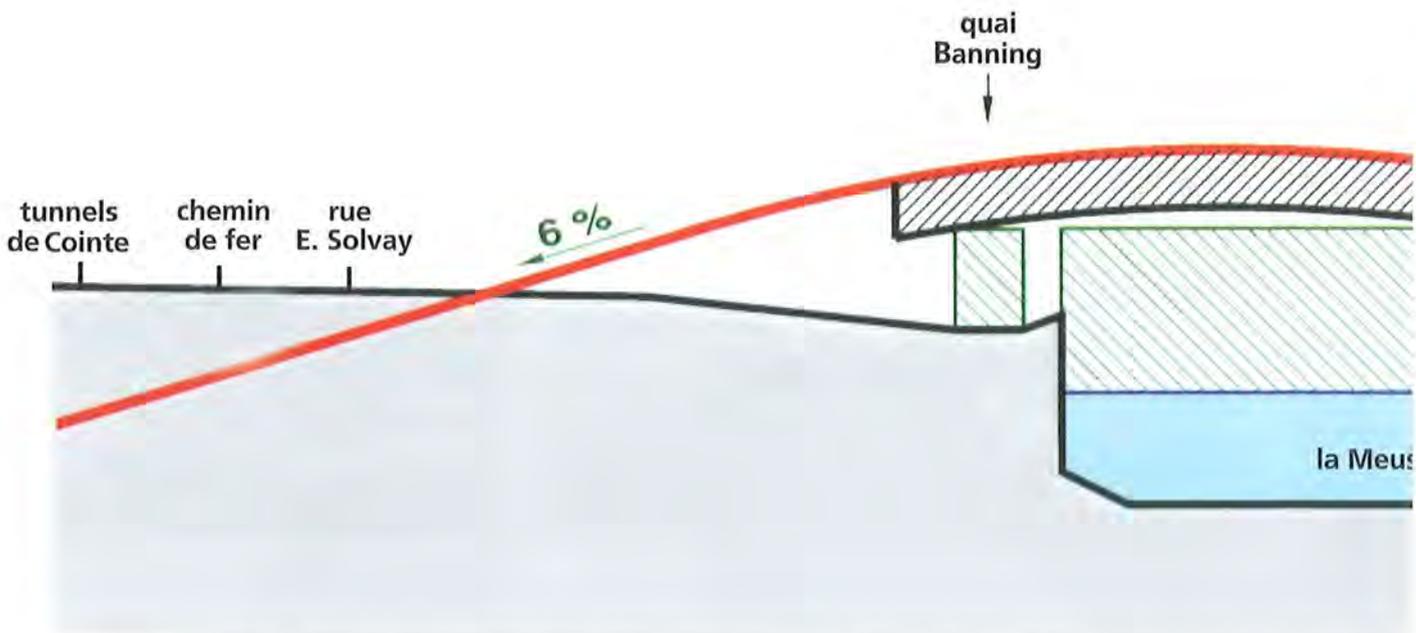


Figure 76 : le pont sur la Meuse — Profil en long du pont et de ses raccordements aux multiples contraintes • © Beg

- l'aménagement complet des berges de la Meuse depuis le nouvel ouvrage construit jusqu'au pont de Fragnée ;
- la rénovation complète d'une passerelle piétonne (accolée au pont du chemin de fer) et la création de nouveaux accès, ainsi que des rampes permettant l'accès aux cyclistes ;
- les aménagements paysagers et les cheminements cyclo-pédestres réalisés le long des ouvrages et des berges de la Meuse.

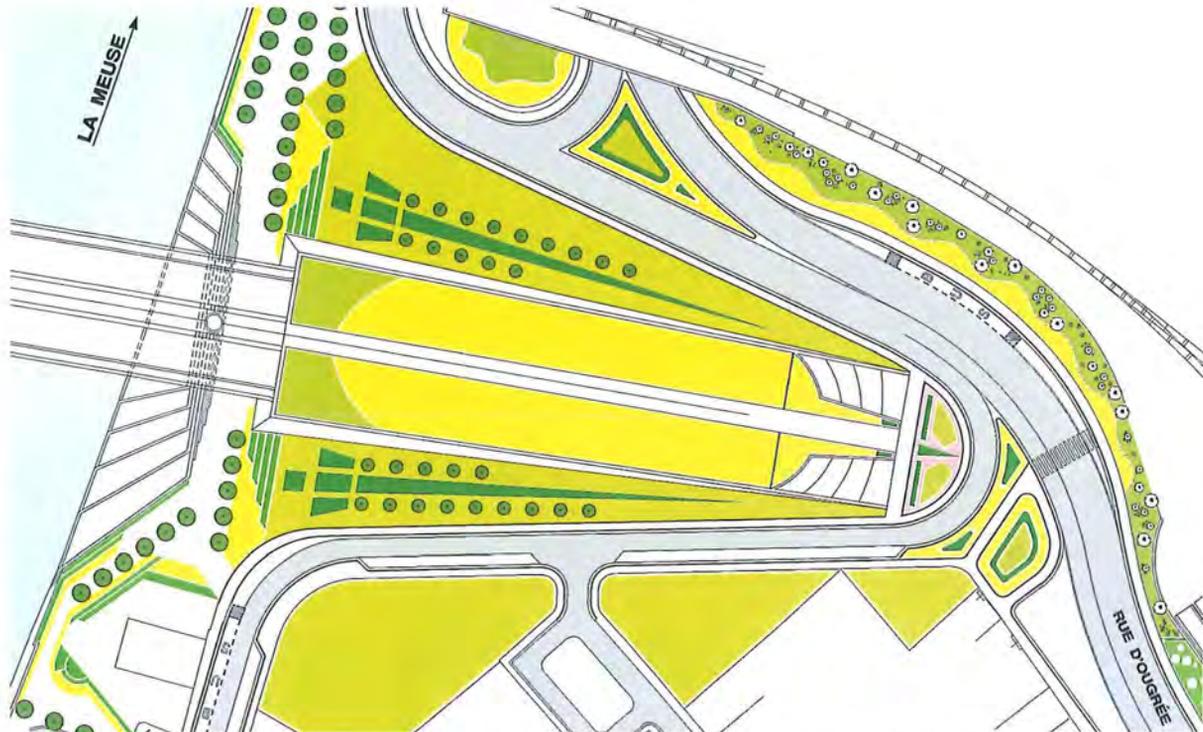


Figure 77 : le pont sur la Meuse — Schéma des aménagements au niveau de la culée-contrepoids en rive droite • © Beg

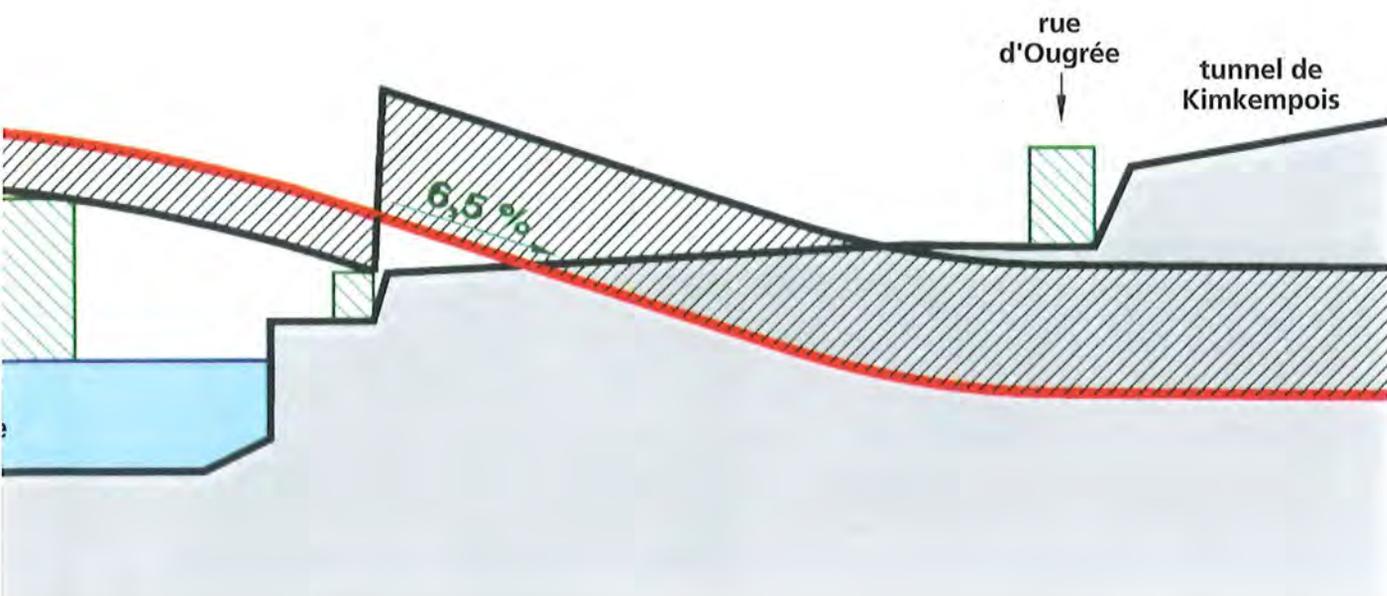




Figure 78 : le nouveau pont en construction, en mars 1998 – Réalisation du pylône et de la culée-contrepois ; à l'arrière-plan, on distingue le chantier du tunnel de Kinkempois. • © Daylight



Figure 79 : essai de charge du pont le 27 novembre 1999 © D. 434 (n° 99/3541)

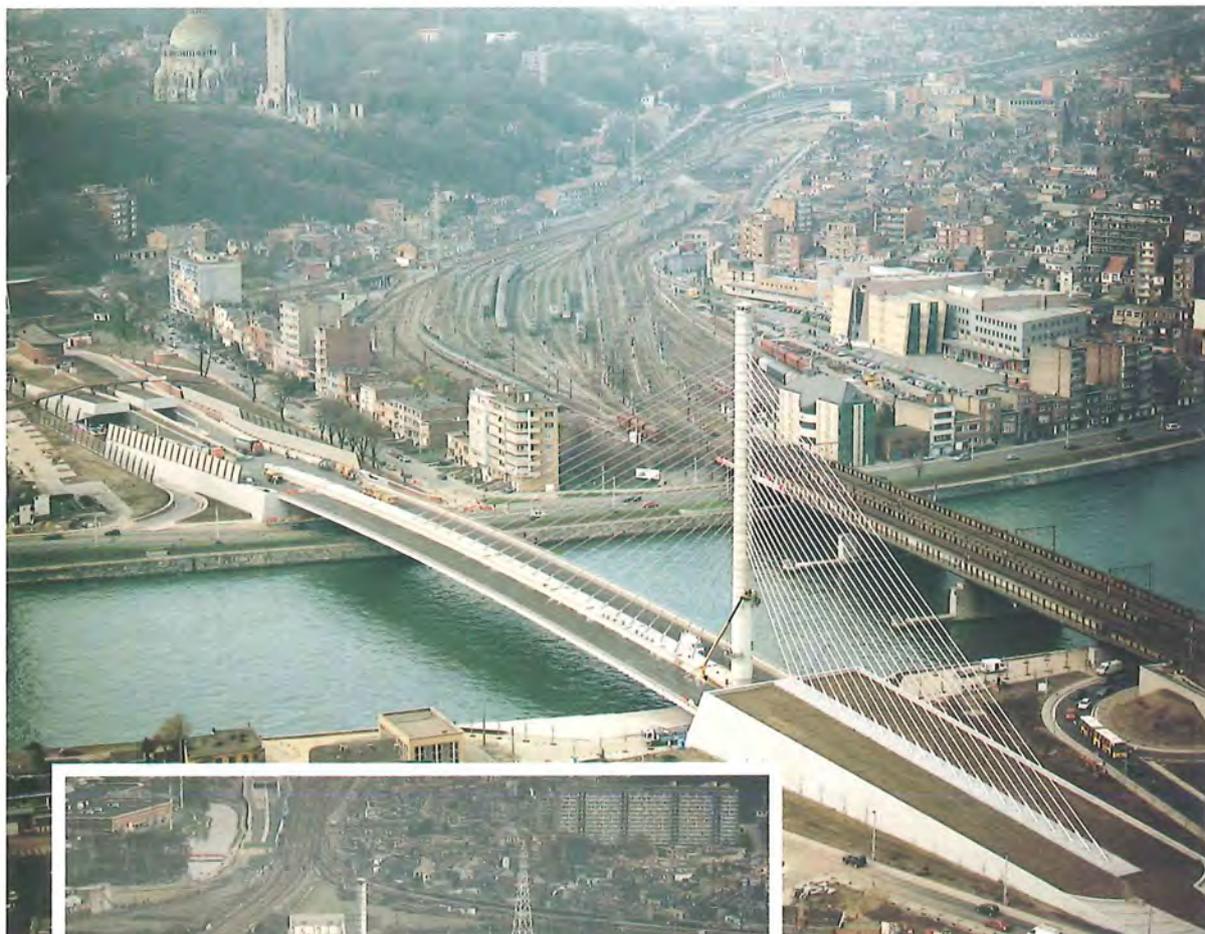


Figure 80 : le nouveau pont haubanné, vu ici de la rive droite, constitue un signal majeur qui marque l'entrée de la ville. Son intégration paysagère a guidé les ingénieurs chargés de sa conception. En rive gauche, la colline de Cointe, l'échangeur des Tilleuls et les voies ferrées qui s'engagent vers la gare des Guillemins ; en aval, le pont-rail SNCB (mars 2000). • © D. 434 (n° 00/1015)

Figure 81 : le pont en mars 2000, (vue prise de la rive gauche, vers Kinkempois) • © D. 434 (n° 00/999)

3.3 UNE RÉALISATION PAR PHASES

L'exécution du pont haubanné a débuté par la réalisation de la fondation du pylône et par la mise en place d'appuis provisoires en Meuse. Ceux-ci ont été disposés de manière à gêner le moins possible la navigation fluviale (voir planche 2-1).

La phase suivante consistait à réaliser le tablier. Exécuté par tronçons de 12 mètres, en rive droite de la Meuse, celui-ci a été poussé progressivement vers la rive gauche. Un avant-bec métallique de 32 mètres a été positionné à l'avant du premier tronçon de manière à diminuer le poids du porte-à-faux entre deux palées provisoires (voir planche 2-2).

La préfabrication des tronçons de 12 mètres en rive droite nécessitait une organisation rigoureuse. Ainsi, un véritable atelier de préfabrication a été constitué pour la durée de la réalisation du tablier. Cet atelier a été séparé en quatre zones :

- zone I : réalisation du caisson ;
- zone II : zone intermédiaire sans activité ;
- zone III : réalisation des dalles de platelage ;
- zone IV : mise en place des bracons métalliques de support des dalles de platelage.

D'une manière générale, un tronçon de 12 mètres était réalisé par semaine, et mis en place par poussage. Le système de poussage utilisé répondait au type « Eberspächer ». À l'aide de vérins verticaux et horizontaux, on poussait l'ouvrage vers la rive gauche par cycles de 20 centimètres.

Lorsque le tablier fut terminé, l'aire de préfabrication fut démontée, et l'on procéda, alors, à la construction de la culée-contrepoids et du pylône. Le pylône fut construit au moyen de coffrages grimpants, par tronçons de plus ou moins 4 mètres de haut (voir planche 2-3).

La dernière opération consistait à mettre en place les haubans, et ce, de manière symétrique, en allant des plus courts aux plus longs. Au fur et à mesure de la mise en place des haubans, le tablier prenait sa configuration définitive et se libérait progressivement de ses appuis. On put, dès lors, procéder à l'enlèvement de ceux-ci et dégager la passe navigable sous l'ouvrage (voir planche 2-4).

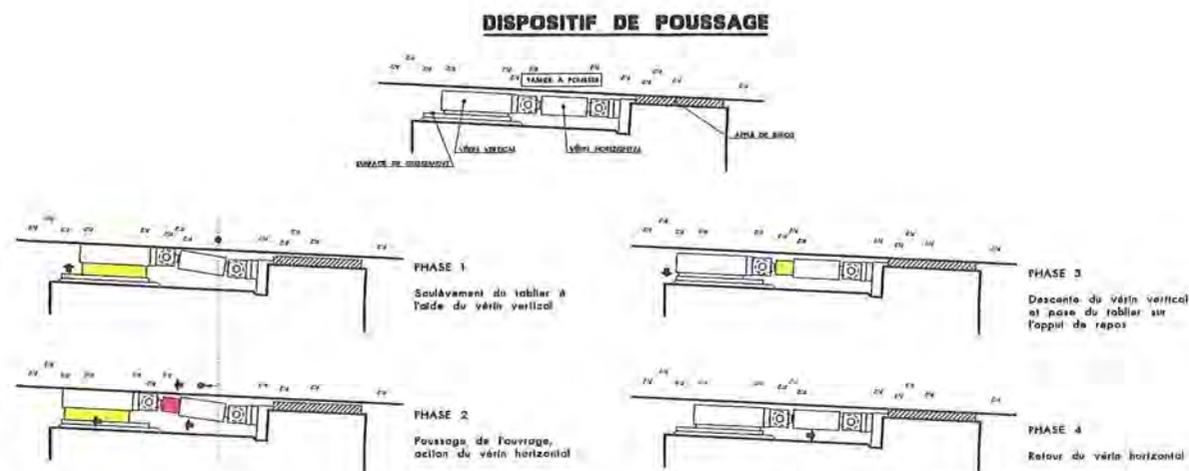
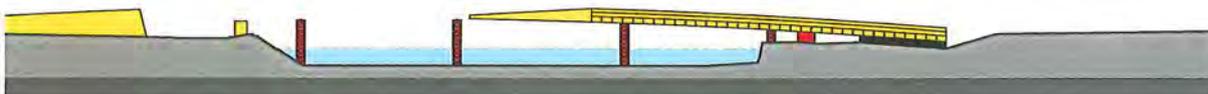


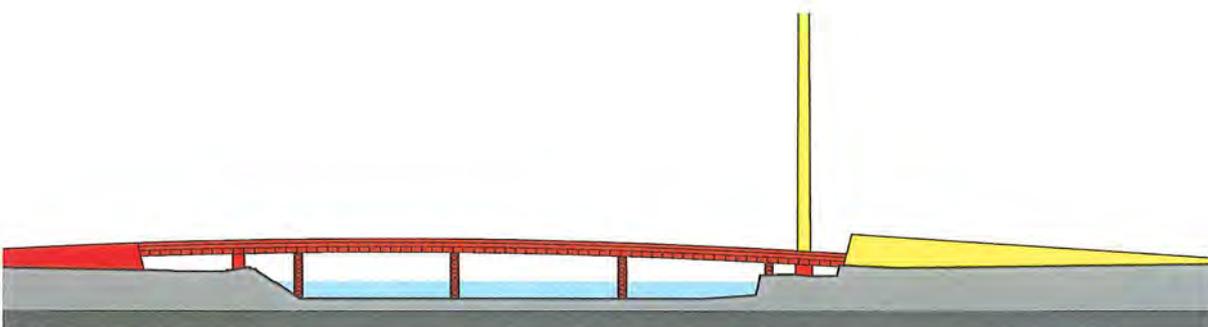
Figure 82 : schéma de principe du poussage du tablier du pont, suivant le système « Eberspächer » • © D. 151



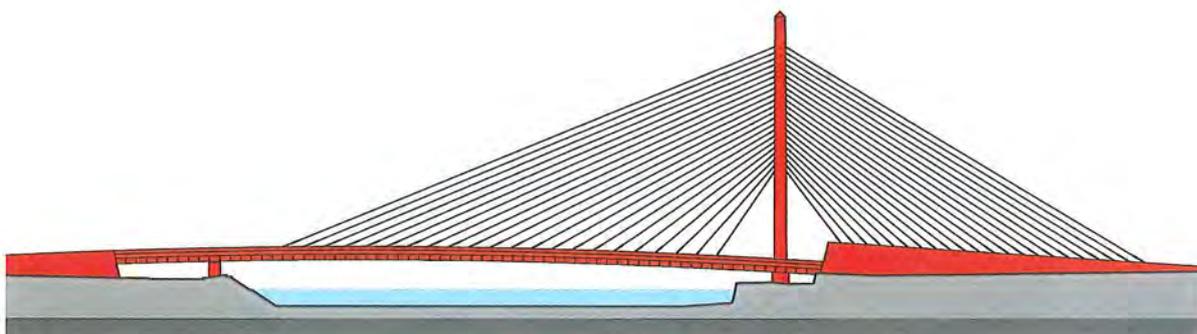
1. Fondation du pylône et supports provisoires



2. Construction et poussage du tablier, pile et culée en rive gauche



3. Construction du pylône et de la culée-contrepois



4. Mise en place des haubans



Figure 83 : l'aire de préfabrication du tablier en rive droite, séparée en quatre zones (vue d'octobre 1997) • © Daylight



fig. 84



fig. 85



fig. 86



fig. 87

Figures 84 à 87 : la progression, à quelques minutes d'intervalle, de l'avant-bec métallique – On voit ici le franchissement du quai Banning, en rive gauche de la Meuse (vues de janvier 1998). • © Daylight



fig. 88



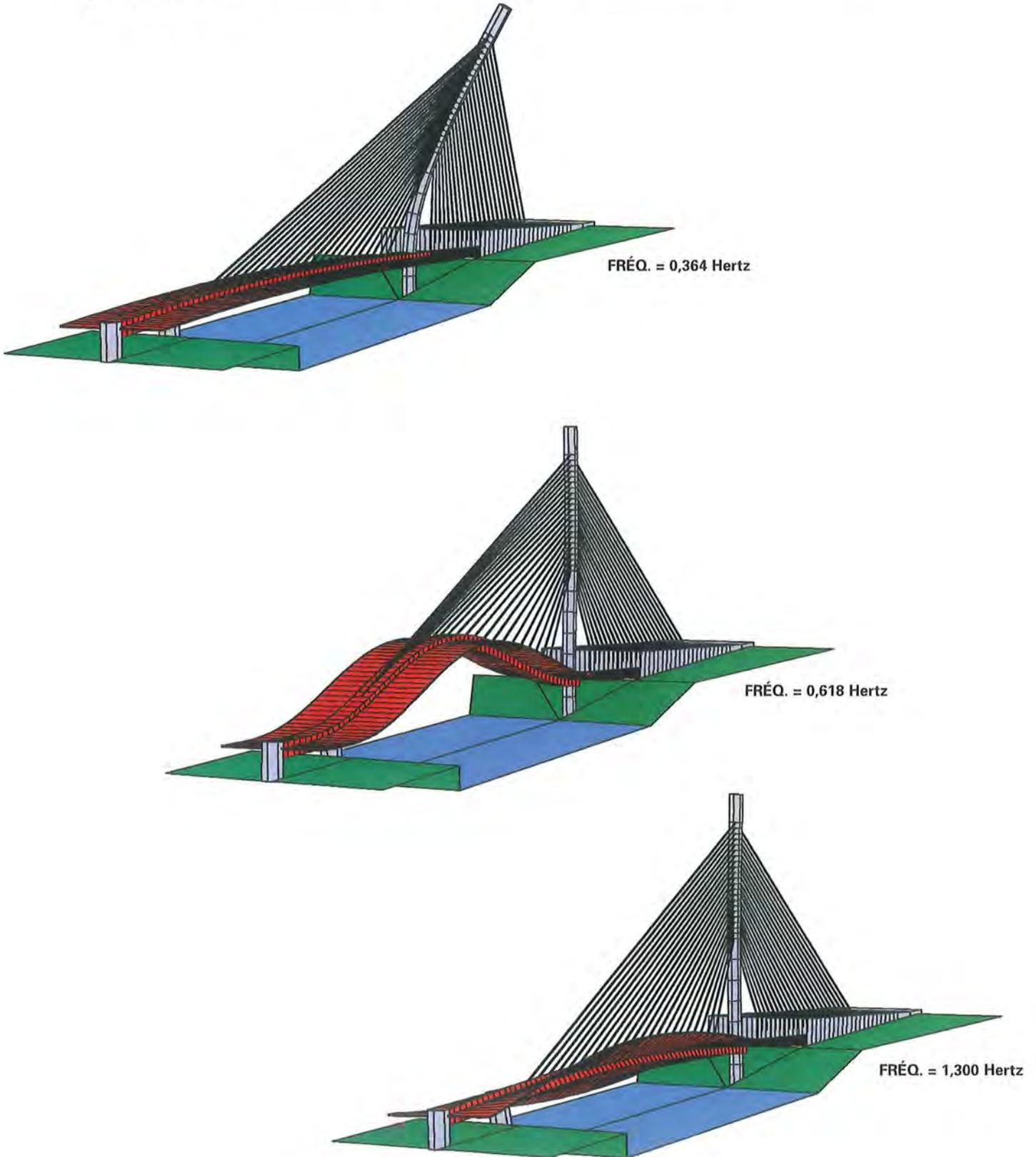
fig. 89



fig. 90

Figures 88 à 90 : mise en place du tablier par poussage – État d'avancement du pont en septembre 1997, novembre 1997 et mai 1998, lors du bétonnage du pylône • © Daylight

Les études de l'ouvrage ont nécessité les méthodes et les moyens de calcul les plus avancés. Elles ont nécessité la réalisation d'une maquette sectionnelle, testée en soufflerie, ce qui a permis de compléter les études de stabilité dynamique menées par ordinateur.



4 LES CHANTIERS DE LA RIVE DROITE

En rive droite, la liaison comporte deux grands chantiers : **le tunnel sous le quadrilatère de Kinkempois**, avec la tranchée ouverte entre les voies ferrées et le canal de l'Ourthe ; et la jonction avec l'E25 par **le tunnel et l'échangeur des Grosses-Battes**, à Angleur (voir plan général de situation, pp. 8-9).

L'élargissement du **pont de Sauheid**, sur l'Ourthe à Chênée, constitue un troisième chantier, dont l'importance, réelle certes, n'est pas comparable à celle des deux premiers.

Remarque importante : les tunnels de Cointe, creusés dans la roche, constituent des ouvrages totalement différents des tunnels présents en rive droite, à Kinkempois et aux Grosses-Battes, réalisés en fouille ouverte. C'est la raison pour laquelle on devrait plutôt parler, pour ces derniers, de « tranchées couvertes ».

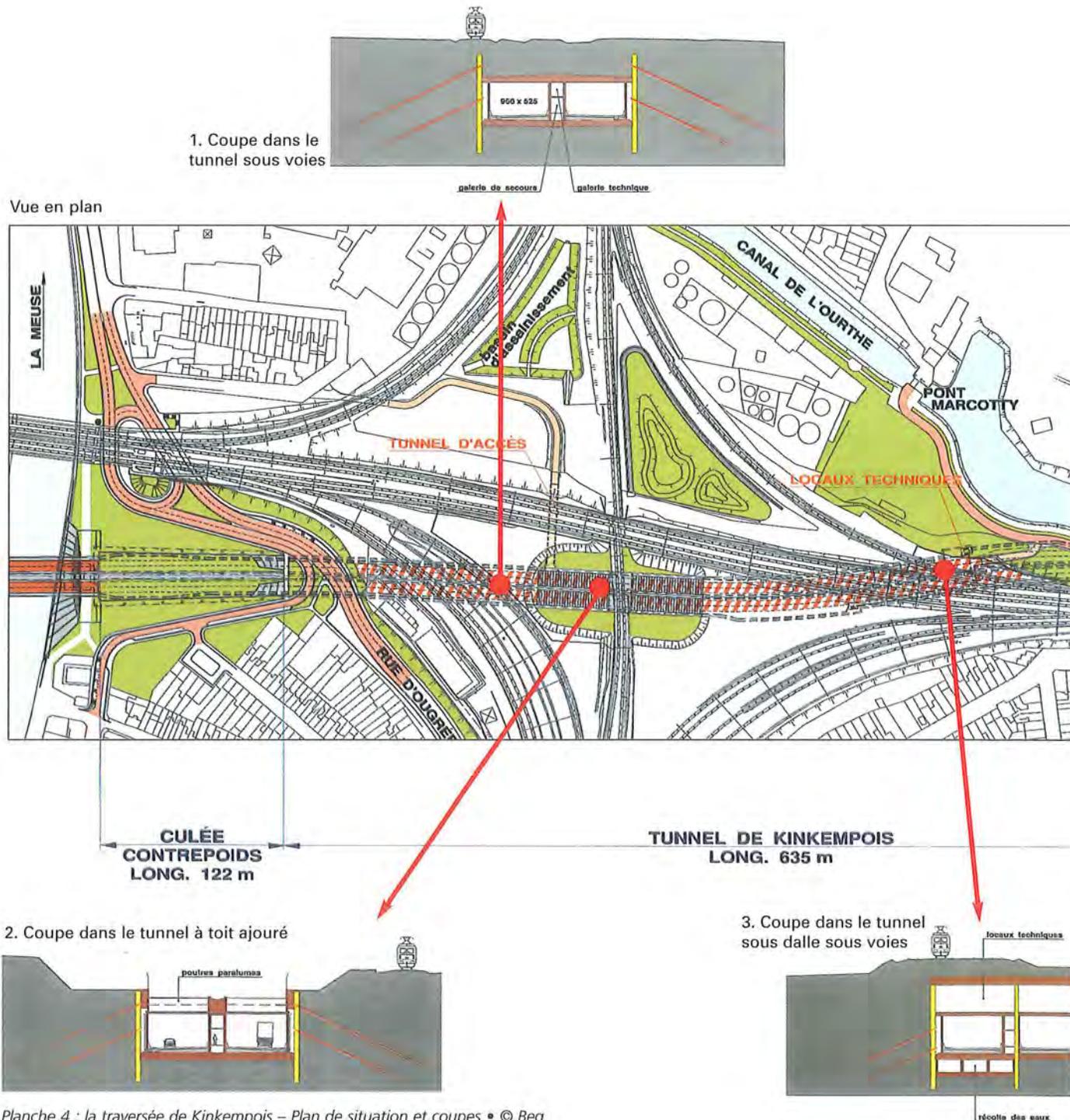


Figure 91 : le site de la liaison en rive droite de la Meuse, en mars 2000 – À l'avant-plan, la jonction des Grosses-Battes avec l'E25 et, dans le fond, le quadrilatère ferroviaire de Kinkempois • © D. 434 (n° 00/986)

4.1 LA TRAVERSÉE DE KINKEMPOIS

4.1.1 Caractéristiques générales et particularités

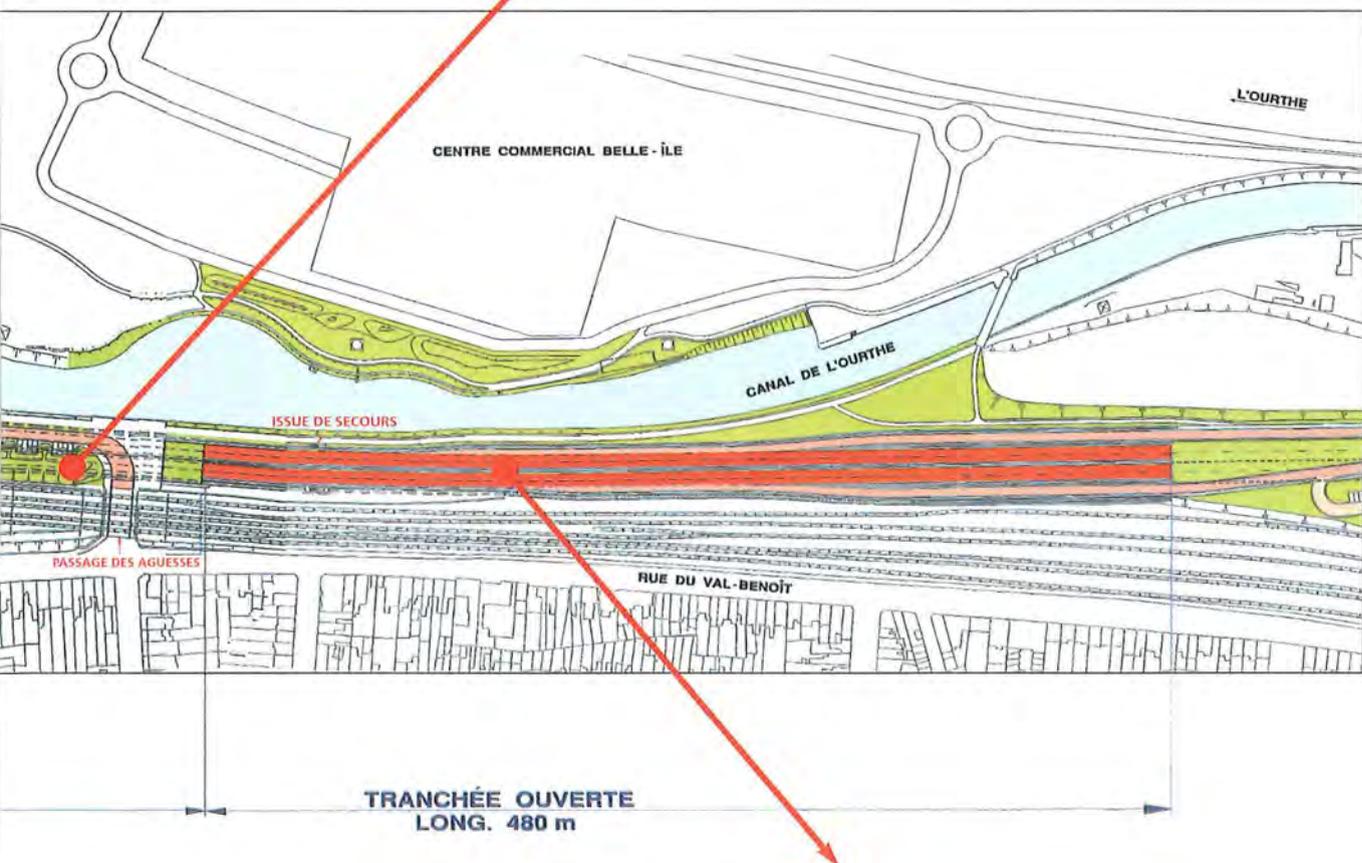
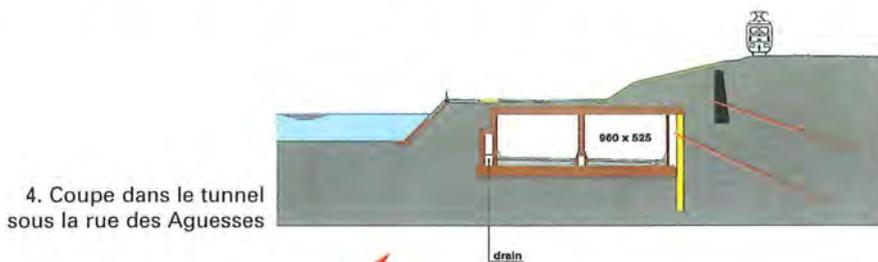
Le chantier du franchissement du quadrilatère de Kinkempois se trouve au cœur de la liaison E40-E25.



Celui-ci comporte deux types de sections :

— une section en tunnel (tranchée couverte) assurant le franchissement du quadrilatère ferroviaire. Les ouvrages en tunnel sont constitués de deux pertuis autoroutiers, séparés par une galerie technique, dont certains tronçons sont aménagés en galerie de fuite ;

— une section en tranchée ouverte prenant place entre les voies de chemin de fer et le canal de l'Ourthe. Dans celle-ci, le profil en long de l'autoroute remonte et débouche à ciel ouvert. Les structures à construire étant partiellement situées dans le lit de l'ancien canal de l'Ourthe, celui-ci a dû, à certains endroits, être déplacé latéralement.



5. Coupe dans la tranchée ouverte



Parallèlement à l'exécution des ouvrages autoroutiers, des ouvrages annexes, d'une grande difficulté technique, ont été réalisés et menés à bien dans le respect de délais très serrés. Il s'agit :

- d'un pont ferroviaire mis en place par ripage latéral ;
- d'un tunnel d'accès, mis en place par tirage à travers le massif supportant les voies, et ce, sans entrave à la circulation ferroviaire.



Figures 92 et 93 : le pont ferroviaire, mis en place par ripage latéral, et le tunnel d'accès (novembre et octobre 1996)
© Daylight et V. Remy

4.1.2 Mode de réalisation

Dans la partie centrale du quadrilatère, là où l'autoroute est souterraine, la présence des installations ferroviaires et le maintien, en permanence, des manœuvres des convois ferrés, imposaient un travail par phases successives.

Par ailleurs, de nombreuses adaptations aux installations ferroviaires durent être menées préalablement à l'exécution de chaque phase de travail : le déplacement d'aiguillages, la mise hors service temporaire de tronçons de voies, l'adaptation de la signalisation, ...

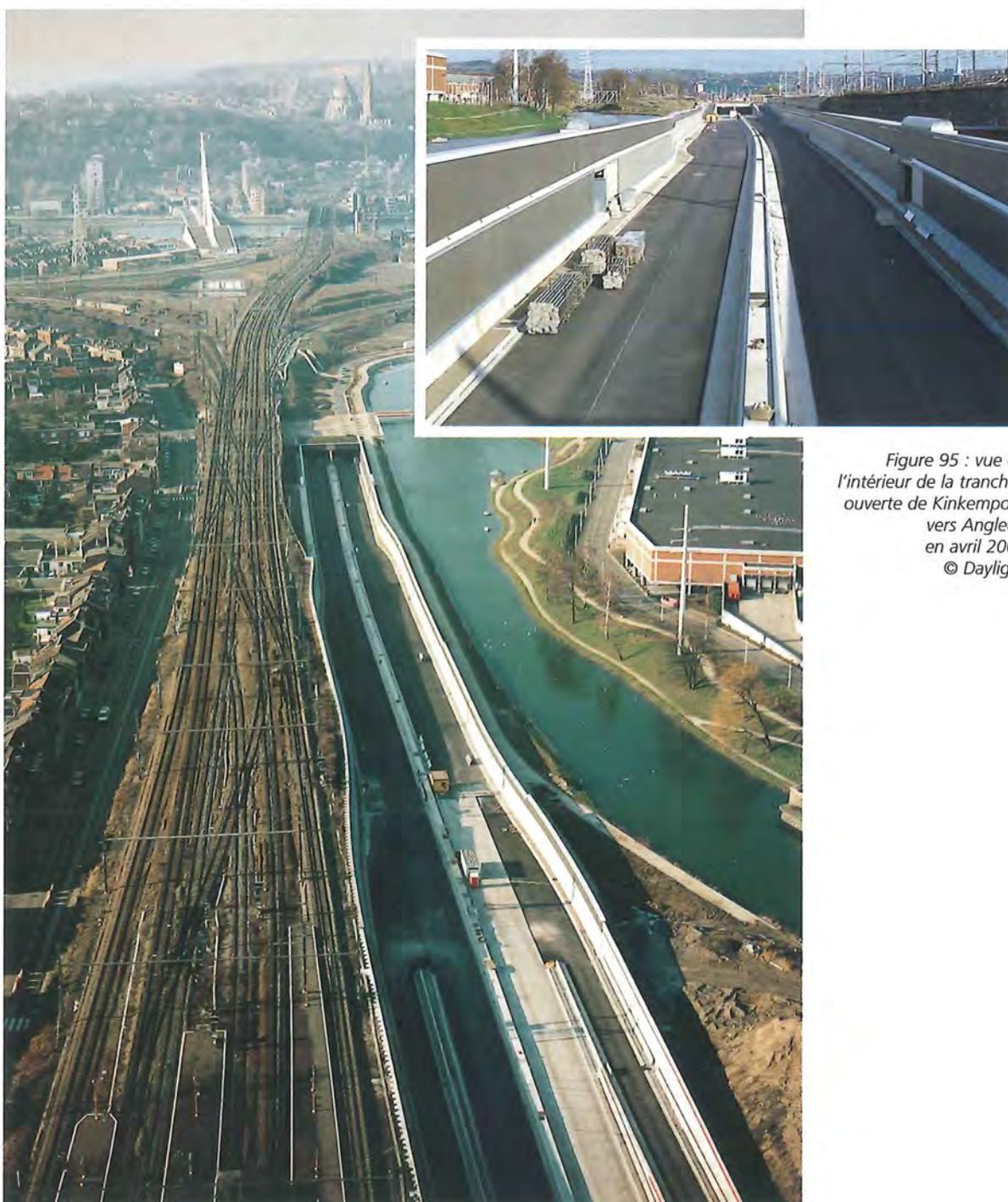


Figure 95 : vue de l'intérieur de la tranchée ouverte de Kinkempois, vers Angleur, en avril 2000
© Daylight

Figure 94 : la tranchée ouverte (vue vers Liège), entre le canal de l'Ourthe et les voies ferrées, et l'entrée des tunnels de Kinkempois, sous le quadrilatère ferroviaire, en mars 2000 • © D. 434 (n° 00/157)

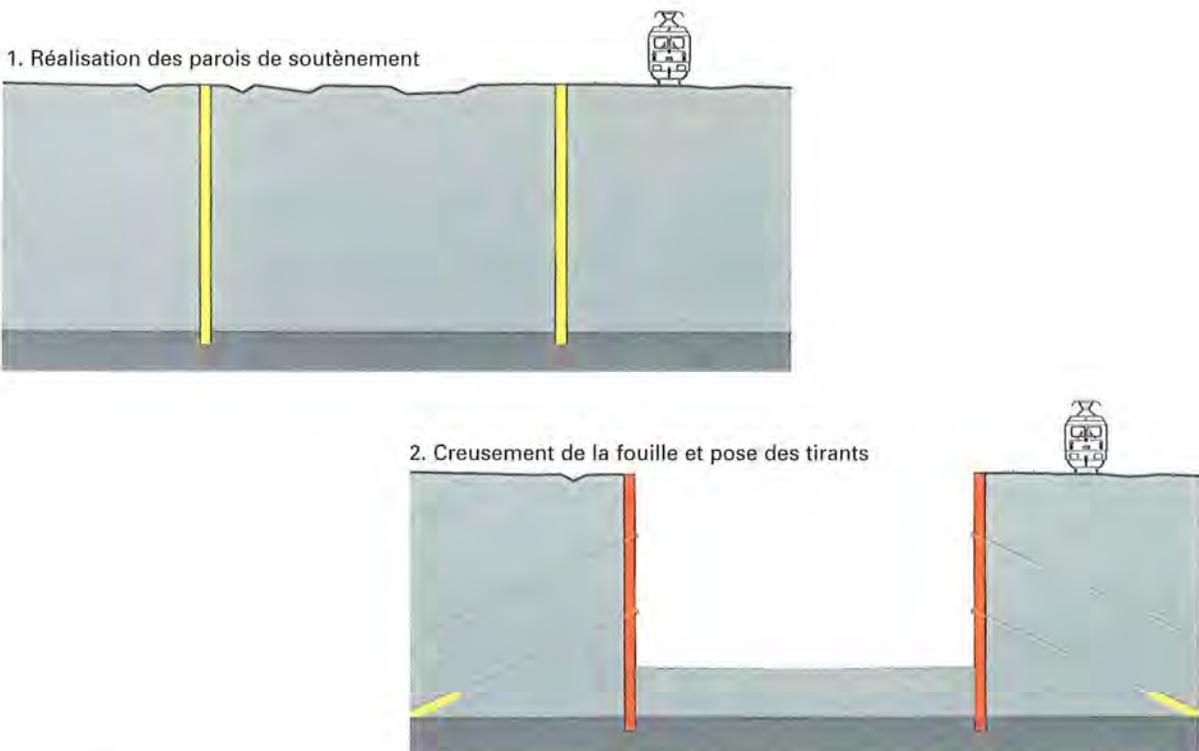
Pour la réalisation de la section-type en tunnel, on fit appel à la technique des parois moulées et des tirants d'ancrages.

La fouille à réaliser fut délimitée par deux alignements de parois moulées, d'une épaisseur de 80 centimètres chacune et distantes de près de 25 mètres.

Voici la séquence-type d'une réalisation.

Après l'implantation de l'axe autoroutier, l'exécution de murets-guides en béton permet le guidage optimal de l'outil de creusement de la paroi. L'exécution d'un panneau de paroi moulée s'effectue sous une boue de *bentonite**. Le maintien, tout au long du creusement de la paroi, d'un niveau constant de boue de bentonite permet de maintenir la pression hydrostatique nécessaire à la stabilité de la fouille. L'excavation traverse ainsi les différentes couches successives de terrain : remblais et terrains meubles, puis gravier de Meuse, pour terminer par 50 centimètres minimum de soubassement rocheux (*bed-rock*) sain. En trois phases successives, un panneau de 6,8 mètres de long, et parfois de 18 mètres de haut, est ainsi excavé.

Quand la mise en place de joints aux extrémités latérales du panneau est terminée, les cages d'armatures préfabriquées sont descendues dans la fouille. Le bétonnage du panneau s'effectue de bas en haut par l'intermédiaire de tubes plongeurs. Simultanément, la bentonite est pompée en dehors de la fouille en vue d'être retraitée pour une utilisation ultérieure. Un panneau de béton armé, réellement « moulé » dans le sol, est ainsi réalisé. De proche en proche, et par longueur de 6 à 7 mètres, se constituent alors les parois délimitant le gabarit extérieur du tunnel (voir planche 5-1 et fig. 96 à 100).



Ensuite, lorsqu'une zone suffisamment importante est ainsi délimitée, les opérations de déblaiement entre les parois moulées peuvent débuter.

Ces déblais s'effectuent jusqu'à un niveau compatible avec la stabilité de la paroi moulée. Lorsque ce niveau est atteint, l'excavation ne se poursuit qu'après la réalisation de tirants d'ancrage permettant d'équilibrer la poussée des terres sur la paroi. Après l'exécution, sous pression d'eau, d'un *forage tubé**, l'ancrage constitué de torons en acier à haute limite élastique est enfilé dans le tube. *Un bulbe en béton**, dont la longueur varie en fonction de la puissance de l'ancrage, est ensuite réalisé par injection sous pression d'un coulis de ciment. Quelques jours après le durcissement du bulbe, l'ancrage est mis en tension par l'intermédiaire d'un vérin. Lorsque la tension, prédéfinie par calcul, est atteinte, les torons sont définitivement bloqués dans une tête d'ancrage prenant appui sur la paroi.

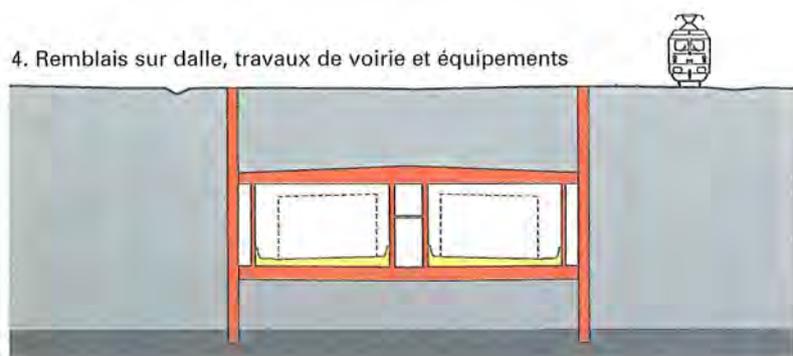
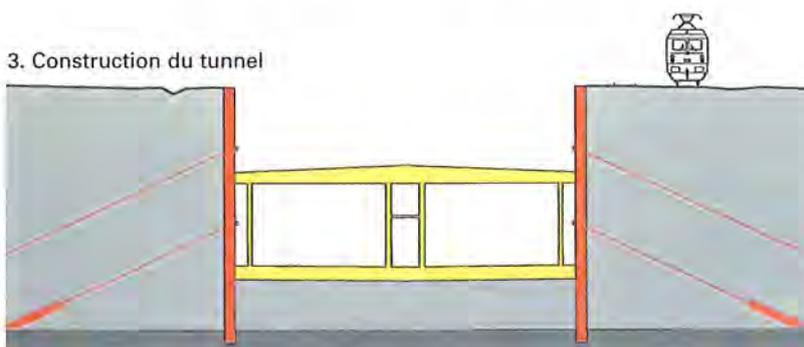
Lorsque l'ensemble des ancrages correspondant à un niveau d'excavation est en place, les terrassements peuvent reprendre. En fonction de la hauteur de la fouille, il est parfois nécessaire de réaliser deux niveaux d'ancrage (voir planche 5-2 et fig. 101 et 102).

Quand les terrassements ont atteint le niveau désiré, la construction proprement dite de l'ouvrage peut débuter. Les différentes phases de la réalisation des tunnels sont (voir planche 5-3) :

- la construction du radier ;
- la réalisation des parois délimitant les pertuis autoroutiers et les pertuis techniques ;
- la réalisation de la dalle de toiture.

Une fois ces travaux terminés, viennent les étapes suivantes (voir planche 5-4) :

- la mise en place des équipements de voirie ;
- lorsque la dalle est protégée par une chape d'étanchéité, le remblayage sur la dalle, les travaux de voirie et les parachèvements de l'ouvrage.





Figures 96 et 97 : la réalisation des parois moulées du tunnel de kinkempois (phase 1) – Les murets-guides et les travaux d'excavation entre les murets (décembre 1997) • © V. Remy et Daylight



Figures 98 et 99 : la réalisation des parois moulées du tunnel de Kinkempois – À gauche, le grappin, utilisé pour l'excavation entre les murets-guides ; à droite, la mise en place, après excavation et avant bétonnage, des cages d'armature (décembre 1997)
© Daylight et V. Remy



Figures 100 et 101 : la réalisation des parois moulées du tunnel de Kinkempois – Le bétonnage, la récupération de la bentonite et les ancrages soutenant les parois moulées • © V. Remy et D. 434 (n° 97/00682)



Figure 102 : les déblais ou excavations entre les parois moulées (phase 2), en avril 1997 • © Daylight

Dans la zone du canal de l'Ourthe, l'autoroute devait s'insérer entre le canal et le mur de soutènement des voies SNCB. Le lit du canal devait donc être déplacé. La présence dans la berge actuelle d'une conduite de gaz, dont le débit ne peut être interrompu, imposait le travail par demi-chaussée.

La première étape consistait à élargir localement le canal. Des digues transversales furent aménagées à l'amont et à l'aval du chantier et permettaient de limiter la zone de travail (voir planche 6-1).

On procéda alors à la mise à sec localisée du canal. La réalisation de la demi-section de l'autoroute située du côté du canal put alors débuter selon la séquence classique « radiers puis voiles ». Les parois latérales du canal furent ensuite rendues étanches, et les berges semi-naturelles, refaites, essentiellement au moyen de perrés et de *gabions d'enrochements** (voir planche 6-2). La nouvelle berge, une fois stabilisée sur toute la longueur, on put déplacer la conduite de gaz, puis aménager et planter les berges. Le canal put enfin être remis sous eau, selon le tracé déplacé.

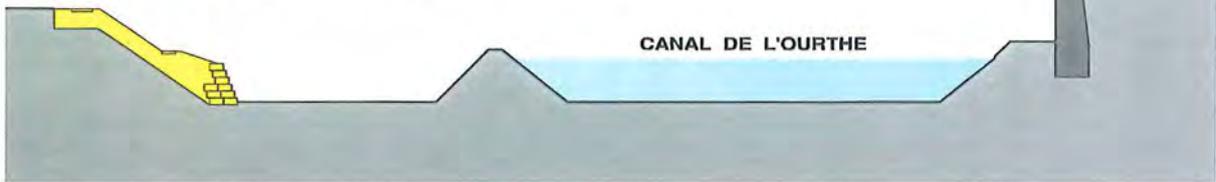
Les travaux de construction de la demi-autoroute sud débutèrent par la pose de tirants d'ancrage au pied du mur de soutènement SNCB et par le battage d'un rideau de palplanches également ancré. La réalisation des structures put alors se poursuivre classiquement (voir planche 6-3).

Les activités dans cette zone se terminèrent par la mise en place des équipements de voirie et par l'exécution des différents parachèvements (voir planche 6-4).

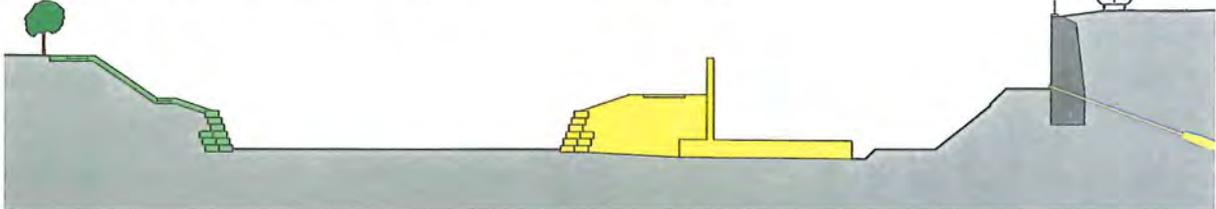


Figures 103 et 104 : les travaux de réalisation de l'extrémité du tunnel et de la tranchée ouverte entre le canal de l'Ourthe et le chemin de fer – Construction de la demi-chaussée nord, en avril 1997 (en vignette), et de la demi-chaussée sud, en mars 1998 © Daylight

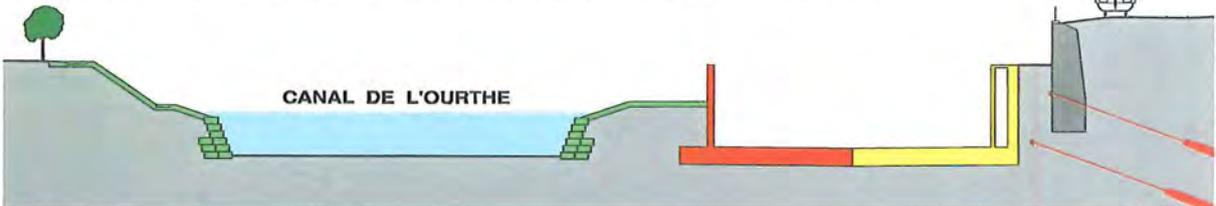
1. Déplacement de la berge de rive droite



2. Mise à sec du canal, nouvelle berge de rive gauche et demi-tranchée nord



3. Mise sous eau du canal selon son tracé déplacé, construction de la demi-tranchée sud



4. Travaux de voirie et équipements

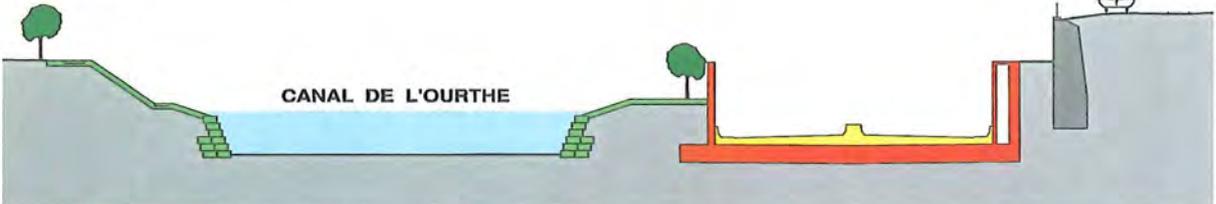


Planche 6 : les différentes phases de réalisation de la tranchée ouverte entre le canal de l'Ourthe et le chemin de fer • © Beg

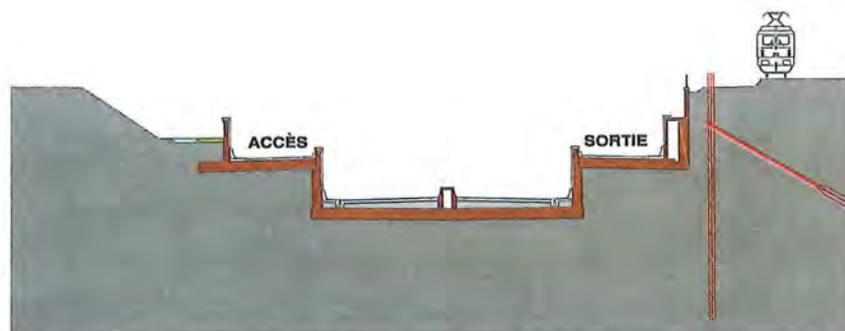


Figures 105 et 106 : les travaux de réalisation de l'extrémité du tunnel et de la tranchée ouverte entre le canal de l'Ourthe et le chemin de fer – À gauche, vue d'août 1997 vers Angleur et l'Ardenne ; à droite, vue de janvier 1998 vers Liège et Bruxelles © Daylight

4.2 LE PASSAGE DES « GROSSES-BATTES »

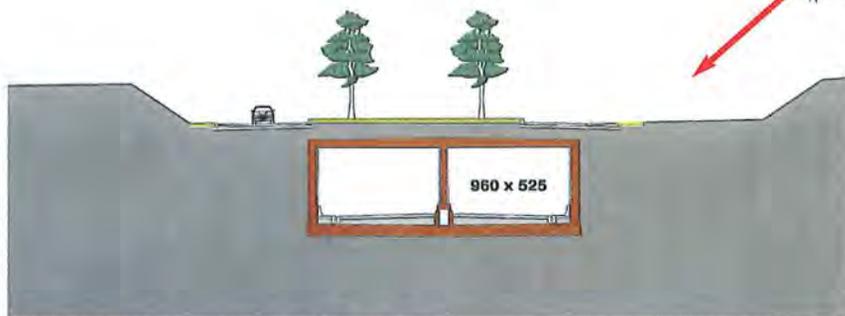
4.2.1 Caractéristiques générales et particularités

Situé à l'extrémité sud de la liaison, ce chantier réalise la jonction avec l'autoroute de l'Ardenne (E25) à Angleur, au lieu-dit des *Grosses-Battes*.



1. Coupe dans la tranchée ouverte avec les rampes

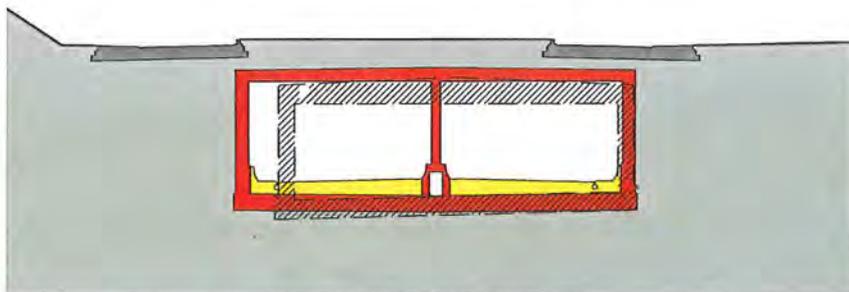
Vue en plan



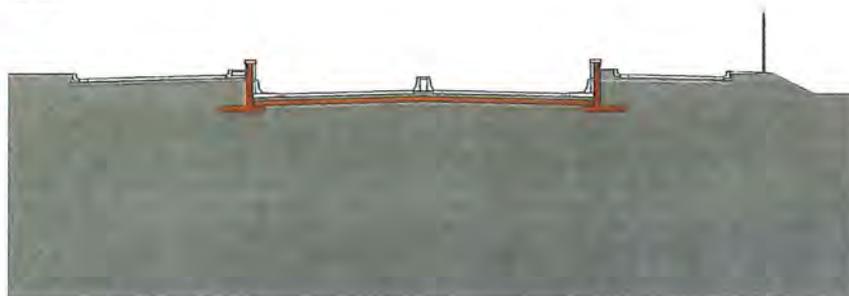
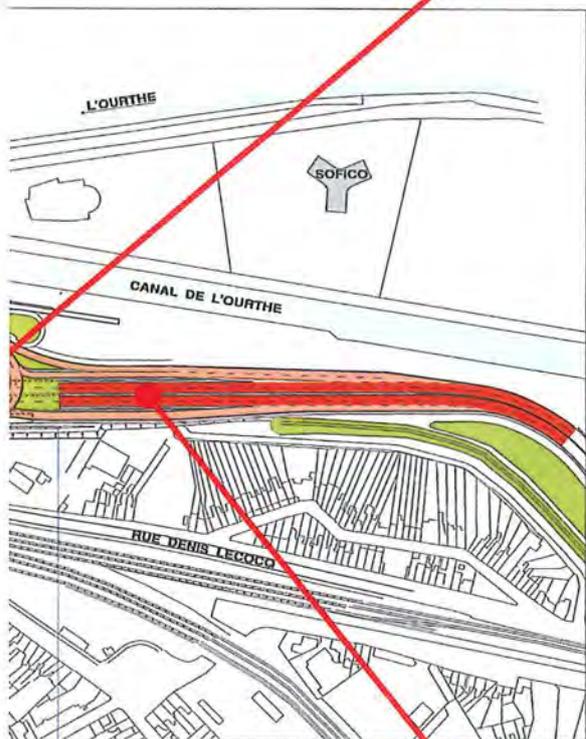
2. Coupe dans le tunnel des Grosses-Battes

Il comprend :

- une section d'autoroute en tunnel (tranchée couverte), constituée de deux pertuis séparés par un voile central, un échangeur complet, un tronçon de tranchée ouverte, des rampes d'accès et une trémie existante adaptée ;
- des voiries de surfaces avec, notamment, un giratoire à l'amorce du pont des Grosses-Battes et un autre à la gare d'Angleur ;
- des aménagements locaux pour la SNCB, pour l'AIDE, pour les trafics locaux et lents, ainsi que pour l'environnement, etc.



3. Coupe au niveau de l'adaptation de la trémie existante



4. Coupe dans le raccord au virage des XVIII arcades



fig. 108 : le chantier des Grosses-Battes à ses débuts, en décembre 1997
© D. 434 (n° 97/3945)



fig. 109 : le ferrailage et le bétonnage d'un radier (mars 1998) • © Daylight



fig. 110 : le bétonnage de voiles (mai 1998) • © Daylight



fig. 111 : l'ensemble du site en mars 2000 –
À l'avant-plan, l'entrée des tunnels ; à l'arrière-plan, la tranchée ouverte et l'entrée des tunnels de Kinkempois ; ceinturés par le canal de l'Ourthe (à gauche) et l'Ourthe (à droite), les infrastructures commerciales de Belle-Île et le parc d'affaires Zénobe Gramme • © D. 434 (n° 00/970)

Figures 108 à 111 : les différentes phases de la réalisation des tunnels des Grosses-Battes à Angleur, entre 1997 et 2000

4.3 LE PONT DE SAUHEID

Avant les travaux, les conditions d'insertion des véhicules qui venaient du boulevard de l'Ourthe à Chênée en direction de Liège, s'avéraient extrêmement difficiles du fait d'une bande d'insertion trop courte. Une situation responsable de nombreux accidents, qui se serait encore aggravée avec l'augmentation prévisible du trafic après l'ouverture de la liaison E40-E25. Dès lors, des travaux ont été réalisés à cet endroit pour porter la longueur de la bande d'insertion des véhicules dans le trafic autoroutier, à une distance suffisante pour que cette manœuvre s'effectue dans de meilleures conditions de sécurité. L'allongement de cette bande d'insertion n'était cependant pas aisée étant donné la position de l'Ourthe juste après le raccordement.

Il s'agissait d'élargir, du côté de l'aval, le pont de Sauheid, appelé aussi pont de Beaufraipont, qui surplombe l'Ourthe à Chênée. Différentes étapes étaient nécessaires :

- l'élargissement des culées de rive gauche et de rive droite ;
- l'élargissement de l'appui central ;
- la pose de 2 x 3 poutres de pont en béton précontraint ;
- l'exécution de la dalle de pont.

Ces travaux de génie civil particuliers ont nécessité l'établissement d'une digue importante dans l'Ourthe, ainsi que la réalisation d'un batardeau permettant d'élargir la pile centrale.

Les travaux réalisés comportaient également :

- le remplacement de la bordure « chasse-roue », qui délimite les deux sens de circulation, par une bordure haute de type *New Jersey* ;
- des travaux de voirie et de marquage ;
- la sécurisation du trafic piéton grâce à l'interposition d'une bordure haute de type *New Jersey*, ainsi que la concrétisation d'une zone cyclo-pédestre longeant les ouvrages, avec création d'une rampe d'accès en rive gauche de l'Ourthe.



Figure 112 : le pont de Sauheid, en cours d'élargissement sur l'Ourthe à Chênée, en janvier 2000 – Les travaux doivent améliorer la sécurité des trafics routier et piéton à cet endroit. • © D. 434 (n° 00/153)



Figure 113 : le pont élargi avec, à l'avant-plan, les accès et les trottoirs aménagés pour les piétons (mars 2000)
© D. 434 (n° 00/973)

Ouvrages		Mode de passation du Marché	Délai	Entreprise Adjudicatrice	Montant des travaux y.c. études et contrôle (BEF - HTVA) (millions)	Bureau d'études	Bureau de contrôle	
Rive gauche	Échangeur des Guillemins	Contrat - Cadre	de 1994 à 2000	Groupement E5-E9 (A.M.) :	934	Groupement E5-E9 assisté de: sprl INOV s.a. Pissart-Van der Stricht s.a. Calatrava Valls Régie des Bâtiments Université de Liège	SECO	
	Tunnels de Cointe		Têtes	de 1986 à 1993	s.a. Franki s.a. Bageci - CFE			1455
			Tunnel aval	de 1987 à 1994	s.a. Duchêne s.a. Galère			4592
			Tunnel amont	de 1994 à 1999	s.a. Matagne et Vandamme s.a. Bouygues Belgium			4158
	Échangeur des Tilleuls		de 1996 à 2000	s.a. Réforme et Nizet	1186			
	Voiries Banning-Stévar-Solvay	Adjudication publique	en 1999	s.a. Matagne et Vandamme	44	MET	-	
Pont sur la Meuse		Adjudication restreinte après préqualification	de 1996 à 2000	Association momentanée: s.a. Bageci - CFE s.a. Franki	1142	s.a. Greisch	SECO	
Rive droite	Kinkempois	Adjudication restreinte après préqualification	de 1996 à 2000	Association momentanée: s.a. Besix s.a. Fontec s.a. Galère	1990	s.a. Greisch		
	Grosses-Battes	Adjudication publique	de 1997 à 2000	s.a. Betonac	665	Greisch Info		
	Sauheid	Adjudication publique	de 1999 à 2000	s.a. Réforme et Nizet	46	Greisch Info		

5 RÉCAPITULATIF DES CHANTIERS

Commentaires à propos du tableau ci-contre (© D. Verlaine)

Concernant plus particulièrement les chantiers des échangeurs des Guillemins, des Tilleuls et des tunnels de Cointe, le tableau ci-contre mérite certaines explications :

— **le type de marché.** L'expérience belge en matière de creusement de tunnels dans la roche est limitée. De plus, il s'agit ici de travaux particulièrement complexes et difficilement estimables financièrement. Ces diverses raisons ont poussé le gouvernement (national à l'époque) à opter, dans le cadre de l'exécution des travaux en rive gauche de la Meuse, pour une forme de marché tout à fait particulière et peu fréquente : un « contrat-cadre ».

— **le délai de réalisation : de 1986 à 2000.** Ce délai semble relativement long. En réalité, il comporte deux périodes. De 1986 à 1994 — avant la SOFICO —, les travaux évoluaient au rythme de budgets réduits, alloués par l'État national (de 1986 à 1989), puis par la Région wallonne (de 1989 à 1994). De 1995 à 2000 — avec la SOFICO —, les travaux s'accéléraient fortement grâce aux budgets beaucoup plus importants — ce qui, par ailleurs, réduisit drastiquement les frais fixes — et grâce à l'expérience acquise par les bureaux d'études, les entreprises et l'administration.

À ce sujet, on peut remarquer les économies réalisées dans la construction du deuxième tunnel de Cointe : alors que la construction du tunnel aval avait duré sept ans et coûté 4 592 millions, celle du tunnel amont, avec l'accélération du chantier, l'expérience acquise, la réduction du nombre de passes de creusement et l'adaptation du soutènement, n'a duré que cinq ans et a coûté 4 158 millions.

Remarque importante : compte tenu du tableau ci-contre et de divers frais connexes, qui n'y figurent pas (assurances, expropriations, concessionnaires, frais SNCB, ...), l'ensemble des chantiers de génie civil de la liaison E40-E25 aura coûté environ 17,5 milliards de francs belges HTVA.



Figure 114 : les équipements de la nouvelle liaison autoroutière ont été conçus pour la sécurité et le confort des usagers. On remarque par exemple, à l'avant-plan, le toit ajouré des tunnels de Kinkempois, conçu pour assurer la ventilation.
© D. 434 (n° 00/989)

6 L'ÉQUIPEMENT DES OUVRAGES

De nombreux équipements et dispositifs ont été prévus pour assurer le confort et la sécurité des usagers qui doivent emprunter les différents ouvrages de la liaison E40-E25 en fonctionnement normal, mais aussi en cas de problème. Ces équipements poursuivent cinq objectifs :

- assurer la sécurité des personnes et des biens ;
- garantir des conditions de circulation optimales en fonction des conditions atmosphériques et de la densité du trafic ;
- préserver l'environnement ;
- maintenir une surveillance du trafic et des équipements ;
- collecter, traiter et mettre à la disposition des services concernés — police, gendarmerie, pompiers, MET — les informations nécessaires à leur mission.

6.1 LA CONCEPTION DE LA VOIRIE

Plusieurs mesures ont été prises en matière de « génie civil » et au niveau du graphisme sur les parois des ouvrages. En voici les principales.

• Le tracé

Le rayon de courbure est partout supérieur à 500 mètres.

La pente longitudinale est limitée autant que possible : 6 et 6,5 % maximum de part et d'autre du pont sur la Meuse, mais sur de très faibles longueurs.

• Le profil en travers

Une surlargeur est prévue sur toute la longueur :

- du côté droit, plus d'un mètre de minibande d'arrêt d'urgence ;
- du côté gauche, surlargeur servant de refuge.

Dans les tunnels de Cointe, il est également prévu des trottoirs surélevés de 30 centimètres par rapport à la chaussée.

• Les voies de garage

Ponctuellement, sept fois sur la longueur de la liaison, la section est élargie de façon à obtenir une bande d'arrêt d'urgence de 2,50 mètres de large et de 50 mètres de long.

• Les sorties de secours

Dans les tunnels de Cointe, six galeries de liaison entre les deux tunnels sont prévues pour l'évacuation des piétons et/ou le passage de véhicules de secours.

Dans le tunnel de Kinkempois, des sorties de secours donnant accès à l'air libre sont prévues deux fois sur la longueur, dans chaque sens. De plus, un tunnel d'accès latéral est implanté à mi-longueur pour l'intervention éventuelle des secours.

Dans le tunnel des Grosses-Battes, une sortie de secours donnant accès à l'air libre est prévue dans chaque sens.

En outre, un balisage de secours est mis en place dans les tunnels. Composé de lampes positionnées à 1 mètre de hauteur — dès lors visibles même en présence de fumées masquant l'éclairage situé au plafond —, ce balisage permet d'orienter les usagers vers la sortie de secours la plus proche.

- **Le revêtement des chaussées**

Dans les zones en tunnel, le revêtement est en béton armé continu, plus durable et moins sensible aux élévations de température éventuelles en cas d'accident.

Dans les autres zones, où les nuisances acoustiques doivent être contrôlées, le béton armé continu est recouvert d'un mince revêtement hydrocarboné.

- **Le graphisme sur les parois**

Un graphisme adéquat a été étudié pour guider au mieux les usagers tout le long de la liaison. Selon les endroits, il est constitué de bardage métallique, de carrelage ou encore d'autres matériaux. Dans les zones élargies, le graphisme diffère de façon à bien marquer ces zones de refuge.

- **Les cimaises**

Dans les zones en tunnel, le graphisme est limité à une hauteur de 3,50 mètres (pour augmenter le confort visuel) par une lisse, appelée « cimaise », qui permet, en plus, de refléter les feux « stop » des véhicules qui freinent.

- **Les niches de sécurité**

Dans les sections en tunnel, des niches de sécurité ont été prévues tous les 100 mètres approximativement. Elles comprennent une borne incendie (hydrant), un extincteur et un téléphone de secours. Ces niches sont étudiées pour mettre l'utilisateur en confiance et permettre une intervention rapide en cas de panne ou d'incident.

- **Les anneaux de pompier**

Dans les tunnels de la liaison, des anneaux en quinconce permettent aux services de secours d'intervenir à l'aide de treuils : par exemple, pour relever un véhicule qui se serait couché.

- **Les niches d'inspection**

Outre ces équipements, les tunnels de Cointe sont pourvus de niches secondaires permettant l'inspection du drain situé entre les deux anneaux.

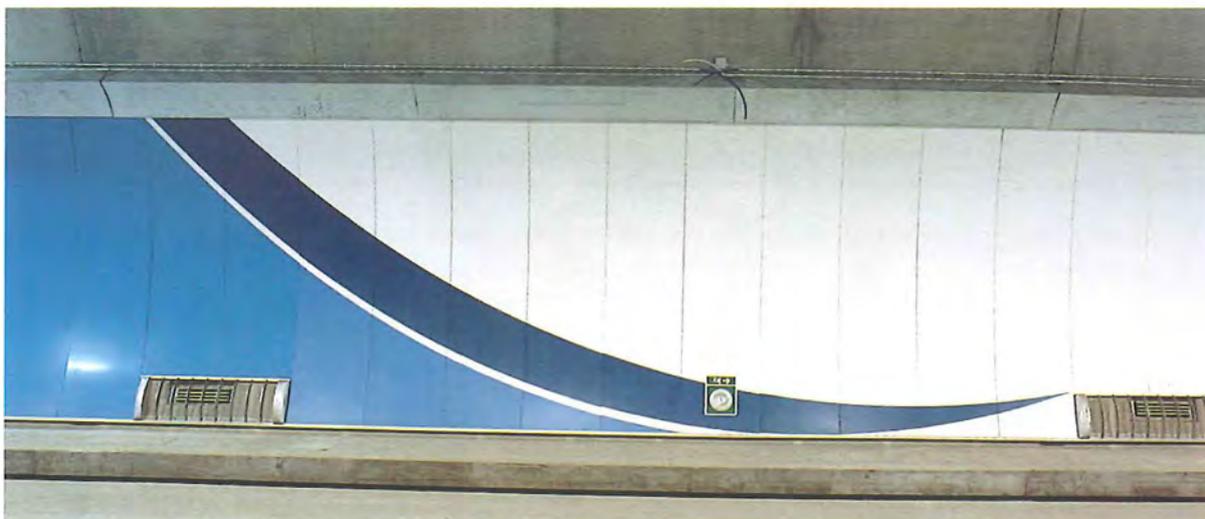


Figure 115 : les équipements dans les zones de tunnels, comme ici, dans l'un des deux tunnels de Cointe, ont pour objectif le confort et la sécurité des usagers. On remarque ici le graphisme sur les parois, qui prend la forme de vagues au droit des élargissements, et la cimaise, qui reflète les feux stop des véhicules (avril 2000). • © Daylight



Figure 116 : une niche de sécurité dans un des tunnels de Cointe – Ces niches abritent une partie technique (borne à incendie, ...) et une cabine téléphonique complètement insonorisée, qui doit rassurer l'utilisateur en difficulté (avril 2000). • © Daylight



Figure 117 : galerie de liaison entre les deux tunnels de Cointe – Ces galeries permettent l'évacuation, vers l'autre tunnel, des occupants des véhicules, éventuellement impliqués dans un incident (avril 2000). • © Daylight

• Les collecteurs de produits dangereux

Dans les tunnels, les eaux d'infiltration sont évacuées via un dispositif d'étanchéité et de drainage. Les substances répandues sur la chaussée par un véhicule, victime d'un accident, doivent être récoltées et évacuées de manière distincte des eaux d'infiltration.

Des caniveaux « produits dangereux » à fente continue équipent les voiries des tunnels. Ces caniveaux doivent évacuer rapidement des débits importants et ils sont connectés tous les 50 mètres à un collecteur de 300 millimètres de diamètre, via des chambres-siphons. Les produits peuvent alors être récupérés dans des bassins particuliers pour y être stockés et évacués avec des moyens particuliers. Ces caniveaux à fente continue et les chambres-siphons doivent permettre de limiter très rapidement la propagation d'un éventuel incendie.

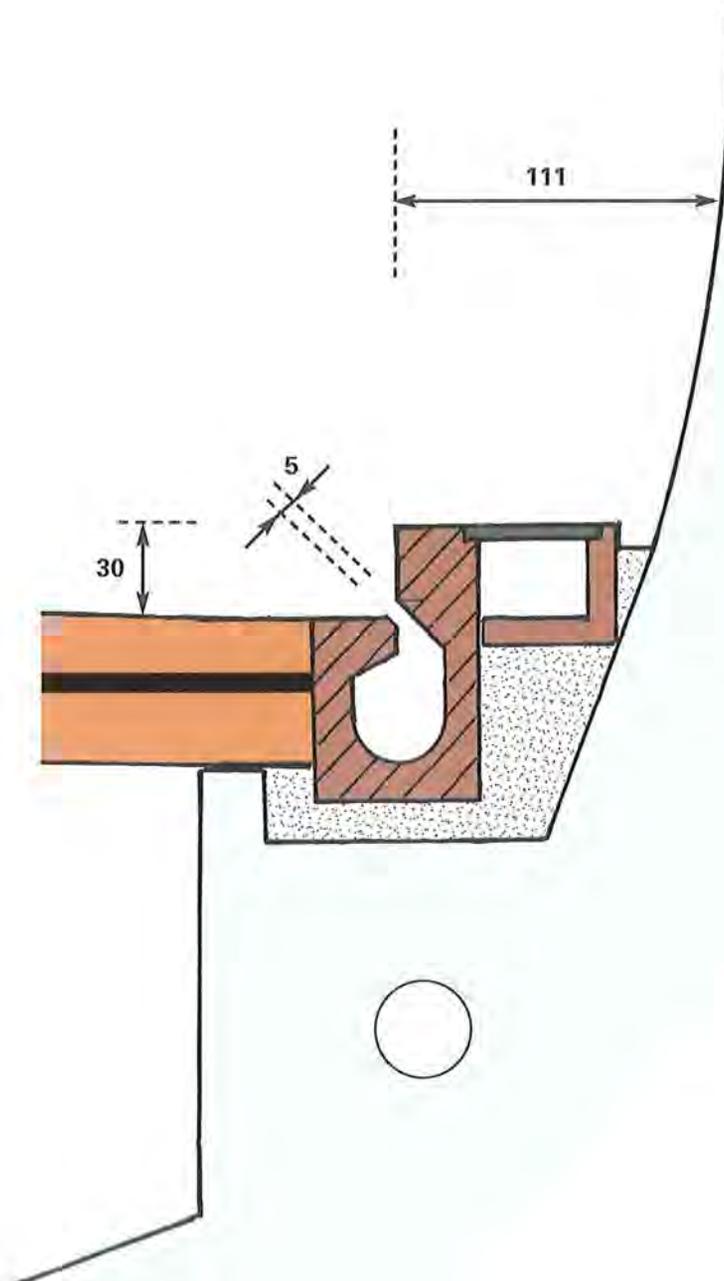


Figure 118 : schéma des caniveaux de Cointe, qui pourront capter immédiatement un liquide répandu sur la chaussée et, dès lors, limiter l'importance d'un incendie éventuel • © Groupement E5/E9

6.2 LA VENTILATION

Les zones en tunnel nécessitent une ventilation en vue d'assurer une quantité suffisante d'air frais à l'intérieur de ceux-ci. Chaque pertuis est équipé :

- de capteurs de CO ;
- de capteurs de NO₂ ;
- d'un opacimètre ;
- d'une détection incendie.

Le passage des véhicules et leur vitesse assurent un « pistonnement » naturel qui amène de l'air frais. Toutefois, pour les divers tunnels de la liaison, une ventilation forcée est nécessaire dans certaines circonstances.

6.2.1 La ventilation longitudinale

Dans des circonstances particulières — telles qu'un incendie occasionnant des fumées nocives à évacuer, un accident ou un embouteillage réduisant la vitesse et donc le pistonnement naturel —, le pistonnement est suppléé ou complété par de gros ventilateurs appelés *Boosters*, qui assurent la circulation de l'air longitudinalement afin d'éviter le retour des fumées vers les véhicules arrêtés en amont de l'incendie. Ce principe, dit de ventilation longitudinale, a été mis en pratique dans les tunnels de Cointe, de Kinkempois et des Grosses-Battes.

6.2.2 La ventilation semi-transversale

Étant donné leur longueur plus importante, les tunnels de Cointe disposent, en plus de la ventilation longitudinale assurée par des *Boosters*, d'une ventilation semi-transversale. Son but est triple :

- limiter la pollution aux portails ;
- limiter la pollution dans le tunnel ;
- évacuer les fumées lors d'un accident ou d'une opacité trop importante causée par les fumées des diesels.

Lorsque la quantité limite de CO et de NO dans un tunnel ou de CO₂ sortant des tunnels est dépassée, cette ventilation se met en marche selon le principe suivant :

- de l'**air frais** est aspiré aux extrémités « Guillemins » et « Tilleuls » par deux ventilateurs axiaux et il est injecté transversalement dans le tunnel, via le caniveau d'air frais et des bouches situées, tous les 10 mètres, dans les parois du tunnel (voir fig. 120 ci-après) ;
- l'**air vicié** est aspiré par des trappes situées dans le plafond du tunnel tous les 45 mètres et il est collecté par une grille placée à la sortie des tunnels. Il transite alors par deux gaines situées dans le caniveau d'air vicié et il est rejeté par la cheminée d'extraction située sur le plateau de Cointe et pourvue de quatre ventilateurs extracteurs (voir fig. 34 p. 28).

Lors d'un accident avec incendie, les fumées sont extraites localement pour limiter la zone envahie par celles-ci. Les tunnels de Cointe sont donc pourvus des deux types de ventilation : une longitudinale et une semi-transversale.

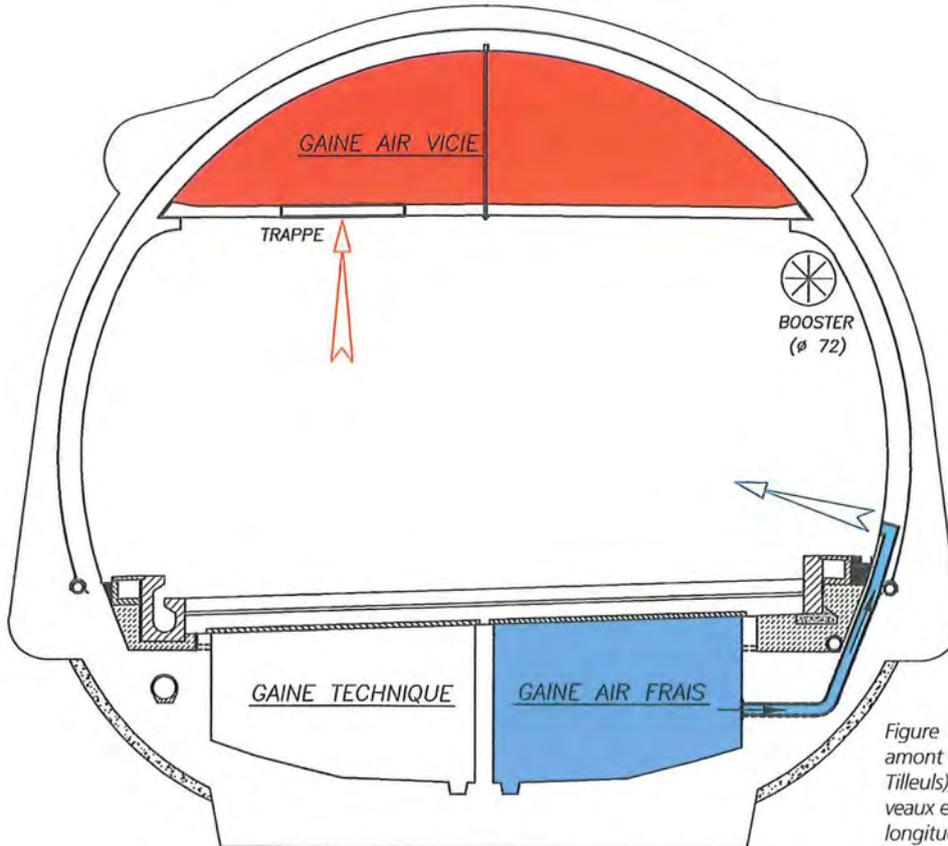


Figure 119 : coupe dans le tunnel amont de Cointe (en direction des Tilleuls), montrant les divers caniveaux et les principes de ventilation, longitudinale et semi-transversale
© Groupement E5/E9



Figure 120 : les locaux de ventilation « Tilleuls », vus ici en mars 1999, avec l'échangeur à l'avant-plan, constituent une prise d'air frais pour les tunnels de Cointe. Une autre prise est située aux Guillemins. • © Daylight

6.2.3 Le toit ajouré de Kinkempois

Afin de simplifier les installations de ventilation forcée à mettre en œuvre, la section centrale du tunnel de Kinkempois comporte, sur 100 mètres dans la zone centrale du quadrilatère, un « toit ajouré », grâce à la pose de poutres préfabriquées. La section transversale de celles-ci a été étudiée de manière à favoriser l'évacuation de l'air vicié et la prise d'air frais, grâce au pistonement créé par le mouvement des véhicules circulant dans les tunnels, éventuellement suppléé par la ventilation longitudinale. Ces poutres empêchent également l'entrée de l'eau de pluie et des rayons directs du soleil.

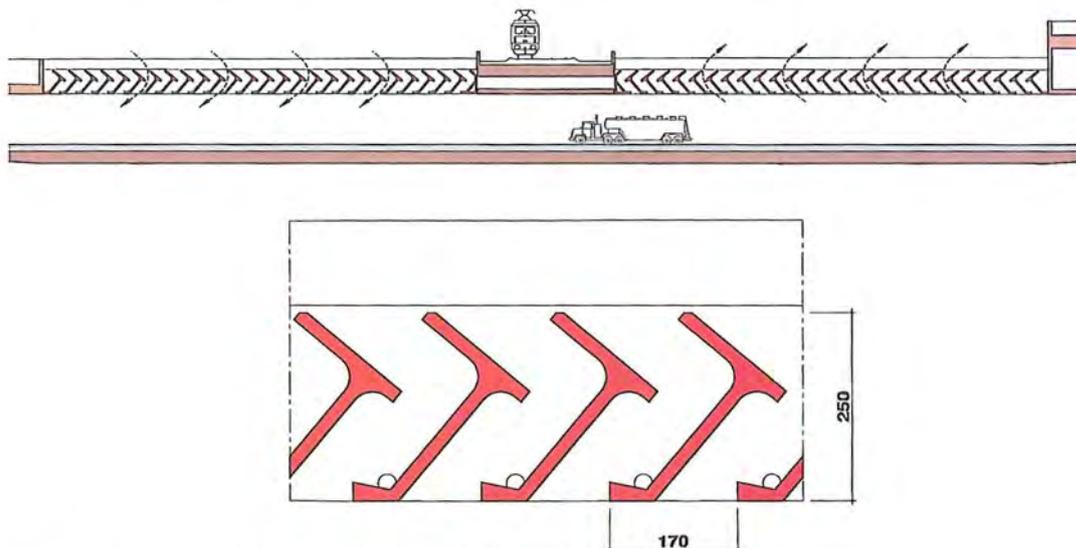


Figure 121 : coupe dans le toit ajouré de Kinkempois • © Beg



Figure 123 : le toit ajouré de Kinkempois terminé, vu ici depuis l'intérieur du tunnel, en avril 2000
© Daylight

Figure 122 : pose des poutres préfabriquées, pour le toit ajouré de Kinkempois, en février 1998 • © Daylight

6.3 LA PROTECTION ACOUSTIQUE ET L'AMÉNAGEMENT DES ABORDS

6.3.1 La protection acoustique

Deux types de protection sont prévus :

- à proximité des sorties et en vue de limiter l'émission de bruit provenant des tunnels, les parois latérales et les plafonds de ceux-ci sont recouverts de panneaux acoustiques, sur une longueur de 35 mètres ;
- à l'extérieur, dans les zones proches des habitations, des panneaux acoustiques limitent la propagation du son. Ces panneaux sont étudiés de façon à s'intégrer, au mieux, dans leur environnement urbain.



Figure 124 : exemple de protection acoustique dans l'échangeur des Tilleuls – À l'arrière-plan, le pont haubané sur la Meuse (février 2000)
© Daylight

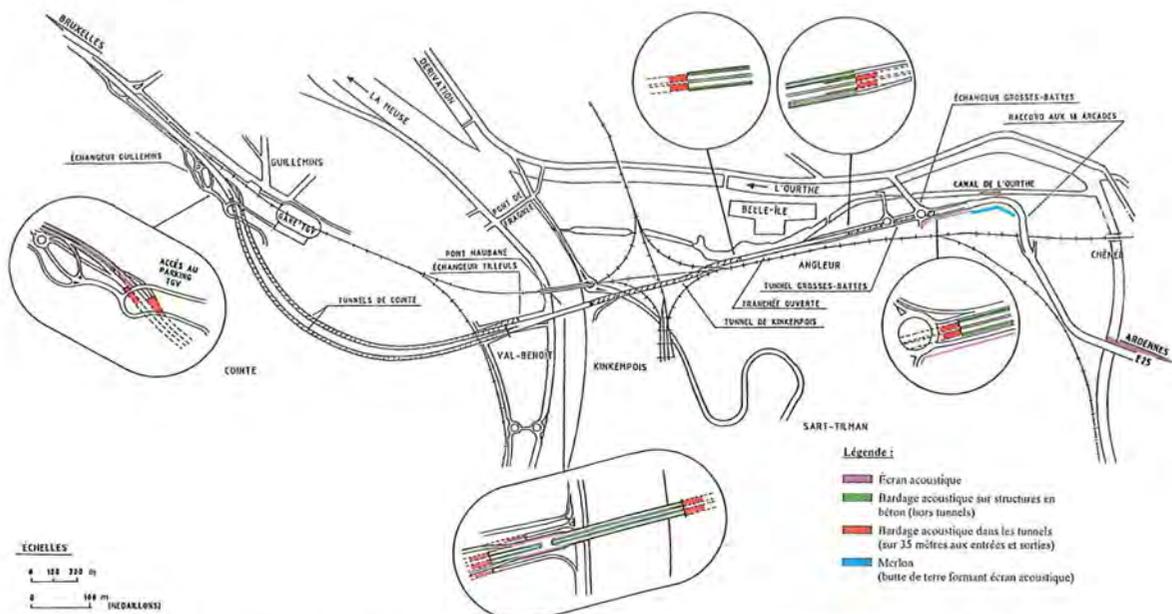


Figure 125 : représentation schématique de la liaison, avec les emplacements des protections acoustiques • © D. 151

6.3.2 Les cheminements cyclo-pédestres et l'aménagement des abords

Les aménagements autour de la liaison E40-E25 comprennent, notamment, de nombreux itinéraires destinés aux usagers lents — piétons et cyclistes. Ces itinéraires sont connectés entre eux et reliés, autant que possible, aux autres aménagements périphériques (berges de Meuse, RAVEL, etc.).



Figure 126 : exemple d'aménagement cyclo-pédestre – Ici, en rive droite de la Meuse, le halage et la passerelle piétonne donnant accès au pont haubonné ; dans le fond, le pont de Fragnée (avril 2000) • © Daylight

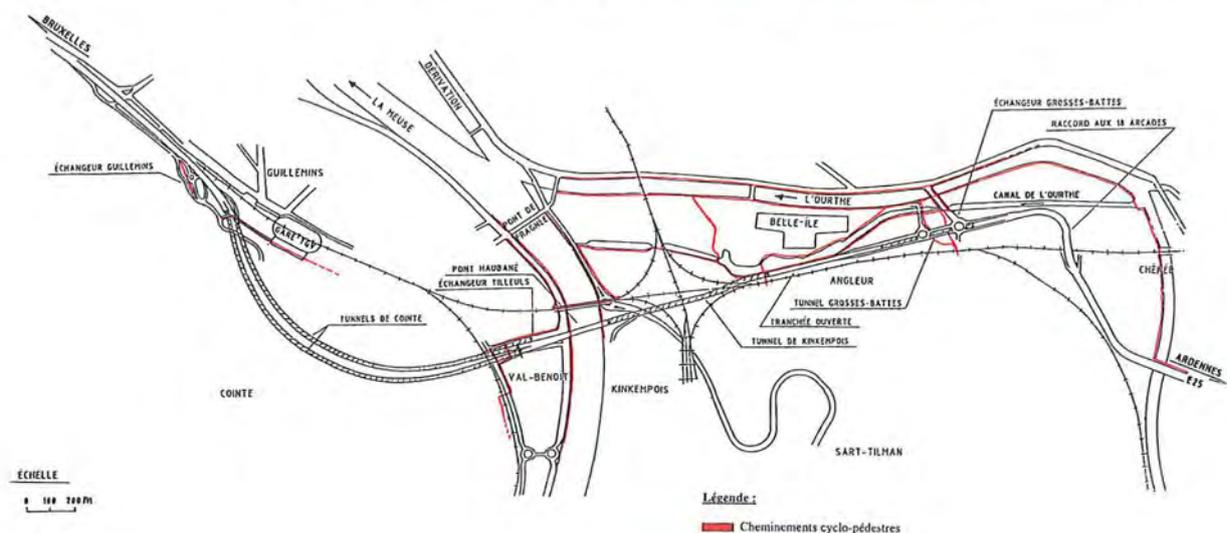


Figure 127 : représentation schématique des cheminements destinés aux usagers lents • © D. 151

6.4 LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET DE TRANSMISSION

6.4.1 L'éclairage

L'éclairage est considéré comme primordial pour assurer la sécurité des usagers. Aussi l'a-t-on voulu performant.

Dans les tunnels, les régimes d'éclairage varient en fonction du niveau de luminosité mesuré à leurs entrées. Des zones de renfort aux entrées des tunnels favorisent l'adaptation visuelle.

Les éclairages de base sont alimentés par deux départs distincts — un luminaire sur deux — de manière à réduire le risque de perdre la totalité de l'éclairage.

6.4.2 La distribution de la haute tension

Conformément aux lois et aux décrets en vigueur, relatifs au monopole de distribution, l'énergie électrique est fournie par deux distributeurs : l'Association liégeoise d'électricité en rive droite, l'Intermosane en rive gauche.

Ceci permet de raccorder la liaison à deux alimentations distinctes. Dès lors, en cas de défaillance d'un distributeur, la totalité de la liaison peut être alimentée par l'autre distributeur à partir de la rive opposée.

La distribution de la haute tension a fait l'objet d'une étude de sûreté visant à maximiser la disponibilité de l'alimentation au niveau des cinq postes répartis le long de l'ouvrage.

Néanmoins, des groupes de secours (*no break* rotatif) assurent l'alimentation en énergie électrique des équipements essentiels en cas (peu probable) de disparition des réseaux haute tension, et ce, sans interruption de l'alimentation.

6.4.3 Le câblage

Tous les isolants des câbles électriques sont « non halogénés » afin de limiter le dégagement des fumées nocives en cas d'incendie.

Les câbles utilisés sont non-propagateurs de la flamme et de l'incendie. Ils révèlent aussi un très faible indice de fumée, un indice de toxicité extrêmement bas et un faible indice d'émission de gaz corrosifs.

6.4.4 La ré-émission radio

Un câble rayonnant est installé dans chacun des pertuis pour assurer la continuité des transmissions radio et téléphonique (GSM). Ainsi, l'automobiliste témoin d'un incident, ou qui est en difficulté, peut informer directement un service de secours.

Un cahier du MET dans la collection *Techniques* (n°16) est entièrement consacré aux équipements électromécaniques de la liaison ; le présent cahier n'en donne qu'un aperçu.

7 L'EXPLOITATION ET LA GESTION DU TRAFIC

Tout au long de la réalisation de la liaison E40-E25, des moyens importants ont été déployés, les meilleures solutions ont été recherchées, des prouesses techniques ont été réalisées.

Toutefois, les contraintes liées à la construction d'une autoroute en site urbain, son intégration dans l'environnement et les limites budgétaires ont déterminé plusieurs particularités de ce tronçon d'autoroute : un tracé en plan avec des courbes marquées, un profil en long accidenté, des échangeurs rapprochés, des tunnels de grande longueur, l'absence d'une bande d'arrêt d'urgence continue, ...

Par ailleurs, il est certain que, dès la mise en service, des volumes de trafic de plus en plus importants, avec un pourcentage élevé de poids lourds, vont emprunter la liaison. Dans ces conditions, il faut prendre en compte un risque d'événements, plus ou moins graves, qui pourront contrarier le bon écoulement du trafic.

Pour faire face à ces difficultés, on a décidé de doter la liaison E40-E25, et sa zone d'influence, d'importants moyens d'exploitation et de gestion du trafic. L'objectif poursuivi étant que l'utilisateur trouve, sur cette liaison, un niveau de conduite au moins comparable à celui qui prévaut généralement sur notre réseau autoroutier.



Figure 128 : panorama de Liège avec la liaison à l'avant-plan (mars 2000) – La croissance prévisible du trafic après la mise en service de la nouvelle liaison autoroutière nécessitait la conception et la mise en œuvre d'importants moyens d'exploitation et de gestion.
© D. 434 (n° 00/992)

7.1 LE CENTRE « TILLEULS »

Une structure destinée à la gestion des équipements et du trafic sur la liaison occupe le centre situé à l'échangeur des Tilleuls.

Pour la gestion du trafic, le centre « Tilleuls » fonctionne comme poste avancé de PEREX, le centre de contrôle, de gestion et d'information sur le trafic de la Région wallonne. Dès 2001, PEREX doit disposer des données concernant le trafic sur la liaison et commander à distance les équipements de gestion dynamique du trafic.

Tant au centre Tilleuls, en phase transitoire, qu'à PEREX, en phase définitive, des opérateurs sont aptes à réagir efficacement aux nombreux événements qui peuvent survenir sur une autoroute — chantiers, accidents, congestion, véhicule en panne, perte de chargement, ... Leurs actions doivent être menées en étroite collaboration avec les partenaires que sont la gendarmerie, la police et les divers services de secours.



Figure 129 : le centre « Tilleuls » fonctionne comme poste avancé de PEREX pour la gestion du trafic sur la liaison (mars 2000).
© Daylight

7.2 LE RECUEIL DES DONNÉES

Les données relatives aux conditions de circulation sont recueillies par différents canaux :

- par des équipements de comptage, c'est-à-dire, soit des caméras, soit des boucles, qui enregistrent le nombre de véhicules et leur classification en véhicules légers ou lourds ;
- par des caméras, qui permettent de visualiser le trafic et les incidents. Celles-ci sont orientables et commandables à distance afin de couvrir un champ aussi étendu que possible ;
- par des équipement de DAI (détection automatique d'incidents), c'est-à-dire des caméras spécialisées, dont les images sont transmises à un ordinateur qui utilise des algorithmes sophistiqués et engendre des alarmes chaque fois que la dégradation des conditions de circulation dépasse un certain seuil.

En plus de ces données récoltées de manière automatique, d'autres sources d'information sont constituées par le personnel du MET, par les autorités présentes sur le terrain, ainsi que par les appels des usagers, émis à partir des bornes d'appel d'urgence.

7.3 LES PLANS D'ACTION

Tout événement survenant sur la liaison et sur sa zone d'influence doit entraîner la mise en application d'un plan d'action parfaitement défini à l'avance. Ainsi, avant de lancer un plan d'action, l'opérateur « trafic » devra toujours obtenir la validation de l'information qui lui est parvenue, et cela, grâce aux caméras de visualisation — dans les zones centrales — ou par l'envoi de patrouilleurs.

7.3.1 L'information

L'éventail des actions à déclencher peut être vaste. Il varie suivant la gravité de l'événement, sa localisation, le moment de son déroulement, ... Une des actions premières, qui doit en outre se poursuivre constamment, réside dans l'information des autorités et des usagers.

Tout événement introduit dans le système d'aide à l'exploitation de PEREX — le système WHIST — est mis à la disposition de la gendarmerie. Il est également transmis automatiquement à la RTBF, qui traite son information routière radiophonique à partir de PEREX. En outre, cet événement est envoyé sur un site internet consacré aux conditions de circulations en Région wallonne (<http://routes.wallonie.be/trafiroutes>).

7.3.2 Les actions sur le terrain

À partir de son pupitre au centre de gestion du trafic, l'opérateur peut commander des équipements permettant d'agir sur le trafic. Il doit — et dans certains cas, c'est une priorité — travailler en étroite collaboration avec, d'une part, les services de police et de sécurité et, d'autre part, les services du MET qui opèrent sur le terrain (district autoroutier d'Awans).

Les équipements de signalisation dynamique — ou variable — permettent une action directe sur le trafic. Leur utilisation a été préconisée dans le cadre de l'étude détaillée de la signalisation permanente et variable à l'intérieur de toute la zone d'influence — étude qui a été réalisée pour tenir compte des changements apportés à la circulation et de la configuration de la nouvelle section autoroutière.

Les panneaux à messages textuels, placés en amont du dispositif, sont susceptibles d'informer les automobilistes sur des difficultés éventuelles.

Les panneaux de régulation par voie (signaux d'interdiction et de danger) permettent de réduire la vitesse pour l'adapter à la configuration des lieux, et les signaux d'affectation des voies (bacs croix-flèches) canalisent le trafic sur les voies effectivement disponibles en cas d'accident ou de chantier, par exemple.

Les panneaux directionnels variables sont conçus pour aiguiller le trafic vers un itinéraire de déviation, en cas de fermeture de la liaison.

7.3.3 Les itinéraires de déviation

Les itinéraires prévus en cas de problème nécessitant la fermeture complète ou partielle de la liaison, ont été déterminés sur base de diverses considérations. Il fallait notamment :

- diriger le trafic de transit vers l'E411 (échangeur de Dausoulx) ;
- privilégier l'usage de l'A604, c'est-à-dire la descente vers Seraing (section d'auto-route permettant d'absorber un grand volume de trafic) ;
- éviter de faire pénétrer le trafic dévié vers des voiries du centre-ville, déjà très chargées (ellipse d'Avroy – quai de Rome).

Toutefois, dans certains cas, il faudra évacuer le trafic stocké entre les itinéraires de grande déviation et la liaison, et donc exploiter des itinéraires à travers Liège.

7.3.4 Les plans-catastrophes

Tout au long des réalisations, les concepteurs ont voulu prendre les meilleures mesures pour assurer la sécurité sur la liaison E40-E25. Néanmoins, des accidents peuvent toujours survenir et, dans certains cas, avoir des conséquences graves, si des procédures d'intervention rapides n'ont pas été mises au point préalablement.

Cet aspect de la sécurité des personnes n'a pas échappé aux différents acteurs que sont les autorités locales — le gouverneur de la province et le bourgmestre de Liège — , les services de la gendarmerie ou de police, et les services de secours — le service régional d'incendie, le service 100, le SAMU.

Une collaboration entre ces différents partenaires a permis de mettre au point, pour des événements dits « événements-catastrophes », des plans d'action très précis, qui accordent une priorité absolue à la facilité et à la rapidité d'intervention des services de secours.

8 CONCLUSION

La liaison E40-E25 atteste d'abord des performances dont sont capables les ingénieurs, les architectes et les entrepreneurs en Wallonie. La succession d'échangeurs, de tunnels et de ponts sur quelques kilomètres d'autoroute démontre incontestablement un haut degré de maîtrise technique et technologique.

En outre, les nombreux équipements dont elle est pourvue témoignent de l'importance accordée à la sécurité et au confort des usagers.

Ces travaux se caractérisent encore par le souci d'intégrer harmonieusement une nouvelle infrastructure dans le tissu urbain pour en faire un facteur de redynamisation économique et d'amélioration du cadre de vie.

Cette réalisation démontre aussi l'intérêt de solutions financières originales pour les travaux d'investissements. La création de la Sofico a incontestablement permis d'accélérer la réalisation de ce chaînon manquant, tout en réduisant le budget global.

La liaison E40-E25 est un fleuron des autoroutes wallonnes, dont il faudra s'inspirer lorsque la concrétisation d'un autre projet, visant à doter Liège d'un véritable ring autoroutier, sera à l'ordre du jour !

9 LEXIQUE

- *Bentonite* (p. 66) : minéral argileux gonflant au contact de l'eau.
- *Bossage* (p. 50) : zone dans laquelle se positionne l'ancrage d'un hauban.
- *Bracon* (p. 50) : élément de la superstructure, supportant le tablier.
- *Bulbe en béton* (p. 67) : volume de béton constitué par le sol en place, dans lequel un coulis de ciment a été injecté sous pression.
- *Cintre réticulé* (p. 28) : élément métallique courbe composé de barres principales cintrées et de barres secondaires, qui relie les primaires et forment ainsi un ensemble résistant (constituant l'ossature métallique de l'anneau extérieur des tunnels de Cointe).
- *Forage tubé* (p. 67) : forage dont le soutien latéral est assuré par un tube métallique.
- *Gabion d'enrochement* (p. 70) : boîte en grillage, destinée à être remplie de terre ou de gravier.
- *Gunitage* (p. 33) : projection sous pression, par une machine pneumatique, d'un béton très fluide.
- *Palée* (p. 24) : élément vertical soutenant une charge ou un ouvrage.
- *Pieux sécants* (p. 30) : pieux qui s'interpénètrent et forment une paroi continue.
- *Ragrée* (p. 35) : action de rendre régulière une surface.
- *Stross* (p. 32) : déblai souterrain.
- *Théodolite* (p. 33) : instrument de visée, muni d'une lunette, servant en géodésie à mesurer les angles horizontaux et verticaux et à lever les plans.
- *Tirants d'ancrage* (p. 30) : dispositifs qui permettent d'équilibrer la poussée des terres sur une paroi, pour la réalisation d'excavations verticales, notamment.
- *Toron* (p. 25) : assemblage de plusieurs fils tordus ensemble.
- *Tronconique* (p. 50) : qui a une forme de tronc de cône.
- *Tube tirant* (p. 24) : tube inférieur du tablier du pont de l'Observatoire, supportant les entretoises et reprenant les efforts de traction équilibrant les poussées de l'arc du pont.
- *Tunnelier full face* (p. 31) : engin excavateur destiné à forer les tunnels en une seule passe.
- *Voile* (p. 36) : structure verticale, de grande surface mais de faible épaisseur, en béton armé.