

LE TUNNEL SOUS LA MANCHE INSTALLATIONS DES ÉQUIPEMENTS FIXES D'INFRASTRUCTURE

François DUPONT
SETEC TPI / Eurotunnel

ABSTRACT

The Channel Tunnel transport system consists of various sub-systems/elements (civil engineering, fixed and moving equipment) which contribute to achieving the objectives and resolving the environmental constraints. These include:

- the shuttles designed for transportation of road vehicles;
- the Terminals required for vehicle reception, loading and unloading of shuttles, and entry of national trains into the tunnels;
- the running tunnels, which will be examined in regard to alignment and equipment;
- the service tunnel, which will be assessed in terms of its importance as a means of access to all points within the tunnels and for passenger evacuation;
- the rail tracks, which must be suitable in terms of layout and design for transporting the proposed tonnage at the required speed;
- the catenaries, which must be sufficiently robust and designed to accept high speeds and tractive power levels;
- the ancillaries required for system-wide operations and safety: electricity, drainage and pumping of water, tunnel ventilation and cooling and fire-fighting equipment;
- Control Centres:

Two Control Centres handle system-wide control and monitoring. The main control centre is located in the UK Terminal, and the second on the French side is ready to take over immediately in the event of failure of the former.



O. PRÉAMBULE

Avant d'aborder les descriptions des diverses installations d'équipements fixes mises en œuvre dans le Tunnel sous la Manche et les impératifs imposés à celles-ci par le concept du système de transport, une rapide description des objectifs du système de transport et de son

concept sont nécessaires afin d'appréhender les motivations qui ont conduit à la conception et à la mise en œuvre des équipements fixes.

1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DU SYSTÈME DE TRANSPORT

1.1 Présentation du système de transport

La vocation de la liaison fixe Transmanche est d'être un système de transport intégré qui permette la traversée rapide de la Manche aux trains et véhicules circulant entre la Grande Bretagne et le continent.

Ce système répond donc à deux objectifs essentiels :

- Assurer, selon la Concession, un passage continu des véhicules (tourisme et poids lourds), d'une façon analogue à une autoroute reliant la Grande Bretagne et la France.

- Réaliser, selon la Convention d'Utilisation l'interconnexion entre les réseaux ferrés français et britanniques.

Le système est conçu, de manière à fonctionner avec

toutes les assurances concernant la sécurité et le confort des passagers.

La liaison réalisée entre les réseaux routier et ferroviaire britanniques et français est souterraine. L'examen des différentes contraintes techniques et économiques a conduit au choix d'une jonction entièrement ferroviaire par l'intermédiaire d'un ensemble de trois tunnels parallèles :

- Deux tunnels principaux qui écoulent chacun dans une direction assignée, le trafic routier par l'intermédiaire de navettes, et le trafic des trains nationaux.

- Un tunnel de service, relié à intervalles réguliers aux précédents, et qui permet d'assurer la ventilation, l'entretien et l'intervention des équipes de sécurité.

En conséquence de ce choix, les réseaux ferrés nationaux bénéficient d'une interconnexion complète, sans rupture de charge.

Le trafic routier, en revanche, doit transiter par des installations terminales spécifiques situées à Coquelles, près de Calais et à Folkestone. Ces terminaux assurent l'accueil des véhicules, leur transfert et leur chargement sur les navettes Eurotunnel, et leur déchargement de l'autre côté de la Manche.

Conformément à la convention d'utilisation, les deux trafics (routier et ferroviaire) sont acheminés en alternance à travers les tunnels principaux.

1.2 Contraintes dues à l'environnement

Lors de la conception du système de transport, il fut nécessaire d'identifier et de résoudre les problèmes et contraintes spécifiques dus à l'environnement du Tunnel sous la Manche, et, principalement :

- des contraintes géologiques et géotechniques influant sur le tracé des tunnels et la disposition des terminaux.

- de l'infiltration des eaux dans les tunnels, nécessitant des installations de captage, de pompage et d'évacuation.

- des problèmes aérodynamiques dus à l'effet de pistonement des trains dans les tunnels.

- de l'élévation de température dans les tunnels due à l'échauffement de l'air par frottement au passage des trains, nécessitant des installations de refroidissement.

- des contraintes dues à l'espace limité, résultat d'un compromis entre coût du génie civil, gabarit du matériel roulant et équipements fixes.

- des risques pour les passagers voyageant en milieu confiné et souterrain, nécessitant des dispositions pour assurer le renouvellement de l'air, la protection et la lutte contre l'incendie, un éclairage suffisant, des moyens et des procédures d'évacuation des passagers en cas d'incident.

1.3 Description générale des ouvrages

1.3.1 Généralités

Il est nécessaire d'identifier les éléments (Génie Civil, Equipements Fixes et mobiles) qui concourent à assurer les objectifs définis précédemment et à résoudre les contraintes dues à l'environnement. Il s'agit, en particulier :

- des navettes destinées au transport des véhicules routiers,

- des terminaux nécessaires pour accueillir les véhicules, assurer le chargement et déchargement des navettes, et permettre l'insertion de trains nationaux dans les tunnels,

- des tunnels ferroviaires dont on étudiera le tracé et les équipements,

- du tunnel de service dont on mesurera l'importance comme moyen d'accès à tous les points du tunnel et pour l'évacuation des passagers,

- des voies ferrées qui doivent avoir le tracé et les qualités nécessaires pour transporter le tonnage envisagé à la vitesse requise.

- des caténaires qui doivent être suffisamment robustes et dimensionnés pour accepter des vitesses et des puissances de traction élevées,

- des auxiliaires nécessaires au fonctionnement de l'ensemble du système et à sa sécurité : électricité, drainage et pompage de l'eau, ventilation et refroidissement des tunnels et équipements de la lutte contre l'incendie.

Tous ces éléments sont en interaction étroite les uns par rapport aux autres et sont conçus pour le même objectif : assurer le trafic routier et celui des trains nationaux dans les temps impartis, avec toute la sécurité et le confort voulus pour les usagers.

- des centres de contrôle :

La commande et le contrôle de l'ensemble du système, sont assurés par deux centres de contrôle. Le centre principal est implanté sur le Terminal britannique, le second côté français est prêt à prendre immédiatement le relais en cas de défaillance du premier.

Le centre de contrôle en fonctionnement dispose de deux moyens pour remplir sa mission :

- Les consignes d'exploitation et de sécurité qui permettent : de gérer le trafic ferroviaire et routier, de délivrer les ordres nécessaires pour le fonctionnement des auxiliaires, de déclencher les opérations de maintenance et d'assurer la sécurité et la sûreté.

- un système de contrôle et de télécommunications qui mesure en permanence l'état de l'ensemble des éléments composant le système, et les transmet aux opérateurs du centre de contrôle. Il leur permet ainsi : d'effectuer les opérations nécessaires au maintien des consignes d'exploitation et de sécurité et de déclencher des interventions urgentes en cas d'incident.

1.3.2 Conception de l'ouvrage compte tenu des impératifs

1.3.2.1 Les tunnels

La liaison est longue de 50 km, dont 37 km sous le détroit de la Manche (franchi à une profondeur de 25 à 40 m sous le fond de la mer).

Les deux tunnels ferroviaires unidirectionnels ont un diamètre interne de 7,60 m et sont distants de 30 m environ. Ils sont reliés entre eux tous les 250 m environ, par des rameaux de pistonement et tous les 375 m environ à la galerie de service, dont le diamètre interne est de 4,80 m.

1.3.2.2 Tunnels ferroviaires

(i) Le tracé

Le tracé des tunnels est déterminé par deux contraintes principales :

- la géométrie de la voie : rayons de courbure verticaux et horizontaux, et une rampe maximum de 1,1% (adhérence des locomotives),

- les conditions géologiques et géotechniques du terrain. Le tracé emprunte essentiellement la couche de craie bleue qui possède de bonnes propriétés mécaniques et d'imperméabilité.

La pente des tunnels est aussi supérieure à 0,18% pour faciliter le drainage des eaux d'infiltration. Les points bas du tunnel détermineront la position des stations de pompage.

(ii) Coupe en travers type

Le diamètre interne des tunnels ferroviaires est égal à 7,6 m. Il résulte de la combinaison des différents équipements qui devront y être logés.

L'élément déterminant est le gabarit des navettes et des équipements qui en découlent : la hauteur de la voie et les caténaires. Le diamètre doit aussi tenir compte du gabarit des obstacles latéraux, tels que :

- la largeur du trottoir d'évacuation des passagers et de celui prévu pour l'entretien,

- le gabarit cinématique des navettes (jeu latéral des boggies, saillies dans les rayons de courbure etc..)

- les équipements fixes (conduites d'eau, câbles, etc..).

Enfin, le diamètre est aussi déterminé par la tolérance de construction du Tunnel, qui est de ± 150 mm.

1.3.2.3 Les tunnels de service

(i) Le tracé

Situé entre les tunnels ferroviaires, distants de 15 m environ de part et d'autre, la majeure partie du tunnel de service est parallèle aux tunnels ferroviaires. Le tracé diffé-

re au niveau des portails de Castle Hill et Beussingue, pour permettre l'accès des véhicules de service. Il diffère aussi, dans les Ouvrages de Shakespeare Cliff et au niveau des traversées-jonctions des Tunnels Ferroviaires.

La pente maximale de 3,5 % a été étudiée en fonction des véhicules de service qui emprunteront la galerie.

(ii) La coupe en travers type

Le diamètre interne du tunnel de service est égal à 4,8 m. Il résulte de la combinaison de divers éléments :

- avoir suffisamment d'espace pour accepter le gabarit des véhicules de service (deux voies de circulation) et des équipements fixes : câbles, conduites d'eau, drainage, etc..)

- assurer une section suffisante pour le dimensionnement de la ventilation des tunnels,

- assurer l'évacuation des passagers.

1.3.2.4 Liaisons intermédiaires:

Il s'agit de communications entre les différents tunnels.

Les Rameaux de Pistonnement :

Il est nécessaire de construire des rameaux de pistonnement reliant les deux Tunnels Ferroviaires, pour minimiser la résistance à l'avancement des trains et navettes. Disposés tous les 250 mètres et de diamètre égal à deux mètres, le dimensionnement des rameaux est un compromis, entre le coût du Génie Civil, et le coût des dépenses d'énergie pour la traction des trains.

Les revêtements sont en fonte ou en béton, le coefficient de rugosité étant calculé pour satisfaire aux exigences d'aérodynamisme. Enfin, la section, l'espacement et le coefficient de résistance sont calculés en sorte que la résistance à l'avancement des navettes soit constante à une vitesse donnée.

Chaque rameau de pistonnement est équipé d'un système d'obturation manœuvrable à distance, pour assurer, en cas d'incendie et de fumées, l'étanchéité avec le tunnel adjacent et permettre la maintenance dans un tunnel.

1.3.2.5 Les rameaux de communication et d'évacuation

Disposés tous les 375 mètres environ, ces rameaux relient la galerie de service aux tunnels ferroviaires. Ils ont deux fonctions principales :

- en priorité, l'évacuation des passagers depuis les trottoirs des tunnels ferroviaires,

- et le passage de l'air venant du tunnel de service, pour assurer la ventilation des tunnels ferroviaires.

Les rameaux sont fermés en permanence par des portes étanches, résistantes au feu, situées au droit des Tunnels Ferroviaires.

Le dimensionnement des rameaux de communication a été conçu pour satisfaire aux impératifs d'évacuation des passagers (pente $\pm 10\%$, hauteur et largeur). Des rameaux spéciaux sont aménagés près des portails de sortie où le tracé du tunnel de service est différent, et aux traversées-jonctions. Les revêtements sont en fonte.

1.3.2.6 Traversées-Jonctions

Le but des traversées-jonctions est de permettre, suite à un incident ou pour des raisons d'entretien programmé, l'exploitation en voie unique sur un tronçon du tunnel ferroviaire.

Deux traversées-jonctions sont prévues sous-mer. Elles

sont du type ciseaux. Une traversée-jonction est aussi prévue dans la zone couverte d'Holywell. En période d'exploitation normale, les jonctions sont fermées par des portes étanches.

1.3.2.7 Locaux techniques

Ces locaux sont destinés à loger les équipements électriques et mécaniques nécessaires pour assurer le fonctionnement des auxiliaires du tunnel.

Placés à distance régulière de part et d'autre de la galerie de service, les locaux sont semblables aux rameaux de communication, mais l'extrémité, côté tunnels ferroviaires, est obturé de façon permanente. On distingue :

- tous les 3 à 5 kms environ, les sous-stations électriques (ES) qui assurent, à partir du réseau Haute Tension, les distributions moyenne et basse tension.

- tous les 750 m environ, les salles d'équipement électrique (ER) qui assurent la distribution des différentes tensions nécessaires à la commande et au contrôle des auxiliaires proprement dits.

- les locaux techniques de signalisation ferroviaire (SR),

- les stations électromécaniques de pompage.

Les locaux sont fermés, drainés et ventilés.

2. LES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS FIXES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE ET LEUR MISE EN OEUVRE

2.1 La ventilation et l'aérodynamisme

2.1.1 Objectif

La ventilation du Tunnel sous la Manche a pour objectif :

- de permettre le renouvellement de l'air dans les tunnels, pour la sécurité et le confort des usagers. Le taux de renouvellement utilisé comme critère de conception, est fondé sur les prévisions du nombre des passagers en période de saturation (20 000), chaque personne devant disposer de 26 m³/h d'air.

- d'assurer l'évacuation rapide des fumées en cas d'incendie dans les tunnels ferroviaires ou dans la galerie de service.

- de procurer dans la galerie de service un refuge sans fumée aux passagers, en cas d'évacuation d'un train ou d'une rame, suite à un incendie.

- d'alimenter en air frais les locaux techniques.

2.1.2 Aérodynamisme

L'effet de pistonnement est un élément à prendre en considération dans le dimensionnement du système de ventilation, de façon à assurer une stabilité dynamique satisfaisante.

Les contraintes dues au régime de pression dans les Tunnels Ferroviaires résultant de l'effet de pistonnement des trains, se traduisent par :

- une résistance à l'avancement des locomotives (besoin de puissance),

- des différences de pressions induites, qui agissent sur le matériel roulant, les équipements fixes des tunnels et sur

les passagers,

- des pertes d'énergie se répercutant sur la température et l'humidité du tunnel,

- des interférences avec le système de ventilation.

La construction des rameaux de pistonement reliant à intervalles réguliers les tunnels ferroviaires, permet de diminuer l'effet de pistonement en réduisant le circuit de l'air en tête de queue du train.

L'espacement et le diamètre des rameaux sont conçus pour minimiser les pressions et les vitesses de l'air induites, de façon à réduire à des niveaux satisfaisants les contraintes énumérées ci-dessus.

2.1.2.1 Installations mises en oeuvre

Il est prévu deux systèmes séparés de ventilation.

- le système de ventilation normale,

- le système de ventilation supplémentaire, utilisé pour contrôler les fumées dans les tunnels ferroviaires.

(i) Ventilation normale

L'air est fourni par deux usines de ventilation situées, l'une au puits de Shakespeare Cliff, l'autre au puits de Sangatte.

L'air est acheminé, via les puits, dans la galerie de service qui joue le rôle de gaine de ventilation et distribué par l'intermédiaire des rameaux de communication à travers des grilles dans les tunnels ferroviaires, où le brassage de l'air est assuré par l'effet de pistonement des trains. L'air vicié ressort par les portails des tunnels.

Les grilles sont munies d'obturateurs qui seront fermés en cas d'incendie dans un des tunnels.

Des sas sont prévus au niveau des portails de la galerie de service, pour empêcher la sortie de l'air soufflé et assurer la suppression du tunnel de service, par rapport aux tunnels ferroviaires.

Chaque usine de ventilation comportera deux ventilateurs axiaux, dont un en réserve, réversibles pour permettre de diriger l'évacuation des fumées. Ils comporteront des aubes à pas variables pour maîtriser les différences de pression entre tunnel de service et tunnel ferroviaire, à un niveau acceptable dans le cas d'évacuation des passagers.

(ii) Ventilation supplémentaire

Chaque tunnel possède deux usines de ventilation situées, l'une au puits de Shakespeare Cliff, l'autre au puits de Sangatte. L'air circulant dans les tunnels peut être soufflé ou aspiré d'un côté ou de l'autre, en fonction des besoins.

L'usine de ventilation de chaque puits et de chaque Tunnel, comprend deux ventilateurs réversibles dont un de réserve.

Lors du fonctionnement de la ventilation supplémentaire, la fermeture des obturateurs des rameaux de pistonement et des portes des traversées-jonctions, seront fermées par une commande à distance.

Le débit de la ventilation normale sera ajusté en cas d'évacuation des passagers, pour réduire la vitesse de l'air au niveau des portes des rameaux de communication, tout en gardant une suppression suffisante pour empêcher les fumées de rentrer dans le Tunnel de Service.

2.2 Le refroidissement des tunnels

2.2.1 Objectifs et principes de l'installation

Il s'agit d'éliminer la chaleur générée dans les tunnels ferroviaires qui est essentiellement produite par l'échauffement de l'air par frottement au passage des trains. Les calculs ont montré que, ni la ventilation, ni les dissipations naturelles (sol, eaux d'infiltration) étaient suffisantes pour maintenir les tunnels à une température acceptable de l'ordre de 25°C.

Pour ce faire, chaque tunnel a été divisé en quatre tronçons (sous terre et sous mer, côté français et côté britannique). Chaque tronçon est refroidi séparément par des circuits d'eau réfrigérée, composés chacun d'une conduite de départ et de retour.

La production et la circulation de l'eau réfrigérée sont assurées par deux usines de réfrigération placées à chaque puits (Sangatte et Shakespeare Cliff), chaque usine prenant en charge la réfrigération de deux tronçons (sous mer et sous terre).

2.2.2 Mise en oeuvre des installations

Si la mise en oeuvre des usines de refroidissement situées sur les deux côtés, au droit des puits de ventilation, n'a pas posé de problèmes particuliers, la mise en oeuvre des canalisations en tunnel a nécessité la conception et l'utilisation de matériels très spécifiques.

Nous rappellerons qu'il s'agissait d'installer dans les deux tunnels ferroviaires deux lignes de tuyauteries soudées d'un diamètre de 400 mm en partie sous-marine et d'un diamètre de 300 mm dans les parties sous-terrestres, représentant 200 km de tube, plus de 15 000 supports, 45 vannes principales, plus toute l'instrumentation liée à la régulation et au contrôle.

Le principe retenu pour cette installation fut celui de la mise en oeuvre de tuyauteries en grande longueur.

Des longueurs de tuyauteries, préfabriquées à l'extérieur, de 50 mètres de longueur ont donc été acheminées depuis les portails par des fardiers de transport constitués par des boggies articulés. Les tuyauteries, une fois en poste en tunnel, furent mises en oeuvre sur leurs supports par un train de montage automatisé équipé de bras hydrauliques programmés. Une fois fixées sur les supports, les tuyauteries furent soudées entre elles afin de constituer une ligne continue puis, après réglage par l'intermédiaire d'un rayon laser, définitivement fixées sur les ancrages.

2.3 Le drainage et le pompage

2.3.1 Objectif et principe de l'installation

Le système est destiné principalement à collecter et pomper vers l'extérieur toutes les eaux d'infiltration des tunnels. Il doit aussi permettre de collecter des débits supplémentaires d'eau ou d'autres fluides provenant :

- d'une rupture de canalisation d'eau,
- de la collecte des eaux de pluie provenant des têtes des tunnels,
- d'opérations de lutte contre l'incendie,
- d'écoulement de liquides provenant de marchandises transportées.

La collecte des eaux s'effectue par gravité le long des

Implantations en tunnel (3ème CITOP) - Implantations en tunnel

caniveaux de drainage situés sous les deux voies ferrées et dans la dalle du tunnel de service. Les eaux sont dirigées vers des réservoirs (albraques) situés aux points bas du tracé des tunnels, puis refoulées, à travers trois conduites, vers l'extérieur des tunnels à l'aide de stations de pompage situées au droit des albraques.

Il y a en tunnel trois stations de pompage situées en niveau des points bas de l'ouvrage, une côté français et deux côté britannique. Ces trois stations sont sous mer.

Pour des raisons de sécurité de fonctionnement, chaque station est divisée en deux moitiés situées de part et d'autre du tunnel de service. Chaque moitié est alimentée électriquement de façon indépendante et est équipée de deux pompes. Le principe de fonctionnement de la station complète est le suivant : sur quatre pompes, deux sont en service, une en réserve et une hors de service ou en entretien.

Des albraques, dites de sécurité, permettent de stocker un volume d'eau supplémentaire en cas de perturbation affectant la station de pompage, de façon à disposer du temps nécessaire pour remédier au problème.

En cas d'épandage de liquides dangereux, par suite d'une fuite sur un véhicule ou un wagon de transport, les liquides sont automatiquement détectés avant leur arrivée dans les réservoirs et dirigés vers des réservoirs spéciaux.

2.3.2 Mise en œuvre des installations

Pour des raisons de sécurité et de maintenance, les canalisations de refoulement des stations de pompage ont été mises en œuvre dans le tunnel de service, en partie haute de celui-ci.

L'importance des réseaux d'exhaure en terme de sécurité étant primordiale, ceux-ci ont été conçus pour assurer une continuité d'exploitation (3 réseaux dont 1 en service, 1 en attente, le troisième en maintenance), mais également pour permettre un remplacement des tuyauteries dans le minimum de temps. Les réseaux sont donc constitués de longueurs de tuyauteries de 12 mètres assemblées par des raccords mécaniques rapides type Vicking Johnson.

Ce principe a nécessité, compte tenu de l'emplacement des tuyauteries et le besoin de maintenir, sous celles-ci, en galerie de service, un gabarit suffisant pour le passage des véhicules de maintenance et de secours, la conception d'un train de pose automatisé, équipé de bras de manutention hydrauliques. Avant pose des tuyauteries, les supports ont été réglés en position par rayon laser, le type de joint prévu imposant un abattage des tuyauteries avec une précision inférieure à 1 mm. Après pose et avant serrage définitif, une vérification précise de l'alignement au moyen d'un rayon laser a été effectué. Ce train automatisé de montage fut également utilisé pour la mise en œuvre de la conduite de lutte contre l'incendie.

2.4 Détection et moyen de lutte contre l'incendie

La prévention contre l'incendie est, en plus des règles d'exploitation, assurée par l'utilisation :

- de matériaux autant que possible résistants au feu et évitant sa propagation,
- des barrières ou portes coupe-feu, pour assurer la séparation entre : les tunnels ferroviaires ; les tunnels ferroviaires et la galerie de service ; les locaux techniques et la galerie de service ; la galerie de service et les sas.

Des détecteurs de fumée sont prévus dans tous les

locaux techniques avec extinction automatique en cas d'incendie, par du halon et action à distance sur les éléments permettant de couper la ventilation, fermer les obturateurs des grilles de ventilation et avertir le personnel d'intervention.

En tunnel, une canalisation d'eau incendie unique, divisée en 4 tronçons, permet d'alimenter des bouches d'incendie situées dans chaque rameau de communication et dans les tunnels ferroviaires ;

Chaque tronçon sera alimenté par un réservoir de 750 m³ et une station de pompage, situés aux deux portails et à chaque puits.

Des dispositions sont prises pour permettre l'alimentation de n'importe quel tronçon en cas de défaillance du système d'alimentation de l'un d'eux.

2.5 La distribution d'énergie électrique

La puissance nécessaire au fonctionnement des auxiliaires et de la traction, est fournie par deux stations principales implantées sur chaque terminal et raccordées aux réseaux nationaux 400 000 volts (Seeboard et EDF). Chaque réseau fournit la moitié de la puissance. En cas de défaillance de l'un des réseaux, l'autre est capable d'assurer l'alimentation de tout le système moyennant le délestage des charges non prioritaires et une circulation réduite des trains et navettes.

Chaque station principale assure par l'intermédiaire de transformateurs, la distribution nécessaire pour :

- la traction (25 000 volts),
- les équipements auxiliaires des terminaux et des tunnels (20 000 volts).

Sur les terminaux, une boucle ouverte 20 000 volts alimente diverses sous-stations électriques qui assurent principalement, à l'aide de transformateurs, l'alimentation :

- des stations de pompage (3 300 volts),
- de l'éclairage extérieur en boucle ouverte 3 300 volts et tension 400 volts pour les luminaires,
- des ateliers et des bâtiments.

Dans les tunnels, la distribution est assurée par quatre lignes 20 000 volts. Deux sont réservées à l'alimentation des stations de pompage, deux à celle des sous-stations électriques réparties le long du tunnel de service. Les quatre lignes empruntent pour cheminer des tunnels différents (2 en galerie de service : pompe + auxiliaire) et un dans chaque tunnel ferroviaire.

Pour des raisons de sécurité et de redondance, les sous-stations électriques sont divisées en deux parties situées de part et d'autre du tunnel de service. Chaque partie est alimentée par une ligne différente et conçue de façon à secourir immédiatement l'autre partie en cas de défaillance de la première.

Les sous-stations électriques (ES) assurent tous les 3 ou 5 km environ, la transformation de la tension 20 000 volts en 3 300 volts et en 400 volts. La tension 3 300 volts sert à alimenter les salles d'équipement électrique (ER) qui assurent la distribution 400 volts.

La tension 400 volts est nécessaire pour alimenter par l'intermédiaire de tableaux :

- les appareillages électromécaniques, vannes, électrovannes, systèmes d'obturation des grilles, manœuvre des

nel (3ème CITOP) - Implantations en tunnel (3ème CITOP) -

portes etc..

- l'éclairage des tunnels : éclairage permanent, éclairage de haut niveau et éclairage d'urgence.

- les équipements électriques et électroniques (chargeurs-batteries, automates programmables, signalisation ferroviaire, etc...).

2.6 L'éclairage en tunnel

L'éclairage dans les trois tunnels est assuré par des luminaires placés sur les piédroits des tunnels côté galerie de service pour les tunnels principaux et en partie centrale pour le tunnel de service.

La pose des appareils a été déterminée pour assurer un éclairement minimal de 20 lux sur les trottoirs d'évacuation des tunnels ferroviaires.

En mode d'exploitation normale de l'ouvrage l'éclairage est en mode éteint. Son allumage n'est commandé, localement ou à distance, qu'en cas de nécessité (évacuation, maintenance).

L'éclairage revêtant une importance primordiale en terme de sécurité, chaque zone située entre les locaux techniques est alimentée par trois circuits séparés alimentant les appareils d'éclairage depuis deux locaux techniques, un des circuits étant résistant au feu.

