

## Annexe 3.4 - USA – Seattle – tunnel de la SR 99 Alaskan Way Viaduct (AWV)

### 1. SOMMAIRE – TUNNEL DE LA SR-99 AWW

Le tunnel de la AWW SR-99 est situé à Seattle sur une autoroute urbaine et de l'État de Washington aux USA. La ville de Seattle compte 700 000 habitants. La région métropolitaine de Seattle/Tacoma/Bellevue compte 3 800 000 habitants.

Le tunnel AWW a une longueur de 2,835 km. Il comporte un tunnel monotube sur deux niveaux, ainsi que des tronçons en tranchée couverte aux entrées nord et sud. Il est prolongé au sud par un nouveau tronçon de 1,6 km près des stades de Seattle.

Le tunnel satisfait aux spécifications techniques de la 4e édition 2010 de l'AASHTO LRFD, ainsi qu'aux clauses spécifiques du contrat. Sa résistance aux séismes est conforme aux spécifications du guide AASHTO "Specification for LRFD Seismic Bridge Design 2009". La sécurité incendie et la conception opérationnelle sont conformes à la NFPA 502, édition 2008. La construction du tunnel est basée sur le Manuel technique AASHTO pour la conception et la construction des tunnels routiers - éléments civils édition 2010.



Figure 1- SR-99 et Elliott Bay



Figure 2 – Plan de situation du tunnel de la SR-99

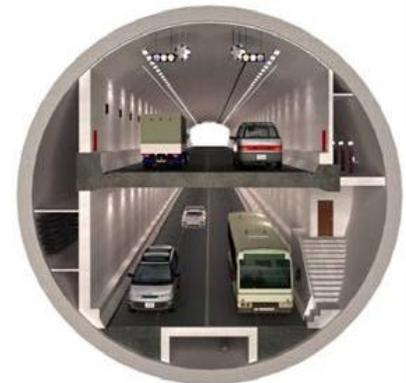


Figure 3 – Profil en travers

Le tunnel SR 99 est conçu pour résister à un tremblement de terre qui ne se produit statistiquement que tous les 2500 ans (indice 9 de l'échelle de Richter). En cas de tsunami, il est très peu probable qu'une vague passe au-dessus de la digue et atteigne le tunnel. Le WSDOT (Département des Transports de l'État de Washington) et la ville de Seattle ont estimé que cela ne pouvait se produire que lors d'une très haute marée, avec une combinaison d'événements dont la récurrence est estimée entre 6 000 à 24 000 ans. La technologie d'alerte rapide de l'État de Washington permettrait de limiter les conséquences des tsunamis. Si nécessaire, les collecteurs et les systèmes de pompage permettent d'évacuer rapidement l'eau du tunnel.

Les équipements de sécurité du tunnel font du SR 99 un aménagement sûr pour les usagers. Le tunnel a été conçu pour faire face aux tremblements de terre, aux inondations ou à d'autres catastrophes. Le tunnel comprend également des systèmes de ventilation, de détection et d'extinction d'incendie, de sécurité et d'éclairage ultramodernes. Les éléments de sécurité comprennent : couloirs d'évacuation, alimentation électrique de secours, ventilation, drainage, intervention en cas d'incident, GTC (Gestion Technique Centralisée), notifications d'urgence, détection et extinction des incendies.

Le tunnel comporte un tube unique, réalisé au tunnelier sous le niveau de la nappe phréatique. Les deux ouvrages d'extrémité ont été construits en tranchée couverte. Le tunnel foré a un diamètre de 17,37 m. Le tunnel est réservé aux véhicules à moteur. Il est interdit aux piétons, aux bicyclettes et aux véhicules transportant des produits inflammables ou dangereux.

## 2. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

### 2.1 GÉOMETRIE

Le tracé en plan et les conditions géologiques sont assez contraignants. Le tracé doit prendre en compte la présence d'échangeurs à l'extrémité sud d'accès au port de Seattle et aux stades. Du Sud vers le Nord, le tunnel descend sous la ville de Seattle jusqu'à une profondeur de 67 m. Il a ensuite une pente ascendante jusqu'à l'extrémité nord où est situé l'échangeur avec le réseau routier secondaire de la ville de Seattle.

Chaque sens de circulation comporte deux voies de 3,35 m avec un accotement de sécurité de 2,43 m et un accotement de 0,61 m. Les grandes courbes du tracé assurent de bonnes distances de visibilité. Les corridors d'évacuation et les issues de secours sont situés du côté ouest et les accotements de 0,61 m du côté est.

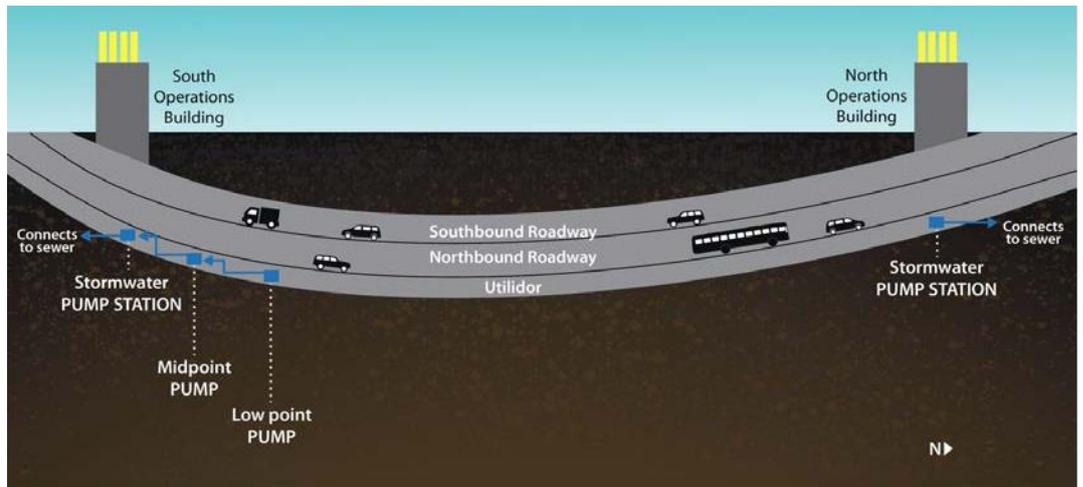


Figure 4- Profil en long

À la tête nord du tunnel, l'accès au centre-ville se fait par des bretelles d'accès et de sortie près de Seattle-Centre. Au sud, de nouvelles bretelles d'accès et de sortie à proximité des stades relie la SR-99 au boulevard du front de mer.



Figure 5 – Accès Nord et Sud au tunnel et échangeurs

### 2.2 PROFIL EN TRAVERS

#### 2.2.1 Tunnel routier

Le tunnel comporte deux niveaux de chaussées exploitées en trafic unidirectionnel. La chaussée supérieure accueille le trafic en direction du sud et la chaussée inférieure le trafic SR-99 en direction du nord. Chaque chaussée comporte deux voies de circulation de 3,35 m de largeur et une bande d'arrêt d'urgence de 2,43 m de largeur. En chaussée basse, la bande d'arrêt d'urgence est située à droite de la voie lente. Elle est située à gauche de la voie rapide pour la chaussée haute. Le tirant d'air vertical de la chaussée inférieure est de 4,85 m et de 6,0 m pour la chaussée supérieure.

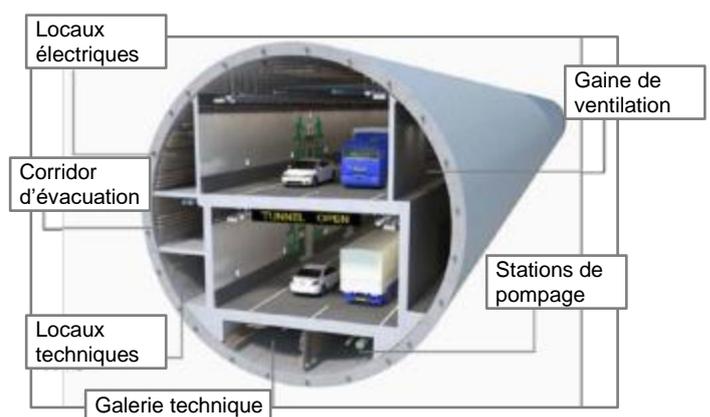


Figure 6 - Coupe transversale

La figure 6 montre la disposition générale de la section transversale: l'espace de circulation, les gaines de ventilation, la galerie des réseaux des services publics, les locaux techniques et électriques, ainsi que la galerie d'évacuation de secours et les stations de pompage.

Les plafonds et les murs sont recouverts d'une protection thermique projetée du type " Grace Monokote".

## 2.2.2 Dispositifs de secours et d'évacuation

### ❑ Galerie d'évacuation – espaces sécurisés

Le tunnel dispose d'une galerie d'évacuation en cas d'incendie. Elle est parallèle aux chaussées et dotée de systèmes indépendants de ventilation et de contrôle d'incendie. Cette galerie est séparée des chaussées du tunnel par des murs en béton. Les issues de secours coupe-feu sont espacées de 198 m.

En cas d'incendie, les usagers suivent les accotements pour atteindre une issue de secours et une zone sécurisée qui est reliée à la galerie d'évacuation, ainsi qu'à la chaussée du tunnel non affectée par l'incendie.

Les PMR (personnes à mobilité réduite) peuvent utiliser les espaces protégés situés au pied ou au sommet des escaliers d'accès à la galerie d'évacuation. Ces espaces sont aménagés, ventilés, sous vidéo surveillance, équipés d'un téléphone et reliés au Poste de Contrôle. Les PMR sont en sécurité et seront secourus par les services d'intervention.

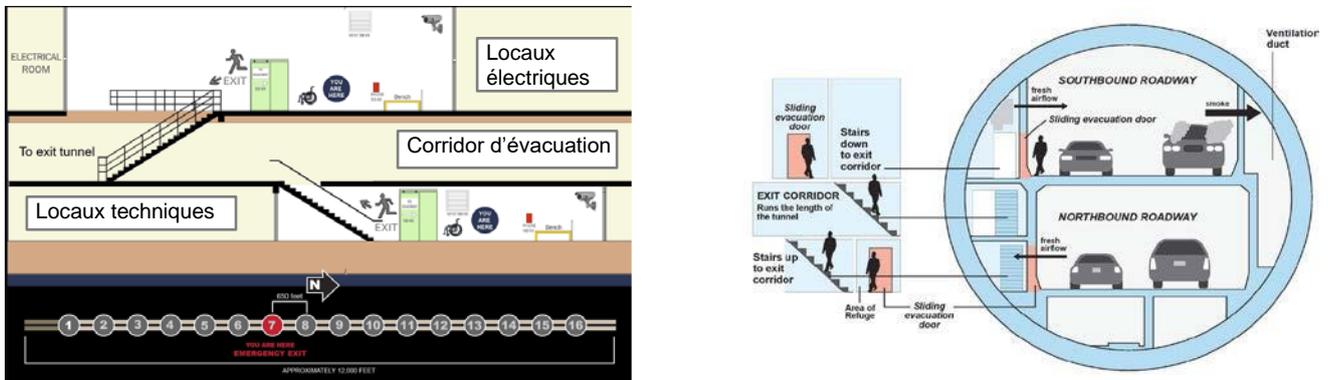


Figure 7 – Galerie d'évacuation – issues de secours – circuit sécurisé

### ❑ Dispositifs de sécurité incendie

Ces dispositifs sont les suivants: (a) issues de secours tous les 198 m – (b) trappes de désenfumage motorisées et télécommandées tous les 33 m (6 trappes ouvertes) – (c) ventilateur d'extraction des fumées de 283 m<sup>3</sup>/s aux têtes de tunnel - (d) réseau de sprinklers avec un débit de 13 mm/min.

Le tunnel est également équipé d'extincteurs, d'une conduite d'eau et de poteaux d'incendie.

## 2.3 CONDITIONS DE CIRCULATION – PANNES ET ACCIDENTS

### 2.3.1 Conditions de circulation

La vitesse est limitée à 72 km/h dans le tunnel. Les radars fixes surveillent le respect des limitations de vitesse dans le tunnel, sur ses accès et sur les bretelles des échangeurs. Les usagers peuvent obtenir gratuitement sur leur téléphone portable des informations sur l'état de la circulation avant d'accéder au tunnel.

### 2.3.2 Gestion des incidents

Le contrôle de la circulation en temps réel permet de réduire les conséquences causées par les collisions, les véhicules immobilisés ou d'autres perturbations dans le tunnel. En cas de collision, les systèmes de détection d'incidents permettent aux exploitants du tunnel de détecter l'incident et d'intervenir très rapidement. En cas de blocage d'une voie du tunnel, la signalisation variable permet de fermer rapidement la voie aux véhicules et les panneaux de limitation de vitesse permettent d'optimiser la circulation sur la voie restée ouverte. Les véhicules d'intervention entrent alors dans le tunnel et enlèvent les véhicules immobilisés.

## 2.4 SIGNALISATION

Les principaux équipements de signalisation sont les suivants:

- (a) signalisation des échangeurs aux têtes de tunnel avec une signalisation lumineuse par éclairage extérieur, (b) caissons lumineux, (c) panneaux à fibre optique à DEL, (d) messages clignotants ou feux flash, (e) feux d'affectation et de fermeture des voies tous les 198 m.

- (f) trois PMV à chaque accès (2 panneaux de pré signalisation de fermeture du tunnel - un panneau en prescription de sortie) - (g) des panneaux de fermeture du tunnel et des feux tricolores à chaque tête de tunnel.
- Des feux d'affectation des voies (et de fermeture des voies) espacés de 198 m.

Le tunnel est équipé de boucles de comptage du trafic et d'une vidéo surveillance avec fonctions DAI.

Ces installations pour la gestion du trafic sont réparties tout au long du tunnel : boucle de trafic - capteurs - utilisation du réseau de vidéosurveillance - autres.



Figure 8 - Image virtuelle de la chaussée au niveau inférieur – panneaux de signalisation

### 3. VENTILATION

#### 3.1 CONCEPT DE VENTILATION

L'installation de ventilation du tunnel est du type " semi-transversal" avec extraction en un seul point.

L'apport d'air frais est assuré en ventilation longitudinale par des accélérateurs (ventilateurs à jet).

En cas d'incendie, le système de ventilation a pour but d'empêcher la fumée de se propager dans l'espace de circulation. Le flux d'air est maintenu dans le sens de la circulation afin d'éviter la formation de couches de fumée en amont du foyer d'incendie. Le désenfumage s'effectue par la bouche d'extraction la plus proche de l'incendie.

La ventilation de la galerie d'évacuation est totalement indépendante.

La ventilation du tunnel est conçue pour une puissance d'incendie de 100 MW, l'utilisation d'un système de déluge, et une protection passive au plafond et sur les murs.

La détection d'un incendie est assurée par un câble de détection thermométrique en fibre optique et la télévision en circuit fermé. En cas d'incendie, la fumée s'échappe à proximité des têtes de tunnel par des cheminées de rejet de 24 m de hauteur (en jaune sur la figure 9).

#### 3.2 INSTALLATION DE VENTILATION

L'installation de ventilation comporte:

- 8 ventilateurs centrifuges d'extraction des fumées situés dans les bâtiments d'exploitation. Chaque ventilateur a un débit d'extraction de 3823 à 5097 mètres cubes par minute ( $m^3/min$ ). Le système de ventilation du tunnel est capable d'extraire environ  $660 m^3/s$
- 4 ventilateurs d'apport d'air frais pour la galerie d'évacuation, les salles électriques et les locaux d'entretien et de maintenance. Ces ventilateurs sont situés dans le bâtiment d'exploitation
- 17 ventilateurs à jet (accélérateurs) près des têtes de tunnel pour apporter de l'air frais dans le tunnel.

Le tunnel est équipé de 10 stations de mesure et de contrôle de la qualité de l'air : capteurs pour le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les particules.

La gestion de la ventilation est automatique avec une possibilité de prise de commande manuelle.



Figure 9 - Bâtiment d'exploitation Sud – deux des quatre ventilateurs d'extraction

Les accélérateurs sont activés de façon préventive en cas de risque de congestion, dès que la vitesse des véhicules est inférieure à 32 km/h, ou en cas d'urgence. Les ventilateurs d'extraction sont activés de façon préventive en période de congestion ou lorsque la vitesse des véhicules est inférieure à 8 km/h.

Les gaines d'extraction des fumées sont situées côté est du tunnel. Elles courent sur toute la longueur du tunnel, sont équipées de bouches d'extraction espacées de 33 m. Six bouches peuvent être ouvertes dans la zone de l'incendie.

Des accélérateurs sont placés à l'entrée et à la sortie du tunnel et alimentent le tunnel en air frais.

Les quatre ventilateurs d'air frais fournissent de l'air frais aux zones de maintenance, aux passages d'évacuation, aux locaux électriques et aux autres locaux annexes.



Figure 10 – Accélérateurs situés près des têtes de tunnel

### 3.3 ENVIRONNEMENT – QUALITÉ DE L'AIR

Surveillance du CO et des NOx aux têtes de tunnel et à 10 emplacements dans le tunnel afin de respecter les normes nationales de qualité de l'air ambiant.

## 4. ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION

Le tunnel AWW SR-99 est doté des équipements courants d'exploitation et de sécurité. Il y a donc peu de points spécifiques pour ce tunnel.

### 4.1 ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

#### Alimentation normale

Les têtes nord et sud du tunnel sont alimentées à partir de postes électriques externes indépendants et le système de contrôle du tunnel permet de basculer d'un poste à l'autre si nécessaire.

La distribution électrique dans le tunnel est assurée à partir de 16 sous-stations électriques. Elle est redondante.

#### Alimentation de secourue autonome

En cas de coupure complète de l'alimentation régionale externe, le tunnel dispose d'une alimentation autonome. Elle est assurée par deux groupes électrogènes, ainsi que des ensembles de batteries onduleurs.

### 4.2 ÉCLAIRAGE

Les luminaires pour tunnel SR-99 sont équipés de DEL. L' éclairage secouru est alimenté à partir des deux groupes électrogènes. La signalisation lumineuse des issues de secours clignote en cas d'évacuation.

### 4.3 ALIMENTATION EN EAU - SYSTÈME DE DRAINAGE - ÉQUIPEMENT DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Le tunnel est équipé d'un système fixe de lutte contre l'incendie, dont la capacité est de 14,0 litres/sec par zone de détection et d'arrosage (208 zones). Il comporte 1700 têtes d'arrosage.

Les conduits de lutte contre l'incendie sont reliés au réseau de distribution d'eau de la ville de Seattle. Le service d'incendie de la ville de Seattle est responsable de la lutte mobile contre les incendies.

Le tunnel comporte quatre stations de pompage : 1 station au point bas, 1 station au niveau intermédiaire et 2 stations de pompage des eaux pluviales à chaque tête de tunnel.

Ces stations de pompage des eaux pluviales sont conçues pour limiter la quantité d'eau de pluie qui s'écoule vers l'intérieur du tunnel. Les eaux collectées sont traitées avant d'être relevées puis rejetées dans le réseau d'égout.

## 5. POSTE DE CONTRÔLE - EXPLOITATION

#### Poste de contrôle

Le tunnel dispose d'un poste de contrôle (PC), opérationnel 24 heures sur 24 qui permet de réagir rapidement à l'évolution des conditions de circulation et aux urgences. Des systèmes de supervision fournissent des informations en temps réel aux exploitants du tunnel. Le centre de contrôle a des lignes directes avec le service d'incendie de Seattle, le service de police et d'autres services d'urgence.

Le PC du tunnel SR-99 AWW est situé au centre de contrôle central d'exploitation de WSDOT Northwest. Il y a 34 opérateurs à temps plein pour l'exploitation du tunnel SR-99.

Le PC du tunnel SR-99 comprend une salle de contrôle équipée d'un mur vidéo montrant le plan du tunnel et des images vidéo de l'intérieur du tunnel et de la zone adjacente. Toutes les informations provenant des équipements du tunnel sont réceptionnées et traitées au PC via le système de GTC.



Figure 11 – Poste de gestion du trafic de la région Nord-ouest du WSDOT

#### ❑ Équipements de sécurité

- Issues de secours vers la galerie d'évacuation avec un espacement de 198 m. Les portes sont éclairées avec des lampes stroboscopiques.
- Extincteurs à poudre, téléphones d'urgence à chaque issue de secours, avec un raccordement direct au 911 (service de police),
- Pictogrammes sur les murs du tunnel avec des distances par rapport aux issues de secours
- Panneaux à messages variables espacés de 99 m.
- Réseau de caméras doté d'une DAI (détection automatique d'incident): véhicules à l'arrêt – véhicule à contre sens, piétons, débris, fumée.
- Câble de détection thermométrique – installation fixe de lutte contre l'incendie – buses d'arrosage à fonctionnement automatique ou manuel
- Système de rediffusion radio AM/FM - système de sonorisation

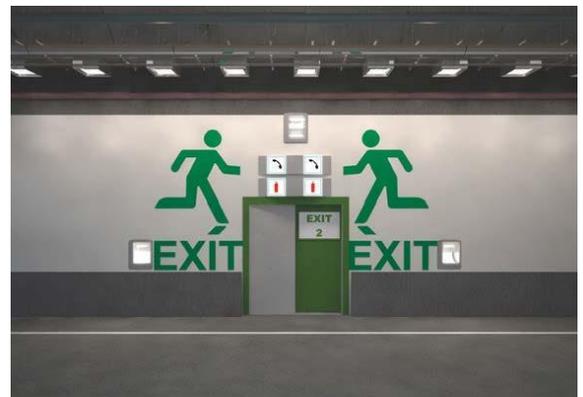


Figure 12 - Emergency exits to the escape route

#### ❑ Système de transport intelligent

Les systèmes de transport intelligents et la communication avec les usagers sont assurés par le réseau de communication et la GTC (Gestion Technique Centralisée). La GTC assure les interfaces avec les autres systèmes, y compris la gestion de la maintenance, le contrôle des incendies, la sécurité et les téléphones d'urgence.

#### ❑ Gestion du trafic

Le tunnel est interdit aux véhicules transportant des matières dangereuses ou inflammables. Les opérateurs du WSDOT contrôlent les conditions ou restrictions particulières de circulation pour réaliser les interventions maintenance aux heures de faible trafic.

#### ❑ Détection d'incendie – installation de lutte contre l'incendie – intervention en cas d'incendie

Le tunnel est divisé en 208 zones de détection et d'extinction d'incendie. L'intervention en cas d'incendie dans le système de tunnel est :

- Soit automatique : les détecteurs de température au plafond de la chaussée du tunnel déclencher une alarme au système de contrôle du tunnel qui active ensuite les systèmes de déluge, de ventilation et de messagerie pour cette zone.
- Soit manuelle à distance : si un opérateur remarque un incendie (via la vidéosurveillance, les systèmes de détection d'incident,), il peut déclencher les mêmes opérations par le système de contrôle du tunnel (il y a plus de 70 caméras de détection d'incident).

Le service d'incendie de Seattle est responsable de la lutte contre un incendie en concertation avec les différents opérateurs et les services de secours.

En cas d'incendie, les gicleurs de l'installation fixe de lutte contre l'incendie aident le service d'incendie à combattre l'incendie et à réduire le niveau de température basse, tandis que les systèmes de ventilation évacuent les fumées. Le tunnel est équipé de caméras qui peuvent être utilisées pour vérifier l'emplacement des incendies en cas d'incendie.