

# Sécurité des tunnels

## Quelques éléments d'information

# Les tunnels en France au 1/1/2005

- **907 tunnels routiers en service**
  - soit près de 325 km de tubes
  - 4 ont plus de 5 km
  - 45 ont plus de 1 km
- **1681 tunnels ferroviaires** (655 km soit 2% du réseau)
  - 5 ont plus de 5 km
  - 116 ont plus de 1 km
- **les tunnels canaux**

# Enquête 2001 de la CEE ONU (55 pays)

- 660 tunnels routiers de plus de 1000 m
- Pays avec le plus de tunnels de plus de 1000 m:
  1. Norvège 203
  2. Italie 180
  3. Suisse 67
  4. Autriche 55
  5. France 46
  6. Allemagne 38
  7. Espagne 25

*Autres < 10 par pays*

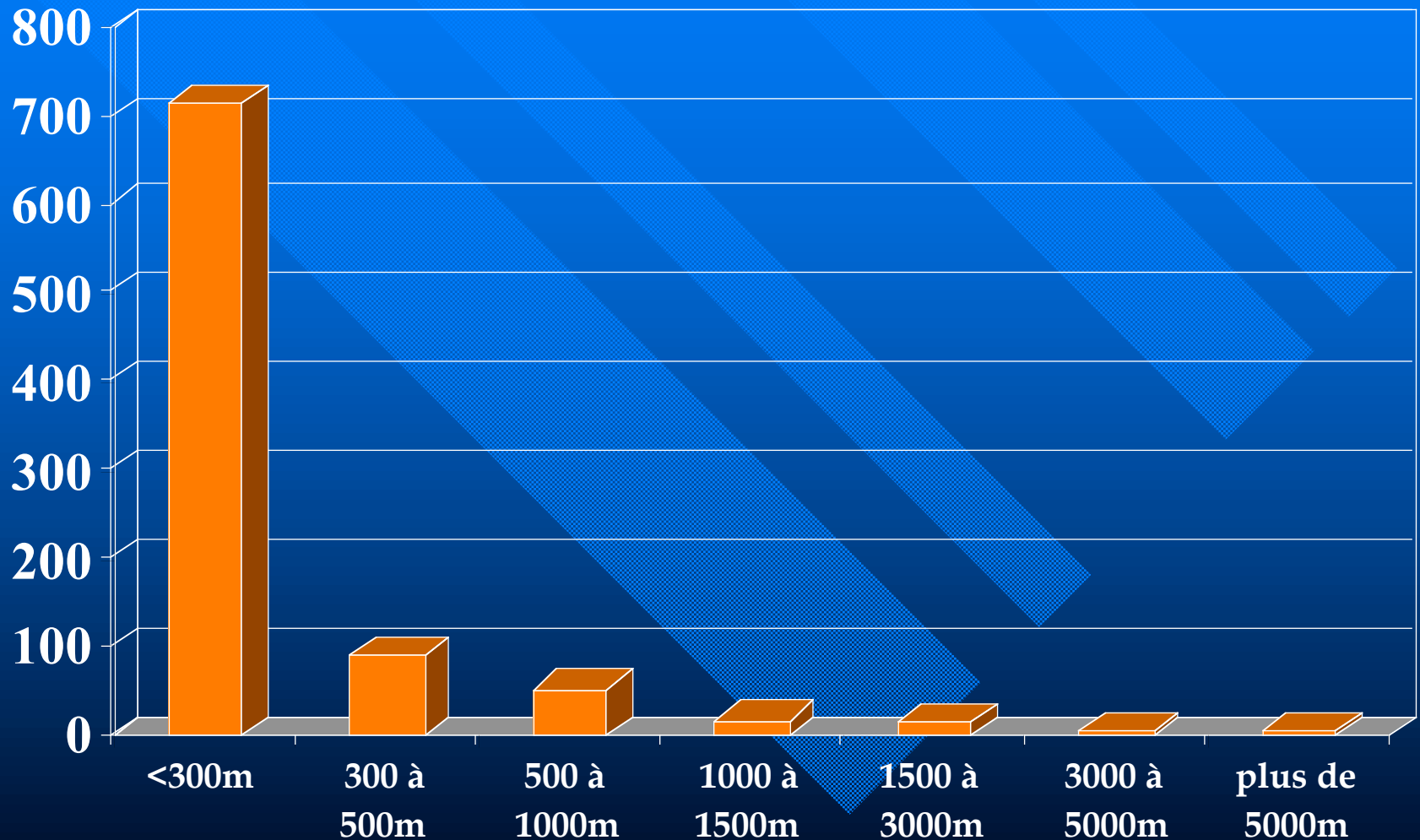
# Les plus longs tunnels routiers

Laerdal	Norvège	24 510 m	2000
Zhongnanshan	Chine	18 040 m	<i>Prévu 2007</i>
St Gothard	Suisse	16 918 m	1980
Arlberg	Autriche	13 972 m	1978
Hsuehshan	Taiwan	12 900 m	<i>2005</i>
Fréjus	France	12 895 m	1980
Mont Blanc	France	11 611 m	1965
Gudvanga	Norvège	11 428 m	1991

# Les plus longs tunnels ferroviaires

St Gothard	Suisse	57 072 m	<i>Prévu 2010</i>
Seikan	Japon	53 850 m	1988
Transmanche	A/F	50 450 m	1994
Loetschberg	Suisse	34 577 m	<i>Prévu 2007</i>
Guadarrama	Espagne	28 377 m	<i>Prévu 2007</i>
Hakkoda	Japon	26 455 m	<i>Prévu 2007</i>
Shinkansen	Japon	25 810 m	2002
Simplon	Suisse	19 824 m	1922

# Répartition par longueur



# 190 tunnels de plus de 300m en exploitation

	Total	Dont bidirectionnel
>1000m	45	15
de 300 à 1000m	145	66
Total >300m	190	71

# Les taux d'incidents en tunnel

taux de pannes	Urbain et périurbain	650
	Sur autoroute	350
taux d'accidents	Urbain et périurbain	100
	Sur autoroute	50
	Grand tunnels bidirectionnels	30
taux d'accidents corporels	Tous tunnels	7 à 8

Taux donné pour  $10^8$  veh.km



# Les taux d'incendies en tunnel

taux d'incendie VL	2
taux d'incendie PL et autocars	1,5 à 4,5
<i>dont non maîtrisés</i>	0,5 à 1,5
taux d'incendie TMD	0,5 à 1,5
<i>dont non maîtrisés</i>	0,2 à 0,6

Taux donné pour  $10^8$  veh.km

# Exemple d'un tunnel

## - Hypothèses considérées

- 2 tubes à 2 voies
- longueur 1 100 m
- trafic 60 000 veh/j (dont 10% de PL et 0,2% de TMD)

## - Approche statistique

- Pannes:  $350 \cdot 10^{-8} \cdot 1,1 \cdot 60000 \cdot 365 = 80$  pannes par an
- Accidents corporels: 2 par an
- Incendie PL: 1 tous les 10 ans
- Incendie TMD: moins de 1 tous les 1000 ans

# Les plus importants incendies en tunnel routier

Le Fréjus	France	Juin 2005	<i>2 morts</i>
Baregg tunnel	Suisse	Avril 2004	<i>1 mort</i>
St Gothard	Suisse	Octobre 2001	<i>11 morts</i>
Tauern tunnel	Autriche	Mai 99	<i>12 morts</i>
Mont Blanc	France	Mars 99	<i>39 morts</i>
Isola delle femine	Italie	Mars 96	<i>5 morts</i>
Pfänder tunnel	Autriche	Avril 95	<i>3 morts</i>
Serra Ripoli tunnel	Italie	Février 93	<i>4 morts</i>
Brenner	Suisse	Mai 89	<i>2 morts</i>
L'Arme	France	Septembre 86	<i>3 morts</i>
Pecorile tunnel	Italie	Février 83	<i>8 morts</i>
Caldecott tunnel	USA	Avril 82	<i>7 morts</i>
Nihonzaka (127 trucks)	Japon	Juillet 79	<i>7 morts</i>
Velsen tunnel	Pays Bas	Août 78	<i>5 morts</i>

**En 1999**

**2 incendies catastrophiques :**

- Mont Blanc (France - Italie) : 39 morts\*
- Tauern (Autriche) : 12 morts

**Forte prise de conscience**

- choc dans l'opinion publique
- implication au niveau politique
- lancement de nombreuses actions

# Actions immédiates lancées en France

- **Enquête technique sur incendie Mont Blanc**
  - 41 recommandations
- **Diagnostic des tunnels > 1000 m**
  - Recommandations générales et par ouvrage
- **Travaux sur la réglementation**
  - Court terme : tunnels État (circulaire 2000-63)
  - Moyen terme : tous tunnels (loi 2002+ décret)



En 2001

**1 nouvel incendie catastrophique :**

**- Tunnel du Gothard (Suisse) : 11 morts**

**→ *La directive devient une priorité***



# Directive 2004 / 54 / CE du 29/4/2004 concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau transeuropéen

- Texte principal
- Annexe I : Mesures de sécurité
- Annexe II : Procédures
- Annexe III : Signalisation

# Les fondements de ces textes

- **Diminuer la probabilité d'un accident grave**
  - Mesures de prévention (trafic, TMD, géométrie)
  - Surveillance, fermeture
- **Augmenter les possibilités d'auto-évacuation rapide**
  - Maîtrise des fumées (opacité, toxicité, chaleur)
  - Issues de secours
  - Alerte des usagers
- **Réduire les conséquences de l'accident**
  - Intervention rapide des secours
  - Dispositions techniques (protection au feu, alimentation eau,..)



# CONTROLLER LES FUMÉES

PHASE 1



PHASE 2, A PRIORI



Ventilation longitudinale (essentiellement tunnels unidirectionnels non congestionnés)

## Ventilation longitudinale (autres cas) :

## Ventilation transversale :

- Contrôler le courant d'air
- Extraire les fumées

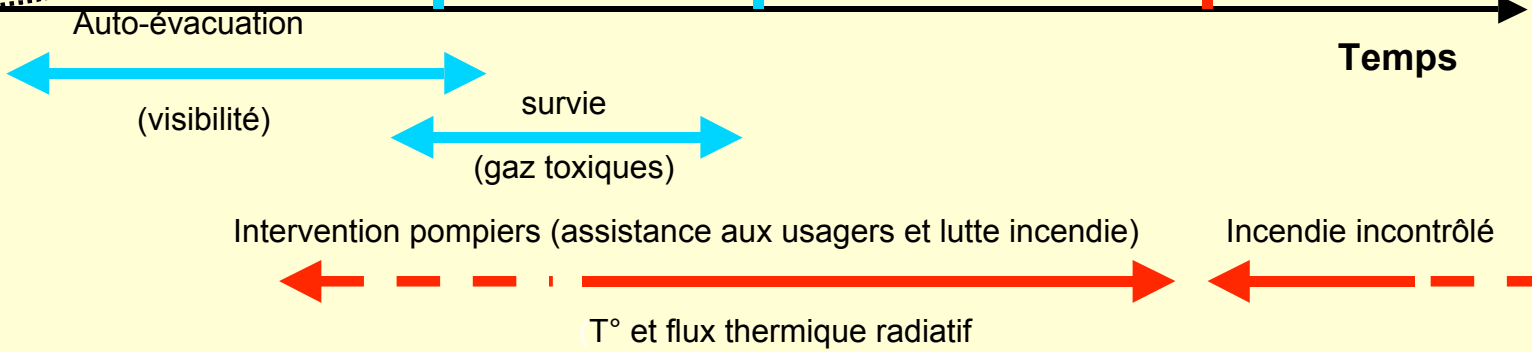
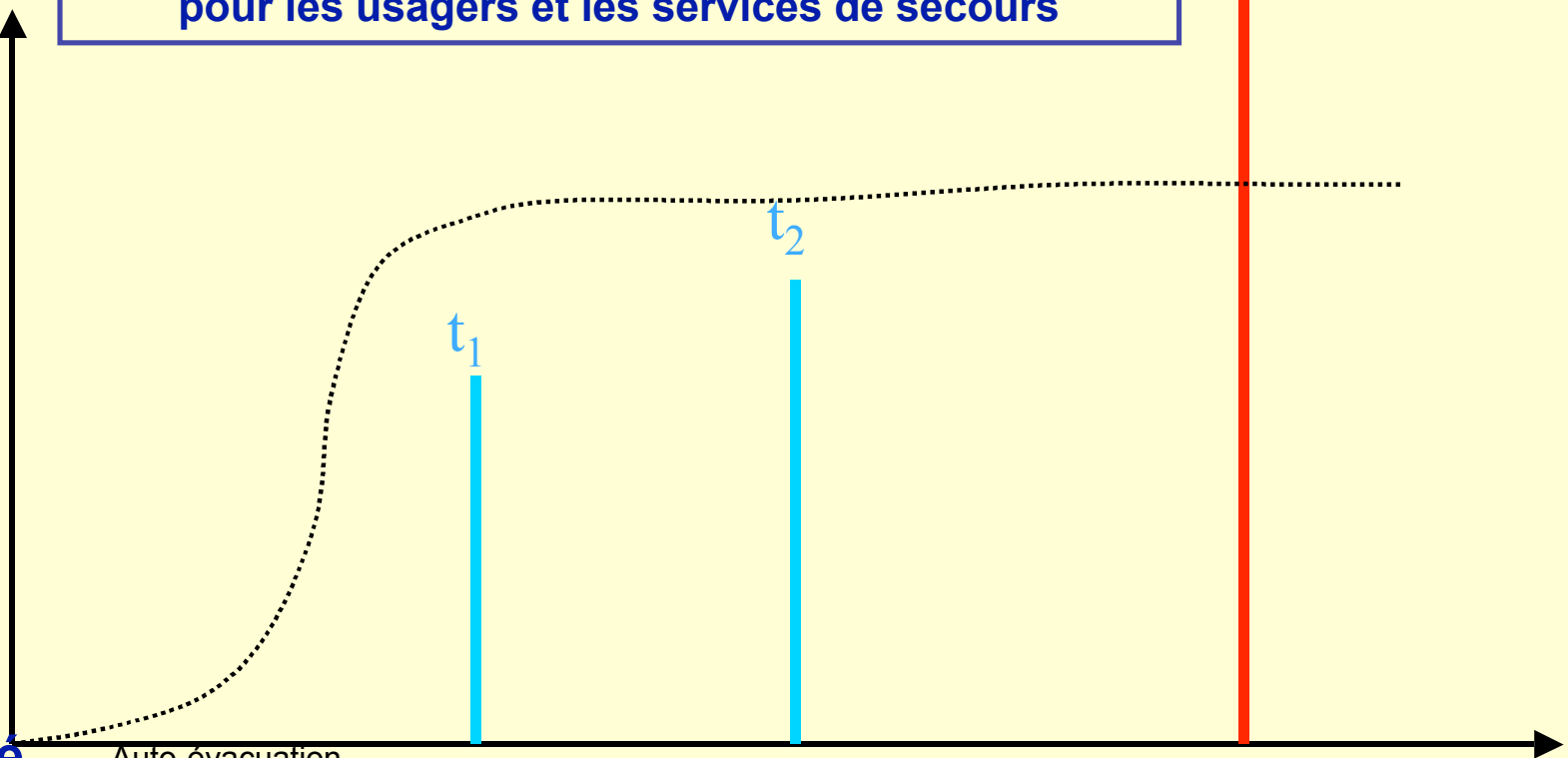


**Périodes critiques de secours en fonction de la puissance d'un incendie et des critères de tenabilité pour les usagers et les services de secours**

Puissance thermique

Tenabilité usagers

Tenabilité pompiers



# Les issues de secours

## Solutions possibles :

1. Communications directes avec l'ext.
2. Communications entre tubes
3. Galerie de sécurité
4. Abris avec cheminements protégés



2

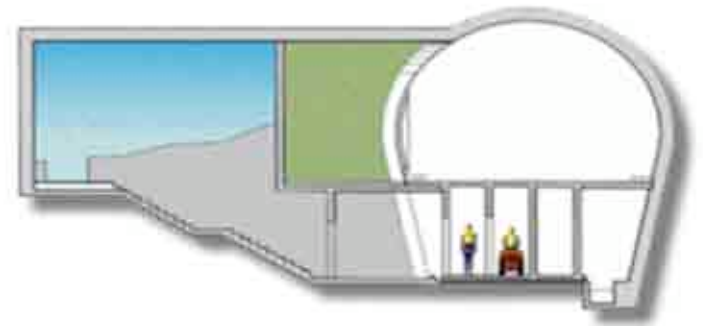


Fig. 2 Abri et son escalier d'accès à la galerie de secours

4



Film réalisé par

**ingélux**  
Consultants

**SUPERVISER**

*Gestion technique centralisée*

**AGIR**

*Radio diffusion*

*Véhicule de secours en entrée*

*Panneaux à messages variables*

**RECONNAÎTRE**

**ACQUÉRIR**

*Cameras de vidéo surveillance*

*Pollution (opacimètres, analyseurs de CO,...)*

*Ventilation (anémomètres)*

*Poteaux incendie*

*Issues de secours*

*Appareils d'éclairage*

*Trafic (boucles de comptage, Détection Automatique d'Incidents,...)*

*Plots de balisage lumineux*

*Barrières automatiques de contrôle d'accès en entrée*

*Ventilation*

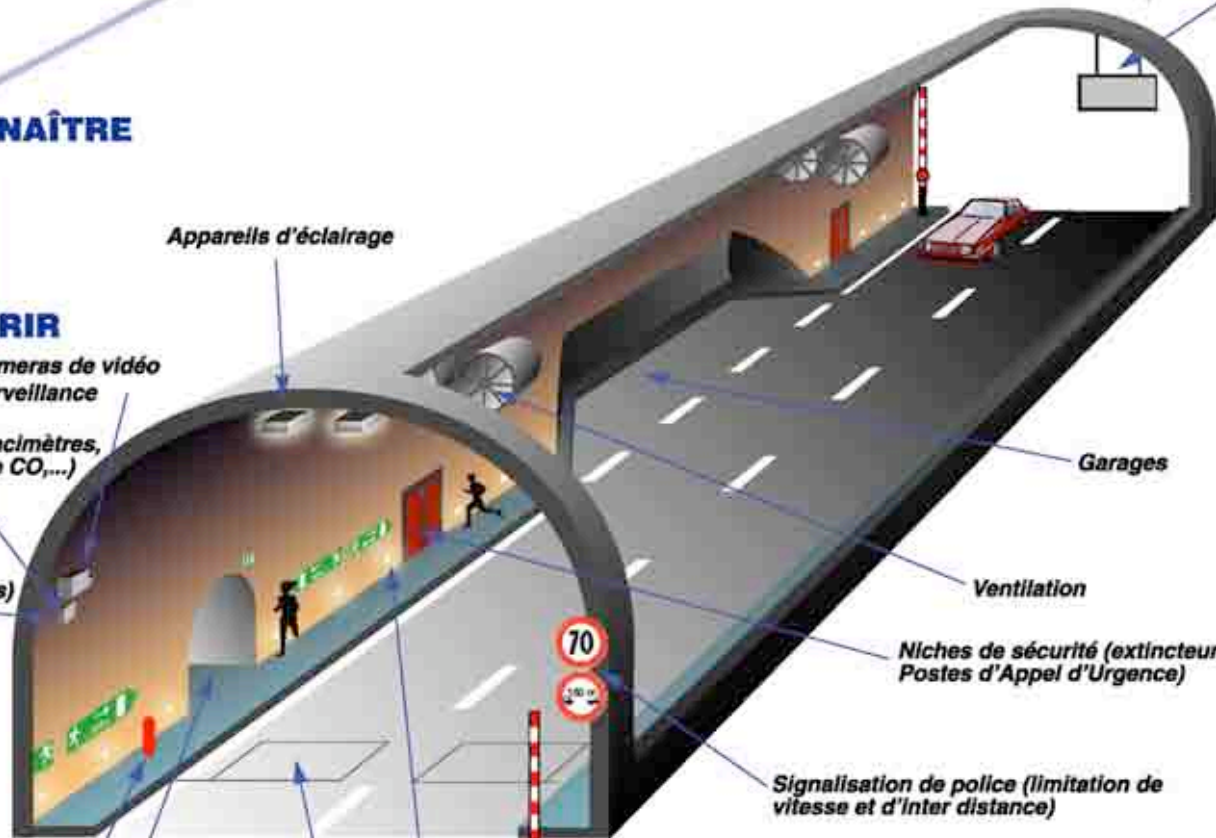
*Niches de sécurité (extincteurs - Postes d'Appel d'Urgence)*

*Signalisation de police (limitation de vitesse et d'inter distance)*

*Garages*

**INCIDENT DÉCLENCHEUR**

**RÉACTIONS ADÉQUATES DES USAGERS ET POMPIERS**



# Les dispositions obligatoires

## ➤ Elaborer un dossier de sécurité détaillé

- Etat des lieux très précis des tunnels (et du trafic)
- Capacité à répondre à tous les types d'événement
- Schéma d'alerte et coordination des secours

## ➤ Examen par un comité national indépendant

- Avant travaux, avant mise en service, tous les 6 ans
- Vérification du respect des normes en vigueur

## ➤ Réaliser les éventuels travaux de sécurisation

- Dans l'attente, restrictions possibles de trafic

# Surveillance - GTC - DAI













# Ventilation et Pollution des tunnels

## Quelques éléments d'information

# Les deux rôles de la ventilation

- **la ventilation sanitaire en exploitation normale**
- **le désenfumage en cas d'incendie**

# La ventilation sanitaire

**En exploitation normale**, les moteurs à combustion des véhicules émettent des polluants

Pour que les niveaux de pollution restent toujours acceptables à l'intérieur du tunnel, on dilue par apport d'air frais,

débit d'air frais = débit de polluant émis par le trafic / concentration admissible en tunnel

## Niveaux de pollution à respecter à l'intérieur des tunnels, en exploitation normale

### circulaire 99.329 (ministère de la Santé)

en moyenne sur la longueur du tunnel :

- **CO** : seuil à 50 ppm sur toute période de 30 min (*\*57 mg/m<sup>3</sup>*)  
seuil à 90 ppm sur toute période de 15 min (*\*103 mg/m<sup>3</sup>*)
- **NO<sub>2</sub>** : seuil à 0.4 ppm sur toute période de 15 min (*\*752 µg/m<sup>3</sup>*)

### recommandation du CETU

- l'**opacité** ne doit pas dépasser  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  en tout point du tunnel (*environ 500 mg/m<sup>3</sup>*)

circulaire 2000-63 du 25 août 2000 (sécurité des tunnels) ⇒ en cas de blocage accidentel

- maximum de 150 ppm en CO et de  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  en opacité (valeurs ponctuelles)



## Débits d'air frais installés en tunnel

A l'heure actuelle, on constate que les besoins en renouvellement de l'air sont déterminés sur la base des critères des oxydes d'azote et de l'opacité, celui du monoxyde de carbone n'étant plus prédominant

En tunnel urbain les calculs montrent qu'un ratio de l'ordre de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  par km de voie permet de satisfaire ces critères

**Le fonctionnement de la ventilation sanitaire des tunnels routiers est automatique, asservi à des capteurs de pollution installés en tunnel**

Les capteurs de pollution se composent :

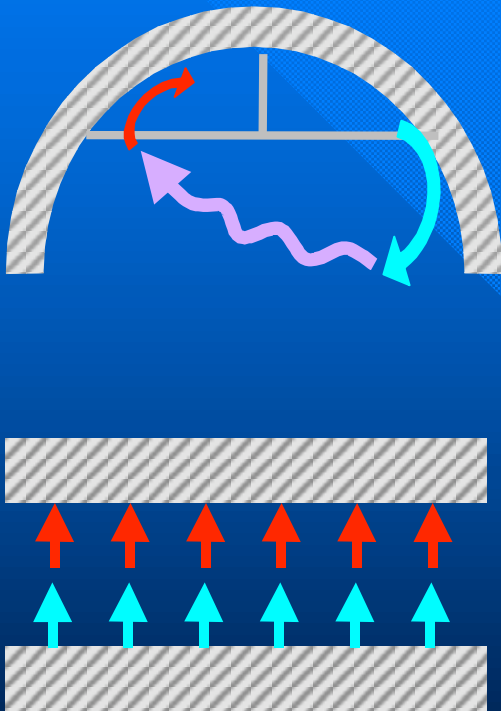
- pour la toxicité, d'analyseurs de CO et d'analyseurs d'oxydes d'azote,
- pour la visibilité, d'opacimètres

**Une régulation par seuils est mise en œuvre, de sorte que les seuils réglementaires ne soient jamais franchis**

# Les système de ventilation longitudinal

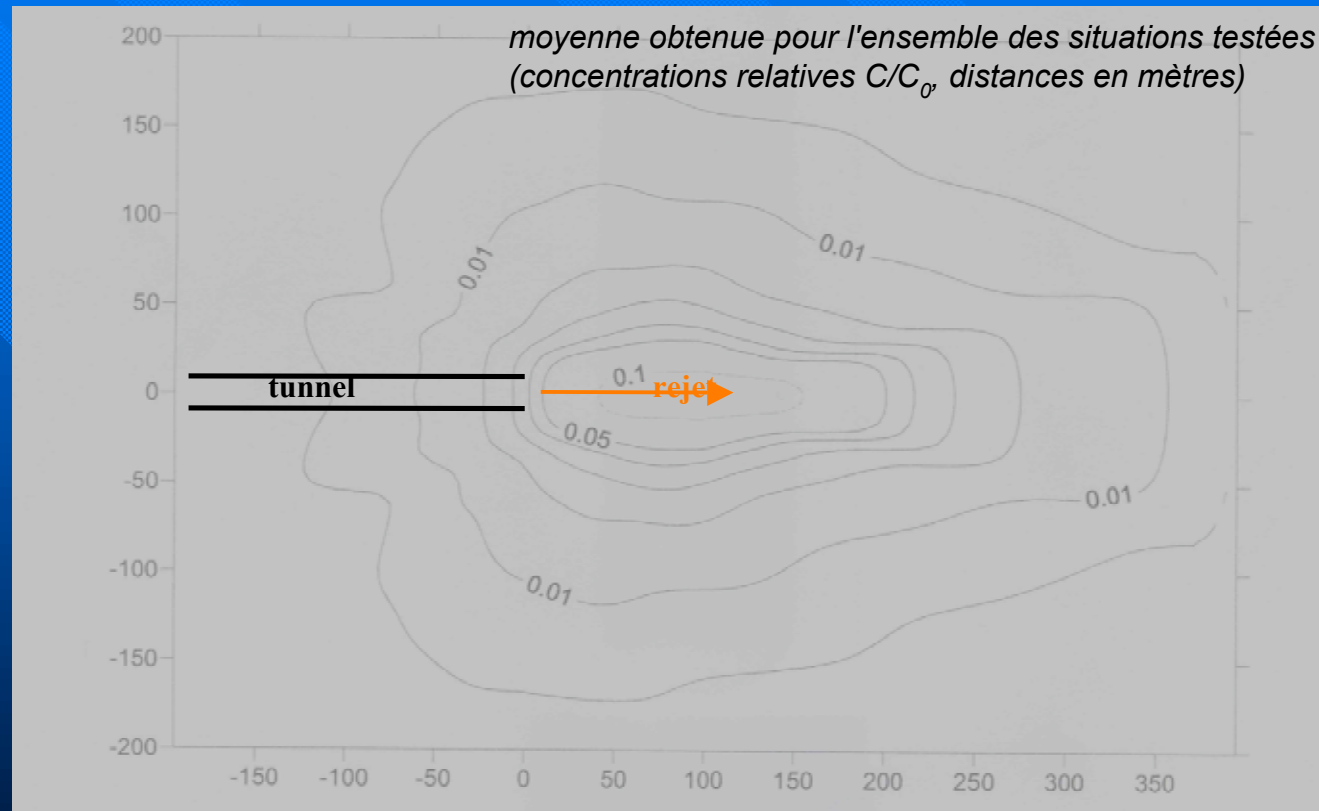
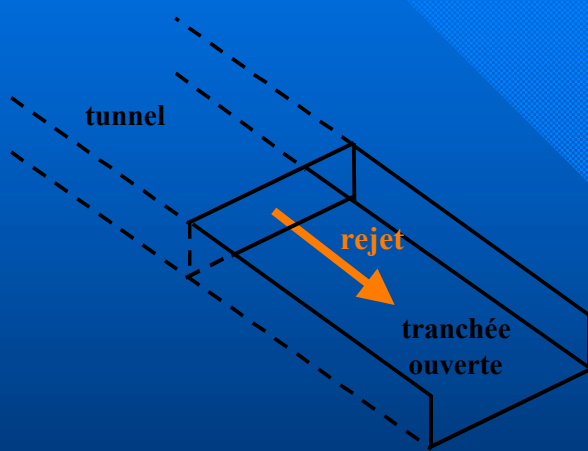


# Le système de ventilation transversal

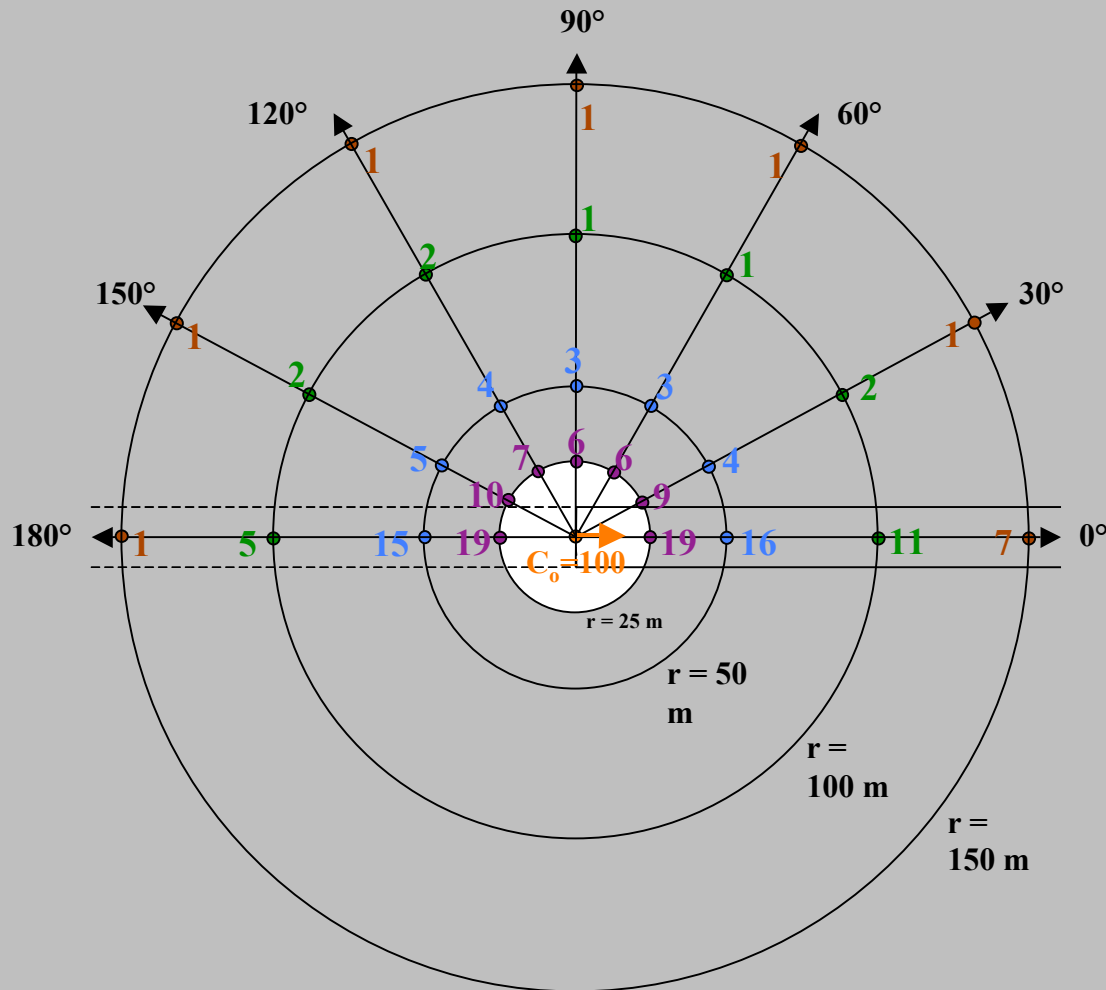


# La dispersion des rejets aux têtes

On observe une décroissance très rapide des surconcentrations lorsqu'on s'éloigne des têtes de tunnel



**représentation graphique des coefficients de décroissance  
en fonction de la distance à la tête et de la direction par rapport au rejet**



\* Thèse "Dispersion de polluants en sortie de tunnel" – F. Gourdol – École centrale de Lyon - mesures effectuées sur maquette hydraulique

# La conception des cheminées de rejet

- **Données prises en compte**

  - position du bâti

  - destination du bâti

  - topographie locale

  - conditions météorologiques locales

- **Définition**

  - de la position de la cheminée

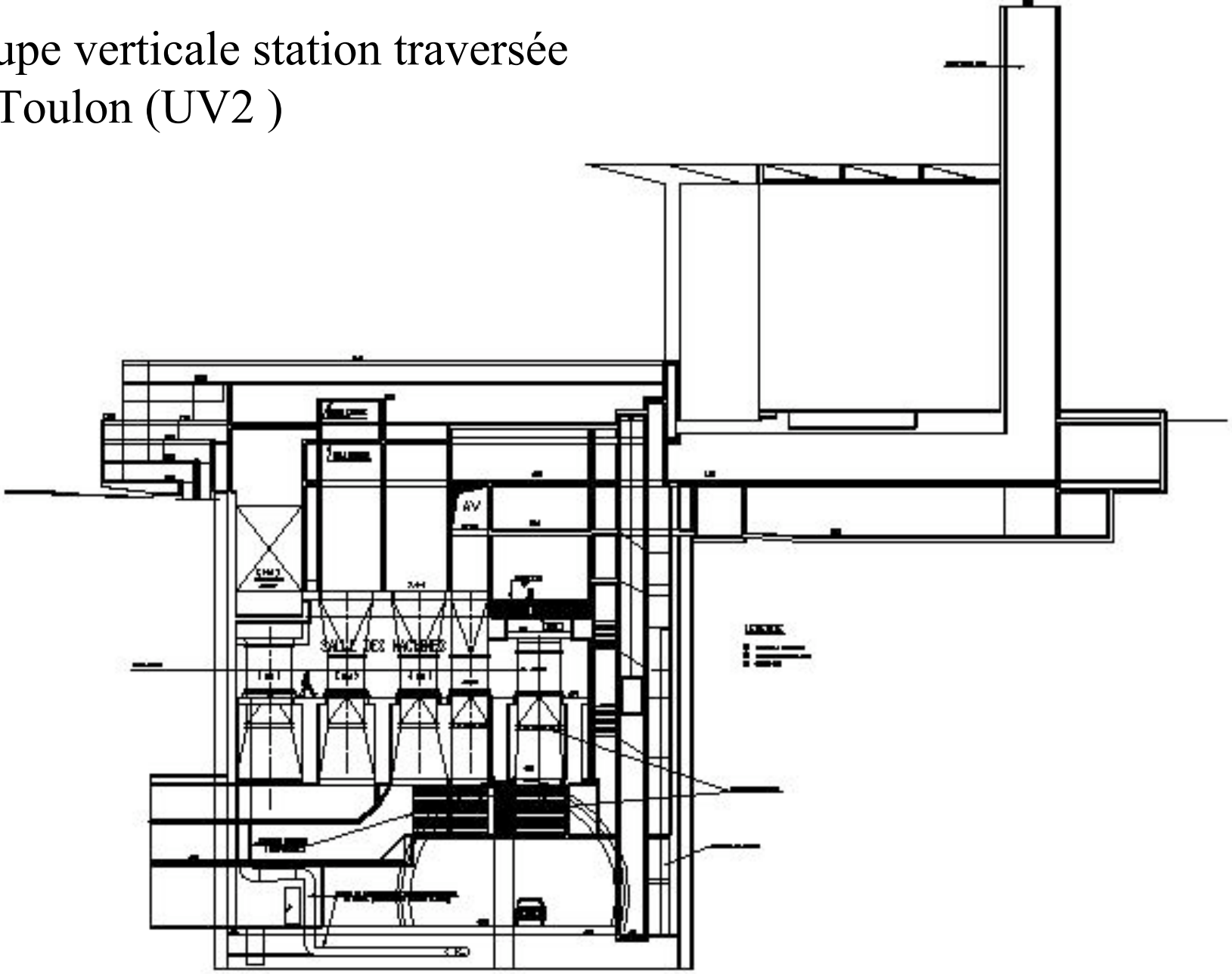
  - de la hauteur de la cheminée

  - de la vitesse de rejet

- **Vérification par une étude de modélisation de la dispersion**

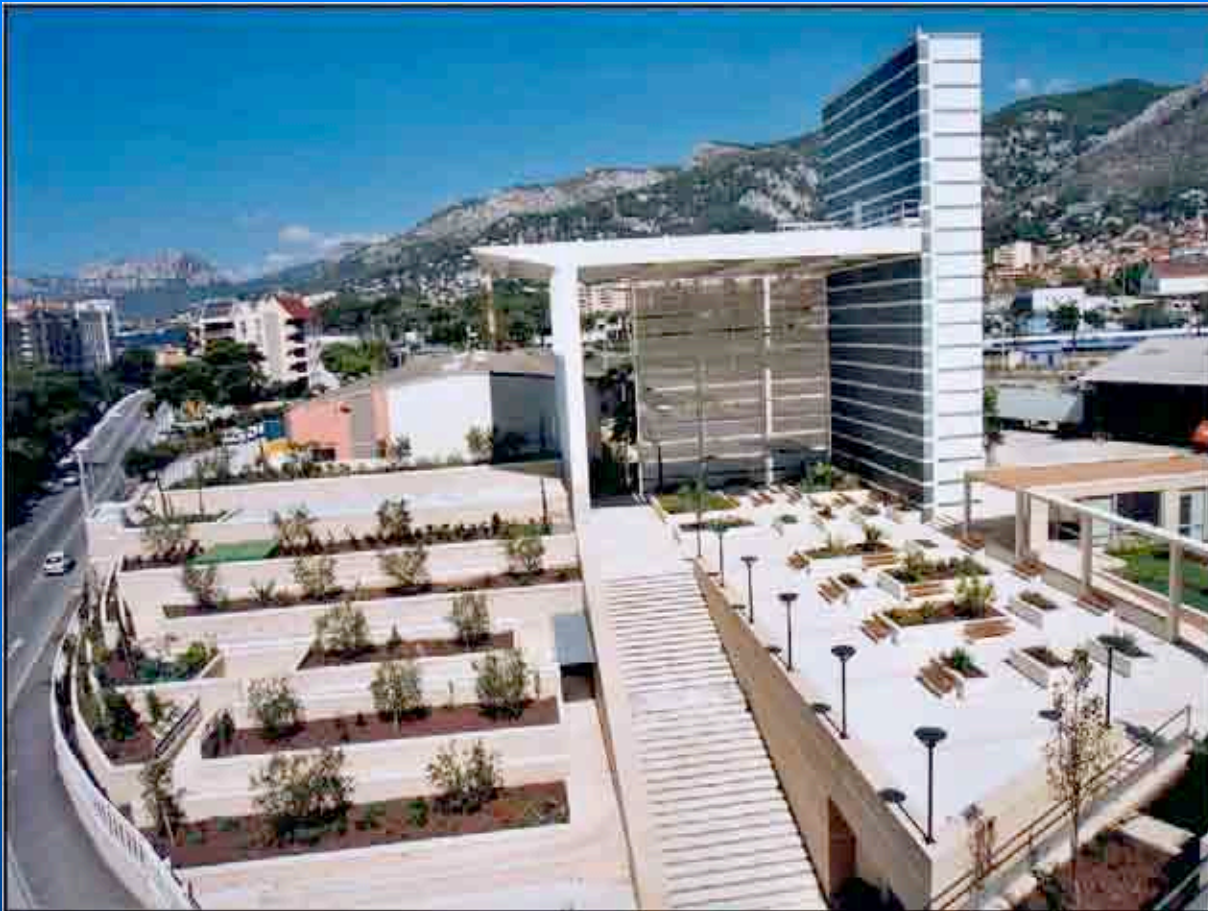
- **Suivi par des mesures des niveaux de pollution après mise en service**

# Coupe verticale station traversée de Toulon (UV2 )









La ventilation sanitaire des tunnels



La ventilation sanitaire des tunnels

exemple de l'autoroute A1 (tunnel du Landy) – étude de la dispersion





maquette 1/140<sup>ème</sup>



dispersion du panache

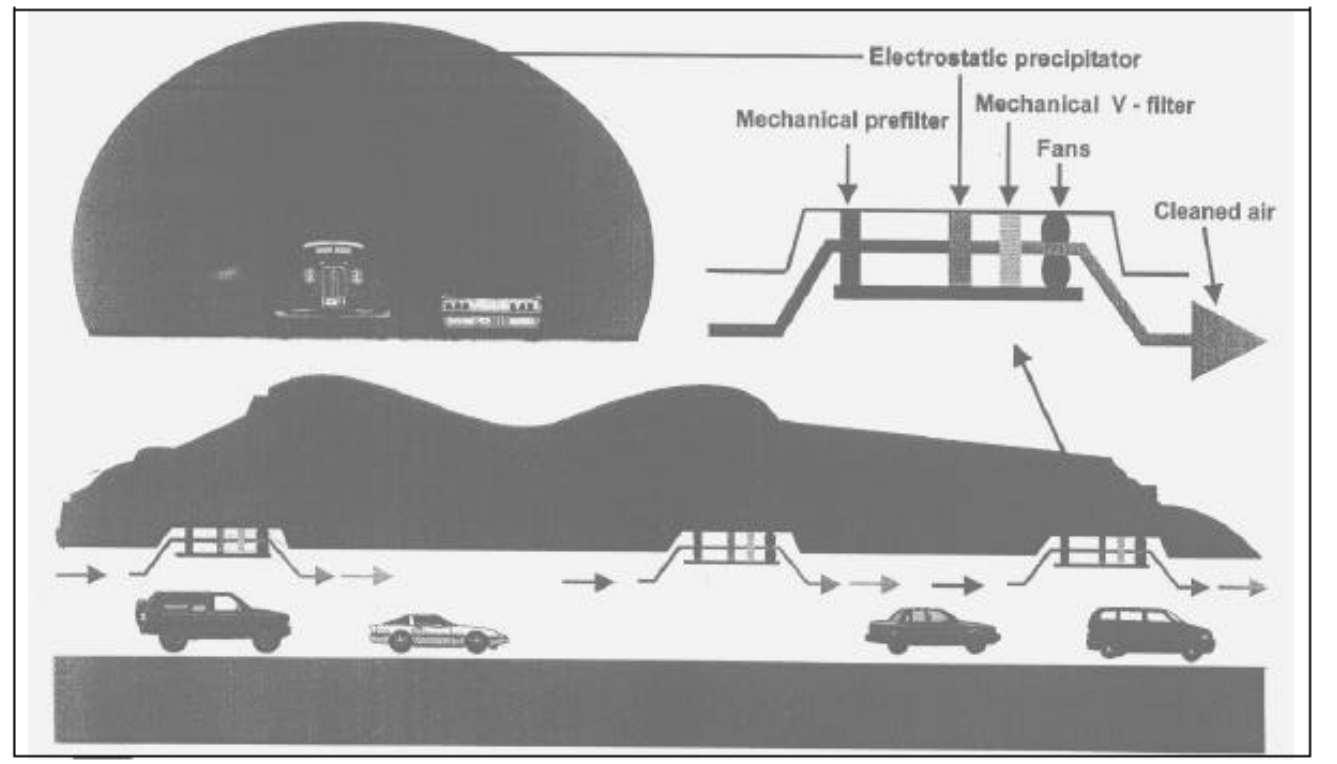
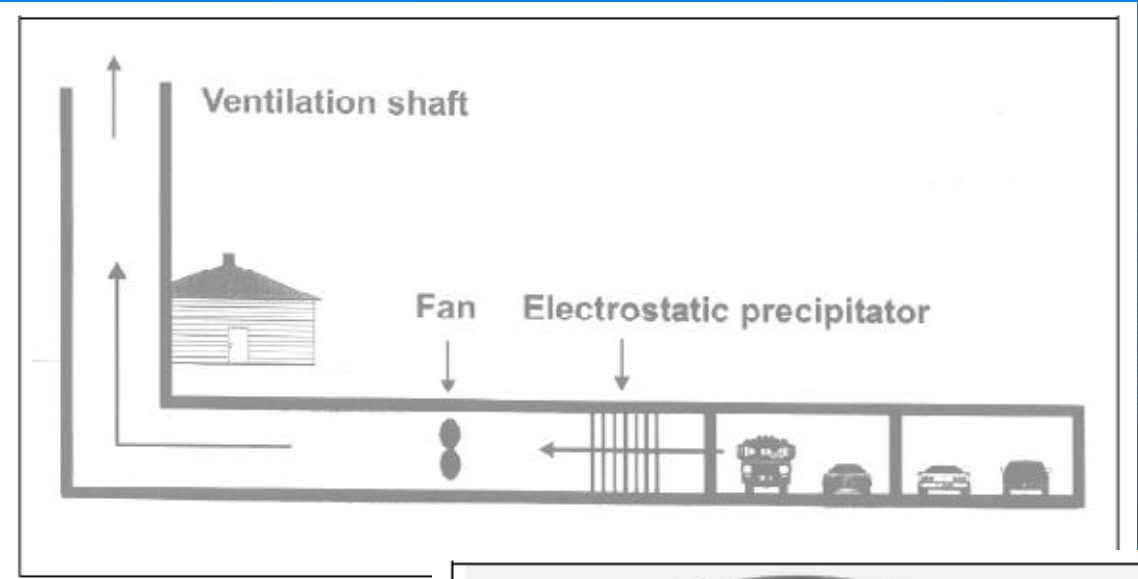
# Le traitement de l'air avant rejet

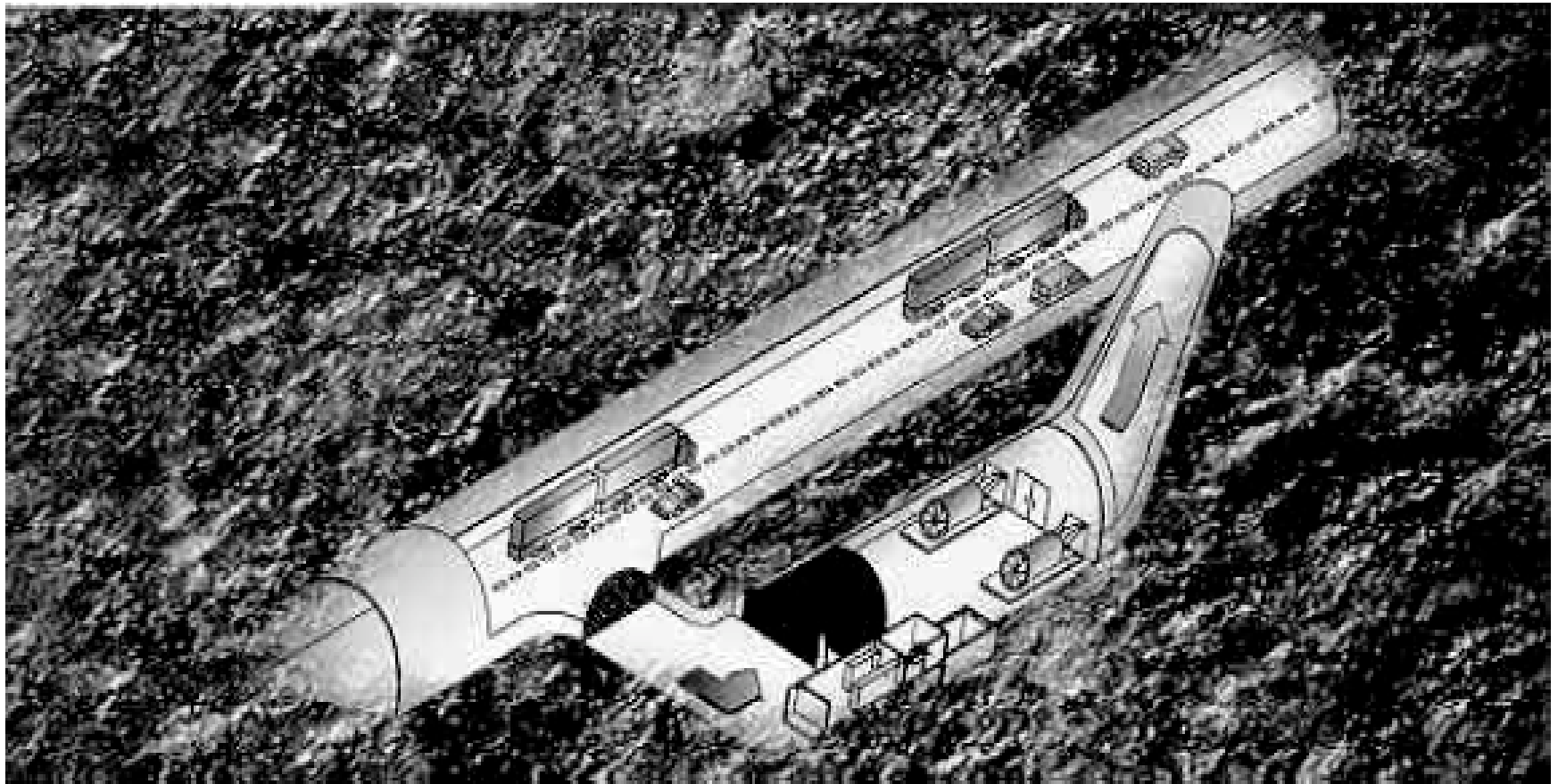
## Les filtres électrostatiques

les fabricants annoncent 80% d'efficacité sur la masse de particules mais en pratique seules les plus grosses particules sont piégées ( $>10\mu\text{m}$ )  
Utile pour la baisse de l'opacité dans certains tunnels

### **Dans le monde :**

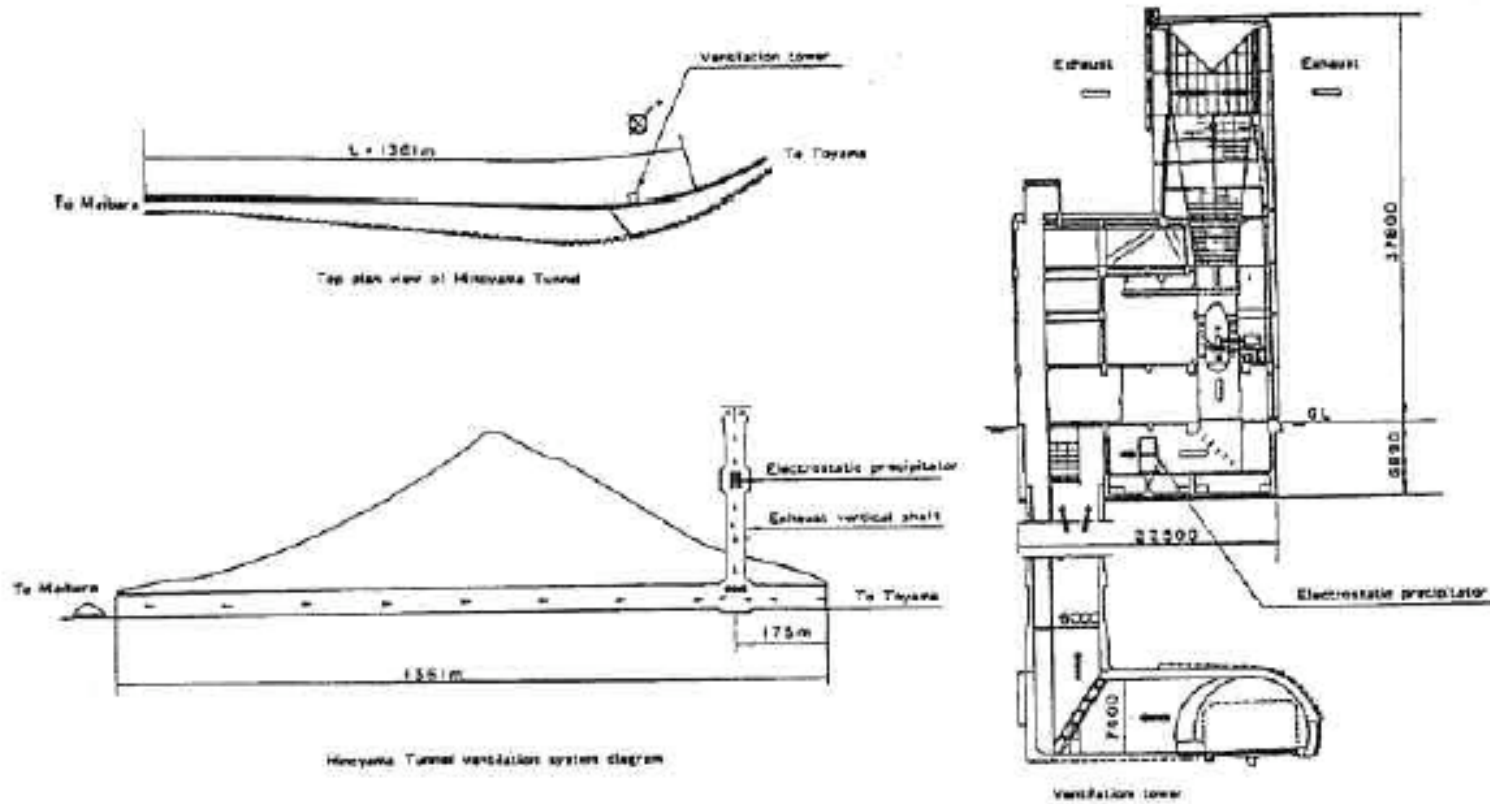
environ 50 au Japon (mais 10 pour des questions d'environnement)  
9 en Corée, 8 en Norvège (cas des pneus à clous) – peu utilisés  
1 projet en Espagne, 1 en Italie (Céséna) – contextes particuliers  
Des projets non aboutis en Allemagne, Autriche, Australie





**Schéma d'une installation de type by-pass réalisée en Norvège  
Tunnels de GRANFOSS (2300 m) et EKEBERG (1500 m)**





## Tunnel HINOYAMA – JAPON (longueur 1360 m à ventilation longitudinale)

# Le traitement de l'air avant rejet

## Les traitements des polluants gazeux (NO<sub>x</sub>, CO, COV)

Traitement par adsorption catalytique (par le dioxyde de titane), ou par absorption (hydroxyde de potassium, charbons actifs,...)

Traitement par lavage l'eau

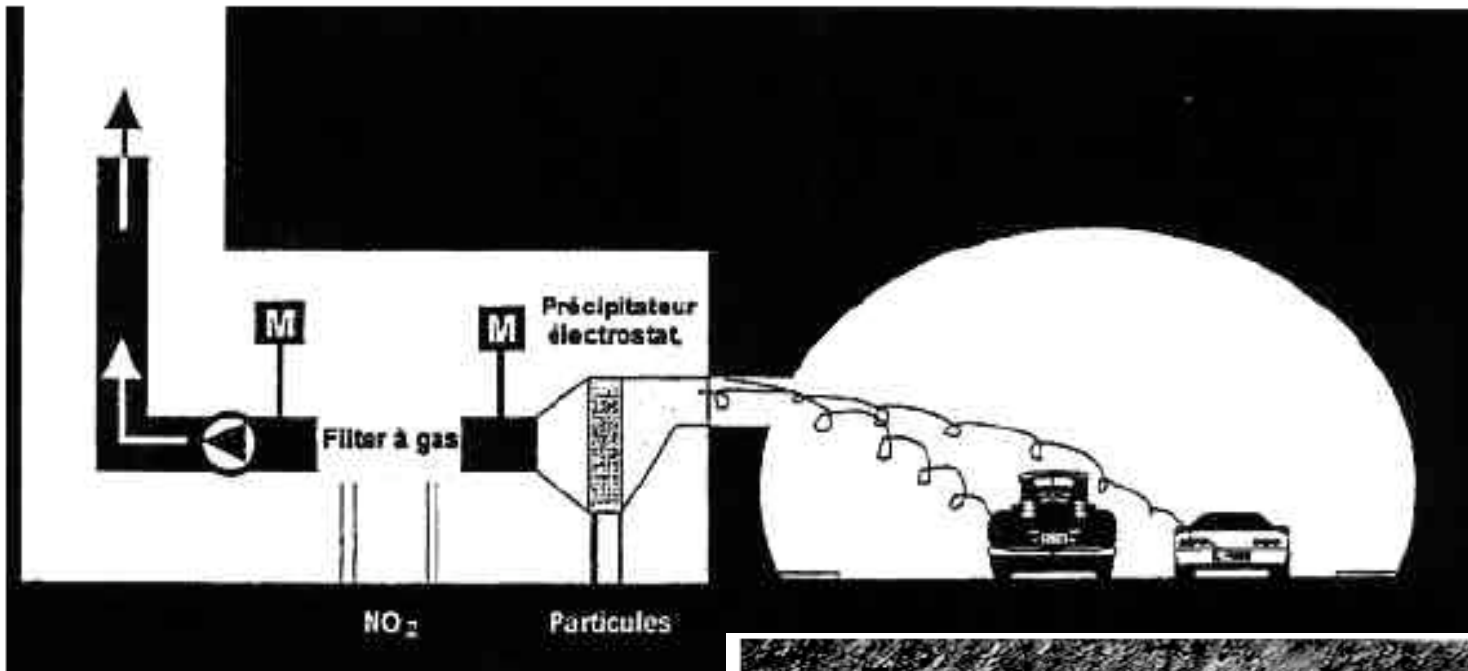
Efficacité avérée en labo mais pas de retour en cas réel:

- beaucoup de volume à traiter (50 m<sup>3</sup>/s par voie et par km)
- gaz très peu concentrés- température basse- pas de lumière
- les particules encrassent le système
- très volumineux et chers

**Dans le monde :**

1 dispositif au Japon (Keihinjima Tunnel)

1 en Norvège (Laerdal Tunnel) - non encore utilisé



Installation pilote dans le tunnel d'Oslo

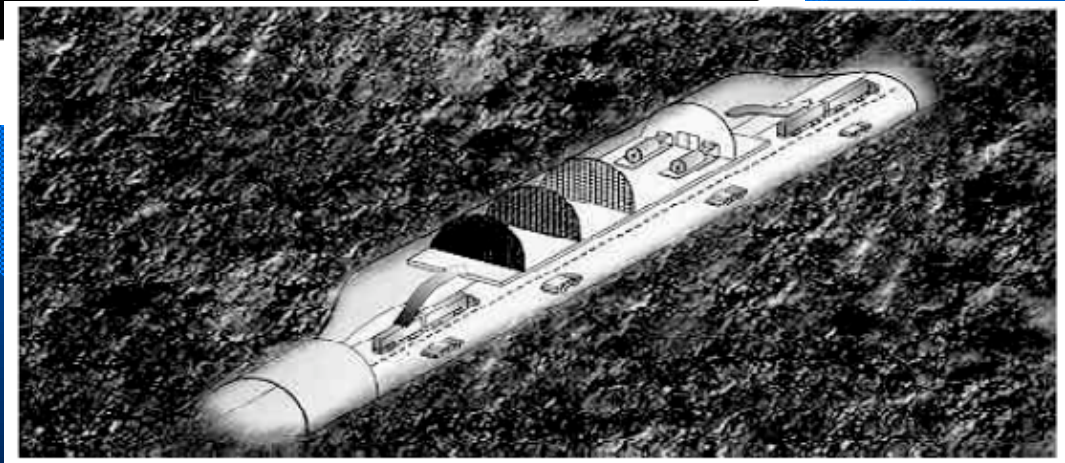


Schéma d'une installation en plafond réalisée en Norvège - tunnel de HELL (3880 m)