

OUVRAGES SOUTERRAINS

Des fonctionnalités dimensionnantes en tunnels :
sécurité, ventilation



Présentation du 11 octobre 2019

Frédéric Hervé

Directeur à Setec TPI



0 - Sommaire

1 - Objet et limites

Les tunnels routiers

2 - Prenons un peu de recul

3 - Définition des enjeux

4 - Contexte réglementaire

5 - Base de la conception

6 - Principes généraux de conception

Educnet.enpc.fr

7 - Éléments comparatifs de coûts

8 - Éléments comparatifs des puissances électriques mises en œuvre

9 - Les technologies liées à la ventilation

10- Qques mots sur la protection de l'environnement

Les tunnels ferroviaires

Les tunnels canaux

La ventilation de chantier

1 – Objet et limites

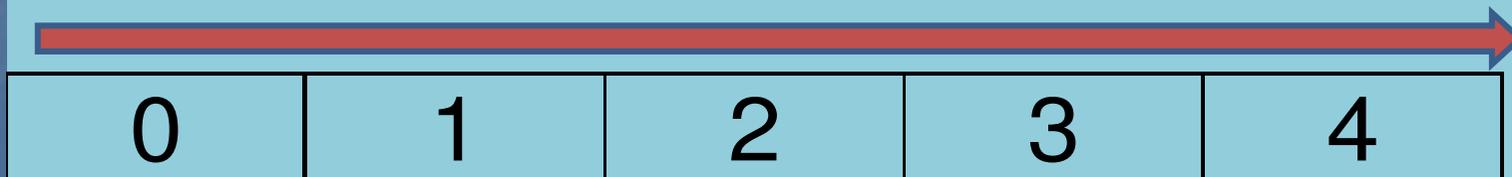
- Sensibilisation aux problématiques ventilation / aéraulique -> Génie Civil
- Présentation des principes de conception des systèmes de ventilation et de désenfumage des tunnels routiers (France = 200 tunnels > 300 m, dont 22 en Ile-de-France)
- Présentation des principes de ventilation des tunnels ferroviaires
- Présentation des principes de ventilation des tunnels canaux
- Quelques mots sur la ventilation de chantier
- Ne s'applique pas aux autres types de galeries (galeries techniques, galeries de stockage...)

BESOIN AERAUQUE

Type de tunnel	Ventilation sanitaire	Désenfumage	Décompression	Refroidissement
Routiers 	4	4	0	0
Ferroviaires 	2	3-4	4	1-3
Métro 	2	3-4	2	1-3
Canaux 	3	2-3	0	0

Pas de besoin

besoin important



Commençons par les tunnels routiers

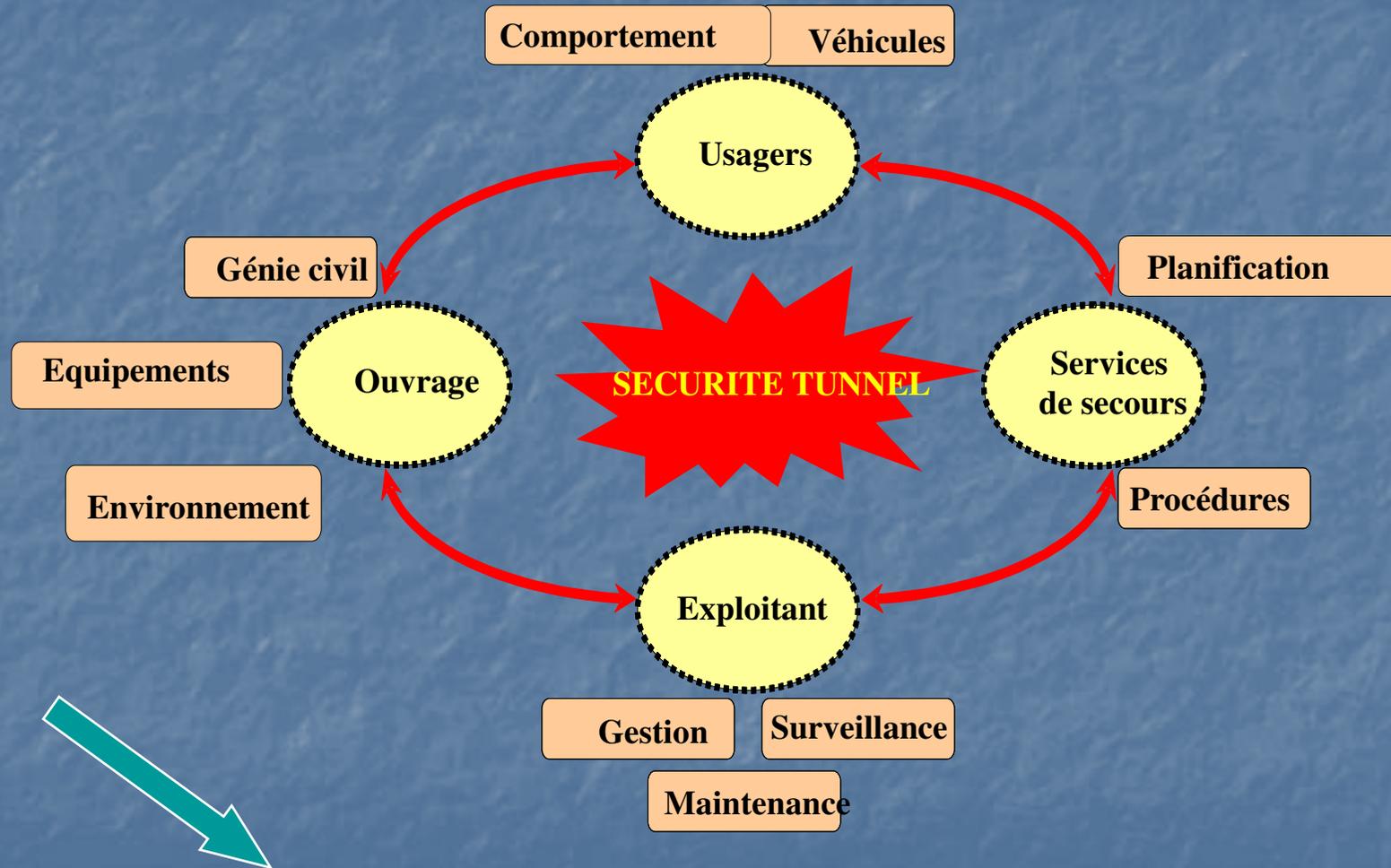


Développement du trafic routier : tunnels construits et mis en service dans les années 1960 - 1990, 2000

Rénovations années 2000, 2015

2 – La sécurité - Prenons un peu de recul

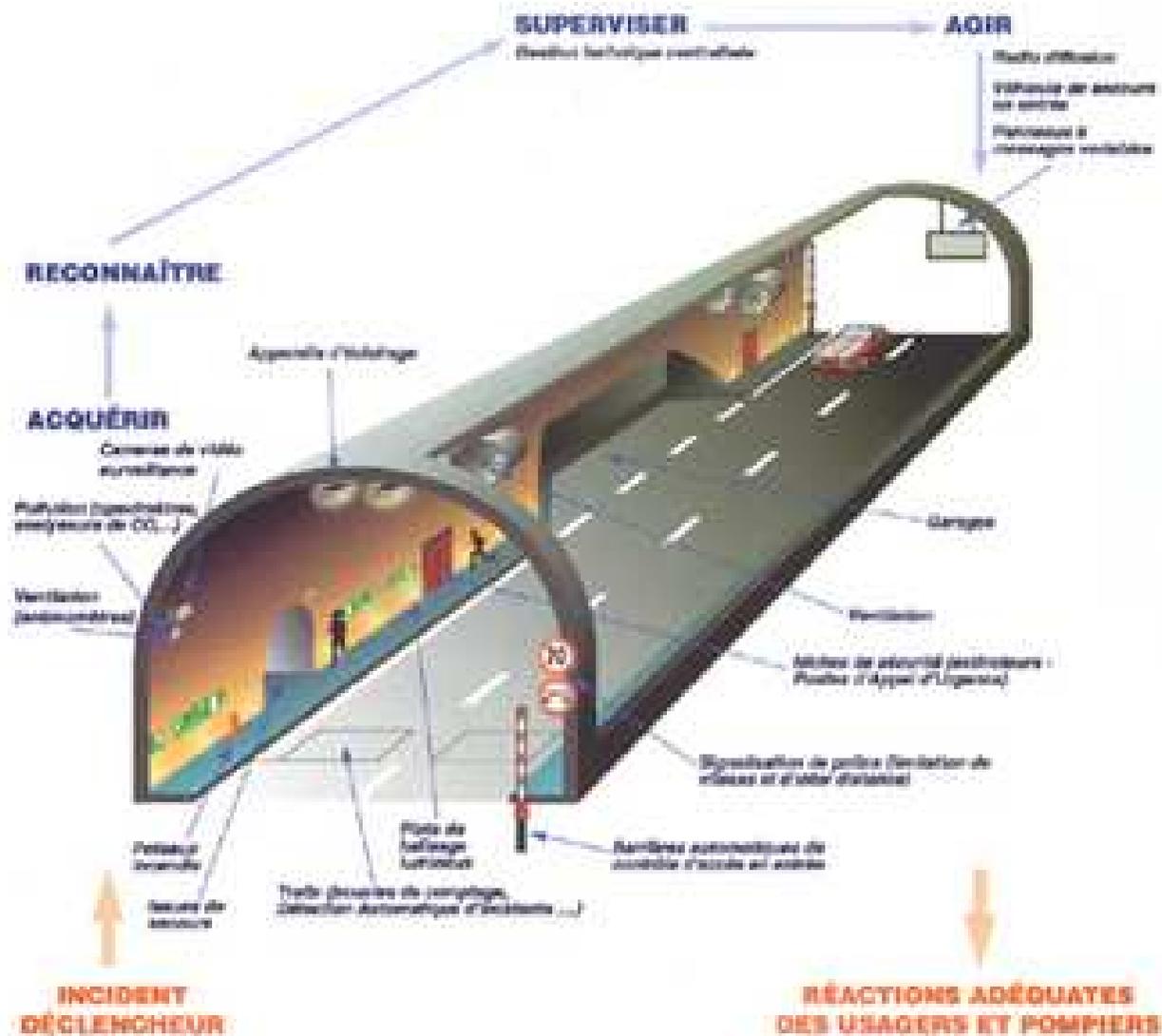
- Un tunnel = Un système



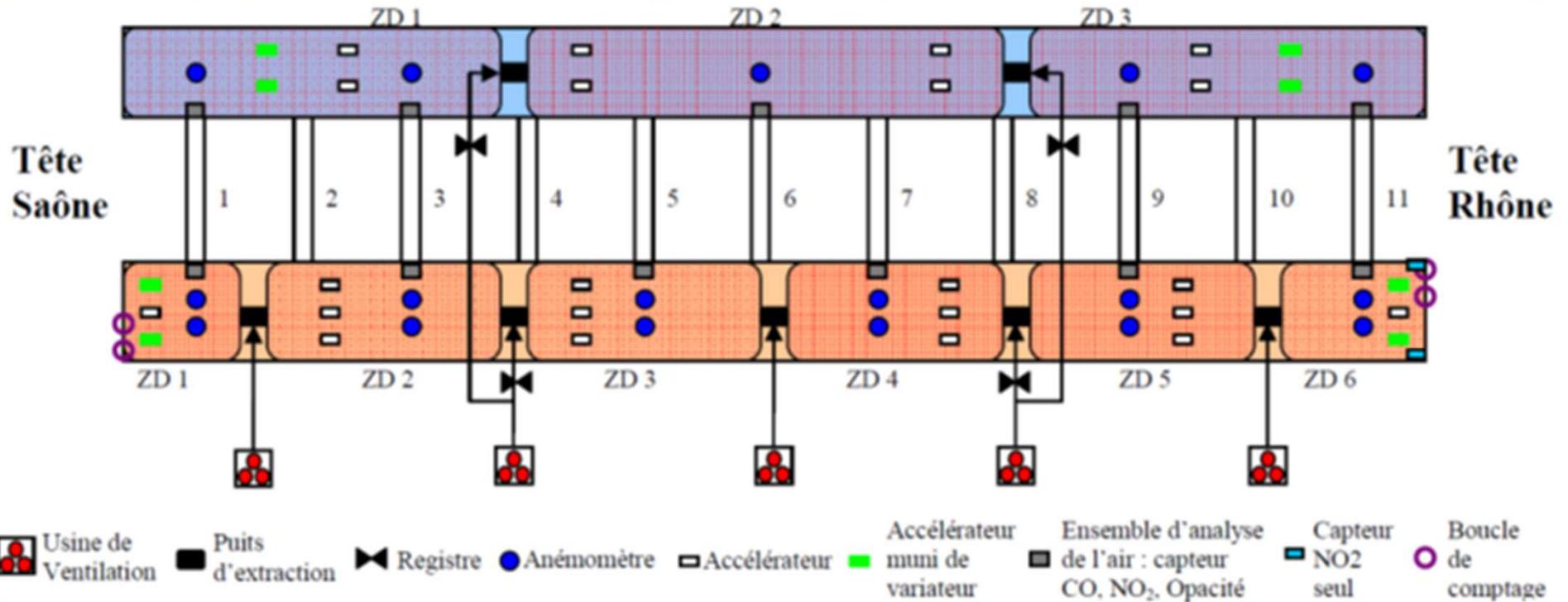
L'approche de la sécurité en tunnel est traitée au moyen d'une analyse systémique

2 – Un tunnel = Un système

La chaîne de la sécurité en tunnel routier



Ex. du Tunnel du tunnel de la Croix-Rousse à Lyon



0 - Sommaire

- 1 - Objet et limites
- 2 - Prenons un peu de recul
- 3 - Définition des enjeux**
- 4 - Contexte réglementaire**
- 5 - Base de la conception
- 6 - Principes généraux de conception
- 7 - Éléments comparatifs de coûts
- 8 - Éléments comparatifs des puissances électriques mises en œuvre
- 9 - Les technologies liées à la ventilation

3 – Revenons à la ventilation, définition des enjeux

- **En situation normale d'exploitation**, garantir une qualité correcte de l'air en tunnel
- **En cas d'incendie**, mettre les usagers à l'abri des fumées
- **En cas d'incendie**, permettre l'intervention des services de secours
- **Contexte particulier du tunnel** : milieu confiné, dont le comportement aéraulique est soumis à de nombreux facteurs (trafic, conditions atmosphériques, pente ...)
- Tunnel différent du bâtiment, car forts courants d'air longitudinaux et débits mis en jeux 20 à 100 fois plus importants que dans la plupart des bâtiments

Qualité de l'air

Polluants	Traceurs	Critères	Mesures
Emissions moteurs (CO, NOx, CH, SO ₂ ...)	CO, NOx	Santé	Teneurs CO, NOx
Imbrulés (suies)	Visibilité	Sécurité	Opacité
Poussières de pneus	Visibilité	Sécurité	Opacité
Poussières de chaussée	Visibilité	Sécurité	Opacité



4 – Le contexte réglementaire

Qualité de l'air

A l'intérieur des tunnels

- Circulaire du 08/06/99 relative à la qualité de l'air dans les ouvrages souterrains ou couverts (tunnels, gares routières)
 - ⇒ CO < 90 ppm
 - ⇒ NO₂ < 0.4 ppm (0.75 mg/m³)
- Recommandations AIPCR, recommandations CETU
 - ⇒ CO, NO₂ (santé)
 - ⇒ Opacité (K) < 5.10⁻³ m⁻¹ (sécurité, Visibilité = C/K)

Qualité de l'air dans l'environnement (proximité des têtes, des unités de ventilation)

- Recommandation OMS, directives Européennes, loi sur l'air, décrets d'applications
- Objectifs de qualité de l'air
 - Exemple pour le NO₂
 - objectifs de qualité: 40 µg/m³ en moyenne annuelle
 - valeur limite : Centile 98 < 200 µg/m³

Désenfumage

=> Il s'agit d'une des dispositions liées à la sécurité

Désenfumage



~~Circulaire du 29 décembre 1981 (6 pages)~~

↓
Circulaire du 25 août 2000 (60 pages)



- Élaborée et mise en application suite aux incendies graves survenus en tunnels ces dernières années (Mont Blanc : 39 morts le 24 mars 1999)
- Applicable aux tunnels du réseau national > 300 m
- Un tunnel est caractérisé par:
 - Son niveau de trafic
 - Urbain / non urbain
 - Monotube (circulation bidirectionnelle), Bitube (circulation unidirectionnelle)
 - Gabarit (< ou > 3,50 m)
 - Accessible ou non aux matières dangereuses (que sont les matières dangereuses ?)

Annexe 2 (instruction technique) à la circulaire de 25 août 2000



- Prescriptions relatives au système de désenfumage
- Prescription relatives à la ventilation des aménagements pour l'évacuation et la protection des usagers et l'accès des secours
- Résistance au feu des structures, fonctionnement à la chaleur des équipements
- Alimentation électrique, éclairage, télécommunications...



~~Circulaire interministérielle du 25 août 2000~~

~~Loi n°2002-3 du 3 janvier 2002, dite « loi SIST »,~~



Le décret n° 2005-701 du 24 juin 2005

➤ Champ :

- Procédures et intervenants
- Pour les tunnels neufs et existants > 300 m



Circulaire interministérielle du 29 mars 2006

Mais l'annexe 2 à la circulaire de 25 août 2000 continue de s'appliquer



Directive 2004 / 54 / CE du 29/4/2004

- Concerne les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen
- Tunnels concernés :
 - > 500 m
 - sur le Réseau **Trans-Européen** (RTE), 27 en France
 - neufs et existants (10 / 15 ans pour mettre en conformité les tunnels existants)

=> Arrêté du 8 novembre 2006 fixant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels de plus de 500 mètres du réseau transeuropéen.
JO du 9 novembre 2006

Étapes de l'instruction d'un dossier de sécurité

Instruction du dossier suivant le décret n° 2005-701 du 24 juin 2005 :

- élaboration du dossier préliminaire de sécurité
- avis de la CNESOR (Commission Nationale d'Evaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers)
- élaboration du dossier de sécurité avant mise en service.
- actualisation du DS tous les 6 ans



**Tous les aspects liés à la sécurité sont examinés,
pas seulement la ventilation**

Conclusion sur les aspects réglementaires

- La réglementation a fortement évolué dans les années 2000
- Certains principes de conception développés dans les années 1990 anticipaient sur l'application de ces nouvelles règles.

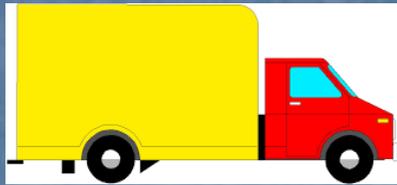
0 - Sommaire

- 1 - Objet et limites
- 2 - Prenons un peu de recul
- 3 - Définition des enjeux
- 4 - Contexte réglementaire
- 5 - Base de la conception**
- 6 - Principes généraux de conception**
- 7 - Éléments comparatifs de coûts
- 8 - Éléments comparatifs des puissances électriques mises en œuvre
- 9 - Les technologies liées à la ventilation

5 – Base de la conception

5.1 Ventilation hygiénique, sanitaire, « normale »

Trafic -> Emissions de polluants (NO_x , CO, poussières et suies)



+

st... ventilation -> air neuf de dilution



Concentrations moyennes en polluants



Années 1970, 1980 : la ventilation hygiénique étaient souvent dimensionnante

5.1 Ventilation hygiénique

Calcul des « émissions »

- Type de véhicule : VL, PL
- Motorisation : essence, diesel
- Composition du trafic (taux PL par exemple)
- Facteurs d'influence : pente, rampe, altitude

Normes	NOx (g/kWh)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	particules (g/kWh)
euro 1 (1993)	9	4,9	1,23	0,36
euro 2 (1996)	7	4	1,1	0,15
euro 3 (2001)	5	2,1	0,66	0,13
euro 4 (2006)	3,5	1,5	0,46	0,02
euro 5 (2009)	2	1,5	0,46	0,02
euro 6 (2014)	0,4	1,5	0,13	0,01

Tableau 1 : historique de la réglementation des émissions à l'échappement des poids lourds

5.2 Désenfumage

- Désenfumage longitudinal -> courant d'air de 2 à 4 m/s
- Désenfumage transversal -> extraction de 110 à 200 m³/s

Années 1990, 2000 : c'est le désenfumage qui devient dimensionnant

6 – Principes généraux de conception

- 6.1 Les différents systèmes de ventilation (hygiénique, désenfumage)
- 6.2 Les outils d'aide à la conception
- 6.3 Les grandes familles de géométrie des tunnels
- 6.5 Conception itérative Génie civil – Ventilation
- 6.6 Ventilation des dispositifs d'évacuation

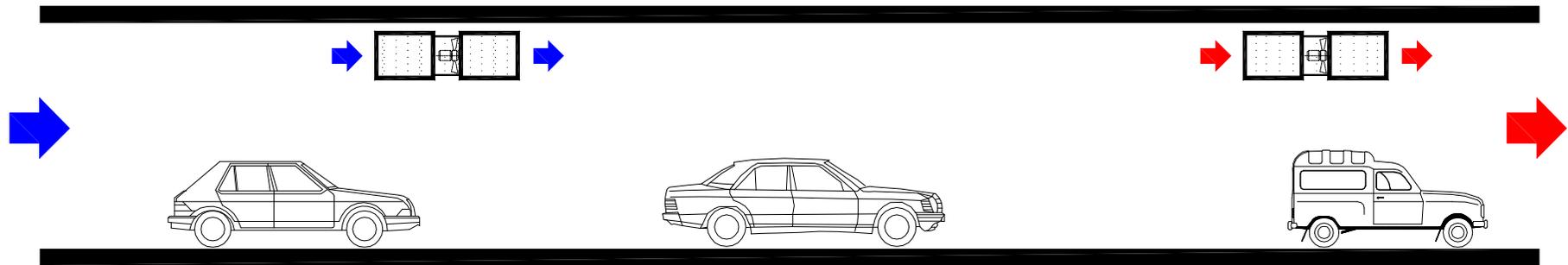
6.1 - Les différents systèmes de ventilation

6.1.1 - Ventilation hygiénique

Objectif = Dilution des gaz d'échappement

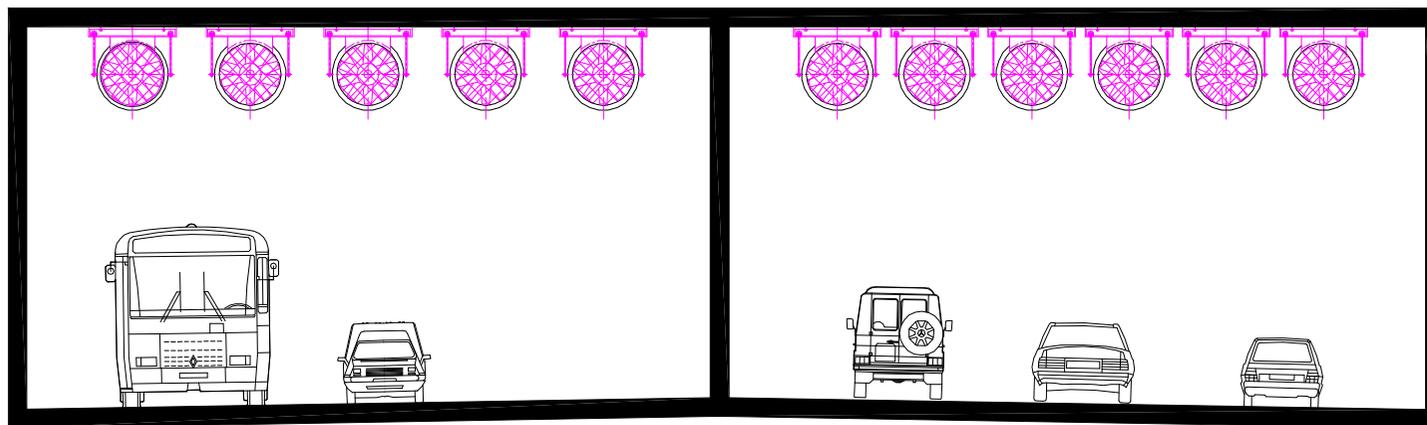
- Longitudinale (accélérateurs)
- Transversale pure ou partielle (ventilateurs)
- Semi transversale

Ventilation longitudinale

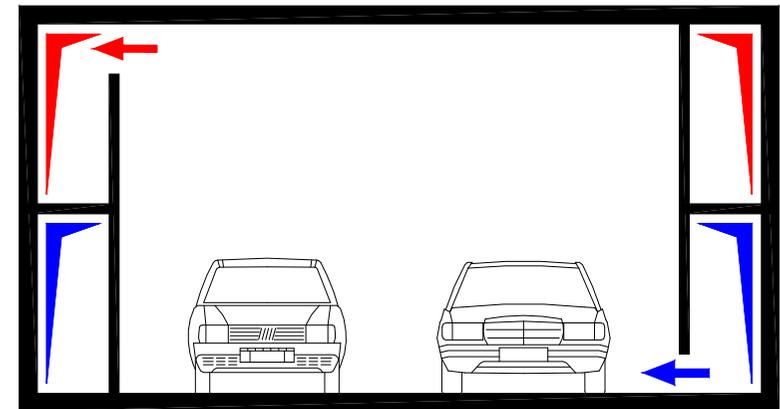
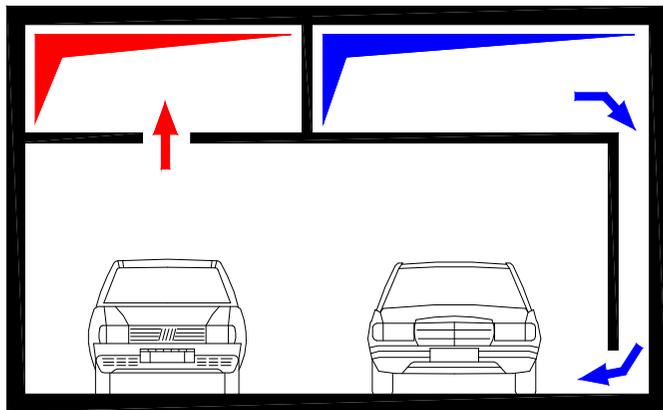
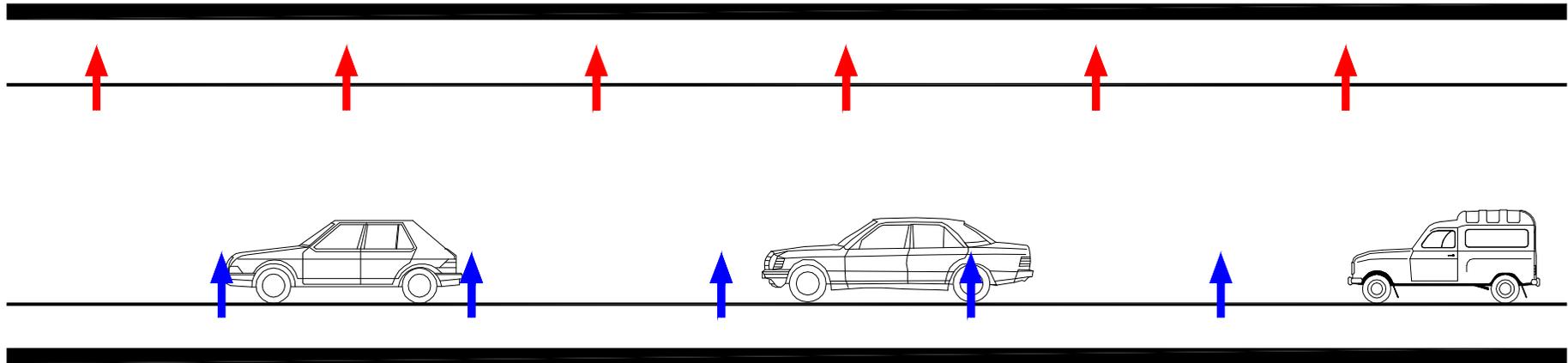


Trafic fluide : les véhicules « pistonnent »

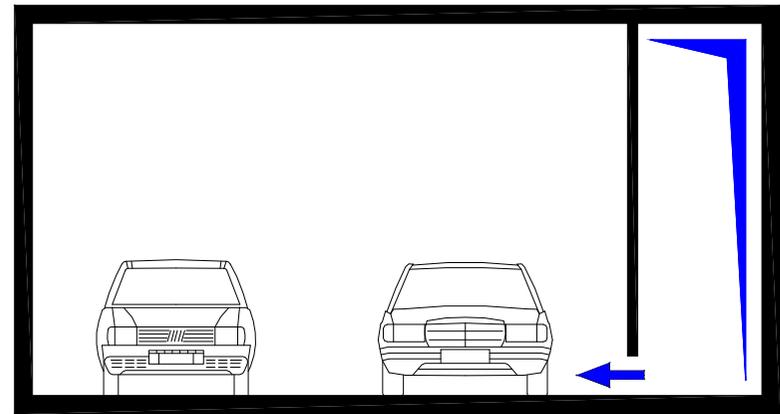
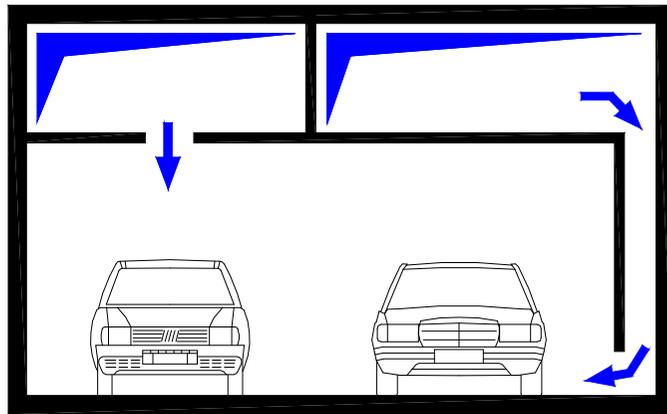
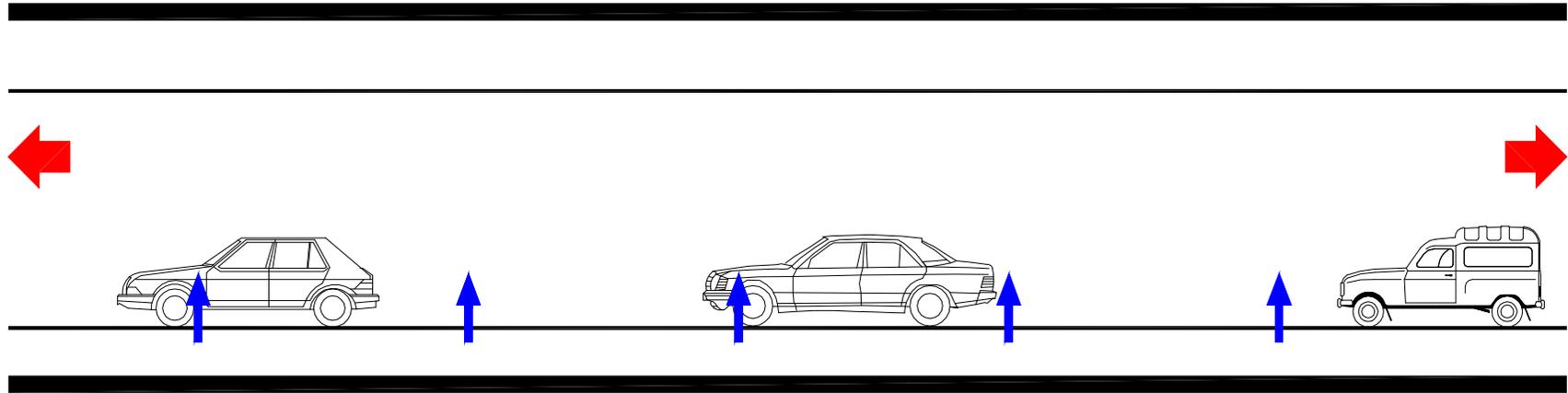
Trafic « congestionné » ou « bloqué » : les accélérateurs prennent le relais



Ventilation transversale



Ventilation semi transversale

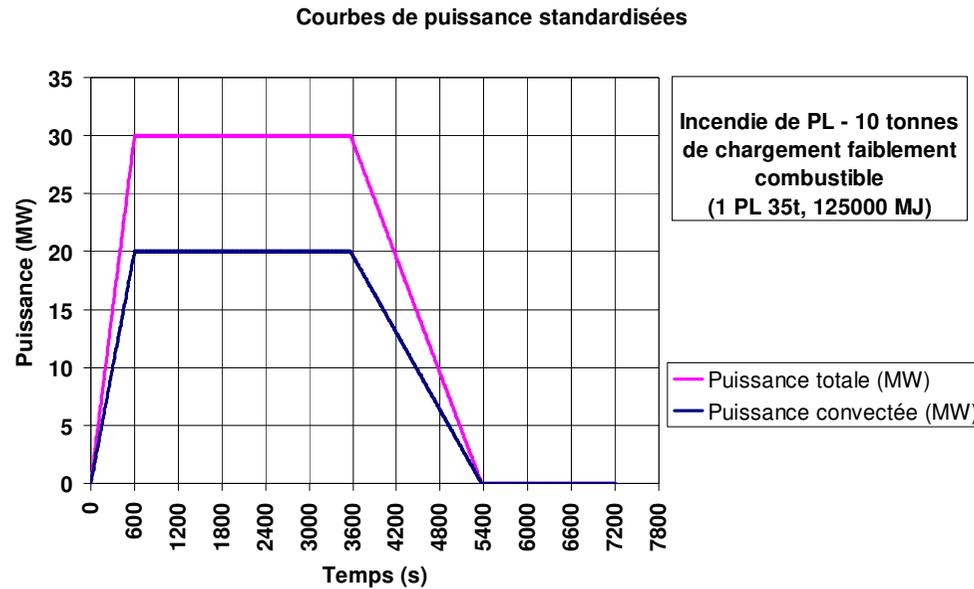


6.1.2 - Désenfumage

Objectif = contrôle du mouvement des fumées

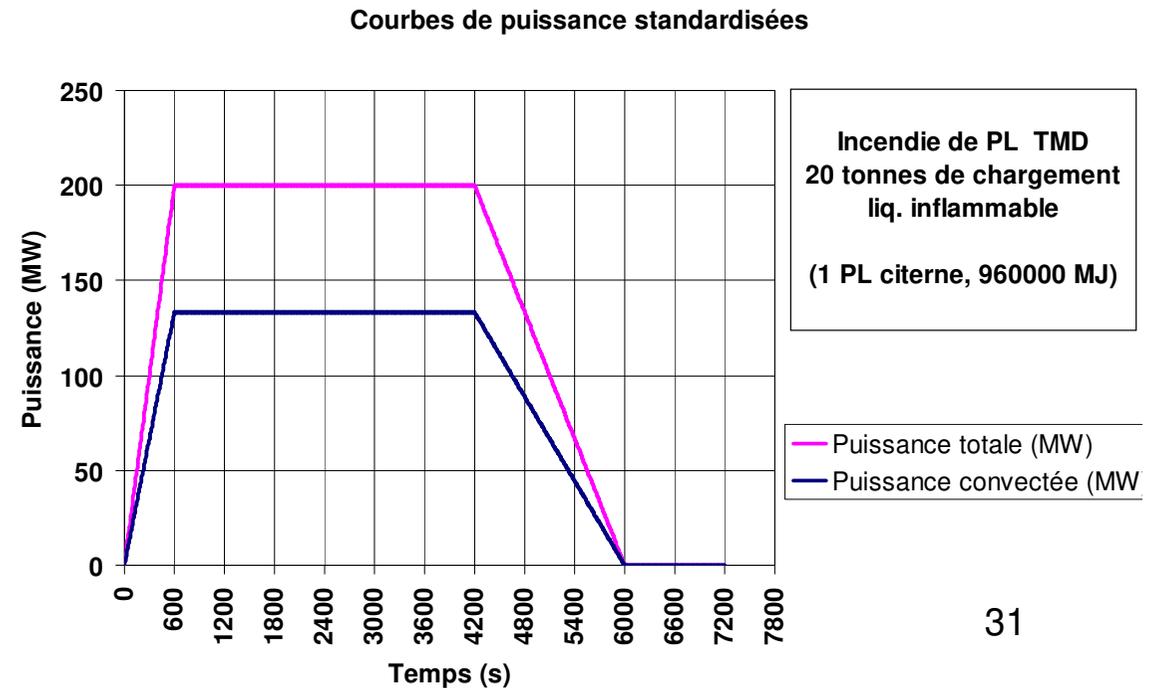
- Longitudinal (accélérateurs, injecteurs d'air)
- Longitudinal avec extraction massive
- Transversal (ventilateurs)
- Transversal employé en stratégie longitudinale

Désenfumage Paramètre de dimensionnement : la puissance de l'incendie



Depuis 20-30 ans le potentiel calorifique des véhicules augmente :

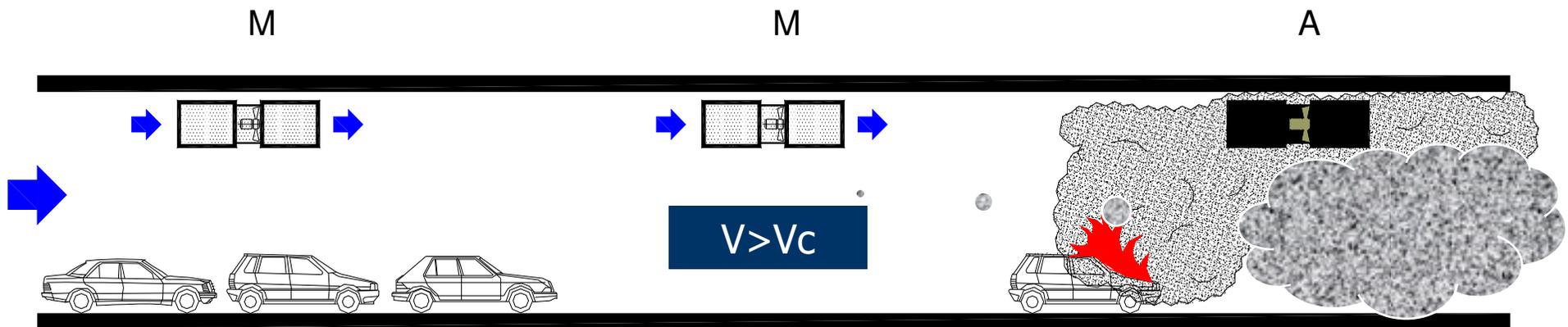
- + de matières plastiques
- + de pneus (camions)
- + de carburant



Désenfumage longitudinal

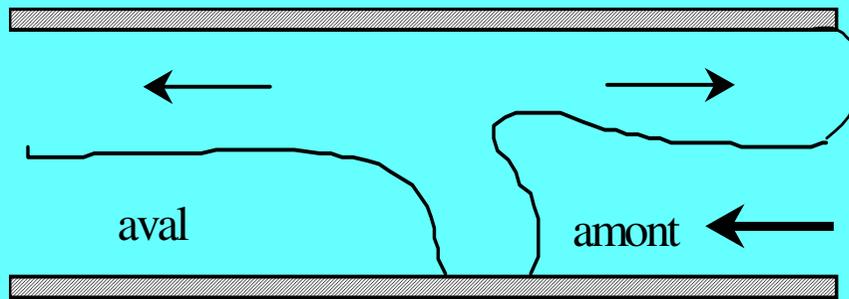
Recherche d'une vitesse amont $>$ Vitesse critique

$V_c = f(\text{puissance incendie, pente tunnel, section tunnel})$

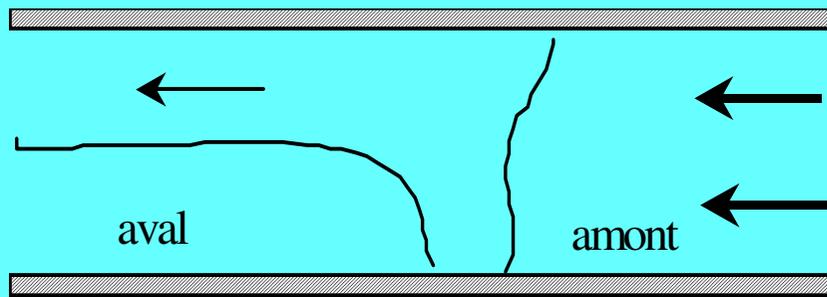


V_c , de l'ordre de 2 à 4 m/s

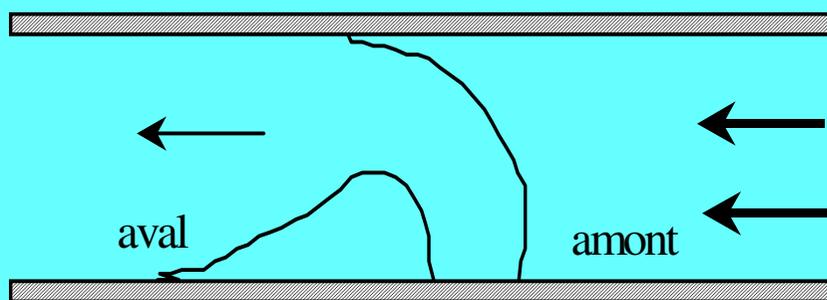
Désenfumage longitudinal



Vitesse du courant d'air longitudinal inférieure à la vitesse critique



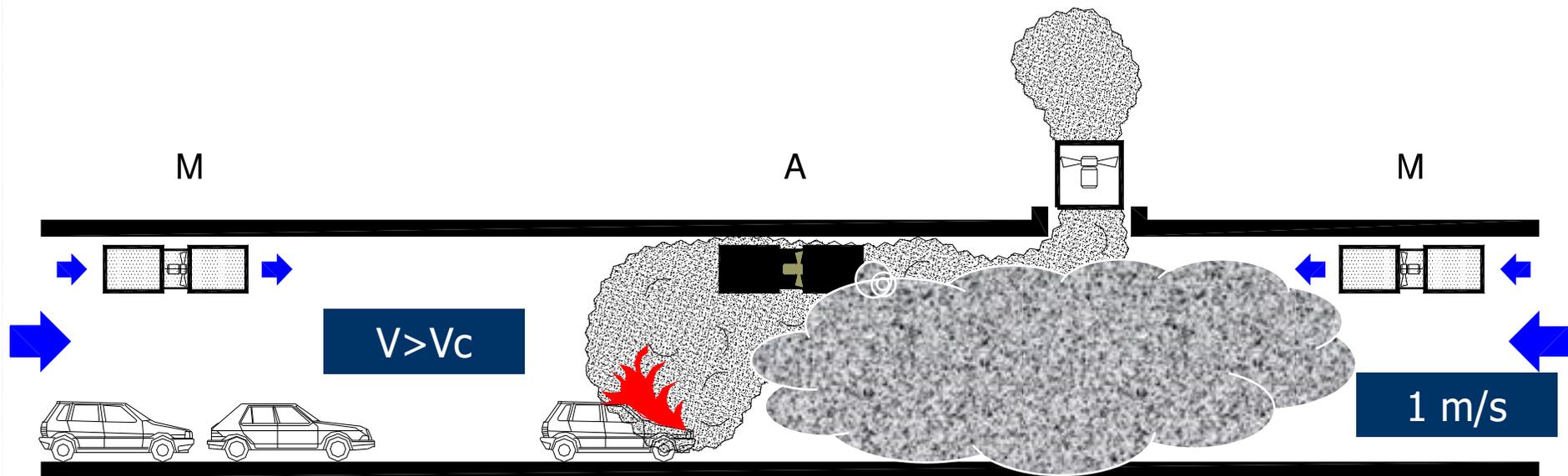
Vitesse du courant d'air longitudinal égale à la vitesse critique



Vitesse du courant d'air longitudinal supérieure à la vitesse critique

Désenfumage longitudinal avec extraction massive

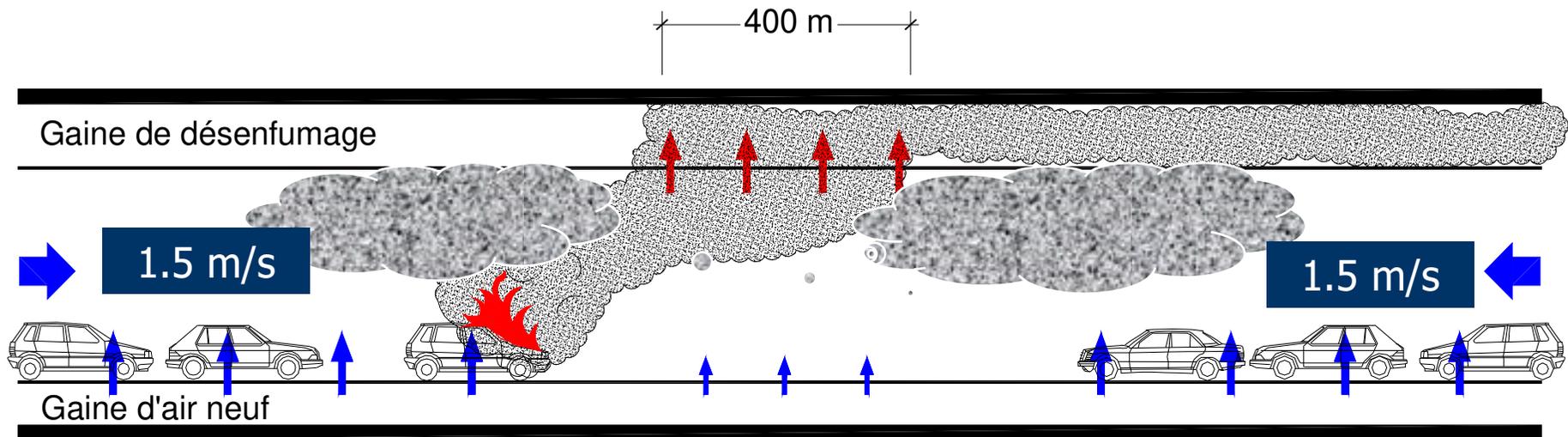
Vitesse amont + vitesse de retour



Vidéo essais désenfumage Singapour

Désenfumage transversal

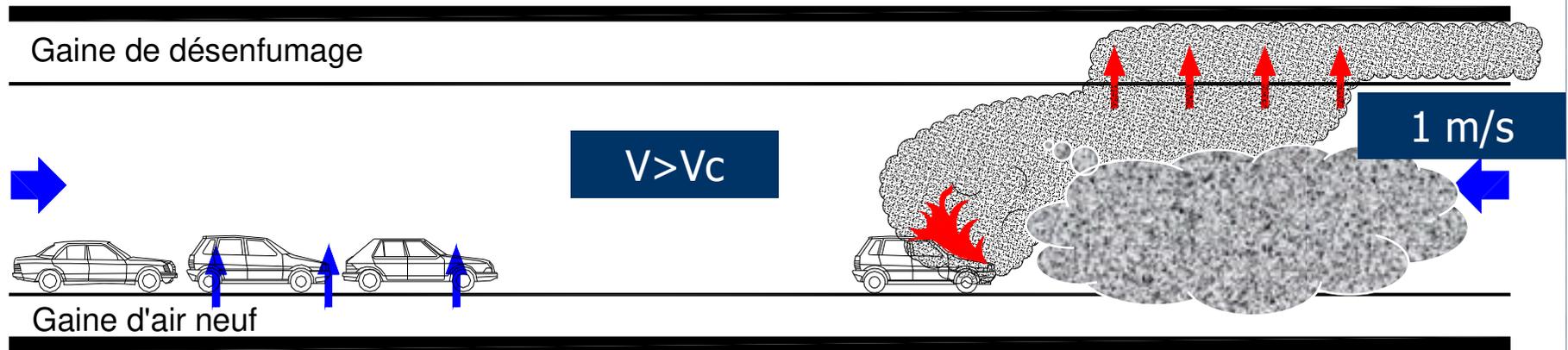
Recherche du maintien de la stratification des fumées -> contrôle des vitesses longitudinales



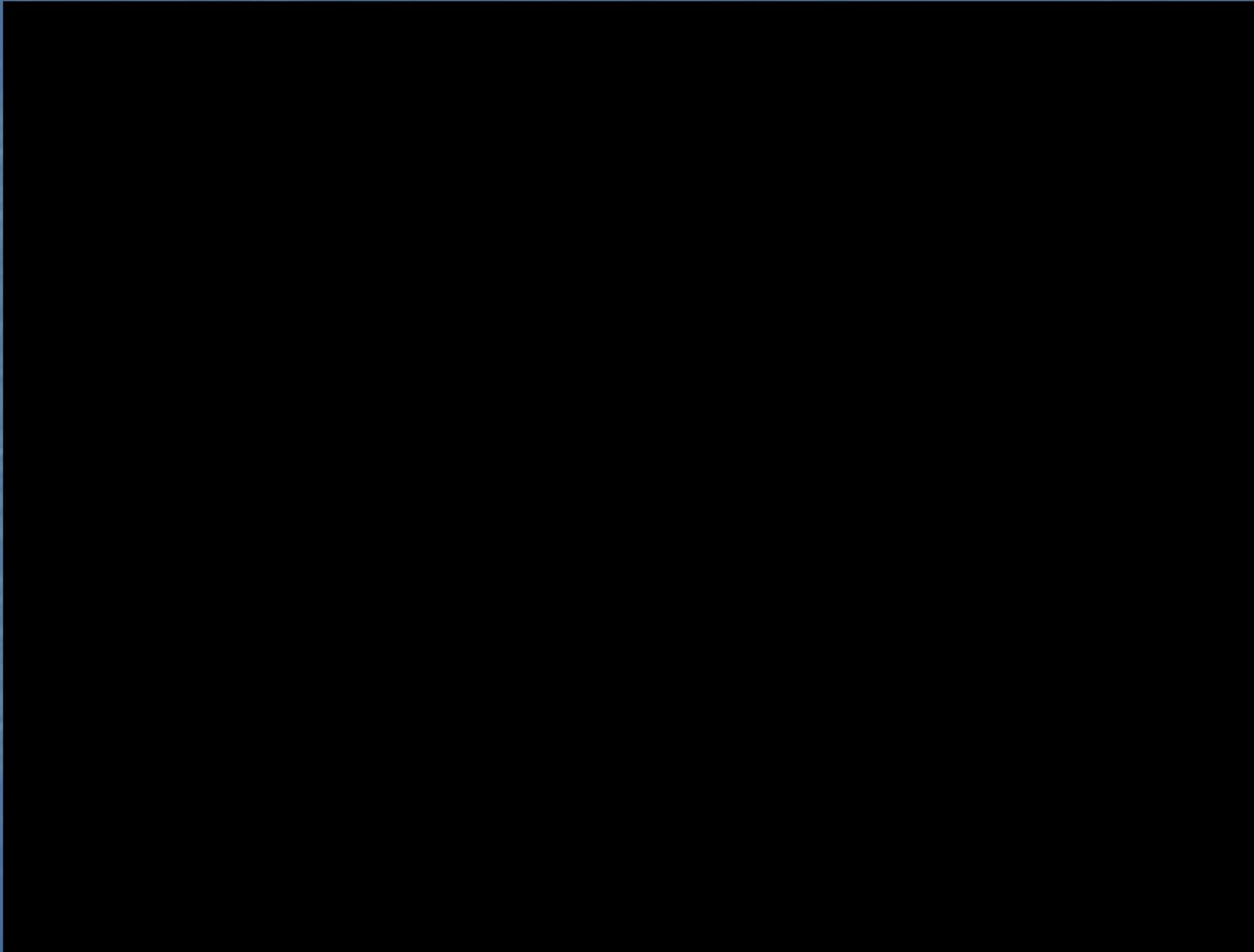
Essai désenfumage- tunnel d'Orelle sur A43 – longueur 3,7 km
– ventilation semi transversale



Désenfumage transversal employé en stratégie longitudinale



Vidéo essais « Fumées Chaude » sous la Défense



6.2 - Les outils numériques et physiques d'aide à la conception

1- Comportements aérauliques en milieu confiné (logiciels de calculs spatio temporels anisothermes)

De nombreux outils existent (outils propriétaires ou ouverts)

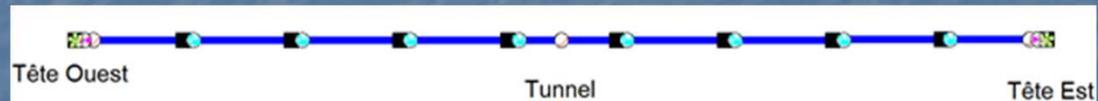
=> Les logiciels de simulation du comportement aéraulique en 1D, outils d'analyse et de dimensionnement

Résolution des quatre équations de base

- L'équation bilan masse.
- L'équation bilan de chaleur.
- L'équation quantité de mouvement.
- L'équation transport de polluant

exemples:

- EXPRESS AIR (SETEC)
- CAMATT (CETU développé par SETEC)
- SES (Subway Environment System, code américain développé pour les métros)



6.2 - Les outils numériques et physiques d'aide à la conception

outils d'analyse

=> Les logiciels « de zones » dérivés des applications du bâtiment

=> Les logiciels 3D CFD (Computational Fluid Dynamics)

Exemples de CFD 3D :

- Commercialisés : FLUENT (ANSYS), PHOENICS, CFX, StarCCM+
- Open source : **FDS (Fire Dynamics Simulator)**, OPENFOAM
- Spécialisé : SOLVENT, spécialement développé pour les tunnels, suite aux essais du Memorial tunnel (US).

Les outils CFD 3D

Ils sont utilisés dans les études des cas d'incendie pour :

- compléter les analyses 1D dans la **vérification de l'efficacité des systèmes d'extraction de fumées** et dans l'analyse des conditions de stratification des fumées
- **évaluer les conditions d'environnement** (température, toxicité, rayonnement) dans l'ouvrage dans les **études de dangers**
- Les outils 3D peuvent aussi être mobilisés à plus grande échelle dans le cadre des **études de dispersion de l'air pollué aux têtes** des tunnels ainsi qu'au niveau des unités de ventilation.

Exemple FDS

(développé par le NIST National Institute For standard and technology- USA et VTT Technical Research Centre of Finland)

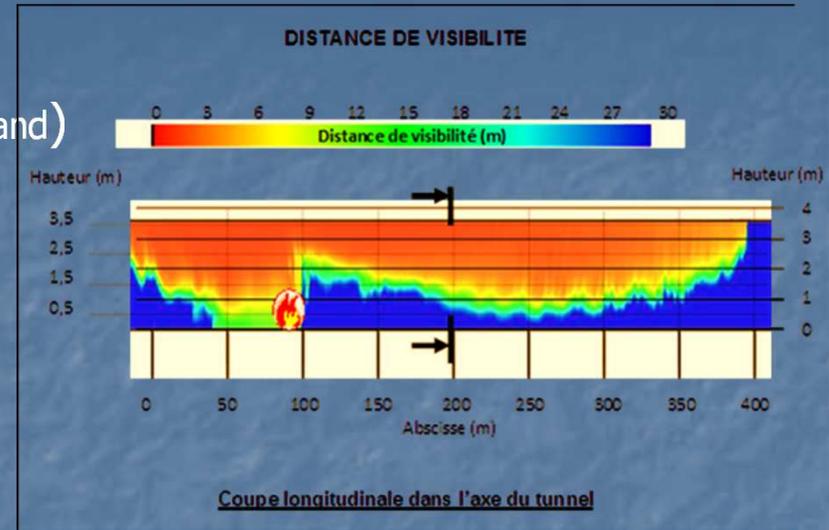
3 modèles :

- Modèle Hydrodynamique
- Modèle de Combustion
- Modèle de Rayonnement

Analyse des phénomènes :

- le transport de chaleur et les produits de combustion à faible vitesse,
- les transferts de chaleur par convection et rayonnement entre gaz et solide,
- la pyrolyse,
- la propagation d'un incendie

calcule la température, la densité, la pression, les vitesses, la composition chimique dans chacune des cellules du domaine maillé



6.3 - Les outils numériques et physiques d'aide à la conception

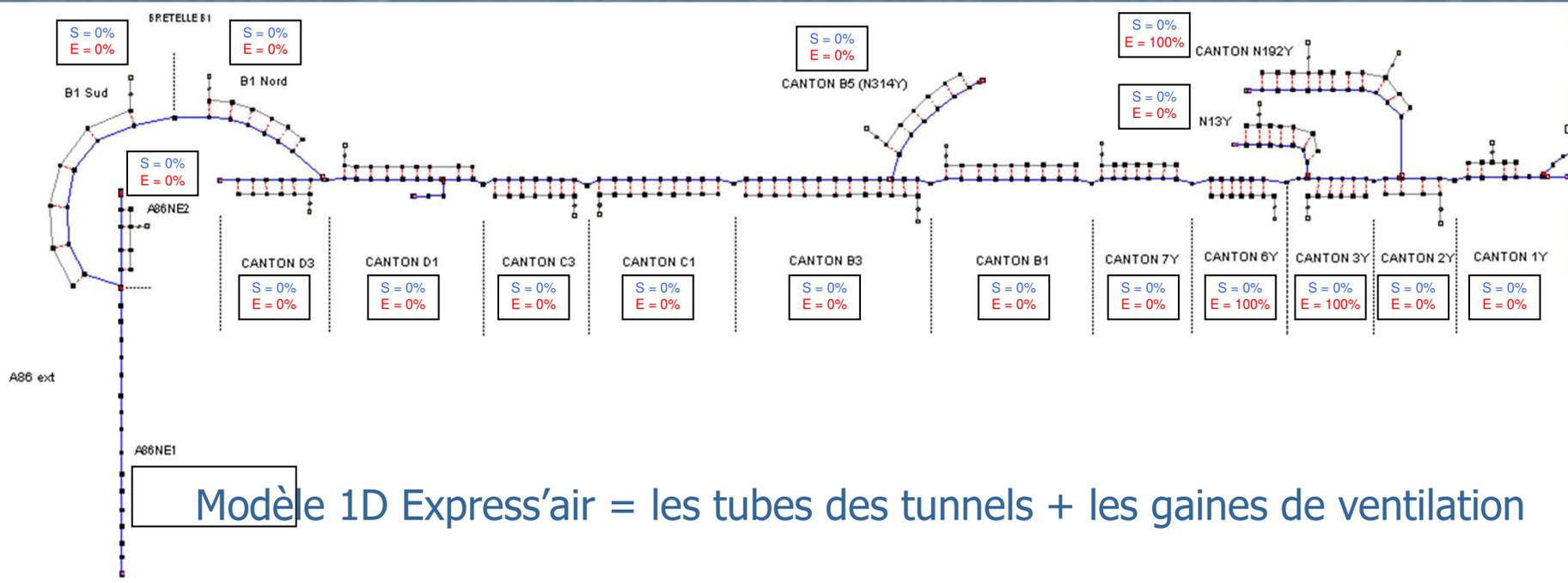
2- Etude de la dispersion de la pollution dans l'environnement

- logiciels 3D
- maquettes aérauliques ou hydrauliques

4 exemples

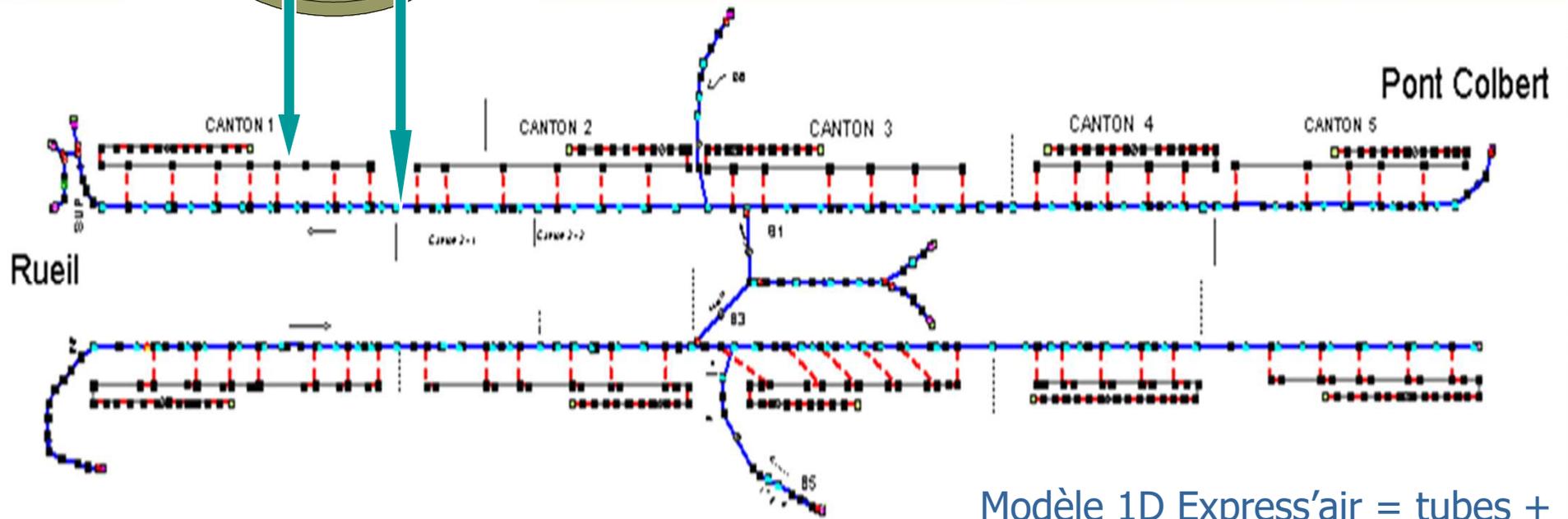
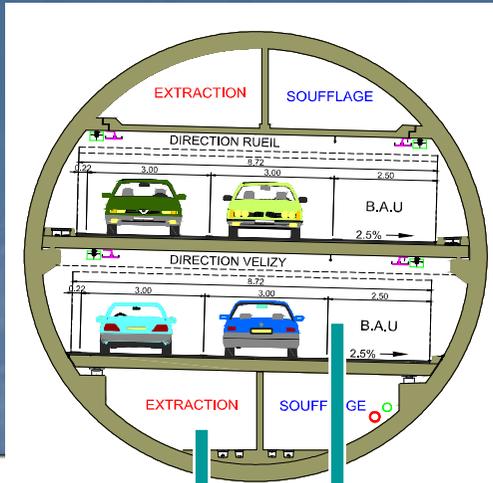
- Études uniquement en 1 D : A14xA86, Duplex A86
- Couplage 1D / 3 D
- Couplage 1D / 2 D (Vidéo)

Complexe souterrain A14x86 (15 km de tubes)

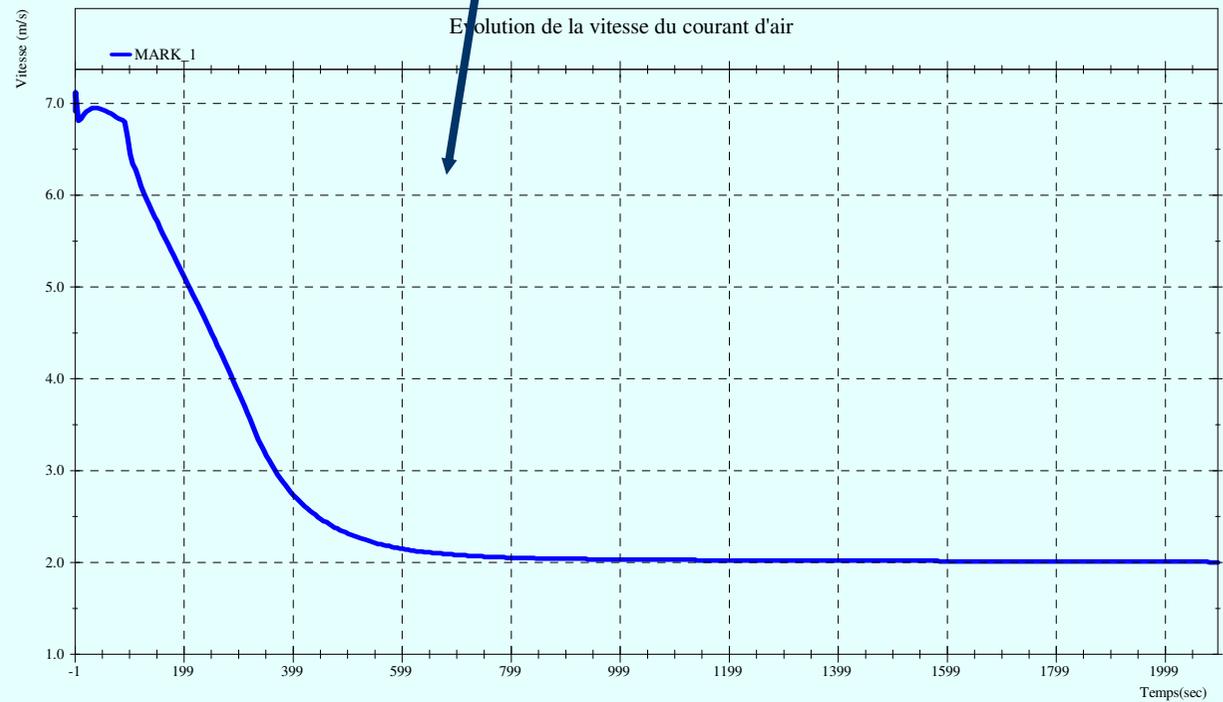
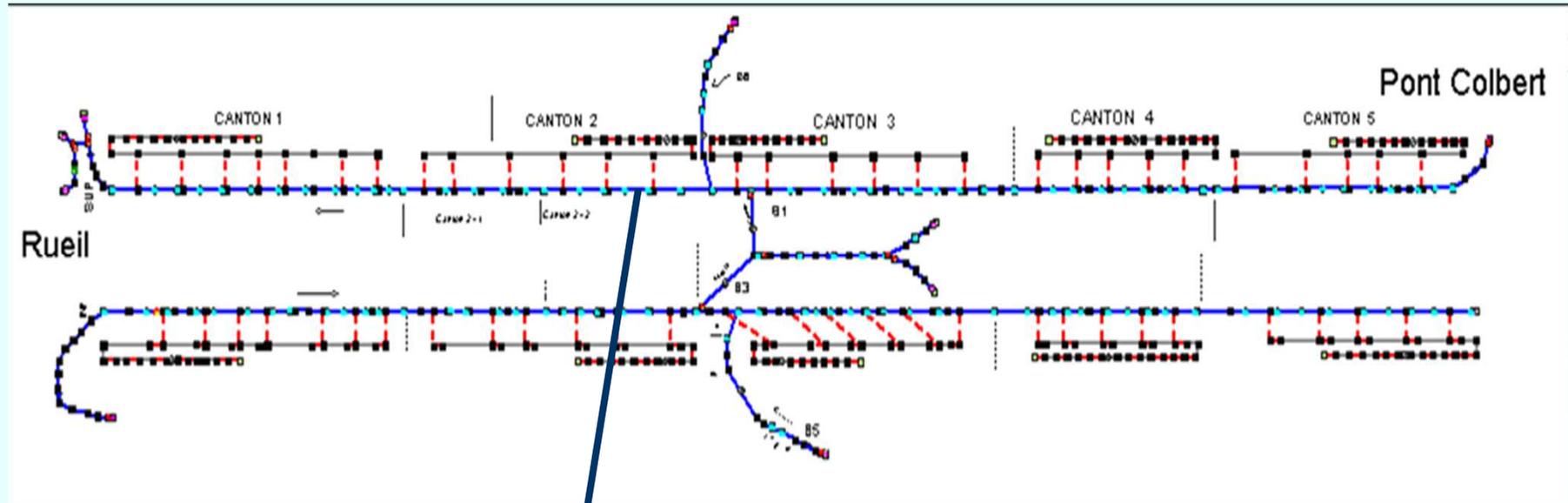


Modèle 1D Express'air = les tubes des tunnels + les gaines de ventilation

Duplex A86

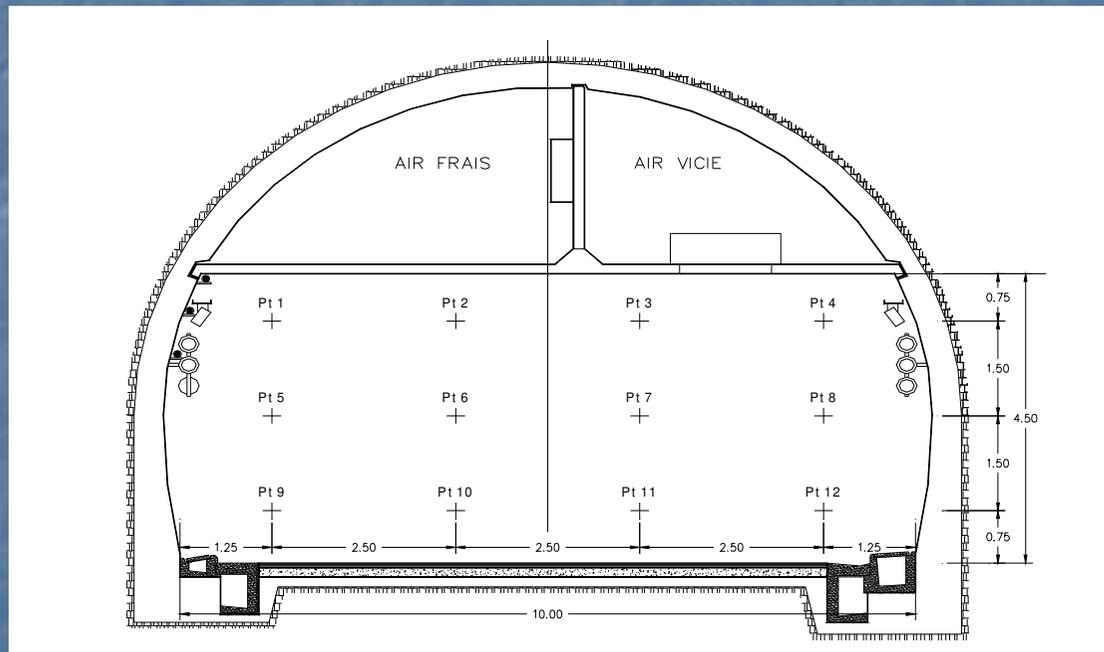


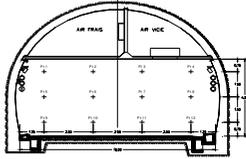
Modèle 1D Express'air = tubes + gaines connectées



Exemple de couplage 1D / 2D

- Application à un incendie dans le tunnel du Fréjus

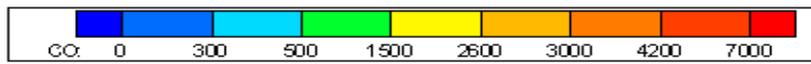
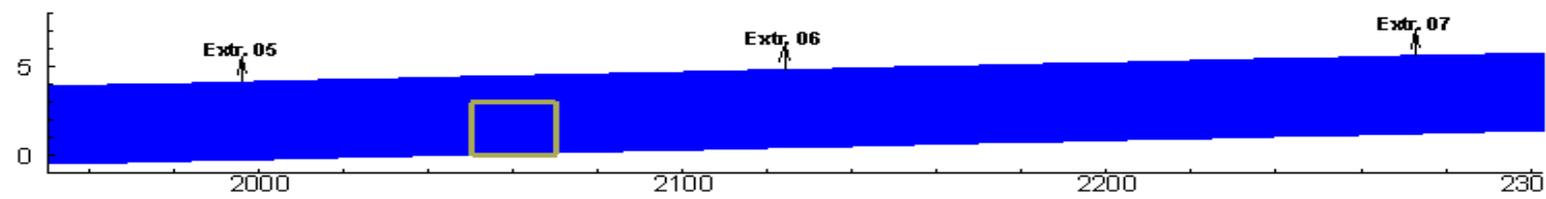
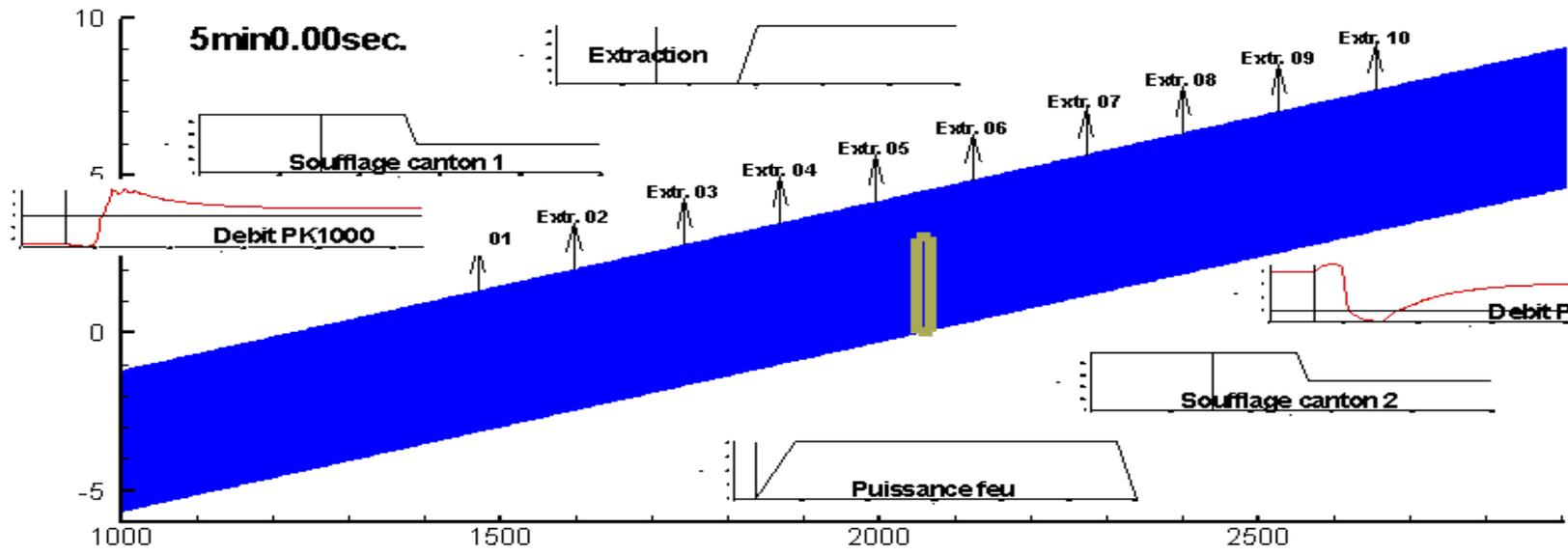
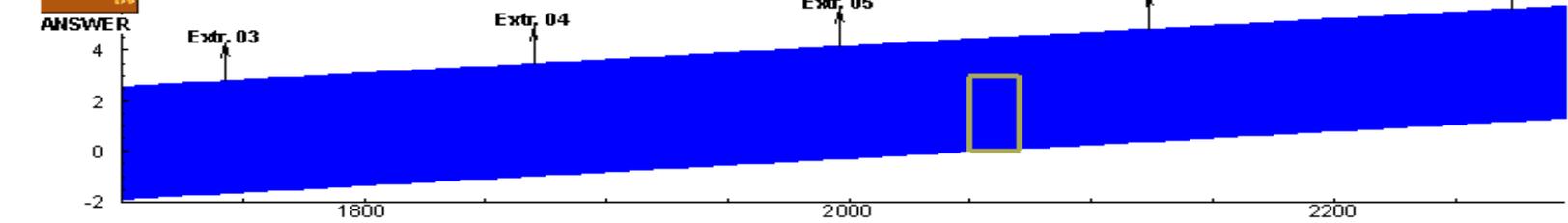


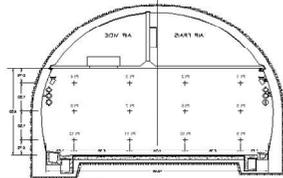


Incendie Tunnel de Fréjus : Concentration de CO (ppm)



ANSWER

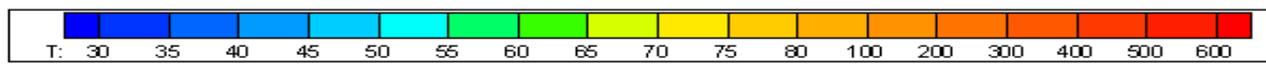
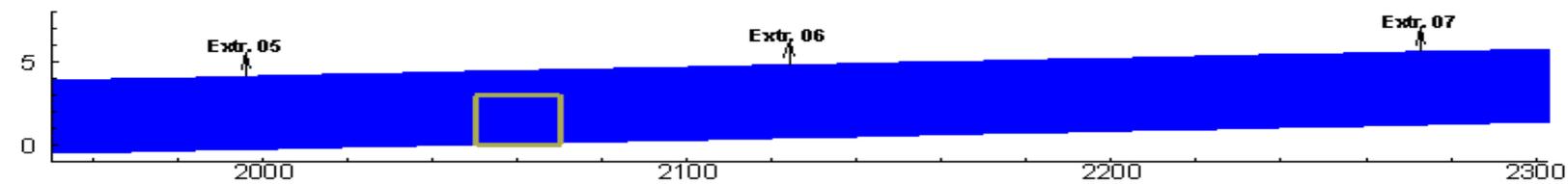
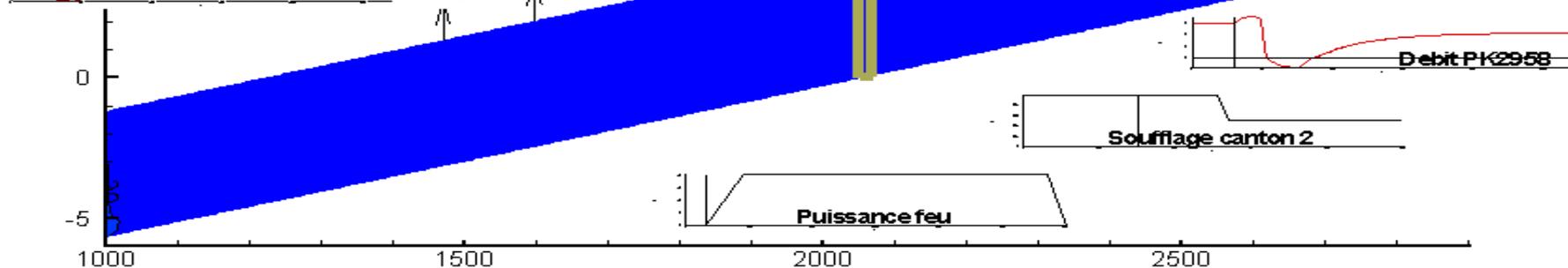
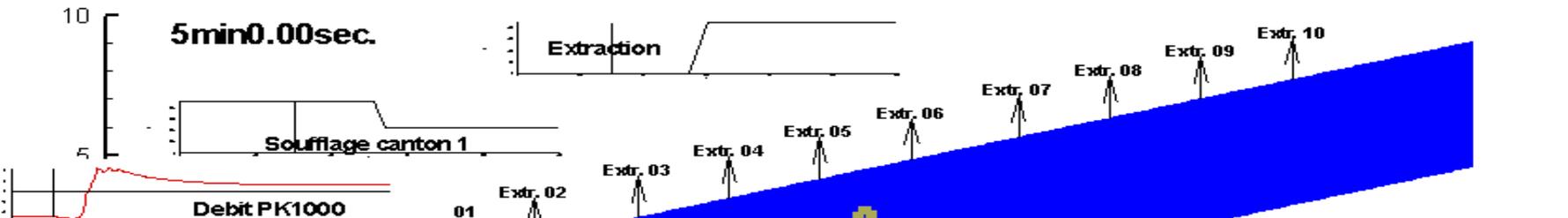
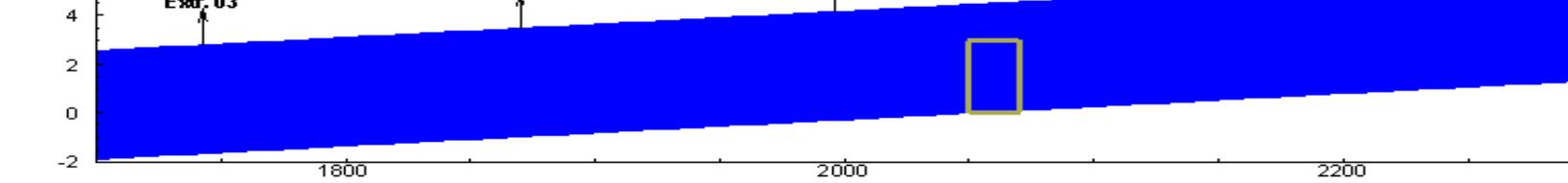




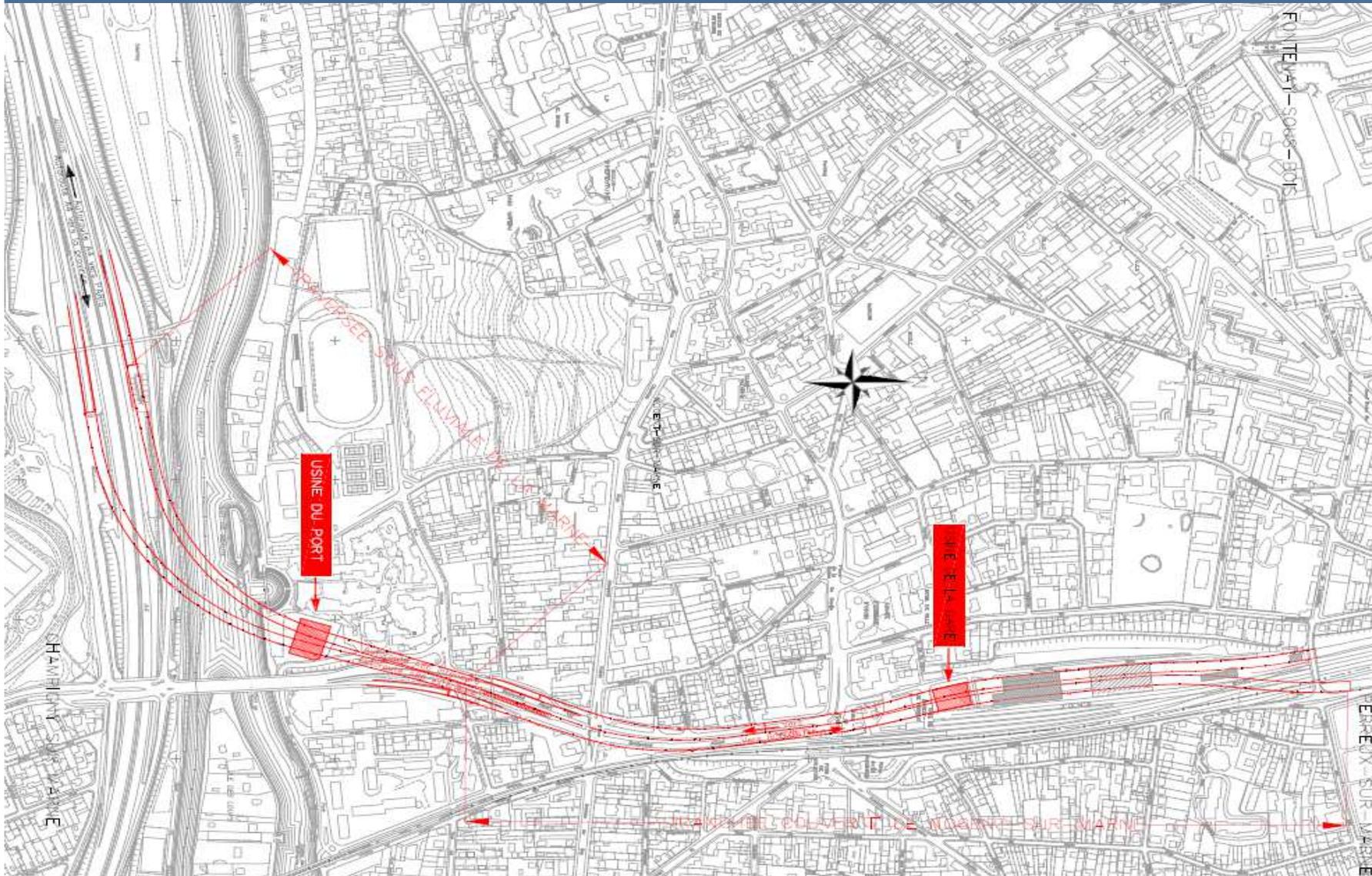
Incendie Tunnel de Fréjus : Température (°C)



ANSWER



Etude des dangers Tunnel de Nogent



Vidéo FDS

6.3 - Les axes de développement

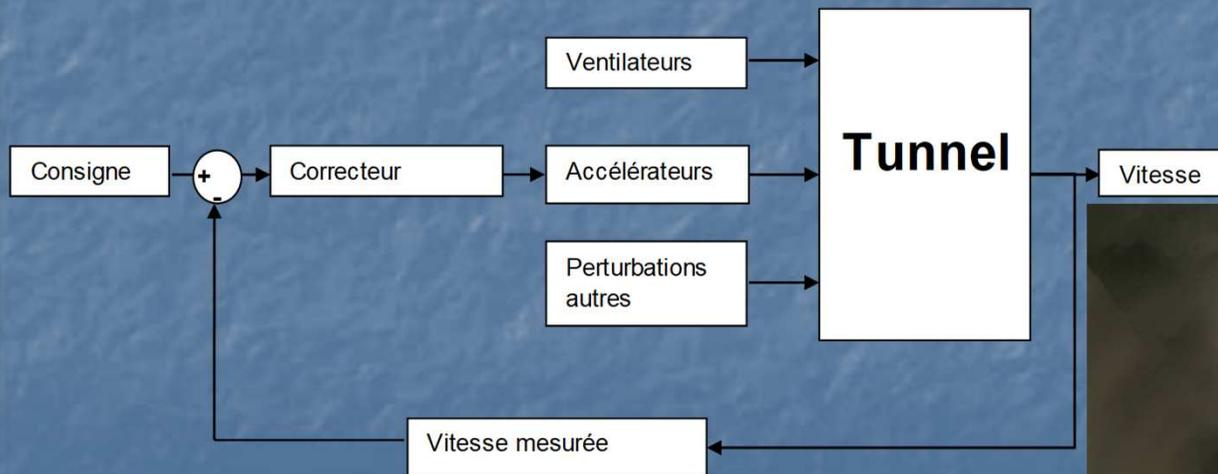
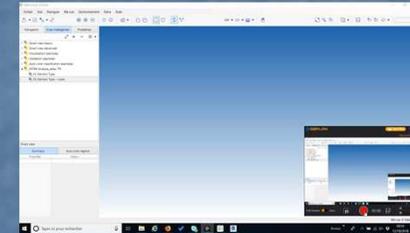
La connaissance des incendies en tunnel (les nouveaux véhicules : hybrides, électriques...)

Le pilotage de la ventilation : les asservissements capteurs / actionneurs

L'application aux ouvrages souterrains des SFLI (Systèmes Fixes de Lutte contre l'Incendie)

Les usages complexes: coexistence tunnels/parkings/gares/commerces

Le BIM appliqué aux tunnels





Essais en labo (échelle 1)
d'un système de
brumisation pour A86
Duplex



Essais en labo (échelle 1) d'un système de brumisation



6.4 - Les grandes familles de géométrie des tunnels

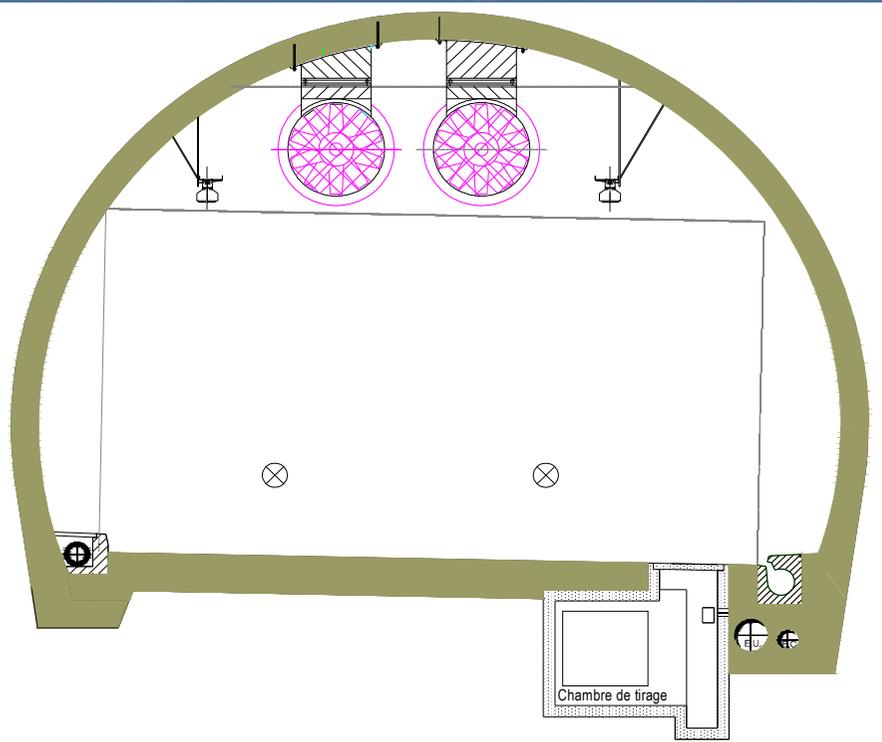
Les tunnels en fer à cheval

Les tunnels à section rectangulaire

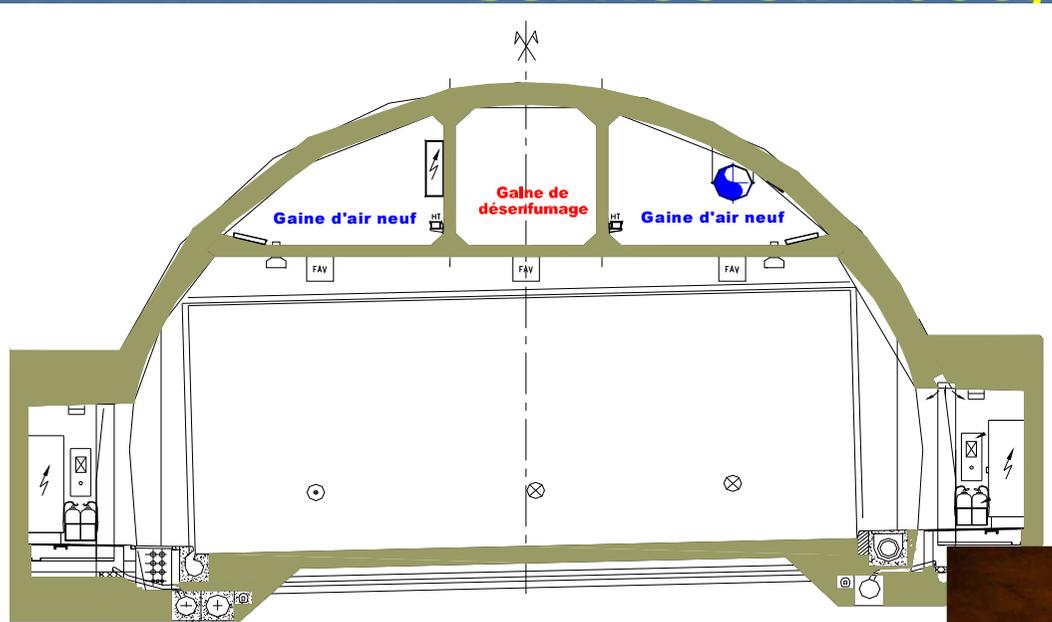
Les tunnels à section circulaire

- ⇒ les conceptions de la géométrie des ouvrages, l'étude des méthodes d'exécution ainsi que l'étude des systèmes de ventilation et de désenfumage sont **intimement liées**

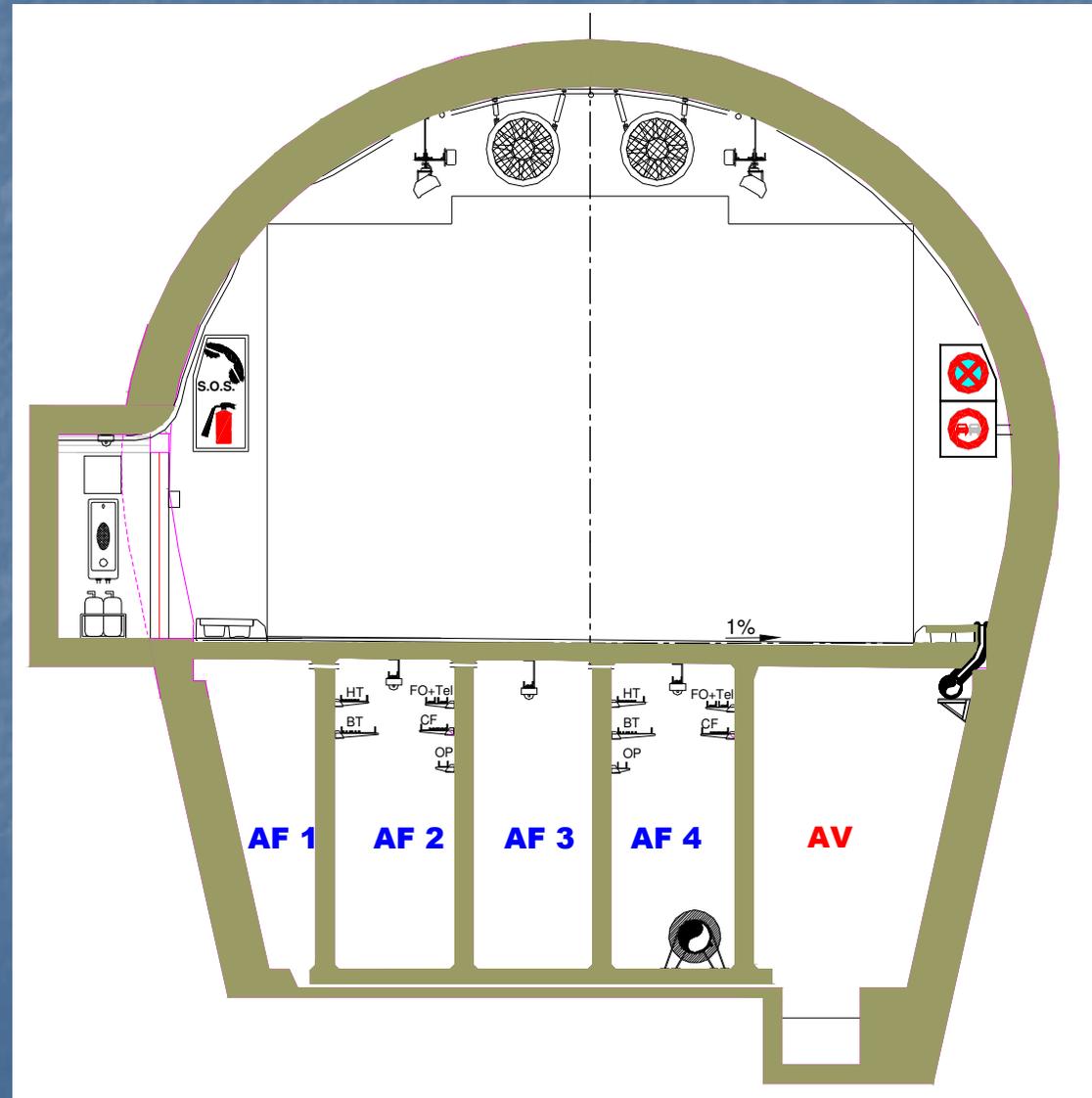
Tunnel de VUACHE (A40) – Ouverture 1980, Rénovation 2002-2003, puis 2015



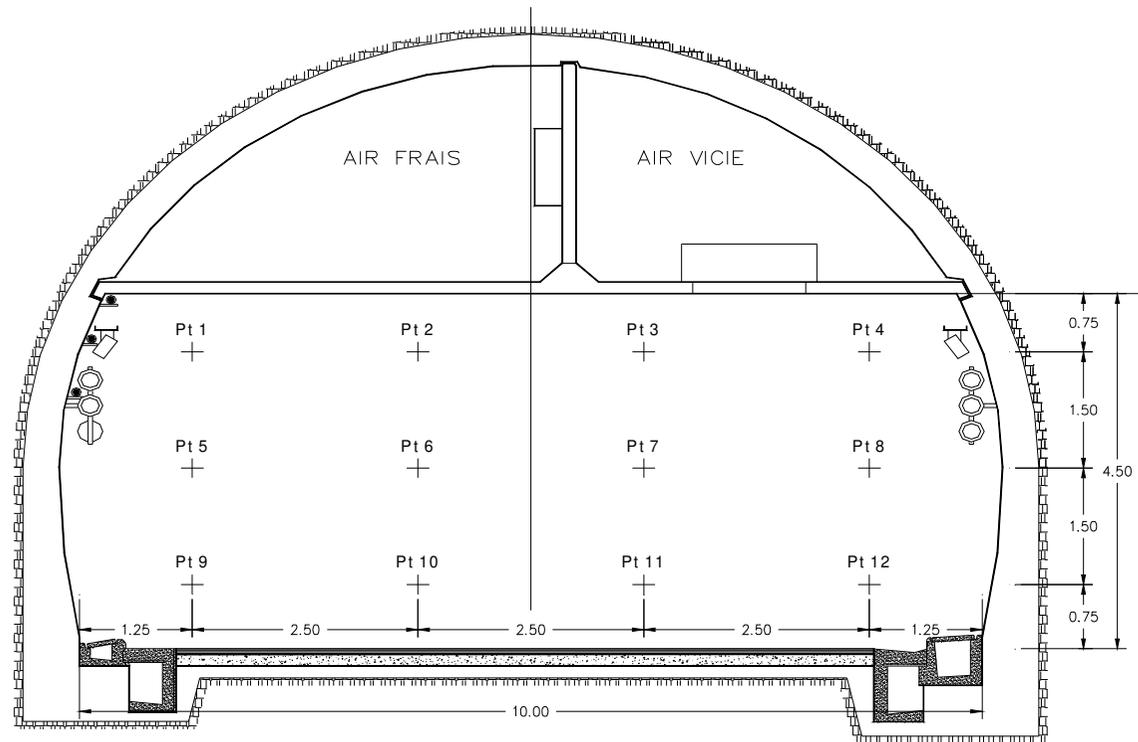
Tunnel d'ORELLE (A43) Tunnel foré Mise en service en 2000, renovation



Tunnel du MONT BLANC – Rénovation 2022

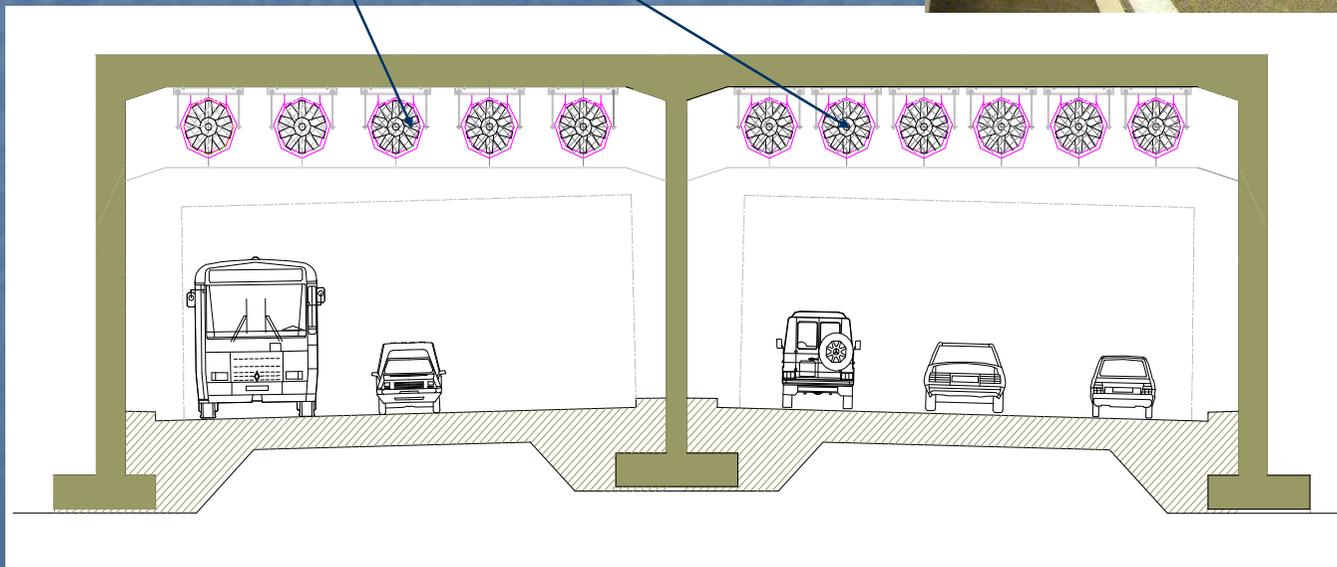


Tunnel du Fréjus Ouverture 1980, rénovation...permanente

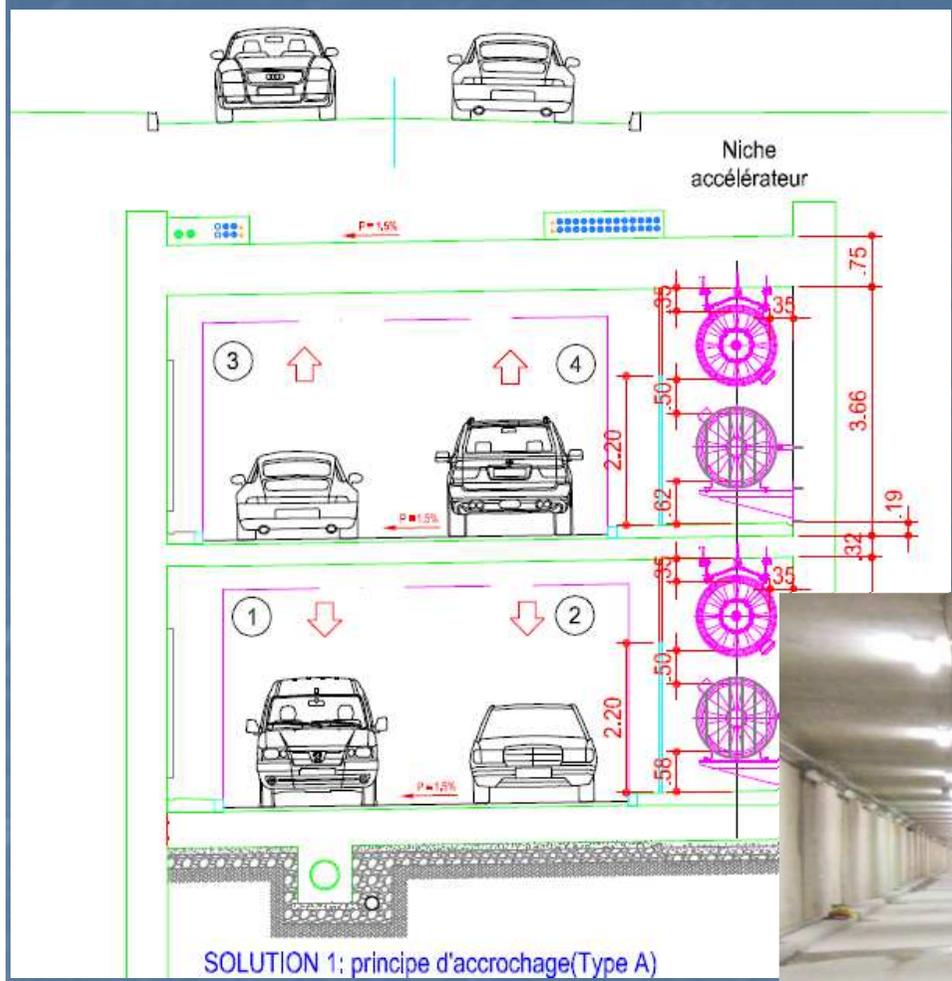


Tunnel contournement d'ANGERS (tranchée couverte) – L=1,7 km Ouverture juin 2008

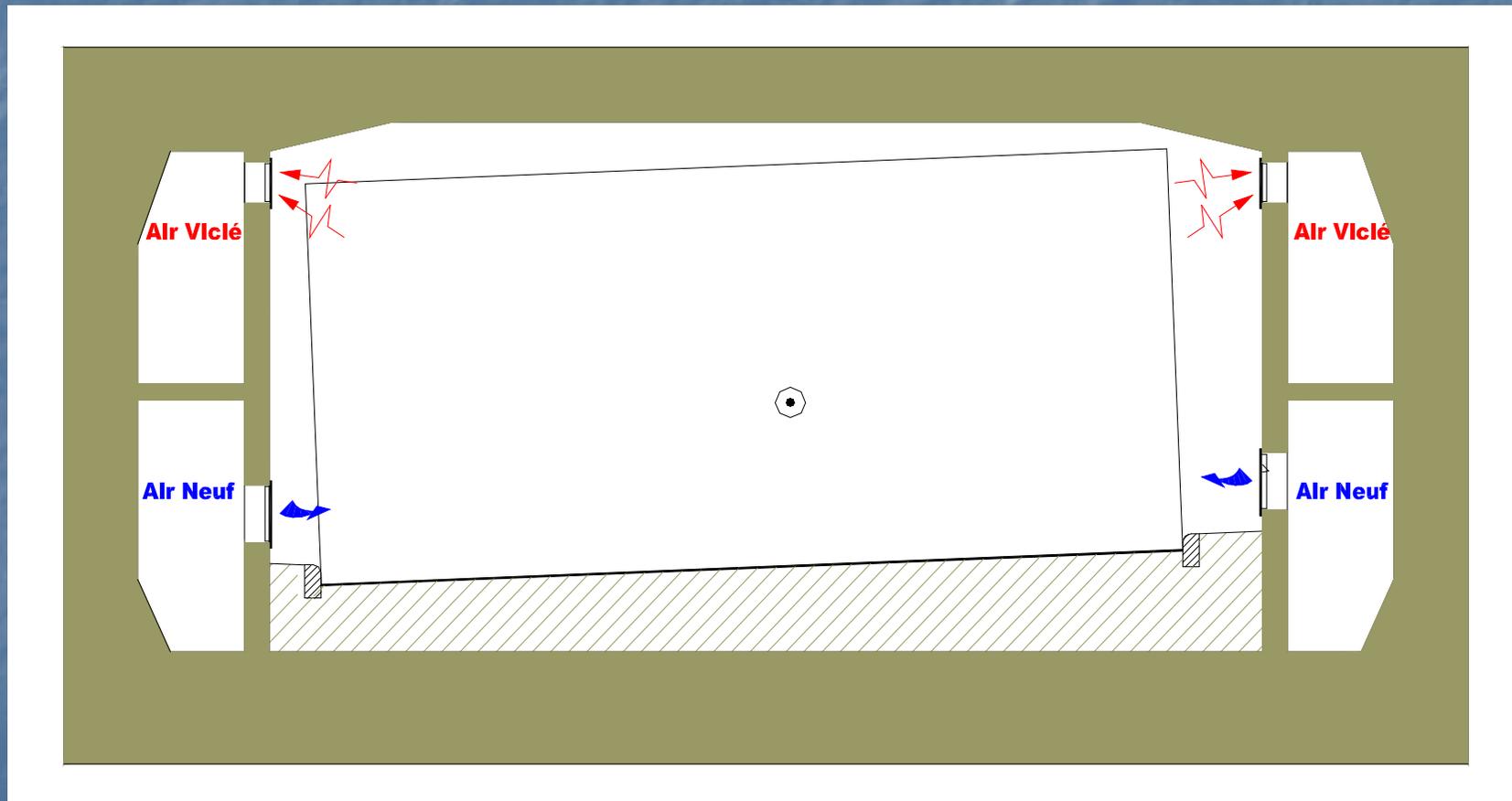
Bossages pour accélérateurs



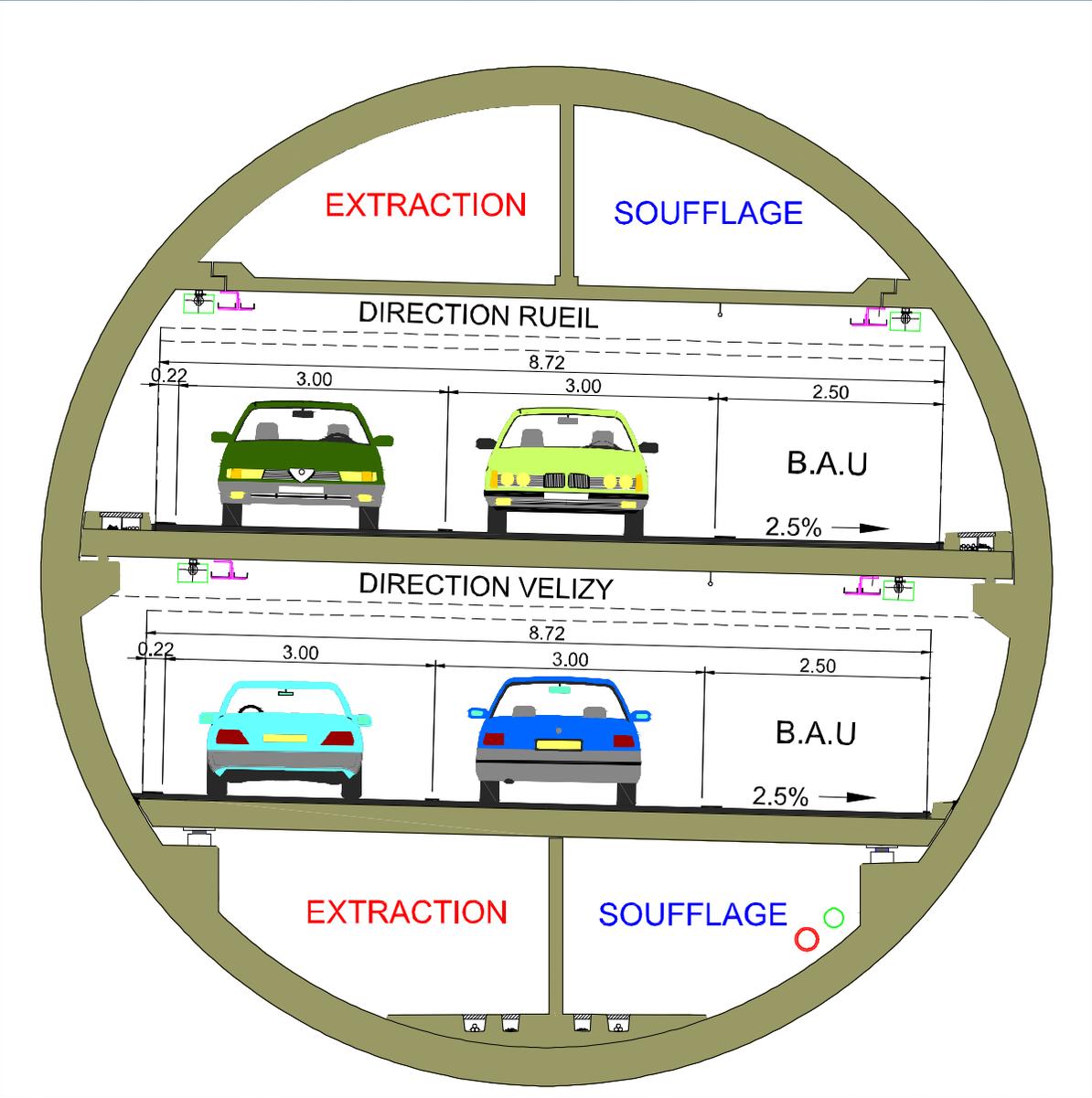
Tunnel du Prado Sud-Marseille L = 1,4 km Travaux 2010 - 2013



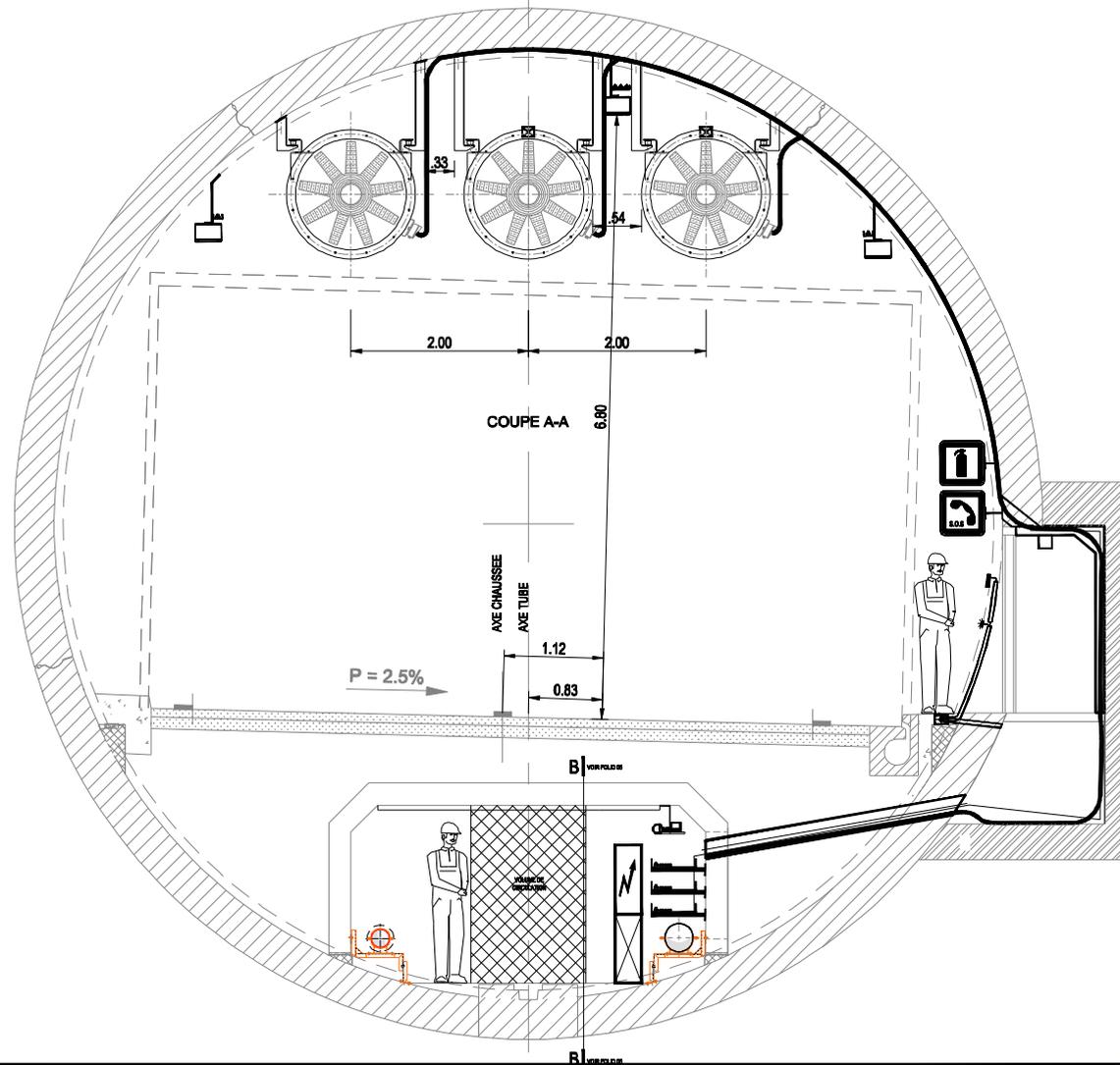
Tunnel de NOGENT (caissons immergés)– A86 ouverture 1988, rénovation 2011 - 2014



Tunnel DUPLEX (A86) – Foré au tunnelier, ouvertures juin 2009 – janvier 2011



Tunnel du Mont Sion sur A41 ouverture décembre 2008



Echelle : 1/50

Folio : 3 /4



A41

Section Saint Julien-en-Genevois / Villy-le-Pelloux

Coupe sur Accélérateurs
coupe A-A

Emetteur		Localisation Ouvrage	Dossier Activité	Type Document			Numéro	Indice	Statut
Gest.	Prod.			Phase	Nature	Réserve			
I	SP	TUNNEL	VENT	D	IM		021 210	A	64 -

6.5 - Conception itérative

Génie civil - Ventilation

- 6.5.1 Dimensionnement des gaines de ventilation
- 6.5.2 Dimensionnement des unités de ventilation

6.5.1 – Dimensionnement des gaines de ventilation

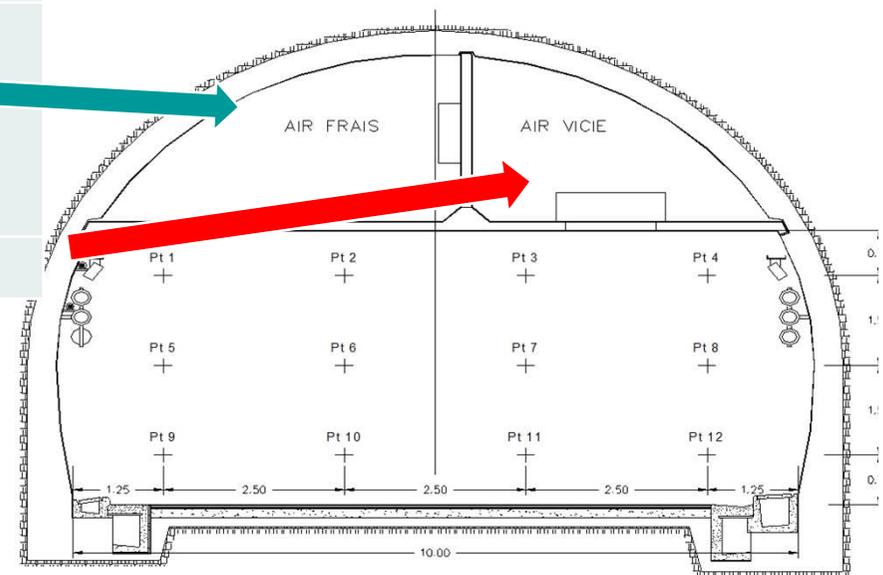
Débit (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Section (m ²)	%*
100	15	6,6	9,4
100	20	5	7,1
100	25	4	5,7

* % comparé à une section de tunnel de l'ordre de 70 m²

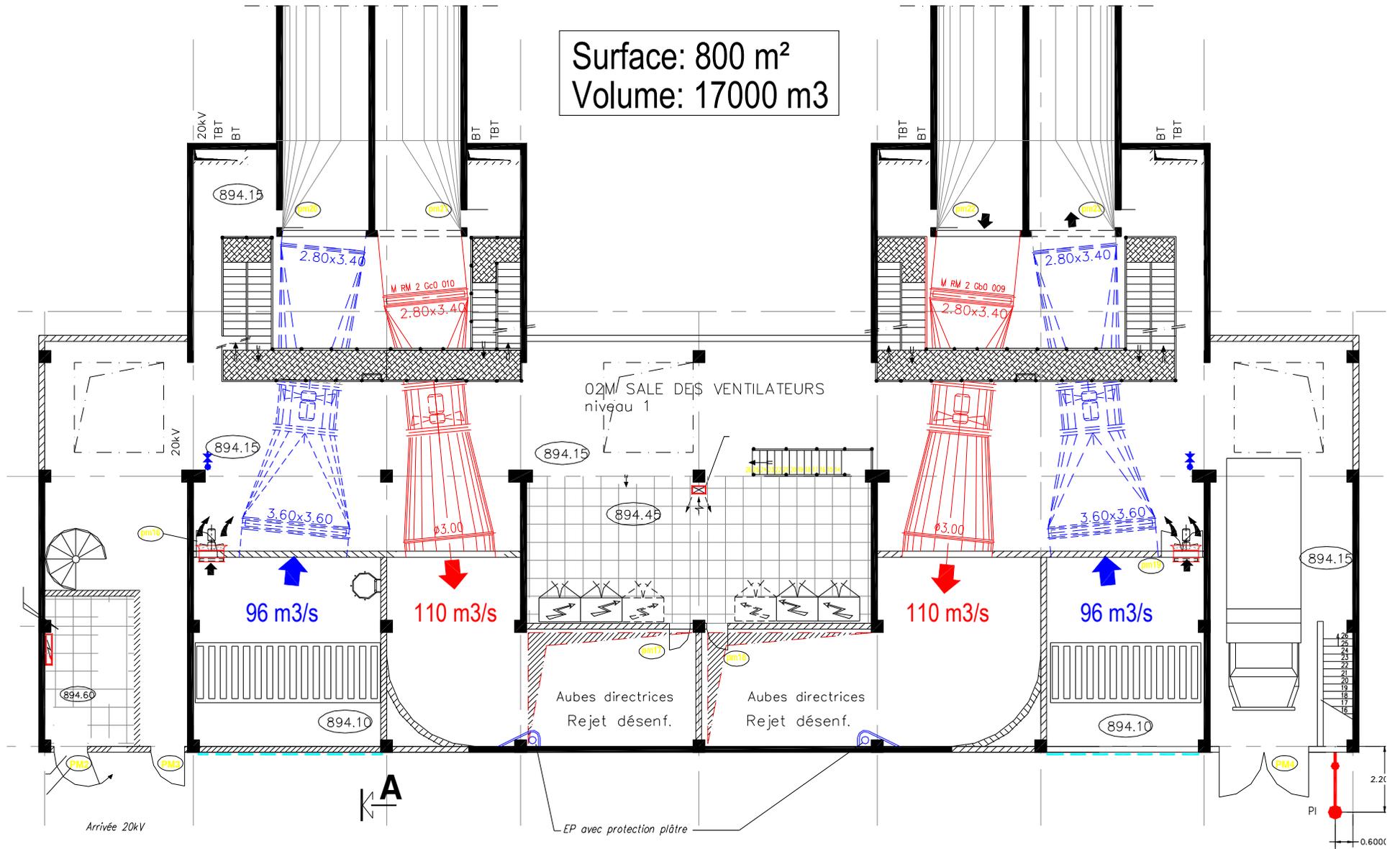
Pressions dans les
gainés:

Soufflage + 1500 à + 4000 Pa

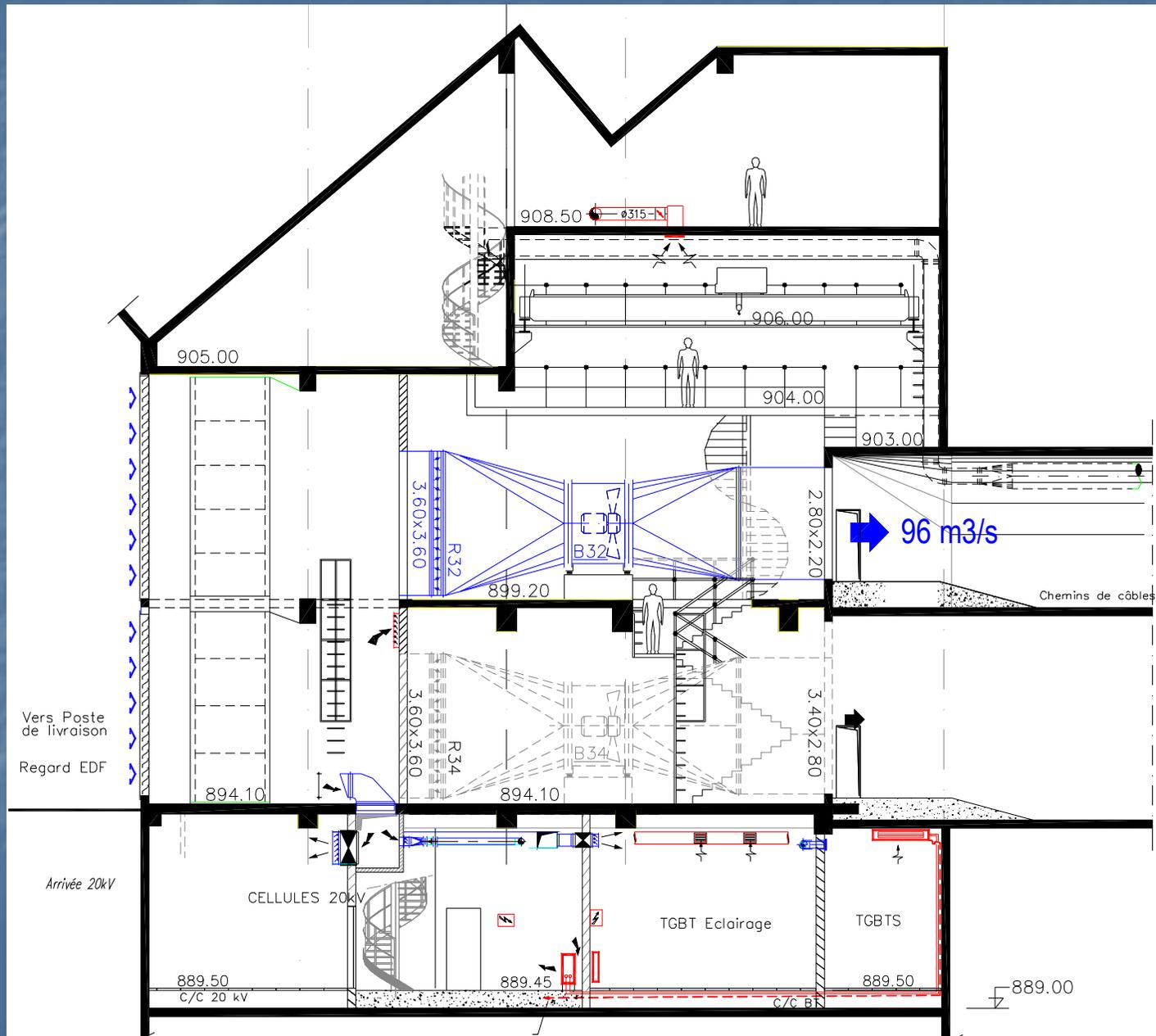
Extraction et désenfumage - 1500 à -5000 Pa



6.5.2 – Dimensionnement des unités de ventilation (Usine La Bronsonnière - Tunnel d'ORELLE - A43)



6.5.2 – Dimensionnement des unités de ventilation



Usine (extérieure) de ventilation tunnel d'Orelle tête Aval (A43)

Deux ventilateurs d'air frais, 76 m³/s, 132 kW

Un ventilateur de désenfumage, 110 m³/s, 450 kW





Prise d'air frais

Usine de ventilation tête Aval (A43)



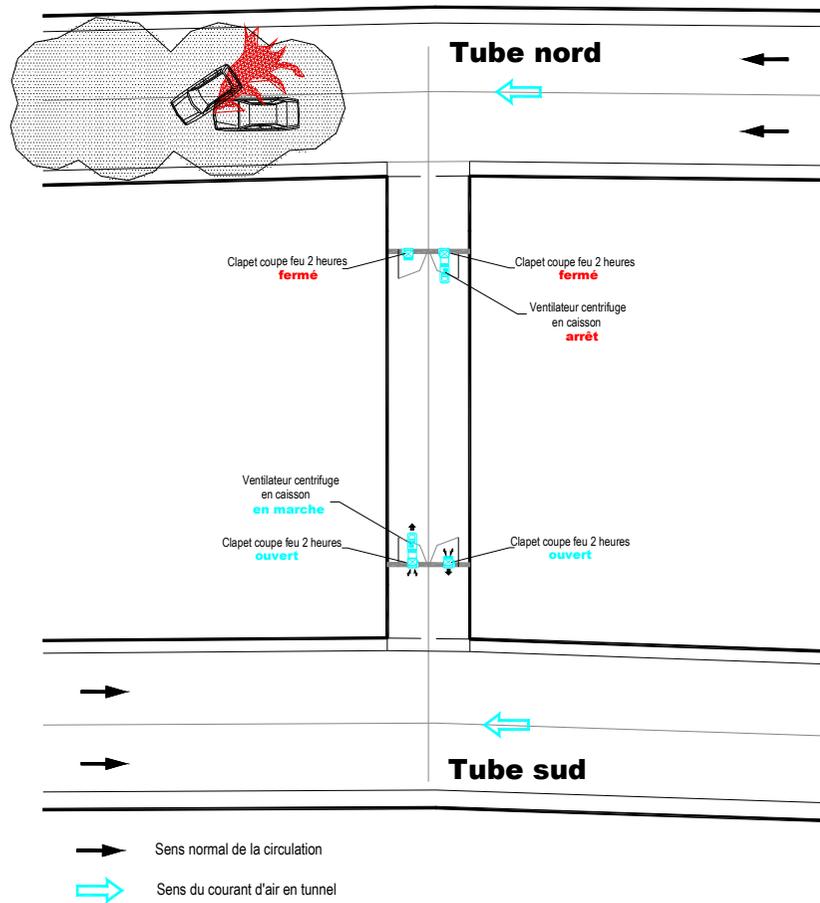
Tunnel routier du Fréjus-Usine de ventilation souterraine

6.6 - Ventilation des dispositifs d'évacuation

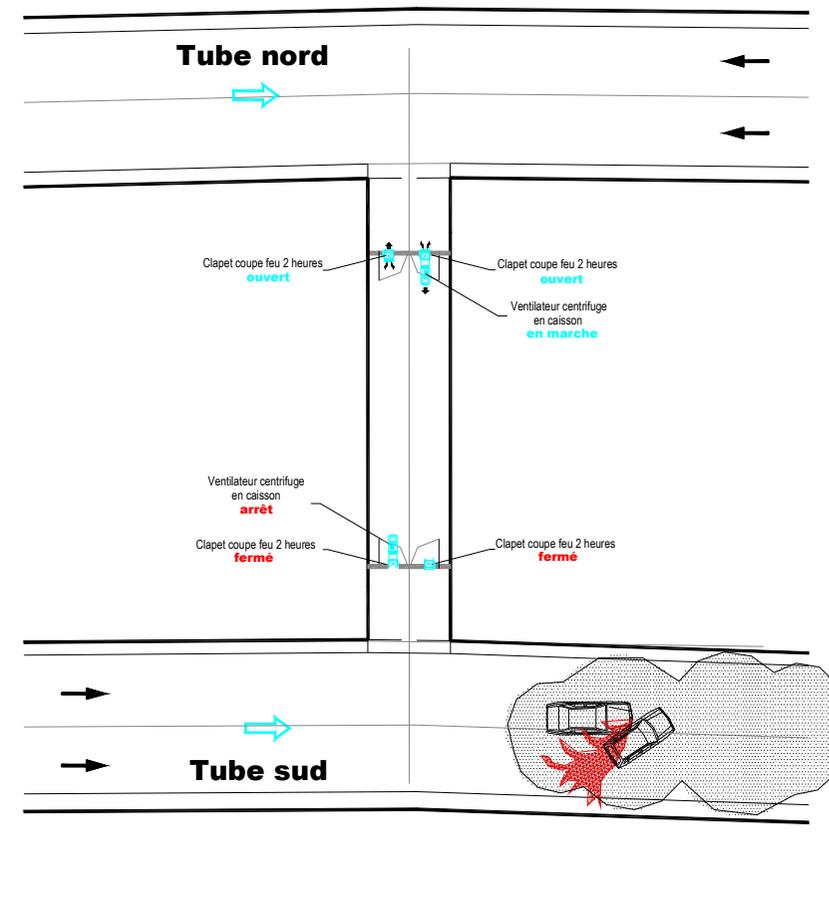
- Tunnels à deux tubes -> mise en surpression des communications entre tubes
- Galerie de sécurité parallèle au tunnel -> mise en surpression par rapport au tunnel
- Escaliers et abris -> ventilés et mis en surpression par rapport au tunnel

Ventilation de communications entre tubes- exemple

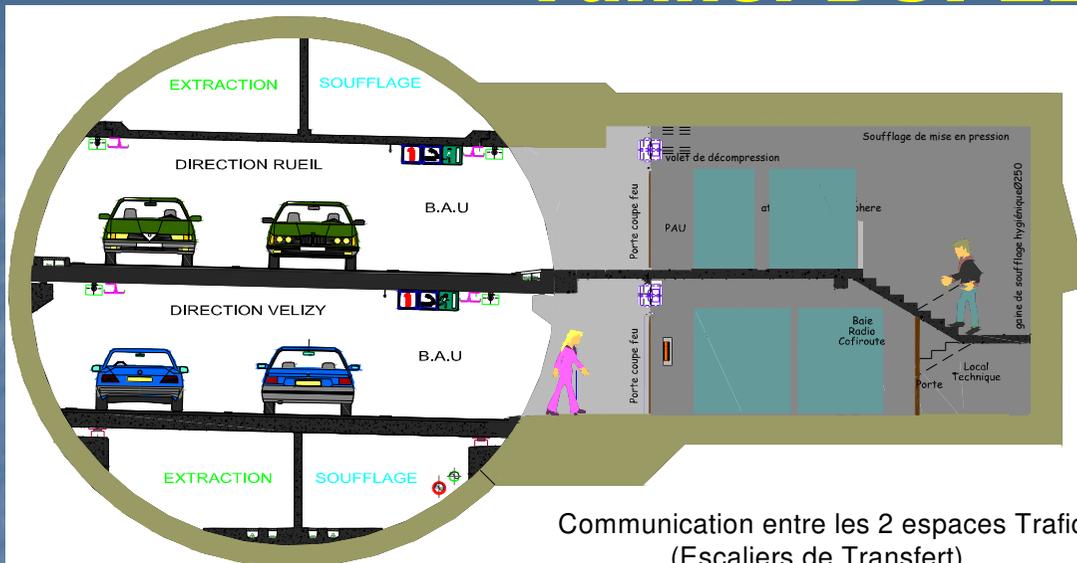
Incendie tube Nord



Incendie tube Sud



Tunnel DUPLEX (A86)



Communication entre les 2 espaces Trafic
(Escaliers de Transfert)

	Circulaire	Projet
Surface	15 m ²	33 m ²
Porte	1.40 x 2.00	1.40 x 2.00
Largeur passage hors Escaliers	1.80 x 2.20	Conforme
Accès Handicapés	OUI	Conforme

6.7 - Conception itérative Génie civil - Ventilation

**Conclusion : fort impact de la
ventilation sur le génie civil**

- Puits de ventilation
- Unités de ventilation souterraines
- Unités de ventilation extérieures
- Gaines
- Bossages pour accélérateurs

6.8 – La rénovation des tunnels : une problématique traitée entre 2000 et 2015

En Europe de l'ouest

- - de tunnels routier en construction
- + de tunnels en rénovés

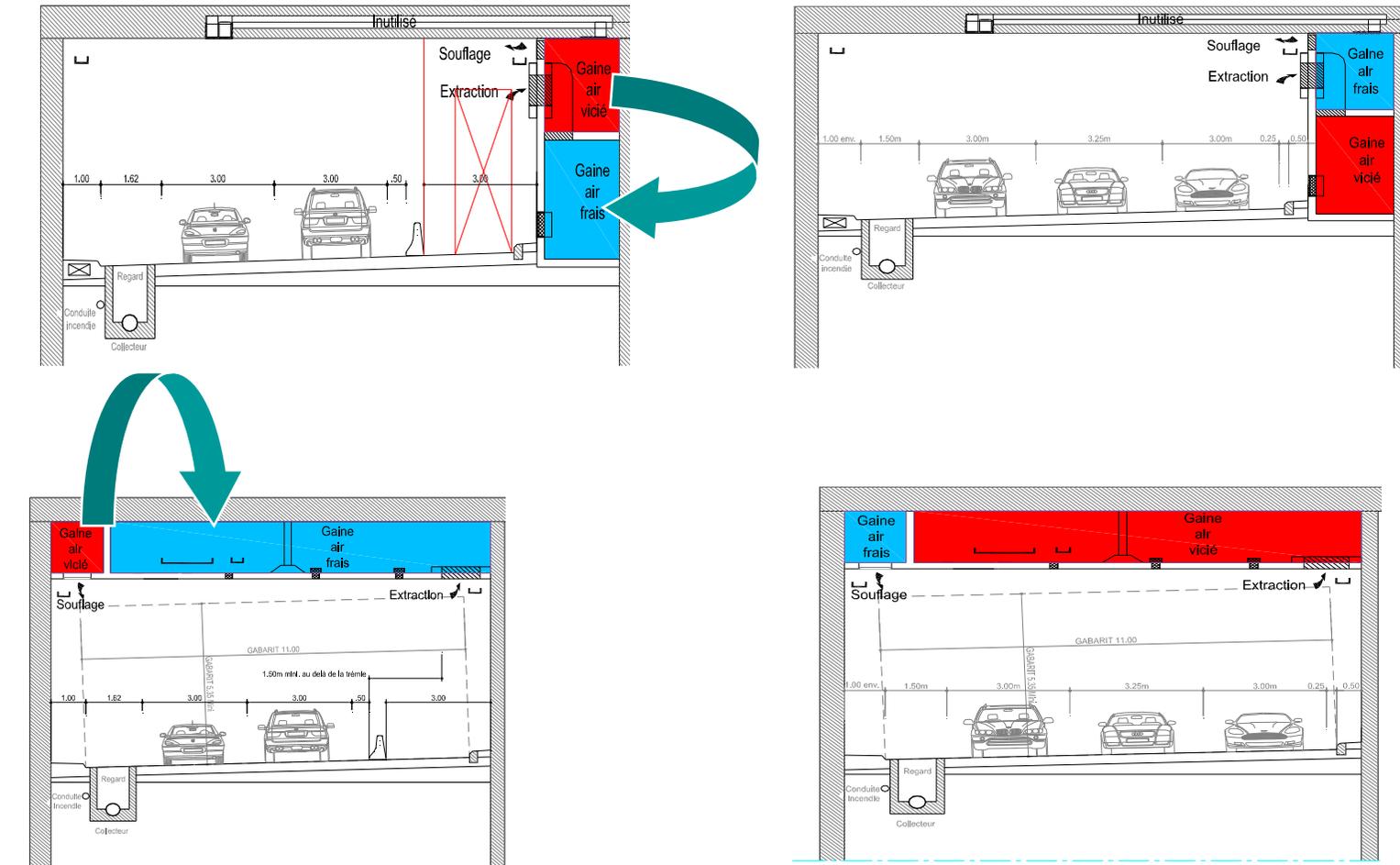
Besoins pour ventilation hygiéniques baissent

Besoins pour le désenfumage augmentent

⇒ augmentation de puissance électrique.

Ex. A14xA86 La Défense 4 MW -> 19 MW

6.8 – 15 ans de rénovation des tunnels



0 - Sommaire

- 1 - Objet et limites
- 2 - Prenons un peu de recul
- 3 - Définition des enjeux
- 4 - Contexte réglementaire
- 5 - Base de la conception
- 6 - Principes généraux de conception
- 7 - Éléments comparatifs de coûts**
- 8 - Éléments comparatifs des puissances électriques mises en œuvre**
- 9 - Les technologies liées à la ventilation**

7 - Éléments comparatifs de coûts

- Equipements électromécaniques (hors système de dépollution): 8 à 15% du Génie civil
- Ventilation: 4 à 8% du Génie civil

9 – Les technologies liées à la ventilation

- Ventilateurs
- Accélérateurs
- Trappes de désenfumage
- Contrôle d'atmosphère
- ...
- Energie
- Contrôle commande

Ventilateur usine du tunnel de Nogent

Ventilateur d'air frais
diamètre 2,80 m



Extraction verticale, (A86 Ouest)



Atténuateurs de bruit (silencieux à baffles //)



Registre 4m x 4 m
(tunnel du
Puymorens)



Trappe de désenfumage tunnel d'Orelle (A 43)

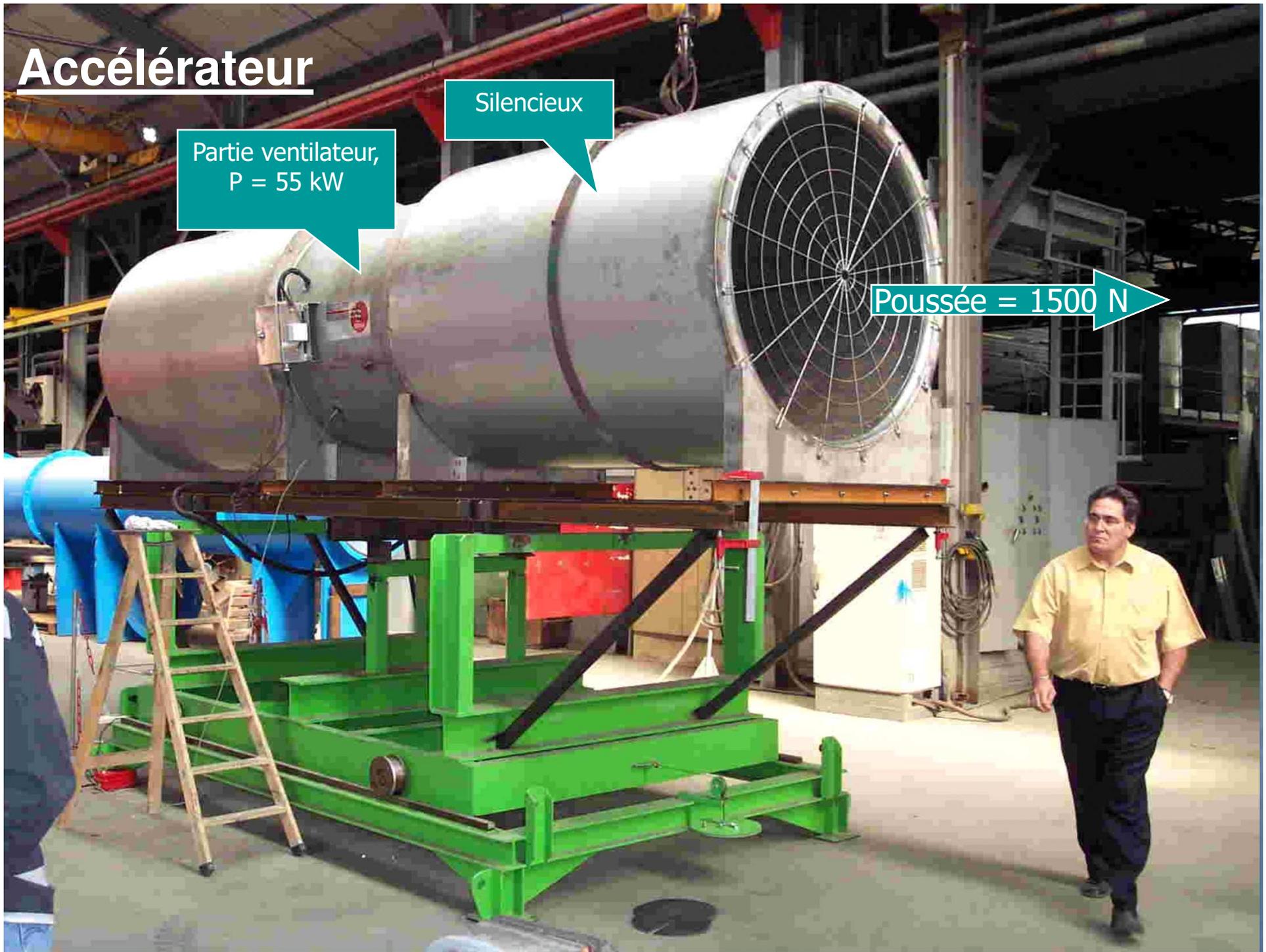


Accélérateur

Partie ventilateur,
 $P = 55 \text{ kW}$

Silencieux

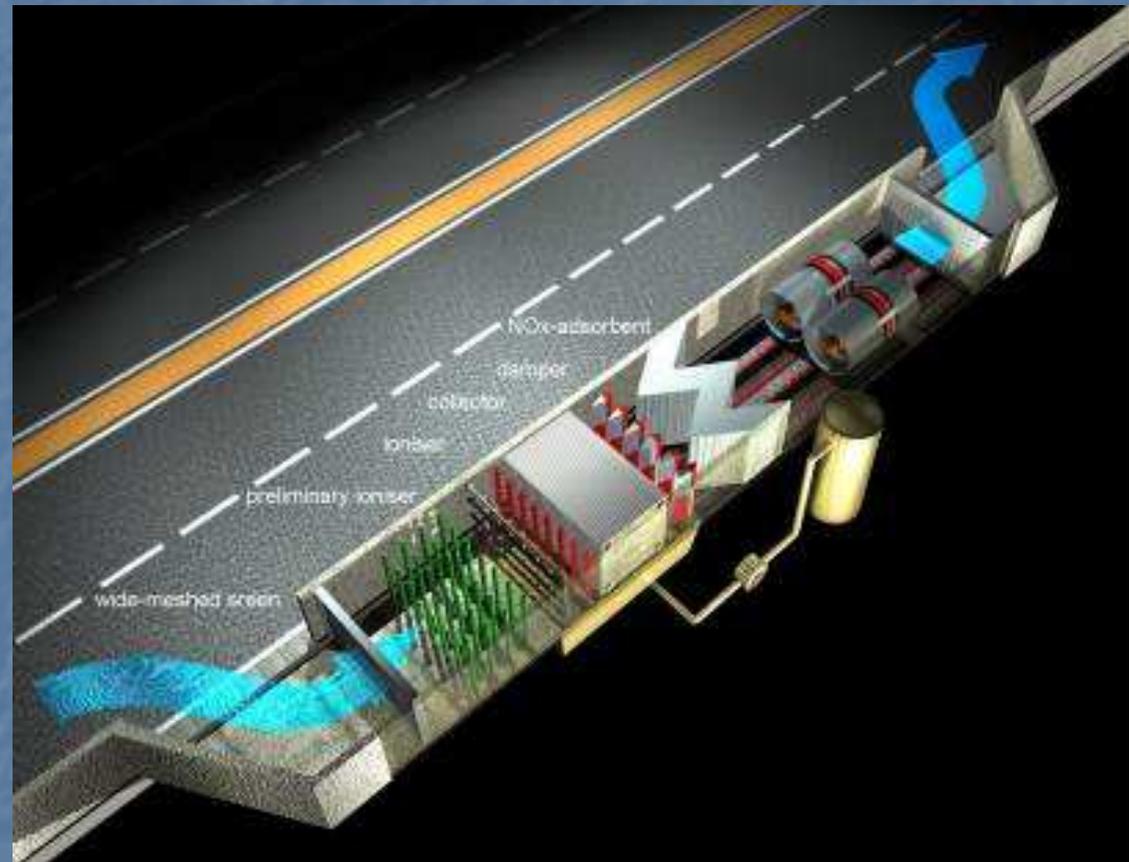
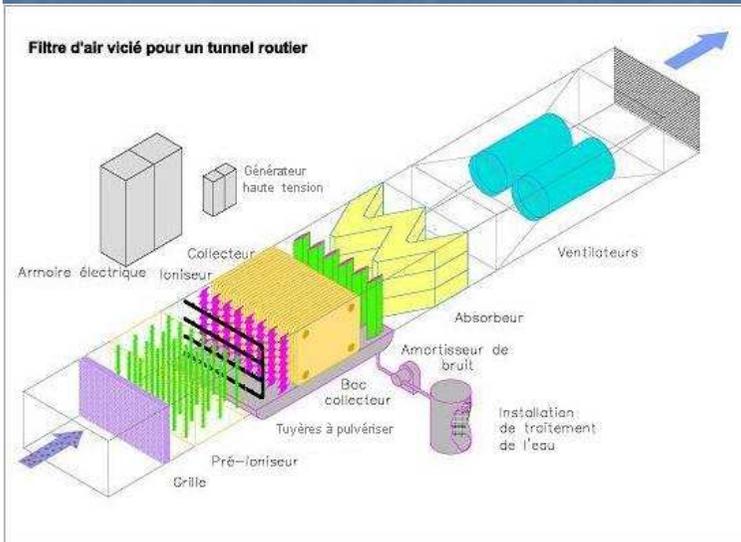
Poussée = 1500 N





Le même, en cours de montage

Traitement de l'air



Poste de contrôle A43



Poste de contrôle M30
(Madrid)

10- Quelques mots sur la protection de l'environnement

Critère	Quelques solutions
Consommation d'énergie	Optimisation de la conception ventilation / génie civil Optimisation des principes de fonctionnement de la ventilation
Pollution au niveau des têtes et unités de ventilation	Extraction massive aux têtes Rejet en hauteur
Nuisances sonores - Bruit des machines	Choix des caractéristiques des ventilateurs (vitesse de rotation) Mise en place de silencieux

Les tunnels ferroviaires

Développement du trafic ferroviaire : tunnels construits et mis en service en 2nd partie du 19^{ème}, puis dans les années 1980 (fin), 1990, 2000, 2010...2020 ?

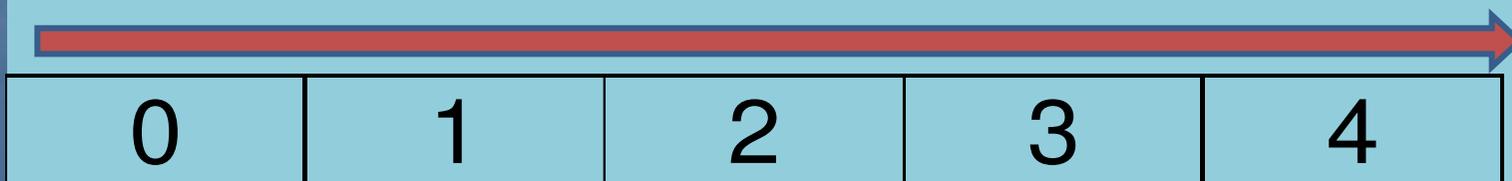


Métros
Tunnels construits et mis en service de 1900à....2030 et ?

Type de tunnel	Ventilation sanitaire	Désenfumage	Décompression	Refroidissement
Routiers 	4	4	0	0
Ferroviaires 	2	3-4	4	1-3
Métro 	2	3-4	2	1-3
Canaux 	3	2-3	0	0

Pas de besoin

besoin important

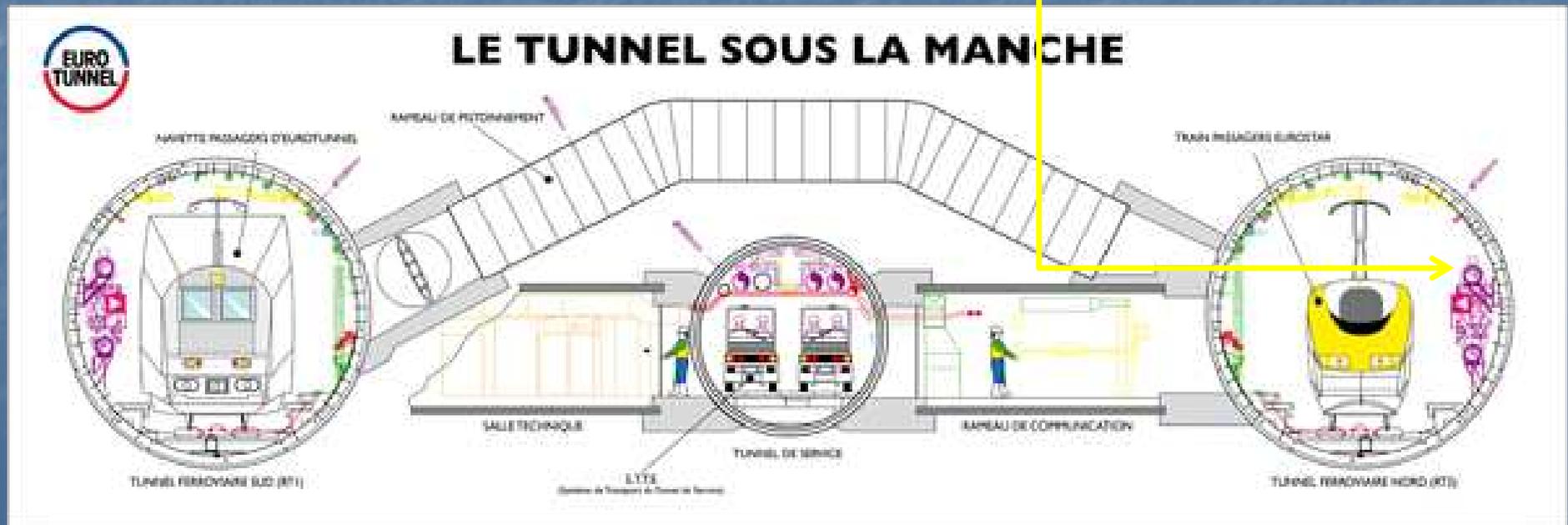


Les principes de ventilation des tunnels ferroviaires

- **En situation normale d'exploitation**, rechercher une ambiance pas trop poussiéreuse et une température raisonnable en tunnel (question des « longs tunnels »)
- **En situation normale d'exploitation**, limiter la pression et les variations de pression en tunnel (question des « longs tunnels ») liées au trafic ferroviaire
- **En cas d'incendie**, mettre les usagers à l'abri des fumées
- **En cas d'incendie**, permettre l'intervention des services de secours

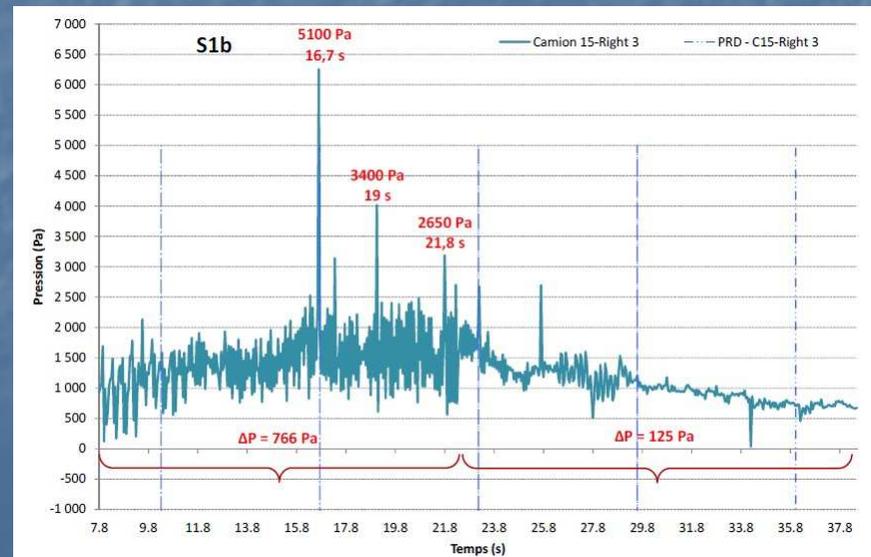
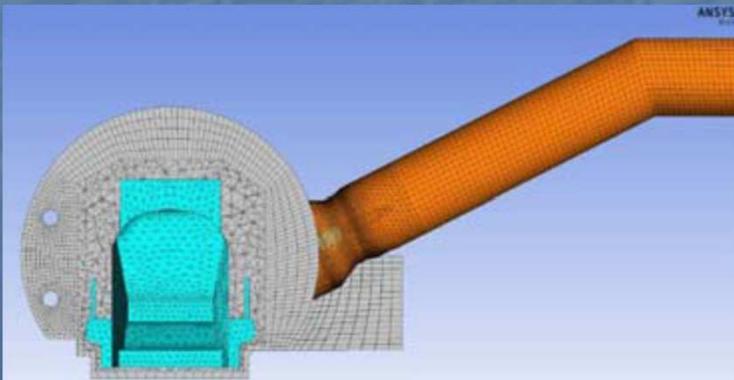
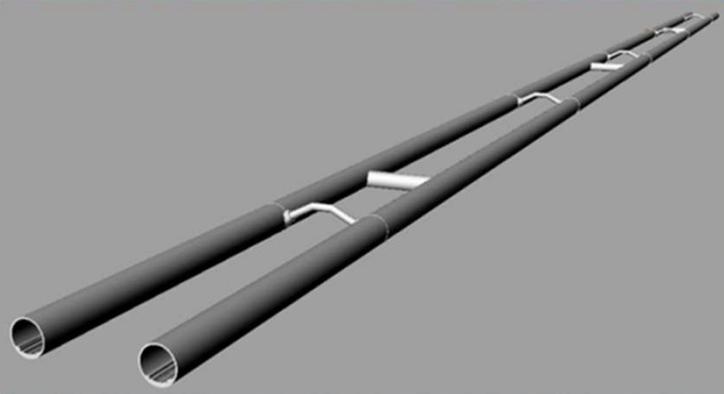
Les principes de ventilation des tunnels ferroviaires

- **En situation normale d'exploitation**, rechercher un ambiance pas trop poussiéreuse (poussières métalliques, poussières de béton...) et une température raisonnable en tunnel
 - Ventilation
 - Refroidissement
- ...exemple



Les principes de ventilation des tunnels ferroviaires

- En situation normale d'exploitation, limiter la pression,
 - puits de décompression,
 - rameaux de pistonement
- ...exemple du tunnel sous la Manche



Les principes de ventilation des tunnels ferroviaires

En cas d'incendie...la REGLEMENTATION FRANCAISE

Réseau Ferré National EPSF	Transports Publics Guidés STRMTG
SNCF Réseau	Métros, RER, Tramways, Autobus à guidage optique, etc ..
Dispositif réglementaire (loi, décrets, arrêtés) et surtout : Instruction Technique 98-300 du 08.07.1998	Dispositif réglementaire (loi, décrets, arrêtés) et surtout : Arrêté du 22.11.2005 avec Instruction Technique
Ouvrages couverts de 400 m à 10 km ou 5 km si autoroute ferroviaire N'est pas tunnel si ouverture continue sur l'extérieure > 1/5 Surface m ² radier	Ouvrages couverts dont L > 100 m N'est pas tunnel si ouverture continue sur l'extérieure > 1/5 Surface m ² radier

Objectif de sécurité : **CONTRÔLER LES FUMÉES EN CAS D'INCENDIE**

Système de **ventilation longitudinale** pour préserver un des côtés hors fumée



- Réseau ferré (trains) :

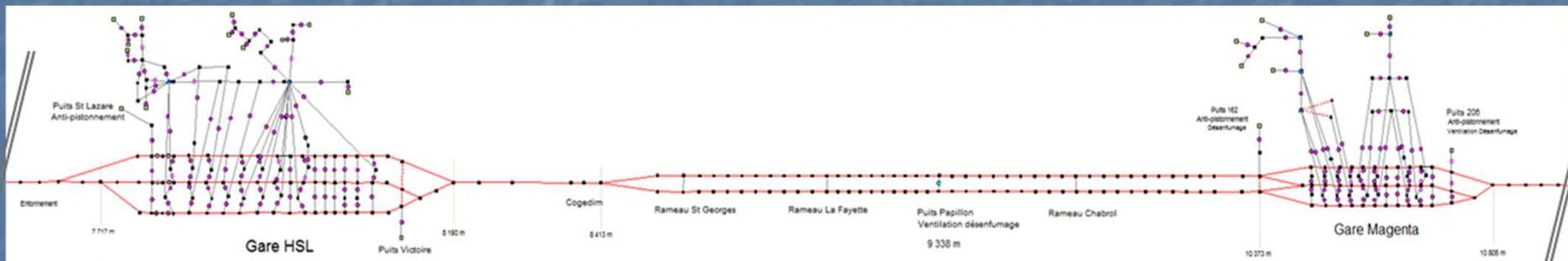
- . Tunnels urbains si $L > 400$ m
- . Tunnels à voyageurs ou mixtes : si $L > 5$ km
et si MD ou trains standard
- . Pas de longueur minimale entre 2 extractions

- Transports publics guidés (métro) :

- . Tunnels urbains si $L > 300$ m
- . Migration des fumées sur longueur maximale de 800 m

Quelques exemples

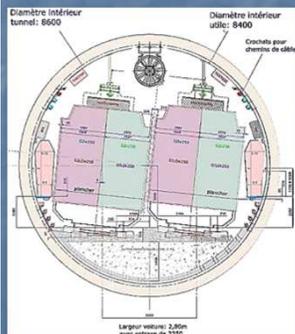
Schéma de ventilation (désenfumage) d'un tunnel ferroviaire similaire au schéma de ventilation longitudinal des tunnels routiers

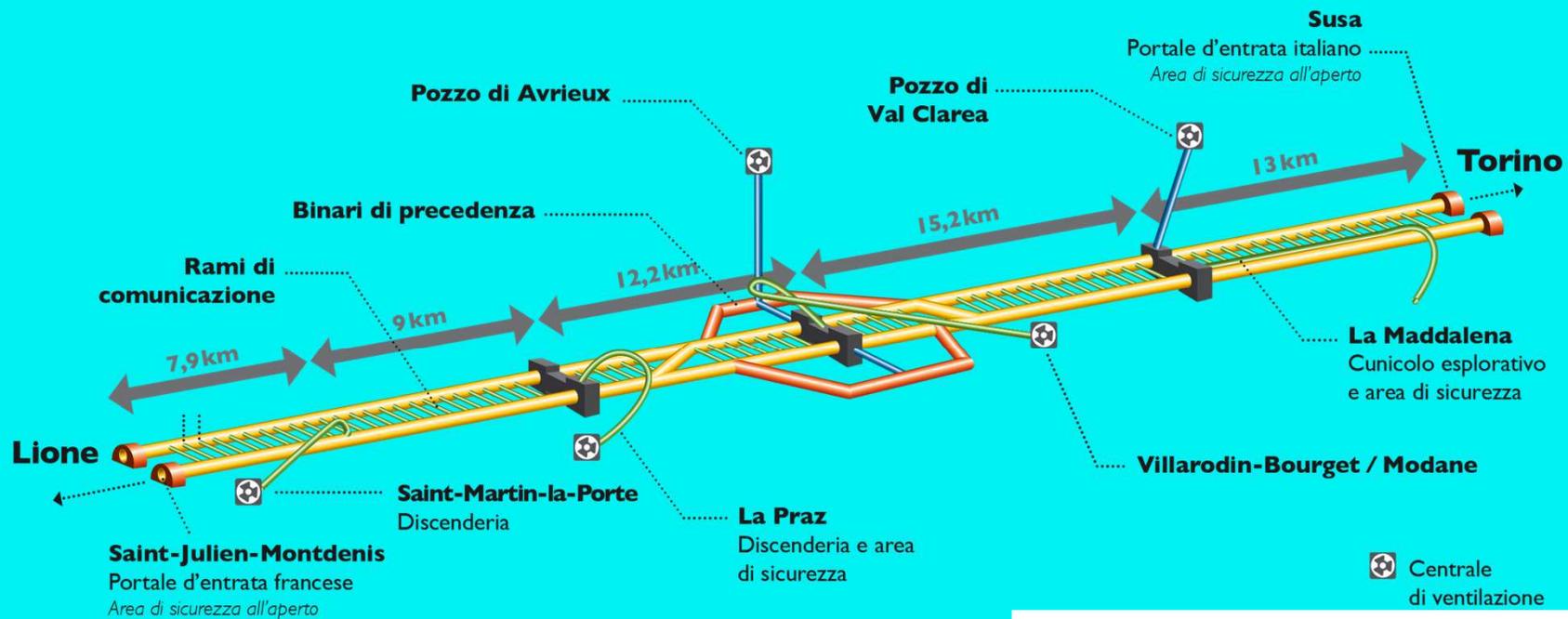


Gare Hausmann Saint Lazare

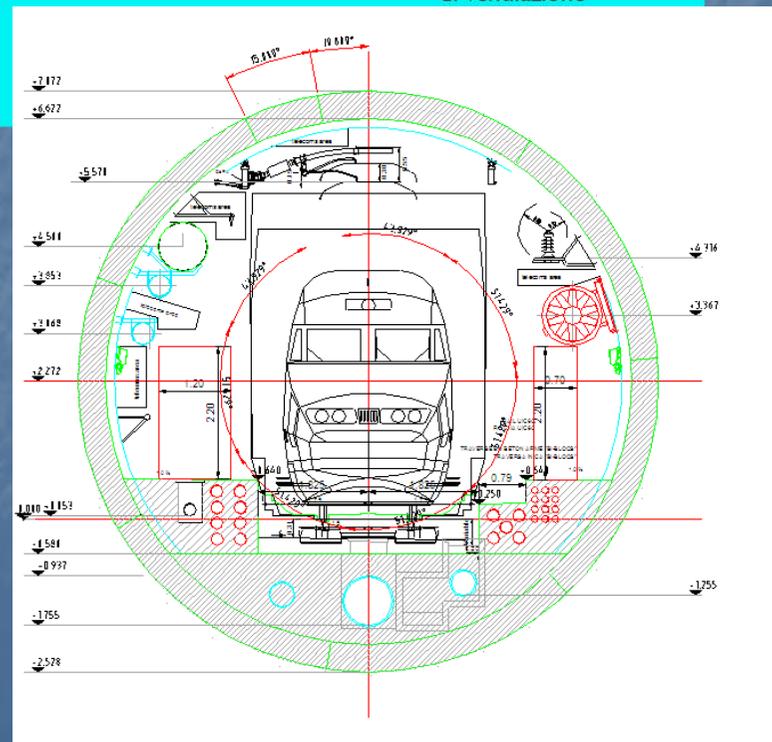
Schéma 1D Eole existant

Gare Magenta





Lyon-Turin Ferroviare,
 le tunnel de base
 (projet)



Les tunnels ferroviaires

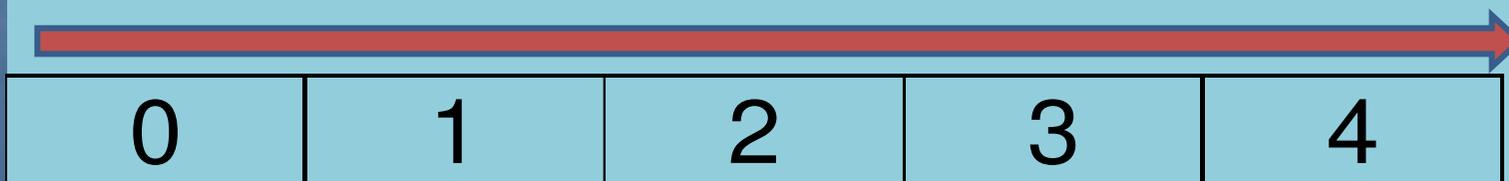
Conclusion : impact de la ventilation sur le génie civil

- Puits de ventilation (désenfumage)
- Unités de ventilation souterraines
- Unités de ventilation extérieures
- Usines de refroidissement
- Puits ou rameaux de décompression

Type de tunnel	Ventilation sanitaire	Désenfumage	Décompression	Refroidissement
Routiers 	4	4	0	0
Ferroviaires 	2	3-4	4	1-3
Métro 	2	3-4	2	1-3
Canaux 	3	2-3	0	0

Pas de besoin

besoin important



Les tunnels canaux



Développement du trafic fluvial : tunnels construits au 19^{ème},
Rénovations 2000, 2010...2020 ?

Les tunnels canaux (UK et France)

UK navigable canal tunnels



French navigable canal tunnels



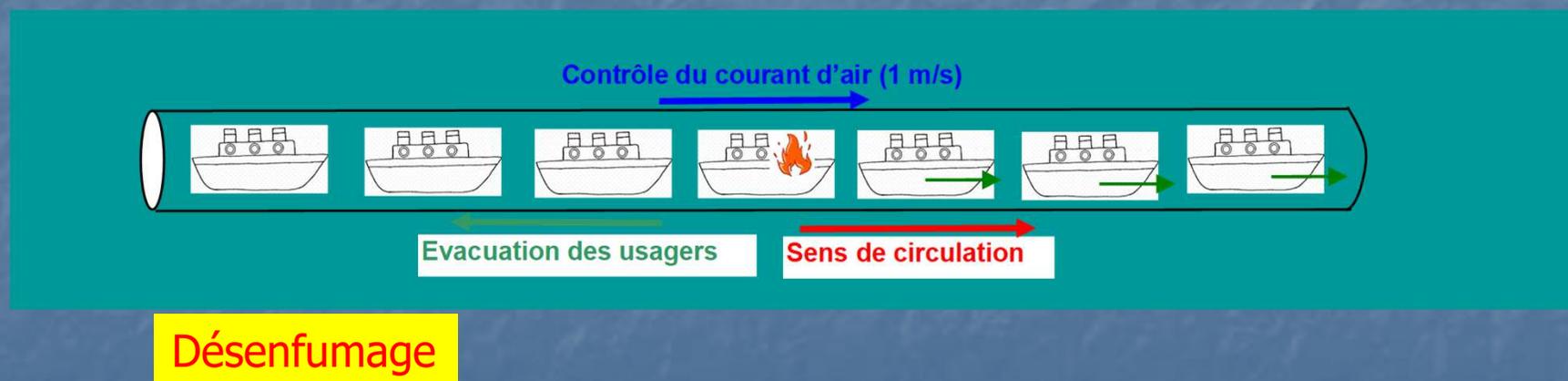
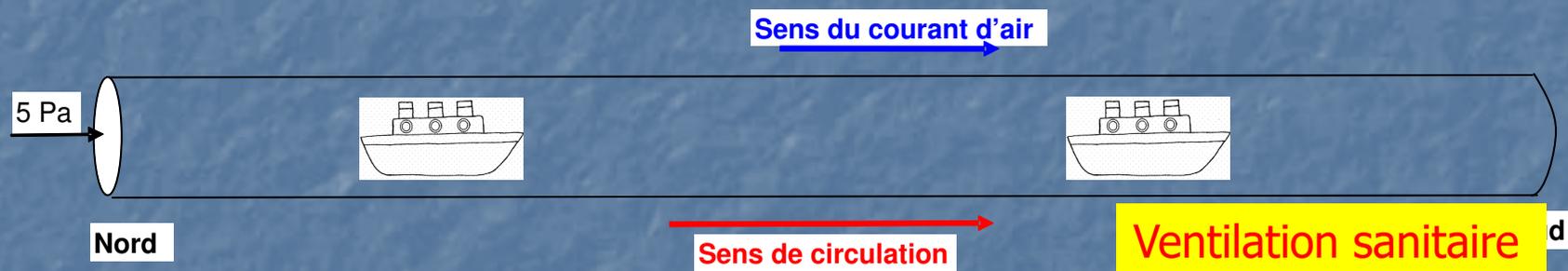
Class 1 : $L < 350$ m

Class 2a : $350 < L < 1000$
Low traffic

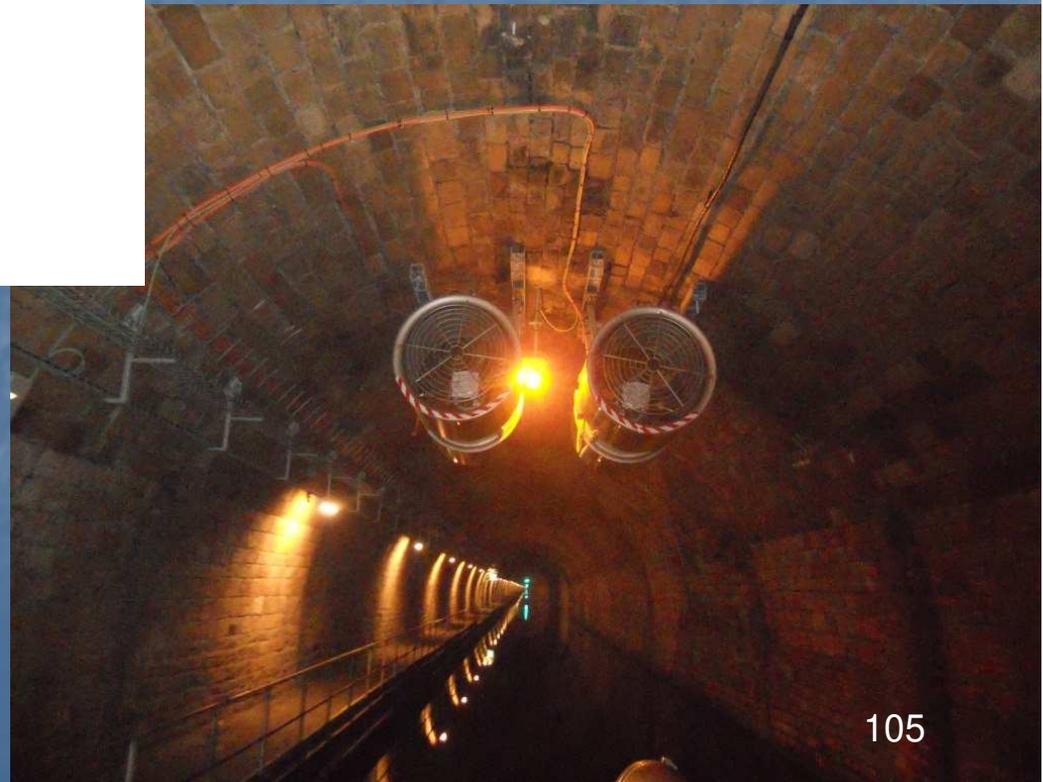
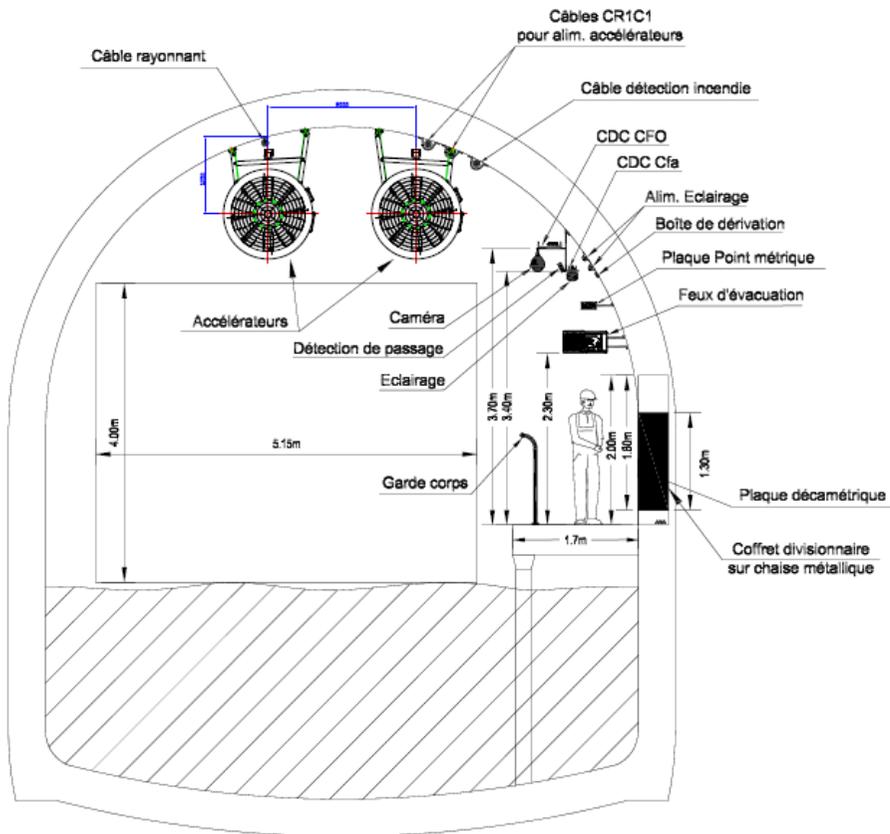
Class 2b : $350 < L < 1000$
High traffic

Class 3 : $L > 1000$ m

Règles en France (VNF) : FRT (Fascicule de Recommandations Techniques pour la Sécurité des tunnels canaux (mars 2013)



Installation d'accélérateurs dans un tunnel canal



Les tunnels canaux

Conclusion : impact de la ventilation sur le génie civil

- Ancrages pour accélérateurs

Conclusion générale – impact de ventilation et de l'aéraulique sur le génie civil

Tunnels routiers



Gaines

Puits de ventilation

Unités (usines) de ventilation

Bossages (accélérateurs)

Ancrages en tunnel

Tunnels Ferroviaires



Puits (désenfumage, décompression)

Unités de ventilation, usines de refroidissement

Rameaux de pistonnement

Ancrages en tunnel

Tunnels canaux

Ancrages en tunnel

Quelques mots sur la ventilation en creusement



Quelques mots sur la ventilation en creusement

Risques :

gaz toxiques, poussière, température

Contraintes :

travaux en cours, espace confiné

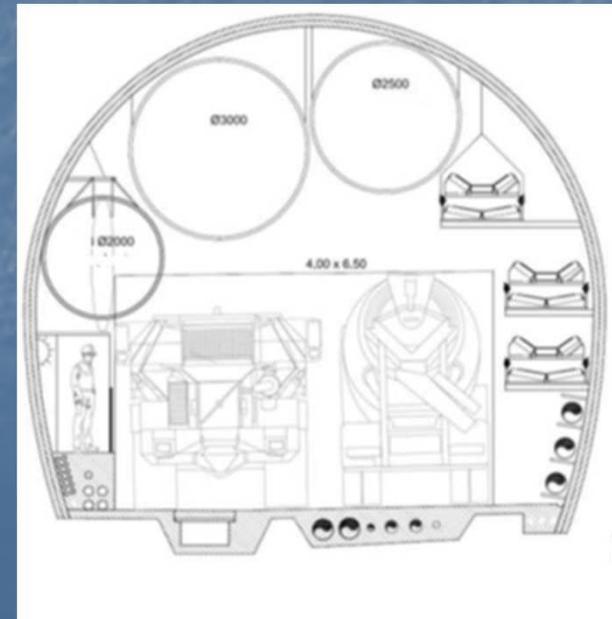
Donnée fondamentale : process de creusement

Règles de dimensionnement (recommandations AFTES)

Poussières et gaz : 300 l/s par m² et $v_{\min} = 0.3$ m/s

Dilution des émissions diesel: 50 l/s par cheval-vapeur

Courant d'air longitudinal: entre 0.5 m/s and 1.5 m/s



Merci pour votre attention

