

L'état actuel du projet de la ventilation du tunnel de base de Brenner entre l'Autriche et l'Italie

M. Ferrazzini¹, C. Rudin¹, J. Shaha¹, R. Galler²
 HBI Haerter Ltd¹., Geoconsult Consulting Engineers²

Résumé

L'élément clé de la ligne de chemin de fer Brenner, allant de Munich à Verona, est le Tunnel de Base de Brenner (BBT), actuellement en phase de planification et mesurant environ 55 km.

Le document suivant apporte une vue d'ensemble de l'état actuel du système de ventilation du Tunnel de Base de Brenner. Le système de ventilation du tunnel garantit que les buts de la ventilation, basés sur les conditions de l'opération, sont atteints pour l'état normal, l'état de maintenance et l'état d'urgence. De cette manière, le système de ventilation garantit que la température et l'humidité de l'air du tunnel pendant le fonctionnement normal et la qualité de l'air pendant les travaux de maintenance remplissent les exigences pendant le fonctionnement du tunnel. Au cas où un train en feu s'arrêterait dans le tunnel, le système de ventilation garantit que les passagers sont protégés de la fumée dans un refuge jusqu'à leur évacuation. Le design du système de ventilation du Tunnel de Base de Brenner résulte également du savoir-faire de Swiss AlpTransit Projects (Tunnel de Base du Gotthard et Tunnel de Base du Loetschberg).

Abstract

The ventilation system of the Brenner base tunnel between Austria and Italy : present status of the design

The key element of the Brenner railway line from Munich to Verona is the currently planned Brenner Base Tunnel (BBT) with a length of about 55 km. The following paper provides an overview of the current status of the planned tunnel ventilation system for the Brenner Base Tunnel. The tunnel ventilation system ensures that the ventilation goals, based on the requirements of operation, are achieved for the normal, maintenance and emergency mode. In this way, the tunnel ventilation system ensures that the temperature and humidity of the tunnel air during normal operation and the quality of the tunnel air during maintenance work fulfil the requirements during operation of the tunnel. For the eventuality that a burning train stops in the tunnel, the tunnel ventilation system ensures that the passengers are protected from smoke in a safe place up to their evacuation. The design of the tunnel ventilation system for the Brenner Base Tunnel includes the know-how of the Swiss AlpTransit Projects (Gotthard Base Tunnel and Loetschberg Base Tunnel).

1 - Introduction

Diverses conditions doivent être respectées pour le concept de la ventilation lors de la phase de fonctionnement du Tunnel de Base de Brenner. D'une part il doit être garanti que la température du tunnel permet un fonctionnement fiable et de ce fait sûr du système de tunnel. A cette fin, les valeurs de température et d'humidité doivent être limitées. D'autre part les cas d'accidents (incendie dans un train par exemple) doivent être pris en compte pour déterminer un concept approprié de ventilation de secours. Enfin, une ventilation adéquate doit être assurée pendant les travaux de maintenance dans le tunnel.

Ce document contient une vue d'ensemble sur le système de ventilation actuellement prévu par le groupe de planification du Tunnel de Base de Brenner (PGBBT) dans le cadre de la planification UVE et de la préparation technique du projet. Les sujets suivants sont traités :

- exigences les plus importantes pour la ventilation,
- vue d'ensemble actuelle de l'état du concept de la ventilation,

- calculs aérodynamiques et thermodynamiques.

Puisque la planification du projet n'est pas terminée, on ne peut exclure que certains éléments du tunnel ou du système de ventilation puissent changer avec l'avancement du projet.

2 - Description du tunnel de Brenner

2.1 - Description du tunnel et données principales

Le Tunnel de Base de Brenner planifié entre Innsbruck et Franzensfeste est l'élément clé de la ligne ferroviaire Munich-Verona. Le tunnel se compose de deux tubes à rail unique, avec une longueur totale de 55'410 m pour le tube ouest, et de 55'140 m pour le tube est. Les portails du tunnel sont longitudinalement décalés afin d'éviter la recirculation de l'air. La Figure 1 schématise les éléments principaux du système du tunnel :

- 3 stations multifonctionnelles (MFS déviation Innsbruck, MFS Steinach, MFS Wiesen), contenant une station d'urgence, une traversée-jonction, et

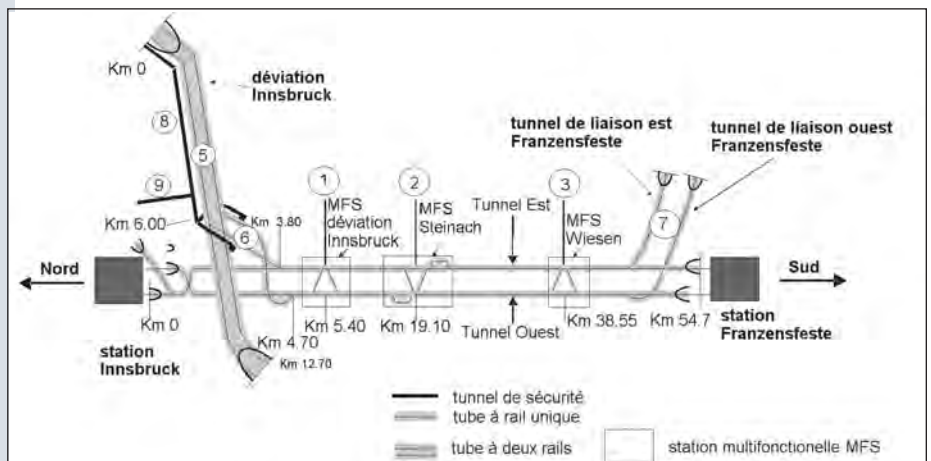


Figure 1 - Description schématique du tunnel, commentaires en texte



une voie de dépassement (seulement à la MFS Steinach)

- les tunnels de déviation et les tunnels de liaison du Tunnel de Base (numéros 5, 6) à Innsbruck et les tunnels de liaison est et ouest de Franzensfeste (numéro 7)
- 3 tunnels d'accès (numéros 1, 2 et 3) au MFS
- les rameaux de communication de 35 m de long à intervalles réguliers de 333 m entre les 2 tubes principaux et les rameaux de communication mesurant jusqu'à 220 m entre les tunnels reliés à Innsbruck,
- les passages de secours le long des tunnels reliés à Franzensfeste.

Le Tunnel de Base présente un gradient maximum de 8.3 ‰. Cependant, une réduction du gradient du tunnel à 7.4 ‰ est planifiée. Le portail d'Innsbruck est situé à 586 m au-dessus du niveau de la mer et celui de Franzensfeste à 742 m au-dessus du niveau de la mer.

2.2 - Mode de fonctionnement

Trois modes de fonctionnement principaux ont été définis pour le Tunnel de Base de Brenner :

Mode normal :

Le Tunnel de Base de Brenner est prévu pour un trafic hebdomadaire de 264 trains, 140 dans la direction nord-sud (21 trains de voyageurs) et 124 dans la direction sud-nord (21 trains de voyageurs). En mode normal la circulation nord-sud a lieu dans le tube est et la circulation sud-nord dans le tube ouest.

Mode de maintenance :

Deux scénarios sont définis :

- Travail de maintenance dans le tunnel est ou dans le tunnel ouest. La circulation a lieu dans le tube opposé en alternant les trains en direction du sud et les trains en direction du nord.
- Travail de maintenance dans une section particulière du tunnel. Trois secteurs de maintenance sont définis : entre Innsbruck et la MFS de Steinach, entre la MFS de Steinach et la MFS de Wiesen et entre la MFS de Wiesen et Franzensfeste. Dans ce mode de fonctionnement, seuls les secteurs de maintenance sont fermés au trafic ferroviaire. Les trains sont alors redirigés vers la section du tunnel parallèle au secteur de maintenance.

Mode d'urgence :

Selon l'emplacement de l'urgence, trois scénarios sont envisagés :

- Evènement dans la station d'urgence. Les personnes se rendent dans la zone d'attente sécurisée de la station.
- Evènement hors de la station d'urgence. En cas d'accident dans le tube principal, le tube opposé devient une location sûre et est atteint par des portes ouvertes dans les rameaux de communication. En cas d'accident dans le tunnel de déviation Innsbruck, le tunnel de sécurité sert de location sûre (voir Figure 1). Dans le cas d'un accident dans les tunnels de liaison de Franzensfeste, les personnes doivent se diriger vers les passages de secours.

3 - Exigence de la ventilation du tunnel

3.1 - Exigences de fonctionnement

Les règles importantes pour la ventilation respectant les exigences de fonctionnement peuvent être spécifiées comme suit :

- Mode normal : échange d'air suffisant pour respecter les limites de température et d'humidité
- Mode de maintenance : qualité de l'air acceptable pendant les travaux
- Mode d'urgence : la ventilation permet la phase de sauvetage en créant des zones d'attente sûres et des voies de secours.

3.2 - Objectifs de la ventilation

Les objectifs de la ventilation dépendent du mode de fonctionnement. Pour les trois modes de fonctionnement ces objectifs sont les suivants :

Mode normal

- Température maximale dans les tubes principaux, traversées-jonctions et tunnels de liaison : 35°C.
- Taux d'humidité maximal dans les tubes principaux, traversées-jonctions et tunnels de liaison : 70 %.

Mode de maintenance

- Un écoulement d'air suffisant doit être fourni par la ventilation, cependant la vitesse de l'air dans le tube de maintenance ou dans le secteur en travaux ne doit pas dépasser la valeur de 5 m/s.
- Les concentrations de gaz polluants (CO, NO, NO₂, Méthane) et de particules dans l'air ne doivent pas dépasser les valeurs limites et le taux d'oxygène doit être supérieur à 19 %.
- La variation de la pression à court et long terme ne doit pas dépasser les normes de confort et de sécurité (1.5 kPa en 4s et 10 kPa en temps de travail).

- La température pendant les périodes de travail longues et courtes ne doit pas dépasser respectivement 30°C et 35°C.

Mode d'urgence

- La ventilation en mode d'urgence doit avant tout faciliter les phases de sauvetage individuel et d'évacuation en créant des zones de refuge sûres et des voies de secours.
- Deuxièmement, la propagation de fumée près des refuges doit être aussi minime que possible. En cas d'accident dans la station d'urgence, la propagation de fumée dans les tunnels de sauvetage doit être évitée et en cas d'accident hors de la station d'urgence, la propagation de la fumée dans les rameaux de communication ouverts doit être évitée en assurant un flux d'air contraire suffisant (≥ 2 m/s).
- Troisièmement, la ventilation doit faciliter le travail de l'équipe de sauvetage.
- Finalement la propagation de fumée aux endroits sensibles (rameaux de communication fermés, portails, tunnels de liaison et de déviation) doit être aussi réduite que possible.

4 - Concept de ventilation du tunnel

4.1 - Equipement principal de la ventilation

Le diagramme de gauche de la Figure 2 schématise l'équipement de ventilation de la station multifonctionnelle. L'air frais et l'air vicié sont fournis et extraits par trois puits d'accès (un pour chaque station multifonctionnelle) à l'entrée desquels trois stations de ventilation fournissent les flux requis. Plusieurs clapets de ventilations servent à diriger l'air frais et l'air vicié, selon le mode de ventilation concerné. L'air frais peut être soufflé dans les tubes ouest et est par six portes latérales, lesquelles comprennent des ouvertures de ventilation, ou aux zones d'approvisionnement dans les secteurs de traversées-jonctions. Dans le cas d'un incendie ces portes et les canaux de ventilation servent de voies d'évacuation. L'air rejeté peut être extrait par le milieu des stations d'urgence des deux tubes. Les rameaux de communication situés entre les tubes principaux (rameaux courts) et entre les tunnels de liaison d'Innsbruck (rameaux longs) sont également équipés de matériel de ventilation pour assurer un échange d'air minimal entre les rameaux de communication et le tube de la voie ferroviaire (Figure 2 à

droite) Cet échange d'air doit limiter la température dans le rameau de communication afin d'assurer le bon fonctionnement de l'équipement technique qui y est installé. Le système de ventilation des rameaux courts se compose de deux tubes de ventilation (munis de ventilateurs) et d'une ouverture de ventilation, le système de ventilation des rameaux longs se compose d'un long tube de ventilation (muni de 2 ventilateurs) et de deux ouvertures de ventilation.

Une redondance des ventilateurs de 100 % est fournie pour chaque station de ventilation dans les MFS ainsi que pour les ventilateurs des rameaux de communication. Le Table 1 résume les caractéristiques principales des ventilateurs axiaux utilisés pour la ventilation du tunnel dans les MFS.

4.2 - Ventilation pendant les mode normal et maintenance ainsi qu'en cas d'accident

4.2.1 - Fonctionnement de la ventilation du tunnel en mode normal

La ventilation pendant un fonctionnement normal est assurée par un échange d'air naturel dû à l'effet de pistons des trains circulant dans les deux tubes ferroviaires.

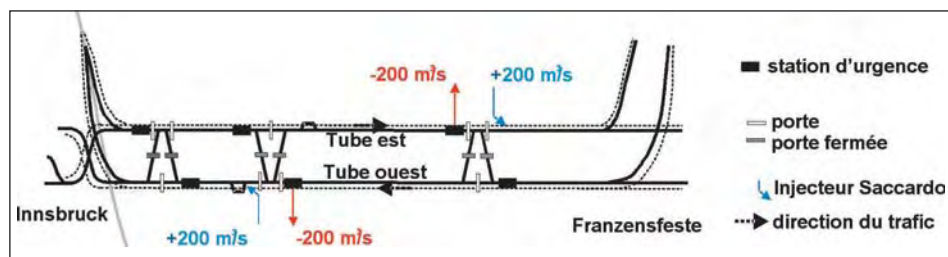


Figure 3 - Schéma de la ventilation en mode normal avec un flux d'air frais forcé permettant le refroidissement du tunnel

Dans le cas où la ventilation naturelle s'avérerait insuffisante (c-à-d lorsque les exigences de ventilation spécifiées sous 3.2 ne sont pas respectées), de l'air frais peut être fourni dans les tubes ferroviaires et l'air chaud et humide peut être extrait de ces tubes en utilisant l'équipement de la ventilation situé dans les stations multi-fonctionnelles (figure 3).

4.2.2 - Fonctionnement de la ventilation du tunnel pendant les travaux de maintenance

Travaux de maintenance dans un tube entier

Le trafic a lieu dans le tube opposé dans les deux directions. Dans le tube en main-

tenance on suppose qu'il y a des émissions de diesel. Les portes des rameaux de communication sont fermées afin que les deux tubes ne soient reliés de manière aérodynamique que par les tunnels de liaison à Innsbruck et à Franzensfeste. La ventilation est caractérisée par (Figure 4 à gauche) :

- Approvisionnement ou extraction dans les stations d'urgence et approvisionnement d'air aux points d'approvisionnement ou les appareils Saccardo dans les MFS de Steinach et de Wiesen afin de créer un flux d'air longitudinal dans toutes les sections du tunnel
- Séparation du flux d'air dans les sections du tunnel à l'aide de portes

Travaux de maintenance dans une section particulière du tunnel

Les trains du tube en maintenance sont redirigés vers le tube opposé à travers les traversées-jonctions. Dans le secteur en maintenance se produisent des émissions de diesel. Les portes des galeries des traversées-jonctions sont ouvertes en cas de besoin. La ventilation est caractérisée par (voir Figure 5) :

- Approvisionnement d'air au point d'approvisionnement, par les appareils Saccardo ou les portes d'évacuation ouvertes dans les MFS de Steinach et de

	débit [m³/s]	puissance el. [kW]
MFS de déviation Innsbruck		
- approvisionnement	215	1'186
- extraction	250	1'929
MFS Steinach		
- approvisionnement	215	1'556
- extraction	250	2'254
MFS Wiesen		
- approvisionnement	215	1'566
- extraction	250	2'221

Table 1 : Caractéristiques des ventilateurs des stations de ventilation dans les MFS

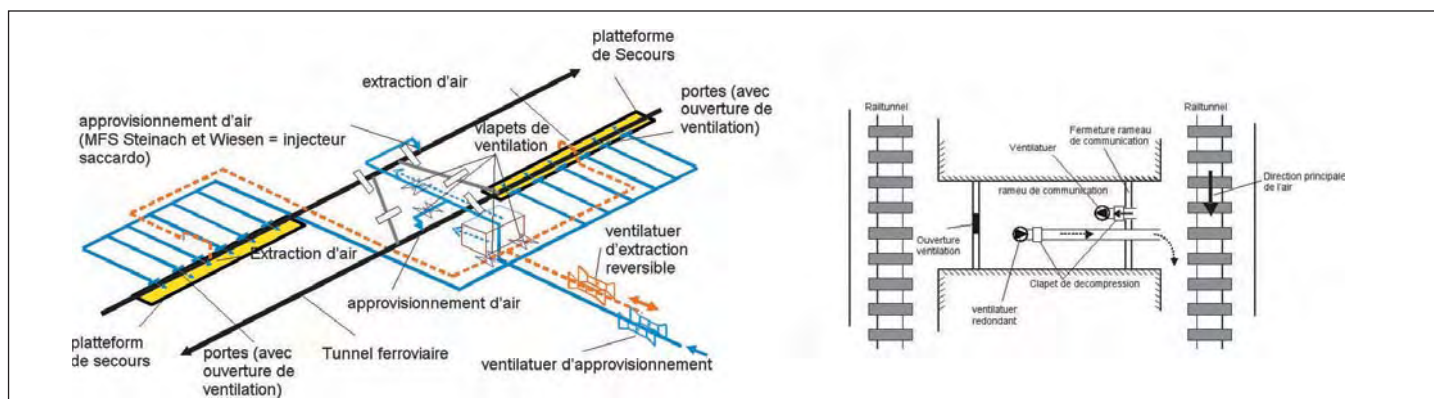


Figure 2 - à gauche : schéma de la ventilation dans la station d'urgence montrant le transport d'air frais (en bleu) et d'air rejeté (en pointillés oranges). À droite : schéma de l'équipement de la ventilation dans les rameaux de communication. Les flèches montrent le flux d'air du système de ventilation dans cette zone en fonctionnement normal

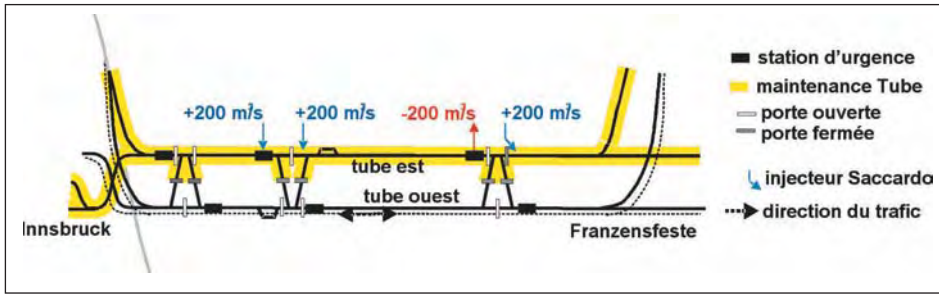


Figure 4 - Exemple de la ventilation pendant des travaux de maintenance dans le tube est et de trafic ferroviaire dans le tube ouest

Accident hors des stations d'urgence

Le train en feu s'arrête en-dehors des stations d'urgence. La ventilation d'urgence est caractérisée par (voir Figure 7) :

- Au-dessus des MFS de Steinach et de Wiesen, de l'air frais est soufflé dans le tube non accidenté pour produire une surpression.
- Les ouvertures de ventilation dans les rameaux de communication sont ouvertes afin de permettre un flux d'air dirigé du tube opposé vers le tube accidenté, dû à la surpression dans le tube opposé (pour empêcher la propagation de fumée dans les rameaux de communication munis de matériel technique).
- Mise en marche de ventilateurs de jet aux portails du tube opposé pour améliorer la ventilation d'urgence en cas d'incendie proche des portails.
- Les passagers s'évadent par les rameaux de communication dans le tube opposé, épargné par la fumée et la chaleur. L'évacuation des passagers a lieu dans le tube opposé grâce à des trains de voyageurs vides.

5 - Résultats des recherches

5.1 - Questions d'aérodynamique

Plusieurs recherches aérodynamiques ont été effectuées afin de déterminer les paramètres aérodynamiques clés selon lesquels certains éléments de construction civile doivent être conçus (section transversale du tunnel, gradient du tunnel, zone du portail). Une sélection de ces recherches, de leurs résultats et des effets sur le design du tunnel est présentée ici.

5.1.1 - Recherche du confort tympanique dans un train de voyageurs

Des calculs aérodynamiques ont été effectués pour contrôler si les limites médicales

Wiesen, afin de créer un flux d'air longitudinal dans le secteur en maintenance.

- Séparation du flux d'air dans les sections du tunnel à l'aide de portes

4.2.3 - Fonctionnement de la ventilation du tunnel dans le cas d'un accident (incendie dans un train)

Accident dans une station d'urgence

Le train en feu s'arrête dans l'une des six stations d'urgence du tunnel de base. La ventilation d'urgence est caractérisée par (voir Figure 6) :

- Dans la station d'urgence contenant le train en feu, de l'air frais est fourni par les portes d'évacuation ouvertes et la fumée est extraite par le point d'extraction d'air.
- Les passagers s'évadent par les platefor-

mes d'urgence situées derrière les portes d'évacuation ouvertes dans la zone protégée des MFS. Les passagers traversent la zone sûre vers la station d'urgence du tube opposé, où ils sont évacués par des trains de voyageurs vides.

- Dans les deux autres stations multifonctionnelles, de l'air frais est injecté dans le tube non accidenté afin de produire une surpression.
- Les ouvertures de ventilation dans les rameaux de communication sont ouvertes afin de permettre un flux d'air provenant du tube opposé vers le tube accidenté, créé par la surpression dans le tube opposé (pour empêcher la propagation de fumée dans les rameaux de communication avec le matériel technique).

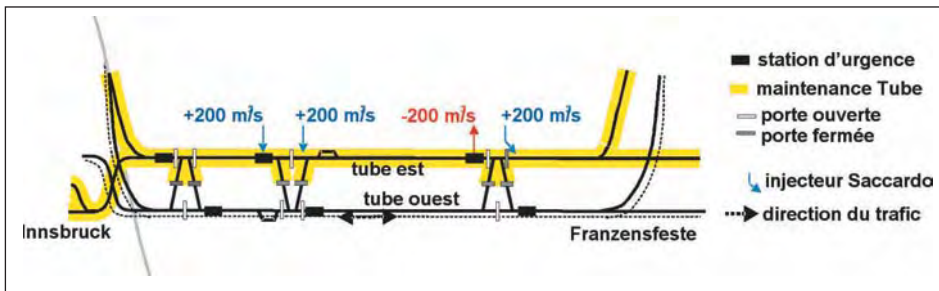


Figure 4 - Exemple de la ventilation pendant des travaux de maintenance dans le tube est et de trafic ferroviaire dans le tube ouest

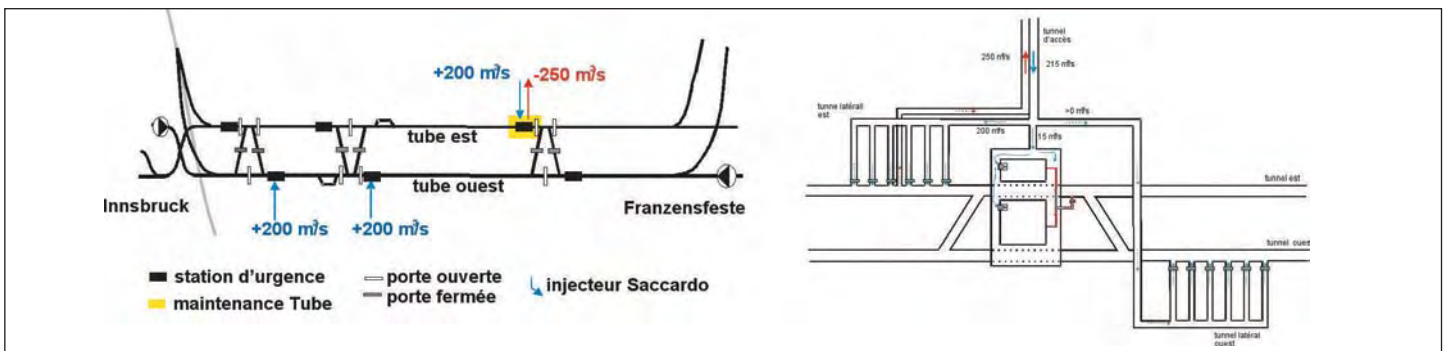


Figure 6 - Exemple de ventilation lors d'un accident dans une station d'urgence dans le tube est (MFS de Wiesen). A gauche : vue d'ensemble, à droite : détails de la station d'urgence

de la variation de pression (critère TSI : max. 10 kPa lors du passage dans le tunnel) et du confort tympanique (critères UIC : max. fluctuations de la pression de 0.5 kPa en 1s, 0.8 kPa en 3s, 1 kPa en 10s et 2 kPa en 60s) sur un train de voyageurs sont respectées pour le trafic à grande vitesse prévu. Les paramètres influents, par exemple la section transversale du tunnel, les mesures de décompression aux portails et les mesures de fonctionnement (vitesse des trains adaptée à proximité des portails), ont été examinés.

La Figure 8 montre la pression calculée à l'intérieur d'un train de voyageurs non hermétique lors du passage à travers le tunnel à la vitesse de 250 km/h et pour diverses sections transversales de tunnel. La Figure 9 montre les variations de la pression passagère pour une vitesse de 250 km/h dans un train de voyageurs hermétiquement fermé lors de son passage dans le tunnel, pour différentes sections transversales.

Les résultats des calculs montrent que le critère TSI peut être rempli pour les zones du tunnel étudiées et pour la vitesse planifiée de 250 km/h d'un train de voyageurs. De plus, les résultats des calculs concernant le confort tympanique montrent que le critère le plus strict est celui pour le plus long intervalle de temps (fluctuations max. de pression de 2 kPa en 60s). Cette limite n'est généralement pas satisfaite par les différentes sections transversales du tunnel et les mesures de décompression au portail étudiées (puits de décompression, section transversale élargie au niveau du portail). Le critère de l'intervalle de temps le plus long peut être satisfait avec les restrictions opérationnelles suivantes : un ralentissement précoce dans le tunnel, une accélération réduite après l'entrée du tunnel et également un ralentissement réduit avant la sortie et la réduction de la vitesse de sortie du tunnel.

5.1.2 - Recherches sur la puissance de traction d'un train de fret

Le concept du fonctionnement du Tunnel de Base de Brenner est valable pour les trains de fret ainsi que les trains de voyageurs. La puissance de traction du train nécessaire au passage dans le tunnel est principalement déterminée par le degré d'inclinaison du tunnel et par la résistance aérodynamique du tunnel. La puissance de traction disponible d'un train est limitée par le nombre de wagons et la puissance de la locomotive.

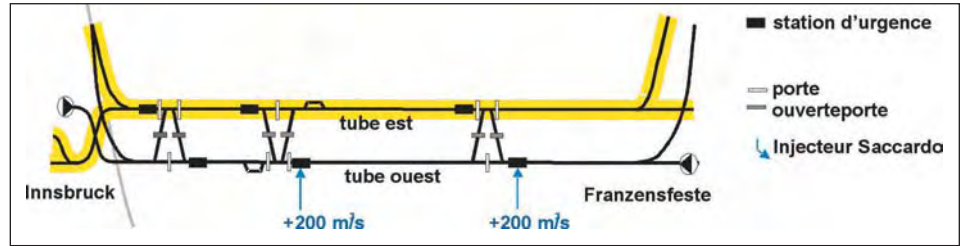


Figure 7 : Exemple de la ventilation lors d'un accident hors des stations d'urgence dans le tube est

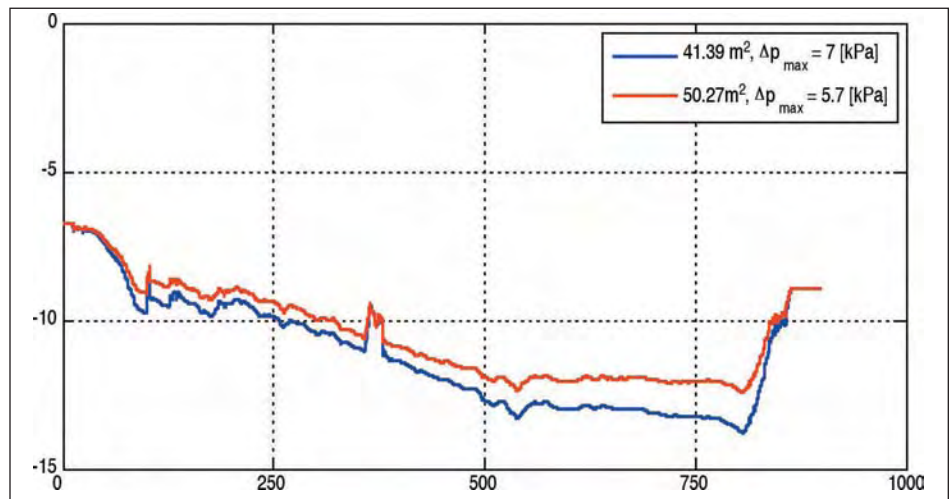


Figure 8 - Variation des pressions calculée dans un train de voyageurs non fermé (roulant à 250 km/h) lors de son passage dans le tunnel pour déterminer la conformité avec les limites de variation pression médicales

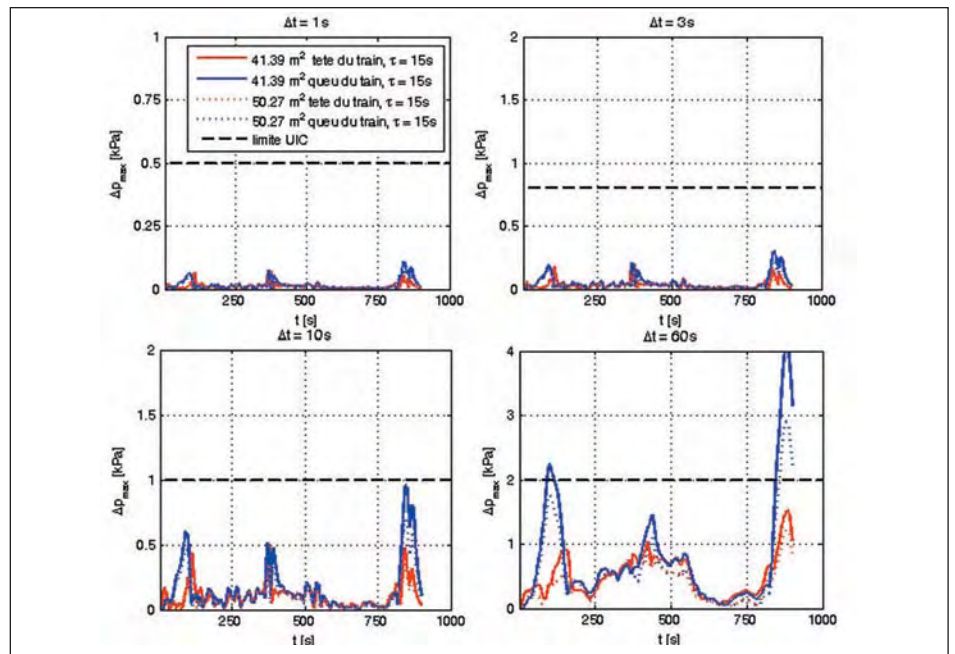


Figure 9 - Confort tympanique calculée dans un train de voyageurs fermé (roulant à 250 km/h) lors de son passage dans le tunnel pour déterminer la conformité avec les critères UIC

Sur la figure 10 la puissance de traction requise pour un train de fret lourd est représentée pour un degré d'inclinaison du tunnel de 8.3 ‰ et pour une section transversale de tunnel de 43.42 m². Les calculs montrent que la puissance de trac-

tion disponible d'un train de fret est suffisante pour rouler à 120 km/h dans le tunnel.

5.2 - La thermodynamique

Des simulations thermodynamiques ont été faites afin de déterminer si les critères

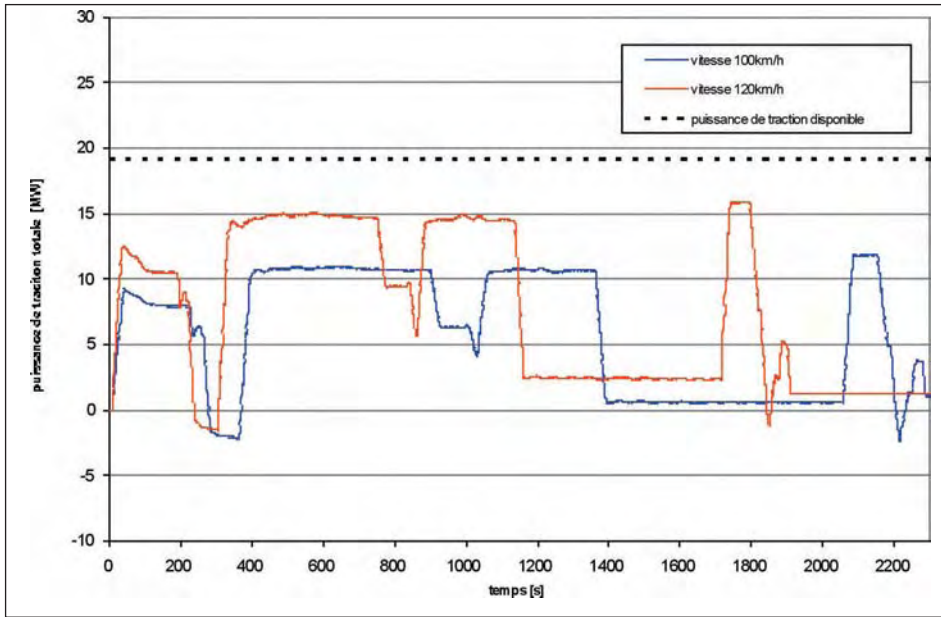


Figure 10 - Puissance de traction nécessaire pour un train de fret lourd se déplaçant à 100 km/h et 120 km/h avec un degré d'inclinaison du tunnel de 8.3‰ et pour une section de tunnel de 43.42 m²

limites du climat du tunnel sont maintenus dans le système du tunnel (voir Section 3.2).

Les conditions thermodynamiques ont été calculées pour des conditions de fonctionnement normal où les trains nord-sud roulent dans le tube est et les trains sud-nord roulent dans le tube ouest. La liste suivante résume les paramètres influents principaux :

- horaire des trains passant dans le tunnel (plusieurs types de trains)
- température de la roche le long des tubes du tunnel
- infiltration d'eau dans le revêtement du tunnel

- chaleur émise par les équipements techniques et les équipements de caténaires dans le tunnel

Les résultats de la simulation sont présentés par la Figure 11

Les profils de température nous montrent que la température augmente le long du tunnel dans la direction des trains en mouvement et diminue ensuite vers le portail de sortie. La hausse de température est principalement due au transfert de chaleur à l'air par plusieurs sources de chaleur (roche, trains, caténaires, rameaux de communication). Le flux dans les tubes du

tunnel généré par les trains en mouvement évite une accumulation locale de chaleur dans le tunnel.

L'humidité relative est liée au profil de température. A une humidité absolue constante l'humidité relative (en %, où 100 % signifie air saturé) est liée négativement à la température. Ainsi, une augmentation de la température entraîne une diminution de l'humidité relative et vice versa. Par conséquent, l'humidité relative est plus faible au milieu du tunnel, où la température est plus élevée et elle devient plus importante aux portails. L'augmentation de l'humidité relative vers les portails est donc principalement la conséquence de températures plus basses et non une indication d'un niveau plus élevé de l'humidité absolue.

De façon générale, les prédictions montrent que déjà à ce stade de l'étude, les critères de limite sont satisfaits pour une grande partie des zones du tunnel. Les conclusions principales suivantes peuvent être déduites des simulations :

Limiter l'infiltration d'eau à travers les revêtements du tunnel dépend du degré de cachetage de ceux-ci. Les simulations ont démontré la nécessité de maintenir l'infiltration de l'eau à un minimum. Trouver les mesures de réduction de cette infiltration est une tâche d'ingénierie civile.

Un paramètre qui a une influence majeure sur le climat du tunnel est la température de la roche. Les données disponibles jusqu'à ce jour sont des mesures préliminaires sur des échantillons de l'environnement géologique du futur tunnel. Afin de réduire les incertitudes des prévisions cli-

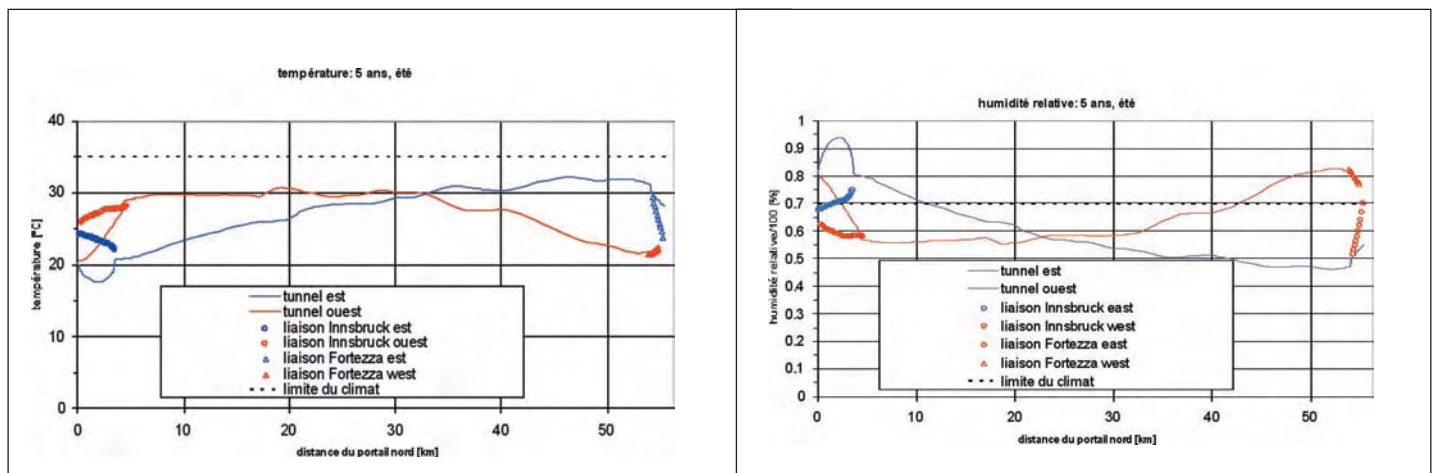


Figure 11 - Température et humidité relative dans le tunnel de base en été après 5 ans



matiques il sera important de surveiller la température de la roche ainsi que d'autres paramètres climatiques importants (tel que l'infiltration de l'eau) pendant l'avancement des travaux dans le tunnel. La réduction de l'incertitude sur ces paramètres aidera considérablement à réduire les incertitudes des prédictions climatiques faites jusque là.

5.3 - Questions de sécurité

L'objectif essentiel de ventilation dans le cas d'un train incendié dans le tunnel est de garantir un refuge sûr, par exemple une zone protégée de la fumée et du feu pour les passagers. Avec l'aide de la ventilation du tunnel ces refuges sont ventilés de manière à empêcher l'afflux de fumée. Dans le cas d'un train incendié dans la station de secours la zone protégée de la MFS sera approvisionnée avec de l'air pour produire un effet de surpression contre la plate-forme de secours. Dans le cas d'un train incendié hors de la MFS le tube opposé est injecté avec de l'air pour produire une suppression contre le tube accidenté. La conformité des objectifs de la ventilation est essentiellement influencée par l'effet de piston des trains quittant le tunnel et du train de secours arrivant lors de la phase d'auto-sauvetage. Les buts de la ventilation ont été vérifiés en simulant des scénarios d'urgence réalistes (mouvements de trains, importance de

l'incendie). En se basant sur la simulation, la vitesse du train a été optimisée en tenant compte de la ventilation d'urgence.

La Figure 12 montre les résultats d'une simulation de flux d'air à travers les portes ouvertes de deux rameaux de communications adjacents utilisés par les passagers lors d'un accident en dehors de la MFS et pendant les phases de secours externe et d'auto-sauvetage. La figure montre que le flux d'air longitudinal est influencé par les mouvements des trains dans le tube accidenté et dans le tube non accidenté.

Les recherches sur plusieurs scénarios ont montré qu'avec le système de ventilation d'urgence et avec des procédures de fonctionnement des trains optimisées, les objectifs de la ventilation sont satisfaits dans le cas d'un train en feu, indépendamment de sa position d'arrêt dans le tunnel. Lors des simulations, la propagation de fumée dans le tube accidenté a également été examinée (avec une hypothèse de 20 MW pour la puissance de l'incendie).

6 - Conclusion

Dans le cadre du projet UVE et des préparations techniques du projet, un concept approprié de ventilation du tunnel a été développé pour le Tunnel de Base de Brenner par le groupe de planification du BBT (PGBBT). Le concept de ventilation garantit en mode de fonctionnement normal, pendant les travaux de maintenance et lors d'un accident (train en feu), que les objectifs de la ventilation sont satisfaits. Avec l'aide des calculs extensifs de thermodynamique et d'aérodynamique, l'effet de la ventilation du tunnel a pu être démontré.

Le concept présenté dans cet article et les résultats des calculs montrent l'état actuel de l'avancement du projet. Il ne faut pas exclure que d'ici la finalisation du projet des adaptations devront être apportées au concept de la ventilation du tunnel, par suite de changements dans les conditions cadre sur les plans de l'ingénierie civile, de l'équipement, du fonctionnement du tunnel, etc.

7 - REFERENCES

- [1] INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC) "Measures to ensure the technical compatibility of high-speed trains" UIC-Codex 660
- [2] EN 14067-5 (European Committee for Standardization), "Bahnanwendungen – Aerodynamik – Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel", 2003

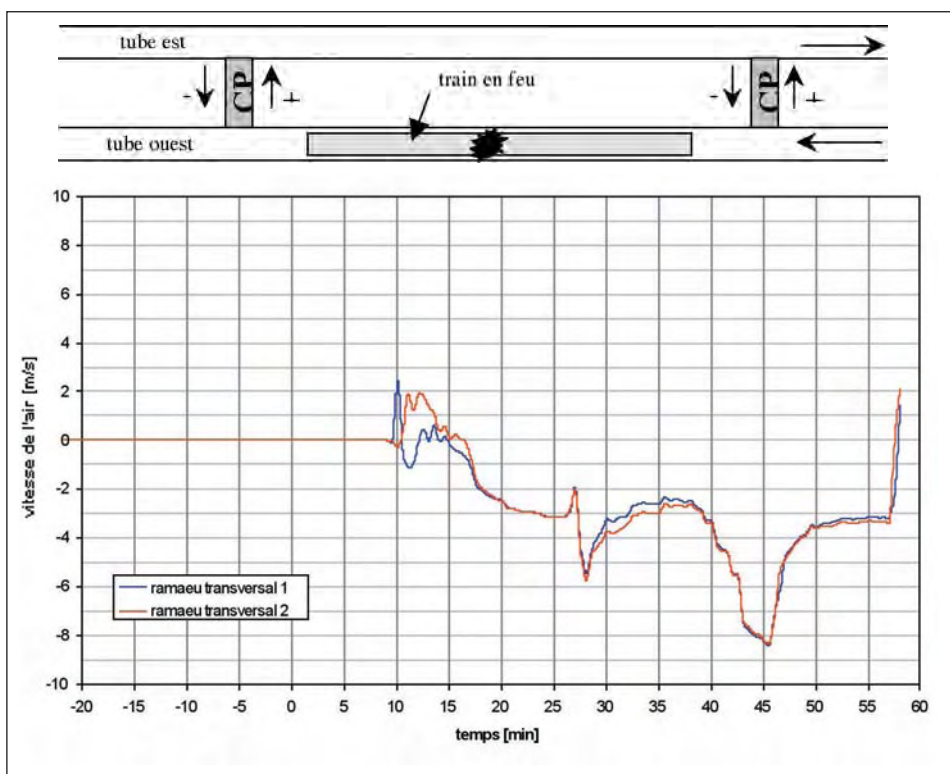


Figure 12
Flux d'air calculé à travers les portes ouvertes de rameaux de communication adjacents, utilisées pour s'évader dans le tube opposé dans le cas d'un accident hors de la station de secours