

LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Traité du 29/01/2001

Tratta comune italo-francese
Trattato del 29/01/2001

NUOVA LINEA TORINO LIONE

PARTE COMUNE ITALO FRANCESE - TRATTA IN TERRITORIO ITALIANO

Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

CUP C11J05000030001

Tecnimont

Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

PROGETTO PRELIMINARE IN VARIANTE

VENTILATION DE L'ORSIERA / VENTILAZIONE DELL'ORSIERA

NOTICE GENERALE / NOTA GENERALE

Indice	Date / Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	26/04/2010	PRIMA DIFFUSIONE / PREMIERE DIFFUSION	F.HERVE (SETEC)	M. PIHOUEE C. OGNIBENE	M. FORESTA A. MANCARELLA
A	25/06/2010	REVISIONE IN SEGUITO AI COMMENTI LTF	F.HERVE (SETEC)	M. PIHOUEE C. OGNIBENE	M. FORESTA A. MANCARELLA

Cod Doc	P	P	2	C	2	B	T	S	3	0	0	6	2	A	A	P	N	O	T	
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero					Indice	Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED / INDIRIZZO GED	C2B	//	//	40	01	60	10	01
--------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-



LTF sas - 1091 Avenue de la Boisse BP 80361 F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)

Tél.: +33 (0) 4.79.68.56.50 - Fax: +33 (0) 4.79.68.56.59

RCS Chambéry 439 556 952 - TVA FR 03439556952

Propriété LTF Tous droits réservés - Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

INDICE

1.	RIASSUNTO / SYNTHÈSE.....	3
2.	GENERALITÀ	3
2.1	OGGETTO.....	3
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3.	RICHIAMO DEI DATI INIZIALI	4
3.1	DATI GEOMETRICI E FUNZIONALI.....	4
3.2	RAMI DI COLLEGAMENTO TRA I TUBI	5
3.3	DATI FERROVIARI.....	5
3.4	DATI AEREAULICI E TERMICI	6
3.4.1	COEFFICIENTI DI ATTRITO	6
3.4.2	CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DELLE PARETI	6
3.4.3	PARAMETRI DI AMBIENTE	6
3.5	DATI INCENDIO.....	6
3.6	STRATEGIA DI VENTILAZIONE	7
3.7	DATI SULLE PRESTAZIONI ATTESE	8
3.8	PROTEZIONE DEL TUBO NON INCIDENTATO	8
3.9	NON-RICICLAGGIO DEI FUMI AGLI IMBOCCHI	9
3.10	DATI DI DEFINIZIONE DEGLI SCENARI	9
3.10.1	SCENARIO DI TRAFFICO ADOTTATO PER IL PREDIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE	9
3.10.2	TEMPI E DISTANZE DI ARRESTO ADOTTATI NEGLI SCENARI.....	10
3.10.3	TIMING DELLA PROCEDURA DI ESTRAZIONE DEI FUMI	10
4.	MODELLIZZAZIONE NUMERICA	13
4.1	GENERALITÀ.....	13
4.2	PERDITA DI EFFICIENZA DEGLI ACCELERATORI	13
4.3	CARATTERISTICHE DEGLI ACCELERATORI.....	14
5.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	15
5.1	INCENDIO SU UN TRENO PASSEGGERI - MOTRICE INTERMEDIA – STRATEGIA VELOCITÀ' ELEVATA.....	15
5.2	VELOCITÀ NEI RAMI.....	17
6.	UBICAZIONE DEGLI ACCELERATORI E BILANCIO DELLA POTENZA	17
6.1	UBICAZIONE DEGLI ACCELERATORI	17
6.2	BILANCIO DELLA POTENZA	18
7.	CONCLUSIONI	18

1. RIASSUNTO / SYNTHESE

Per rispettare le specifiche funzionali trasmesse per gli studi di progetto, la ventilazione del tunnel dell'Orsiera deve essere realizzata con un sistema meccanico basato su acceleratori di flusso in galleria.

La presente nota rientra nell'ambito degli studi sull'estrazione dei fumi dal tunnel dell'Orsiera.

L'oggetto della presente nota è il predimensionamento degli impianti di ventilazione necessari al rispetto degli obiettivi e delle strategie adottati a seguito degli studi funzionali.

Qualunque sia il tipo di incendio (treno passeggeri o treno merci), la sua ubicazione e i parametri esterni (traffico, condizioni meteorologiche, ecc.), il sistema deve essere in grado di controllare lo spostamento e l'estrazione dei fumi nei tempi più brevi, allo scopo di garantire le migliori condizioni possibili nelle aree utilizzate per l'evacuazione.

Les spécifications fonctionnelles transmises pour les études de projet, demandent que la ventilation du tunnel de l'Orsiera soit réalisée à l'aide d'un système mécanique basé sur des accélérateurs de flux en tunnel.

La présente note s'inscrit dans le cadre des études de désenfumage du tunnel de l'Orsiera.

Elle a pour objet le prédimensionnement des équipements de ventilation nécessaires au respect des objectifs et stratégies retenus à l'issue des études fonctionnelles.

Quelque soit le type d'incendie (train de voyageurs ou de marchandises), sa localisation, et les paramètres extérieurs (trafic, météo, ...), le système doit être capable de contrôler le déplacement et l'extraction des fumées dans un délai le plus réduit possible, afin de garantir les meilleures conditions possibles dans les zones utilisées pour l'évacuation.

2. GENERALITÀ

2.1 OGGETTO

I governi italiano e francese hanno deciso di avviare la costruzione di una nuova linea ferroviaria per il collegamento Torino-Lione. Il progetto consiste innanzi tutto nel realizzare un tracciato idoneo al traffico merci transalpino, destinato in particolare a limitare il traffico stradale in queste aree sensibili dal punto di vista ambientale.

Il nuovo collegamento avrà inoltre una grande rilevanza per il trasporto dei passeggeri, poiché collegherà le reti ad alta velocità italiane e francesi riducendo pertanto i tempi di percorso tra due importanti regioni frontaliere, ovvero il Piemonte e la Savoia.

Per quanto il progetto comporti tre tratte distinte, di cui due nazionali, il nostro studio verte unicamente sulla tratta comune italo-francese, detta "internazionale", tra Saint-Jean de Maurienne e l'interconnessione con la linea storica della Piana delle Chiuse.

La tratta considerata avrà una lunghezza totale di circa 80 km e sarà costituita dalle seguenti opere principali:

- I raccordi alla linea storica di Saint Jean de Maurienne,
- Il tunnel di base lungo 57.283 m,
- La stazione internazionale di Susa,
- Il tunnel dell'Orsiera lungo 19.243 m,
- L'interconnessione con la linea storica della Piana delle Chiuse.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- PP2-TEC/-LTF-0001 – Capitolato tecnico dettagliato – Lotto C2 - Impianti
- APR-B3/-TS2-0809 – Studio degli scenari di estrazione dei fumi del tunnel di Bussoleno
- PP2-C1/-TS3-0010 – Sistema di estrazione dei fumi del tunnel dell'Orsiera
- PP2-C1/-TS3-0028 – Analisi semplificata alternativa del tracciato F tunnel dell'Orsiera e interconnessione.
- PP2-C2B/-TS3-0054 – Ventilazione: Nota generale
- Consegna 48

3. RICHIAMO DEI DATI INIZIALI

3.1 DATI GEOMETRICI E FUNZIONALI

Il tunnel dell'Orsiera è costituito da due tubi unidirezionali le cui principali caratteristiche sono presentate nella seguente tabella.

Parametro del tunnel	Valori
Lunghezza	19 243 m
Sezione	43 m ²
Perimetro	26.4 m
Diametro Idraulico	6.52 m
Coefficiente di perdita di carico (Moody)	0.025

Il profilo longitudinale del tracciato presenta le seguenti pendenze, definite a partire dall'imbocco ovest. Un valore positivo corrisponde ad una salita nella direzione ovest-est.

L'altitudine dell'imbocco ovest è di 462 m.

Distanza cumulata (m)	Pendenza (%)
0-3500	-12.4
3500-7500	-5.8
7500-17150	-5.7
17150-19243	+6.7

3.2 RAMI DI COLLEGAMENTO TRA I TUBI

I rami che collegano i due tubi sono posti ad un'interdistanza di 333 m. Esistono quattro tipi di ramo:

- Rami di collegamento R0,
- Rami tecnici R1 (\equiv rami di collegamento + locali tecnici)
- Rami tecnici R0-2 (\equiv rami tecnici R0 + locali alimentazione trazione)
- Rami tecnici R1-2 (\equiv rami tecnici R1 + locali alimentazione trazione)

I rami tecnici R1 sono predisposti ogni 4 rami, ovvero ogni 1332 m.

Le principali caratteristiche dei rami figurano nella tabella sotto.

Lunghezza (m)	Sezione (m ²)	Perimetro bagnato	Dimensioni porte accesso rami H (m) x l (m)
30 m	23.5 alla porta 17.8 al centro	18.22 alla porta 15.6 al centro	2,20 x 2

3.3 DATI FERROVIARI

I treni passeggeri circoleranno inizialmente nel tunnel ad una velocità di 220 km/h.

Per i treni merci e le autostrade ferroviarie (AF), la velocità di progetto considerata è di 120 km/h. Le caratteristiche aerauliche dei treni figurano nella seguente tabella.

Treni	Velocità	Lunghezza	Superficie frontale	Perimetro	Coefficiente di attrito	Coeff. di perdita di carico al musetto
TGV Réseau	220 km/h	400m	8.5 m ²	10 m	0.0056	0.05 / 0.8
AF	120 km/h	750 m	15.5 m ²	15.5 m	0.0135	0.2 / 0.6
Merci	120 km/h	750 m	10 m ²	12.5 m	0.023	0.2 / 0.6

3.4 DATI AERAILICI E TERMICI

3.4.1 Coefficienti di attrito

Il valore del coefficiente di attrito delle pareti del tunnel considerato nello studio è pari a 0,025.

3.4.2 Caratteristiche termofisiche delle pareti

Le caratteristiche termofisiche delle pareti dei tunnel saranno assimilate a quelle del calcestruzzo standard. Le corrispondenti grandezze figurano nella seguente tabella.

Densità [kg/m ³]	Conduttività termica [W/(m.K)]	Capacità termica per unità di massa [J/(kg.K)]
2400	1.60	920

3.4.3 Parametri di ambiente

I parametri di ambiente considerati sono:

- ± 150 Pa di differenza di pressione massima tra gli imbocchi del tunnel dell'Orsiera, calcolata positivamente nel senso Francia – Italia.
- Temperatura media esterna agli imbocchi del tunnel: 10 °C
- Temperatura media della parete del tunnel: 15 °C

3.5 DATI INCENDIO

Le potenze nominali dell'incendio dipendono dal tipo di treno considerato e dalla velocità dell'aria che si vuole ottenere.

Caso di incendio tipo	Velocità dell'aria desiderata (m/s)	Potenza totale dell'incendio (MW)	Potenza generata dall'incendio (MW)
Motrice centrale treno viaggiatori	Sup. $o = 6$	30	20
Motrice centrale treno viaggiatori	0.5 ± 0.5	15	10
Motrice di testa o di coda treno viaggiatori	2.8	27	18
Treno merci	3.8	170	113
Treno AF	3.8	170	113

Si assume che:

- 1/3 della potenza dell'incendio si dissipa sotto forma di irraggiamento (criterio regolamentare per le gallerie autostradali)
- l'aumento di potenza dell'incendio è quasi istantaneo a partire dall'arresto del treno incendiato (aumento dal 10% al 100% della potenza in 2'),
- la potenza resta poi costante per tutta la durata della simulazione.

3.6 STRATEGIA DI VENTILAZIONE

Nella seguente tabella vengono ricapitolate le strategie di ventilazione adottate in funzione del tipo di treno incendiato, dell'ubicazione dell'incendio sul treno (unicamente TGV) e della fase considerata.

Il criterio è la velocità della corrente d'aria longitudinale da creare.

Tipo di treno	Ubicazione sul treno	Fase	Strategia
TGV	Motrice di testa	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso della circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
	Motrice intermedia	1: Evacuazione	Velocità elevata o velocità ridotta nel senso della circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
	Motrice di coda	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso opposto alla circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
Treno merci	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso opposto alla circolazione	
	2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro	
Autostrada ferroviaria	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso opposto alla circolazione	
	2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro	

3.7 DATI SULLE PRESTAZIONI ATTESE

I valori delle diverse velocità citati nella tabella precedente sono:

- Velocità critica: 2.8 m/s minimo per 27 MW e 3.8 m/s minimo per 170 MW
- **Velocità elevata: 6 m/s minimo**
- Velocità ridotta: 0.5 ± 0.5 m/s

Queste velocità sono misurate in piena sezione del tunnel, senza tener conto della riduzione della sezione dovuta alla presenza del treno.

3.8 PROTEZIONE DEL TUBO NON INCIDENTATO

Per evitare che il tubo non interessato dall'incendio (tubo sicuro) venga invaso dai fumi, devono essere rispettati i due criteri seguenti:

- In corrispondenza del treno incendiato, la sovrappressione del tubo sicuro rispetto al treno incidentato deve essere di 80 Pa, con tutte le porte dei rami chiuse.

- Quando le porte dei rami sono aperte, ovvero durante l'evacuazione delle persone dal tubo incidentato verso l'altro tubo, la velocità della corrente dell'aria attraverso le porte deve essere compresa tra 1 m/s e 13 m/s, dal tubo sicuro verso il tubo incidentato.

Nota bene: per il dimensionamento della ventilazione del tubo sicuro e per la modellizzazione aeraulica di tutta la rete, il presente studio prende in considerazione unicamente il secondo criterio. Il primo criterio sarà assicurato, integrando come dati di ingresso i valori di pressione calcolati nel presente studio, da un sistema locale di pressurizzazione dei rami che funziona in modo autonomo.

3.9 NON-RICICLAGGIO DEI FUMI AGLI IMBOCCHI

Per evitare qualsiasi rischio di riciclaggio dei fumi agli imbocchi del tunnel tra il tubo incidentato e l'altro tubo, occorre proteggere il tubo non incidentato impostando una velocità di uscita dell'aria dal tubo sicuro pari ad almeno 1 m/s.

3.10 DATI DI DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

3.10.1 *Scenario di traffico adottato per il predimensionamento del sistema di ventilazione*

Per il predimensionamento degli impianti di ventilazione del tunnel dell'Orsiera è stato considerato lo scenario seguente:

- Applicazione della strategia di diluizione nel caso di un incendio nella motrice centrale di un TGV che circola nella direzione Francia/Italia nel tubo nord

L'incendio è situato a circa 2 km dall'imbocco ovest, con una contropressione all'imbocco dal lato italiano di +150 Pa.

L'interdistanza e i tipi di treno che si susseguono non sono variati rispetto al progetto preliminare. È stata ritenuta valida la tabella proposta dagli studi funzionali (APR-A2-TS2-5101-C "Principio trattamento degli incidenti")

Tipo di treno	TGV	TGV	AF	Merci	Merci	Merci	AF	Merci	Merci	AF
Distanza dal treno precedente (km)	30	7,5	13	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5

Questa sequenza corrisponde alla situazione di ubicazione relativa dei treni nel momento in cui inizia la fase di rallentamento dei treni ($t=0$ delle modellizzazioni aerauliche).

La velocità di esercizio dei treni merci e di AF considerata è pari a 120 km/h.

- La velocità di esercizio dei treni passeggeri considerata è pari a 220 km/h.

Le simulazioni aerauliche prendono in considerazione le interdistanze indicate sulla tabella sopra ipotizzando che al momento dell'avvio della fase di rallentamento la velocità dei treni è di 220 km/h per i treni passeggeri e di 120 km/h per tutti gli altri treni.

3.10.2 *Tempi e distanze di arresto adottati negli scenari*

Per gli scenari, adottiamo i valori per eccesso seguenti:

- Frenatura in 2 minuti
- Frenatura in 1 km per i treni merci e di autostrada ferroviaria
- Frenatura in 3 km per i treni passeggeri

Inoltre, si è deciso di mantenere una distanza non riducibile di 2500 m tra la coda del treno precedente e la testa del treno successivo, qualunque siano i tipi di treni e qualunque siano le velocità di circolazione (marcia normale, marcia a vista, sosta).

Per lo scenario d'incendio studiato si è considerato che il TGV12 con incendio a bordo al momento dell'ingresso nel tunnel circoli a 160 km/h e che finisca la corsa dopo circa 2 km.

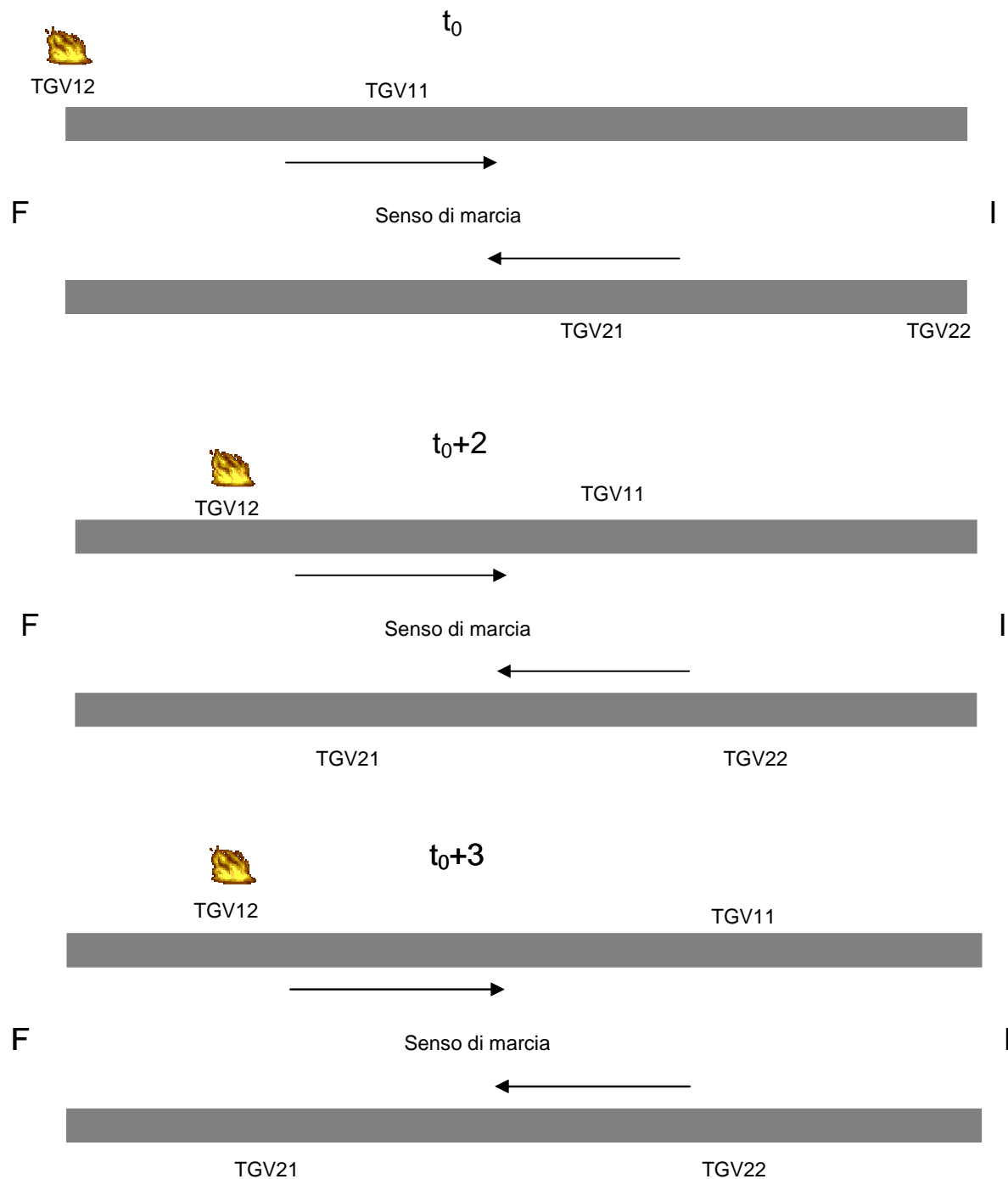
3.10.3 *Timing della procedura di estrazione dei fumi*

Nel nostro modello per il predimensionamento del sistema di ventilazione dell'Orsiera, il caso considerato (sfavorevole) è quello in cui 2 treni TGV sono presenti in ciascun tubo:

- TGV11 e TGV12 nel tubo nord
- TGV21 e TGV22 nel tubo sud

TEMPO MODELLO			TIMELINE	EVENTO	POSIZIONE TRENO	VELOCITÀ TRENO
h	m	s	sec		pk	km/h
0	0	0	0	TGV11 e TGV21 entrano nell'Orsiera	0	220
0	2	10	130	TGV12 entra nell'Orsiera, incendio a bordo, procedura di arresto TGV22 entra nell'Orsiera (Tempo di riferimento t0)*	0	160 220
0	2	10	250	Attivazione degli acceleratori		
0	3	10	190	TGV11 rallenta TGV21 rallenta TGV22 rallenta	11.61 11.61 2	220
0	4	10	250	TGV1 si ferma (Tempo di riferimento t0+2)	2	0
0	4	10	270	Acceleratori a regime		
0	5	10	310	TGV12 si ferma TGV21 si ferma TGV22 si ferma (Tempo di riferimento t0+3)	14.61 3 14.61	0 0 0
0	6	10	370	TGV12 riparte a velocità ridotta TGV21 riparte a velocità ridotta TGV22 riparte a velocità ridotta	15.61 4 15.61	30
0	12	10	600	Evacuazione: Apertura dei Rami (Tempo di riferimento t0+10)	2	
0	20	0	1200	Fine simulazione		

* Nel modello, il tempo inizia ad essere calcolato prima del sinistro (tempo di riferimento t0) per tenere conto delle condizioni generate dalla circolazione dei treni.



t_0 : il TGV12 individua l'incendio a bordo e avvia la procedura di arresto; tutti gli altri treni nel tunnel rallentano

t_0+2 : il TGV0 con l'incendio a bordo è fermo (a circa 2 km dall'imbocco ovest)

t_0+3 : Tutti i TGV sono fermi nel tunnel. I TGV 11, 21, 22 ripartono a velocità ridotta (30 km/h) dopo un minuto (t_0+4)

4. MODELLIZZAZIONE NUMERICA

4.1 GENERALITÀ

Il software utilizzato nello studio (Express'air sviluppato da Setec) è un codice di calcolo monodimensionale transitorio che prende in considerazione la compressibilità dell'aria e l'effetto termico dell'incendio.

I calcoli sono effettuati assumendo una temperatura dell'aria di 10 °C ad una quota di 462 m.

Il modello numerico è costituito principalmente:

- dal tunnel a due tubi dell'Orsiera e dai rami intertubi,
- dagli impianti di ventilazione: acceleratori installati lungo il piedritto del tunnel,
- dal traffico ferroviario di progetto,
- la comunicazione tra i binari pari e dispari è considerata chiusa da porte.

Ogni modellizzazione è realizzata tra i due eventi seguenti:

- ingresso del primo TGV nel tunnel (istante t_0),
- profilo di velocità stabilizzato (regime stazionario).

4.2 PERDITA DI EFFICIENZA DEGLI ACCELERATORI

Gli acceleratori dovrebbero funzionare fino ad una temperatura massima di 200 °C. Il loro rendimento aeraulico, in condizioni normali di temperatura e pressione, è considerato pari a 0,85.

La perdita di efficienza di un acceleratore che funziona ad una temperatura superiore a 25 °C è stata calcolata in base alla seguente formula:

$$\eta = \eta_0 \times \frac{\rho}{\rho_0}$$

in cui:

η : rendimento aeraulico dell'acceleratore alla temperatura T

ρ : massa volumica alla temperatura T

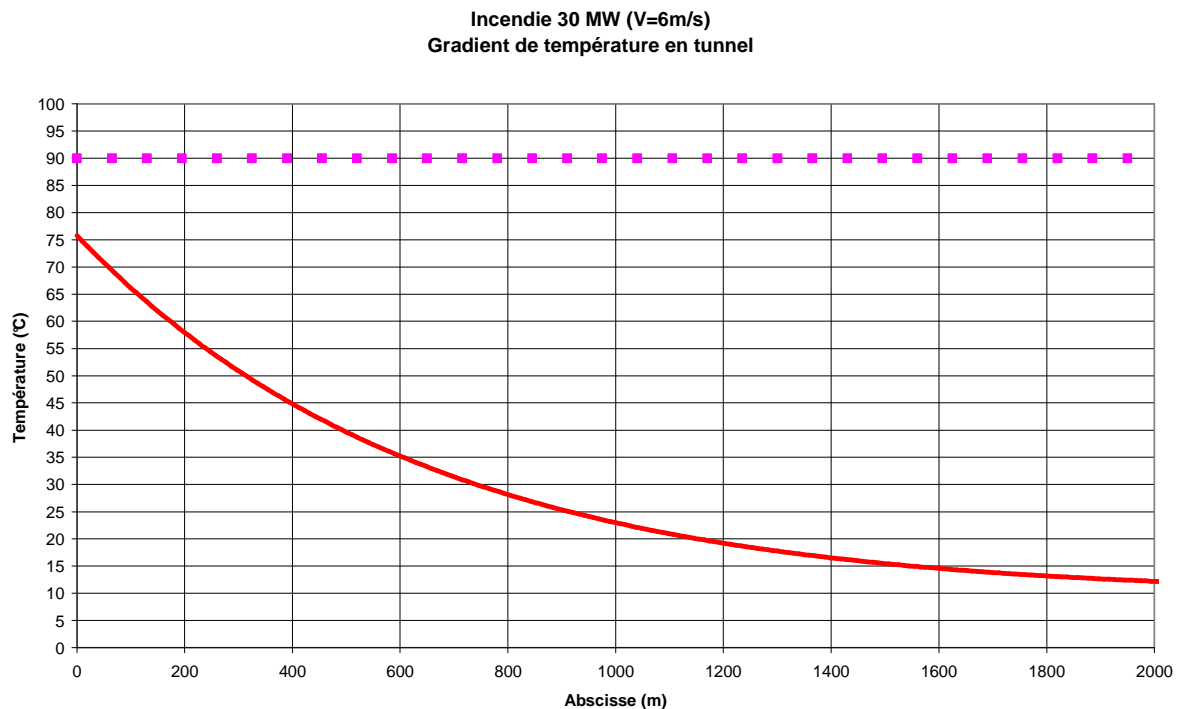
η_0 : rendimento aeraulico a 25 °C

ρ_0 : massa volumica a 25 °C

Il grafico rappresenta il profilo spaziale di temperatura ottenuto per un incendio di 30 MW con una corrente d'aria longitudinale a monte del focolaio di 6,0 m/s.

Il grafico mostra inoltre l'ubicazione degli acceleratori lungo l'opera. La distanza tra ogni acceleratore è di circa 65 m. Tale valore corrisponde al limite minimo accettabile per

mantenere l'efficienza degli acceleratori (ripristino di un flusso di scorrimento laminare tra due acceleratori).



Incendio 30 MW (V=6m/s)
Gradiente di temperatura in galleria

Per sicurezza, si considera che l'acceleratore situato in corrispondenza dell'incendio sia stato distrutto per effetto dell'irraggiamento.

In totale, se si considera un'interdistanza minima di 65 m, si ottiene una perdita di 2 acceleratori distrutti per effetto del calore.

Supponendo che altri due acceleratori non siano disponibili per motivi di manutenzione, occorre considerare una perdita complessiva di quattro apparecchi.

Negli studi successivi, per tenere conto dell'effetto della temperatura e della problematica della manutenzione, verrà sempre considerata la perdita di 4 acceleratori, qualunque sia l'ubicazione degli acceleratori utilizzati per l'estrazione dei fumi.

Nel modello, la perdita di rendimento medio dei 13 acceleratori che funzionano nei gas caldi ($T > 25^{\circ}\text{C}$) è valutata a 0,83. Tale perdita di efficienza, pari alla perdita di 0,3 acceleratori con rendimento aeraulico di 0,85 è presa in considerazione attraverso una riduzione globale del rendimento di tutti i ventilatori.

4.3 CARATTERISTICHE DEGLI ACCELERATORI

Gli acceleratori considerati nello studio hanno le seguenti caratteristiche:

- Diametro interno: 1000 mm

- Diametro esterno (senza silenziatore): 1200 mm
 - Spinta unitaria in campo libero: 1130 N
 - Velocità di erogazione: 35,7 m/s
 - Rendimento aeraulico: 0,85
- Il tempo di avviamento massimo a pieno regime è di 120 secondi.

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

5.1 INCENDIO SU UN TRENO PASSEGGERI - MOTRICE INTERMEDIA – STRATEGIA VELOCITÀ' ELEVATA

Nella tabella sotto è indicato il numero di acceleratori che occorre installare per rispettare gli obiettivi di velocità per ogni binario del tunnel.

Nella fase 1 della ventilazione, l'apertura dei due rami di evacuazione necessita che venga messo in sovrappressione il tubo sicuro rispetto al tubo incidentato, in corrispondenza dei rami, in modo da garantire una corrente di aria diretta dal tubo sicuro verso il tubo incidentato.

Per via di questa connessione aeraulica tra i due tubi, l'ubicazione degli acceleratori in funzionamento, sia a monte che a valle dei rami, incide sulla pressione relativa di un tubo rispetto all'altro.

Nella tabella dei risultati è indicato pertanto il numero di acceleratori in funzionamento ai due lati dei rami.

La convenzione adottata è la seguente:

- A monte del ramo: lato ovest,
- A valle del ramo: lato est,

e qualunque sia il tubo considerato e la direzione della corrente d'aria.

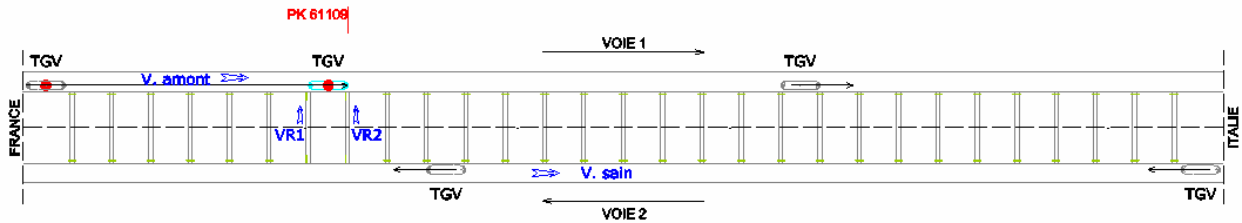
Ubicazione del treno incendiato		Contropressione atmosferica (Pa) Imbocco ovest	Numero di acceleratori			
			Tubo incidentato		Tubo sicuro	
			A monte del ramo:	A valle del ramo:	A monte del ramo:	A valle del ramo:
Binario 1	Pk 2	-150	30	100	-30	0

Convenzione dei segni: (+): Acceleratore in funzionamento normale (nel senso di circolazione dei treni)

Convenzione dei segni: (-): Acceleratore in funzionamento reverse (nel senso contrario al senso di circolazione dei treni)

Il calcolo dimostra che il numero massimo di acceleratori necessari per rispettare i criteri di velocità è pari a 130.

Tenuto conto della perdita di alcuni apparecchi (effetto termico e manutenzione, vedi § 4.2), il numero di acceleratori da considerare in ognuno dei due tubi è di 134 acceleratori.

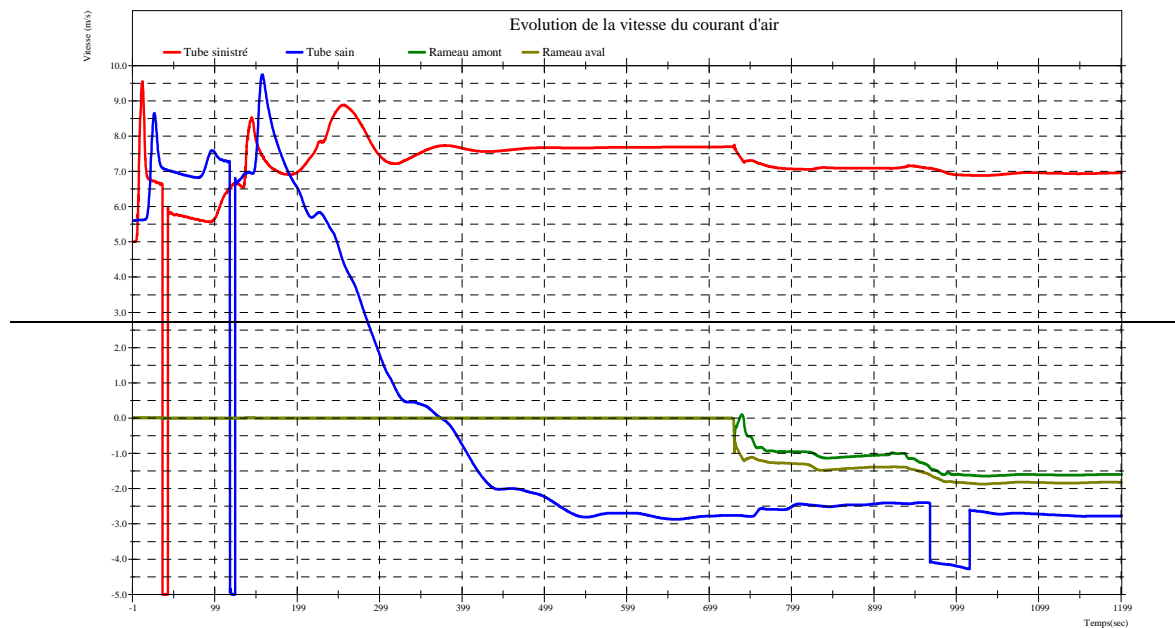


- Position du train au temps T0 (= lancement de la procédure d'arrêt)
- Train incendié à l'arrêt
- Position de l'incendie

Voie 1, Voie 2 = Binario 1, Binario 2
 V. Sain = V. sicuro

Posizione del treno al tempo T0 (avvio della procedura di arresto)
 Treno incendiato in sosta
 Ubicazione dell'incendio

I risultati ottenuti per il caso selezionato sono presentati qui sotto.



Express/Air, scenario Ors

Evolutione della velocità della corrente d'aria
 Tubo incidentato - Tubo sicuro - Ramo a monte - Ramo a valle

La convenzione dei segni adottata è la seguente:

- *Tubo incidentato: Una velocità positiva corrisponde ad una corrente d'aria nel senso Francia-Italia,*
- *Tubo sicuro: Una velocità negativa corrisponde ad una corrente d'aria nel senso Francia-Italia,*
- *Rami: Una velocità negativa corrisponde ad una corrente d'aria dal tubo sicuro verso il tubo incidentato*

L'obiettivo della velocità elevata a monte del treno incendiato è raggiunto per tutta la durata dell'estrazione dei fumi grazie all'attivazione di 130 acceleratori nel tubo incidentato e 30 acceleratori nel tubo non incidentato.

L'apertura dei rami di evacuazione a $t = 720$ s ha come conseguenza un effetto resistivo a livello del tubo incidentato a monte dei rami e necessita la messa in servizio di 160 acceleratori sull'insieme dei due tubi per ottenere una velocità a monte del treno incendiato di 6,7 m/s. Questo scenario permette di ottenere una velocità di 7,7 m/s negli istanti che precedono l'apertura dei due rami di evacuazione.

5.2 VELOCITÀ NEI RAMI

Dopo l'apertura delle porte, la velocità nei rami è compresa tra 1 e 2 m/s, ovvero tra 5 e 10 m/s attraverso le porte. I valori ottenuti sono inferiori ai 13 m/s imposti dai requisiti di sicurezza e sono pertanto accettabili.

6. UBICAZIONE DEGLI ACCELERATORI E BILANCIO DELLA POTENZA

Il numero massimo di acceleratori necessari al rispetto dei requisiti di velocità è stato calcolato prendendo in considerazione un incendio su un treno passeggeri nel caso della strategia di velocità elevata.

Il numero complessivo di apparecchi da installare in ciascun tubo è di **134** acceleratori.

6.1 UBICAZIONE DEGLI ACCELERATORI

Tenuto conto del numero rilevante di acceleratori da installare nei primi 2000 metri del binario per rispettare alcuni scenari, si è deciso di installare gli acceleratori come segue:

- distanza di 65 m tra ogni acceleratore i primi 2500 metri agli imbocchi del tunnel, ovvero 76 acceleratori per tubo suddivisi in 2 x 2,5 chilometri,
- 58 acceleratori lungo la tratta lineare restante, ovvero ad un'interdistanza di circa 250 m.

6.2 BILANCIO DELLA POTENZA

I bilanci della potenza sono valutati in base alla potenza assorbita dall'acceleratore, ovvero 37 kW (potenza alla ruota), pari ad una potenza elettrica di 39 kW.

La potenza installata in ogni tubo è di 134 x 37 kW, vale a dire un totale di 4958 kW.

La potenza massima erogata è:

- tubo incidentato: $130 \times 39 \text{ kW} = 5070 \text{ kW}$ con una ripartizione 50 - 50 su ciascuna unità,
- tubo non incidentato: $30 \times 39 \text{ kW} = 1170 \text{ kW}$ con un massimo di $30 \times 39 \text{ kW} = 1170 \text{ kW}$ da un solo lato.

7. CONCLUSIONI

Il presente studio mira a calcolare il predimensionamento degli impianti di ventilazione necessari per il rispetto degli obiettivi e delle strategie adottati al termine degli studi funzionali.

Il numero massimo di acceleratori necessari al rispetto dei requisiti di velocità è stato calcolato prendendo in considerazione un incendio su un treno passeggeri nel caso della strategia di velocità elevata.

Risulta che il numero totale di apparecchi da installare in ciascun tubo corrisponde a **134** acceleratori per una potenza totale installata di **5,2 MW** in ogni tubo (ovvero 10.4 MW in totale). La potenza massima erogata in entrambi i tubi è di circa **6,2 MW**.

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	20
2.	GENERALITES	20
2.1	OBJET	20
2.2	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	21
3.	RAPPEL DES DONNEES D'ENTREE.....	21
3.1	DONNÉES GÉOMÉTRIQUES ET FONCTIONNELLES	21
3.2	RAMEAUX DE COMMUNICATIONS INTER-TUBES	22
3.3	DONNÉES FERROVIAIRES	22
3.4	DONNÉES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES.....	23
3.4.1	COEFFICIENTS DE FROTTEMENT	23
3.4.2	CARACTÉRISTIQUES THERMO-PHYSIQUES DES PAROIS	23
3.4.3	PARAMÈTRES D'ENVIRONNEMENT	23
3.5	DONNÉES INCENDIE.....	23
3.6	STRATÉGIES DE VENTILATION.....	24
3.7	DONNEES SUR LES PERFORMANCES ATTENDUES.....	25
3.8	PROTECTION DU TUBE SAIN	26
3.9	NON-RECYCLAGE DES FUMÉES AUX TÊTES	26
3.10	DONNÉES DE DÉFINITION DES SCÉNARIOS.....	26
3.10.1	SCENARIO DE TRAFIC RETENU POUR LE PREDIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE VENTILATION	26
3.10.2	TEMPS ET DISTANCES D'ARRET UTILISES DANS LES SCENARIOS	27
3.10.3	TIMING DE LA PROCEDURE DE DESENFUMAGE	27
4.	MODÉLISATION NUMÉRIQUE	30
4.1	GÉNÉRALITÉS	30
4.2	PERTE D'EFFICACITÉ DES ACCÉLÉRATEURS	30
4.3	CARACTÉRISTIQUES DES ACCÉLÉRATEURS	31
5.	RÉSULTATS DES SIMULATIONS	32
5.1	INCENDIE SUR TRAIN DE VOYAGEURS - MOTRICE INTERMEDIAIRE - STRATEGIE VITESSE ELEVEE.....	32
5.2	VITESSE DANS LES RAMEAUX	34
6.	IMPLANTATIONS DES ACCELERATEURS ET BILAN DE PUISSANCE	34
6.1	IMPLANTATION DES ACCELERATEURS.....	34
6.2	BILAN DE PUISSANCE	34
7.	CONCLUSION.....	35

INTRODUCTION

Les spécifications fonctionnelles transmises pour les études de projet, demandent que la ventilation du tunnel de l'Orsiera soit réalisée à l'aide d'un système mécanique basé sur des accélérateurs de flux en tunnel.

La présente note s'inscrit dans le cadre des études de désenfumage du tunnel de l'Orsiera.

Elle a pour objet le prédimensionnement des équipements de ventilation nécessaires au respect des objectifs et stratégies retenus à l'issue des études fonctionnelles.

Quelque soit le type d'incendie (train de voyageurs ou de marchandises), sa localisation, et les paramètres extérieurs (trafic, météo, ...), le système doit être capable de contrôler le déplacement et l'extraction des fumées dans un délai le plus réduit possible, afin de garantir les meilleures conditions possibles dans les zones utilisées pour l'évacuation.

1. GENERALITES

1.1 OBJET

Les gouvernements Italiens et Français ont décidé d'engager la réalisation d'une ligne ferroviaire nouvelle entre Lyon et Turin. Ce projet consiste au premier lieu en l'aménagement d'un itinéraire Fret performant pour la traversée des Alpes, destiné notamment à limiter les trafics routiers transitant par ces zones écologiquement sensibles.

Cette nouvelle liaison comportera également une dimension voyageurs importante, dans la mesure où elle reliera les réseaux grande vitesse Français et Italien offrant ainsi des temps de parcours réduits entre deux régions frontalières attractives que sont le Piémont et la Savoie.

Bien que constituée de trois sections distinctes, dont deux nationales, seule la partie commune franco-italienne dite « internationale » entre Saint-Jean de Maurienne et l'interconnexion avec la ligne historique est l'objet de notre étude.

La section ainsi considérée aura une longueur totale d'environ 80 km et les principaux ouvrages la constituant seront les suivants :

- Les raccordements à la ligne historique de Saint Jean de Maurienne,
- Le tunnel de base de 57.283 m,
- La station internationale de Susa
- Le tunnel de L'Orsiera d'une longueur de 19 .243 m,
- L'Interconnexion avec la ligne historique dans la Piana delle Chiuse.

1.2 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- PP2-TEC/-LTF-0001 – Cahier des charges techniques détaillé – Lot C2 - Equipements
- APR-B3/-TS2-0809 – Etude des scenarii de désenfumage du tunnel de Bussoleno
- PP2-C1/-TS3-0010 – système de désenfumage du tunnel de l'Orsiera
- PP2-C1/-TS3-0028 – Analyse simplifiée alternative de tracé F tunnel de l'Orsiera et interconnexion.
- PP2-C2B/-TS3-0054 – Ventilation : notice générale
- Soumission 48

2. RAPPEL DES DONNEES D'ENTREE

2.1 DONNÉES GÉOMÉTRIQUES ET FONCTIONNELLES

Le tunnel de l'Orsiera est formé de deux tubes unidirectionnels dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant.

Paramètre du tunnel	Valeurs
Longueur	19 243 m
Section	43 m ²
Périmètre	26.4 m
Diamètre Hydraulique	6.52 m
Coefficient de perte de charge (Moody)	0.025

Le profil en long du tracé présente les pentes suivantes, exprimées depuis la tête Ouest. Une valeur positive correspond à une montée dans le sens Ouest-Est.

L'altitude de la tête Ouest est de 462 m.

Distance cumulée (m)	Pente (‰)
0-3500	-12.4
3500-7500	-5.8
7500-17150	-5.7
17150-19243	+6.7

2.2 RAMEAUX DE COMMUNICATIONS INTER-TUBES

Les rameaux inter-tubes sont espacés de 333 m. Ils sont de 4 types :

- Rameaux de communication R0,
- Rameaux techniques R1 (≡ rameaux de communication + locaux techniques)
- Rameaux techniques R0-2 (≡ rameaux techniques R0 + locaux alimentation traction)
- Rameaux techniques R1-2 (≡ rameaux techniques R1 + locaux alimentation traction)

Les rameaux techniques R1 sont implantés tous les 4 rameaux, soit tous les 1332 m.

Les caractéristiques principales des rameaux sont données dans le tableau ci-dessous.

Longueur (m)	Section (m ²)	Périmètre mouillé	Dimensions portes accès rameaux H (m) x l (m)
30 m	23.5 à la porte 17.8 au milieu	18.22 à la porte 15.6 au milieu	2,20 x 2

2.3 DONNÉES FERROVIAIRES

Les trains passagers circuleront initialement dans le tunnel à une vitesse de 220 km/h.

Pour les trains de fret et les autoroutes ferroviaires (AF), la vitesse de design retenue est de 120 km/h. Les caractéristiques aérauliques des trains sont présentées dans le tableau suivant.

Trains	Vitesse	Longueur	Maître couple	Périmètre	Coefficient de frottement Cftr	Coefficient de perte de charge au nez
TGV Réseau	220 km/h	400m	8.5 m ²	10 m	0.0056	0.05 / 0.8
AF	120 km/h	750 m	15.5 m ²	15.5 m	0.0135	0.2 / 0.6
Fret	120 km/h	750 m	10 m ²	12.5 m	0.023	0.2 / 0.6

2.4 DONNÉES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES

2.4.1 Coefficients de frottement

La valeur du coefficient de frottement des parois du tunnel considéré dans l'étude est de 0,025.

2.4.2 Caractéristiques thermo-physiques des parois

Les caractéristiques thermo-physiques des parois des tunnels seront assimilées à celles d'un béton standard. Les grandeurs correspondantes sont données dans le tableau ci-dessous.

Densité [kg/m ³]	Conductivité thermique [W/ (m.K)]	Capacité thermique massique [J/ (kg.K)]
2400	1.60	920

2.4.3 Paramètres d'environnement

Les paramètres d'environnement retenus sont :

- ± 150 Pa de différence de pression maximale entre les têtes du le tunnel de l'Orsiera, comptée positivement dans le sens France - Italie
- Température moyenne extérieure aux têtes du tunnel : 10 °C
- Température moyenne de la paroi du tunnel : 15 °C

2.5 DONNÉES INCENDIE

Les puissances nominales de l'incendie dépendent du type de train considéré et de la vitesse d'air recherchée.

Cas type d'incendie	Vitesse d'air recherchée (m/s)	Puissance totale de l'incendie (MW)	Puissance convectée de l'incendie (MW)
Motrice centrale de train de voyageurs	Sup. ou = 6	30	20
Motrice centrale de train de voyageurs	0.5 ± 0.5	15	10
Motrice avant ou arrière de train de voyageurs	2.8	27	18
Train de fret	3.8	170	113
Train d'AF	3.8	170	113

On supposera que :

- 1/3 de la puissance de l'incendie est dissipée sous forme de rayonnement (critère réglementaire pour les tunnels routiers)
- la montée en puissance de l'incendie est quasi-instantanée à partir de l'arrêt du train incendié (Montée de 10% à 100% de la puissance en 2')
- la puissance est ensuite constante sur toute la durée de la simulation

2.6 STRATÉGIES DE VENTILATION

Le tableau suivant récapitule, en fonction du type de train incendié, de la position de l'incendie sur le train (TGV uniquement) et de la phase considérée, les stratégies de ventilation retenues.

Le critère est la vitesse du courant d'air longitudinal à créer.

Type de train	Localisation sur le train	Phase	Stratégie
TGV	Motrice avant	1 : Evacuation	Vitesse critique dans le sens de la circulation
		2 : Lutte contre l'incendie	Vitesse critique dans un sens ou dans l'autre
	Motrice intermédiaire	1 : Evacuation	Vitesse élevée ou vitesse réduite dans le sens de la circulation
		2 : Lutte contre l'incendie	Vitesse critique dans un sens ou dans l'autre
	Motrice arrière	1 : Evacuation	Vitesse critique dans le sens inverse à la circulation
		2 : Lutte contre l'incendie	Vitesse critique dans un sens ou dans l'autre
Train de fret	1 : Evacuation	Vitesse critique dans le sens inverse à la circulation	
	2 : Lutte contre l'incendie	Vitesse critique dans un sens ou dans l'autre	
Autoroute ferroviaire	1 : Evacuation	Vitesse critique dans le sens inverse à la circulation	
	2 : Lutte contre l'incendie	Vitesse critique dans un sens ou dans l'autre	

2.7 DONNEES SUR LES PERFORMANCES ATTENDUES

Les valeurs des différentes vitesses citées dans le tableau précédent sont :

- Vitesse critique : 2.8 m/s mini pour 27 MW et 3.8 m/s mini pour 170 MW
- **Vitesse élevée : 6 m/s mini**
- Vitesse réduite : 0.5 ± 0.5 m/s

Ces vitesses sont mesurées en pleine section du tunnel, elles prennent en compte la diminution de la section due à la présence du train.

2.8 PROTECTION DU TUBE SAIN

Afin de protéger le tube sain contre l'invasion par les fumées, les deux critères suivants doivent être respectés :

- Au droit du train incendié, la surpression du tube sain par rapport au tube sinistré doit être d'environ 80 Pa, toutes portes de rameaux fermées.
- Dans le cas des portes de rameaux ouvertes, ce qui correspond à la période d'évacuation des personnes du tube sinistré au tube sain, la vitesse du courant d'air à travers les portes doit être comprise entre 1 m/s et 13 m/s, du tube sain vers le tube sinistré.

Nota : la présente étude ne prend en compte que le second critère pour le dimensionnement de la ventilation du tube sain et pour la modélisation aérodynamique de l'ensemble du réseau. Le premier critère sera assuré, avec comme donnée d'entrée les valeurs de pression calculées dans la présente étude, par un système local de mise en pression des rameaux fonctionnant de façon autonome.

2.9 NON-RECYCLAGE DES FUMÉES AUX TÊTES

Pour éviter tout risque de recyclage des fumées aux têtes de tunnel entre le tube sinistré et le tube sain, une protection doit être assurée par l'obtention d'une vitesse de sortie d'air du tube sain d'au moins 1 m/s.

2.10 DONNÉES DE DÉFINITION DES SCÉNARIOS

2.10.1 Scénario de trafic retenu pour le prédimensionnement du système de ventilation

Pour le prédimensionnement des équipements de ventilation du tunnel de l'Orsiera le scénario considéré est le suivant :

- Application de la stratégie de dilution dans le cas d'un Feu de motrice centrale de TGV qui roule en direction France/Italie dans le tube nord

La position d'incendie est à environ 2 km de la tête Ouest, avec une contrepression à la tête côté Italie de +150 Pa.

L'interdistance et la succession des types de trains n'ont pas varié par rapport à l'APR. On a retenu valide le tableau proposé par les études fonctionnelles (APR-A2-TS2-5101-C 'Principe traitement des incidents')

Type de train	TGV	TGV	AF	Fret	Fret	Fret	AF	Fret	Fret	AF
Interdistance avec le train précédent (km)	30	7,5	13	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5

Cette séquence correspond à la situation de position relative des trains au moment où débute la phase de ralentissement des trains ($t = 0$ des modélisations aérauliques).

- La vitesse d'exploitation des trains de fret et d'AF considérée est de 120 km/h.
- La vitesse d'exploitation des trains de voyageurs considérée est de 220 km/h.

Les simulations aérauliques prennent en compte les interdistances du tableau ci-dessus avec pour hypothèse qu'au moment du déclenchement de la phase de ralentissement, les vitesses des trains sont de 220 km/h pour les trains de voyageurs et de 120 km/h pour tous les autres trains.

2.10.2 Temps et distances d'arrêt utilisés dans les scénarios

Pour les scénarios, nous retenons les valeurs majorantes suivantes :

- Freinage en 2 minutes
- Freinage en 1 km pour les trains de fret et d'autoroute ferroviaire
- Freinage en 3 km pour les trains de voyageurs

Par ailleurs, il a été retenu de maintenir une distance non franchissable de 2500 m entre la queue du train précédent et la tête du train suiveur, quels que soient les types de trains et quelles que soient les vitesses de circulation (marche normale, marche à vue, arrêt).

Pour le scénario d'incendie étudié on a considéré que le TGV12 avec incendie à bord au moment de l'entre dans le tunnel marche à 160 km/h pour pouvoir s'arrêter après environ 2km.

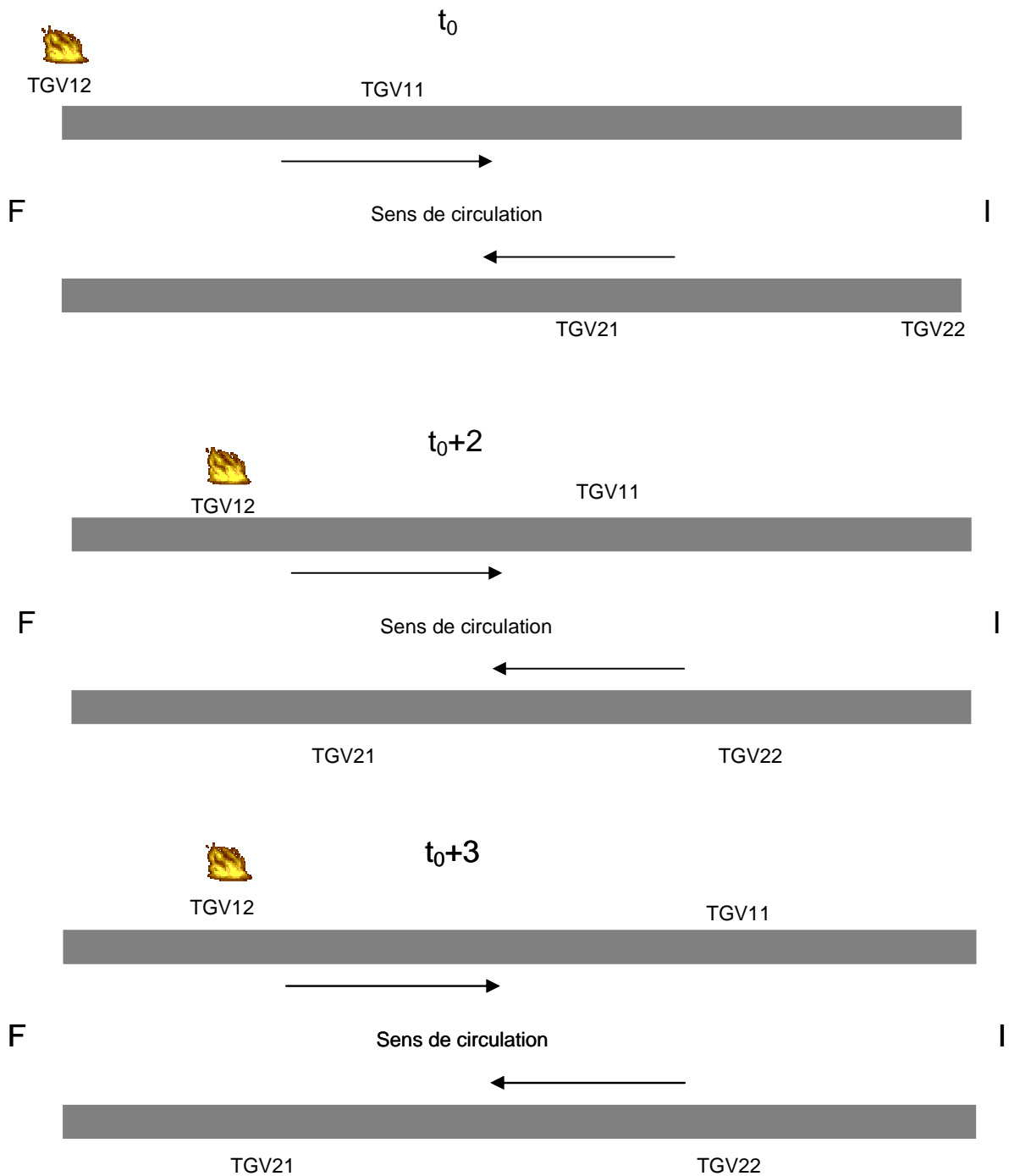
2.10.3 Timing de la procédure de désenfumage

Dans notre modèle pour le prédimensionnement du système de ventilation de l'Orsiera le cas retenu (défavorable) est celui où 2 trains TGV sont présents dans chaque tube:

- TGV11 et TGV12 dans le tube Nord
- TGV21 et TGV22 dans le tube Sud

TEMPS MODELE			TIMELINE	EVENT	POSITION TRAIN	VITESSE TRAIN
h	m	s	sec		pk	km/h
0	0	0	0	TGV11 et TGV21 entrent dans l'Orsiera	0	220
0	2	10	130	TGV12 Entre dans l'Orsiera, incendie a bord, procédure d'arrêt TGV22 entre dans l'Orsiera (Temps de référence t0)*	0	160 220
0	2	10	250	Démarrage des accélérateurs		
0	3	10	190	TGV11 ralentit TGV21 ralentit TGV22 ralentit	11.61 11.61 2	220
0	4	10	250	TGV1 s'arrête (Temps de référence t0+2)	2	0
0	4	10	270	Accélérateurs à régime		
0	5	10	310	TGV12 s'arrête TGV21 s'arrête TGV22 s'arrête (Temps de référence t0+3)	14.61 3 14.61	0 0 0
0	6	10	370	TGV12 repart à vitesse réduite TGV21 repart à vitesse réduite TGV22 repart à vitesse réduite	15.61 4 15.61	30
0	12	10	600	Evacuation: Ouverture des Rameaux (Temps de référence t0+10)	2	
0	20	0	1200	Fin simulation		

** le temps du modèle démarre avant le sinistre (temps de référence t0) pour tenir en compte des conditions générées par la circulation des trains*



t_0 : Le TGV12 identifie l'incendie à bord et commence la procédure d'arrêt, Tous les autres trains dans le tunnel ralentissent

t_0+2 : Le TGV avec l'incendie à bord est arrêté (à environ 2km de la tête Ouest)

t_0+3 : Tous les TGV sont arrêtés dans le tunnel. Les TGV 11,21,22 repartent à vitesse réduite (30km/h) après un minute (t_0+4)

3. MODÉLISATION NUMÉRIQUE

3.1 GÉNÉRALITÉS

Le logiciel utilisé dans l'étude (Express'air développé par Setec) est un code de calcul monodimensionnel transitoire prenant en compte la compressibilité de l'air et l'effet thermique de l'incendie.

Les calculs sont effectués pour une température de l'air de 10 °C à une altitude de 462 m.

Le modèle numérique est principalement constitué :

- du tunnel bitube de l'Orsiera et des rameaux inter-tubes,
- des équipements de ventilation : accélérateurs implantés le long du piédroit du tunnel,
- du trafic ferroviaire de conception.
- La communication entre vois paire et impaire est considéré fermé par des portes

Chaque modélisation est effectuée entre les deux évènements suivants :

- entrée du premier TGV dans le tunnel (instant t0),
- profil de vitesse stabilisé (régime stationnaire).

3.2 PERTE D'EFFICACITÉ DES ACCÉLÉRATEURS

Les accélérateurs sont supposés fonctionner jusqu'à une température maximale de 200 °C. Leur rendement aéraulique, dans des conditions normales de température et de pression, est pris égal à 0,85.

La perte d'efficacité d'un accélérateur fonctionnant à une température supérieure à 25 °C a été calculée selon la formule :

$$\eta = \eta_0 \times \frac{\rho}{\rho_0}$$

où :

η : rendement aéraulique de l'accélérateur à la température T

ρ : masse volumique à la température T

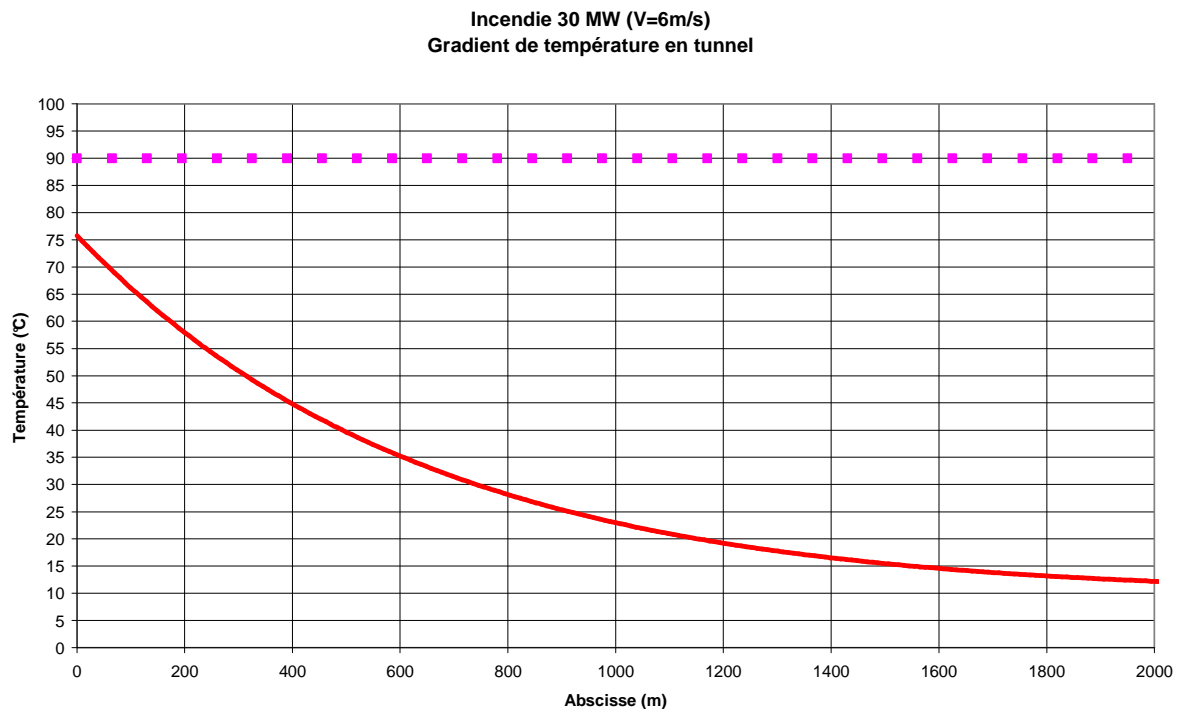
η_0 : rendement aéraulique à 25 °C

ρ_0 : masse volumique à 25 °C

Le graphique représente le profil spatial de température obtenu pour un incendie de 30 MW avec un courant d'air longitudinal en amont du foyer de 6,0 m/s.

le graphique montre également l'implantation des accélérateurs le long de l'ouvrage. L'interdistance entre accélérateurs est de 65 m environ. Cette valeur correspond à la limite

minimale acceptable pour conserver une bonne efficacité des accélérateurs (rétablissement d'un flux d'écoulement laminaire entre deux accélérateurs).



Par sécurité, on considère l'accélérateur situé au droit de l'incendie détruit sous l'effet du rayonnement.

Au total, si l'on considère une interdistance minimale de 65 m, on obtient une perte de 2 accélérateurs détruits sous l'effet de la chaleur.

En supposant deux accélérateurs inutilisables supplémentaires pour cause de maintenance, il faut alors considérer la perte de 4 machines au total.

On considèrera pour la suite des études que, quelque soit l'emplacement des accélérateurs utilisés pour le désenfumage, les effets de la température et la prise en compte de la maintenance impliquent la perte de 4 accélérateurs.

Dans le modèle la perte de rendement moyen des 13 accélérateurs fonctionnant dans les gaz chauds ($T > 25^{\circ}\text{C}$) est évalué à 0,83. Cette perte d'efficacité équivalente à la perte de 0,3 accélérateur de rendement aéraulique de 0,85 est prise en compte par une réduction globale du rendement de l'ensemble des ventilateurs.

3.3 CARACTÉRISTIQUES DES ACCÉLÉRATEURS

Les caractéristiques des accélérateurs considérés dans l'étude sont les suivantes :

- Diamètre intérieur : 1000 mm
- Diamètre extérieur (sans silencieux) : 1200 mm
- Poussée unitaire en champ libre : 1130 N

- Vitesse d'éjection : 35,7 m/s
- Rendement aéraulique : 0.85

Le temps de démarrage des accélérateurs à plein régime est de 120 secondes.

4. RÉSULTATS DES SIMULATIONS

4.1 INCENDIE SUR TRAIN DE VOYAGEURS - MOTRICE INTERMEDIAIRE - STRATEGIE VITESSE ELEVEE

Le tableau ci-dessous détaille le nombre d'accélérateurs nécessaire au respect des objectifs de vitesse au niveau de chacune des voies du tunnel.

En phase 1 de ventilation, l'ouverture des deux rameaux d'évacuation nécessite la mise en surpression du tube sain par rapport au tube sinistré, au droit des rameaux, de manière à assurer un courant d'air dirigé du tube sain vers le tube sinistré.

Du fait de cette connexion aéraulique entre les deux tubes, l'emplacement des accélérateurs en fonctionnement, soit en amont soit en aval des rameaux, a une influence sur la pression relative d'un tube par rapport à l'autre.

Le tableau de résultats détaille ainsi le nombre d'accélérateurs en fonctionnement de part et d'autre des rameaux.

La convention adoptée est :

- Amont rameau : côté Ouest,
- Aval rameau : côté Est,

et ce quels que soient le tube considéré et le sens du courant d'air.

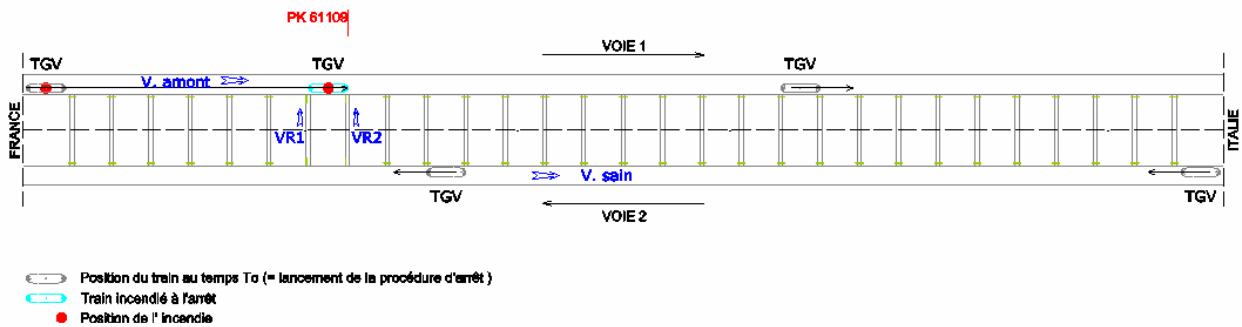
Position du train incendié		Contre-pression atmosphérique (Pa) Tête Ouest	Nombre d'accélérateurs			
			Tube sinistré		Tube sain	
			Amont rameau	Aval rameau	Amont rameau	Aval rameau
Voie 1	Pk 2	-150	30	100	-30	0

Convention de signe : (+) : Accélérateur en fonctionnement normal (dans le sens de circulation des trains)

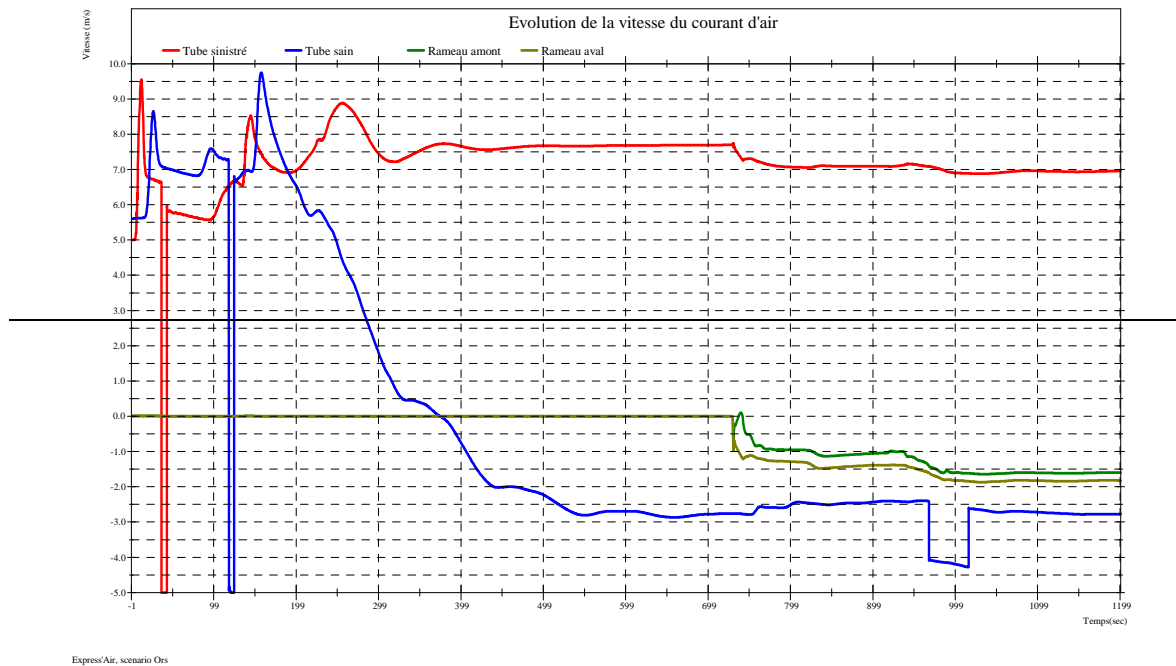
Convention de signe : (-) : Accélérateur fonctionnant en reverse (dans le sens contraire au sens de circulation des trains)

Le calcul montre que le nombre maximal d'accélérateurs nécessaires au respect des critères de vitesse est de 130.

En considérant la perte de machines (effets thermiques et maintenance, cf. § 4.2), le nombre d'accélérateurs à considérer dans chacun des deux tubes est de 134 accélérateurs.



Les résultats obtenus pour le cas sélectionné sont présentés ci-dessous.



Convention de signe adoptée est la suivante :

- Tube sinistré : Une vitesse positive correspond à un courant d'air dans le sens France - Italie,
- Tube sain : Une vitesse négative correspond à un courant d'air dans le sens France - Italie,
- Rameaux : Une vitesse négative correspond à un courant d'air du tube sain vers le tube sinistré

L'objectif de vitesse élevée en amont du train incendié est atteint sur toute la durée du désenfumage par la mise en route de 130 accélérateurs dans le tube sinistré et 30 accélérateurs dans le tube sain.

L'ouverture des rameaux d'évacuation à $t = 720$ s a pour conséquence un effet résistif au niveau du tube sinistré en amont des rameaux et nécessite la mise en service de 160 accélérateurs sur l'ensemble de deux tubes pour obtenir une vitesse en amont du train incendié de 6,7 m/s. Ce scénario conduit alors à une vitesse de 7,7 m/s dans les instants précédant l'ouverture des deux rameaux d'évacuation.

4.2 VITESSE DANS LES RAMEAUX

La vitesse dans les rameaux après l'ouverture des portes reste comprise entre 1 et 2 m/s, soit entre 5 et 10 m/s à travers les portes. Les valeurs obtenues sont inférieures aux 13 m/s imposés par les critères de sécurité, et sont donc acceptables.

5. IMPLANTATIONS DES ACCELERATEURS ET BILAN DE PUISSANCE

Le nombre maximal d'accélérateurs nécessaires au respect des critères de vitesse a été obtenu pour le cas d'un incendie sur un train de voyageurs dans le cas de la stratégie de vitesse élevée.

Le nombre total de machines à installer dans chaque tube est de **134** accélérateurs.

5.1 IMPLANTATION DES ACCELERATEURS

Compte tenu du nombre important d'accélérateurs nécessaires sur les 2 000 premiers mètres de la voie pour certains scénarios, l'implantation retenue est :

- interdistance de 65 m entre chaque accélérateur sur les 2 500 premiers mètres au niveau de chaque tête du tunnel soit 76 accélérateurs par tube répartis sur 2 x 2,5 kilomètres,
- 58 accélérateurs répartis le long du linéaire restant soit une interdistance d'environ 250 m.

5.2 BILAN DE PUISSANCE

Les bilans de puissance sont évalués sur la base de la puissance absorbée par l'accélérateur soit 37 kW (puissance à la roue), soit une puissance électrique de 39 kW.

La puissance installée dans chaque tube est de 134×37 kW soit un total de 4 958 kW.

La puissance maximale appelée est :

- tube sinistré : 130×39 kW = 5 070 kW avec une répartition 50 - 50 sur chaque poste,
- tube sain : 30×39 kW = 1 170 kW avec un maximum de 30×39 kW = 1 170 kW sur un seul côté.

6. CONCLUSION

La présente étude consiste à prédimensionner les équipements de ventilation nécessaires au respect des objectifs et stratégies retenus à l'issue des études fonctionnelles.

Le nombre maximal d'accélérateurs nécessaires au respect des critères de vitesse a été obtenu pour le cas d'un incendie sur un train de voyageurs dans le cas de la stratégie de vitesse élevée.

Ainsi, le nombre total de machines à installer dans chaque tube est de **134** accélérateurs pour une puissance totale installée de **5,2 MW** dans chaque tube (soit 10.4 MW totale). La puissance maximale appelée pour l'ensemble des 2 tubes est de l'ordre de **6,2 MW**.