

PANNES, ACCIDENTS ET INCENDIES

DANS LES

TUNNELS ROUTIERS FRANÇAIS

RAPPORT DE RECHERCHE

S. LINGELSER

Mai 1998

CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS
25, avenue François Mitterrand – Case n° 1 – 69674 Bron cedex – France
Tél : 04 72 14 34 00 Fax : 04 72 14 34 70

RESUME

Ce document présente l'ensemble des statistiques liées aux pannes, accidents et incendies dans les tunnels pour lesquels le CETU a mené des études détaillées particulières. Quelques ouvrages n'ayant pas fait l'objet d'études particulières car les informations les concernant étaient trop peu nombreuses ont en outre été intégrés, ainsi que quelques données d'autres provenances.

Les tunnels suivants sont étudiés :

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :
 - Mont-Blanc
 - Fréjus

- tunnels sur autoroutes de liaison concédées :
 - Dullin et l'Épine sur A43
 - Vuache sur A40
 - St. Germain de Joux et Châtillon sur A40
 - Chamoise sur A40
 - ainsi que les 17 tunnels de l'autoroute A8 situés sur la section Saint Isidore - frontière italienne, non compris le tunnel de la bretelle de Monaco sur A800.

- tunnels urbains et périurbains :
 - Fourvière à Lyon
 - Croix-Rousse à Lyon
 - Vieux-Port à Marseille
 - André Malraux et Rive Gauche du Paillon à Nice
 - Joliette à Marseille
 - Ensemble du réseau souterrain des Halles à Paris.
 - Les Monts à Chambéry

- tunnels interurbains à trafic bidirectionnel :
 - Siaix sur RN 90
 - Chat sur RN 504

Après trois chapitres consacrés aux objectifs poursuivis, à un descriptif des principales caractéristiques de chaque ouvrage et au déroulement des études, l'essentiel du document est consacré aux points suivants :

- Statistiques liées aux pannes : Outre le calcul de taux pour chaque tunnel, l'influence des déclivités, l'évolution des pannes dans le temps, leurs causes, leur distribution horaire, leurs durées, la façon dont elles ont été détectées, ainsi que leur incidence sur les conditions de circulation font l'objet d'études particulières.

- Statistiques liées aux accidents : En plus des résultats globaux pour chaque ouvrage, des analyses détaillées sont effectuées pour ce qui concerne la distribution horaire des accidents, leurs causes présumées et leur incidence sur les conditions de circulation. Une caractérisation des accidents est également tentée : nombre de véhicules impliqués, accident corporel type, distinction VL - PL.

- Statistiques liées aux incendies : Outre les incendies recensés dans les tunnels ci-dessus, des données d'autres origines ont été utilisées pour approcher les taux d'incendies importants, et notamment ceux impliquant des matières dangereuses.

En ce qui concerne les pannes, l'étude conclut que les tunnels urbains et périurbains (taux moyen de 650 pour 10^8 véh.km) et les grands tunnels à trafic bidirectionnel (taux moyen de 700 pour 10^8 véh.km) sont dans l'ensemble plus sujets aux pannes que les tunnels sur autoroutes de liaison (taux moyen de 350 pour 10^8 véh.km).

Quelle que soit la catégorie d'ouvrages, les taux varient en fait assez fortement d'un tunnel à l'autre et diffèrent entre les véhicules légers et les poids lourds. Ils sont fortement influencés par les déclivités. Les causes principales des pannes sont la défaillance moteur, le circuit électrique et le manque de carburant. La tendance générale est à une baisse des taux de pannes dans le temps.

Il est possible de tirer de ces résultats les principales conséquences suivantes sur la conception et l'exploitation des tunnels de longueur et trafic suffisamment importants :

- Lorsque les déclivités ne peuvent pas être limitées en montée, surtout lorsque les voies de circulation sont étroites et lorsqu'il s'agit d'un tunnel bidirectionnel, il convient de prévoir d'une part, les aménagements nécessaires pour faciliter l'arrêt des véhicules en tunnel en toute sécurité (bande d'arrêt ou trottoirs franchissables), et d'autre part des systèmes permettant de détecter rapidement un véhicule en panne.

- En cas de panne, des mesures d'exploitation particulières doivent être mises en place : signalisation, balisage. Il est impératif de prévenir les usagers qu'un véhicule est à l'arrêt dans le tunnel et qu'il empiète sur la chaussée.

- L'implantation de plates-formes en tête d'ouvrages est d'un intérêt non négligeable.

- Le taux d'utilisation des garages peut être amélioré par une meilleure signalisation.

Les tunnels urbains sont les plus accidentogènes avec un taux moyen (accidents matériels + corporels) de 100 pour 10^8 véh.km. Viennent ensuite les tunnels sur autoroutes de liaison avec un taux de 50 pour 10^8 véh.km puis les grands tunnels à trafic bidirectionnel avec un taux de 30 pour 10^8 véh.km.

Les causes principales des accidents sont les fautes de conduite, la vitesse excessive et les obstacles sur la chaussée. Les taux d'accidents matériels et corporels sont les plus élevés au moment des heures creuses et en particulier la nuit.

La principale constatation que l'on peut faire est que les tunnels dimensionnés normalement avec de bonnes caractéristiques géométriques ont des taux d'accidents très faibles.

Le tunnel en lui-même n'est pas un facteur accidentogène, mais il est générateur de sur-accidents du fait qu'il empêche l'usager de voir loin devant lui pour adapter sa conduite aux chutes de vitesses et autres événements à risque. Les collisions en chaîne y sont assez fréquentes.

Les rayons de courbure faibles doivent donc être évités, et les dégagements latéraux doivent permettre une bonne visibilité longitudinale en courbe. Toute les singularités géométriques, réduction du nombre de voies de circulation, bretelle d'entrée ou de sortie, qu'elles soient en tunnel ou à proximité des têtes, sont des facteurs d'accidents.

Tout obstacle sur la chaussée, véhicules en panne ou accidentés, chantier, bouchons de circulation nécessite la mise en oeuvre immédiate de moyens permettant une bonne information des usagers et une bonne régulation des différents courants de circulation.

La totalité des soixante incendies recensés dans les tunnels étudiés s'est produite spontanément, hors de tout accident. La plupart est bénigne. Un petit nombre d'incendies seulement, de par la chaleur et les fumées épaisses émises par les véhicules en feu et leur chargement, a eu des conséquences sur la santé des hommes et les ouvrages.

Un taux de 1,7 incendie pour 10^8 véh.km a été constaté pour les véhicules légers et un taux de 7 pour les poids lourds. Pour ces derniers, un incendie sur huit seulement a revêtu une certaine importance. Des données émanant du BARPI et du CEPN ont permis d'estimer pour les transports de matières dangereuses un ordre de grandeur de 2 incendies de toute nature pour 10^8 véh.km, et de 0,4 pour les incendies impliquant la marchandise dangereuse elle-même.

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	1
2 - REPRESENTATIVITE DE L'ETUDE	3
2.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	3
2.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	3
2.3 - Tunnels urbains et périurbains	5
2.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	5
3 - DESCRIPTION DES OUVRAGES	6
3.1 - Généralités	6
3.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	6
3.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	7
3.1.3 - Tunnels urbains et périurbains	8
3.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	8
3.2 - Profils en travers	9
3.2.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	9
3.2.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	10
3.2.3 - Tunnels urbains et périurbains	11
3.2.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	11
3.3 - Profils en long	12
3.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	12
3.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	13
3.3.3 - Tunnels urbains et périurbains	14
3.3.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	14
3.4 - Trafic	15
3.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	15
3.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	16
3.4.3 - Tunnels urbains et périurbains	17
3.4.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	17
3.5 - Garages	18
3.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	18
3.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	18
3.5.3 - Tunnels urbains et périurbains	18
3.5.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	18
4 - DEROULEMENT DES ETUDES	19
4.1 - Périodes d'études	19
4.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	19
4.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	20
4.1.3 - Tunnels urbains et périurbains	21
4.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	21
4.2 - Fiabilité des données	22
4.3 - Calculs effectués	23

5 - PANNES	24
5.1 - Tableaux généraux de résultats	24
5.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	24
5.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	26
5.1.3 - Tunnels urbains et périurbains	27
5.2 - Commentaires globaux	28
5.3 - Influence des déclivités	32
5.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	32
5.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	34
5.3.3 - Tunnels urbains et périurbains	38
5.3.4 - Synthèse générale tous tunnels	39
5.4 - Evolution dans le temps des pannes	41
5.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	41
5.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	41
5.4.3 - Tunnels urbains et périurbains	44
5.4.4 - Synthèse générale tous tunnels	45
5.5 - Causes des pannes	46
5.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	46
5.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	51
5.5.3 - Tunnels urbains et périurbains	52
5.5.4 - Synthèse générale tous tunnels	55
5.6 - Distribution horaire des pannes	57
5.7 - Durée des pannes	59
5.7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	59
5.7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	59
5.7.3 - Tunnels urbains et périurbains	59
5.8 - Incidence des pannes sur les conditions de circulation	60
5.8.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	60
5.8.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	60
5.8.3 - Tunnels urbains et périurbains	61
5.9 - Moyen de détection des pannes	61
5.9.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	61
5.9.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	62
5.9.3 - Tunnels urbains et périurbains	62
5.10 - Utilisation des garages	63
5.10.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	63
5.10.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	63
5.10.3 - Tunnels urbains et périurbains	64
5.11 - Réparation sur place ou non	64
5.11.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	64
5.11.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	64
5.11.3 - Tunnels urbains et périurbains	64

6 - ACCIDENTS	65
6.1 - Tableaux généraux de résultats	65
6.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	65
6.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	66
6.1.3 - Tunnels urbains et périurbains	67
6.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	67
6.2 - Commentaires généraux	68
6.2.1 - Comparaisons globales	68
6.2.2 - Analyse par types de tunnels	72
6.2.3 - Comparaison internationale	76
6.3 - Distribution horaire des accidents matériels et corporels	79
6.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	79
6.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	80
6.3.3 - Tunnels urbains et périurbains	81
6.3.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	82
6.4 - Localisation des accidents	82
6.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	82
6.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	83
6.4.3 - Tunnels urbains et périurbains	84
6.4.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	85
6.5 - Distinction suivant le type de véhicules	86
6.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	86
6.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	87
6.5.3 - Tunnels urbains et périurbains	89
6.5.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	90
6.6 - Nombre de véhicules impliqués	91
6.6.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	91
6.6.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	91
6.6.3 - Tunnels urbains et périurbains	93
6.6.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	93
6.7 - Accidents corporels type	94
6.7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	94
6.7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	94
6.7.3 - Tunnels urbains et périurbains	95
6.7.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	95
6.8 - Durée des restrictions de circulation suite à des accidents	96
6.9 - Causes présumées des accidents	97
6.9.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	97
6.9.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	98
6.9.3 - Tunnels urbains et périurbains	99
6.9.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	99
6.10 - Influence du nombre de voies	100

7 - INCENDIES	104
7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel	104
7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison	105
7.3 - Tunnels urbains et périurbains	106
7.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	106
7.5 - Synthèse générale tous tunnels	107
7.6 - Approche des incendies importants de poids lourds en tunnel	108
7.6.1 - Données internationales sur les incendies graves	109
7.6.2 - Evaluation à partir des données du BARPI	110
7.6.3 - Evaluation à partir de l'étude du CEPN	111
7.6.4 - Ordre de grandeur des taux d'incendie de poids lourds	112
8 - CONCLUSIONS	113
8.1 - Pannes	114
8.1.1 - Comparaison avec l'air libre	114
8.1.2 - Comparaison avec l'étranger	114
8.1.3 - Influence des déclivités	115
8.1.4 - Evolution dans le temps des pannes	115
8.1.5 - Causes des pannes	115
8.1.6 - Distribution horaire des pannes	116
8.1.7 - Durée des pannes	116
8.1.8 - Moyen de détection des pannes	117
8.1.9 - Utilisation des garages	117
8.2 - Accidents	118
8.2.1 - Commentaires sur les taux d'accidents et leur gravité	118
8.2.2 - Comparaison avec l'air libre	118
8.2.3 - Comparaison avec l'étranger	119
8.2.4 - Influence de la géométrie du tunnel	119
8.2.5 - Influence des singularités de l'itinéraire	119
8.2.6 - Influence du profil en long du tunnel	120
8.2.7 - Influence de la bidirectionnalité du trafic	120
8.2.8 - Distribution horaire des accidents	120
8.2.9 - Obstacles sur la chaussée	120
8.2.10 - Hors gabarit	121
8.3 - Incendies	122
BIBLIOGRAPHIE	123

1 - INTRODUCTION

Les tunnels routiers ne présentent pas tous la même accidentologie : ceci tient à leur type de trafic, à l'itinéraire sur lequel ils sont situés, mais aussi à leurs caractéristiques propres et à leurs conditions d'exploitation.

L'étude comparative des pannes et des accidents qui s'y produisent peut ainsi montrer quelles sont les conceptions les plus sécuritaires et permettre d'adapter les équipements aux conditions réelles d'exploitation.

Nous adopterons une définition un peu élargie du terme "accidentologie". Ce sont tous les événements particuliers de la circulation routière qui nous intéressent : pannes, accidents et incendies. Tous revêtent en effet une importance particulière en tunnel du fait de l'espace réduit, de la difficulté des accès, voire même du confinement de l'atmosphère. Tous requièrent l'utilisation d'équipements particuliers, ainsi souvent qu'une action de l'exploitant.

L'étude détaillée des incidents et accidents en tunnel qui fait l'objet de l'action de recherche E05.01 intitulée "Sécurité Routière des Tunnels" a quatre objectifs principaux :

- disposer d'éléments statistiques sur les pannes, accidents, incendies dans les tunnels routiers sur 5 ans ou plus pour connaître leur niveau de sécurité routière, notamment par rapport à celui du réseau à l'air libre;
- rechercher des relations entre les taux de pannes, accidents et incendies et les caractéristiques géométriques du tunnel (profil en travers, profil en long, tracé en plan, gabarit, intersection etc.), son mode d'exploitation et le trafic qui l'emprunte;
- connaître les taux d'utilisation des dispositifs et équipements de sécurité (garages, refuges, postes d'appel d'urgence, télévision, boutons d'appel, extincteurs, etc.) afin de justifier leur nécessité ou non et de mieux les concevoir si nécessaire;
- établir des synthèses pour les différentes catégories de tunnels :
 - . grands tunnels à trafic bidirectionnel,
 - . tunnels sur autoroutes de liaison,
 - . tunnels urbains et périurbains,
 - . tunnels interurbains à trafic bidirectionnel (RN et RD).

Le présent document a pour objet de réaliser une synthèse des pannes, accidents et incendies dans les tunnels ayant déjà fait l'objet d'études détaillées particulières.

Il s'agit des tunnels suivants :

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :
 - Mont-Blanc
 - Fréjus

- tunnels sur autoroutes de liaison, (tous sur autoroute concédée) :
 - Dullin et l'Epine sur A43
 - Vuache sur A40
 - St. Germain de Joux et Châtillon sur A40
 - Chamoise sur A40
 - ainsi que les 17 tunnels de l'autoroute A8 situés sur la section Saint Isidore - frontière italienne, non compris le tunnel de la bretelle de Monaco sur A800.

- tunnels urbains et périurbains :
 - Fourvière à Lyon
 - Croix-Rousse à Lyon
 - Vieux-Port à Marseille
 - André Malraux et Rive Gauche du Paillon à Nice
 - Joliette à Marseille (*)
 - Ensemble du réseau souterrain des Halles à Paris. (*)
 - Les Monts à Chambéry (*)

- tunnels interurbains à trafic bidirectionnel :
 - Siaix sur RN 90 (*)
 - Chat sur RN 504 (*)

(*) Ces ouvrages n'ont pas fait l'objet d'études particulières car les informations les concernant sont trop peu nombreuses. Les quelques résultats en notre possession ont cependant été intégrés au présent document.

2 - REPRESENTATIVITE DE L'ETUDE

La difficulté de base d'une approche statistique de l'accidentologie est qu'il faut disposer de données nombreuses et fiables. Pour la plupart des ouvrages, et en particulier pour ceux n'ayant pas de service d'exploitation propre, le recensement des pannes, accidents et incendies n'est pas fait. Même si les données d'accidents corporels sont systématiquement recueillies sur l'ensemble du réseau, il n'est le plus souvent pas possible de distinguer celles qui concernent les tunnels. Notre étude a donc été limitée aux seuls ouvrages pour lesquels l'exploitant a pu nous fournir les informations utiles.

2.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Le tableau ci-dessous récapitule tous les grands tunnels français à trafic bidirectionnel. Seuls les ouvrages n'apparaissant pas en grisé sont pris en compte dans l'étude, ce qui représente 68 % de la longueur totale de tunnel de cette catégorie.

Liste des grands tunnels français à trafic bidirectionnel

Départ.	Nom	Concédé	Route	Uni	Nb Tube	Nb. Voies	L. Tube2	Date Ouv.
66	PUYMORENS	oui	RN 20	B	1	2	4840	1994
73	FREJUS	oui	RN 566	B	1	2	12901	1980
74	MONT BLANC	oui	RN205	B	1	2	11600	1965
88	MAURICE LEMAIRE	oui	RN 159	B	1	2	6872	1976

2.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

La presque totalité des ouvrages français situés sur autoroute de liaison sont présents dans cette étude. Celle-ci concerne en effet 82 % de la longueur totale de tube de tunnel sur autoroute de liaison (voir tableau page suivante).

Liste de tous les tunnels français sur autoroute de liaison

Seuls les ouvrages n'apparaissant pas en grisé sont pris en compte dans l'étude. Le second tube du tunnel de Chamoise a été ouvert le 18 décembre 1995, l'étude ne porte donc, pour cet ouvrage, que sur la phase à un tube.

Départ.	Nom	Concédé	Route	Uni	Nb Tube	L. Tube1	L. Tube2	Date Ouv.
1	CHAMOISE 1	oui	A 40	U	1	3300		1986
1	CHAMOISE 2	oui	A 40	U	1	3300		1995
1	ST GERMAIN DE JOUX	oui	A 40	U	2	1200	1200	1989
1	CHATILLON	oui	A 40	U	2	720	720	1989
4	LA BAUME	oui	A 51	U	2	546	465	1990
6	CANTA GALET 1	oui	A 8	U	1	615		1983
6	CANTA GALET 2	oui	A 8	U	1	515		1976
6	ST PIERRE DE FERIC 1	oui	A 8	U	1	253		1976
6	ST PIERRE DE FERIC 2	oui	A 8	U	1	247		1983
6	PESSICART 1	oui	A 8	U	1	600		1976
6	PESSICART 2	oui	A 8	U	1	599		1983
6	LAS PLANAS 1	oui	A 8	U	1	1108		1976
6	LAS PLANAS 2	oui	A 8	U	1	1072		1983
6	CAP DE CROIX 1	oui	A 8	U	1	431		1976
6	CAP DE CROIX 2	oui	A 8	U	1	429		1982
6	LA BAUME 1	oui	A 8	U	1	353		1976
6	LA BAUME 2	oui	A 8	U	1	326		1982
6	PAILLON	oui	A 8	U	1	404		1985
6	ROSTI 1	oui	A 8	U	1	232		1985
6	ROSTI 2	oui	A 8	U	1	277		1978
6	COL DE GUERRE 1	oui	A 8	U	1	299		1979
6	COL DE GUERRE 2	oui	A 8	U	1	299		1988
6	L'ARME 1	oui	A 8	U	1	1105		1979
6	L'ARME 2	oui	A 8	U	1	1112		1989
6	RICARD 1	oui	A 8	U	1	438		1971
6	RICARD 2	oui	A 8	U	1	405		1979
6	LA COUPIERE	oui	A 8	U	2	803	814	1970
6	COL DE GARDE	oui	A 8	U	2	244	217	1970
6	STE LUCIE	oui	A 8	U	2	151	146	1970
6	CASTELLAR	oui	A 8	U	2	575	568	1970
6	PEYRONNET	oui	A 8	U	2	140	140	1970
6	LA GIRAUDE	oui	A 8	U	2	248	253	1970
13	PENNES MIRABEAU		A 7	U	2	216	236	1969
13	ST ANTOINE		A 7	U	2	105	105	1950
13	L'ANGESSE	oui	A 8	U	2	90	105	1974
13	MIRABEAU	oui	A 51	U	2	358	393	1986
13	TREIZE VENTS		A 55	U	2	284	258	1988
34	PAS DE L'ESCALETTE 1		A 75	U	1	728		1994
34	PAS DE L'ESCALETTE 2		A 75	U	1	845		1995
57	BOIS DES CHENES		A 30	B	1	298		1990
64	GUETHARY	oui	A 63	U	2	100	100	1977
73	DULLIN	oui	A 43	U	2	1460	1460	1974
73	EPINE 1	oui	A 43	U	1	3117		1974
73	EPINE 2	oui	A 43	U	1	3094		1991
74	VUACHE	oui	A 40	U	2	1390	1430	1982

2.3 - Tunnels urbains et périurbains

L'étude ne concerne que 9 % de la longueur totale de tube des tunnels français urbains et périurbains.

2.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

L'étude ne concerne que 8 % de la longueur totale de tube des tunnels français interurbains à trafic bidirectionnel.

3 - DESCRIPTION DES OUVRAGES

3.1 - Généralités

3.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Itinéraire	Désignation des tunnels	Longueur (m)
RN 205	Mont-Blanc	11600 (*)
RN 566	Fréjus	12901 (*)

(*) Longueur totale des ouvrages, une partie est à l'étranger.

3.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Itinéraire	Désignation des tunnels	Longueur (m)		Circulation (U)ni ou (B)idirectionnelle
		Tube 1	Tube 2	
A43	Dullin	1460	1460	U
A43	Epine	3117		B (1)
A40	Vuache	1390	1430	U
A40	St. Germain de Joux	1200	1200	U
A40	Châtillon	720	720	U
A40	Chamoise	3300		B (2)
A8	Canta-Gallet	515	615	U
A8	St. Pierre de Féric	247	253	U
A8	Pessicart	599	600	U
A8	Las Planas	1072	1108	U
A8	Cap de Croix	429	431	U
A8	La Baume	326	353	U
A8	Paillon	404		U
A8	Rosti	277	232	U
A8	Col de Guerre	299	348	U
A8	L'Arme	1112	1105	U
A8	Ricard	405	438	U
A8	Coupière	814	803	U
A8	Col de Garde	217	244	U
A8	Ste Lucie	146	151	U
A8	Castellar	568	575	U
A8	Peyronnet	140	140	U
A8	Giraude	253	248	U (3)

(1) Le tunnel de l'Epine a été doublé et le second tube a été ouvert fin 1991. L'étude ne porte cependant que sur les dernières années de la phase bidirectionnelle.

(2) Le second tube du tunnel de Chamoise a été ouvert le 18 décembre 1995. L'étude ne porte que sur la phase à un tube.

(3) Tunnel frontalier avec l'Italie.

3.1.3 - Tunnels urbains et périurbains

Itinéraire	Désignation des tunnels	Longueur (m)		Circulation (U)ni-ou (B)idirectionnelle
		Tube 1	Tube 2	
A6	Fourvière	1850	1840	U
Voie communale	Croix-Rousse	1750		B
Voie communale	Vieux-Port	580	593	U
Voie communale	Joliette	710		U
Voie communale	Rive Gauche du Paillon	700		U
Voie communale	André Malraux	477		B
RN 201	Les Monts	862	842	U
Voie communale	Ensemble du réseau souterrain des Halles (*)	3990		U

(*) Les données en notre possession concernent l'ensemble du réseau souterrain des Halles, le détail ouvrage par ouvrage ne nous a pas été communiqué, la longueur indiquée est la somme des longueurs des tunnels composant le réseau des Halles.

3.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Itinéraire	Désignation des tunnels	Longueur (m)
RN 90	Siaix	1500
RN 504	Chat	1488

3.2 - Profils en travers

3.2.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Nombre de voies	Largeur chaussée (m)	Largeur trottoir (m)	Largeur des voies (m)
Mont-Blanc	2	7	0,8	3,5
Fréjus	2	9 (*)	0,5	3,5

(*) La largeur roulable de 9 m est décomposée en 2 voies de 3,5 m, une séparation centrale de 0,5 m limitée par 2 lignes continues et deux bandes dérasées de 0,75 m.

3.2.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Designation des tunnels	Nombre de voies		Largeur chaussée (m)		Largeur BAU (m) ou bandes dérasées de droite	
	Tube 1	Tube 2	Tube 1	Tube 2	Tube 1	Tube 2
Dullin	2	2	7	7	2	2
Epine	3		9 (1)			
Vuache	2	2	7	7	1 et 0,5 (2)	1 et 0,5 (2)
St. Germain de Joux	2	2	7	7	0,75 et 0,75	0,75 et 0,75
Châtillon	2	2	7	7	0,75 et 0,75	0,75 et 0,75
Chamoise (3)	2		7,5 (3)		0,5 et 0,5	
Canta-Gallet (4)	3	2	10 (5)	7	1,3	0,8 à 0,9
St. Pierre de Féric (4)	3	3	10 (5)	10 (5)	3,25	1
Pessicart (4)	2	3	7	10 (5)	0,8	1,3 à 1,4
Las Planas (4)	2	3	7	10 (5)	0,7	1,3 à 1,4
Cap de Croix (4)	2	3	7	10 (5)	0,7 à 0,8	1,2
La Baume (4)	2	3	7	10 (5)	0,7	1,2
Paillon (4)	3		10		1,6 à 2	
Rosti (4)	3	3	9,5 (6)	9,5 (6)	1,3	0,3
Col de Guerre (4)	2	3	7	10	0,8	1,1 à 1,2
L'Arme (4)	2	3	7	10	0,6 à 0,7	1 à 1,2
Ricard (4)	2	2	7	7	1,2 à 1,3	1,5 à 1,6
Coupière (4)	2	2	7	7	1,7	1,7 à 2,1
Col de Garde (4)	2	2	7	7	2,1 à 2,2	1,7 à 2
Ste Lucie (4)	2	2	7	7	1,9 à 2	1,8
Castellar (4)	2	2	7	7	1,9 à 2,1	2
Peyronnet (4)	2	2	7	7	1,7 à 1,8	2,2 à 2,3
Giraude (4)	2	2	7	7	2,1 à 2,3	1,7 à 1,9

Sauf indication contraire ci-dessous, la largeur des voies est de 3,5 m.

- (1) L'étude ne porte que sur les dernières années de la phase bidirectionnelle. En situation normale de trafic seules les 2 voies extérieures de 3,1m de large sont utilisées, la voie centrale de 2,8 m de large n'est affectée au sens le plus chargé qu'en cas de pointe de trafic.
- (2) Les 2 voies de 3,5 m sont bordées par des bandes dérasées de 1 m à droite et de 0,5 m à gauche.
- (3) L'étude ne porte que sur les dernières années de la phase bidirectionnelle. Les 2 voies de 3,5 m sont séparées par une bande médiane de 0,5 m.
- (4) Les largeurs indiquées pour les BAU comprennent les largeurs des trottoirs franchissables.
- (5) 2 voies de 3,5 m et une voie rapide de 3 m.
- (6) 2 voies de 3 m et une voie lente de 3,5 m.

3.2.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Nombre de voies		Largeur chaussée (m)		Largeur BAU (m) ou bandes dérasées de droite		Largeur des voies (m)
	Tube 1	Tube 2	Tube 1	Tube 2	Tube 1	Tube 2	
Fourvière	2	2	7	7	0,25	0,25	3,5
Croix-Rousse	4		11,2(1)		0		2,8
Vieux-Port	2	3	7	9	0	0	3,5 et 3 (2)
Joliette	2		6		0		3
Rive Gauche du Paillon (3)	3 et 2		9 et 8		0 et 2		2,9 et 3
André Malraux	4		12,5		0		3
Les Monts	3	3	10,5		0		3,5
Ensemble du réseau des Halles (4)	(4)		(4)		(4)		(4)

(1) La largeur entre trottoirs est de 12 m, les deux sens de circulation sont séparés par une bande de 0,80 m sur laquelle sont implantées des balisettes.

(2) On trouve au point bas du tube Est un rétrécissement de chaussée : passage de 3 voies de 3 m à 2 voies de 3,5 m.

(3) Le premier tronçon comporte 3 voies de 2,9 m, avec une bande de séparation de 0,30 m entre la voie de droite et la voie centrale. Le deuxième tronçon comporte 2 voies de circulation de 3 m et une bande d'arrêt d'urgence à droite de 2 m.

(4) La géométrie des ouvrages est très variée. Le profil en travers n'est pas le même pour l'ensemble des tunnels du réseau des Halles.

3.2.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Nombre de voies	Largeur chaussée (m)	Largeur BAU ou bandes dérasées de droite (m)	Largeur des voies (m)
Siaix	3	10,6	0	3,8 et 3 (1)
Chat	2	6,5	0	3,25

(1) Deux voies latérales de 3,8 m et une voie centrale de 3 m.

3.3 - Profils en long

La déclivité est comptée positivement en montée et négativement en descente.

3.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Déclivité (%)
Mont-Blanc	De la France vers l'Italie : + 2,4% sur 2850 m + 1,8% sur 2950 m - 0,25% sur 5800 m
Fréjus	De la France vers l'Italie : + 0,54%

3.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Désignation des tunnels	Déclivité (%)	
	Tube 1	Tube 2
Dullin	+ 2,4 %	- 2,4 %
Epine	en toit + 0,8 % et - 0,9 %	(*)
Vuache	en toit + 1 % et - 0,5 %	en toit + 0,5 % et - 1,2 %
St. Germain de Joux	+ 2 %	- 2 %
Châtillon	+ 0,6 %	- 0,6 %
Chamoise	en toit + 1 % et - 0,5 %	(*)
Canta-Gallet	3 %	- 3%
St. Pierre de Féric	- 1,7 %	+ 1,7 %
Pessicart	- 5 %	+ 5 %
Las Planas	- 6 %	+ 5 %
Cap de Croix	- 4 %	+ 4 %
La Baume	- 4,5 %	+ 4 %
Paillon	+ 5,2 %	
Rosti	+ 6 %	- 6 %
Col de Guerre	- 1 %	+ 1 %
L'Arme	- 6 %	+ 6 %
Ricard	- 2,4 %	+ 2,76 %
Coupière	- 1,25 %	+ 1,25 %
Col de Garde	- 3,5 %	+ 3,5 %
Ste Lucie	- 3,5 %	+ 3,5 %
Castellar	+ 1,5 %	- 1,5 %
Peyronnet	+ 0,04 %	- 0,04 %
Giraude	+ 0,04 %	- 0,04 %

(*) L'étude ne porte que sur les dernières années de la phase bidirectionnelle

3.3.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Déclivité (%)	
	Tube 1	Tube 2
Fourvière	+ 2,4 %	- 2,4 %
Croix-Rousse	0 %	
Vieux-Port	à point bas - 3,8 % et + 3,8 %	à point bas - 3,8 % et + 5 %
Joliette	(-)	
Rive gauche du Paillon	0 %	
André Malraux	+ 1,1 %	
Les Monts	+ 0,68 %	- 0,68 %
Ensemble du réseau des Halles	(-)	

(-) Nous ne disposons pas de ces renseignements.

3.3.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Déclivité (%)
Siaix	en toit + 1,5 % et - 0,9 %
Chat	en toit + 2 % et - 1 %

3.4 - Trafic

3.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Limitation de vitesse (km/h)	Année Trafic	TMJA (véh/j)	% PL
Mont-Blanc	80	1991	5279	41
Fréjus	80	1991	2831	54

3.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Désignation des tunnels	Limitation de vitesse (km/h)	Année Trafic	TMJA (véh/j)	% PL
Dullin	100	1991	20 087	16
Epine (*)	80	1991	23 174	15
Vuache	80	1992	13 024	25
St. Germain de Joux	100	1992	16 518	23
Châtillon	100	1992	16 518	23
Chamoise (*)	80	1992	15 897	23
Canta-Gallet	100	1993	48 895	12
St. Pierre de Féric	100	1993	48 895	12
Pessicart	100	1993	48 895	12
Las Planas	100	1993	48 895	12
Cap de Croix	100	1993	48 895	12
La Baume	100	1993	48 895	12
Paillon	100	1993	15 718	12
Rosti	100	1993	31 111	12
Col de Guerre	100	1993	17 056	16
L'Arme	100	1993	17 056	16
Ricard	100	1993	17 056	16
Coupière	100	1993	17 056	16
Col de Garde	100	1993	17 056	16
Ste Lucie	100	1993	17 056	16
Castellar	100	1993	14 399	17
Peyronnet	100	1993	14 399	17
Giraude	100	1993	14 399	17

(*) L'étude ne porte que sur les dernières années de la phase bidirectionnelle.

3.4.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Limitation de vitesse (km/h)	Année Trafic	TMJA (véh/j)	% PL
Fourvière	80	1991	95650	12 (1)
Croix-Rousse	50	1991	80644	9 (1)
Vieux-Port	50	1994	55500	1 (2)
Joliette	(-)	1994	37760	(-)
Rive gauche du Paillon	40	1994	14500	0
André Malraux	70	1993	75000	1 à 2 (1)
Les Monts	90	1995	60398	10
Ensemble du réseau des Halles	(-)	1995	27970	(-)

(-) Nous ne disposons pas de ces renseignements.

(1) Nous ne disposons pas de chiffres précis. Les valeurs indiquées ont été estimées par l'exploitant.

(2) Valeur estimée par l'exploitant. Depuis l'ouverture du tunnel de Prado-Carénage et la limitation du gabarit à 3,20m, il ne passe plus aucun poids lourd dans le tunnel du Vieux-Port.

3.4.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Limitation de vitesse (km/h)	Année Trafic	TMJA (véh/j)	% PL
Siaix	90	1995	9796	8,2
Chat	(*)	1995	9133	15,9

(*) 60 km/h pour les VL et 45 km/h pour les PL.

3.5 - Garages

3.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Sous le tunnel du Mont-Blanc, on trouve des garages tous les 300 m alternativement à gauche et à droite de la chaussée. Il y a au total 36 garages (18 par sens). Leurs caractéristiques géométriques sont les suivantes :

- longueur : 30,2 m

- largeur : 3,15 m

En face de chaque garage, se trouve une galerie de retournement.

Le tunnel du Fréjus comporte 5 garages et 5 excavations pour demi-tour, soit un garage tous les 2100 m environ. Ces garages sont alternés et l'on trouve 3 garages dans le sens France-Italie, et 2 garages dans le sens Italie-France.

3.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Le tunnel de Chamoise (seul le tube Genève-Mâcon dans sa phase bidirectionnelle fait l'objet de l'étude) comporte des garages tous les 400 m. Ils sont situés sur le côté droit du sens définitif et sont alternativement VL et PL. On trouve ainsi 4 garages VL (longueur 15 m) et 3 garages PL (longueur 55 m). En face de chaque garage se trouve une communication avec une galerie de sécurité et avec le second tube.

Les autres tunnels objets de l'étude ne comportent pas de garages.

3.5.3 - Tunnels urbains et périurbains

Les tunnels objets de l'étude ne comportent pas de garages.

3.5.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Les tunnels objets de l'étude ne comportent pas de garages.

4 - DEROULEMENT DES ETUDES

4.1 - Périodes d'études

Pour chacun des ouvrages, les études n'ont pas porté sur les mêmes périodes (voir tableaux ci-après). Le parcours indiqué dans les tableaux est le nombre total de kilomètres parcourus par l'ensemble des véhicules dans chaque ouvrage et pour chaque période considérée.

4.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Période d'étude	Parcours (10⁶ véh.km) 2 sens confondus
Mont-Blanc	1965 à 1992 (1)	390 (1)
Fréjus	1980 à 1991	104

(1) Les valeurs indiquées concernent l'étude sur les accidents et incendies. Pour les pannes, l'étude ne porte que sur les années 1989 à 1992 (le parcours n'est alors que de 88 x 10⁶ véh.km).

4.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Désignation des tunnels	Période d'étude	Parcours (10 ⁶ véh.km) 2 sens confondus
Dullin	1984 à 1990	63
Epine	1984 à 1990	155
Vuache	1982 à 1993	48
St. Germain de Joux	1990 à 1992	21
Châtillon	1990 à 1992	12
Chamoise	1988 à 1992	80
Canta-Gallet	1989 à 1993	48
St. Pierre de Féric	1989 à 1993	21
Pessicart	1989 à 1993	51
Las Planas	1989 à 1993	93
Cap de Croix	1989 à 1993	36
La Baume	1989 à 1993	29
Paillon	1989 à 1993	10
Rosti	1989 à 1993	13
Col de Guerre	1989 à 1993	9
L'Arme	1989 à 1993	32
Ricard	1989 à 1993	12
Coupière	1989 à 1993	24
Col de Garde	1989 à 1993	7
Ste Lucie	1989 à 1993	4
Castellar	1989 à 1993	14
Peyronnet	1989 à 1993	3
Giraude	1989 à 1993	6

4.1.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Période d'étude	Parcours (10 ⁶ véh.km) 2 sens confondus
Fourvière	1985 à 1991	430
Croix-Rousse	1985 à 1991	325
Vieux-Port	1989 à 1994	63
Joliette	09/1994 à 04/1995	6
Rive gauche du Paillon	1990 à 1994	18
André Malraux	1990 à 1993	72
Les Monts	1995	38
Ensemble du réseau des Halles	1990 à 1995	203

4.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Période d'étude	Parcours (10 ⁶ véh.km) 2 sens confondus
Siaix	1995	5
Chat	1995	5

4.2 - Fiabilité des données

Il convient de noter que la fiabilité des données est douteuse.

Les événements se produisant en tunnel ne sont certainement pas tous comptabilisés, tels que :

- les accidents matériels lorsque les automobilistes doivent sortir de l'ouvrage pour effectuer les constats.
- les pannes bénignes lorsqu'elles sont traitées par les usagers sans intervention du personnel du tunnel.

La localisation des pannes et des accidents est parfois incertaine. C'est plus particulièrement le cas sur l'autoroute A8 où chaque événement est repéré d'une part en fonction du PR et d'autre part par un codage intitulé "zone principale" avec le code 1 pour la section courante, 2 pour les échangeurs, etc., et 6 pour les tunnels. Connaissant les PR d'entrée et de sortie de chaque tunnel, il semble donc théoriquement très simple de répartir les événements entre air libre et tunnel. En pratique, il n'en est rien, car on rencontre de nombreuses ambiguïtés.

Un nombre important d'événements localisés à un PR intérieur à un tunnel ne sont pas codés tunnels. Il semble en effet que l'agent qui remplit une fiche d'intervention lors d'une panne ou d'un accident a beaucoup plus de facilité pour caractériser la zone : tunnel, zone courante, viaduc, etc. plutôt que de déterminer avec précision le PR où il se trouve. Après discussion avec l'exploitant, nous avons donc considéré que le codage "tunnel" était l'information la plus plausible. Avec cette méthode, nous avons bien sûr une grosse incertitude sur le fait qu'un nombre important de pannes ou d'accidents ait eu lieu en tunnel plutôt qu'à l'air libre.

Certaines informations fournies par les exploitants sont incomplètes. Ainsi, lorsque le nombre de blessés pour des accidents répertoriés comme corporels n'est pas indiqué, nous avons considéré qu'il y avait un blessé léger.

D'autres données sont approximatives :

- les valeurs des pentes et rampes des chaussées sont imprécises car relevées manuellement sur les plans mis à notre disposition.
- les chiffres de trafic qui nous ont été communiqués (en particulier pour l'A8) sont des valeurs calculées sur la base du trafic des gares de péage, le trafic induit par les échangeurs libres de péage n'est donc pas pris en compte.
- lorsque le trafic poids lourds n'est pas mesuré, il est calculé à partir de pourcentages moyens fournis par les exploitants.

Toutes ces considérations font qu'il faut se garder de tirer des conclusions trop fines des résultats obtenus. A fortiori, lorsque le nombre d'événements répertoriés est très faible, les taux calculés n'ont qu'une signification limitée.

Par ailleurs, pour les accidents, faute encore d'événements suffisamment nombreux, il n'a pas été possible de prendre en compte de façon satisfaisante l'évolution favorable de la sécurité routière au fil des ans, qui conduit aujourd'hui à des taux d'accidents nettement plus faibles que dans le passé. Toutefois le biais ainsi introduit reste vraisemblablement inférieur aux autres causes d'incertitudes décrites ci-dessus.

4.3 - Calculs effectués

Les calculs sont les mêmes pour les pannes, les accidents et les incendies.

Comme pour les statistiques de l'Observatoire National de la Sécurité Routière, les taux indiqués dans la suite du présent rapport sont donnés pour 10^8 véh.km.

Le calcul de taux pour chaque tunnel se décompose ainsi :

$$taux = \frac{N \times 10^8}{\left(\frac{L_1 + L_2}{2}\right) \times T}$$

N : nombre total d'événements sur la période d'étude

L_1 : longueur du tube 1 (en km)

L_2 : longueur du tube 2 (en km)

T : $365 \times (\Sigma \text{TMJA})$

ΣTMJA : sommes des TMJA sur la période d'étude

TMJA : trafic moyen journalier annuel

Le taux d'événement VL est calculé par rapport au trafic VL seulement, celui des PL par rapport au trafic PL seulement.

Le calcul du taux global pour un ensemble de tunnels se décompose ainsi :

$$taux = \frac{N \times 10^8}{\sum_n L_n \times T_n}$$

N : nombre total d'événements pour l'ensemble des tunnels

L_n : longueur moyenne du tunnel "n" = $\frac{L_1 + L_2}{2}$

T_n : $365 \times \Sigma \text{TMJA}$: sommes des TMJA sur la période d'étude du tunnel "n"

5 - PANNES

Les tunnels interurbains à trafic bidirectionnel ne sont pas traités dans ce chapitre car nous ne disposons d'aucune information concernant les pannes dans les tunnels du Siaix et du Chat.

5.1 - Tableaux généraux de résultats

Les tableaux ci-après donnent le nombre moyen annuel de pannes ainsi que les taux enregistrés pour 10^8 véhicules.km dans les tunnels objets de l'enquête. Il s'agit des chiffres correspondant aux deux sens de circulation confondus.

5.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Nombre moyen annuel de pannes			Taux de pannes pour 10^8 véh.km		
	VL	PL	Tous véh.	VL	PL	Tous véh.
Mont-Blanc (1)	52,3	58,5	110,8	401	650	503
Fréjus (2)	46	35	83	882	807	875

(1) Le nombre de pannes est sous estimé de par les options prises par la société d'exploitation sur la notion de panne. En effet, les pannes qui n'engagent pas la sécurité (véhicules en garage) et qui ne nécessitent pas l'intervention de personnel pour la réparation ne sont pas comptabilisées au niveau des sociétés (par exemple : crevaison, rajout d'huile ou de liquide de refroidissement). Les taux de pannes annoncés ci-avant sont donc inférieurs aux taux de pannes réelles.

(2) La somme VL+PL ne correspond pas à celle du tous véhicules car parfois la panne n'est pas répertoriée comme étant un PL ou un VL.

Etude particulière : Pannes sur les plates-formes du tunnel du Mont-Blanc

De nombreux usagers s'arrêtent sur les plates-formes du tunnel du Mont-Blanc. Pour les quatre années d'étude (1989 à 1992) il a ainsi été comptabilisé le nombre d'arrêts suite à panne suivant :

	Sens France-Italie	Sens Italie-France	Tout confondu
Plate-forme française	51 (entrant)	5 (sortant)	68
Plate-forme italienne	17 (sortant)	30 (entrant)	60
Total	68	35	128

Le total (128) est supérieur à la somme des deux sens (103) du fait que la direction de circulation des véhicules en panne n'est pas toujours connue.

On notera le nombre important d'usagers (PL ou VL) s'arrêtant avant d'entrer en tunnel tant côté France que côté Italie (81 arrêts sur 103 dont le sens est connu). Par contre, la proportion est moindre en sortie (22 sur 103). Ce qui est remarquable c'est la comparaison entre le nombre de pannes relevées en plate-forme et le nombre survenant en tunnel (128 à comparer avec 443 soit 30 % environ).

Il semble donc que :

- compte tenu des rampes d'accès à déclivité importante (6 % en moyenne), les moteurs des véhicules ont souffert,
- compte tenu de la longueur importante du tunnel, les usagers hésitent à le traverser en cas de signe de défaillance de leur véhicule.

5.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Désignation des tunnels	Nombre moyen annuel de pannes			Taux de pannes pour 10 ⁸ véh.km		
	VL	PL	Tous véh.	VL	PL	Tous véh.
Dullin	46	4,4	50,4	592	340	556
Epine	100	5,6	108,7 (1)	524	187	492
Vuache	3,5	2,5	6	124	215	150
St. Germain de Joux	6,3	4,3	10,7	119	268	154
Châtillon	14,3	2,3	16,7	448	241	401
Chamoise	35,4	7,2	42,6	296	184	268
Canta-Gallet	(-)	(-)	31	(-)	(-)	323
St. Pierre de Féric	(-)	(-)	10,2	(-)	(-)	241
Pessicart	(-)	(-)	22,2	(-)	(-)	218
Las Planas	(-)	(-)	49,2	(-)	(-)	266
Cap de Croix	(-)	(-)	16,6	(-)	(-)	227
La Baume	(-)	(-)	22,6	(-)	(-)	392
Paillon	(-)	(-)	10,2	(-)	(-)	500
Rosti	(-)	(-)	8,2	(-)	(-)	320
Col de Guerre	(-)	(-)	2,4	(-)	(-)	126
L'Arme	(-)	(-)	49	(-)	(-)	754
Ricard	(-)	(-)	6,4	(-)	(-)	260
Coupière	(-)	(-)	13,8	(-)	(-)	291
Col de Garde	(-)	(-)	3	(-)	(-)	221
Ste Lucie	(-)	(-)	3,4	(-)	(-)	391
Castellar	(-)	(-)	6	(-)	(-)	219
Peyronnet	(-)	(-)	0,6	(-)	(-)	* (88)
Giraude	(-)	(-)	1,2	(-)	(-)	* (100)

(1) Les chiffres "tous véhicules" ne correspondent pas aux sommes des indications de base (VL et PL) car quelquefois la panne n'est pas répertoriée comme VL ou PL.

(*) Les taux indiqués entre parenthèses ne sont pas significatifs car ils ont été calculés avec un nombre d'événements très faible.

(-) La distinction des pannes VL-PL n'est pas disponible.

5.1.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Nombre moyen annuel de pannes			Taux de pannes pour 10 ⁸ véh.km		
	VL	PL	Tous véh.	VL	PL	Tous véh.
Fourvière			285			460
	361 (2)	27 (2)	388 (2)	650 (2)	350 (2)	610 (2)
Croix-Rousse	(-)	(-)	343	(-)	(-)	739
Vieux-Port	148,7	3,3	152	(1)	(1)	1444
Joliette	(-)	(-)	40,5	(-)	(-)	450
Rive gauche du Paillon	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
André Malraux	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Les Monts	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Ensemble du réseau des Halles	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(-) La distinction VL-PL n'est pas disponible

(*) Valeurs non connues

(1) Calcul de taux impossible car la différenciation VL-PL n'est pas disponible dans les comptages trafic.

(2) Chiffres ne concernant que l'année 1990.

5.2 - Commentaires globaux

Quel que soit le type de tunnel, les taux de pannes varient d'un ouvrage à l'autre et diffèrent entre les véhicules légers (VL) et les poids lourds (PL).

Pour les ouvrages où il nous a été possible de différencier les pannes des VL des pannes des PL, nous constatons que pour trois tunnels : Mont-Blanc, Vuache et St-Germain de Joux les taux PL sont supérieurs aux taux VL, alors que c'est l'inverse dans les autres tunnels. Il est difficile de trouver un facteur explicatif des différences de taux entre VL et PL, les informations en notre possession étant insuffisantes.

Par contre, les différences de taux de pannes entre les ouvrages peuvent en partie s'expliquer par les différences de déclivité, c'est ce que nous nous efforcerons de montrer dans le chapitre 5.3 ci-après en différenciant, dans la mesure du possible, le sens descendant et le sens montant de chaque tunnel.

Il est possible pour chaque catégorie d'ouvrage de calculer un taux global tous véhicules et deux sens confondus pour l'ensemble des tunnels objet de l'étude. Ce taux arrondi est :

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :

$$\text{taux} = 700 \text{ pour } 10^8 \text{ véh.km}$$

- tunnels sur autoroutes de liaison :

$$\text{taux} = 350 \text{ pour } 10^8 \text{ véh.km}$$

- tunnels urbains et périurbains :

$$\text{taux} = 650 \text{ pour } 10^8 \text{ véh.km}$$

Bien que ces chiffres globaux soient assez peu significatifs compte tenu de la très grande hétérogénéité dans les taux constatés, les grands tunnels à trafic bidirectionnel et les tunnels urbains apparaissent plus sujets aux pannes que les ouvrages sur autoroutes de liaison .

Ces deux catégories de tunnels devront donc faire l'objet de plus d'attention que les autres quand à leur conception et à leur exploitation pour diminuer les conséquences des pannes sur les conditions de circulation. A titre d'exemple, et compte tenu du volume de trafic, le service d'exploitation du tunnel de Fourvière doit faire face en moyenne à environ 1 panne tous les 1,5 jours, celui du Mont-Blanc à 1 panne tous les 3,5 jours et celui de Las Planas 1 panne tous les 7,5 jours.

Un facteur d'explication du niveau relativement élevé des taux constatés dans les tunnels du Mont-Blanc et du Fréjus par comparaison avec les tunnels sur autoroute de liaison est sans doute que les moteurs ont beaucoup souffert avant l'entrée en tunnel compte tenu des rampes importantes sur les routes d'accès à très forte déclivité sur de grandes longueurs.

Si l'on observe les plages de variation, on trouve :

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :
taux de 500 à 875 pour 10^8 véh.km
- tunnels sur autoroutes de liaison :
taux de 120 à 750 pour 10^8 véh.km (seul le tunnel de l'Arme dépasse un taux de 550)
- tunnels urbains et périurbains :
taux de 450 à 1450 pour 10^8 véh.km (seul le tunnel du Vieux Port dépasse un taux de 750)

Les plages de variation des taux de pannes que nous obtenons sont analogues aux résultats globaux proposés en 1995 dans le rapport du Comité des Tunnels Routiers de l'A.I.P.C.R. et rappelés ci-dessous. Comme dans notre étude, il était constaté une très grande hétérogénéité dans les taux de pannes. Deux raisons principales avaient été avancées : d'une part l'influence des déclivités et d'autre part, la composition du parc empruntant l'ouvrage et le volume de trafic.

- tunnels bidirectionnels de rase campagne
taux = 300 à 500 pour 10^8 véh.km pour les tunnels à faible altitude.
taux = 900 à 1900 pour 10^8 véh.km pour les tunnels d'altitude avec de fortes rampes d'accès
- tunnels autoroutiers unidirectionnels
taux = 300 à 600 pour 10^8 véh.km.
- tunnels urbains
taux = 300 à 600 pour 10^8 véh.km pour les tunnels peu circulés.
taux = 500 à 800 pour 10^8 véh.km pour les tunnels fortement circulés et à déclivité moyenne.
taux = 1000 à 1300 pour 10^8 véh.km pour les tunnels fortement circulés avec forte déclivité.

Pour ce qui concerne la comparaison avec l'air libre, le seul chiffre qui est à notre disposition est un taux de 240 pour 10^8 véh.km que nous avons calculé pour les zones courantes à l'air libre sur l'autoroute A8. Malheureusement, ce chiffre est fortement sujet à caution d'une part car la localisation des pannes était très imprécise, et d'autre part à cause de la géométrie particulière de cet itinéraire.

A priori, nous ne voyons aucune raison qui conduirait à un nombre de pannes plus élevé en tunnel qu'à l'air libre. On pourrait même plutôt penser le contraire, les usagers préférant sans doute s'arrêter à l'air libre plutôt qu'en tunnel. Ainsi, en cas de légère difficulté (crevaisson, anomalies de fonctionnement) se produisant en tunnel, l'automobiliste aura tendance à essayer de poursuivre sa route jusqu'à la sortie du tunnel pour s'arrêter.

En vue d'une comparaison avec l'étranger, nous n'avons à notre disposition que les chiffres des tableaux ci-après, les plages de variation des taux sont les suivantes :

- grands tunnels à trafic bidirectionnel : taux de 250 à 1900 pour 10^8 véh.km.
- tunnels sur autoroutes de liaison : taux de 210 à 720 pour 10^8 véh.km.
- tunnels urbains : taux de 320 à 4100 pour 10^8 véh.km.

Dans chacune des catégories d'ouvrages, les taux de pannes sont du même ordre de grandeur que ceux constatés en France. On notera cependant que les plages de variation de ces taux sont plus étendues que les plages de variation des taux français. Encore faudrait-il prendre en compte l'influence des différences de composition des parcs automobiles français et étrangers pour avoir une comparaison significative.

Comme pour la France, ce sont les tunnels urbains et périurbains et les grands tunnels à trafic bidirectionnel qui apparaissent dans l'ensemble plus sujets aux pannes que les tunnels sur autoroutes de liaison.

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :

Pays	Tunnels	Longueur (km)	Type	Années observées	Taux pour 10^8 véh.km
Norvège	Hvaler	3,8	1 x 2 voies	1989-1990	1794
Norvège	Ellingsoy	3,5	1 x 3 voies	1988-1990	620
Norvège	Valderoy	4,5	1 x 3 voies	1988-1990	330
Norvège	Godoy	3,8	1 x 2 voies	1989-1992	255
Norvège	Hoyanger	7,5	1 x 2 voies	1983-1992	272
Autriche	Arlberg	14	1 x 2 voies	1987-1991	1900
Autriche	Katschberg	5,4	1 x 2 voies	1987-1991	308
Autriche	Tauern	6,4	1 x 2 voies	1987-1991	419
Autriche	Amberg	3	1 x 2 voies	1987-1991	287
Autriche	Gräbern	2,1	1 x 2 voies	1987-1991	404

- tunnels sur autoroutes de liaison:

Pays	Tunnels	Longueur (km)	Type	Années observées	Taux pour 10^8 véh.km
Autriche	Hiefler	2	2 x 2 voies	1987-1991	219
Autriche	Tanzenberg	2,4	2 x 2 voies	1987-1990	723

- tunnels urbains :

Pays	Tunnels	Longueur (km)	Type	Années observées	Taux pour 10⁸ véh.km
Norvège	Oslo tunnel	1,8	2 x 3 voies	1990-1993	1090
Norvège	Floyfjell	3,9	2 x 3 voies	1988-1991	247
Etats-Unis	Holland	2,6	2 x 2 voies	1987-1991	4150
Etats-Unis	Lincoln	2,5	3 x 2 voies	1987-1991	1230
Allemagne	Elbe	2,7	3 x 2 voies	1987-1991	1348
Autriche	Favoriten	0,3	2 x 2 voies	1987-1991	652
Canada	Ville-Marie	2,8	2 x 3 voies	1988-1991	1008
Canada	L. Hippolyte Lafontaine	1,4	2 x 3 voies	1987-1991	1257
Autriche	Kaiser Mühlen	1	2 x 2 voies	1989-1991	338
Ecosse	Clyde	0,8	2 x 2 voies	1987-1991	144
Royaume-Uni	Tyne	1,7	1 x 2 voies	1987-1992	1811
Royaume-Uni	Saltash	0,9	1 x 3 voies	1989-1991	321

5.3 - Influence des déclivités

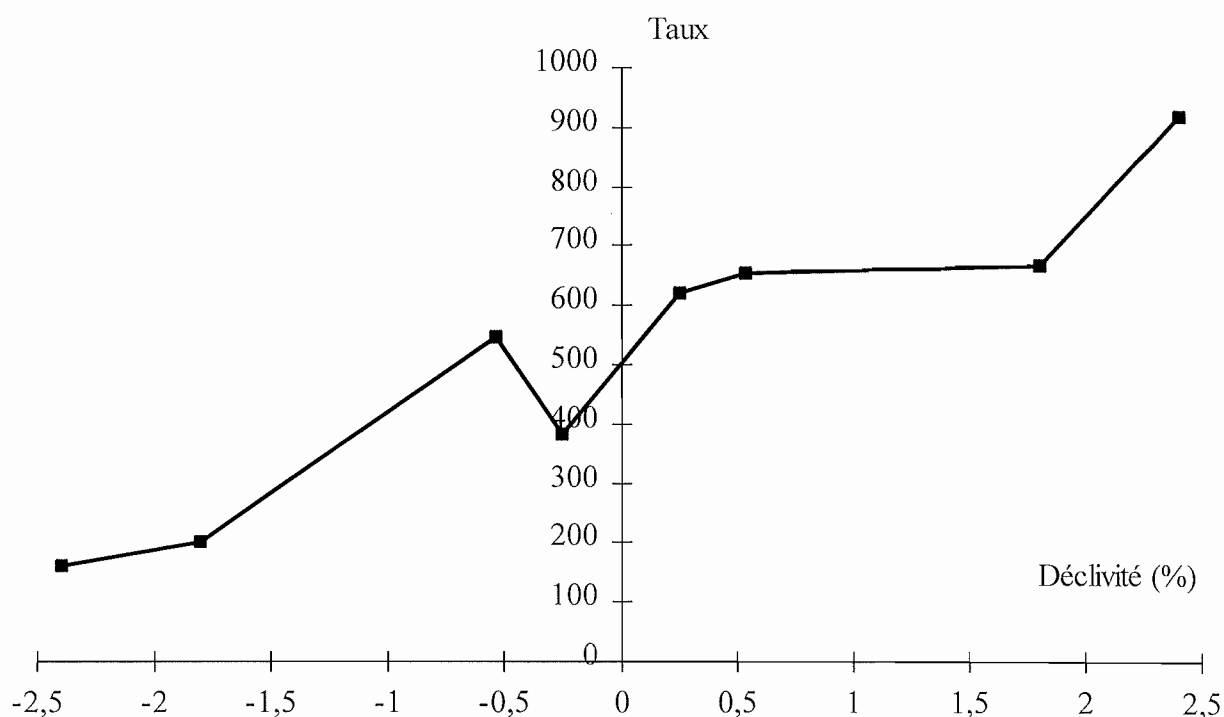
5.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

En ce qui concerne le tunnel sous le Mont-Blanc, la localisation des pannes et leur repérage par sens de circulation ne sont disponibles que pour les années 1989 à 1992, il n'a donc été possible de calculer un taux de pannes pour chacune des déclivités de l'ouvrage que pour ces quatre années.

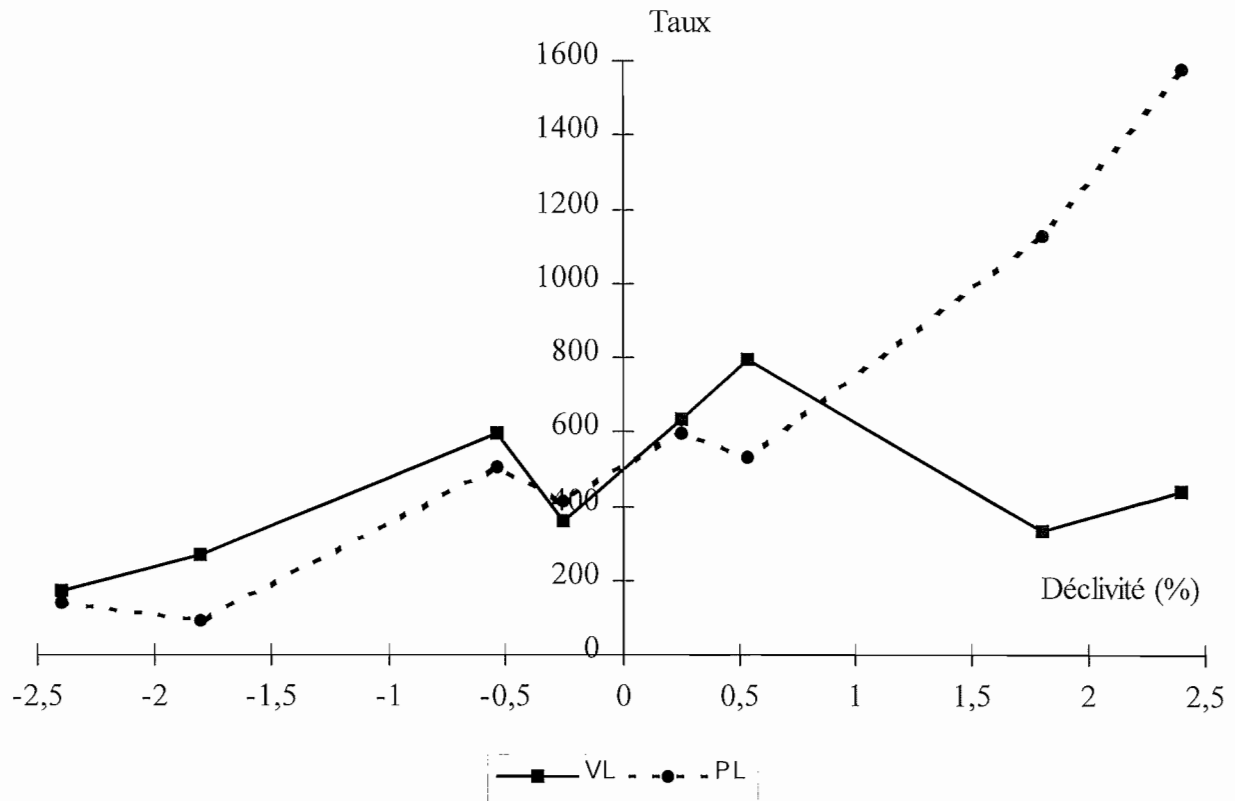
Pour le tunnel du Fréjus dont la pente est constante (montante de 0,54 % de la France vers l'Italie) la différenciation du sens de circulation n'est disponible que pour l'année 1990. L'étude, pour cet ouvrage ne concerne donc que cette seule année.

Chaque point des graphiques ci-après correspond à un sens de circulation et à une zone de même déclivité.

**Variation du taux de pannes (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité (en %) du tunnel
pour tous les véhicules.**



**Variation du taux de pannes (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité (en %) du tunnel
pour les véhicules légers et pour les poids lourds.**



Ces graphiques montrent très nettement combien les taux de pannes augmentent avec la déclivité.

Le taux de pannes des VL varie dans le rapport de 1 à 2,5 et le taux de pannes des PL dans le rapport de 1 à 11 lorsque la déclivité passe de -2,4 % à +2,4 %.

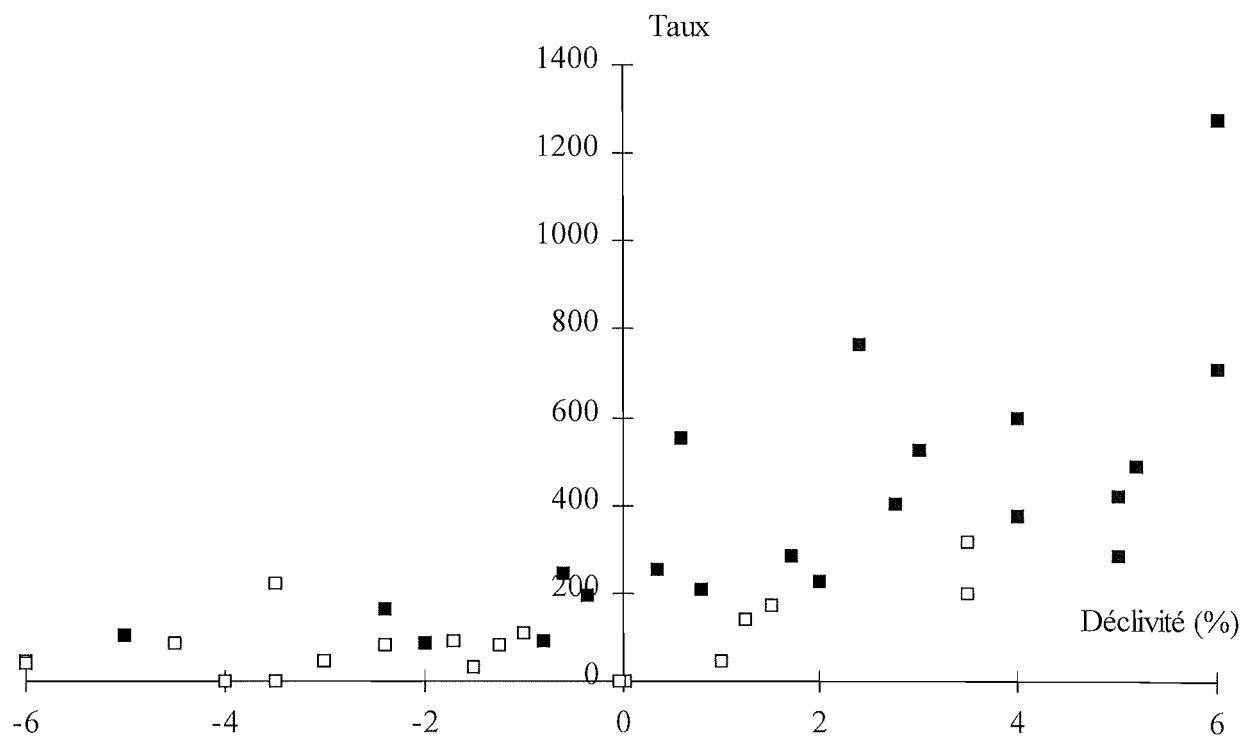
On notera également le niveau élevé des taux de pannes des PL dans les montées à 1,8 % et à 2,4 %, dans un rapport de 3 à 1 avec ceux des VL.

5.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

L'étude porte sur tous les tunnels et pour les périodes indiquées au chapitre 4.1.2 ci-avant, hormis pour les tunnels sur A8 où l'étude est limitée aux années 1992 et 1993 car la différenciation des sens de circulation en ce qui concerne les comptages trafic n'est connue que pour ces deux années.

Les déclivités indiquées sont les déclivités moyennes de chaque ouvrage et chaque point correspond à un sens de circulation. Les points de couleur claire n'ont qu'une signification statistique limitée, car ils ont été calculés avec des nombres d'événements très faibles (moins de 10).

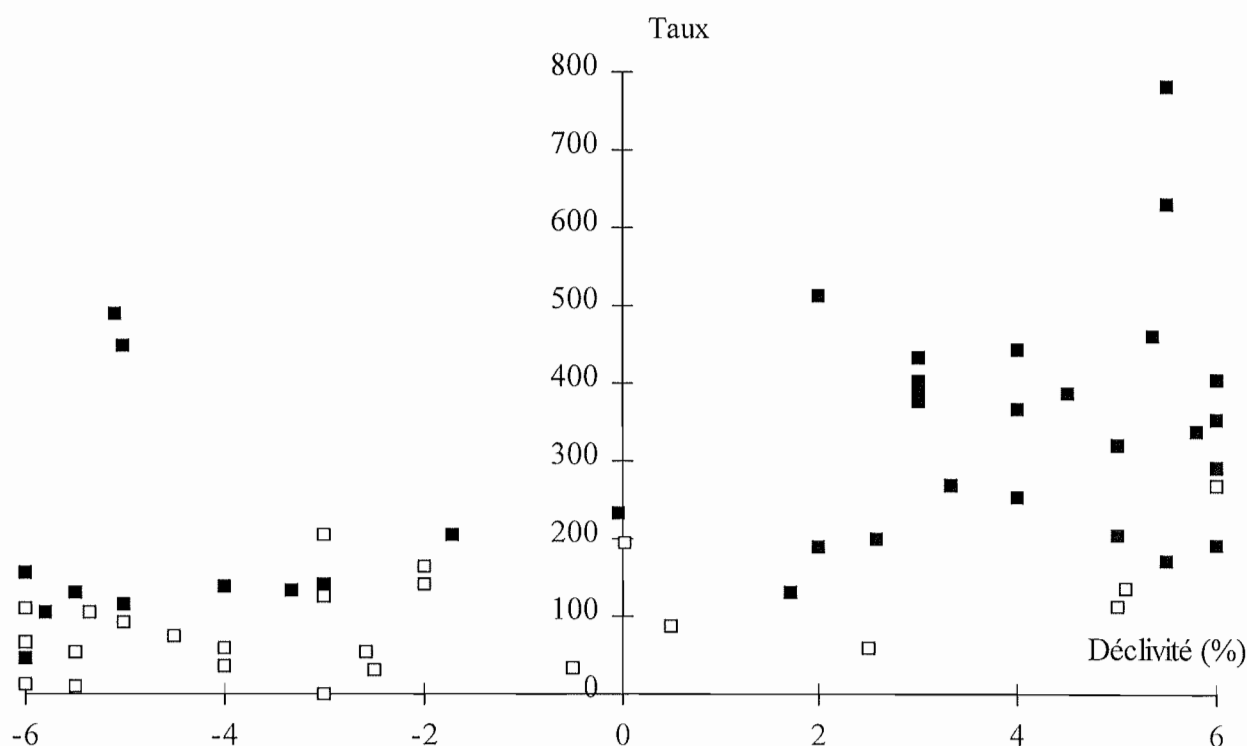
**Variation du taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité moyenne (en %) du tunnel**



On constate que globalement le taux de pannes a tendance à croître lorsque le pourcentage de la rampe croît.

Ces résultats peuvent être comparés avec les résultats ci-dessous obtenus à l'air libre sur l'autoroute A8.

**Variation du taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité (en %) à l'air libre**

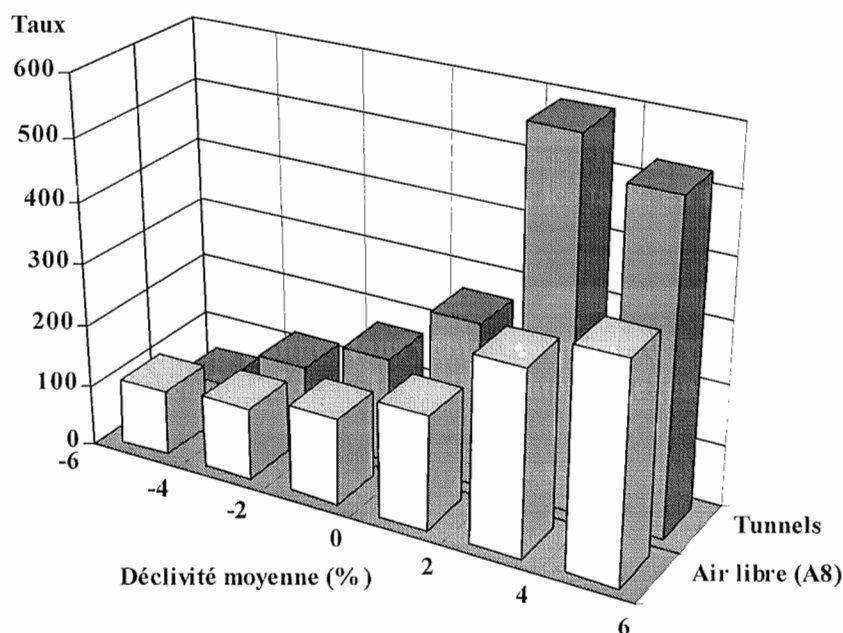


Chaque point correspond à un tronçon d'autoroute (1 seul sens) de pente constante mais de longueur et de trafic différent. Les points de couleur claire n'ont qu'une signification statistique limitée, car ils ont été calculés avec des nombres d'événements très faibles.

Hormis deux points singuliers avec des taux avoisinant 500 pour 10^8 véh.km avec une pente négative d'environ - 5 %, on constate comme en tunnel une nette influence de la déclivité sur les taux de pannes. Les deux points singuliers précités se situent approximativement au bas d'une descente de plusieurs kilomètres, ce qui pourrait expliquer ce taux anormalement élevé. En effet, les problèmes sur les systèmes de freinage peuvent être prépondérants dans ces zones, mais nous ne disposons d'aucun élément pour confirmer cette hypothèse.

Afin d'avoir des nombres de pannes plus importants dans chaque gamme de déclivité et donc une meilleure signification statistique, nous avons comparé les taux, en tunnel et à l'air libre, pour des fourchettes de déclivité.

**Taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité moyenne (en %)**

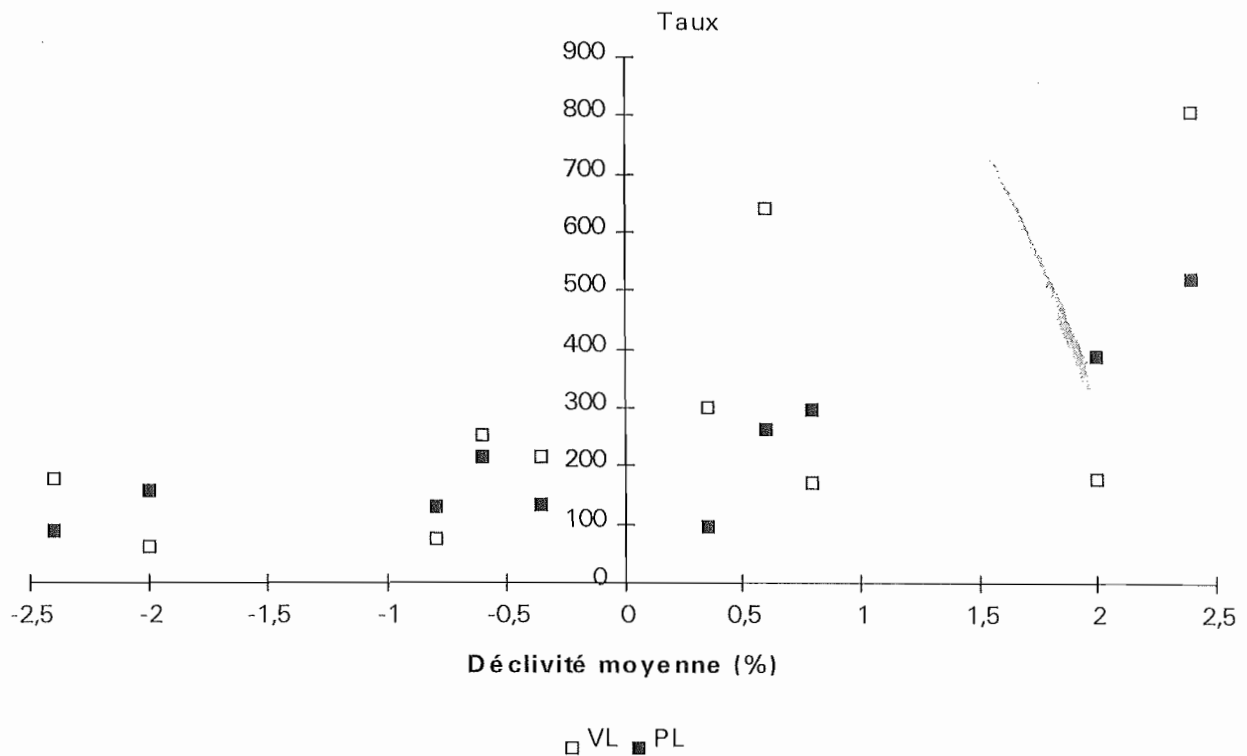


Ce graphique montre très nettement combien les taux de pannes augmentent avec la déclivité, aussi bien en tunnel qu'à l'air libre.

On constate ainsi que le taux de pannes en tunnel varie dans le rapport de 1 à 10 et le taux de pannes à l'air libre dans le rapport 1 à 3,3 lorsque la déclivité passe de la fourchette (-6, -4 %) à la fourchette (+4, +6 %). Lorsque la déclivité passe de la fourchette (0, +2 %) à la fourchette (+2, +4 %), le rapport est de 1,6 à l'air libre pour 2,2 en tunnel.

L'évolution des taux de pannes en fonction de la déclivité a par ailleurs une progression plus régulière à l'air libre qu'en tunnel.

L'influence de la déclivité sur les taux de pannes VL et PL indiquée dans le graphique ci-après ne comprends pas les tunnels sur A8 pour lesquels nous ne disposons pas de ces renseignements.

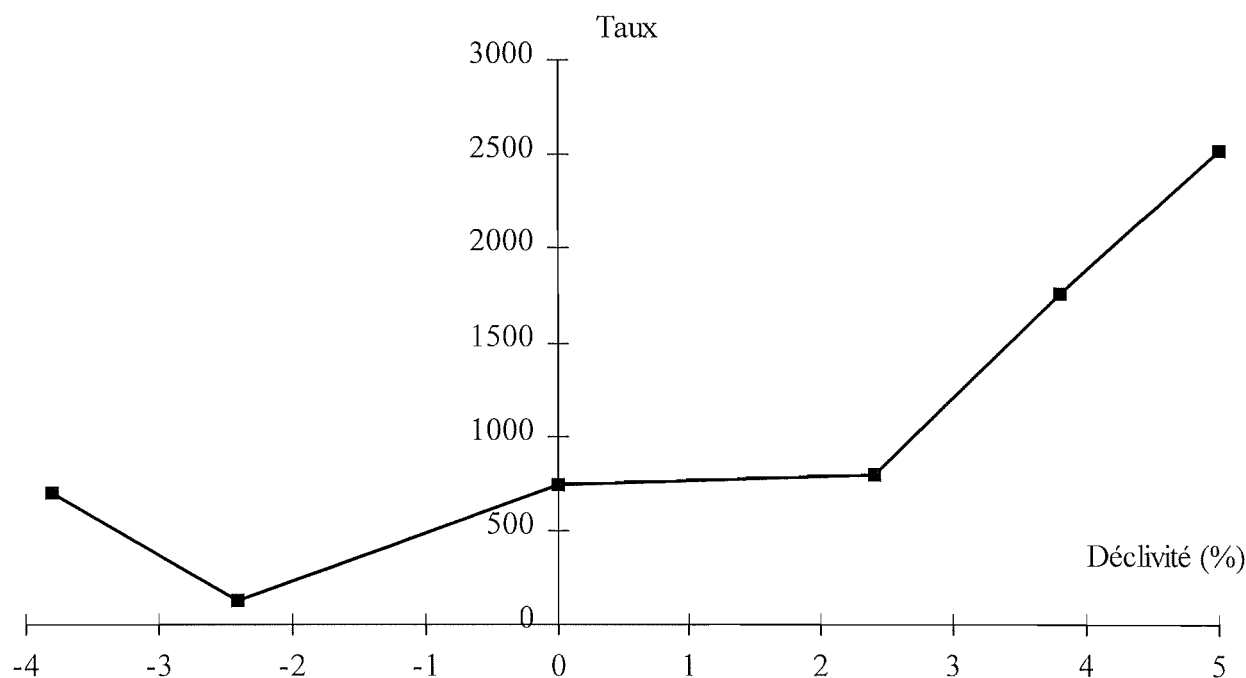


L'influence de la déclivité se fait ressentir aussi bien sur les taux de pannes VL que sur les taux de pannes PL. Pour une déclivité identique, les taux VL sont parfois supérieurs aux taux PL et parfois c'est l'inverse. La croissance des taux PL avec l'augmentation de la rampe paraît plus régulière que la croissance des taux VL mais il faut toutefois être conscient que les taux calculés pour les poids lourds n'ont qu'une valeur très limitée car ils ont été calculés à partir de faibles nombres d'événements (de 2 à 10).

5.3.3 - Tunnels urbains et périurbains

Compte tenu des renseignements en notre possession, l'étude concernant les déclivités ne porte que sur les tunnels de Fourvière, de la Croix-Rousse et du Vieux Port.

**Variation du taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité (en %) du tunnel**



Ce graphique met bien en évidence l'influence des déclivités sur les taux de pannes qui croissent fortement avec l'augmentation des déclivités.

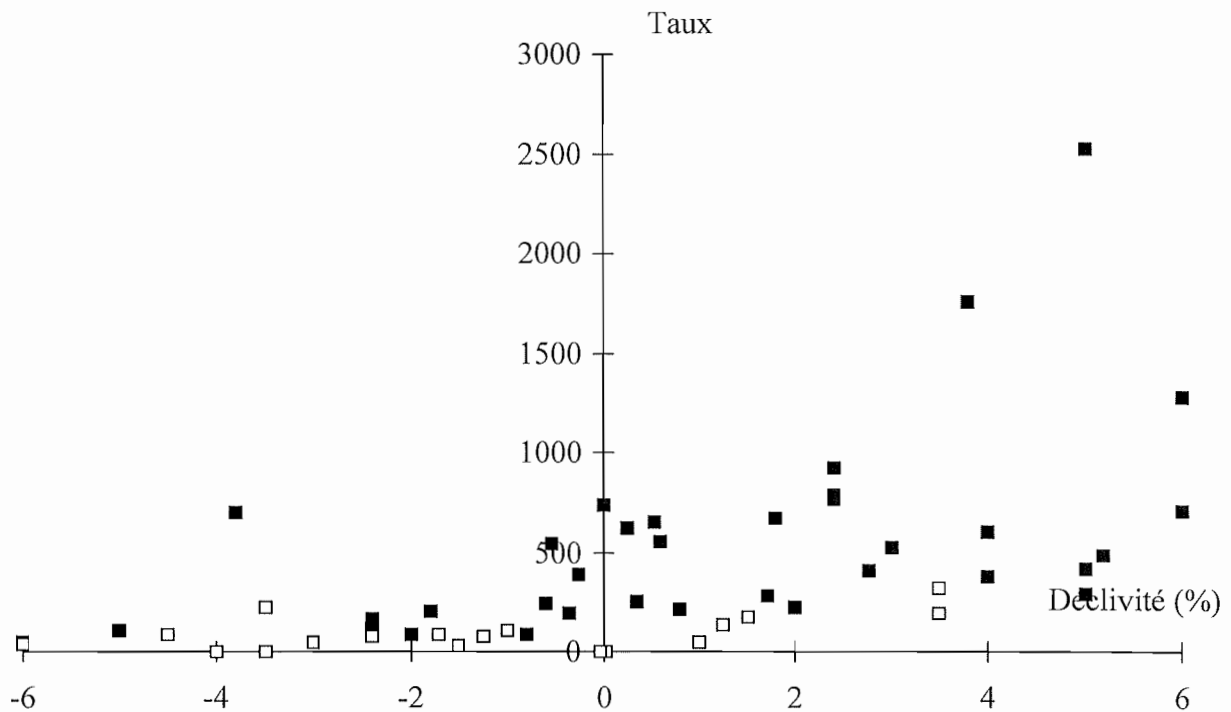
Le taux de pannes est de 4 à 6 fois plus fort pour la déclivité de + 5% que pour la déclivité de - 3,8%.

On notera par ailleurs que, dans le tunnel du Vieux-Port à Marseille, pour la même valeur de déclivité de - 3,8 % le taux dans le tube Est (1093 pour 10^8 véh.km) est environ 2,8 fois supérieur au taux du tube Ouest (389 pour 10^8 véh.km). Le point bas du profil en long des deux tubes n'est pas, aux dires de l'exploitant, un lieu d'accumulation des véhicules en panne.

5.3.4 - Synthèse générale tous tunnels

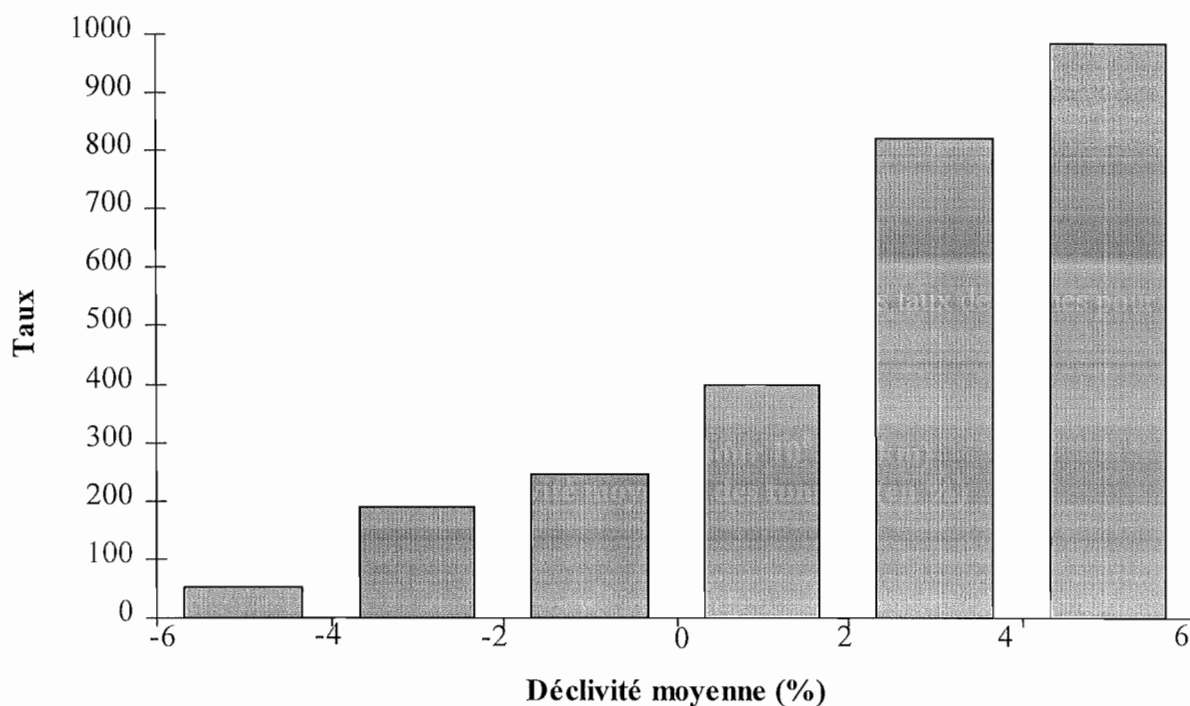
Les résultats de tous les tunnels objets de l'étude sont récapitulés dans le graphique ci-dessous. Les points de couleur claire n'ont qu'une signification statistique limitée car ils ont été calculés avec des nombres d'événements très faibles.

**Variation du taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité (en %) des tunnels**



Une meilleure représentation de ces résultats est possible en calculant les taux de pannes pour des fourchettes de déclivité.

**Taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
en fonction de la déclivité moyenne des tunnels (en %)**



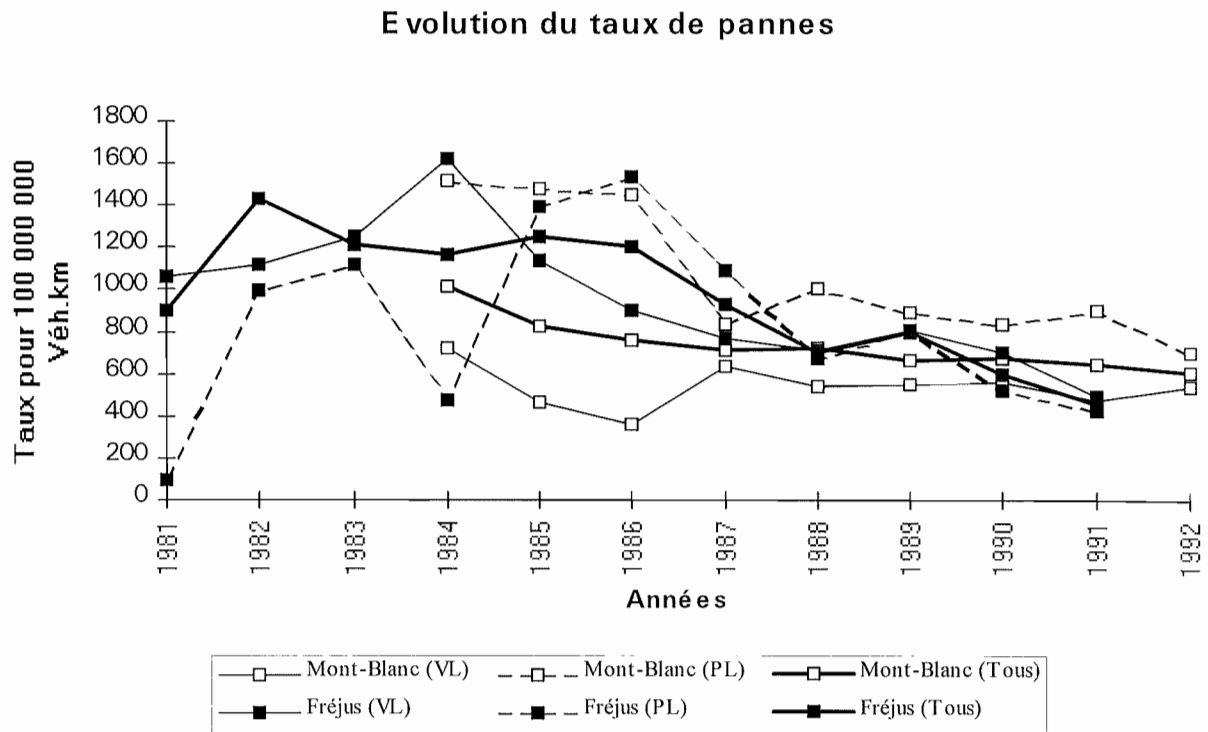
Le taux de pannes en tunnel varie dans le rapport de 1 à 18 lorsque la déclivité passe de la fourchette (-6, -4%) à la fourchette (+4, +6%). Lorsque la déclivité passe de la fourchette (0, +2%) à la fourchette (+2, +4%), le rapport est de 2.

Le taux de pannes est fortement influencé par les déclivités, il a tendance à croître nettement lorsque le pourcentage de la rampe croît. C'est sans aucun doute une des raisons qui explique la grande hétérogénéité des taux de pannes constatés entre les différentes catégories d'ouvrages mais également entre les différents ouvrages d'une même catégorie ainsi qu'entre les deux tubes d'un même ouvrage. A titre d'exemple, il a été constaté un rapport de 1 à 10 entre le sens montant (+5%) et le sens descendant (-6%) du tunnel de Las Planas.

5.4 - Evolution dans le temps des pannes

5.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Le graphique ci-dessous permet de visualiser l'évolution dans le temps des taux de pannes pour l'ensemble des deux sens de circulation des tunnels sous le Mont-Blanc et du Fréjus, tant pour les VL que pour les PL et pour tout le trafic.



On constate globalement une décroissance des taux de pannes dans le temps, aussi bien pour les VL que pour les PL.

5.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

L'évolution dans le temps du taux de pannes (tout trafic et 2 sens confondus) est assez variable selon les tunnels comme le montre le graphique de la page suivante.

Tous les tunnels objets de l'étude n'apparaissent pas dans ce graphique, car les taux de pannes calculés sur une année ne sont pas toujours significatifs, le nombre d'événements étant trop faible.

La tendance générale de l'évolution de ces taux de pannes est à la baisse, ceci étant probablement dû à l'amélioration technique des véhicules.

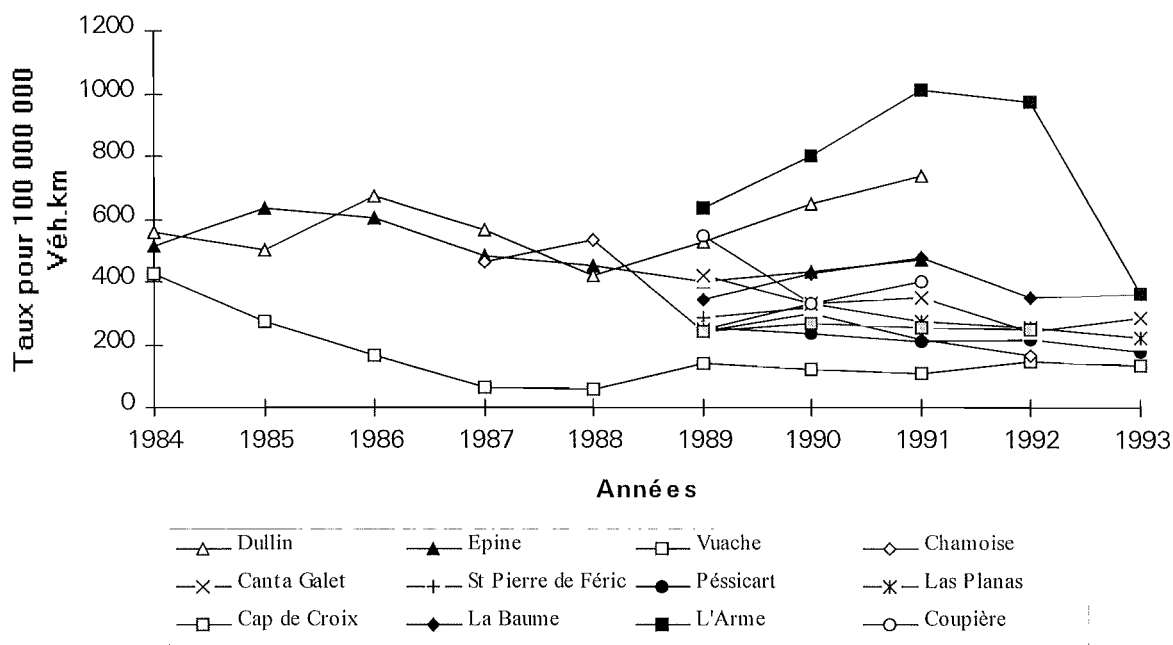
Dans la plupart des ouvrages, on constate, après une diminution, une stagnation de ces taux, c'est le cas pour Vuache, Chamoise, l'Epine et pratiquement tous les tunnels de l'A8.

Les taux très élevés constatés dans le tunnel de l'Arme (taux supérieur à 1000 en 1991) ne trouvent d'explications que dans la déclivité importante de ce tunnel (+ 6 %). En effet, dans ce tunnel, le nombre moyen annuel de pannes (pour les années 92 et 93 uniquement) dans le sens de circulation montant (+ 6 %) est près de 30 fois supérieur au nombre moyen annuel de pannes dans le sens de circulation descendant (- 6 %) : 44 pour 1,5 alors que le volume de trafic est sensiblement identique.

L'autre particularité est le tunnel de Dullin qui au contraire des autres ouvrages a un taux de pannes qui n'a pas tendance à diminuer mais globalement après stagnation (voire une légère diminution) plutôt à remonter.

La distinction de l'évolution des taux de pannes VL de celui des PL n'a pas été possible d'une part à cause de l'absence d'une partie des informations nécessaires et d'autre part par un manque de signification des taux qui sont calculés sur un nombre d'événements trop faible.

Evolution du taux de pannes

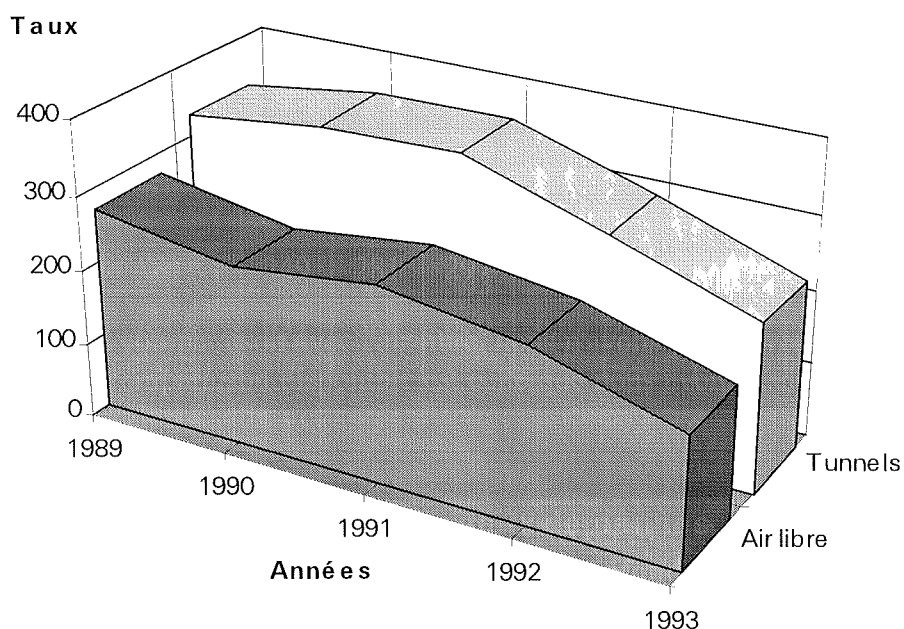


En ce qui concerne la comparaison avec l'air libre, nous n'avons pu trouver aucune étude semblable à la nôtre et la seule comparaison disponible est celle que nous avons réalisée sur l'autoroute A8 et dont nous reproduisons les résultats ci-après :

EVOLUTION DES PANNES SUR A8 (Tous véhicules et 2 sens confondus)

	Nombre annuel					Taux pour 10 ⁸ Véh.km				
	1989	1990	1991	1992	1993	1989	1990	1991	1992	1993
Tunnels sur Autoroute A8	249	281	297	255	198	329	352	355	294	226
Zone courante à l'air libre (hors échangeurs, péage, etc.)	631	584	670	630	485	272	239	262	234	176

Evolution des taux de pannes



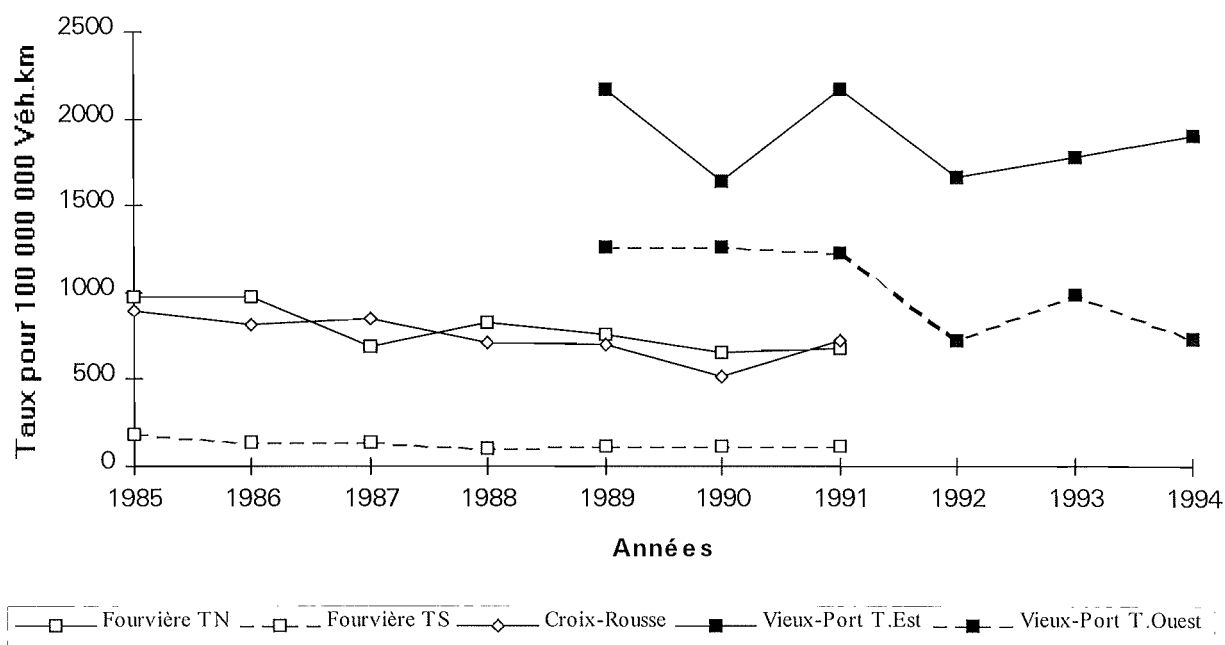
L'évolution des pannes à l'air libre et dans les tunnels de cet itinéraire est identique. Les taux de pannes en 1993 sont nettement inférieurs à ceux constatés en 1989 mais la décroissance n'a pas été constante.

Ainsi tout à fait globalement, la diminution des taux de panne est effective et va sans doute de pair avec l'amélioration de la fiabilité des véhicules.

5.4.3 - Tunnels urbains et périurbains

L'étude concerne chacun des deux tubes du tunnel de Fourvière et du tunnel du Vieux-Port, ainsi que le tunnel de la Croix-Rousse pour l'ensemble de ses deux sens de circulation.

Evolution du taux de pannes



Globalement, les taux de pannes ont tendance à diminuer dans le temps.

En ce qui concerne le tunnel du Vieux-Port à Marseille, une précédente étude faite par le CETU datant de juin 1978 fait état pour les années 1974 à 1977 des taux de pannes suivant :

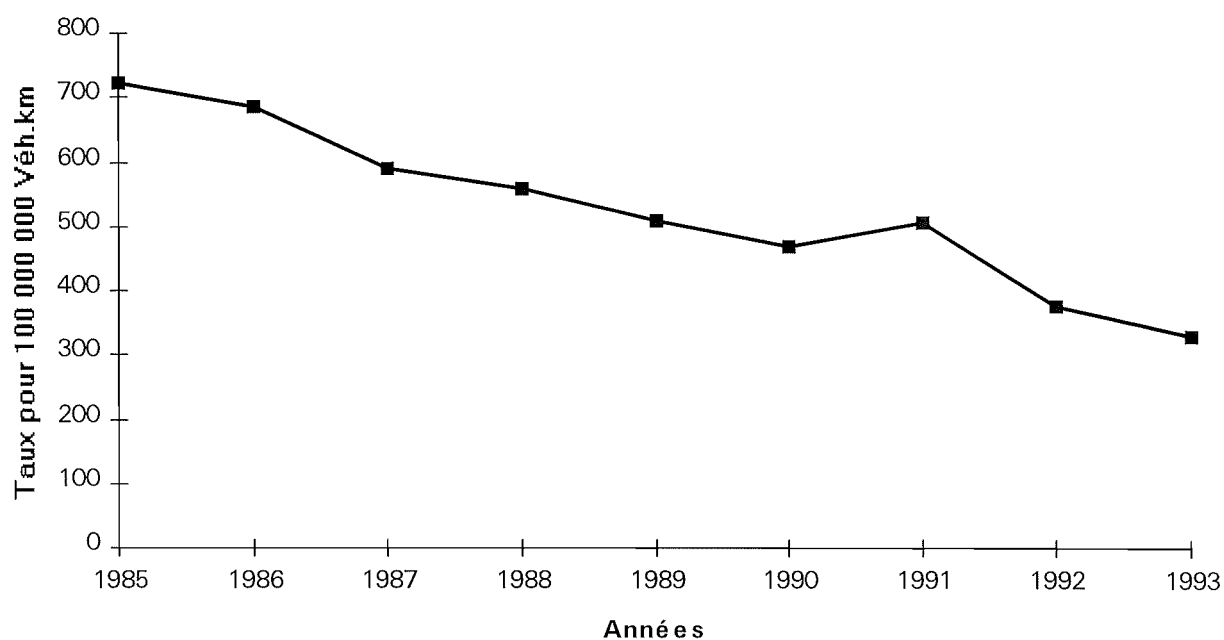
Années	Taux pour 10^9 véh.km
1974	2810
1975	2280
1976	2746
1977	2618

En 20 ans, le taux de pannes a donc été divisé par un facteur de l'ordre de 2.

5.4.4 - Synthèse générale tous tunnels

Le graphique ci-après donne pour les années 1985 à 1993 l'évolution du taux de pannes calculé pour l'ensemble des tunnels de l'étude pour lesquels les valeurs sont disponibles.

**Evolution du taux de pannes tous véhicules (pour 10^8 véh.km)
calculé pour l'ensemble des tunnels**



Le taux de pannes global tous tunnels et tous véhicules a tendance à diminuer au cours du temps. En 8 ans ce taux est passé de 720 pour 10^8 véh.km à 330 pour 10^8 véh.km. Cette diminution va sans doute de pair avec l'amélioration technique des véhicules.

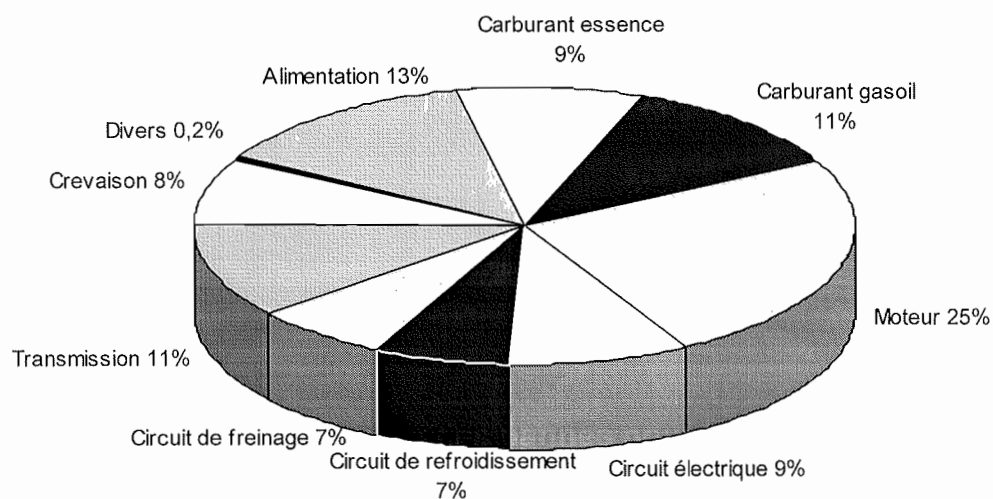
5.5 - Causes des pannes

5.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

La répartition des causes des pannes dans le tunnel sous le Mont-Blanc pour la période 1989-1992 et dans le tunnel du Fréjus pour l'année 1990 (le détail n'est connu que pour cette année) s'établit comme suit :

Nature	VL		PL		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Alimentation	36	17,1	25	10,2	61	13,4
Carburant essence	41	19,5	0	0,0	41	9,0
Carburant gasoil	11	5,2	41	16,7	52	11,4
Moteur	42	20,0	71	29,0	113	24,8
Circuit électrique	32	15,2	8	3,3	40	8,8
Circuit de refroidissement	15	7,1	15	6,1	30	6,6
Circuit de freinage	6	2,9	25	10,2	31	6,8
Transmission	14	6,7	36	14,7	50	11,0
Crevaision	12	5,7	24	9,8	36	7,9
Divers	1	0,5	0	0,0	1	0,2
Total	210	100,0	245	100,0	455	100,0

Répartition des causes des pannes pour tous les véhicules



Pour les VL, les causes de pannes les plus répandues sont les pannes moteurs (20%) et le manque de carburant (19,5%). Viennent ensuite les problèmes d'alimentation (17%) et de circuit électrique (15%).

Pour les PL, la cause de panne la plus répandue est le problème de moteur (29%). Ensuite, nous trouvons les pannes de gasoil (17%) et les problèmes de transmission (15%).

Etude particulière : variation des causes des pannes en fonction de la rampe dans le tunnel sous le Mont-Blanc.

On trouvera ci-après un tableau permettant de comparer la cause des pannes en fonction de la rampe. Ce tableau porte sur 336 cas de pannes recensées.

TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC (1989 - 1992)
Variation des causes de panne
en fonction de la rampe

Type de véhicules	Nature de la panne	-2,40% sens I - F sur 2850 m		-1,80% sens I - F sur 2950 m		-0,25% sens F - I sur 5800 m		0,25% sens I - F sur 5800 m		1,80% sens F - I sur 2950 m		2,40% sens F - I sur 2850 m		Tout confondu global sur le tunnel	
		Nombre au km	%	Nombre au km	%	Nombre au km	%	Nombre au km	%	Nombre au km	%	Nombre au km	%	Nombre au km	%
Véhicules légers	Alimentation	0,35	14,3%	0,34	8,3%	1,03	20,0%	2,07	25,0%	1,02	21,4%	0,00	0,0%	2,93	20,0%
	Carburant essence	0,35	14,3%	1,36	33,3%	0,86	16,7%	2,24	27,1%	0,34	7,1%	1,75	23,8%	2,76	18,8%
	Carburant gasoil	0,70	28,6%	0,68	16,7%	0,00	0,0%	0,34	4,2%	0,00	0,0%	0,70	9,5%	0,95	6,5%
	Moteur	0,35	14,3%	0,34	8,3%	0,86	16,7%	1,21	14,6%	1,69	35,7%	1,75	23,8%	2,33	15,9%
	Circuit électrique	0,35	14,3%	0,34	8,3%	1,38	26,7%	1,03	12,5%	0,68	14,3%	1,40	19,0%	2,33	15,9%
	Circuit de refroidissement	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,52	10,0%	0,34	4,2%	0,34	7,1%	0,70	9,5%	1,12	7,6%
	Circuit de freinage	0,00	0,0%	0,34	8,3%	0,00	0,0%	0,17	2,1%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,43	2,9%
	Transmission	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,34	6,7%	0,52	6,3%	0,34	7,1%	1,05	14,3%	1,21	8,2%
	Crevaillon	0,35	14,3%	0,68	16,7%	0,17	3,3%	0,34	4,2%	0,34	7,1%	0,00	0,0%	0,60	4,1%
	Divers	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
	Total		2,46	100,0%	4,07	100,0%	5,17	100,0%	8,28	100,0%	4,75	100,0%	7,37	100,0%	14,66
Poids lourds	Alimentation	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,34	7,4%	0,69	8,5%	2,03	12,0%	2,81	11,3%	1,72	9,6%
	Carburant essence	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
	Carburant gasoil	0,00	0,0%	0,00	0,0%	1,03	22,2%	2,59	31,9%	2,03	12,0%	2,46	9,9%	3,10	17,2%
	Moteur	0,35	20,0%	0,34	25,0%	1,21	25,9%	2,76	34,0%	5,76	34,0%	6,67	26,8%	5,34	29,7%
	Circuit électrique	0,00	0,0%	0,34	25,0%	0,00	0,0%	0,17	2,1%	0,00	0,0%	0,70	2,8%	0,43	2,4%
	Circuit de refroidissement	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,17	3,7%	0,69	8,5%	1,36	8,0%	2,11	8,5%	1,29	7,2%
	Circuit de freinage	0,35	20,0%	0,68	50,0%	0,69	14,8%	0,17	2,1%	2,37	14,0%	3,51	14,1%	2,16	12,0%
	Transmission	0,35	20,0%	0,00	0,0%	0,69	14,8%	0,69	8,5%	2,71	16,0%	5,26	21,1%	2,84	15,8%
	Crevaillon	0,70	40,0%	0,00	0,0%	0,52	11,1%	0,34	4,3%	0,68	4,0%	1,40	5,6%	1,12	6,2%
	Divers	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
	Total		1,75	100,0%	1,36	100,0%	4,66	100,0%	8,10	100,0%	16,95	100,0%	24,91	100,0%	18,02
Tous véhicules	Alimentation	0,35	8,3%	0,34	6,3%	1,38	14,0%	2,76	16,8%	3,05	14,1%	2,81	8,7%	4,66	14,2%
	Carburant essence	0,35	8,3%	1,36	25,0%	0,86	8,8%	2,24	13,7%	0,34	1,6%	1,75	5,4%	2,76	8,4%
	Carburant gasoil	0,70	16,7%	0,68	12,5%	1,03	10,5%	2,93	17,9%	2,03	9,4%	3,16	9,8%	4,05	12,4%
	Moteur	0,70	16,7%	0,68	12,5%	2,07	21,1%	3,97	24,2%	7,46	34,4%	8,42	26,1%	7,67	23,5%
	Circuit électrique	0,35	8,3%	0,68	12,5%	1,38	14,0%	1,21	7,4%	0,68	3,1%	2,11	6,5%	2,76	8,4%
	Circuit de refroidissement	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,69	7,0%	1,03	6,3%	1,69	7,8%	2,81	8,7%	2,41	7,4%
	Circuit de freinage	0,35	8,3%	1,02	18,8%	0,69	7,0%	0,34	2,1%	2,37	10,9%	3,51	10,9%	2,59	7,9%
	Transmission	0,35	8,3%	0,00	0,0%	1,03	10,5%	1,21	7,4%	3,05	14,1%	6,32	19,6%	4,05	12,4%
	Crevaillon	1,05	25,0%	0,68	12,5%	0,69	7,0%	0,69	4,2%	1,02	4,7%	1,40	4,3%	1,72	5,3%
	Divers	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
	Total		4,21	100,0%	5,42	100,0%	9,83	100,0%	16,38	100,0%	21,69	100,0%	32,28	100,0%	32,67

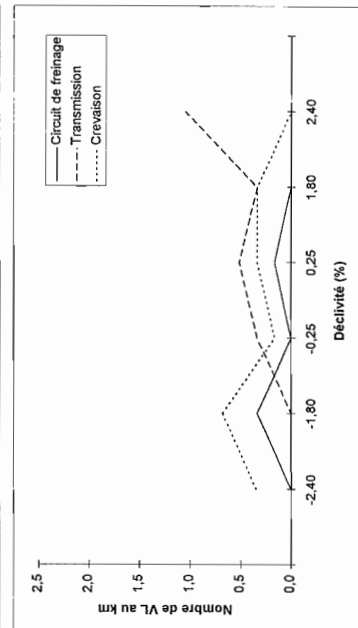
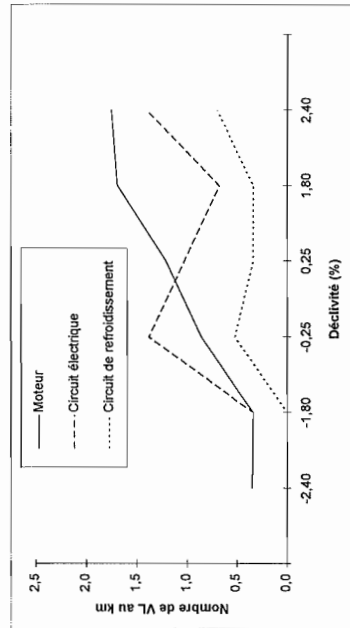
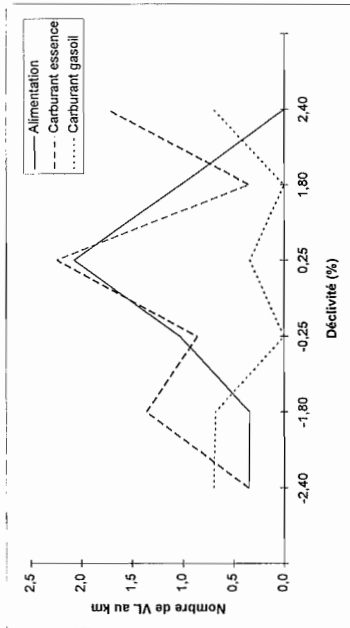
On remarquera en premier lieu que le nombre de pannes, notamment de PL, dans les zones en forte descente est trop faible pour que les pourcentages indiqués aient une réelle signification.

Pour les VL, on trouve une accumulation anormale de pannes de carburant sur la rampe à 0,25%. Le sens est justifié par la disparité sur le prix des carburants entre la France et l'Italie (en faveur de la France pendant la période d'étude). Le fait que les pannes sont surtout recensées dans cette faible montée laisserait penser que certains usagers en panne de carburant dans la descente continuent en roue libre soit jusqu'à un garage (où ils ne sont pas comptabilisés s'ils disposent d'un jerrican de carburant), soit jusqu'à la sortie du tunnel. On constate également sur cette portion de rampe une accumulation anormale de pannes d'alimentation. Ces deux éléments permettent d'expliquer la valeur très forte des taux de panne dans cette partie du tunnel.

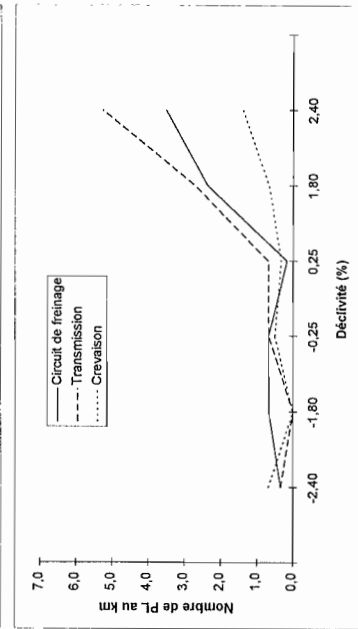
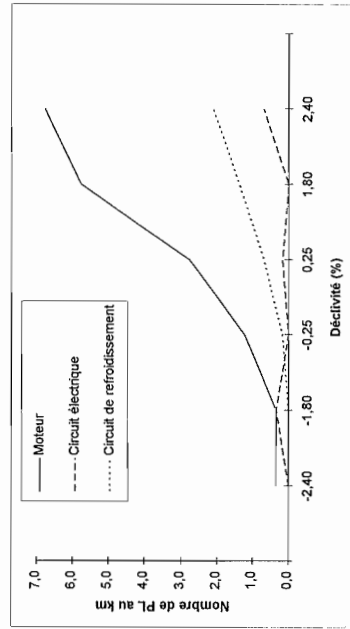
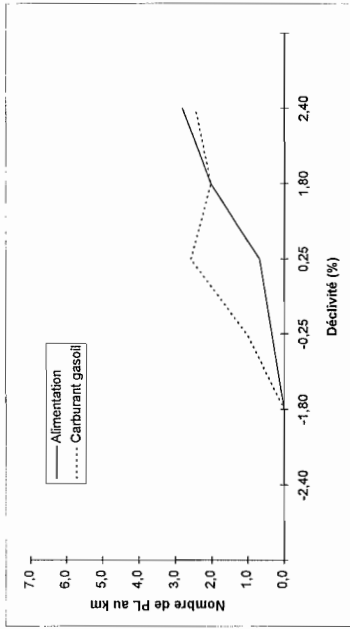
Pour les PL, la répartition est relativement homogène et reflète bien l'influence des montées à laquelle on pouvait s'attendre. Le seul élément discordant est l'accumulation de pannes de gasoil sur la montée à 0,25% dans le sens Italie-France. Les pannes du circuit de freinage en montée à 1,8% et 2,4% sont dues à une fuite causée par la trop grande pression du circuit pendant la montée.

On trouvera ci-après les graphiques permettant de visualiser ces répartitions.

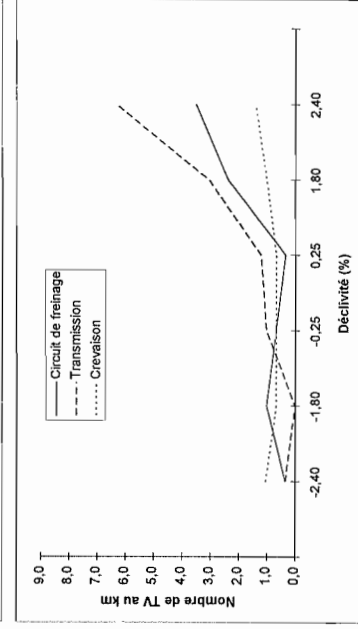
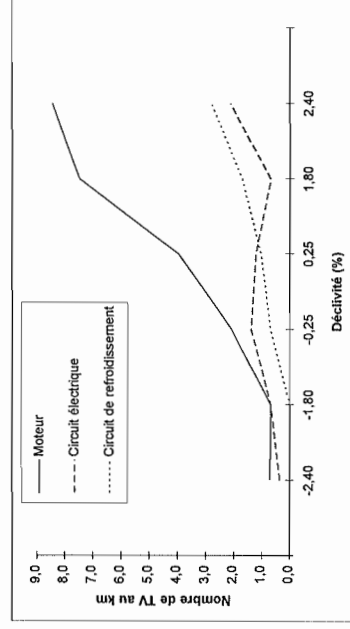
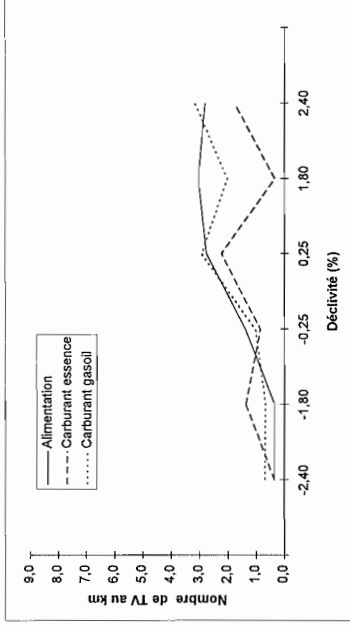
TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC (1989 -1992)
Variation des causes de panne des véhicules légers en fonction de la rampe



TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC (1989 -1992)
Variation des causes de panne de panne des poids lourds en fonction de la rampe



TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC (1989 -1992)
Variation des causes de panne tous véhicules en fonction de la rampe



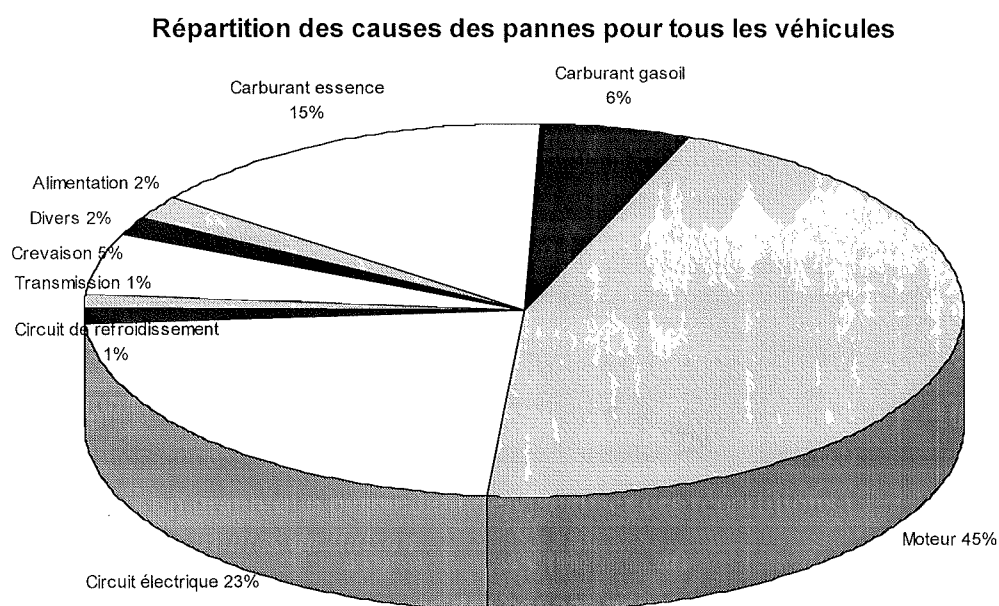
5.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Les causes des pannes ne nous ont été communiquées que pour les tunnels de Chamoise, de Vuache, de Dullin et de l'Epine.

La répartition des causes des pannes pour ces 4 ouvrages s'établit comme suit :

Nature	VL		PL		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Alimentation carburant	15	1,6	6	7,0	21	2,1
Carburant essence	153	16,5	0	0,0	153	15,1
Carburant gasoil	39	4,2	19	22,1	58	5,7
Moteur	419	45,1	40	46,5	459	45,2
Circuit électrique	221	23,8	8	9,3	229	22,6
Circuit de refroidissement	13	1,4	0	0,0	13	1,3
Circuit de freinage	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Transmission	4	0,4	7	8,1	11	1,1
Crevaision	49	5,3	6	7,0	55	5,4
Divers	16	1,7	0	0,0	16	1,6
Total	929	100,0	86	100,0	1015	100,0

On trouvera ci-après un graphique permettant de visualiser ces répartitions.



Les informations en notre possession sont insuffisantes pour nous permettre d'étudier les causes des pannes en fonction de la rampe.

Globalement, les pannes principales sont la défaillance moteur (45 %), le circuit électrique (23 %) et le manque de carburant (essence + gasoil = 21 %).

On notera également que dans le tunnel de Dullin, dans 3 % des pannes répertoriées, l'automobiliste s'est arrêté à titre de prévention, et dans l'Epine dans 20 % des cas, il ne s'agissait également que de prévention. Nous ne possédons pas ces informations pour les autres ouvrages.

A titre de comparaison, nous pouvons citer les tunnels norvégiens , où les causes de pannes se répartissent de la façon suivante :

- Pannes moteur : 45 %
- Pannes carburant : 28 %
- Crevaisons : 5 %
- Autres : 22 %

5.5.3 - Tunnels urbains et périurbains

Nous ne disposons des causes des pannes que pour l'année 1990 sous le tunnel de Fourvière et pour les années 1989 à 1994 sous le tunnel du Vieux-Port mais d'une façon assez peu détaillée.

Nature	Fourvière		Vieux-Port	
	Nombre	%	Nombre	%
Carburant	85	21,9	203	22,3
Roues - pneus	12	3,0	38	4,2
Moteur	33	8,5	287	31,0
Circuit électrique	66	17,0	384	42,0
Circuit de refroidissement	55	14,2		
Circuit de freinage	5	1,3		
Transmission	22	5,7		
Alimentation	76	19,6		
Divers	34	8,8		
Total	388	100,0	912	100,0

Le tableau ci-après donne une comparaison des deux ouvrages :

Nature des pannes	Tunnel de Fourvière		Tunnel du Vieux-Port	
	Pourcentage	Taux	Pourcentage	Taux
Carburant	22	134	22	320
Crevaision	3	19	4	60
Moteur	8,5	52	31	454

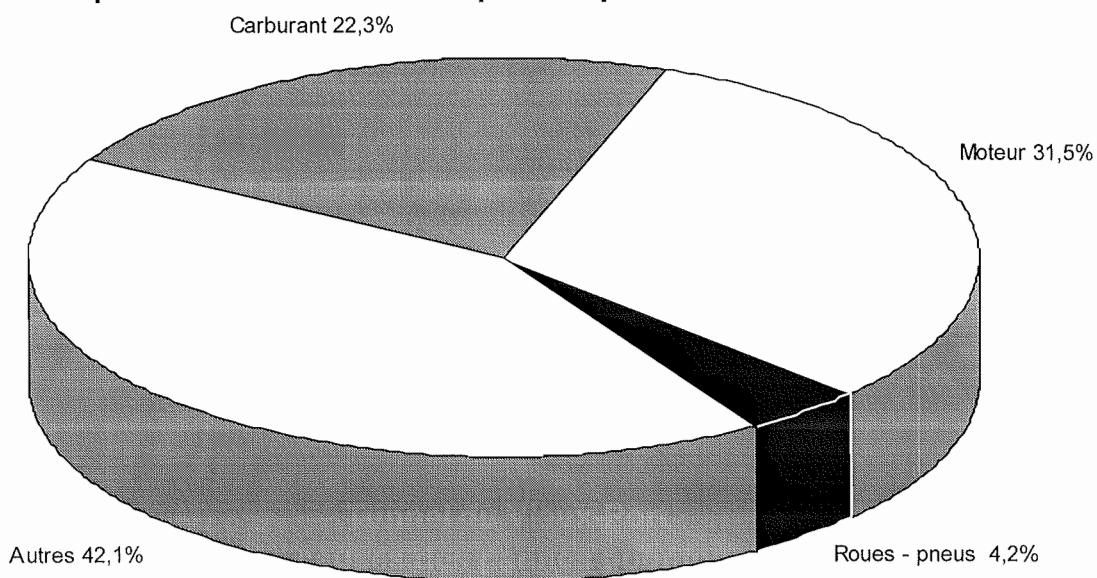
Les pannes de carburant et les crevaisons représentent des pourcentages du nombre total de pannes voisins dans les deux tunnels. En revanche, si on considère les taux, du fait que le taux de l'ensemble des pannes est 3 à 4 fois plus important dans le tunnel du Vieux-Port, les taux de pannes de carburant et de crevaision y sont aussi beaucoup plus élevés : d'un facteur de l'ordre de 3 pour les crevaisons et de 2,5 à 5 pour les pannes de carburant.

Le pourcentage de pannes moteurs (31 %) dans le Vieux-Port est relativement important par rapport au 8,5 % constatés à Fourvière. Si on raisonne à nouveau en termes de taux, la situation est différente : le taux de pannes moteur dans le Vieux-Port est 9 fois supérieur à celui de Fourvière.

Les graphiques de la page suivante donnent la répartition des causes des pannes pour les deux tunnels.

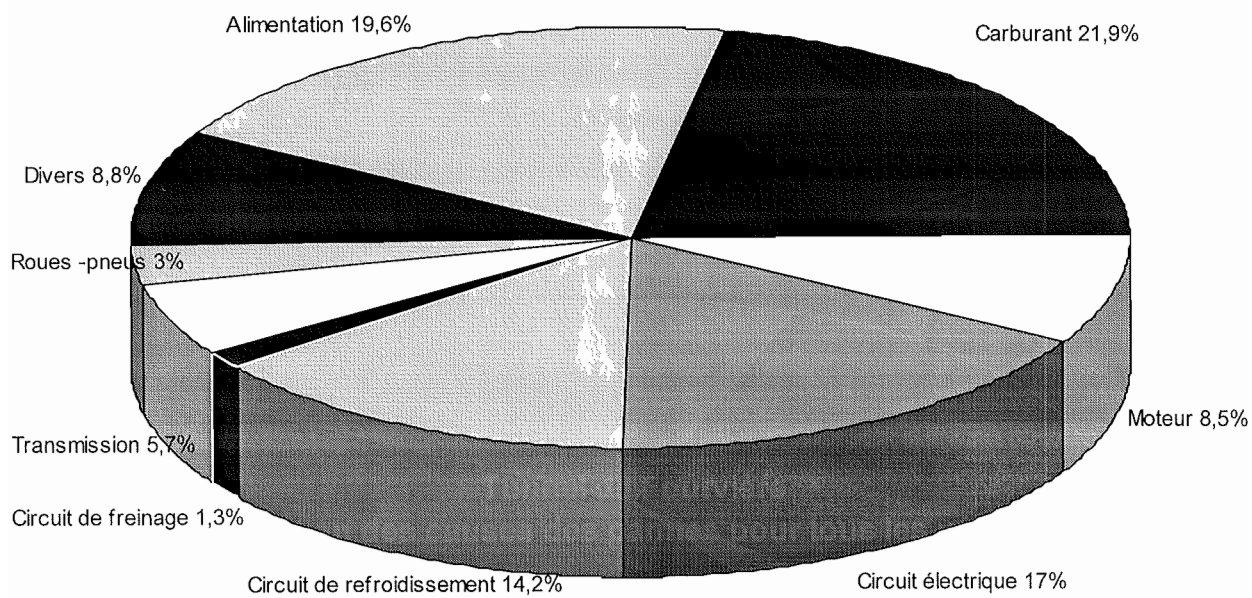
Tunnel du Vieux-Port

Répartition des causes des pannes pour tous les véhicules



Tunnel de Fourvière

Répartition des causes des pannes pour tous les véhicules



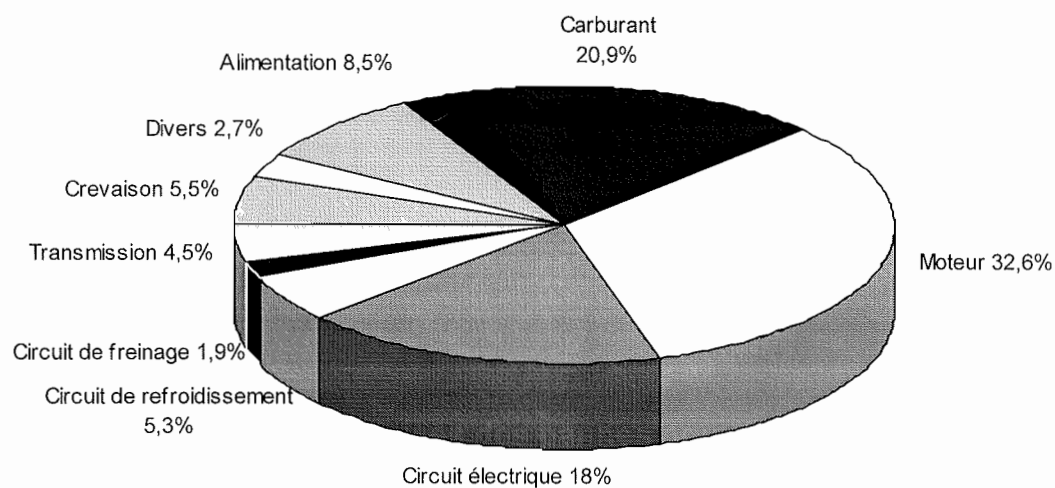
5.5.4 - Synthèse générale tous tunnels

On notera tout d'abord la particularité suivante : le pourcentage des pannes de carburant (de l'ordre de 20 %) est constant quel que soit le type d'ouvrage. Hormis ces pannes de carburant, dans les tunnels sur autoroute de liaison ce sont presque uniquement des pannes de moteur (45 %) et des pannes de circuit électrique (23 %) qui sont constatées. Dans les deux autres catégories d'ouvrages, ce sont tous les organes mécaniques des véhicules qui sont plus ou moins mis en cause, moteurs et circuits électriques bien sûr, mais aussi circuit de refroidissement et de freinage, transmission et alimentation dans des pourcentages variant de 7 à 25 %.

Si l'on considère l'ensemble des tunnels pour lesquels nous disposons des renseignements (hormis le tunnel du Vieux-Port insuffisamment détaillé), la répartition des causes des pannes pour tous les véhicules s'établit comme suit :

Nature	Total	
	Nombre	%
Alimentation carburant	158	8,5
Carburant	389	20,9
Moteur	605	32,6
Circuit électrique	335	18
Circuit de refroidissement	98	5,3
Circuit de freinage	36	1,9
Transmission	83	4,5
Crevaision	103	5,5
Divers	51	2,7
Total	1858	100,0

Répartition des causes des pannes pour tous les véhicules dans tous les tunnels



Les causes principales des pannes en tunnel sont la défaillance moteur (33 %), le manque de carburant (21 %) et le circuit électrique (18 %).

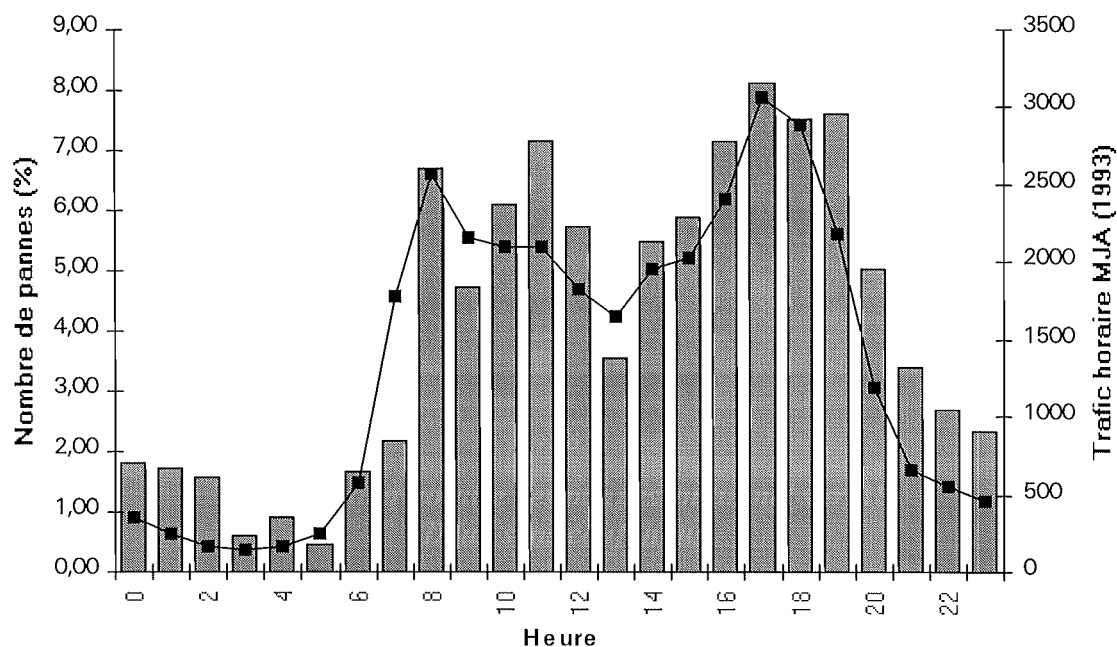
5.6 - Distribution horaire des pannes

Cette étude n'a pu être faite que pour les tunnels sur autoroutes de liaison et que sur l'autoroute A8, car nous ne disposons pas de ces éléments pour les autres tunnels.

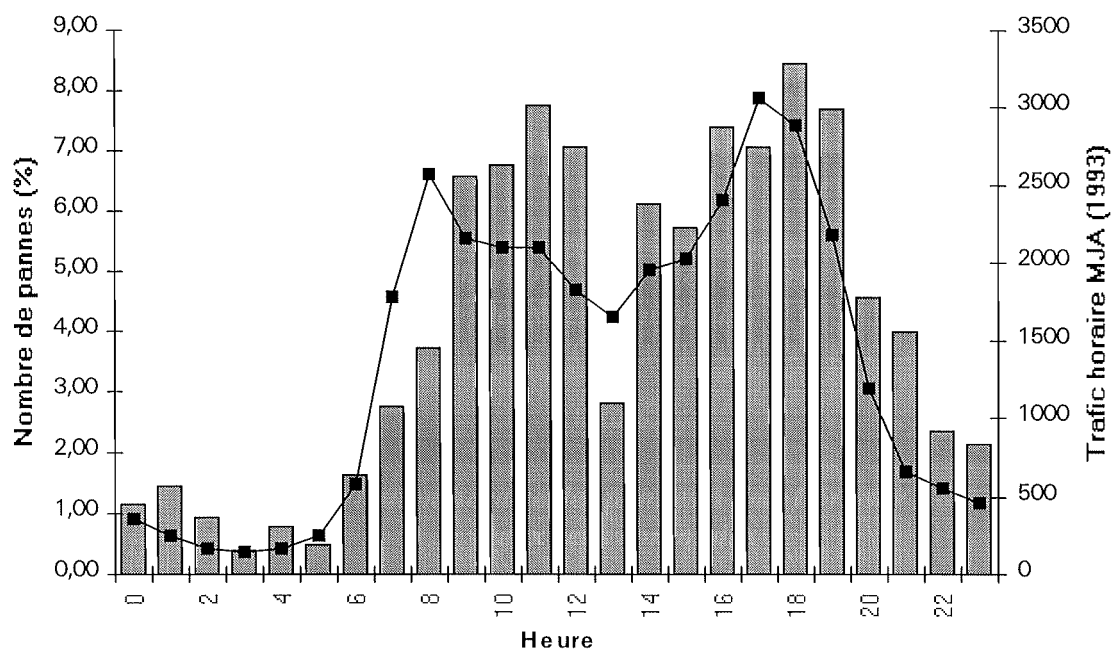
Les graphiques ci-après donnent la distribution horaire des pannes en tunnel et à l'air libre (pour les années 1989 à 1993) et pour les deux sens de circulation confondus.

La distribution horaire du trafic moyen journalier pour l'année 1993 a été superposée sur chacun des graphes.

***Distribution horaire des pannes en tunnel sur A8
Deux sens confondus***



***Distribution horaire des pannes à l'air libre sur A8
Deux sens confondus***



Que ce soit en tunnel ou à l'air libre, la distribution horaire des pannes est la même et reflète assez fidèlement la distribution horaire du trafic.

Cette distribution horaire du trafic ne concerne que les trafics relevés sur la barrière de péage de Saint Isidore en 1993. On peut admettre que cette distribution reste la même sur tout l'itinéraire, mais il est délicat d'en tirer des conclusions plus approfondies.

5.7 - Durée des pannes

Par durée moyenne, il faut entendre le temps écoulé entre la détection du véhicule en panne sur la chaussée et le moment où la situation est redevenue normale.

5.7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

L'analyse ne porte que sur un nombre réduit d'événements (73 cas) pour le tunnel du Mont-Blanc et que sur l'année 1990 pour le tunnel du Fréjus.

Dans le calcul des moyennes du tableau ci-dessous nous n'avons pas pris en compte une panne qui a duré 6 h 10 mn dans le tunnel du Fréjus et une panne qui a duré 7 h 50 mn dans le tunnel sous le Mont-Blanc (arbre de roues cassé : véhicule ne pouvant pas être déplacé).

Tunnels	Durée moyenne VL (mn)	Durée moyenne PL (mn)	Durée moyenne Tous véhicules (mn)
Mont-Blanc	26	66	40
Fréjus	14	29	21

L'exploitant du tunnel du Fréjus a estimé que le temps de détection de l'incident est d'environ 30 s et que le délai d'arrivée de l'aide sur le site est d'environ 5 à 7 mn.

La différence des durées moyennes de panne est à rapprocher de la politique quant à une réparation sur place ou non des véhicules (cf. § 5.11.1).

5.7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Les informations ne sont disponibles que pour ces quelques tunnels.

Tunnels	Durée moyenne VL (mn)	Durée moyenne PL (mn)	Durée moyenne Tous véhicules (mn)
Epine	40	35	40
Dullin	52	65	53
Chamoise	29	38	30

5.7.3 - Tunnels urbains et périurbains

La seule information dont nous disposons est une durée moyenne d'intervention pour une panne de 15 mn dans le tunnel du Vieux-Port.

5.8 - Incidence des pannes sur les conditions de circulation

5.8.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Nous ne disposons pas d'informations sur ce sujet pour cette catégorie d'ouvrages.

5.8.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

L'étude de l'incidence des pannes sur la circulation n'a pu être étudiée que sur l'A8. Les résultats pour les 5 années 1989 à 1993 sont les suivants :

% de pannes		En tunnel	A l'air libre
sans incidence sur la circulation		98,8	99,03
conduisant à un ralentissement de la circulation		1,2	0,97
conduisant à un arrêt de la circulation		0	0
créant une perturbation de	aucune	98,8	99,03
	0 à 30 mn	0,38	0,3
	30 mn à 1 h	0,75	0,6
	1 h à 2 h	0,08	0,07
	+ de 2 h	0	0

La gêne n'apparaît guère plus importante en tunnel qu'à l'air libre (1,2 % des pannes conduisent à un ralentissement de la circulation en tunnel alors qu'à l'air libre le pourcentage est de 0,97 %).

De même, les perturbations ne sont pratiquement pas plus importantes en tunnel qu'à l'air libre, en dépit du fait qu'en tunnel sur A8 les BAU (trottoirs franchissables compris) ont une largeur généralement inférieure à celle qu'on rencontre à l'air libre. Les renseignements en notre possession ne nous permettent pas de faire une analyse très fine mais on constate que l'ordre de grandeur de largeur de BAU en tunnel se situe dans une plage allant de 0,6 m à un peu plus de 2 m. A l'air libre, on trouve quelques zones avec des BAU de largeur inférieure à 1 m mais la plupart du temps la BAU a une largeur comprise entre 1,5 m et 4 m.

5.8.3 - Tunnels urbains et périurbains

Nous ne disposons pas d'informations concernant les tunnels objets de l'étude mais nous avons les chiffres suivants pour le tunnel d'Oslo en Norvège (pour 430 pannes répertoriées) :

	Sans incidence sur la circulation	Créant une perturbation de			
		0 - 5 mn	6 - 15 mn	16 - 60 mn	> 1 heure
% de pannes	42	19,3	21,9	16,3	0,5

Ce tunnel à péage est constitué de 2 tubes disposant chacun de 3 voies de circulation de 3,5 m de large. Les conditions de trafic sont contrôlées en permanence grâce à un réseau de télévision en circuit fermé.

5.9 - Moyen de détection des pannes

5.9.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Nous ne disposons de données chiffrées que pour les 77 pannes observées en 1990 dans le tunnel du Fréjus. Les moyens de détection ont été les suivants :

- R A U (appel de l'utilisateur au moyen du réseau d'appel d'urgence) : 66 %
- TV (détection du véhicule en panne par le régulateur au moyen du circuit de télévision en circuit fermé) : 5 %.
- panne signalée par un agent d'exploitation en tunnel : 29 %

Dans le Fréjus où il y a fréquemment des agents d'exploitation en tunnel, ceux-ci signalent près du tiers des pannes. En revanche, le réseau de télévision en circuit fermé en repère très peu (5 %). La détection la plus fréquente est l'utilisation du téléphone par les usagers en difficulté.

Pour le tunnel du Mont-Blanc, où il n'existe pas de données chiffrées, l'exploitant, d'après son expérience nous a proposé les estimations suivantes :

- pour les PL :
 - R A U : 20 %
 - TV : 60 %
 - Boutons-poussoirs : 0 %
 - Divers : 20 % (ce sont surtout les autres usagers qui préviennent)
- pour les VL :
 - R A U : 30 %
 - TV : 40 à 50 %
 - Boutons-poussoirs : utilisation uniquement en cas d'accident ou d'incendie
 - Alarmes extincteur : 0 %

5.9.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Les renseignements ne nous ont été fournis que pour les tunnels de Dullin et de l'Epine. Les moyens de détection ont été les suivants :

- RAU (Réseau d'appel d'urgence)	63 %
- Réseau de télévision en circuit fermé	26 %
- agent d'exploitation en tunnel :	36 %
- police en tunnel :	1 %
- Autres	1 %

La somme est supérieure à 100 % car dans un certain nombre de cas, la détection a été effectuée simultanément par différents moyens .

A titre de comparaison nous disposons des résultats pour les tunnels norvégiens dont aucun n'est équipé de DAI, qui donnent la répartition suivante :

- RAU :	41 %
- TV :	51 %
- agent d'exploitation en tunnel, police :	3 %
- Autres :	5 %

On notera pour la Norvège le rôle essentiel de l'équipement de télévision en circuit fermé et du téléphone d'urgence.

Dans les tunnels français objets de l'étude les chiffres constatés mettent en évidence d'une part l'importance du RAU et d'autre part le rôle efficace des patrouilles de sécurité qui circulent à l'intérieur des tunnels.

La part de la télévision est plus faible car les agents de permanence n'ont pas l'oeil rivé sur les moniteurs, d'autant que les moniteurs ont des images cycliques. Ils ont d'autres tâches à effectuer et ont souvent à surveiller un linéaire de réseau routier à l'air libre très conséquent.

5.9.3 - Tunnels urbains et périurbains

Nous ne disposons pas d'informations sur ce sujet pour cette catégorie d'ouvrages.

5.10 - Utilisation des garages

5.10.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

L'enquête ne porte que sur les 77 cas de pannes enregistrées pendant l'année 1990 dans le tunnel du Fréjus.

VL			PL			Tous véhicules		
Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation
41	5	12 %	36	11	31 %	77	16	21 %

L'utilisation des garages semble assez faible, mais il convient de souligner qu'ils sont très éloignés les uns des autres (4,2 km du même côté) et qu'une moins grande interdistance permettrait certainement un taux d'utilisation plus important.

On notera cependant que pour les poids lourds, certainement plus habitués au tunnel, le taux d'utilisation est plus élevé (31 %).

5.10.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

L'enquête ne porte que sur les 125 cas de pannes enregistrées pendant la période 1990 - 1992 (3 ans) où nous avons des informations concernant l'utilisation des garages dans le tunnel de Chamoise.

Le tableau général des résultats est le suivant :

	VL			PL			Tous véhicules		
	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation
Sens Genève-Mâcon (avec garage)	63	13	20 %	6	1	17 %	69	14	20 %
Sens Mâcon-Genève (sans garage)	47	2	4 %	9	1	11 %	56	3	5 %

Dans le sens Genève-Mâcon, les usagers trouvent sur leur droite, des garages tous les 400 m pour les VL et 800 m pour les PL. Les taux d'utilisation constatés ($\cong 20\%$) sont relativement faibles et l'on aurait pu s'attendre à une meilleure fréquentation et ce surtout pour les VL.

Il faut noter que ces garages sont signalés par des panneaux "Parc de stationnement" (lettre "P") mais qu'il n'y a pas d'éclairage particulier, ou de modification visible dans le revêtement des piédroits qui attire l'attention des usagers sur l'existence des garages.

Pour le sens Mâcon-Genève, les usagers en difficulté n'ont pas de garage implanté à leur droite. En cas de panne, ils doivent donc couper la voie de circulation en sens opposé pour aller dans un garage et cette manoeuvre est interdite (ligne blanche continue). Il est donc normal que le taux d'utilisation ($\cong 5\%$) soit faible.

5.10.3 - Tunnels urbains et périurbains

Nous ne disposons pas de renseignements pour les tunnels Français objets de l'étude mais pour le tunnel d'Oslo en Norvège qui dispose de garages tous les 300 m, nous pouvons établir le tableau ci-après :

VL			PL			Tous véhicules		
Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation	Total des pannes	Arrêt en garage	% d'utilisation
256	68	27 %	79	7	9 %	335	75	22 %

5.11 - Réparation sur place ou non

Le fait de réparer sur place ou non dépend de la gravité de la panne. Si le délai de réparation estimé est inférieur en général à 20 mn, le véhicule est réparé sur place. S'il est supérieur, le véhicule est remorqué à l'extérieur du tunnel.

5.11.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

32 % dans le Fréjus et 67 % sous le Mont-Blanc des véhicules en panne ont pu être dépannés sur place et remis en route, les autres ont dû être remorqués.

5.11.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Sous le tunnel de l'Epine, dans 61 % des cas, le véhicule en panne a été réparé sur place, alors que pour les 39 % restant, il y a eu remorquage à l'extérieur.

5.11.3 - Tunnels urbains et périurbains

Nous ne disposons pas d'informations sur ce sujet pour cette catégorie d'ouvrages.

6 - ACCIDENTS

6.1 - Tableaux généraux de résultats

Les taux sont exprimés pour 10^8 véh.km. Ils correspondent à l'ensemble des accidents s'étant produit sur les périodes d'étude de chaque tunnel.

6.1.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Nombre moyen d'accidents par an (**)	Taux pour 10^8 Véh. km (2 sens confondus)					
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Mont-Blanc	3,7	26	17	9	14	1	1
Fréjus	4,3	45	38	7	14	3	0

(**) Accidents matériels et corporels, 2 sens confondus.

6.1.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Désignation des tunnels	Nombre moyen d'accidents par an (**)	Taux pour 10 ⁸ Véh. km (2 sens confondus)					
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Dullin	3,1	34	30	(4)	(3)	(1)	0
Epine	10	44	37	7	(5)	(2)	(1)
Vuache	0,08	(2)	(2)	0	0	0	0
St. Germain de Joux	5	72	72	0	0	0	0
Châtillon	3,3	80	80	0	0	0	0
Chamoise	8,2	55	52	(3)	(3)	(3)	(1)
Canta-Gallet	5	52	40	(12)	(15)	(4)	(4)
St. Pierre de Féric	1,2	(28)	(24)	(5)	0	0	(5)
Pessicart	2,2	22	(14)	(8)	(6)	(4)	0
Las Planas	20,8	112	89	24	28	11	(1)
Cap de Croix	3,2	44	36	(8)	(8)	(5)	0
La Baume	3,6	62	38	(24)	(24)	(3)	0
Paillon	0,4	(20)	(20)	0	0	0	0
Rosti	0,6	(24)	(24)	0	0	0	0
Col de Guerre	0,4	(21)	(11)	(11)	0	(11)	0
L'Arme	2,2	34	(18)	(15)	(18)	(6)	0
Ricard	1	(40)	(16)	(24)	(32)	(8)	0
Coupière	1	(21)	(13)	(8)	(17)	0	0
Col de Garde	0,4	(30)	(15)	(15)	(15)	0	0
Ste Lucie	0,2	(23)	(23)	0	0	0	0
Castellar	1,6	(58)	(58)	0	0	0	0
Peyronnet	0,2	(30)	(30)	0	0	0	0
Giraude	0,6	(50)	(33)	(17)	(17)	0	0

(**) Accidents matériels et corporels, 2 sens confondus.

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

6.1.3 - Tunnels urbains et périurbains

Désignation des tunnels	Nombre moyen d'accidents par an (**)	Taux pour 10 ⁸ Véh. km (2 sens confondus)					
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Fourvière	17	28	20	8	10	1	0
Croix-Rousse	53	114	79	35	46	3	3
Vieux-Port (1)	54,8	558	438	120	106	(14)	0
Joliette	6	(62)	(62)	0	0	0	0
R. Gauche du Paillon	3,6	101 (2)	34 (2)	67	67	0	0
André Malraux	18	146 (2)	55 (2)	91	115	12	0
Les Monts	18	(-)	(-)	47	58	(5)	(16)
Ensemble du réseau souterrain des Halles	12	(-)	(-)	35	45	(3)	0

(**) Accidents matériels et corporels, 2 sens confondus.

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

(1) Ces chiffres ne concernent que les années 1989 à 1993.

(2) Les accidents matériels sont très sous-évalués car, en application des consignes d'exploitation, les automobilistes doivent sortir de l'ouvrage pour effectuer les constats. Il s'en suit qu'un grand nombre d'accidents matériels ne sont pas enregistrés par l'exploitant.

6.1.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Désignation des tunnels	Nombre moyen d'accidents par an (**)	Taux pour 10 ⁸ Véh. km (2 sens confondus)					
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Siaix	2	(-)	(-)	(40)	0	(60)	0
Chat	12	(-)	(-)	240	280	(120)	(40)

(**) Accidents corporels, 2 sens confondus.

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

6.2 - Commentaires généraux

6.2.1 - Comparaisons globales

Les taux relatifs aux accidents doivent être considérés avec beaucoup de circonspection. Les événements sont très peu nombreux et la variation d'une unité entraîne une variation importante du taux.

Les taux arrondis moyens calculés pour chaque catégorie de tunnels sont récapitulés dans le tableau ci-dessous. Les plages de variation de ces taux sont également fournies.

Catégorie de tunnels	Taux pour 10 ⁸ Véh. km						
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Grands tunnels à trafic bidirectionnel	T. moyen	30	21	9	14	2	(1)
	Plage	26-45	17-38	7-9		1-3	
Tunnels sur autoroutes de liaison	T. moyen	51	42	9	10	4	(1)
	Plage	(2)-112	(2)-89	(0)-24	(0)-32	(0)-11	(0)-(5)
Tunnels urbains et périurbains	T. moyen	99	68	33	40	3	1
	Plage	28-558	20-438	(0)-120	(0)-115	(0)-(14)	(0)-(16)
Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel (1)	T. moyen	(-)	(-)	140	140	(90)	(20)
	Plage			(40)-240	(0)-(280)	(60)-(120)	(0)-(40)

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

(1) Echantillon de tunnels non représentatif (tunnel du Chat : voir ci-après).

Les fourchettes de taux d'accidents en tunnel données dans le rapport du Comité des Tunnels Routiers de l'A.I.P.C.R. sont les suivantes :

Catégorie de tunnels	Taux pour 10 ⁸ Véh. km			
	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés	Tués
Tunnels bidirectionnels de rase campagne	20 à 100	0 à 20	0 à 20	0 à 2
Tunnels autoroutiers unidirectionnels	30 à 80	0 à 15	0 à 15	0 à 1
Tunnels urbains	40 à 150	10 à 50	10 à 50	0 à 3

Les taux moyens que nous avons calculés par catégorie d'ouvrages sont très bien centrés dans les plages de valeurs fournies par l'A.I.P.C.R. par contre les fourchettes de valeurs que nous avons observées sont beaucoup plus larges en ce qui concerne les tunnels urbains et les tunnels sur autoroutes de liaison.

Pour les deux autres catégories de tunnels (qui pour l'A.I.P.C.R. sont regroupées en une seule : tunnels bidirectionnels de rase campagne), nos renseignements sont assez succincts. Les deux grands tunnels à trafic bidirectionnel que nous avons étudiés ont des taux d'accidents (lorsqu'ils sont significatifs) plutôt situés dans le bas des plages de valeurs de l'A.I.P.C.R.. On notera que les taux élevés constatés dans les tunnels interurbains à trafic bidirectionnel proviennent du seul tunnel du Chat qui a des caractéristiques géométriques réduites (largeur de chaussée 6,5m).

En ce qui concerne les tunnels urbains, le taux maximum observé est plus élevé que les valeurs hautes des plages fournies par l'A.I.P.C.R. principalement à cause du tunnel du Vieux-Port à Marseille.

Le taux d'accidents matériels et corporels pour l'ensemble des deux tubes du tunnel sous le Vieux-Port de 558 pour 10^8 véh.km pour les années 1989-1993 est un taux très élevé en comparaison de ce qui est observé dans d'autres ouvrages tels les tunnels de la Croix-Rousse (déjà jugé très accidentogène : taux = 114) ou de Fourvière (taux = 28,2).

En 1994, on a cependant constaté une nette amélioration puisque le taux d'accidents matériels et corporels n'est plus que de 321 pour 10^8 véh.km. Cette amélioration est essentiellement due, d'après l'exploitant, à la réfection des chaussées qui sont beaucoup moins glissantes que précédemment et au réaménagement des carrefours situés aux têtes de l'ouvrage qui obligent les usagers à modérer leur vitesse pour accéder au tunnel.

Sur autoroutes de liaison, les taux maximum proviennent du tunnel de Las Planas sur l'autoroute A8 qui apparaît également comme particulièrement accidentogène. Le taux d'accidents matériels et corporels (112) y est 2,5 fois plus élevé que le taux moyen (43) constaté dans l'ensemble des autres tunnels de la catégorie (voir tableau ci-après).

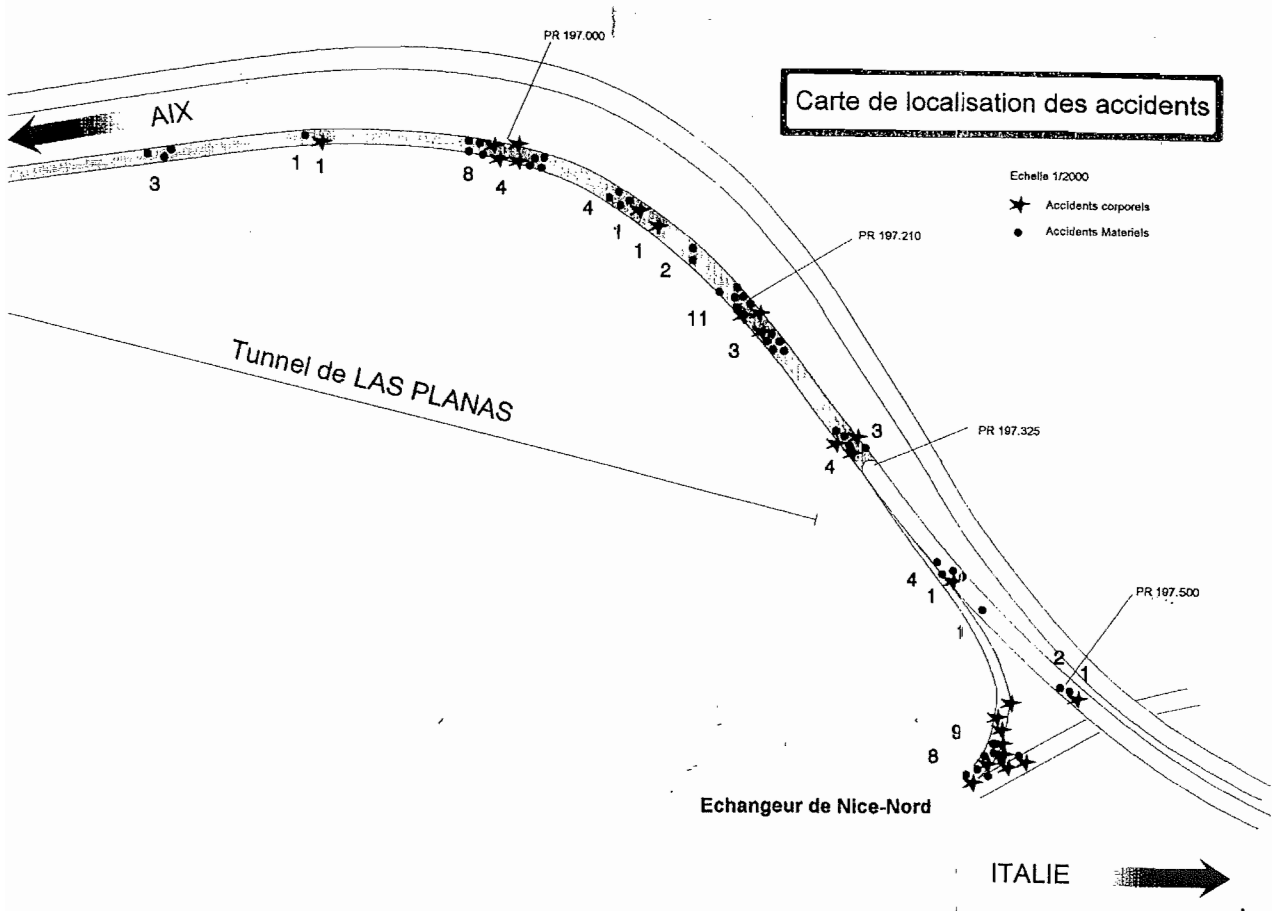
La caractéristique essentielle qui le distingue des autres ouvrages est outre sa déclivité importante (pente maximale de 5 %) le fait qu'il soit en courbe assez prononcée ($R = 300$) dans sa moitié Est. Les usagers circulant dans le tube Sud (sens Aix - frontière italienne), c'est à dire dans le sens de la descente sont donc en courbe sensiblement depuis le milieu de l'ouvrage jusqu'à sa sortie. On trouve également un échangeur à proximité de la tête Est qui provoque des remontées de queue jusqu'à l'intérieur de l'ouvrage.

Le tube Nord montant est à 3 voies de circulation, 2 voies de 3,5 m et une de 3 m., il n'y a pas de trottoirs mais une BAU dont la largeur varie de 1,3 m à 1,4 m. Le tube Sud est à 2 voies de circulation de 3,5 m, bordées de trottoirs franchissables de 0,70 m.

Le nombre moyen annuel d'accidents matériels et corporels dans ce tunnel est pratiquement le double dans le sens de la descente (13,6) que dans celui de la montée (7,2).

Une étude de sécurité a été réalisée en octobre 1993 par la société SESIRT à la demande de la société ESCOTA. Cette étude fait apparaître clairement trois points durs dans le tube Sud long de 1108 m (schéma ci-dessous) :

- à l'intérieur du tunnel, la courbe à droite entre les PR 197 et 197,2
- la sortie du tunnel au PR 197,3
- la bretelle de sortie Nice-nord jusqu'au raccordement à la voirie.



Différents aménagements ont été proposés pour améliorer la sécurité, certains ont été réalisés, d'autres pas encore :

- amélioration de la perception des courbes et de la pente par une rénovation des décors des parois, par un renforcement de l'éclairage, par la mise en place d'équipements lumineux supplémentaires pour signaler la courbe, par l'installation d'alarmes vitesses, etc.
- renforcement de la signalisation :
 - à l'entrée du tunnel (panneau d'indication de la sortie Nice-Nord, affichage en temps réel de la vitesse des véhicules).
 - en tunnel (présignalisation de la proximité de la sortie Nice-Nord).

Compte tenu des taux d'accidents très élevés que l'on constate dans le tunnel de Las Planas (taux = 112, autres tunnels sur autoroute de liaison : taux variant de 2 à 80), dans le tunnel du Vieux-Port (taux = 558, autres tunnels urbains : taux variant de 28 à 146) et dans le tunnel du Chat (taux = 240) et du nombre d'accidents que cela représente (Las Planas : plus d'un quart des accidents des tunnels de sa catégorie : 104 sur un total de 403, le Vieux-Port : plus d'un tiers des accidents pour les tunnels de sa catégorie : 351 sur un total de 959, le Chat : 12 accidents sur un total de 14) nous avons repris ci-après les calculs du tableau de la page 67 en ne prenant pas en compte ces trois ouvrages.

Catégorie de tunnels	Taux pour 10 ⁸ Véh. km						
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Grands tunnels à trafic bidirectionnel	T. moyen	30	21	9	14	2	(1)
	Plage	26-45	17-38	7-9		1-3	
Tunnels sur autoroutes de liaison (sans Las Planas)	T. moyen	43	35	7	7	3	(1)
	Plage	(2)-80	(2)-80	(0)-24	(0)-32	(0)-11	(0)-(5)
Tunnels urbains et périurbains (sans le Vieux-Port)	T. moyen	73	46	29	37	3	1
	Plage	28-114	20-79	(0)-91	(0)-115	(0)-(12)	(0)-(16)
Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel (sans le Chat)	T. moyen	(-)	(-)	(40)	0	(60)	(0)
	Plage						

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

On trouvera ci-après les statistiques nationales à l'air libre (valeurs arrondies) sur autoroutes et routes nationales pour l'année 1993 .

Catégorie de réseaux	Taux pour 10 ⁸ Véh. km		
	Accidents corporels	Blessés légers et graves	Tués
Autoroutes urbaines	10	15	0,6
Autoroutes interurbaines	5	8	0,7
Autoroutes concédées	5	8	0,8
Ensemble des autoroutes	7	10	0,7
Routes nationales	17	27	2,8

6.2.2 - Analyse par types de tunnels

Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Les nombres d'accidents dans les grands tunnels à trafic bidirectionnel sont très peu élevés. Il y a eu 47 accidents en 11 ans dans le tunnel du Fréjus et 101 accidents en 28 ans dans le tunnel sous le Mont-Blanc. La comparaison avec l'air libre montre que ces tunnels ont des taux d'accidents corporels presque moitié de ceux constatés sur l'ensemble des routes nationales (taux = 9 en tunnels pour 17 à l'air libre).

Les accidents sont, par ailleurs, peu graves; sachant que l'indice de gravité des accidents est le nombre de tués plus blessés graves pour 100 accidents corporels, on obtient un indice de gravité de 28 pour cette catégorie de tunnels, alors que pour l'ensemble des routes nationales à l'air libre, cet indice de gravité est de 70.

Beaucoup d'accidents sont dus dans le Fréjus à des hors gabarits endommageant soit les luminaires, soit les chemins de câble. Seul 3 accidents (6,4 % des accidents) sont dus à la bidirectionnalité avec conflit entre les 2 sens de circulation, et 2 accidents (4,5 % des accidents) se sont produits pendant une phase de maintenance et d'entretien.

Dans le tunnel sous le Mont-Blanc, aucun accident dû à des hors gabarits n'a été enregistré. Plusieurs ont cependant dû se produire car les installations du tunnel ont été endommagées à différentes reprises entraînant des accidents par voie de conséquence (appareils d'éclairage tombés sur la chaussée, câble électrique pendant, etc.). On comptabilise 13 accidents (13 %) dans lesquels sont impliqués des véhicules circulant en sens inverse et pouvant être imputés au caractère bidirectionnel de la circulation. On notera également que 31 accidents (soit 31 %) se sont produits au niveau de la tête française, dans le sens Italie-France, qui présente un très faible rayon de courbure (200 m de rayon) en bas d'une longue descente (-1,8 % sur 2950 m puis -2,4 % sur 2850 m).

Tunnels sur autoroutes de liaison

On trouvera dans le tableau ci-dessous les chiffres pour la portion à l'air libre située sur l'autoroute A8 entre l'échangeur de Nice - St Isidore et la frontière italienne ainsi que les taux nationaux sur autoroute concédée en 1993.

Catégorie de tunnels	Taux pour 10 ⁸ Véh. km						
		Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Blessés légers	Blessés graves	Tués
Tunnels sur autoroutes de liaison (sans Las Planas)	T. moyen	43	35	7	7	3	(1)
	Plage	(2)-80	(2)-80	(0)-24	(0)-32	(0)-11	(0)-(5)
A l'air libre sur A8, zone courante et viaducs	T. moyen	35	29	6	7	2	(0)
	Plage						
Nationaux sur autoroute concédée (1993)	T. moyen	(-)	(-)	5	8		0,8
	Plage						

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

Sur autoroutes de liaison, les tunnels apparaissent un peu plus accidentogènes (taux = 51 pour l'ensemble des tunnels ou taux = 43 sans Las Planas) que les tunnels de la catégorie précédente (taux =30).

Si l'on compare les zones à l'air libre sur l'A8 (hors zones particulières telles que échangeurs, bretelles, etc.) et les tunnels, nous constatons que le taux global d'accidents matériels et corporels pour 10⁸ véh.km est plus élevé en tunnel (taux = 51) qu'à l'air libre (taux = 35), si on inclut le tunnel de Las Planas. Si l'on enlève le tunnel de Las Planas (taux = 112) on trouve pour l'ensemble des autres tunnels un taux global égal à 43 donc plus proche du taux à l'air libre (sur A8).

Les accidents corporels sont légèrement plus fréquents en tunnel sur autoroutes de liaison (tous les tunnels objets de l'étude) qu'à l'air libre (A8). Le taux d'accidents corporels est de 6 pour 10⁸ véh.km à l'air libre et de 7 pour 10⁸ véh.km en tunnel sans Las Planas ou 9 pour 10⁸ véh.km en prenant en compte Las Planas. Dans le tunnel de Las Planas, ce taux est de 24 pour 10⁸ véh.km.

Nous rappelons que les taux d'accidents corporels pour l'ensemble des autoroutes françaises était de 7,9 pour 10⁸ véh.km en 1992 et de 6,9 pour 10⁸ véh.km en 1993. Si l'on ne prend en compte que les autoroutes concédées ces taux étaient de 5,3 pour 10⁸ véh.km en 1992 et de 4,7 pour 10⁸ véh.km en 1993.

Les accidents corporels sont en outre plus graves en tunnel (tous les tunnels objet de l'étude) qu'à l'air libre (A8). On obtient :

- à l'air libre, un indice de gravité de 34
- en tunnel avec Las Planas, un indice de gravité de 46
- en tunnel sans Las Planas, un indice de gravité de 44
- Las Planas seul, un indice de gravité de 50

Pour l'ensemble des autoroutes, concédées et non concédées, en 1993, l'indice de gravité était de 41.

Tunnels urbains et périurbains

Les tunnels urbains et périurbains apparaissent bien plus accidentogènes (taux = 99 pour tous les tunnels ou taux = 73 sans le Vieux-Port) que les tunnels des deux catégories précédentes, mais les accidents y sont bien moins graves, puisqu'on obtient un indice de gravité de 14.

Le taux d'accident corporel (taux = 33 pour tous les tunnels ou taux = 29 sans le Vieux-Port) est nettement supérieur au taux national à l'air libre sur route nationale (taux = 17), mais le taux de tués y est plus faible (taux = 1 en tunnel pour 2,8 à l'air libre sur RN). On ne dispose malheureusement pas des taux à l'air libre sur voies urbaines et périurbaines qui constitueraient le bon point de comparaison.

De tous les tunnels étudiés, il ressort que c'est le tunnel de Fourvière qui est le plus sûr. Le taux d'accidents matériels et corporels y est trois fois moins élevé que dans les autres ouvrages de la catégorie. Le trafic y est le plus important (TMJA de 95650 véh/j. alors que pour les autres ouvrages le TMJA ne dépasse pas 80644 véh/j).

Les taux d'accidents plus faibles sont sans aucun doute dus à une géométrie meilleure que celle des autres ouvrages :

- Le tunnel du Vieux-Port comporte également 2 tubes, mais son profil en long est très chahuté avec des pentes importantes (descente de 3,8 % et rampe de 5 %). De plus, on trouve au point bas du tube Est un rétrécissement de chaussée : passage de 3 voies de 3 m à 2 voies de 3,5 m créant une singularité sans doute source d'accidents.

- Le tunnel de la rive gauche du Paillon comporte lui aussi différentes singularités géométriques pouvant être à l'origine d'accidents tels que rétrécissement de chaussée ou sortie intermédiaire.

- Les deux autres tunnels pour lesquels nos résultats sont suffisamment significatifs sont les tunnels André Malraux à Nice et de la Croix-Rousse à Lyon et sont tous deux bidirectionnels. Dans le tunnel André Malraux, 7 accidents sur les 26 dont les causes sont connues mettent en cause la bidirectionnalité du trafic. Par ailleurs, nous avons constaté que dans cet ouvrage, le fort pourcentage de 2 roues (5 % alors qu'il se situe habituellement autour de 1 %) est un des facteurs conduisant à un taux d'accidents élevé. En effet sur les 45 accidents corporels constatés dans ce tunnel en 4 ans, nous en avons comptabilisés 13 dans lesquels un 2 roues est impliqué. Dans le tunnel de la Croix-Rousse, il est difficile de mettre en cause la bidirectionnalité car seulement trois accidents sont repérés comme mettant en cause les deux sens de circulation. Les taux élevés s'expliquent probablement par la faible largeur des voies (2,8 m) et par une vitesse excessive, puisqu'il n'existe aucune singularité géométrique (tracé en plan ou profil en long).

Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

L'essentiel des informations dont nous disposons pour cette catégorie d'ouvrages émane du tunnel du Chat. Il n'est donc pas possible de généraliser les chiffres obtenus à l'ensemble des tunnels de la catégorie d'autant que le dimensionnement géométrique de ce tunnel est loin d'être optimum.

Les taux obtenus pour le tunnel du Chat sont extrêmement élevés (taux d'accidents corporels = 240). Ils peuvent s'expliquer en partie par le fait que la période d'étude est très courte (année 1995 uniquement avec un total de 12 accidents). A titre d'exemple, si ce tunnel n'avait connu aucun accident en 1994 (le renseignement n'a pas pu être obtenu), le taux d'accidents corporels serait alors divisé par deux.

6.2.3 - Comparaison internationale

A titre de comparaison avec d'autres pays nous disposons des chiffres suivants fournis par l'A.I.P.C.R.

- grands tunnels à trafic bidirectionnel :

Pays	Tunnels	Long. (km)	Type	Années observées	Taux pour 10 ⁸ véh.km			
					Acc. Mat.	Acc. Corp.	Bless.	Tués
Norvège	Hvaler	3,8	1 x 2 v.	1989-1990	0	96		
Norvège	Flekkeroy	2,3	1 x 2 v.	1989-1990	192	192		
Norvège	Ellingsoy	3,5	1 x 3 v.	1988-1990	63	51		
Norvège	Valderoy	4,5	1 x 3 v.	1988-1990	6	5		
Norvège	Godoy	3,8	1 x 2 v.	1989-1992		14		
Norvège	Hoyanger	7,5	1 x 2 v.	1983-1992	24	18		
Norvège	Arnanipa	2,1	1 x 2 v.	1992	25	25		
Autriche	Perjen	2,9	1 x 2 v.	1987-1991	63	0	0	0
Autriche	Arlberg	14	1 x 2 v.	1987-1991	109			
Autriche	Katschberg	5,4	1 x 2 v.	1987-1991	55	7	18	2
Autriche	Tauern	6,4	1 x 2 v.	1987-1991	69	4	6	0
Autriche	Amberg	3	1 x 2 v.	1987-1991	42			
Autriche	Gräbern	2,1	1 x 2 v.	1987-1991	51	0	0	0
Suède	Windo	0,5	1 x 2 v.	1987-1991	52	0	0	0

- tunnels sur autoroutes de liaison:

Pays	Tunnels	Long. (km)	Type	Années observées	Taux pour 10 ⁸ véh.km			
					Acc. Mat.	Acc. Corp.	Bless.	Tués
Autriche	Hiefler	2	2 x 2 v.	1987-1991	93		0	1
Autriche	Tanzenberg	2,4	2 x 2 v.	1987-1990	57		0	5
Suède	Kärä	0,4	2 x 2 v.	1987-1991	7	14	21	0
Suède	Sörvik	0,2	2 x 2 v.	1987-1991	12	12		0
Suède	Askloster	0,3	2 x 2 v.	1987-1991	0	38		19
Danemark	Limfjord	1,1	2 x 3 v.	1987-1991	112	17	26	0
Portugal	Aguas Santas	0,3	2 x 2 v.	1991	0	0	0	0

- tunnels urbains :

Pays	Tunnels	Long. (km)	Type	Années observées	Taux pour 10 ⁸ véh.km			
					Acc. Mat.	Acc. Corp.	Bles.	Tués
Norvège	Oslo tunnel	1,8	2 x 3 v.	1990-1993	33	7		
Norvège	Valrenga	0,8	2 x 2 v.	1991	69	57		
Norvège	Floyfjell	3,9	2 x 3 v.	1988-1991	3	5		
Norvège	Lovstakk	2	1 x 2 v.	1992	13			
Etats-Unis	Brooklyn Battery	3,2	2 x 2 v.	1989-1991	186	50	83	1
Etats-Unis	Queens Midtown	2,8	2 x 2 v.	1989-1991	314	81	148	1
Etats-Unis	Holland	2,6	2 x 2 v.	1987-1991	113	33	0	43
Etats-Unis	Lincoln	2,5	3 x 2 v.	1987-1991	70	26		0
Allemagne	Elbe	2,7	3 x 2 v.	1987-1991	89	30	46	0
Pays-Bas	Schiphol	0,5	2 x 4 v.	1988-1992	80	10		0
Pays-Bas	Benelux	0,8	2 x 2 v.	1988-1992	122	8		0
Pays-Bas	Botlek	0,5	2 x 3 v.	1988-1992	157	23		0
Pays-Bas	Drecht	0,6	2 x 4 v.	1988-1992	105	15		0
Autriche	Favoriten	0,3	2 x 2 v.	1987-1991	152	0	0	0
Suède	Fredhäll	0,2	2 x 3 v.	1987-1991	84	25	30	0
Suède	Söder	1,1	2 x 2 v.	1987-1991	21	4	5	0
Suède	Klara	0,5	2 x 2 v.	1987-1991	103	19		0
Suède	Karlberg	0,2	2 x 2 v.	1987-1991	35	0	0	0
Suède	Tingstad	0,5	2 x 3 v.	1987-1991	138	60	206	0
Suède	Gnistäng	0,7	1 x 4 v.	1987-1991	97	9		0
Suède	Gärdsten	0,2	1 x 3 v.	1987-1991	49	72	146	0
Canada	Ville-Marie	2,8	2 x 3 v.	1988-1991	128	8		1
Canada	L. H. Lafontaine	1,4	2 x 3 v.	1987-1991	161	29		0
Autriche	Kaiser Mühlen	1	2 x 2 v.	1989-1991	41	0	0	0
Ecosse	Clyde	0,8	2 x 2 v.	1987-1991	126			0
Royaume-Uni	Tyne	1,7	1 x 2 v.	1987-1992	25	11	23	1
Royaume-Uni	Saltash	0,9	1 x 3 v.	1989-1991	11	8		0

La comparaison des taux mentionnés dans les tableaux des pages 76 et 77 avec ceux calculés pour les tunnels français est très délicate. D'une part, parce que nous ne savons pas si ces taux sont suffisamment significatifs, le nombre d'événements n'étant pas indiqué, d'autre part parce qu'un certain nombre de chiffres nous apparaissent comme très incertains. A titre d'exemple, le tunnel Askloster en Suède n'a enregistré aucun accident matériel bien que le taux d'accidents corporels soit de 38 et le taux de tués de 19. De même le tunnel Holland aux Etats-Unis présente un taux de tués de 43 pour un taux d'accidents corporels de 33, mais n'enregistre aucun blessé.

Catégorie de tunnels	Plage de variation des taux pour 10 ⁸ Véh. km			
	France		Autres pays	
	Accidents matériels	Accidents corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
Grands tunnels à trafic bidirectionnel	17 - 38	7 - 9	(0) - 192	(0) - 192
Tunnels sur autoroutes de liaison	(2) - 89	(0) - 24	(0) - 112	(0) - 38
Tunnels urbains et périurbains	20 - 438	(0) - 120	3 - 314	(0) - 81

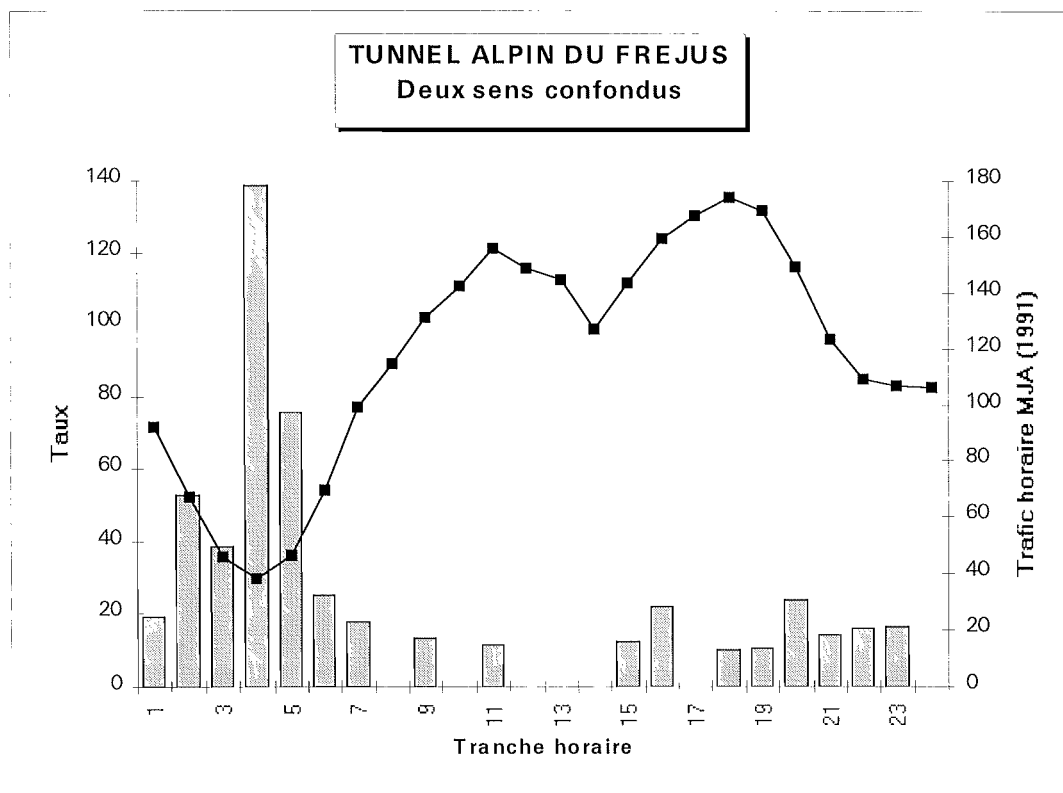
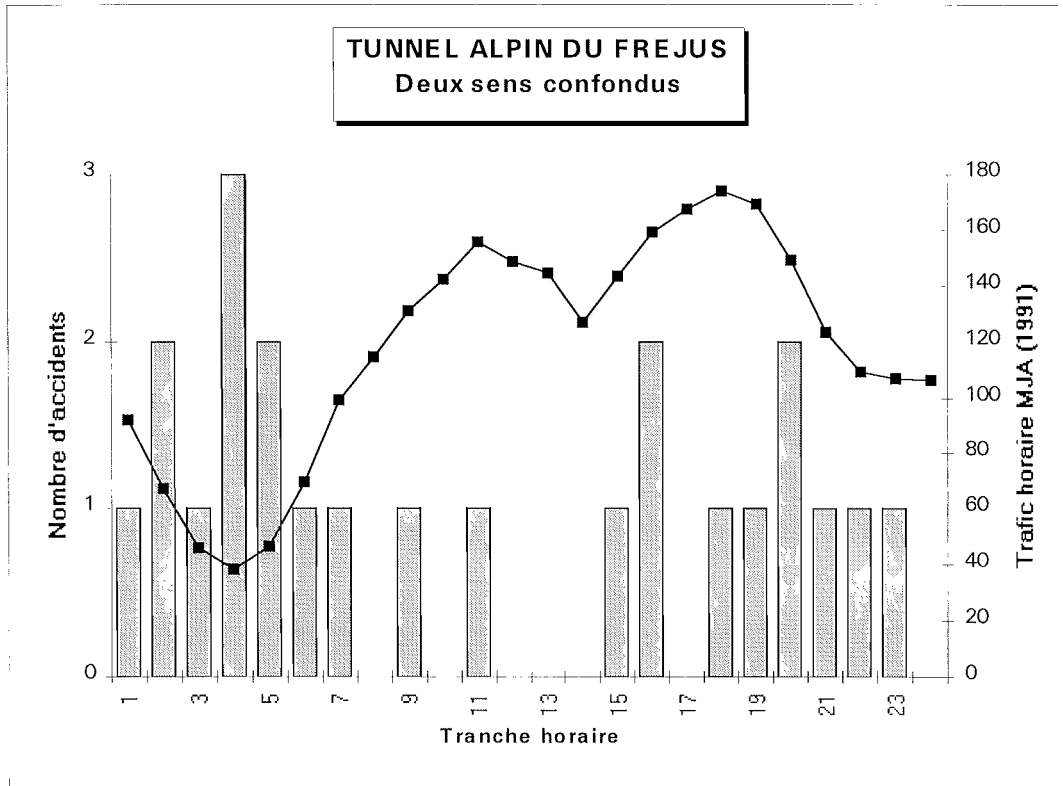
(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

Ainsi, avec beaucoup de réserves quant à leur validité, les chiffres du tableau ci-dessus montrent que les taux d'accidents matériels et les taux d'accidents corporels dans les tunnels français sont dans l'ensemble inférieurs aux taux constatés dans les tunnels étrangers. Les maximum des plages de variation des taux sont plus faibles en France, hormis pour les tunnels urbains et périurbains, à cause essentiellement des taux records du tunnel du Vieux-Port à Marseille.

6.3 - Distribution horaire des accidents matériels et corporels

6.3.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

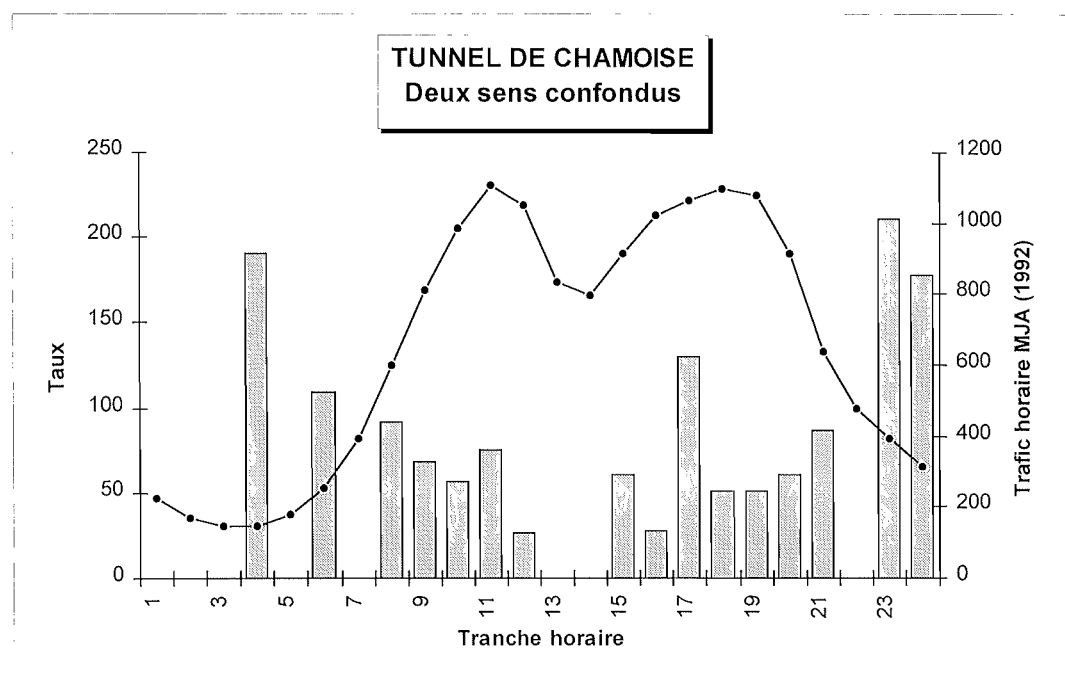
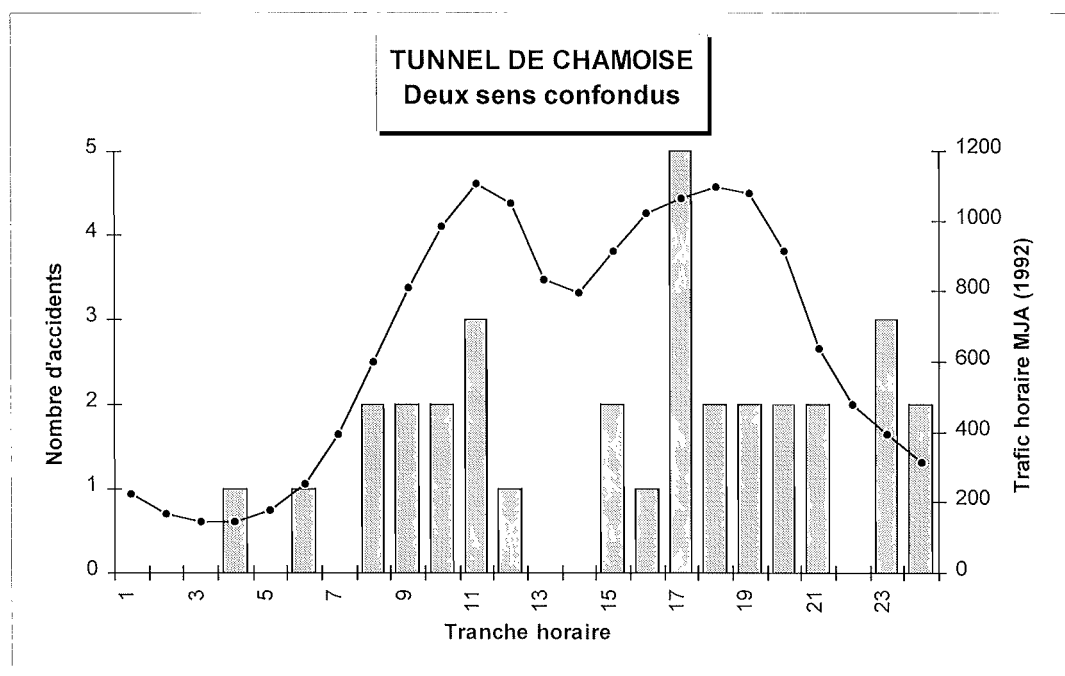
On trouvera ci-après, à titre d'exemple, les graphiques donnant la répartition horaire des accidents dans le tunnel du Fréjus, ainsi que le taux correspondant relié à la répartition moyenne horaire du trafic pour l'année 1991.



On constate que dans le tunnel du Fréjus, les taux, bien que peu significatifs, sont nettement plus élevés aux heures de moindre trafic. Il en est de même dans le tunnel sous le Mont-Blanc (pour plus de détails voir l'étude particulière de ce tunnel : cf. réf. 10), le nombre d'accidents comptabilisé par tranches d'heures est relativement constant sur les 24 heures, ce qui signifie que le taux d'accidents est plus élevé aux heures creuses de trafic, en particulier, la nuit.

6.3.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

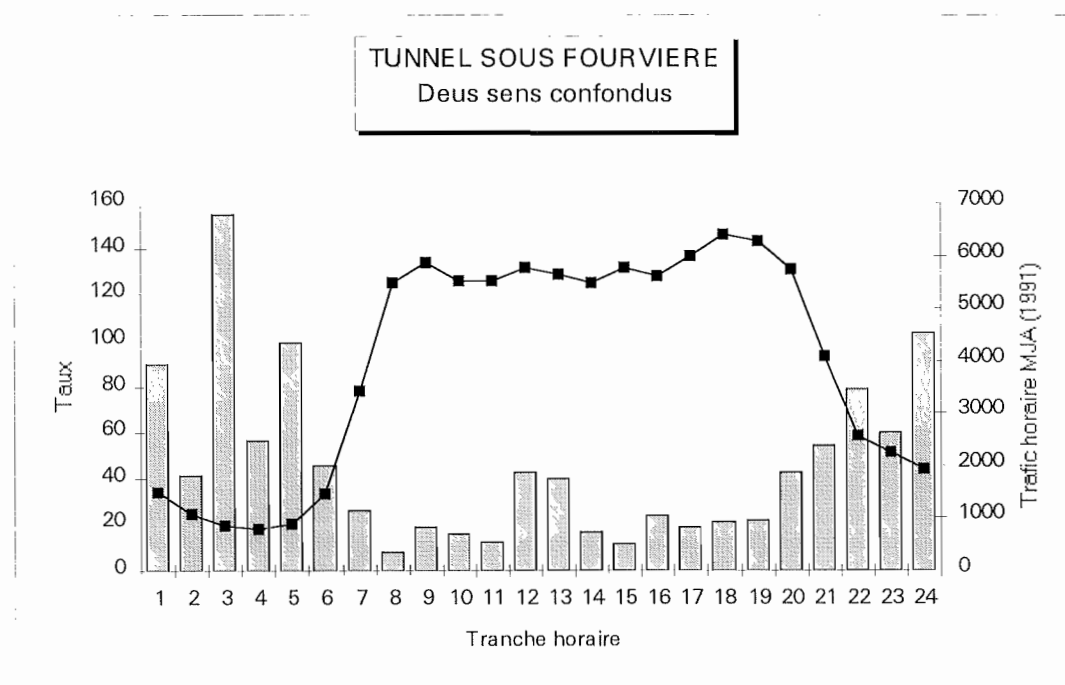
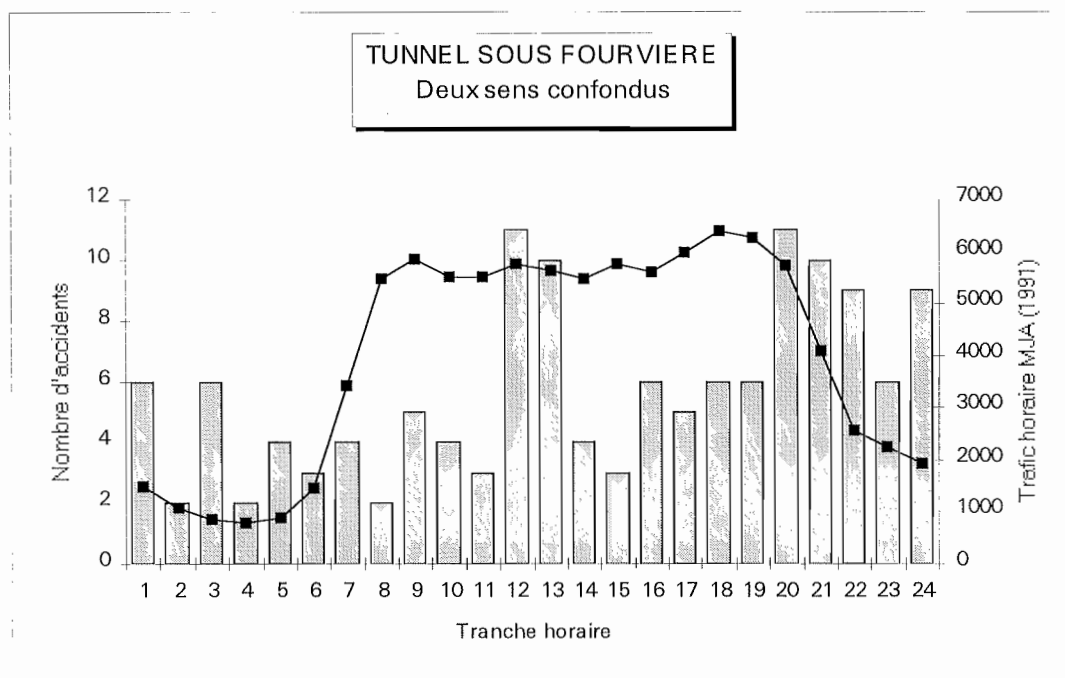
On trouvera ci-après les graphiques représentant la répartition horaire, pour le premier, du nombre d'accidents et, pour le second du taux correspondant, ainsi que le trafic horaire moyen annuel pour l'année 1992 dans le tunnel de Chamoise alors en bidirectionnel, seul ouvrage où les informations sont suffisamment complètes pour nous permettre d'examiner ce problème.



Bien que les taux indiqués soient peu significatifs, les graphiques de la page précédente montrent que les taux sont les plus élevés au moment des heures creuses et en particulier la nuit. Les résultats sont tout à fait semblables à ceux obtenus pour les grands tunnels à trafic bidirectionnel.

6.3.3 - Tunnels urbains et périurbains

On trouvera ci-après, à titre d'exemple, les graphiques donnant la répartition horaire des accidents dans le tunnel de Fourvière, ainsi que le taux correspondant relié à la répartition moyenne horaire du trafic pour l'année 1991. Ces informations ne sont pas disponibles pour les autres tunnels objets de l'étude, hormis le tunnel de la Croix-Rousse pour lequel on se reportera à l'étude particulière (cf. réf. 3).



Dans le tunnel de Fourvière, on constate globalement une forte proportion d'accidents dans les périodes 11 h - 13 h et 19 h - 24 h lorsqu'on raisonne en nombre d'accidents. Dans le tunnel de la Croix-Rousse, pour lequel nous disposons des mêmes informations, les constatations sont identiques : la proportion d'accidents est très forte dans la période 17 h - 20 h (pendant la pointe du soir) et dans la tranche horaire 22 h - 23 h. Pour ces deux tunnels, et comme pour les autres catégories d'ouvrages, si l'on raisonne en taux, on s'aperçoit que la période nocturne comprise entre 20 h et 6 h est très accidentogène, alors qu'elle est peu chargée en circulation.

6.3.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

L'étude n'a pas pu être menée sur les tunnels de cette catégorie car nous ne disposons pas des informations nécessaires.

6.4 - Localisation des accidents

6.4.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

On trouvera page suivante la répartition géographique des accidents (101 au total) repérés dans le profil en long du tunnel sous le Mont-Blanc par pas de 1000 m. Il convient de noter la part prépondérante des accidents se produisant dans les 500 derniers mètres sortie France (avec 31 accidents sur 34 au total pour la seule courbe de sortie). Les autres zones accidentogènes sont la déclivité côté France de 2,4 % et la sortie côté Italie (9 accidents se sont produits à l'extérieur à proximité immédiate du tunnel).

Il s'est produit sur les plates-formes d'accès au tunnel sous le Mont-Blanc 43 accidents dont 34 pour la partie française et 9 pour la zone italienne. Seuls 4 accidents ont été corporels (côté Italie), 28 accidents sont des accrochages avec une cabine de péage.

En ce qui concerne le tunnel du Fréjus, la répartition géographique des accidents met simplement en évidence la part prépondérante des zones d'entrées-sorties. Pour plus de détails, on se reportera à l'étude particulière de cet ouvrage (cf. réf. 4).

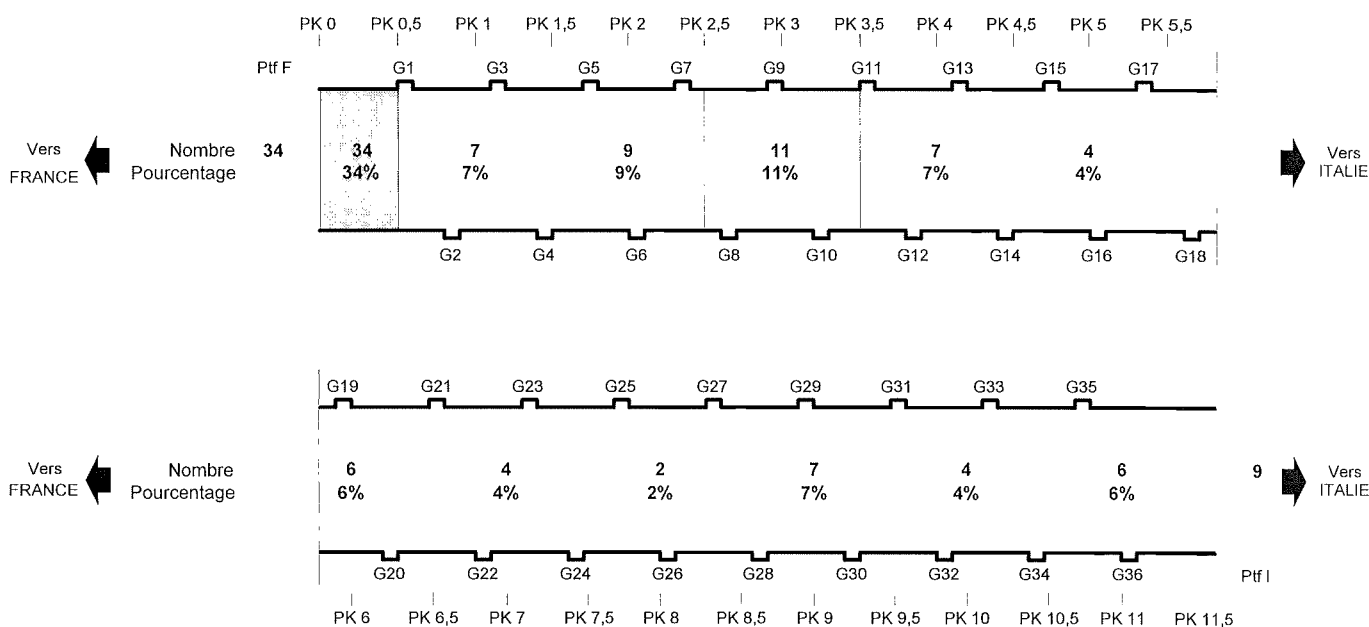
L'influence des montées et des descentes sur le nombre des accidents est difficilement mise en évidence au vu des résultats en notre possession. On remarquera tout au plus que sous le tunnel du Mont-Blanc plus d'accidents se sont produits dans la déclivité de 2,4 % que dans le reste du tunnel. Mais cette remarque doit être relativisée par le fait que 10 % des accidents se sont produits suite à la présence d'un objet sur la chaussée et 24 % se sont produits en phase de chantier, et que nous n'avons pas la possibilité de discerner l'influence de chacun des paramètres.

Par contre, la courbe marquée en bas de descente sortie côté France du tunnel sous le Mont-Blanc est une cause indiscutable d'accidents, ce type de disposition est donc bien évidemment à éviter autant que possible. Le renforcement de la signalisation et l'aménagement de la sortie avec des glissières ont conduit à une très nette diminution des accidents dans cette portion d'ouvrage puisqu'au cours des 5 dernières années de l'étude, 1 seul accident sur les 17 comptabilisés en tunnel s'est produit dans cette zone.

TUNNEL SOUS LE MONT-BLANC

Répartition des accidents

Nombre d'accidents tunnel : 101
Nombre d'accidents total : 144



6.4.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Les informations concernant la localisation des accidents ne sont disponibles que pour les tunnels de Chamoise, de Dullin et de l'Epine. Le schéma (page suivante) de répartition géographique des accidents n'est donné, à titre d'exemple, que pour ce dernier ouvrage. Pour les autres tunnels, on se reportera aux études particulières (cf. réf. 13 et 6).

En ce qui concerne le tunnel de l'Epine, on constate, pour le sens Chambéry-Lyon, une accumulation des accidents en entrée et en sortie. Pour le sens Lyon-Chambéry, les accidents se produisent deux fois plus souvent dans la première moitié de l'ouvrage.

Dans le tunnel de Dullin, on remarque une zone d'accumulation d'accidents à la sortie du tube Nord (Chambéry-Lyon) et dans le dernier tiers du tube Sud (Lyon-Chambéry).

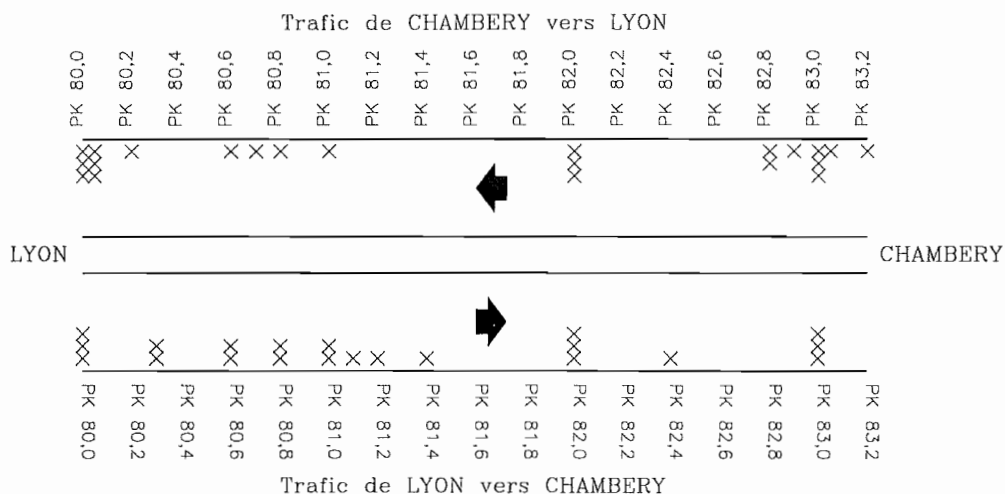
Pour ces deux ouvrages, il s'agit de simples constatations car nous n'avons trouvé aucune explication plausible à cet état de fait, seule une analyse détaillée des accidents qui s'y sont produits pourrait éventuellement apporter quelques éclaircissements.

La zone d'entrée côté Mâcon du tunnel de Chamoise apparaît très accidentogène en raison des hors gabarits qui détériorent les équipements en tunnel (surtout la signalisation) placés directement au-dessus des voies de circulation.

TUNNEL DE L'EPINE

Repartition des accidents

Nombre total d'accidents : 80
 Nombre d'accidents localisés : 44



6.4.3 - Tunnels urbains et périurbains

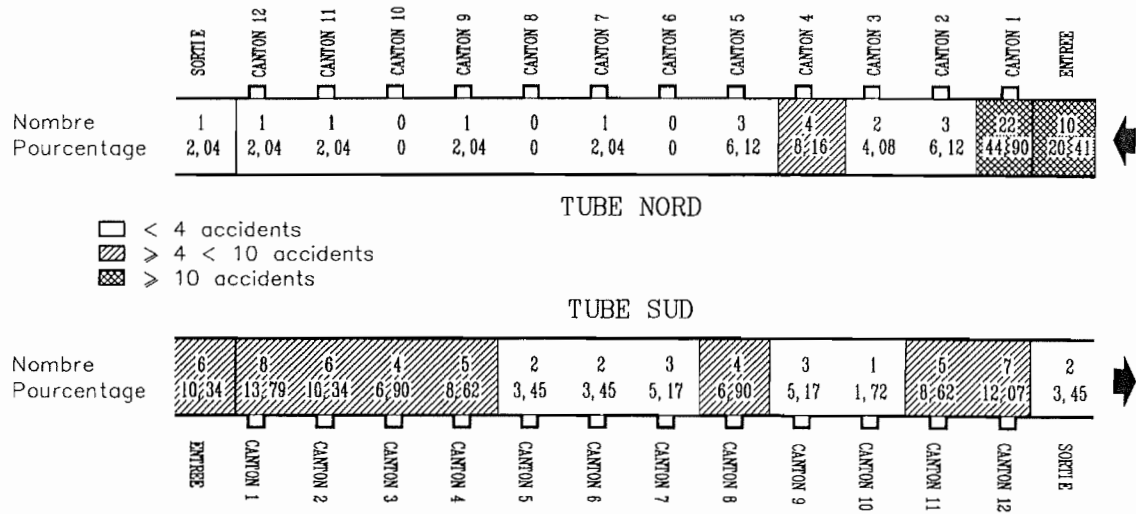
Fourvière est le seul ouvrage de cette catégorie pour lequel nous avons des renseignements sur la localisation des accidents (schéma page suivante).

Dans le tube Nord, il est constaté deux zones particulièrement accidentogènes. L'une se situe avant l'entrée en tunnel, ce qui est relativement normal compte tenu des différents conflits de circulation que subit l'automobiliste : rétrécissement de chaussée avec diminution du nombre de voies de circulation avant l'entrée en tunnel et bretelle d'accès située à proximité immédiate de la tête. L'autre est située dans la première partie du tunnel et est très forte (45 % des accidents). La cause première semble être un problème de changement de file suite aux différentes zones de circulation situées à l'amont du tunnel et au fait que beaucoup d'utilisateurs veulent se retrouver sur la voie rapide. Mis à part ces deux endroits, on ne constate pas d'autres endroits remarquables sur le plan de la localisation des accidents.

Dans le tube Sud, on retrouve, mais moins marquée que pour le tube Nord, une zone d'accidents à l'approche du tunnel, endroit où l'on trouve également une bretelle d'accès. Ensuite à l'intérieur, les deux premiers cantons sont relativement accidentogènes. Une autre zone marquante est, dans ce tube, le dernier canton, la bretelle de sortie placée juste après la tête du tube ayant sans doute une influence non négligeable.

TUNNEL SOUS FOURVIÈRE REPARTITION DES ACCIDENTS

Nombre total d'accidents : 138
Nombre d'accidents localisés : 107



6.4.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Nous ne disposons d'aucun renseignement quand à la localisation des accidents pour cette catégorie d'ouvrages.

6.5 - Distinction suivant le type de véhicules

Les taux PL sont calculés à partir du nombre d'accidents où au moins un poids lourd est impliqué et du nombre de poids lourds.kilomètre et les taux VL sont calculés à partir du nombre d'accidents où au moins un véhicule léger est impliqué et du nombre de véhicules légers.kilomètre. Lorsque le trafic PL n'était pas connu, nous avons estimé le trafic PL à partir des chiffres du chapitre 3.4 et nous avons considéré que le pourcentage de PL restait constant pour toutes les années d'études. Le calcul n'a pas été fait pour les 2 roues pour lesquels nous n'avons aucune indication du pourcentage de trafic qu'ils représentent.

6.5.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Pour les deux tunnels objets de l'étude et deux sens confondus, nous obtenons pour ce qui concerne les accidents où est impliqué au moins un VL :

Taux VL pour 10 ⁸ véh.km		
Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
24	14	10

Pour ce qui concerne les accidents où est impliqué au moins un PL, les résultats sont :

Taux PL pour 10 ⁸ véh.km		
Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
52	39	13

Les taux d'accidents corporels sont voisins pour les VL et les PL. En revanche, les accidents matériels sont près de trois fois plus fréquents pour les PL (problème des hors gabarit en particulier dans le tunnel du Fréjus).

Aucun taux ne peut être calculé pour les deux roues, mais on soulignera qu'un seul accident de deux roues a été constaté dans le tunnel du Fréjus et quatre dans le tunnel sous le Mont-Blanc.

6.5.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

En considérant tous les tunnels objets de l'enquête, deux sens confondus, nous obtenons pour ce qui concerne tous les accidents (matériels et corporels) où est impliqué au moins un VL :

Taux VL (matériels + corporels) pour 10 ⁸ véh.km			
Air libre (Section courante sur A8)	Tunnels avec Las Planas	Tunnels sans Las Planas	Tunnel de Las Planas
38	51	41	127

Si l'on exclut Las Planas le taux VL en tunnel est voisin de celui à l'air libre (Section courante sur A8).

A lui tout seul, le tunnel de Las Planas présente pour les VL un nombre total d'accidents de 100 alors que tous les autres tunnels en totalisent 248. Le taux pour 10⁸ véhicules légers au kilomètre est presque le triple du taux global des autres tunnels.

Le tableau ci-après présente les résultats pour les PL.

Taux PL (matériels + corporels) pour 10 ⁸ Véh.km					
Air libre (Section courante sur A8)	Tous les tunnels sur autoroutes	Tunnels sans : Epine, Chamoise, Las Planas	Tunnel de l'Epine	Tunnel de Chamoise	Tunnel de Las Planas
43	73	42	105	(*) 149 41	72

(*) Le taux de 149 pour le tunnel de Chamoise est obtenu pour tous les accidents, mais si l'on ne tiens pas compte des accidents dus à des hors gabarit, ce taux n'est que de 41.

Si l'on exclut les tunnels de Las Planas, de Chamoise et de l'Epine qui ont des taux d'accidents poids lourds très élevés par rapport aux autres ouvrages, le taux PL global pour les autres tunnels est équivalent au taux à l'air libre (42 en tunnel pour 43 à l'air libre).

Nous avons vu précédemment que le tunnel de Las Planas était particulièrement accidentogène du fait de ses caractéristiques géométriques. En ce qui concerne Chamoise et l'Epine, il faut noter que ces deux ouvrages étaient bidirectionnels à l'époque de l'étude et que seuls les taux d'accidents PL sont plus élevés que dans les autres ouvrages.

Sur les 33 accidents mettant en cause des PL dans le tunnel de Chamoise, 24 sont dus à des hors gabarits et ne sont que matériels. Si l'on ne prends pas en compte les accidents dus à des hors gabarit, le taux PL pour ce tunnel passe de 149 à 41, c'est à dire à une valeur proche de la moyenne des autres ouvrages. Nous ne disposons pas de telles informations complémentaires pour le tunnel de l'Epine. Ces trois ouvrages représentent plus des deux tiers de tous les accidents PL s'étant produit en tunnel (69 accidents sur un total de 102).

Le tableau ci-dessous indique, pour les périodes d'étude, les nombres d'accidents matériels et corporels dans lesquels au moins un véhicule du type indiqué est impliqué et les pourcentages (arrondis) correspondants calculés par rapport au nombre total d'accidents. La somme des pourcentages ne fait pas 100 % puisqu'un accident peut être comptabilisé une fois avec les VL et une fois avec les PL.

	Air libre (Section courante A8)				Tunnels (sauf Las Planas, Epine, Chamoise)			
	VL	PL	2 roues	Total	VL	PL	2 roues	Total
Accidents matériels et corporels Total	415	82	10	446	153	33	8	170
Accidents matériels et corporels (%)	93	18	2	-	90	19	5	-
Accidents matériels Total	340	57	3	364	120	24	1	133
Accidents matériels (%)	93	16	1	-	90	18	1	-
Accidents corporels Total	75	25	7	82	33	9	7	37
Accidents corporels (%)	92	31	9	-	89	24	19	-

Si l'on exclut les tunnels de Las Planas, de l'Epine et de Chamoise, les véhicules légers sont impliqués dans un pourcentage d'accidents très proche en tunnel (90 %) et à l'air libre (93 %). Pour les poids lourds, il en est de même (air libre : 18 % ; tunnel : 19 %). En revanche, les 2 roues sont beaucoup plus souvent impliqués en tunnel (5 % des accidents) qu'à l'air libre (2 %).

On peut noter aussi qu'à l'air libre (zone courante A8), les accidents corporels impliquent beaucoup plus souvent des PL (31 % des cas) que les accidents matériels (16 % des cas). En tunnel, la différence est moins marquée, ils sont impliqués dans 24 % (hors Las Planas, Epine, Chamoise) des accidents corporels et 18 % (hors Las Planas, Epine, Chamoise) des accidents matériels.

La gravité des accidents mettant en cause chaque type de véhicules n'a pas pu être étudiée; soit les renseignements sont absents pour certains tunnels soit le nombre d'événements est trop faible pour d'autres.

6.5.3 - Tunnels urbains et périurbains

Compte tenu des renseignements en notre possession, l'étude n'a pu être menée que sur les tunnels de Fourvière et de la Croix-Rousse.

Pour ces deux ouvrages et pour les deux sens confondus, nous obtenons pour ce qui concerne les accidents où sont impliqués au moins un VL;

Taux VL pour 10 ⁸ véh.km		
Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
68,3	48	20,4

Pour ce qui concerne les accidents où sont impliqués au moins un PL, les résultats sont :

Taux PL pour 10 ⁸ véh.km		
Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
115	82	33

Le calcul a également été possible pour les accidents mettant en cause au moins un deux-roues.

Taux deux-roues pour 10 ⁸ véh.km		
Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels
381,4	98,9	282,5

On constate des taux nettement plus élevés pour les poids lourds que pour les véhicules légers (près du double), ceci concernant surtout les accidents matériels.

Les taux pour les deux-roues sont assez peu significatifs du fait du faible nombre d'accidents et de l'incertitude sur le trafic deux-roues (le trafic 2 roues a été estimé à 1 % du trafic total). On notera cependant que les accidents de deux-roues sont presque toujours des accidents corporels.

Dans le tunnel de Fourvière un accident met en cause un piéton qui est d'ailleurs décédé. Ce piéton se trouvait à l'intérieur du tunnel (tube Nord) au canton 12 pour une raison inconnue.

6.5.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Faute de renseignements, l'étude n'a pas pu être faite pour cette catégorie de tunnels.

6.6 - Nombre de véhicules impliqués

6.6.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Le nombre de véhicules impliqués est donné par le tableau suivant :

Véhicules impliqués	Nombre d'accidents	%
1	99	66,9
2	44	29,7
3	3	2
4	2	1,4
TOTAL	148	100
MOYENNE	1,4	

L'accident moyen fait apparaître un chiffre de 1,4 véhicules impliqués, ce qui est logique compte tenu du volume faible de trafic.

6.6.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Dans le tableau de la page suivante nous avons à nouveau séparé les tunnels de Las Planas (fortement accidentogène comme nous l'avons vu précédemment) et les tunnels de Chamoise et de l'Epine, tous deux bidirectionnels et dans lesquels la circulation ne s'effectuant que sur une seule voie par sens, le risque de collision en chaîne est important, l'évitement d'un véhicule étant rendu difficile par cet état de circulation.

Véhicules impliqués	A l'air libre (Section courante A8)		En tunnel (sauf Las Planas, Epine, Chamoise)		Tunnel de Las Planas		Tunnels de l'Epine et de Chamoise	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
1	276	61,9	104	61,2	60	57,7	55	42,6
2	122	27,4	40	23,5	25	24	46	35,6
3	23	5,2	14	8,2	11	2,5	20	15,5
4	10	2,2	4	2,4	2	1,9	6	4,7
5	7	1,6	3	1,8	-	-	2	1,6
6	4	0,9	3	1,8	-	-	-	-
7	1	0,2	1	0,6	4	3,8	-	-
8	1	0,2	1	0,6	1	1	-	-
9	-	-	-	-	1	1	-	-
10	1	0,2	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	0,2	-	-	-	-	-	-
TOTAL	446		170		104		129	
MOYENNE	1,6		1,7		1,9		1,9	

Le nombre moyen de véhicules impliqués dans un accident est de 1,6 à l'air libre (Section courante sur A8), de 1,7 en tunnel (sans Las Planas, Epine, Chamoise) et de 1,9 dans Las Planas et dans l'Epine et Chamoise.

En tunnel, (sans Las Planas, Epine, Chamoise) il y a moins d'accidents avec un seul ou deux véhicules, mais un peu plus d'accidents avec 3 ou plus de véhicules. Ce phénomène est encore plus caractéristique dans les tunnels de Las Planas et surtout de l'Epine et de Chamoise où l'on constate nettement moins d'accidents avec un seul véhicule (42,6 %) qu'à l'air libre (61,9 %) et dans les autres tunnels (61,2 %) mais nettement plus d'accidents avec deux, trois ou quatre véhicules, voire même 7, 8 ou 9 véhicules pour Las Planas.

6.6.3 - Tunnels urbains et périurbains

Compte tenu des renseignements en notre possession, l'étude n'a pu être menée que sur les tunnels de Fourvière, de la Croix-Rousse et de la rive gauche du Paillon.

Le nombre de véhicules impliqués, pour les deux sens de circulation confondus, est donné dans le tableau suivant :

Véhicules impliqués	Nombre	%
1	97	18,3
2	231	43,6
3	101	19
4	69	13
5	14	2,6
6	11	2,1
7	2	0,4
8	3	0,6
9	1	0,2
10	1	0,2
TOTAL	530	100
MOYENNE	2,5	

L'accident moyen fait apparaître un chiffre de 2,5 véhicules impliqués. Les collisions en chaîne dans cette catégorie de tunnels sont beaucoup plus nombreuses que dans les autres catégories d'ouvrages.

6.6.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Faute de renseignements, l'étude n'a pas pu être faite pour cette catégorie de tunnels.

6.7 - Accidents corporels type

6.7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Dans les deux tunnels objets de l'étude, et pour les périodes considérées, il y a eu au total 43 accidents corporels faisant au total 70 blessés légers, 9 blessés graves et 3 tués.

La composition moyenne d'un accident corporel type est donc de :

- 1,6 blessé léger
- 0,2 blessé grave
- 0,07 tué

Nous rappelons que l'indice de gravité que nous avons calculé pour cette catégorie de tunnels est de 28 (voir chapitre 6.2).

6.7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Le tunnel de Las Planas a de nouveau été traité à part des autres ouvrages, car il est le seul à se distinguer par une accidentologie très importante. Les tunnels de l'Epine et de Chamoise ne se distinguant des autres tunnels que par des taux d'accidents poids lourds plus élevés que la moyenne, ont été traités, dans ce chapitre avec l'ensemble des ouvrages.

L'accident corporel type est :

- à l'air libre (section courante A8) :
 - 1,1 blessé léger
 - 0,29 blessé grave
 - 0,05 tué
- en tunnel (sauf Las Planas) :
 - 0,98 blessé léger
 - 0,35 blessé grave
 - 0,096 tué
- dans Las Planas :
 - 1,18 blessé léger
 - 0,46 blessé grave
 - 0,05 tué
- statistiques nationales (1993) :
 - 1,66 blessé léger + blessé grave
 - (Autoroutes concédées) - 0,17 tué

Ces chiffres laissent apparaître que les accidents en tunnel sont légèrement plus graves (un peu moins de blessés légers mais plus de blessés graves et de tués) que ceux à l'air libre sur la section courante de l'A8 entre l'échangeur de Nice Saint-Isidore et la frontière italienne. C'est d'ailleurs ce que nous avons constaté en comparant les indices de gravité.

Par contre, par rapport aux statistiques nationales (1993) sur autoroutes concédées, les accidents en tunnels sont moins graves: moins de blessés (légers + graves) 1,33 par accident contre 1,66 et presque moitié moins de tués: 0,096 contre 0,17 par accident.

Le tunnel de Las Planas est un cas particulier, nous avons vu précédemment que les accidents y sont plus nombreux que dans les autres tunnels mais il y sont également plus graves. Cependant, par rapport aux statistiques nationales, si le nombre de blessés par accident est sensiblement le même, le nombre de tués y est 3,4 fois inférieur.

6.7.3 - Tunnels urbains et périurbains

Pour tous les tunnels de l'étude, la composition moyenne d'un accident corporel type est de :

- 1,2 blessé léger
- 0,1 blessé grave
- 0,05 tué

L'indice de gravité que nous obtenons pour cette catégorie de tunnels est de 14,6.

6.7.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Pour le tunnel du Chat et pour le tunnel du Siaix, la composition moyenne d'un accident corporel type est de :

- 1 blessé léger
- 0,6 blessé grave
- 0,14 tué

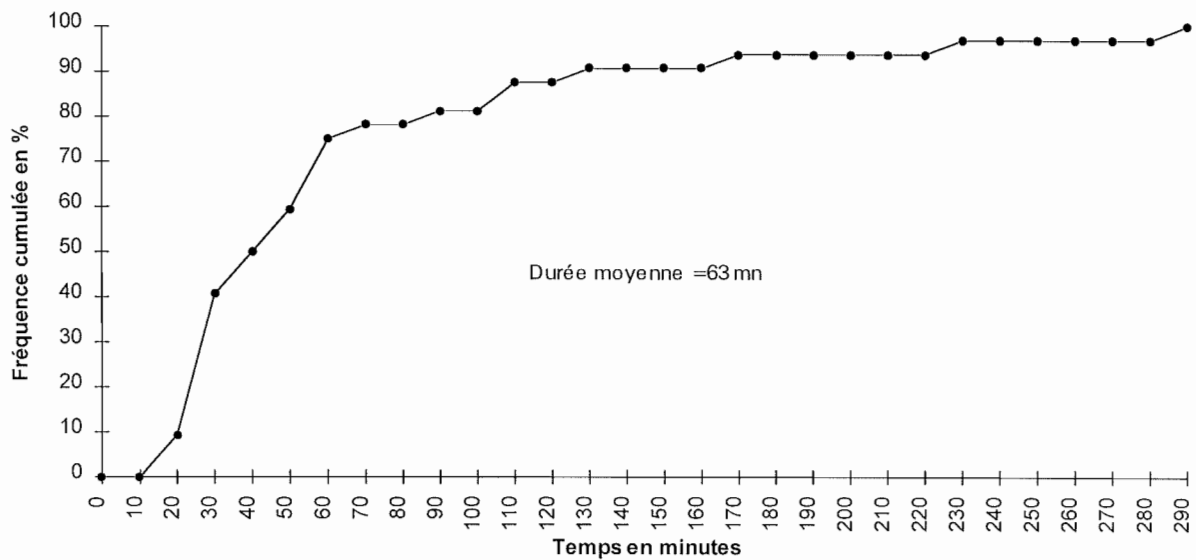
L'indice de gravité que nous obtenons pour ces deux tunnels est de 78,6. Ces chiffres sont à prendre avec beaucoup de précautions car ces deux tunnels ne sont certainement pas représentatifs de la catégorie. De plus la période d'étude est beaucoup trop courte pour que les résultats soient significatifs.

6.8 - Durée des restrictions de circulation suite à des accidents

La durée moyenne des restrictions de circulation suite à un accident n'a pu être étudiée que dans le tunnel de Chamoise (phase à un tube bidirectionnel) sur autoroute de liaison. Cette durée est de 63 minutes (tous véhicules, 2 sens confondus) pour les 32 accidents où l'information a été répertoriée, avec un maximum de 290 minutes. On trouvera ci-après la courbe de fréquences cumulées.

TUNNEL DE CHAMOISE

Tous sens confondus
tous véhicules (32 accidents)



6.9 - Causes présumées des accidents

6.9.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Nous ne disposons que de très peu de renseignements en ce qui concerne les causes des accidents. On notera toutefois :

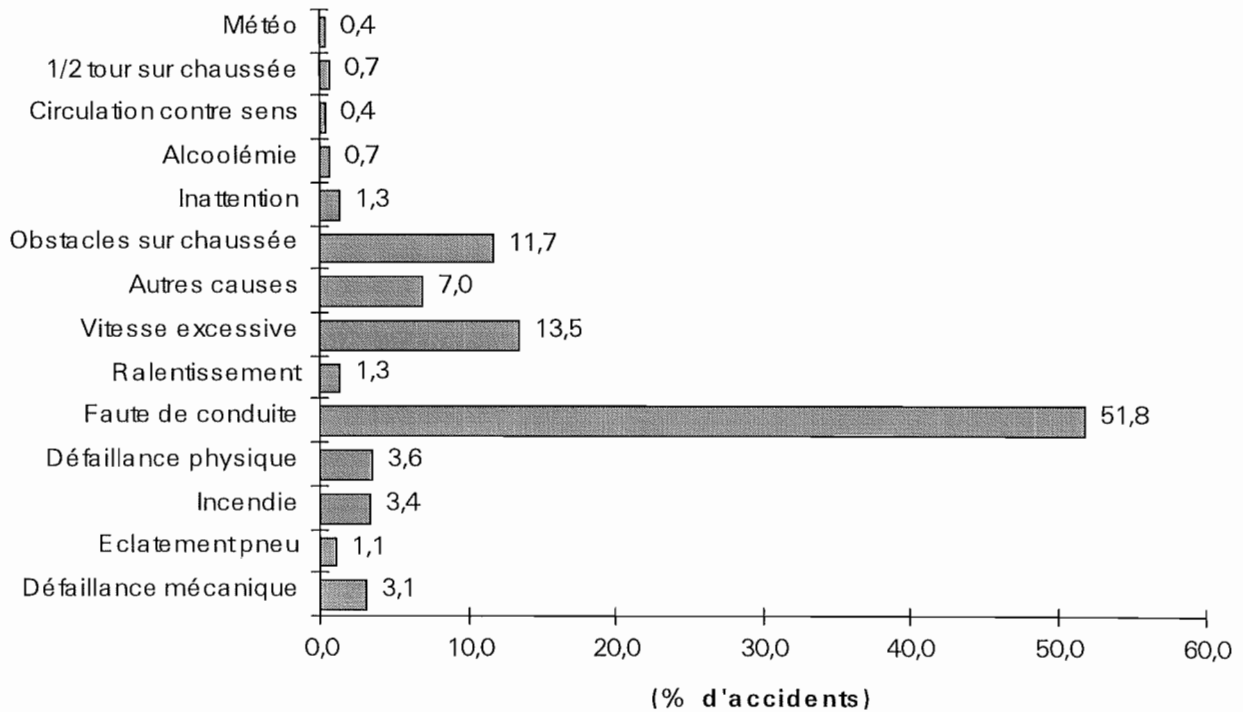
- dans le tunnel du Mont-Blanc :
 - 10 % des accidents se sont produits suite à la présence d'un objet sur la chaussée.
 - 21 % des accidents se sont produits en phase de chantier.
 - 13 % des accidents ont impliqué des véhicules circulant en sens inverse et peuvent être imputés au caractère bidirectionnel de la circulation.
 - 31 % des accidents se sont produits au niveau de la tête française.
 - seuls 2 accidents se sont produits suite à la présence d'un véhicule en panne.
 - aucun accident dû à des hors gabarits n'a été signalé (le gabarit est limité à 4,50 m).

- dans le tunnel du Fréjus :
 - 48,9 % des accidents sont des accrochages entre les poids lourds et les équipements du tunnel (le gabarit est limité à 4,50 m).

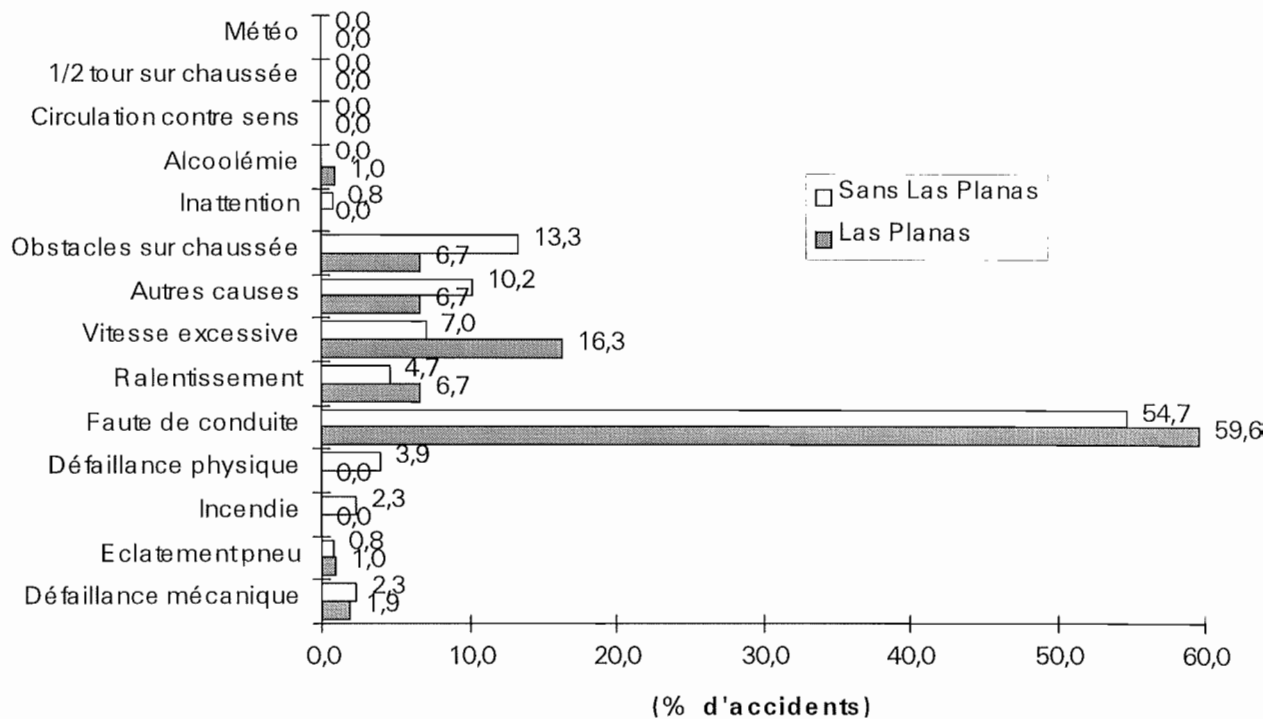
6.9.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

Cette étude n'a pu être menée que sur l'A8.

Causes présumées des accidents en section courante à l'air libre sur A8



Causes présumées des accidents en tunnel sur A8



On ne constate aucune différence notable entre l'air libre (section courante) et les tunnels (sans Las Planas) pour ce qui concerne les causes des accidents. Les causes principales sont les fautes de conduite, la vitesse excessive et les obstacles sur la chaussée. Les accidents dus aux ralentissements sont cependant plus nombreux en tunnel (4,7 %) qu'à l'air libre (1,3 %).

Pour Las Planas, les fautes de conduites (59,6 %) et la vitesse excessive (16,3 %) sont les deux principales causes d'accident ; viennent ensuite à égalité (6,7 %) les ralentissements, les obstacles sur la chaussée et les autres causes.

En tunnel, les obstacles causes d'accidents sont : pour 2 accidents des animaux, pour 1 accident des éboulis et pour tous les autres des obstacles non identifiés, sachant qu'aucun accident n'a été répertorié comme choc avec piéton ou avec véhicule accidenté ou en panne.

A l'air libre, sur la période considérée on trouve 11 chocs avec des animaux, 1 avec un véhicule en panne et 15 accidents dus à des éboulis, 25 obstacles n'ont pas été répertoriés.

6.9.3 - Tunnels urbains et périurbains

Les renseignements en notre possession sont assez succincts et très hétérogènes et il est difficile d'en tirer des chiffres globaux. Le tableau ci-après présente donc les résultats particuliers de chaque tunnel (en pourcentage du nombre d'accidents).

Causes présumées des accidents	Fourvière	Croix-Rousse	Vieux-Port	Souterrain des Halles	André Malraux	Rive Gauche du Paillon
Hors gabarit	1,5	3		13		
Collision en chaîne			16		25	
Faute de conduite			1		4	
Vitesse excessive			42	57	3	11
Non respect signaux			4	1		
Chargement renversé			4			
Flaque de gasoil			5			
Etat d'ivresse				6		
Chaussée non affectée à sa catégorie				4		
Changement de files				1		22
Demi-tour ou marche arrière				1		
Eclatement de pneu					3	
Circulation en sens interdit				4		11
Autres	98,5	87	28	13	65	56

En dehors des causes "autres", on remarquera que la vitesse excessive et les collisions en chaîne sont les principales causes d'accidents dans les tunnels de cette catégorie.

6.9.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Nous ne disposons pas des renseignements nécessaires à l'étude pour cette catégorie de tunnels.

6.10 - Influence du nombre de voies

Compte tenu des renseignements en notre possession, cette étude ne concerne que l'A8 et que les années 1992 et 1993.

Sur les 33,8 km du tronçon d'autoroute qui nous intéresse pour notre étude, on trouve, en considérant chaque sens de circulation indépendamment :

- Zone air libre(zone courante + viaducs)
 - . 31,455 km à 2 voies (60,3 % de la zone air libre)
 - . 20,685 km à 3 voies (39,7 % de la zone air libre)
- Zone tunnels
 - . 9,594 km à 2 voies (62 % de la longueur des tubes de tunnels)
 - . 5,873 km à 3 voies (38 % de la longueur des tubes de tunnels)

Pour tout ce tronçon du PR 190,2 au PR 224, il y a au total 60,7 % de l'itinéraire à 2 voies de circulation et 39,3 % à 3 voies. Les pourcentages de 2 voies et de 3 voies sont donc pratiquement identiques entre l'air libre et les tunnels.

En ce qui concerne les pourcentages de véh.km sur les 2 et 3 voies, on obtient :

- Air libre :
 - . 56 % des véh.km sur 2 voies
 - . 44 % des véh.km sur 3 voies
- En tunnel :
 - . 53 % des véh.km sur 2 voies
 - . 47 % des véh.km sur 3 voies

Les pourcentages de véh.km sur 2 voies et sur 3 voies sont donc très proches entre les tunnels et l'air libre.

Le tunnel de Las Planas comporte un tube descendant à 2 voies (tube Sud) de 1,072 km de long et un tube montant à 3 voies (tube Nord) de 1,108 km de long. Ce qui représente en pourcentage de véh.km, 48,9 % pour le tube à 2 voies et 51,1 % pour celui à 3 voies.

Les taux d'accidents pour 10^8 véh.km sont les suivants :

	Taux d'accidents matériels et corporels	Taux d'accidents corporels	Taux de blessés légers	Taux de blessés graves	Taux de tués
Tunnels à 2 voies sans Las Planas	41	14	19	(1)	(0)
Tunnels à 3 voies sans Las Planas	39	(5)	(2)	(2)	(2)
Las Planas 2 voies (tube descendant)	137	(26)	(31)	(10)	(0)
Las Planas 3 voies (tube montant)	66	(15)	(0)	(20)	(0)
Air libre à 2 voies	35	6	7	(2)	(0)
Air libre à 3 voies	33	5	5	(1)	(0)

(*) Les taux indiqués entre parenthèses n'ont qu'une signification statistique limitée car ils ont été calculés avec un nombre d'événements très faible

Nous avons vu précédemment que les pourcentages d'itinéraire à 2 voies et à 3 voies ainsi que les pourcentages de véh.km sont très semblables entre les tunnels et l'air libre. La comparaison entre les 2 et 3 voies en tunnel et à l'air libre est donc tout à fait possible.

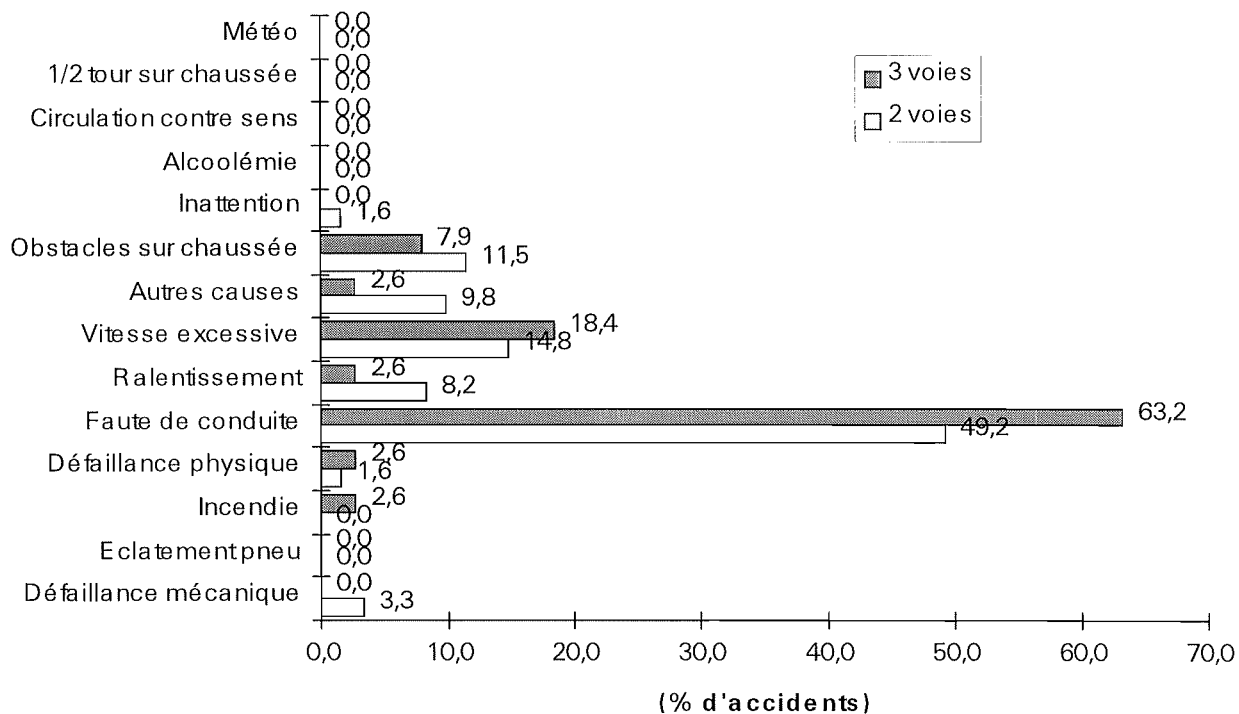
On constate ainsi que pour l'air libre les taux d'accidents matériels et corporels sur les 2 voies et les 3 voies sont très voisins (respectivement 35 et 33), les 3 voies étant cependant un peu moins accidentogènes : les taux d'accidents corporels et de blessés sont toujours les plus faibles sur les 3 voies.

Si l'on ne prend pas en compte Las Planas, le taux d'accidents matériels et corporels en tunnel est pratiquement le même sur les 2 voies que les 3 voies (41 pour 39). Il n'est par contre pas possible de conclure sur les taux d'accidents corporels qui ne sont pas significatifs sur les 3 voies.

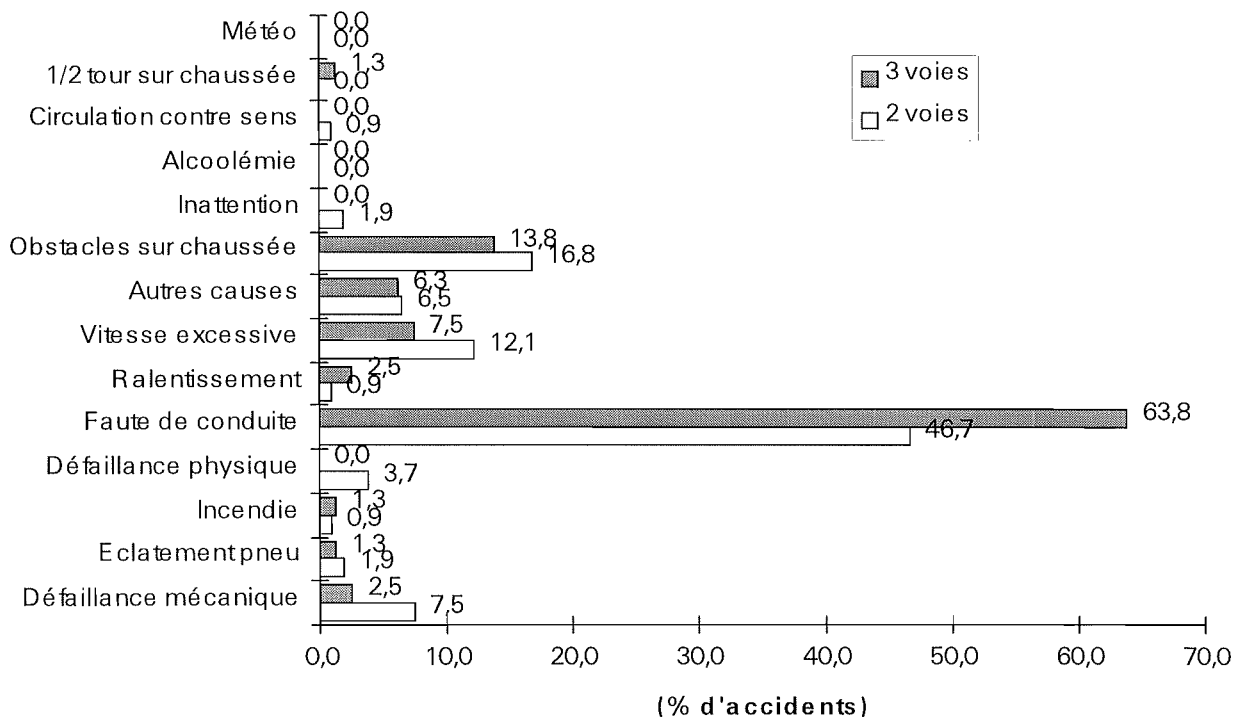
En ce qui concerne Las Planas, le taux d'accidents matériels et corporels dans le tube descendant à 2 voies de circulation est plus du double du taux constaté dans le tube montant à 3 voies. Les taux d'accidents corporels, de blessés légers et graves ne sont pas significatifs. Comme on l'a vu précédemment, le nombre de voies n'est certainement pas le facteur explicatif principal de la différence entre les taux d'accidents des deux sens.

Il nous a également été possible de déterminer les causes présumées des accidents en différenciant les 2 voies et les 3 voies (graphiques page suivante). Pour les tunnels, Las Planas est inclus.

Causes présumées des accidents en tunnel (1992-1993)



Causes présumées des accidents à l'air libre (1992-1993)



- En tunnel :
 - sur les 2 voies, les obstacles sur la chaussée, les défaillances mécaniques et les ralentissements sont une cause d'accident plus importante que sur les 3 voies,
 - sur les 3 voies, la vitesse excessive et les fautes de conduite sont plus prépondérantes que sur les 2 voies.
- A l'air libre
 - sur les 2 voies, on retrouve comme pour les tunnels les obstacles sur la chaussée et les défaillances mécaniques comme causes d'accident plus importantes que sur les 3 voies. Par contre, les ralentissements sont une cause moins importante sur les 2 voies que sur les 3 voies.
A l'air libre, la vitesse excessive est une cause d'accident plus importante sur les 2 voies que sur les 3 voies, contrairement à ce que l'on constate en tunnel ;
 - sur les 3 voies, les fautes de conduite sont cause de plus d'accidents que sur les 2 voies.

Ainsi, en tunnel comme à l'air libre, les fautes de conduites sont responsables de plus d'accidents sur les 3 voies que sur les 2 voies, mais la vitesse excessive est en tunnel une cause plus importante sur les 3 voies que sur les 2 voies alors qu'à l'air libre c'est le contraire.

7 - INCENDIES

Tous les incendies constatés dans les tunnels objets de l'étude se sont déclarés spontanément et aucun n'a été consécutif à un accident. Ce n'est pas le cas si on examine les incendies survenus dans des tunnels à l'étranger (Caldecott, Pfander).

7.1 - Grands tunnels à trafic bidirectionnel

Pour les deux tunnels étudiés, et pour les périodes considérées, on peut dresser le tableau suivant (les taux sont exprimés pour 10^8 véh.km) :

Désignation des tunnels	VL			PL			Tous véhicules		
	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux
Mont-Blanc	4	0,1	(1)	17	0,6	13	21	0,7	5
Fréjus	2	0,2	(3)	6	0,5	(13)	9 (1)	0,8	(9)
Ensemble des 2 tunnels	6		(2)	23		13	30 (1)		6

(*) Les taux indiqués entre parenthèses n'ont qu'une signification statistique limitée car ils ont été calculés avec un nombre d'événements très faible.

(1) Un incendie de deux-roues a également été enregistré.

Il convient de souligner qu'un seul gros incendie a été enregistré dans chacun des deux tunnels étudiés. Les équipements des tunnels (câbles d'alimentation et appareils d'éclairage) ont subi quelques dommages. La dalle de plafond du Fréjus a dû être renforcée à titre préventif.

Dans le tunnel du Fréjus, il s'agissait d'un transport de poubelles en matières plastiques qui ont pris feu. Il y a eu à cette occasion un intoxicé.

7.2 - Tunnels sur autoroutes de liaison

De tous les tunnels objets de l'étude, ne figurent dans le tableau ci-dessous que ceux dans lesquels des incendies ont été constatés (les taux sont exprimés pour 10^8 véh.km) :

Désignation des tunnels	VL			PL			Tous véhicules		
	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux
Dullin	1	0,1	(2)	0	0	(0)	1	0,1	(1)
Epine	1	0,1	(1)	1	0,1	(4)	2	0,2	(1)
Vuache	1	0,1	(0)	0	0	(0)	1	0,1	(0)
Châtillon	1	0,3	(10)	0	0	(0)	1	0,3	(8)
St Germain	0	0	(0)	1	0,3	(34)	1	0,3	(8)
Chamoise	1	0,2	(2)	5	0,8	(23)	6	1	(7)
St P. Féric	1	0,2	(5)	0	0	(0)	1	0,2	(4)
Cap de Croix	1	0,2	(3)	0	0	0	1	0,2	(3)
Pessicart	1	0,2	(2)	0	0	0	1	0,2	(2)

Ensemble des tunnels (1)	8		(1)	7		(5)	15		2
--------------------------------	---	--	-----	---	--	-----	----	--	---

Air libre (A8 Zone courante)	9	1,8	(1)	6	1,2	(3)	15	3	1
-------------------------------------	---	-----	-----	---	-----	-----	----	---	---

(1) Tous les tunnels objets de l'étude sont pris en compte pour le calcul des taux, y compris ceux dans lesquels il n'y a pas eu d'incendies.

(*) Les taux indiqués entre parenthèses n'ont qu'une signification statistique limitée car ils ont été calculés avec un nombre d'événements très faible

Le taux tous véhicules en tunnel est du même ordre de grandeur que le taux à l'air libre (zone courante A8), l'écart constaté étant certainement non significatif. Les autres taux n'ont aucune valeur statistique à cause du nombre très faible d'événements ayant servi à leur calcul.

Parmi les incendies constatés en tunnel, tous sauf trois ont été bénins et éteints avec un extincteur.

Les trois plus importants sont :

- Vuache : court-circuit sur un minicar.
2 personnes intoxiquées suite aux fumées épaisses dégagés par le foyer.
- Chamoise : incendie d'un PL le 9/02/1991.
Destruction de 20 m² de chaussée, de 40m de câble rayonnant, de 20 m de câbles électriques et de 2 luminaires.
- Chamoise : incendie d'un PL le 17/04/1992.
Destruction de 140 m² de chaussée, de 35 m de câble rayonnant et de 2 points lumineux.

7.3 - Tunnels urbains et périurbains

Compte tenu des renseignements en notre possession, l'étude n'a pu être menée que sur les tunnels de Fourvière, de la Croix-Rousse et du Vieux-Port.

Désignation des tunnels	VL			PL			Tous véhicules		
	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux	Nombre total	Nombre moyen annuel	Taux
Fourvière	7	0,9	(2)	1	0,1	(2)	8	1,1	(2)
Croix-Rousse	6	0,9	(2)	0	0	(0)	6	0,9	(2)
Vieux-Port	2	0,3	(3)	0	0	0	2	0,3	(3)

Ensemble des tunnels	15		2	1		(1)	16		2
-------------------------	----	--	---	---	--	-----	----	--	---

(*) Les taux indiqués entre parenthèses ne sont pas significatifs car ils ont été calculés avec un nombre d'événements très faible

Tous les incendies recensés ont été sans dommages, ni gravité tant pour les personnes que pour le tunnel.

7.4 - Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel

Faute de renseignements, l'étude n'a pas pu être faite pour cette catégorie de tunnels.

7.5 - Synthèse générale tous tunnels

Afin d'obtenir une meilleure signification statistique dans le calcul des taux d'incendies, nous avons effectué le cumul de tous les incendies et de tous les parcours (véhicules.kilomètre) sur tous les tunnels étudiés.

Type de véhicules	VL	PL	PL (incendies importants)	Tous véhicules
Parcours total (en millions de km)	1680	420	420	2100
Nombre total d'incendies	29	31	4	61 (1)
Taux (pour 10 ⁸ véh.km)	1,7	7,4	1	2,9

(1) Un incendie de deux-roues a également été enregistré.

Le nombre total de kilomètres parcourus par l'ensemble des poids lourds à l'intérieur de tous les tunnels objets de l'étude est de 420 millions de kilomètres, ce qui conduit pour les 31 incendies recensés à un taux moyen de 7,4 pour 10⁸ véh.km.

Cette moyenne ne doit pas masquer une vraisemblable différence entre les deux grands tunnels bidirectionnels du Mont-Blanc et du Fréjus et le reste des tunnels étudiés. Dans ces deux tunnels, où sont survenus les trois quarts des incendies de poids lourds recensés (23 incendies) pour environ la moitié des parcours de poids lourds en tunnel, le taux est de 13 incendies pour 10⁸ véh.km. Ce chiffre élevé est probablement en rapport avec la situation de ces deux tunnels alpins, à environ 1200 m d'altitude, après de longues montées qui entraînent sans doute une fatigue et un échauffement des véhicules. Pour les autres tunnels, le taux serait de l'ordre de 4 incendies pour 10⁸ véh.km mais il n'est guère significatif en raison du faible nombre d'événements (8 incendies). Il est en tout cas assurément plus faible que pour les deux tunnels précédents.

Les seuls 4 incendies que nous avons estimés comme importants (1 sous le Mont-Blanc, 1 sous le Fréjus et 2 sous Chamoise) donnent un taux de 1 pour 10⁸ véh.km.

Ce chiffre est d'une part peu significatif à cause du très faible nombre d'événements observés et d'autre part n'est pas du tout représentatif de l'ensemble des tunnels français.

Ce taux d'incendies importants de 1 pour 10⁸ véh.km est sans aucun doute surévalué car la prise en compte de tous les tunnels routiers français conduirait à augmenter assez considérablement le nombre total de kilomètres parcourus par les poids lourds alors que le nombre d'événements resterait sensiblement le même, aucun incendie grave de poids lourds en tunnel n'ayant été porté à notre connaissance en dehors de ceux mentionnés ci-dessus.

7.6 - Approche des incendies importants de poids lourds en tunnel

Pour les véhicules légers, les paragraphes précédents dégagent un taux de l'ordre de 1,7 incendie pour 10^8 véh.km. Celui-ci a une certaine signification statistique en raison du nombre d'événements (29) et de l'absence de fortes variations qu'on puisse mettre en évidence d'un type de tunnel à un autre.

Pour les poids lourds, bien que le taux moyen de 7,4 s'appuie sur un nombre équivalent d'incendies (31), une différence significative apparaît entre les deux grands tunnels alpins (taux de 13) et les autres ouvrages (taux de l'ordre de 4, peu significatif). On a par ailleurs distingué quelques incendies qualifiés d'importants (taux de l'ordre de 1, non significatif) mais qui n'ont en réalité pas eu de conséquences réellement graves, pas plus pour les personnes que pour les ouvrages.

Les études liées au dimensionnement des installations de désenfumage, et surtout les études quantitatives de risques, requièrent des probabilités d'incendie de poids lourd en fonction de l'importance du sinistre, qu'il faut donc quantifier. En l'absence de données scientifiques précises, nous avons donc tenté d'aller plus loin, parfois avec une certaine dose de subjectivité et peu de rigueur scientifique (cf. réf. 14).

La grande majorité des incendies recensés ci-dessus n'entraîne aucune conséquence sérieuse (autre que les dommages au véhicule brûlé). Ceux que nous avons qualifiés d'importants n'ayant en fait eu que des conséquences limitées, nous avons considéré que leur puissance thermique ne dépassait pas les 20 MW couramment pris en compte par l'AIPCR. Pour estimer des taux applicables à des incendies de puissance supérieure, il a fallu rechercher d'autres sources de données, provenant de l'étranger ou d'itinéraires à l'air libre. Faute de données statistiques suffisantes en tunnel, on devra faire l'hypothèse que les taux d'incendie sont les mêmes en tunnel qu'à l'air libre.

Nous citerons en premier lieu les incendies les plus graves connus en tunnel routier au niveau mondial ainsi que leurs conséquences. Ces informations ne sont données qu'à titre documentaire car il est impossible d'en tirer des statistiques.

En second lieu, nous avons utilisé l'inventaire (du 06/01/86 au 23/02/95) des incendies de poids lourds élaboré par le Service de l'Environnement Industriel du Ministère de l'Environnement, Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI) (cf. réf. 21).

Enfin, nous avons utilisé les chiffres fournis par une étude du CEPN (cf. réf. 5) : "Analyse des accidents et évaluation des risques associés au transport des matières dangereuses par poids lourds".

7.6.1 - Données internationales sur les incendies graves

Incendies importants sans matière dangereuse impliquée

ANNEE	TUNNEL Longueur	LOCALITE Pays	VEHICULE A L'ORIGINE DU FEU	CAUSE PROBABLE	DUREE DU FEU	CONSEQUENCES		
						PERSONNES	VEHICULES DETRUITS	TUNNEL
1968	Billwerder- Moorfleet 243 m	Hambourg Allemagne	1 remorque de camion 14 t de polyéthylène en sacs	blocage des freins	1h 30	néant	1 remorque	dégâts importants sur 34 m
1975	Guadarrama 3 330 m	Guadarrama Espagne	1 camion chargé de bidons de résine de pin	inconnue	2h 45	néant	1 PL	dégâts importants sur 210 m
1976	raccordement BP - A6 430 m	Paris France	1 camion chargé de rouleaux de film polyester	vitesse excessive	-	néant	1 PL	dégâts importants
1978	Velsen 770 m	Velsen Pays-Bas	2 camions 4 voitures	collision avant-arrière	1h 20	5 morts 5 blessés	2 camionnettes 4 VL	dégâts importants sur 30 m
1983	Pecorile 600 m	Gênes Savone Italie	1 camion	collision suite à ralentissement	-	8 morts 22 blessés	10 VL	dégâts légers
1983	Fréjus 12 868 m	Modane France-Italie	1 camion chargé de matière plastique	rupture de la boîte de vitesse	1h 50	néant	PL	dégâts importants sur 200 m
1984	Gothard 16 321 m	Goeschenen- Airolo Suisse	1 camion chargé de rouleaux de matière plastique	incendie du moteur	24 mn	néant	1 PL	dégâts importants sur 30 m
1984	Felbertassen 5130 m.	Autriche	1 bus	blocage des freins	1h 30	néant	1 bus	dégâts au plafond et aux équipements sur 100 m.
1986	L'Arme 1 105 m	Nice France	1 camion semi- remorque	dérapiage suite à vitesse excessive	-	3 morts 5 blessés	1 PL 4 VL	dégâts importants aux équipements
1987	Gumefens 340 m	Berne Suisse	1 camion	collision en chaîne chaussée glissante	2 h	2 morts	2 PL - 1 camionnette	dégâts légers
1993	Serra Ripoli 442 m	Bologne- Florence Italie	1 voiture	tonneau puis collision avec 1 camion chargé de rouleaux papier	2h 30	4 morts 4 blessés	5 PL 11 VL	dégâts légers
1994	Gothard 16 321 m	Goeschenen- Airolo Suisse	1 camion	-	1h 15	néant	1 PL	tunnel fermé 3 jours
1994	Huguenot 6 111 m	Afrique du Sud	1 bus avec 45 passagers	circuit électrique	1h	1 mort 28 blessés	1 bus	dégâts importants
1994	Mersey Kingsway 2 500 m	Liverpool Royaume Uni	1 bus avec 40 passagers	moteur	1h	néant	1 bus	dégâts légers
1994	Castellar 570 m	Nice France	1 camion semi- remorque ballots de papier	éclatement d'un pneu	1h	néant	1 PL	dégâts importants aux équipements
1995	Pfander 6 719 m	Autriche	1 camion semi- remorque	collision frontale	-	3 morts 4 blessés	4 VL	dégâts légers

Incendies importants avec matière dangereuse impliquée

ANNEE	TUNNEL Longueur	LOCALITE PAYS	VEHICULE A L'ORIGINE DU FEU	CAUSE PROBABLE	DUREE DU FEU	CONSEQUENCES		
						PERSONNES	VEHICULES	TUNNEL
1949	Holland 2 550 m	New-York U.S.A	1 camion chargé de 11 t de bisulfure de carbone	Chute du chargement	4h	66 blessés (intoxiqués)	10 PL 13 VL	dégâts importants sur 200 m
1979	Nihonzaka 2 045 m	Shizuoka Japon	4 camions + 2 voitures bidons d'ether ?	Collision avant-arrière	4 jours	7 morts 2 blessés	127 PL 46 VL	dégâts importants sur 1 100 m
1980	Kajiwara 740 m.	Japon	2 camions dont 1 avec 3600 l. de peinture en 200 pots	collision avec le piédroit et renversement		1 mort	2 PL	dégâts sur 280 m.
1982	Caldecott 1 028 m	Oakland U.S.A	1 camion citerne 33 000 l d'essence	Collision avant-arrière	2h 40 mn	7 morts 2 blessés	3 PL 1 autocar 4 VL	dégâts importants sur 580 m
1996	Isola delle Femmine 148 m	Palerme Italie	1 camion chargé de gaz liquéfié	Collision, suite à chaussée humide	Explosion	5 morts 10 blessés	1 PL 1 bus 18 VL	dégâts importants

7.6.2 - Evaluation à partir des données du BARPI

Le recensement effectué par le BARPI concerne tous les accidents de poids lourds qui ont, ou auraient pu, porter atteinte à la santé, la sécurité et la salubrité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement.

De cet inventaire, nous avons extrait les incendies que nous avons estimés importants au vu des commentaires associés à chaque événement. Il s'agit en fait d'incendies très violents qui auraient eu des conséquences très graves en tunnel (puissance thermique bien supérieure à 20 MW). Nous n'avons pas pris en compte les incendies qui n'auraient pas pu se produire en tunnel, en particulier ceux s'étant produits lors du déchargement des poids lourds.

Nous avons ainsi répertorié 34 incendies importants sur les 7 années de 1988 à 1994, soit 4,9 incendies importants en moyenne par an. D'après les bilans annuels publiés par l'Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière, la circulation totale des poids lourds sur le réseau routier a été estimée à 27,2 milliards de km en 1992 et à 28 milliards de km en 1993. En considérant un ordre de grandeur moyen de 27.10^9 véh.km annuels pour les 7 années considérées et pour tout le réseau routier, il ressort un taux global de 0,018 incendie très important pour 10^8 véh.km.

Cette valeur ne représente certainement pas tous les incendies de poids lourds susceptibles d'être graves en tunnel; ceux d'importance limitée à l'air libre mais potentiellement graves en tunnel n'ont probablement pas été pris en considération dans l'inventaire du BARPI.

En réalité il s'avère que les incendies que nous avons retenus dans l'inventaire du BARPI impliquent tous des transports de marchandises dangereuses. Le trafic total de ces transports au niveau national est mal connu; nous retiendrons en ordre de grandeur 5% du trafic total des poids lourds, soit 1,3 milliards de véhicules.km par an sur la même période. Le taux d'incendies très importants est alors de l'ordre de 0,4 pour 10^8 véh.km parcourus par des transports de matières dangereuses.

7.6.3 - Evaluation à partir de l'étude du CEPN

L'étude du CEPN vise principalement les accidents de poids lourds transportant des matières dangereuses (PLMD) pour les années 1975 à 1989. Les taux d'accidents avancés dans cette étude résultent de considérations théoriques puisque la seule donnée objective est le taux d'accidents sur autoroutes des poids lourds ne transportant pas de matières dangereuses, qui était de l'ordre de 40 pour 10^8 véh.km en 1989.

Un taux d'accidents sur routes nationales de 110.10^{-8} pour ces poids lourds a été déduit à partir du coefficient constaté pour les accidents corporels entre routes et autoroutes (facteur de près de 3). Pour déterminer si les transports de matières dangereuses avaient le même taux d'accidents que les autres poids lourds, le CEPN s'est appuyé sur les exploitants d'autoroute qui estiment que leur taux est trois à quatre fois inférieur à la moyenne. Bien que les raisons n'en soient pas entièrement explicitées, il a semblé possible de retenir ce taux car les estimations du trafic et les données globales d'accidents de matières dangereuses au niveau national le confortaient.

Cette étude propose ainsi pour 1989, un taux d'accidents corporels et matériels de PLMD sur autoroute de 10 pour 10^8 véh.km et de 30 pour 10^8 véh.km sur routes nationales.

Le pourcentage des incendies dans l'ensemble des accidents de poids lourds est resté stable de 1975 à 1989 et était d'environ 5 % des accidents (étant entendu que pour le CEPN, un incendie spontané non consécutif à un choc, est considéré comme un "accident").

On obtient ainsi, pour les poids lourds ne transportant pas de matières dangereuses, les taux d'incendie suivants :

- taux d'incendies sur autoroutes : $40.10^{-8} \times 0,05 = 2.10^{-8}$ incendies/véh.km
- taux d'incendies sur RN : $110.10^{-8} \times 0,05 = 5,5.10^{-8}$ incendies/véh.km

Ces chiffres sont certainement sous-évalués puisque les plus petits incendies sont sans doute ignorés. Ils ne sont donc pas contradictoires avec le taux moyen de 7,4 (ou la fourchette de 4 à 13) pour 10^8 véh.km calculé dans le paragraphe 7.5 précédent.

Les dégâts au véhicule et au chargement ont été estimés par le CEPN au vu des commentaires figurant dans les dossiers d'accident. Ainsi en 1974, sur 70 poids lourds incendiés, 33 % ont vu leur chargement entièrement détruit. Si nous assimilons la destruction du chargement au caractère important de l'incendie, nous pouvons déduire pour 1989, pour les poids lourds ne transportant pas de matières dangereuses :

- taux d'incendies importants sur autoroutes : $40.10^{-8} \times 0,05 \times 0,33 = 0,7.10^{-8}$ incendie/véh.km
- taux d'incendies importants sur RN : $110.10^{-8} \times 0,05 \times 0,33 = 1,8.10^{-8}$ incendie/véh.km

Ces valeurs encadrent le taux de 1.10^{-8} obtenu au paragraphe 7.5 pour les incendies importants recensés en tunnel.

Si nous supposons que pour les PLMD aussi, 5% des accidents sont ou incluent un incendie, nous sommes conduits, pour l'ensemble des incendies impliquant un transport de marchandises dangereuses, aux taux suivants :

- taux d'incendies sur autoroutes : $10.10^{-8} \times 0,05 = 0,5.10^{-8}$ incendie/véh.km
- taux d'incendies sur RN : $30.10^{-8} \times 0,05 = 1,5.10^{-8}$ incendies/véh.km

En l'absence de matières dangereuses, il s'avérait que le taux moyen constaté en tunnel était de l'ordre du double de la moyenne des taux calculés sur autoroute et RN. Le facteur était censé couvrir les plus petits incendies, vraisemblablement non répertoriés. En appliquant la même correction, de façon certes osée, au cas des PLMD, on obtient un ordre de grandeur de 2 incendies pour 10^8 véh.km. Le raisonnement suivi conduit à retrouver un rapport de 3 à 4 entre le taux d'incendie des poids lourds ne transportant pas de marchandises dangereuses et celui des PLMD.

Les données collectées par le CEPN pour 141 PLMD incendiés en 1973 et 1974 montrent que dans environ 40% des cas le chargement est entièrement détruit. Si on assimile ces cas aux incendies très graves impliquant des marchandises dangereuses, on obtient les taux suivants :

- taux d'incendies très graves sur autoroutes : $10.10^{-8} \times 0,05 \times 0,4 = 0,2.10^{-8}$ incendie/véh.km
- taux d'incendies très graves sur RN : $30.10^{-8} \times 0,05 \times 0,4 = 0,6.10^{-8}$ incendie/véh.km

Ces taux encadrent la valeur de $0,4.10^{-8}$ obtenue à partir des données du BARPI.

7.6.4 - Ordre de grandeur des taux d'incendie de poids lourds

A partir des diverses approches précédentes, on peut essayer d'avancer des ordres de grandeur de taux d'incendie en tunnel. Pour les incendies de toutes importances concernant des poids lourds ne transportant pas de matières dangereuses, les données les plus fiables sont certainement celles obtenues lors de l'enquête menée dans les tunnels français (31 incendies en tunnel). Dans les autres cas, nous ne pouvons nous baser que sur les données du BARPI et du CEPN réexaminées aux paragraphes 7.6.2 et 7.6.3. Les valeurs correspondantes sont alors très incertaines mais peuvent fournir une première approche pour les études quantitatives de risques (qui comportent bien d'autres incertitudes).

	Ordre de grandeur des taux pour 10^8 véhicules.km
PL sans marchandises dangereuses	7 pour les incendies de toutes importances (de 4 en général à 13 dans les tunnels alpins d'altitude) 1 pour les incendies impliquant le chargement (incendies importants mais le plus souvent ≤ 20 MW)
PL transportant des marchandises dangereuses	2 pour les incendies de toutes importances 0,4 pour les incendies impliquant le chargement (incendies très graves)

8 - CONCLUSIONS

Le présent rapport est une synthèse des différentes études menées sur les pannes, accidents et incendies dans différents tunnels routiers. Son but principal est de disposer d'éléments statistiques concernant ces événements et de rechercher des relations entre ces événements et les caractéristiques des tunnels. D'une façon tout à fait globale par catégorie d'ouvrages et pour l'ensemble des tunnels concernés, nous obtenons les chiffres donnés dans le tableau ci-après.

Compte tenu de la très grande hétérogénéité dans les taux constatés, les plages de variation de ces taux sont également données.

Catégorie de tunnels	Taux pour 10 ⁸ Véh. km					
		Pannes	Accidents matériels et corporels	Accidents matériels	Accidents corporels	Incendies
Grands tunnels à trafic bidirectionnel	Taux moyen	700	30	20	10	6
	Plage	500-875	25-40	15-40	5-10	(5)-(9)
Tunnels sur autoroutes de liaison	Taux moyen	350	50	40	10	2
	Plage	120-750	(0)-110	(0)-90	(0)-25	(0)-(8)
Tunnels urbains et périurbains	Taux moyen	650	100	70	30	2
	Plage	450-1450	25-560	20-440	(0)-120	(2)-(3)
Tunnels interurbains à trafic bidirectionnel	Taux moyen	(-)	(-)	(-)	140	(-)
	Plage				(40)-240	
Ensemble des tunnels objets de l'étude	Taux moyen	530	70	50	20	3

(*) Les taux placés entre parenthèses n'ont qu'une signification limitée, car ils ont été calculés avec un nombre très faible d'événements.

(-) Chiffres non connus.

Pour les incendies, nous avons le détail suivant :

Type de véhicules	VL	PL	PL (incendies importants)	Tous véhicules
Taux (pour 10 ⁸ véh.km)	2	7	1	3

Les chiffres ci-dessus concernent les poids lourds qui ne transportent pas de matières dangereuses. Dans le cas contraire, des données d'autres origines ont conduit à des ordres de grandeur de 2 incendies pour 10⁸ PLMD.km et 0,4 pour les incendies très graves impliquant la matière dangereuse.

Ces chiffres appellent bien sûr de nombreux commentaires.

Certains de ces taux, en particulier ceux obtenus pour les tunnels interurbains à trafic bidirectionnel ainsi que les taux d'incendies sont à prendre avec beaucoup de précautions car ils sont obtenus à partir d'un nombre assez faible d'événements.

On notera que la période d'analyse est un facteur très important. Afin de disposer d'événements assez nombreux pour avoir des taux significatifs sur le plan statistique, il convient de raisonner sur une période d'analyse suffisamment longue que nous estimons de l'ordre de 5 ans. Malheureusement cela ne fut pas toujours possible au cours de notre étude. Par ailleurs une période d'étude longue introduit un biais dans le cas des accidents, du fait de l'évolution générale des taux à la baisse.

8.1 - Pannes

Le taux de pannes moyen pour l'ensemble des tunnels de l'étude est de 530 pour 10^8 véh.km.

Les tunnels urbains et périurbains et les grands tunnels à trafic bidirectionnel apparaissent dans l'ensemble plus sujets aux pannes que les tunnels sur autoroutes de liaison. Ces deux catégories de tunnels devront donc faire l'objet de plus d'attention que les autres quand à leur conception et à leur exploitation pour diminuer les conséquences des pannes sur les conditions de circulation.

Dans chacune des catégories d'ouvrages, les taux de pannes varient assez fortement d'un ouvrage à l'autre (par exemple, de moins de 100 à plus de 750 pour 10^8 véh.km dans les tunnels sur autoroutes de liaison), et différent entre les véhicules légers et les poids lourds. Nous n'avons pas pu expliquer ce dernier point compte tenu d'un manque d'informations.

8.1.1 - Comparaison avec l'air libre

Nous avons calculé un taux à l'air libre de 240 pour 10^8 véh.km mais la comparaison avec les tunnels est délicate car ce taux à l'air libre ne concerne qu'une partie de l'autoroute A8 (de l'échangeur Nice - St Isidore jusqu'à la frontière italienne) et que les zones courantes (bretelles, échangeurs, zones de péage, etc. sont exclus). De plus, ce chiffre est assez peu significatif d'une part car la localisation des pannes était souvent imprécise et d'autre part à cause de la géométrie particulière de cet itinéraire.

A priori, nous ne voyons aucune raison qui conduirait à un nombre de pannes plus élevé en tunnel qu'à l'air libre. On pourrait même plutôt penser le contraire, les usagers préférant sans doute s'arrêter à l'air libre plutôt qu'en tunnel.

8.1.2 - Comparaison avec l'étranger

La comparaison avec les quelques chiffres qui nous viennent de l'étranger montre que pour chaque catégorie d'ouvrages, les taux de pannes en France et à l'étranger sont dans l'ensemble du même ordre de grandeur.

Quelques tunnels étrangers ont cependant des taux de pannes records : le taux du tunnel Holland aux Etats-Unis (taux de 4150) est près de 3 fois supérieur au taux maximum constaté en France dans le tunnel du Vieux-Port (taux = 1444).

8.1.3 - Influence des déclivités

Les différences de taux de pannes entre ouvrages d'une même catégorie peuvent s'expliquer en partie par les différences de déclivité. En effet, le taux de pannes est fortement influencé par les déclivités, il a tendance à croître nettement lorsque le pourcentage de la rampe croît, et cette influence se fait sentir aussi bien sur les taux de pannes des VL que sur les taux de pannes des PL.

Lors de la conception de futurs ouvrages importants, il sera indispensable de prendre en compte une telle constatation. En particulier, lorsque les pourcentages des rampes ne pourront pas être limités, il conviendra de prévoir d'une part, les aménagements nécessaires pour faciliter l'arrêt des véhicules en tunnel en toute sécurité, et d'autre part des systèmes permettant de détecter rapidement un véhicule en panne.

Outre la déclivité en tunnel, il conviendra d'intégrer également l'historique du trajet. Des tunnels à déclivité faible ou moyenne qui prolongent un trajet à rampe forte ont des taux plus forts qu'en l'absence d'une rampe préalable.

8.1.4 - Evolution dans le temps des pannes

Globalement, les taux de pannes ont tendance à diminuer au cours du temps, ce qui va certainement de pair avec l'amélioration technique des véhicules. Cependant on constate, dans la plupart des ouvrages, après une diminution antérieure, une stagnation des taux au cours des trois ou quatre dernières années de l'étude. Les projeteurs d'ouvrages nouveaux ne doivent donc pas prendre prétexte d'une meilleure fiabilité des véhicules pour mésestimer les problèmes liés à l'arrêt des véhicules en panne en tunnel.

8.1.5 - Causes des pannes

Les causes principales des pannes en tunnel sont la défaillance moteur (33 %), le manque de carburant (21 %) et le circuit électrique (18 %).

Il convient également de noter que l'automobiliste s'arrête parfois à titre de prévention. Cette remarque est vraie pour toutes les catégories de tunnels puisque c'est notamment le cas pour 20 % des pannes répertoriées dans le tunnel de l'Epine. Compte tenu de la longueur importante du tunnel qu'ils vont emprunter, les usagers hésitent à le traverser en cas de signe de défaillance de leur véhicule. Par ailleurs, l'étude particulière du tunnel de Fourvière fait apparaître que les zones d'entrée-sortie sont des lieux privilégiés d'arrêt.

Ces constatations nous amènent aux remarques suivantes :

- L'arrêt des véhicules en panne doit être facilité aux abords des têtes de tunnel. On notera l'intérêt non négligeable des plates-formes en tête d'ouvrage comme c'est notamment le cas pour le tunnel sous le Mont-Blanc : 128 pannes relevées en plate-forme à comparer aux 443 en tunnel soit 30 % environ.

- Il apparaît qu'un certain nombre de pannes (manque de carburant, crevaison, arrêt à titre de prévention) peut être résolu très rapidement sur place dès lors que l'exploitant peut mettre rapidement à la disposition des usagers un service de dépannage.

8.1.6 - Distribution horaire des pannes

La distribution horaire des pannes reflète assez fidèlement la distribution horaire du trafic. Le nombre maximum de pannes est constaté pendant les périodes de pointes de trafic. Les pannes se produisent donc majoritairement lorsque le trafic est élevé. Elles provoquent une restriction de la circulation qui peut conduire rapidement à une congestion ayant pour conséquences des bouchons. Il convient donc d'en tenir compte aussi bien sur le plan du dimensionnement géométrique du profil en travers des ouvrages que sur le plan du dimensionnement des installations de ventilation.

Pour les tunnels à trafic moyen et élevé où il est très difficile de dépasser un véhicule en panne compte tenu de la présence sur l'autre voie de véhicules circulant dans le même sens ou en sens opposé, le concepteur devra s'efforcer de proscrire les profils en travers trop étroits. En effet, pour éviter au mieux les risques de congestion, il est nécessaire de pouvoir toujours conserver le même nombre de voies de circulation à vitesse pratiquement normale. Ce problème ne peut être résolu que par un élargissement de la chaussée avec une bande d'arrêt d'urgence ou par l'emploi de trottoirs franchissables.

8.1.7 - Durée des pannes

La durée moyenne d'une panne est loin d'être négligeable : de 30 à 53 minutes pour tous les véhicules dans les seuls trois ouvrages sur autoroutes de liaison (Epine, Dullin et Chamoise) où nous disposons de l'information, et de 20 à 40 mn dans les tunnels du Fréjus et du Mont-Blanc. Cette durée dépend de l'organisation générale du dépannage.

Il convient donc de mettre en oeuvre des équipements afin d'avertir l'utilisateur et ensuite de canaliser et de gérer les flots de circulation, particulièrement lorsqu'il s'agit d'un tunnel à trafic bidirectionnel où il est difficile de dépasser un véhicule en panne, compte tenu de la présence de véhicules en sens inverse.

Les mesures d'exploitation particulières qu'il semble nécessaire de mettre en place en fonction des caractéristiques de l'ouvrage sont :

- modification de la signalisation verticale : feux d'affectation de voies à l'orange, vitesse abaissée,
- envoi d'un véhicule d'intervention en protection derrière le véhicule en panne,
- balisage si nécessaire pour renforcer la protection des opérations d'intervention : flèche lumineuse de rabattement,
- si empiètement sur les voies de circulation, intervention des forces de police,
- les premiers intervenants doivent être équipés de moyens de traction pour garer les véhicules en difficulté (garage ou tête de sortie du tunnel) si nécessaire.

8.1.8 - Moyen de détection des pannes

Les moyens de détection des pannes sont principalement le R.A.U (Réseau d'appel d'urgence), les agents d'exploitation en tunnel et le réseau de télévision en circuit fermé. On notera d'une part l'importance du R.A.U. et d'autre part le rôle efficace des patrouilles de sécurité qui circulent à l'intérieur de certains tunnels.

La part de la télévision est faible, car dans les PC modernes, les agents de permanence qui ont d'autres tâches à effectuer, ne fixent pas constamment les écrans, d'autant que généralement les images sont cycliques. La télévision n'a maintenant le plus souvent qu'un rôle de contrôle et de prise de décisions après que l'alerte a été effectuée par l'utilisateur au moyen du téléphone d'appel d'urgence. Cette situation pourrait se modifier si les systèmes de détection automatique d'incidents par analyse d'image vidéo se généralisent.

8.1.9 - Utilisation des garages

En ce qui concerne l'utilisation des garages, notre enquête est assez sommaire puisqu'elle ne porte que sur le tunnel du Fréjus et sur le tunnel de Chamoise qui, dans sa phase provisoire d'exploitation bidirectionnelle, n'avait des garages que dans un seul sens de circulation.

Dans ce dernier tunnel, les usagers en panne doivent donc couper la voie de circulation en sens opposé pour aller se garer (environ 5 % d'utilisation). Dans le sens de circulation où l'on trouve des garages le taux d'utilisation de 20 % est le même que celui du Fréjus.

Ce taux de fréquentation peut sembler assez faible, mais il s'explique sans doute par un manque d'information des conducteurs. Cette remarque se justifie par le fait que dans le tunnel du Fréjus, le taux d'utilisation des garages par les poids lourds, certainement plus habitués au tunnel, atteint plus de 30 %.

Le taux d'utilisation des garages pourrait être notablement amélioré par une meilleure signalisation telle que :

- panneaux indiquant de proche en proche à quelle distance l'utilisateur se trouve du garage,
- modification de l'éclairage au droit des garages permettant de les faire ressortir visuellement de la zone courante du tunnel et de mieux les distinguer.

L'interdistance entre les garages ne doit bien entendu pas être trop importante, mais il conviendrait également de mieux les répartir sur le profil en long du tunnel. En effet, nous avons constaté que les taux de pannes étaient fortement influencés par les déclivités, et il serait bon de tenir compte de cette constatation lors de l'implantation des garages.

8.2 - Accidents

Plus que pour les pannes, la période d'analyse et le nombre d'événements conditionnent fortement la validité des taux enregistrés. Un accident en plus ou en moins modifie souvent complètement ces taux, ils ne sont alors pas significatifs.

A ce titre, les chiffres proposés doivent être regardés avec beaucoup de circonspection. Plus particulièrement, les valeurs avancées pour les tunnels interurbains à trafic bidirectionnel ne sont données que pour information et ne doivent pas être considérées comme caractéristiques de la catégorie d'ouvrages.

8.2.1 - Commentaires sur les taux d'accidents et leur gravité

Les tunnels urbains et périurbains sont dans l'ensemble les plus accidentogènes, viennent ensuite les tunnels sur autoroutes de liaison puis les grands tunnels à trafic bidirectionnel.

Le trafic élevé que l'on rencontre dans les tunnels urbains, et qui augmente le risque de collision en chaîne, en est une raison. Dans cette catégorie d'ouvrage, le nombre moyen de véhicules impliqués dans un accident est de 2,5, alors qu'il n'est que de 1,7 sur autoroutes de liaison et de 1,4 dans les grands tunnels à trafic bidirectionnel.

Pour ce qui concerne la gravité des accidents, si l'on écarte les tunnels interurbains à trafic bidirectionnel dont l'indice de gravité (79) n'est pas significatif car calculé sur seulement 14 accidents, ce sont les tunnels sur autoroutes de liaison qui arrivent en tête avec un indice de gravité de 46. Viennent ensuite les grands tunnels à trafic bidirectionnel (indice de gravité = 28), puis les tunnels urbains et périurbains (indice de gravité = 15). Ces différences d'indice de gravité s'expliquent sans doute par les différences de vitesses pratiquées par les usagers dans chaque type de tunnel. Nous rappelons que pour la France entière, en 1993, cet indice de gravité était de 41.

8.2.2 - Comparaison avec l'air libre

Il n'existe pas de statistiques nationales pour ce qui concerne l'ensemble des accidents matériels et corporels. La seule comparaison possible est entre le taux national d'accidents corporels sur autoroute concédée, qui était de 5,4 en 1992 et de 4,7 en 1993, et nos constatations dans les tunnels sur autoroute liaison.

Le taux de 7 constaté dans l'ensemble des tunnels sur autoroutes de liaison objets de l'étude (sans Las Planas) ainsi que le taux de 6 obtenu sur la portion d'autoroute à l'air libre sur A8 comprise entre l'échangeur de Nice Saint Isidore et la frontière italienne apparaissent plus élevés que le taux national.

Le taux de blessés (légers + graves) en tunnel (taux = 10) sur autoroutes de liaison, sans Las Planas est plus élevé que le taux national sur autoroute concédée en 1993 (taux = 8). Les accidents corporels sont plus nombreux dans les tunnels étudiés que sur l'ensemble du réseau autoroutier concédé et que sur la portion d'itinéraire à l'air libre de l'A8 sur le district de Nice (taux = 9), et ils y sont en outre plus graves.

Ces comparaisons doivent cependant être prises avec beaucoup de précautions. La section d'autoroute A8 entre Saint Isidore et la frontière italienne sur laquelle est basée une grande partie de

notre étude, aussi bien en ce qui concerne l'air libre que les tunnels (les tunnels sur A8 représentent 50 % des véh.km de l'ensemble des tunnels sur autoroutes de liaison étudiés), est un itinéraire très particulier qui ne reflète pas l'ensemble du réseau autoroutier concédé français. En effet, cet itinéraire est très sinueux, enchaînant des courbes en pente sous circulation de type urbaine, sur des chaussées passant de deux à trois voies et dont certaines sorties et entrées d'échangeurs sont très proches (trop proches ?) des tunnels.

8.2.3 - Comparaison avec l'étranger

La comparaison avec les rares chiffres qui nous viennent de l'étranger doit être faite avec beaucoup de réserves car nous ne savons pas si les taux fournis sont significatifs.

On retiendra simplement que les taux d'accidents matériels et des taux d'accidents corporels sont dans l'ensemble du même ordre de grandeur en France et à l'étranger pour les tunnels sur autoroutes de liaison et pour les tunnels urbains.

Par contre, les deux grands tunnels à trafic bidirectionnel étudiés, Mont-Blanc et Fréjus, apparaissent bien moins accidentogènes (taux d'accidents matériels : 15 à 40 pour 10^8 véh.km et taux d'accidents corporels : 7 à 9 pour 10^8 véh.km) que la plupart des tunnels de la même catégorie situés à l'étranger (taux d'accidents matériels : 0 à 190 pour 10^8 véh.km et taux d'accidents corporels : 0 à 190 pour 10^8 véh.km).

8.2.4 - Influence de la géométrie du tunnel

Comme pour les pannes, les taux d'accidents (matériels+corporels, matériels, corporels) sont très hétérogènes pour une même catégorie d'ouvrage.

Dans les tunnels dimensionnés normalement avec de bonnes caractéristiques géométriques, les taux d'accidents sont faibles. En prenant à titre d'exemple les tunnels urbains, on remarque que le tunnel de Fourvière a un taux d'accidents matériels et corporels (taux = 28) 4 à 5 fois plus faible que les autres ouvrages de la catégorie (même en ne prenant pas en compte le tunnel sous le Vieux-Port qui a un taux de 558).

L'étroitesse des voies de circulation conduit à un nombre d'accidents plus élevés, c'est notamment le cas du tunnel de la Croix-Rousse, qui hormis sa bidirectionnalité n'a aucune autre singularité géométrique. L'absence de (ou le faible) dégagement latéral par rapport aux piédroits, des conditions d'éclairage différentes de celles à l'air libre, donc une moins bonne appréhension des distances par l'utilisateur, conjuguées avec des voies de circulation de 2,80 m de large sont sans conteste un facteur de risque d'accidents que le concepteur de tunnel devra s'efforcer d'éviter.

8.2.5 - Influence des singularités de l'itinéraire

Toute singularité sur un itinéraire peut être une source d'accident, à plus forte raison dans un tunnel. Le tunnel en lui-même n'est pas un facteur accidentogène, mais il est générateur de sur-accidents du fait qu'il empêche l'utilisateur circulant en amont de voir loin devant lui pour adapter sa conduite aux chutes de vitesses, et autres événements à risque.

Dès lors qu'un tunnel présente un faible rayon de courbure associé à une forte descente, tel le Mont-Blanc au niveau de la tête française (200 m de rayon après une descente de 2,4 %) ou le tunnel de Las Planas (rayon de 300 m dans une descente de 6 %), on constate un surcroît d'accidents. Les rayons de courbure faibles doivent donc être évités surtout après une longue descente rectiligne, et les dégagements latéraux doivent permettre une bonne visibilité longitudinale en courbe.

8.2.6 - Influence du profil en long du tunnel

Les profils en long en descente, de par leur influence sur la vitesse des véhicules, sont plus accidentogènes. Lorsqu'un tel profil est associé à une chaussée glissante, comme c'est le cas dans le tunnel du Vieux-Port, ou à une courbe serrée comme dans le tunnel de Las Planas, on obtient des taux d'accidents records.

Les modifications qui peuvent être faites après la mise en service de l'ouvrage sont souvent très onéreuses et n'apportent généralement que des améliorations limitées. La réfection des chaussées et le réaménagement des carrefours situés aux têtes du tunnel du Vieux-Port pour limiter la vitesse des véhicules ont permis de ramener le taux d'accident en 1994 à 321 pour 10^8 véh.km, ce qui reste une valeur encore très élevée. C'est donc dès le projet que ces problèmes doivent être pris en compte. Une fois construit, un tunnel dangereux ne peut que très difficilement être amélioré sur le plan de la sécurité, et généralement pour des coûts très élevés.

8.2.7 - Influence de la bidirectionnalité du trafic

La bidirectionnalité du trafic n'est pas une source très importante des accidents en tunnel (13 % des accidents dans le Mont-Blanc) mais elle peut être une circonstance aggravante dès lors que les véhicules en cause viennent heurter les véhicules circulant dans le sens opposé.

Une amélioration de la sécurité peut être obtenue en séparant très nettement les deux courants de circulation par la mise en place d'un muret lorsque la place le permet ou en matérialisant au sol deux lignes continues espacées d'au moins 0,50 m.

8.2.8 - Distribution horaire des accidents

La distribution horaire des accidents montre que les taux d'accidents matériels et corporels sont les plus élevés au moment des heures creuses et en particulier la nuit. Les risques d'accidents sont plus élevés dans ces périodes où le faible débit véhiculaire conduit à des vitesses pratiquées beaucoup plus élevées (non respect des limites de vitesse) que dans les périodes de fort trafic.

8.2.9 - Obstacles sur la chaussée

Nous avons vu qu'en tunnel la visibilité longitudinale était souvent réduite à cause de rayons de courbure trop faibles et de dégagements latéraux insuffisants. Si l'on associe à cela une vitesse des véhicules souvent excessive (compte tenu de la distance de visibilité), l'accident devient inévitable dès lors qu'un obstacle se présente sur la chaussée.

L'obstacle sur la chaussée peut être, bien sûr, toutes sortes d'objets tombés de véhicules, mais il arrive aussi qu'il s'agisse d'équipements du tunnel arrachés par des véhicules hors gabarit. Une

surveillance et un entretien permanent de l'ouvrage sont les seuls moyens pour éviter de tels accidents.

L'obstacle sur la chaussée peut aussi être un autre véhicule, soit en panne, soit déjà victime d'un accident, soit tout simplement bloqué par un bouchon de circulation. Au stade du projet du tunnel, il convient donc, dans toute la mesure du possible, de proscrire tout ce qui est susceptible de provoquer un arrêt des véhicules en tunnel. Une réduction du nombre de voies de circulation, une bretelle d'accès ou de sortie, qu'elle soit située à l'intérieur du tunnel ou à proximité immédiate des têtes, peut soit créer un ralentissement de la circulation et un bouchon qui remonte à l'intérieur du tunnel, soit conduire à des freinages brutaux suite à des changements de direction intempestifs de véhicules. C'est notamment le cas du tunnel de Las Planas, où un échangeur trop proche de la sortie du tunnel entraîne des ralentissements de circulation qui se propagent à l'intérieur de l'ouvrage, et sont une cause très importante d'accidents.

Un autre type d'obstacle que l'utilisateur rencontre en tunnel est le chantier nécessaire à l'entretien du tunnel, tant sur le plan du génie civil que sur celui des équipements. Ces chantiers sont la cause d'un certain nombre d'accidents (environ 4 % pour le tunnel du Fréjus et de l'ordre de 20 % pour le tunnel de la Croix-Rousse).

Dans ce cas, comme pour le cas de véhicules en panne ou déjà accidentés, nous ne saurions trop conseiller, au niveau des équipements d'exploitation et de sécurité, de mettre en oeuvre les moyens nécessaires à une bonne information des usagers et à une bonne régulation des différents courants de circulation.

Ce problème est important et conditionne une bonne sécurité tant pour les usagers que pour le personnel d'entretien ou de dépannage appelé à intervenir. Il faut souligner le fait que sur les trois morts recensés dans le tunnel du Mont-Blanc, deux faisaient partie du personnel de la société.

8.2.10 - Hors gabarit

Les seuls accidents que l'on pourrait qualifier de propres aux tunnels sont les accidents dus aux hors gabarit. Dans certains tunnels, ils sont pratiquement inexistantes (Croix-Rousse, gabarit 4,3 m mais urbain, 3 % des accidents - Fourvière, gabarit 4,75 m, 1,5 % des accidents), dans d'autres, ils sont très nombreux (Fréjus 49 % des accidents).

Dans le tunnel du Fréjus, le gabarit est limité à 4,50 m et malgré cette relative hauteur, on constate beaucoup d'accrochages avec les appareils d'éclairage et le chemin de câble situés latéralement par rapport à l'espace réservé à la circulation. Ces accidents sont dus au fait qu'il n'y a pas de revanche latérale entre l'aplomb des trottoirs et celui des équipements. Il s'agit, bien entendu, d'un problème de dimensionnement géométrique.

Il faut noter une confusion dans l'esprit de certains concepteurs entre valeur de gabarit indiquée sur le panneau de signalisation et la hauteur disponible géométriquement. Il convient, en effet de tenir compte d'une revanche de signalisation d'un minimum de 0,20 m à 0,30 m permettant des écarts entre hauteur à l'arrêt et hauteur en mouvement des véhicules, et d'une revanche de protection servant à préserver la pérennité d'équipements fragiles surplombant la chaussée.

En cas de gabarit limité, il est conseillé de mettre à l'extérieur, avant l'entrée en ouvrage, un système afin d'arrêter les hors gabarits plutôt que de voir appareils d'éclairage, chemin de câbles et câbles arrachés par les véhicules trop hauts.

8.3 - Incendies

Une première remarque est que les 60 incendies recensés en tunnel dans notre étude se sont tous produits spontanément, indépendamment de tout accident. Il est toutefois clair que des incendies peuvent aussi se déclarer à la suite d'un accident, mais ce cas est visiblement moins fréquent.

Le taux d'incendie de l'ordre de $1,7$ pour 10^8 véh.km obtenu pour les véhicules légers semble assez bien étayé. En revanche celui de 7 annoncé pour les poids lourds semble recouvrir deux cas bien différents : les tunnels alpins du Mont-Blanc et du Fréjus, situés à 1200 m d'altitude après de longues montées, où le taux est de 13 , et les autres tunnels où il semble plutôt de l'ordre de 4 .

L'analyse des incendies de poids lourds recensés dans les tunnels objets de l'étude montre qu'il n'y a que 4 incendies importants sur les 31 événements observés. On en déduit donc qu'un incendie de poids lourds sur 8 environ peut conduire à un incendie important. Il ne s'agit d'ailleurs pas d'événements catastrophiques, les dégâts au tunnel ayant été limités, ainsi que les atteintes aux personnes. Le taux calculé à partir de ces données est de 1 incendie important pour 10^8 véh.km, chiffre vraisemblablement surévalué du fait de la non prise en compte de tous les tunnels français.

Le recensement des incendies graves en tunnel au niveau international depuis 1949 ne fait apparaître qu'une quinzaine de sinistres très graves, ayant entraîné au total une trentaine de morts (pour beaucoup décédés dans l'accident ayant précédé l'incendie) et moins d'une centaine de blessés.

Pour essayer d'estimer les ordres de grandeur des taux d'incendies importants ou impliquant des transports de marchandises dangereuses, des données collectées à l'air libre en France par le BARPI et le CEPN ont été utilisées, avec l'hypothèse que les taux étaient voisins en tunnel et à l'air libre. Bien que les approches ainsi menées ne soient guère rigoureuses, un certain nombre de recoupement confirme les ordres de grandeur.

Pour les poids lourds ne transportant pas de matières dangereuses, les données du CEPN conduisent à des taux encadrant la valeur de 1.10^{-8} pour les incendies impliquant la totalité du chargement, ce qui est cohérent avec la valeur obtenue dans notre étude pour les incendies qualifiés d'importants.

L'ordre de grandeur de 2.10^{-8} pour les incendies de toute nature sur les transports de matières dangereuses n'est qu'une construction théorique à partir des chiffres du CEPN et de notre étude. En revanche, pour les incendies impliquant la totalité d'un chargement de matières dangereuses, les chiffres du CEPN conduisent à des taux qui encadrent l'ordre de grandeur de $0,4.10^{-8}$ obtenu à partir du recensement du BARPI.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Dossier pilote des tunnels - document n° 2 - géométrie
CETU - Décembre 1990

- 2 - Sécurité Routière - Tunnel de Fourvière
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Mai 1992

- 3 - Sécurité Routière - Tunnel de la Croix-Rousse
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Juin 1992

- 4 - Sécurité Routière - Tunnel Alpin du Fréjus
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Novembre 1992

- 5 - Analyse des accidents et évaluation des risques associés au transport des matières dangereuses
par poids lourds.
F. RANCILLAC, P. PAGES CEPN - Février 1993

- 6 - Sécurité Routière - Tunnel de Dullin
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Juillet 1993

- 7 - Sécurité Routière - Tunnel de l'Epine
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Octobre 1993

- 8 - Accidentologie et conception des tunnels routiers
D. LACROIX CETU
Journées d'études des 15 et 16 Novembre 1993
"La Sécurité dans les tunnels routiers et ferroviaires : un domaine en pleine évolution".

- 9 - Sécurité routière - Bilan annuel - Statistiques et commentaires
Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière - Année 1993

- 10 - Sécurité Routière - Tunnel sous le Mont-Blanc
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Janvier 1994

- 11 - Sécurité Routière - Tunnel de Vuache
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Février 1994

- 12 - Sécurité Routière - Tunnels de St Germain de Joux et de Châtillon
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Février 1994

- 13 - Sécurité Routière - Tunnel de Chamoise
J.P. VINOT, M. GUERIN CETU - Avril 1994

- 14 - Données sur les incendies importants de poids lourds dans les tunnels routiers
S. LINGELSER CETU - Septembre 1995

- 15 - Sécurité Routière - Autoroute A8 - Liaison Saint Isidore - Frontière italienne
S. LINGELSER CETU - Octobre 1995

16 - Sécurité Routière dans les tunnels

Comité AIPCR des Tunnels routiers 1995

17 - Sécurité Routière - Tunnel du Vieux-Port

S. LINGELSER, M. GUERIN CETU - Avril 1996

18 - Statistics on breakdowns, accidents and fires in French road tunnels

M. PERARD CETU

International Conference on Tunnel Incident Management

KORSOR (Danemark) - 13 au 15 mai 1996

19 - Research advancement in France on road tunnels safety

D. LACROIX CETU

Conference on Protection from fire in rail and road tunnels

ROME - 20 au 21 juin 1996

20 - Sécurité Routière - Tunnels de la rive gauche du Paillon et André Malraux

S. LINGELSER, M. GUERIN CETU - Juin 1996

21 - Ministère de l'Environnement DPPR / SEI / BARPI

Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques

Service de l'Environnement industriel

Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles