

Z.1. Aug 105

R.D. 635/2006
Resuscitation ~~...~~
September

Cross Section Review
PLATE WG4 2003

Directive 2004/54/CE
Reg. ~~...~~ ~~...~~

CETU. Dossier pilote
des tunnels /990

	Precio total de venta al público — Euros/unidad
King Edward:	
Imperial	0,73
Invincible	0,87
Specials	0,55
Tip	0,59

C) *Picadura de liar*

Benson & Hedges Hand Rolling Tobacco (50 g)	3,80
Elixyr Finecut American Blend (200 G)	8,00

D) *Picadura para pipa*

Mac Baren Aromatic Choice (40 g)	3,70
Mac Baren Cherry Ambrosia (100 g)	7,20
Mac Baren Cherry Ambrosia (50 g)	3,40
Mac Baren Cherry Choice (40 g)	3,60
Mac Baren Gold Denmark (50 g)	3,40
Mac Baren Golden Ambrosia (50 g)	3,40
Mac Baren Mixture (50 g)	3,40
Mac Baren Mixture Aromatic (50 g)	3,40
Mac Baren Mixture Modern (50 g)	3,40
Mac Baren Original Choice (40 g)	3,70

Segundo.—La presente Resolución entrará en vigor el mismo día de su publicación en el Boletín Oficial del Estado

Madrid 25 de mayo de 2006.—El Presidente del Comisionado, Felipe Sivit Gañán.

MINISTERIO DE FOMENTO

9296 REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

El desarrollo de las infraestructuras de transporte experimentado por nuestro país en los últimos años, motivado y acompañado a su vez por el incesante crecimiento de la demanda, no puede verse limitado solamente al incremento en la extensión de la red de carreteras, sino que también ha de fomentar la mejora de sus características de diseño y construcción que permita una explotación mas eficiente de aquéllas.

La seguridad constituye uno de los objetivos más importantes hacia los que debe enfocarse prioritariamente la acción de gobierno en materia de infraestructuras y transportes, siempre en estrecha colaboración con las iniciativas de todos los agentes sociales implicados. La negativa repercusión que los accidentes tienen en la vida social constituye una grave preocupación por sus consecuencias humanas, sociales y económicas, que es preciso reducir utilizando todos los medios posibles, uno de los cuales es precisamente la mejora de

las características de diseño y construcción de las infraestructuras.

Los túneles de carretera son elementos que por sus singulares características dentro de la red viaria merecen una atención especial. No es porque en ellos se produzcan más accidentes que en otros puntos del trazado de las carreteras, sino porque cualquier incidencia grave que les afecte puede provocar alarma social, dadas las circunstancias concurrentes y específicas del lugar en que se produce, las dificultades de rescate o evacuación, el dramatismo provocado por el confinamiento o el trastorno que para el sistema de transportes puede suponer el cierre temporal de un tramo viario, en ocasiones con alternativas difíciles o inexistentes.

Es por ello por lo que el Gobierno de la Nación viene prestando especial interés a la seguridad en los túneles de carreteras, que son importantes en número y longitud, dadas las condiciones orográficas de nuestro país. Fruto de ese interés son las numerosas actuaciones que se han venido desarrollando en los últimos años en orden al acondicionamiento de túneles existentes, reforzando sus equipamientos de seguridad, así como al de los nuevos túneles, extremando sus condiciones de diseño para hacerlos más seguros para el usuario.

Paralelamente, las instituciones europeas, estimuladas por accidentes muy graves que tuvieron lugar años pasados en diversos túneles del continente, decidieron la adopción de medidas tendentes al establecimiento de requisitos que garantizaran adecuadas condiciones de seguridad en los túneles de la red transeuropea de carreteras.

Fruto de esa iniciativa ha sido la aprobación de la Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras, una parte de cuyo itinerario se encuentra situada en nuestro país.

La transposición al ordenamiento jurídico español de la citada norma europea, así como la propia decisión del Gobierno de la Nación de mejorar las condiciones de seguridad en la red viaria y más en particular en los túneles, han determinado la conveniencia de regular jurídicamente las condiciones de diseño y explotación de los túneles de las carreteras del Estado.

En esta norma, que afecta no sólo a los túneles incluidos dentro de la red transeuropea sino a todos los túneles de la red estatal, se regulan las distintas figuras a las que compete la responsabilidad de la seguridad de los túneles. Autoridad administrativa, gestor del túnel y responsable de seguridad constituyen la estructura organizativa del sistema de seguridad, cada uno con una definición clara de responsabilidades, que se extienden a las distintas fases de proyecto, construcción y explotación de túneles.

La puesta en servicio de túneles o su reapertura se someten a un procedimiento reglado, en el que la intervención del responsable de seguridad garantiza en todo momento una atención prioritaria al cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en la normativa.

La inspección periódica de los túneles se establece obligatoriamente, con objeto de asegurar en todo momento el mantenimiento de las condiciones de seguridad, así como la adopción en su caso de las medidas que permitan mejorar dicha seguridad.

La norma regula asimismo la adaptación de los túneles existentes a las condiciones y requisitos mínimos que se establecen con detalle, incluso en aquellos casos en los que puedan autorizarse excepciones debidamente justificadas mediante los pertinentes análisis de riesgo.

Se define asimismo el sistema de información sobre incidentes que habrá de establecerse para ampliar el conocimiento sobre el funcionamiento de este tipo de estructu-

ras singulares y hacer posible la adopción de medidas que mejoren sus condiciones de seguridad.

También se establece un calendario temporal al que deberán ajustarse las distintas actuaciones resultantes de la aplicación de la norma

El real decreto incluye tres anejos. En el primero de ellos se detallan todas las instalaciones de las que deben dotarse los túneles así como las medidas de diseño que deben adoptarse en función de diversos parámetros, fundamentalmente la longitud y el volumen de tráfico, estableciéndose al respecto una graduación de los requisitos en atención a las condiciones concurrentes en cada caso. También se regulan las medidas a adoptar durante la explotación del túnel.

El anexo II recoge la documentación de seguridad que debe reunirse de forma sistemática en dichas medidas y la actuación en caso de emergencia, la realización de simulacros periódicos y los procedimientos a seguir para la apertura y reapertura, en su caso, de túneles de carreteras.

Finalmente el anexo III contiene las peculiaridades de la señalización en túneles, que permitan facilitar a los usuarios su utilización en condiciones adecuadas de seguridad

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1 24.ª de la Constitución que atribuye al Estado la competencia sobre las obras públicas de interés general y se enmarca dentro de las potestades reglamentarias atribuidas al Gobierno por la disposición adicional segunda y la disposición final de la Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras. Su propósito es regular el diseño, construcción y explotación de los túneles de la red de carreteras del Estado, pero no la aprobación de nuevas normas de tráfico y circulación de vehículos a motor

En su virtud, a propuesta de la Ministra de Fomento, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 26 de mayo de 2006,

DISPONGO:

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

Artículo 1. Objeto y finalidad.

Este real decreto tiene por objeto garantizar un nivel suficiente de seguridad a los usuarios en los túneles de la red de carreteras del Estado mediante el establecimiento de los requisitos mínimos que habrán de cumplir dichas infraestructuras, con la finalidad de prevenir situaciones críticas que puedan poner en peligro la vida humana, el medio ambiente y las propias infraestructuras, así como proteger a los usuarios en caso de que se produzcan algunas de las citadas situaciones

Artículo 2. Ámbito de aplicación

Lo establecido en este real decreto será aplicable a todos los túneles de la red de carreteras del Estado, tanto si están en servicio como si se encuentran en fase de construcción o de proyecto.

En el caso de túneles transfronterizos, y sin perjuicio del cumplimiento de lo establecido en la Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras, y en este real decreto, las instalaciones y el régimen de explotación se ajustarán a lo que se decida al efecto por la

Comisión técnica mixta internacional que al efecto se designe.

Artículo 3. Definiciones

A efectos de este real decreto, se entenderá por:

a) Red transeuropea de carreteras: la red de carreteras incluida en la Decisión n.º 1692/96/CE de la Unión Europea.

b) Servicios de emergencia: todos los servicios públicos o privados, que intervienen en caso de accidente, incluyendo a los servicios de policía, bomberos y equipos de rescate. Tendrán carácter interno cuando dependan del titular de la carretera, y externo en los demás casos.

c) Longitud del túnel: la longitud del carril más largo de circulación, medido en la parte totalmente cubierta del túnel.

d) Volumen de tráfico: el número de vehículos que circulan por carril y día. Se calculará como la IMD de cada tubo dividida por su número de carriles.

e) Modificación de un túnel: cualquier modificación sustancial de la estructura, del equipo o de la explotación que pueda suponer una alteración significativa de algún elemento contemplado en el manual de explotación recogido en el apartado 2 del anexo II.

f) Manual de explotación: Documento en el que quedarán reflejadas de forma detallada todas las instalaciones del túnel que permiten una explotación de aquel en adecuadas condiciones de seguridad y eficiencia, incluyendo las tareas, tanto permanentes como periódicas y ocasionales, de mantenimiento y control de la instalación, estructura organizativa, gestión de incidencias, etc. El manual deberá redactarse durante la fase de proyecto, sin perjuicio de su actualización y ampliación en las fases posteriores de construcción y explotación del túnel.

g) Túnel urbano: aquel que está situado en un entorno urbano, en el que la mayoría de su tráfico es de agitación urbana y que el factor de hora punta sea mayor de 0,80

Artículo 4. Medidas de seguridad

1. El Ministerio de Fomento adoptará las medidas necesarias para garantizar que los túneles de su competencia incluidos en el ámbito de aplicación de esta disposición cumplan los requisitos mínimos de seguridad establecidos en el anexo I.

2. En los casos en que determinados requisitos estructurales de los establecidos en el anexo I sólo puedan satisfacerse recurriendo a soluciones técnicas de imposible ejecución en la práctica o que tengan un coste desproporcionado, la autoridad administrativa a que se refiere el artículo 5 podrá aceptar que se apliquen como alternativas otras medidas de reducción del riesgo, siempre y cuando estas medidas den lugar a una protección equivalente o mayor. La eficacia de dichas medidas deberá demostrarse mediante un análisis de riesgo, de acuerdo con lo dispuesto en el capítulo IV.

El Ministerio de Fomento, a través del cauce pertinente, informará a la Comisión Europea de las medidas alternativas de reducción del riesgo aceptadas y de su correspondiente justificación, para aquellos túneles incluidos en el ámbito de la Directiva 2004/54/CE.

Lo dispuesto en este apartado sólo será aplicable a los túneles cuya construcción se inicie con posterioridad a la entrada en vigor de este real decreto.

CAPÍTULO II

Determinación de responsabilidades

Artículo 5. *Autoridad administrativa.*

1. En los túneles de la red de carreteras del Estado, la autoridad administrativa será la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Planificación del Ministerio de Fomento, que deberá garantizar la observancia de todas las cuestiones relacionadas con la seguridad de los usuarios en los túneles y adoptar las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de este real decreto.

2. Para ello garantizará que se realicen bajo su dependencia las siguientes tareas:

- a) Autorizar la apertura de los túneles según se indica en el anexo II.
- b) Comprobar e inspeccionar los túneles con regularidad y determinar los requisitos de seguridad pertinentes.
- c) Establecer los planes de organización y de funcionamiento, incluidos los planes de respuesta a situaciones de emergencia interior, para la formación y el equipamiento de los servicios de explotación del túnel y, cuando proceda, actuar en coordinación con las autoridades encargadas de los servicios exteriores de emergencia.
- d) Determinar, en el ámbito de sus competencias en materia de carreteras, el procedimiento de cierre inmediato del túnel en caso de emergencia.
- e) Poner en práctica las medidas de reducción del riesgo que resulten necesarias.
- f) Determinar los organismos de inspección referidos en el artículo 8.
- g) Suspender o restringir el funcionamiento de un túnel si no cumple los requisitos de seguridad y especificar las condiciones necesarias para mantener la circulación normal en coordinación con la autoridad competente en materia de tráfico y, en su caso, con otras Administraciones y organismos con competencias concurrentes en la materia.

Artículo 6. *Gestor del túnel.*

1. En los túneles de la red de carreteras del Estado, el gestor será la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

2. Durante la fase de explotación, la Dirección General de Carreteras podrá designar a una empresa explotadora como gestor de cada túnel de la red de carreteras del Estado de acuerdo con las normas reguladoras de la contratación pública. La empresa explotadora asumirá las siguientes funciones: ejecutar las operaciones necesarias para el correcto funcionamiento del túnel y de sus instalaciones, asumir la responsabilidad sobre su ellas y proponer a la Dirección General de Carreteras la designación de un director de explotación, bajo cuya dirección se llevarán a cabo las anteriores actividades.

Cuando el túnel forme parte de una carretera en régimen de concesión la empresa explotadora será la sociedad concesionaria.

3. El gestor del túnel deberá mantener actualizado el correspondiente manual de explotación. Este documento servirá de guía para las tareas de explotación del túnel, y recogerá la descripción de la infraestructura e instalaciones, su operación y mantenimiento, incluyendo la documentación relativa a seguridad, y será de obligado cumplimiento.

4. Cualquier incidente o accidente significativo que ocurra en un túnel será objeto de un informe de incidencias elaborado por el gestor del túnel a partir de la información aportada por la empresa explotadora. Dicho informe se transmitirá al responsable de seguridad mencionado en

el artículo 7, a la autoridad administrativa, y a los servicios de emergencia, en el plazo máximo de un mes.

5. Cuando se redacten informes de investigación en los que se analicen las circunstancias de determinados incidentes o accidentes, o las conclusiones que se puedan extraer de los mismos, el gestor del túnel transmitirá dicha documentación al responsable de seguridad, a la autoridad administrativa y a los servicios de emergencia, en el plazo máximo de un mes a partir del momento de su recepción.

Artículo 7. *El responsable de seguridad.*

1. Cada túnel tendrá un responsable de seguridad designado por la Dirección General de Carreteras, que podrá ser diferente para cada una de las fases de proyecto, construcción y explotación del túnel y que coordinará, durante la fase correspondiente, todas las medidas preventivas y de salvaguardia, a fin de garantizar la seguridad de la infraestructura y sus instalaciones, la de los usuarios y la del personal que explota el túnel.

El responsable de seguridad podrá tener una relación funcional o contractual con el gestor del túnel, pero no recibirá instrucciones de aquél en relación con el ejercicio de sus funciones.

2. El responsable de seguridad tendrá durante la fase de proyecto, entre otras, las siguientes funciones:

- a) Colaborar con el redactor del proyecto en todos aquellos aspectos relacionados con la seguridad del túnel.
- b) Informar al gestor del túnel y a la autoridad administrativa sobre la documentación de seguridad del túnel, con carácter previo a la aprobación del proyecto.

3. El responsable de seguridad tendrá durante la fase de construcción, entre otras, las siguientes funciones:

- a) Colaborar con la dirección de las obras y con el responsable de seguridad y salud de aquéllas.
- b) Verificar la adecuación de las instalaciones de seguridad del túnel, tanto de los equipamientos como de su ejecución o montaje, a lo establecido en el proyecto.
- c) Informar a la autoridad administrativa y al gestor del túnel sobre posibles modificaciones de las instalaciones en relación con las previstas en el proyecto, para su eventual autorización, así como sobre la actualización de la documentación de seguridad y en especial del manual de explotación.
- d) Asesorar, previamente a la resolución de autorización de puesta en servicio de la estructura, sobre el equipamiento y el manual de explotación.

4. El responsable de seguridad tendrá durante la fase de explotación, entre otras, las siguientes funciones:

- a) Asegurar la coordinación con los servicios de emergencia y participar en la preparación de los planes de actuación;
- b) Participar en la planificación, puesta en práctica y evaluación de las operaciones de emergencia;
- c) Participar en la definición de los planes de seguridad y en la especificación de la estructura, equipamiento y funcionamiento, tanto en lo que se refiere a los túneles futuros como a las modificaciones de los túneles existentes;
- d) Verificar la formación del personal del túnel y de los servicios de emergencia, si existieran, y participar en la organización de los simulacros que se realizarán periódicamente;
- e) Asesorar, previamente a la resolución de autorización de apertura o de reapertura al tráfico, sobre las actuaciones de acondicionamiento, el equipamiento y el manual de explotación.

f) Verificar el mantenimiento y las reparaciones de estructura y equipamiento de los túneles relacionadas con la seguridad.

g) Participar en la evaluación de cualquier incidente o accidente importante, tal y como se definen en los apartados 3 y 4 del artículo 6.

h) Proponer el cierre o restricción del tráfico si no se cumplen todas las medidas de seguridad.

CAPÍTULO III

Inspecciones periódicas de los túneles

Artículo 8. *Organismos de inspección.*

Los organismos de inspección llevarán a cabo inspecciones, evaluaciones y pruebas. Corresponde a la autoridad administrativa ejercer las tareas de inspección sobre los túneles en los aspectos regulados en este real decreto. Le compete asimismo habilitar para dicha función a aquellos entes públicos o privados que resulten apropiados para ello, por tener un elevado grado de competencia, experiencia demostrada en inspección y ser funcionalmente independientes del gestor del túnel.

Artículo 9. *Inspecciones periódicas.*

1. La autoridad administrativa, bien directamente o bien a través de organismos de inspección debidamente habilitados, realizará inspecciones periódicas para asegurarse de que todos los túneles incluidos en el ámbito de aplicación de este real decreto cumplen sus disposiciones.

2. El período comprendido entre dos inspecciones consecutivas de un determinado túnel no será superior a cinco años.

Artículo 10. *Inspecciones con informe desfavorable.*

1. Cuando, a tenor de un informe de inspección, la autoridad administrativa compruebe que un túnel no cumple los requisitos de seguridad regulados en este real decreto, comunicará al gestor del túnel y al responsable de seguridad que han de adoptarse medidas para incrementar la seguridad del túnel. Por el gestor del túnel, en el plazo máximo de tres meses, se propondrán las medidas a adoptar, así como el plazo máximo para su ejecución. La autoridad administrativa determinará las condiciones que deberán aplicarse, hasta que haya concluido la aplicación de las medidas correctoras, para que el túnel siga funcionando o para su reapertura, así como las demás restricciones o condiciones pertinentes.

2. Si las medidas correctoras incluyesen algún tipo de modificación sustancial de la construcción o de la explotación, una vez tomadas estas medidas, deberá contarse con una nueva autorización para que el túnel reanude su funcionamiento, para lo que se seguirá el procedimiento que figura en el anexo II.

CAPÍTULO IV

Análisis de riesgo

Artículo 11. *Análisis de riesgo.*

1. El análisis de riesgo de un túnel deberá tener en cuenta todos los factores que afectan a la seguridad, en particular, la geometría del túnel, el entorno, el equipamiento, las características del pavimento y el tráfico y el tiempo de llegada de los servicios de emergencia.

2. Los análisis de riesgo serán realizados, cuando resulten necesarios, por un organismo funcionalmente independiente del gestor del túnel. El contenido y los resultados de los análisis de riesgo se incluirán en el manual de explotación que se remita a la autoridad administrativa, para recabar las autorizaciones pertinentes.

Artículo 12. *Metodología de análisis de riesgo.*

Para todos los análisis de riesgo que puedan realizarse sobre cualquiera de los túneles comprendidos dentro del ámbito de aplicación de este real decreto se seguirá obligatoriamente una metodología detallada y bien definida, en consonancia con las normas de buena práctica disponibles, la cual será objeto de aprobación por la autoridad administrativa.

CAPÍTULO V

Aplicación de técnicas innovadoras y procedimientos de excepción

Artículo 13. *Excepción por técnicas innovadoras o por otras causas.*

A fin de permitir que se instalen y utilicen equipamientos o procedimientos de seguridad innovadores que proporcionen una protección equivalente o mayor que las tecnologías actuales prescritas en este real decreto, la autoridad administrativa podrá autorizar excepciones respecto al cumplimiento de los requisitos de la misma, previa petición debidamente documentada del gestor del túnel. Asimismo podrán autorizarse excepciones por otras causas debidamente justificadas. En todo caso, las autorizaciones de excepción se ajustarán al procedimiento que se indica en el artículo siguiente.

Artículo 14. *Procedimiento de solicitud de excepción.*

1. La autorización de excepción en los túneles de la red transeuropea de carreteras se ajustará a las siguientes reglas:

Por lo que respecta a la red de carreteras del Estado, si la autoridad administrativa tuviese la intención de autorizar cualquier excepción respecto al cumplimiento de lo previsto en la Directiva 2004/54/CE por la aplicación alternativa de técnicas innovadoras o por otras causas, lo pondrá en conocimiento de la Comisión Europea, junto con la petición original y la opinión del organismo de inspección. La autorización de la excepción no será concedida si la Comisión Europea emite informe desfavorable en relación con la misma, de acuerdo con el procedimiento establecido en la citada Directiva.

Previamente, el gestor del túnel solicitará autorización de la autoridad administrativa, justificando debidamente los siguientes extremos:

La excepción que se propone en relación con la norma. Las razones en las que se basa la excepción propuesta.

Las medidas de reducción de riesgo alternativas que vayan a adoptarse o a reforzarse con objeto de garantizar al menos un nivel equivalente de seguridad, incluida su comprobación mediante el correspondiente análisis de riesgo.

2. En los túneles no ubicados en la red transeuropea de carreteras, corresponde a la autoridad administrativa la autorización de la excepción propuesta, por cualquier causa que la determine, a solicitud del gestor del túnel. La solicitud se acompañará de un estudio de análisis de riesgo en el que se deberán justificar las razones que

motivan la excepción, las medidas alternativas propuestas y el mantenimiento de niveles de seguridad en el túnel análogos a los que se obtendrían de no aplicarse la excepción.

CAPÍTULO VI

Informes de incidencias

Artículo 15. *Informes de incidencias.*

1. Cada dos años, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento elaborará los informes sobre los accidentes e incendios ocurridos en los túneles de la red transeuropea de carreteras que afecten a la seguridad de los usuarios de manera significativa, incluyendo la frecuencia y las causas de dichos incidentes, su evaluación e información sobre la función y eficacia reales de las instalaciones y medidas de seguridad. Remitirá dichos informes, a través de los canales de representación legalmente establecidos, a la Comisión Europea antes de finalizar el mes de septiembre del año siguiente al periodo sobre el que versen.

2. La Administración General del Estado pondrá a disposición de todas las administraciones públicas competentes los informes de incidencias en túneles de la red transeuropea de carreteras de todos los Estados miembros remitidos por la Comisión Europea.

3. Se podrán incorporar a los informes de incidencias a remitir a la Comisión Europea, informes de los responsables de seguridad de los túneles para asegurar la participación de todos los servicios, órganos y administraciones con responsabilidades diversas en relación con la seguridad.

Disposición adicional primera. *Inspección de túneles de la red de carreteras del Estado.*

Las tareas de inspección a las que se refiere el artículo 8 podrán ser desempeñadas para los túneles de la red de carreteras del Estado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, organismo al que preferentemente se encomendará dicha función por la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Planificación del Ministerio de Fomento.

Disposición adicional segunda. *Información en los túneles que no forman parte de la red de carreteras del Estado.*

De conformidad con lo dispuesto por el artículo 10 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, la información sobre la autorización de excepción a la que se refiere el artículo 14 en túneles que no forman parte de la red de carreteras del Estado habrá de ser facilitada por las Comunidades Autónomas a la Administración General del Estado, con objeto de que ésta cumpla las obligaciones de información a la Comisión Europea impuestas al Reino de España por la Directiva 2004/54/CE. A tal fin, las Entidades Locales en su caso titulares de túneles incluidos en la red transeuropea de carreteras pondrán la información necesaria a disposición de las correspondientes comunidades autónomas para su remisión por éstas a la Administración General del Estado. Posteriormente, la Administración General del Estado transmitirá, en el plazo de un mes desde su recepción, lo comunicado por la Comisión Europea sobre las excepciones solicitadas.

Disposición transitoria primera. *Túneles sin proyecto aprobado.*

Los túneles cuyo proyecto no haya sido aprobado por la autoridad administrativa con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de este real decreto deberán cumplir los requisitos que en el mismo se establecen y habrán de someterse al procedimiento de autorización que figura en el anexo II.

Disposición transitoria segunda. *Túneles en construcción.*

1. Por lo que respecta a los túneles cuyo proyecto se encontrase aprobado pero que no se hubieran puesto en servicio con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de este real decreto, la autoridad administrativa evaluará el cumplimiento de los requisitos de la presente disposición, con referencia específica al manual de explotación a que se refiere el anexo II.

2. Si la autoridad administrativa comprobase que el túnel no se ajusta a lo establecido en la presente disposición, comunicará al gestor del túnel la obligación de adoptar las medidas que sean necesarias para incrementar la seguridad e informará al responsable de seguridad.

3. A continuación, el túnel deberá someterse al procedimiento establecido en el anexo II.

Disposición transitoria tercera. *Túneles en servicio.*

1. La autoridad administrativa deberá valorar, a través de inspecciones que se realizarán antes del 30 de octubre de 2006, si los túneles que se encuentren en explotación a la entrada en vigor de este real decreto, cumplen los requisitos que en él se establecen, con referencia específica al manual de explotación a que se refiere el anexo II.

2. Si fuese necesario, el gestor del túnel propondrá a la autoridad administrativa un plan para adaptar el túnel a las disposiciones de este real decreto, junto con las medidas correctoras que tenga intención de aplicar.

3. La autoridad administrativa dará su aprobación a las medidas correctoras o requerirá su modificación.

4. Si las medidas correctoras incluyen cualquier tipo de modificación sustancial de la construcción o de la explotación, una vez tomadas éstas medidas, se aplicará posteriormente el procedimiento que figura en el anexo II.

5. La adecuación de los túneles incluidos en la red transeuropea de carreteras deberá haber concluido antes del 30 de abril de 2014.

6. El plazo indicado en el apartado 5 se verá incrementado hasta el 30 de abril de 2019 en el supuesto de aplicación del punto 7 del artículo 11 de la Directiva 2004/54/CE.

7. Corresponde al Ministerio de Fomento establecer un plan que incluya el calendario para la aplicación de la presente disposición a los túneles de la red de Carreteras del Estado que estén en servicio, así como la información que al respecto haya de facilitarse a la Comisión Europea.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.24.º de la Constitución que atribuye al Estado la competencia sobre las obras públicas de interés general, sin perjuicio de las atribuciones que corresponden a los organismos y administraciones públicas responsables en materia de tráfico y protección civil.

Disposición final segunda. Incorporación de derecho de la Unión Europea.

Mediante este real decreto se incorpora al derecho español la Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

Disposición final tercera. Desarrollo normativo.

El Ministro de Fomento, en el ámbito de sus competencias, dictará las normas de desarrollo que requiera este real decreto. En particular, y conjuntamente con el Ministro del Interior, podrá modificar los modelos de señales incluidos en el anexo III.

Disposición final cuarta. Entrada en vigor.

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 26 de mayo de 2006.

JUAN CARLOS R

La Ministra de Fomento.
MAGDALENA ÁLVAREZ ARZA

ANEXO I**Medidas de seguridad a que se refiere el artículo 4****1 Bases para decidir las medidas de seguridad.****1.1 Parámetros de seguridad.**

1.1.1 Las medidas de seguridad a aplicar en cada túnel se basarán en un estudio sistemático de todos los aspectos del sistema compuesto por la infraestructura, los usuarios y los vehículos.

1.1.2 Se tendrán en cuenta los parámetros siguientes:

longitud del túnel,
número de tubos,
número de carriles,
geometría de la sección transversal,
planta y alzado (especialmente la pendiente),
tipo de construcción,
tráfico unidireccional o bidireccional,
volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución temporal),
riesgo de congestión (diaria o de temporada),
tiempo de acceso de los servicios de emergencia,
presencia y porcentaje de vehículos pesados,
presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas,
características de las vías de acceso,
velocidad máxima autorizada,
medio geográfico y climatología.

1.1.3 Cuando un túnel tenga características especiales con relación a los parámetros antedichos, deberá llevarse a cabo un análisis de riesgo de conformidad con el artículo 11 para establecer si son necesarias medidas adicionales de seguridad o equipamiento complementario para garantizar un adecuado nivel de seguridad del túnel. Dicho análisis de riesgo tomará en consideración los posibles accidentes que puedan afectar claramente a la seguridad de los usuarios del túnel, así como la naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias

1.2 Requisitos mínimos

1.2.1 Deberán aplicarse los requisitos mínimos de seguridad indicados en los puntos siguientes para garantizar un nivel mínimo de seguridad en los túneles a los que se aplica la presente disposición. Podrán permitirse excepciones de estos requisitos siempre que se lleve a cabo con éxito el procedimiento establecido en el artículo 14.

1.2.2 A fin de proporcionar una interacción usuario-túnel homogénea en todos los túneles a los que se aplica la presente disposición, no se permitirá excepción alguna en relación con los requisitos establecidos en la misma por lo que se refiere a las instalaciones de seguridad del túnel que están a disposición directa de los usuarios (emisoras de emergencia, señales, apartaderos, salidas de emergencia y comunicación por radio cuando resulte necesario).

1.3 Volumen de tráfico.

1.3.1 A los efectos del presente anexo, para la determinación del volumen de tráfico, cada vehículo de motor se contará como una unidad.

1.3.2 Cuando el número de vehículos pesados supere el 15 % de la IMD, o cuando existan valores de IMD estacionales que sean significativamente superiores se evaluará el riesgo adicional y se tendrá en cuenta incrementando proporcionadamente la cifra de volumen de tráfico en el túnel para la aplicación de los puntos siguientes.

2 Medidas de infraestructura**2.1 Número de tubos y carriles.**

2.1.1 Los principales criterios para decidir si se construye un túnel de un tubo o de dos serán el volumen de tráfico previsto y la seguridad, teniendo en cuenta aspectos como el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente longitudinal y la longitud.

2.1.2 En cualquier caso, tratándose de túneles que se encuentren en fase de proyecto, cuando las previsiones al término de un periodo de 15 años muestren que el volumen de tráfico pudiese superar los 7.500 vehículos por día y carril, el túnel deberá disponer de al menos dos tubos de tráfico unidireccional en el momento en que se exceda dicho valor.

2.1.3 Con excepción del carril de emergencia, se mantendrá el mismo número de carriles, tanto dentro como fuera del túnel. Cualquier cambio del número de carriles se producirá a una distancia suficiente de la boca del túnel. Esta distancia será, como mínimo, la distancia recorrida en 10 segundos por un vehículo que se desplace a la velocidad máxima autorizada. Si circunstancias geográficas impidiesen que pueda respetarse esta distancia, se tomarán medidas adicionales o reforzadas para aumentar la seguridad.

2.2 Geometría del túnel.

2.2.1 Se tendrá especialmente en cuenta la seguridad al proyectar la geometría de la sección transversal y la alineación horizontal y vertical del túnel y sus vías de acceso, ya que sus parámetros tienen una gran influencia en la probabilidad y gravedad de los accidentes.

Se cumplirán los criterios y especificaciones recogidas en la Norma de trazado 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras.

2.2.2 En los túneles con pendientes superiores al 3%, se adoptarán medidas adicionales o reforzadas, o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en un análisis de riesgo.

2.2.3 Cuando la anchura del carril para vehículos lentos sea inferior a 3,5 metros y se permita la circulación de vehículos pesados, se adoptarán medidas adicionales o reforzadas, o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en un análisis de riesgo

2.2.4 Se estudiarán las medidas conducentes a eliminar o paliar el posible efecto del deslumbramiento del conductor del vehículo a la salida del túnel, en especial cuando la alineación de la vía en esta zona coincida con la orientación de los rayos solares en algunas horas del día. En general, no se proyectarán alineaciones en planta con orientación este-oeste.

2.3 Pavimento y revestimientos de hormigón proyectado.

2.3.1 Pavimento: La resistencia al deslizamiento medida por el coeficiente de rozamiento transversal (CRT) del firme en el interior del túnel no será inferior a 60. Salvo razones debidamente justificadas, en túneles de más de 1.000 metros se empleará pavimento de hormigón con aditivos coloreantes para que proporcionen suficiente contraste con las marcas viales.

2.3.2 Revestimiento de hormigón proyectado: si el túnel no dispusiese de un revestimiento rígido, deberán instalarse secciones de auscultación permanente en algunas zonas del túnel para tomar las medidas que en cada caso se indiquen en el manual de explotación.

2.4 Aceras.

2.4.1 En los túneles nuevos sin carril de emergencia, se habilitarán aceras, preferentemente elevadas, para que los usuarios del túnel las empleen en caso de avería o accidente. Esto no será de aplicación cuando las características de la construcción del túnel no lo permitan o sólo lo permitan con costes desproporcionados y cuando el túnel sea unidireccional y disponga de vigilancia permanente y de sistema de cierre de los carriles.

2.4.2 En los túneles ya existentes que no tengan ni carril de emergencia ni acera, se tomarán medidas adicionales o reforzadas para proporcionar seguridad.

2.5 Salidas de emergencia y vías de evacuación

2.5.1 Las salidas de emergencia permitirán a los usuarios del túnel utilizarlas para abandonar el túnel sin sus vehículos y llegar a un lugar seguro en caso de accidente o incendio y también proporcionarán acceso a pie a los servicios de emergencia del túnel. Dichas salidas podrán ser:

salidas directas del túnel al exterior,
conexiones transversales entre tubos de túnel,
salidas a galería de emergencia

2.5.2 No se construirán refugios que carezcan de salida a vías de evacuación al exterior.

2.5.3 En el diseño de las salidas de emergencia y vías de evacuación se prestará especial atención a la seguridad de las personas con discapacidad.

2.5.4 Además de los casos indicados en el apartado 2.21, se habilitarán salidas de emergencia en aquellos casos en que los análisis de riesgo pertinentes, entre ellos la extensión del humo y su velocidad de propagación en las condiciones locales, demuestren que la ventilación y demás medidas de seguridad son insuficientes para garantizar la seguridad de los usuarios del túnel.

En los túneles existentes de longitud superior a 1.000 metros se evaluará la viabilidad y eficacia de crear nuevas salidas de emergencia.

2.5.5 En túneles unidireccionales, cuando se hayan habilitado salidas de emergencia, la distancia entre dos salidas consecutivas no superará en ningún caso los 400 metros en los túneles interurbanos sin retenciones y cada 200 metros en los túneles urbanos e interurbanos en los que se produzcan retenciones al menos 5 días al año y no dispongan de control de accesos.

2.5.6 En túneles bidireccionales, cuando se habiliten salidas de emergencia, éstas se dispondrán cada 400 metros en los túneles interurbanos sin retenciones y

cada 150 metros en los túneles urbanos y en los interurbanos en los que se produzcan retenciones al menos 5 días al año y no dispongan de control de accesos.

2.5.7 Se impedirá por medios adecuados la propagación de humo y de calor a las vías de evacuación situadas tras las salidas de emergencia, de forma que los usuarios del túnel puedan llegar al exterior y los servicios de emergencia puedan acceder al túnel con seguridad.

2.6 Acceso de los servicios de emergencia

2.6.1 En aquellos túneles de más de un tubo que se encuentran a similar cota a lo largo de la rasante y en los que sea obligatorio este equipamiento, las conexiones transversales deberán poder permitir el acceso de los vehículos de emergencia al menos cada 1.200 metros.

2.6.2 Siempre que sea viable técnicamente, se posibilitará el cruce de la mediana en la proximidad de cada boca en el exterior de los túneles de dos o más tubos.

2.7 Apartaderos

2.7.1 En los túneles bidireccionales en fase de proyecto o construcción de longitud mayor de 1.500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2.000 vehículos por carril, deberán habilitarse apartaderos a distancias no superiores a los 1.000 metros, caso de que no estén previstos carriles de emergencia o arcenes de anchura superior a 2,5 metros.

2.7.2 En los túneles bidireccionales ya existentes de longitud mayor que 1.500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2.000 vehículos por carril, que no dispongan de carriles de emergencia, se evaluará la viabilidad y eficacia de dotarlos o no de apartaderos mediante los pertinentes análisis de riesgo.

2.7.3 En los restantes túneles en los que sea requisito la disposición de apartaderos, de acuerdo con el apartado 2.21, cuando las características de la construcción del túnel no lo permitan o sólo lo permitan con costes desproporcionados, no será preciso habilitar apartaderos si la anchura total del túnel accesible para los vehículos, excluyendo las partes elevadas y los carriles normales de circulación, sea al menos igual a la anchura normal de un carril.

2.7.4 Los apartaderos contarán con un puesto de emergencia, de acuerdo con el apartado 2.12.

2.8 Drenaje

2.8.1 En túneles de longitud superior a 500 metros, si se permite la circulación por el túnel de vehículos de transportes de mercancías peligrosas, deberán disponerse caces con ranuras, u otros dispositivos, situadas dentro de las secciones transversales de los túneles, que permitan el drenaje de líquidos tóxicos e inflamables. Además, el sistema de drenaje deberá diseñarse y mantenerse de manera que se evite que el fuego y los líquidos inflamables y tóxicos se propaguen dentro del tubo o entre tubos.

2.8.2 En los túneles existentes en los que no se puedan cumplir tales requisitos o sólo se puedan cumplir con costes desproporcionados, para decidir si se permite el transporte de productos peligrosos, habrá que basarse en un análisis de riesgo correspondiente.

2.9 Resistencia de la estructura a los incendios y al agua.

2.9.1 La estructura principal de todos los túneles en los que el derrumbamiento local de la estructura pueda tener consecuencias catastróficas (por ejemplo, túneles subacuáticos o túneles que puedan causar el colapso de estructuras próximas de importancia) garantizará un nivel suficiente de resistencia al fuego.

2.9.2 Se deberá estudiar la influencia del agua de infiltración y prever en su caso las medidas protectoras más adecuadas.

2.10. Iluminación.

2.10.1 La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche en la entrada del túnel, en las zonas de transición y en la parte central.

2.10.2 La iluminación de seguridad se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica.

2.10.3 La iluminación de emergencia, estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m².

2.11 Ventilación.

2.11.1 Todos los túneles que requieran sistema de ventilación artificial, de acuerdo con el apartado 2.21, deberán contar con su correspondiente sistema de automatismo.

2.11.2 El proyecto, la construcción y la explotación del sistema de ventilación deberán tener en cuenta:

el control de los contaminantes emitidos por los vehículos de carretera en un flujo de tráfico normal y denso,

el control de los contaminantes emitidos por vehículos de carretera en el caso de que el tráfico esté detenido a causa de un incidente o accidente,

el control del calor y el humo en caso de incendio.

2.11.3 La ventilación longitudinal se utilizará únicamente en los túneles con circulación bidireccional o unidireccional congestionada si un análisis del riesgo conforme al artículo 11 muestra que es aceptable, o si se toman medidas específicas, tales como una apropiada gestión del tráfico, una reducción de la distancia entre salidas de emergencia y la colocación de extractores de humo a intervalos adecuados.

2.11.4 Los sistemas de ventilación deberán poder extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30 MW y caudal mínimo de humos de 120 m³/s. La ventilación en las galerías será independiente.

2.11.5 En túneles urbanos de longitud mayor que 200 metros es obligatoria la instalación de un sistema de ventilación.

2.11.6 Los sistemas de ventilación transversal o semitransversal se utilizarán en aquellos túneles que requieran un sistema de ventilación mecánica y para los que no se haya autorizado una ventilación longitudinal de conformidad con el punto 2.11.3. Estos sistemas deberán poder extraer el humo en caso de incendio.

2.11.7 Para los túneles de longitud superior a 1.000 metros, de tráfico bidireccional, con un volumen de tráfico superior a 1.000 vehículos por carril, dotados de un centro de control y de ventilación transversal o semitransversal, deberán adoptarse las siguientes medidas mínimas relativas a la ventilación:

se instalarán reguladores de aire y humo que puedan funcionar separadamente,

la velocidad del aire longitudinal deberá controlarse constantemente, y el proceso de control del sistema de ventilación (reguladores, ventiladores, etc.) deberá ajustarse en consecuencia.

2.12 Puestos de emergencia.

2.12.1 El objeto de los puestos de emergencia es proporcionar diversos equipos de seguridad, en particular teléfonos de emergencia y extintores, pero no tienen la

finalidad de proteger a los usuarios de la carretera de los efectos de un incendio.

2.12.2 Estos puestos podrán consistir en una cabina junto a la pared o, preferentemente, un nicho vaciado en ella. Deberán estar equipados como mínimo con un teléfono de emergencia y dos extintores. En el caso de cabinas, éstas no deberán obstaculizar la libre circulación de los vehículos de emergencia.

2.12.3 Cuando sean exigibles de acuerdo con el apartado 2.21 habrá puestos de emergencia cerca de las bocas y en el interior, situadas a intervalos no superiores a 150 metros para los nuevos túneles y a intervalos no superiores a los 250 metros para los túneles existentes.

2.13 Red de hidrantes

2.13.1 En aquellos túneles que lo requieran según el apartado 2.21, habrá hidrantes cerca de la entrada y en el interior, a intervalos no superiores a 250 metros. Si no se dispusiese de red de suministro de agua, será obligatorio disponer de otro tipo de abastecimiento propio.

2.13.2 El caudal y la presión de la instalación deberán cumplir lo recogido en la Norma de incendios NBE-CPI-96 o las que la sustituyan.

2.14 Señalización.

2.14.1 La señalización de todos los túneles se regirá por el Catálogo de Señales del Código de la Circulación.

2.14.2 Se utilizarán señales específicas para identificar todos los equipos de seguridad que están a disposición de los usuarios del túnel. En el anexo III se indican los signos y paneles a utilizar en los túneles.

2.14.3 En todos los túneles unidireccionales interurbanos de más de 200 metros, se limitará la velocidad máxima a 100 km/h, salvo que su geometría u otras características obliguen a mayores limitaciones.

2.14.4 En todos los túneles bidireccionales de una sola calzada se prohibirá el adelantamiento y se limitará la velocidad a 80 km/h, salvo que su geometría u otras características impongan menores velocidades. Se colocará en el eje doble línea continua con resaltos y captafaros en su centro de color blanco y separados 5 metros entre sí.

2.14.5 El balizamiento se hará con captafaros, cada 10 metros, por el exterior de las líneas de borde, en todos los casos. Cuando la longitud del túnel supere los 250 metros en urbanos o los 500 metros en interurbanos o cuando su geometría u otras características así lo aconsejen, se colocarán elementos de balizamiento anclados a los hastiales, a una altura aproximada de 70 centímetros y separados también 10 metros.

2.14.6 En todos los túneles deben colocarse las señales R-300, de separación mínima entre vehículos. Estas señales se colocarán antes de cada boca, según el sentido de la marcha, y se repetirán en el interior del túnel mediante señales fijas, o a través de los paneles de señalización variable.

2.14.7 En los túneles de longitud superior a 1.000 metros se dispondrán paneles gráficos y alfanuméricos cada mil metros y señales de afección de carril y limitación de velocidad cada 400 metros.

2.15 Centro de control.

2.15.1 Todos los túneles que lo requieran según el apartado 2.21, deberán estar dotados de un centro de control que recogerá toda la información procedente de las instalaciones fijas. Cuando en dicho apartado no se especifique como requisito la existencia de un centro de control y no obstante sea necesario instalar otros equipamientos tales como ventilación, semáforos, detectores de CO u opacímetros, postes SOS, etc. éstos se conectarán a un puesto desde el cual sea posible actuar sobre los mismos. Deberá instalarse un sistema que garantice las funciones

de ventilación, extinción de incendios y suministro de emergencia en el caso de que fallara el sistema de control. El sistema de control deberá ser permanente con mando automático y/o manual, según los casos.

2.15.2 La vigilancia de varios túneles se podrá realizar desde un mismo Centro de Control. Si el centro de control estuviese a una distancia superior a 15 kilómetros del túnel, los servicios de explotación de intervención inmediata deberán disponerse a distancia inferior a la indicada

2.16 Sistemas de vigilancia.

2.16.1 En todos los túneles dotados de un centro de control se instalarán sistemas de vigilancia por video, con orientación y zoom para las cámaras externas, y un sistema capaz de detectar de forma automática incidentes e incendios, todo ello de conformidad con los requisitos establecidos en la normativa vigente para este tipo de instalaciones.

2.16.2 En aquellos túneles dotados de ventilación artificial en los que no exista centro de control se instalarán sistemas de detección automática de incendios capaz de poner en funcionamiento aquella.

2.16.3 En todos los túneles que lo requieran, según el apartado 2.21, se dispondrán aforadores que permitan el registro automático del tráfico en todos los carriles del túnel

2.17 Equipos para el cierre del túnel

2.17.1 En todos los túneles que lo requieran según el apartado 2.21, se instalarán semáforos y barreras antes de las entradas, con los pertinentes preavisos, a suficiente distancia para que la detención se efectúe sin riesgo para la seguridad y sin obstaculizar el acceso de los vehículos de emergencia y de forma que el túnel pueda cerrarse al tráfico en caso de emergencia. Podrán utilizarse además otros medios adicionales, tales como señales de mensaje variable, para garantizar la efectividad de dicha medida.

2.17.2 Dentro de los túneles que lo requieran según el apartado 2.21, se recomienda situar equipos para detener los vehículos en caso de emergencia. Dichos equipos, separados a una distancia máxima de 1.000 metros, consistirán en semáforos u otros medios, tales como altavoces, señales de mensaje variable y barreras.

2.18 Sistemas de comunicaciones.

2.18.1 En todos los túneles que lo requieran según el apartado 2.21, se instalarán equipos de transmisión por radio para su utilización por los servicios de emergencia

2.18.2 Cuando se disponga de un centro de control, deberá ser posible interferir la transmisión por radio de los canales destinados a los usuarios del túnel, con objeto de emitir mensajes de emergencia.

2.18.3 Los refugios y otras instalaciones en las que los usuarios del túnel puedan esperar antes de su evacuación al exterior estarán equipados con altavoces.

2.19 Suministro de electricidad y circuitos eléctricos.

2.19.1 Todos los túneles que lo requieran según el apartado 2.21, deberán disponer de doble fuente de suministro de energía y de grupos electrógenos, así como de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI). Los grupos electrógenos deben poder cubrir la iluminación de emergencia, los sistemas informáticos y la ventilación en modo degradado. El requisito de doble fuente de suministro de energía no será aplicable en túneles urbanos.

2.19.2 Los circuitos eléctricos, los de medida y los de control estarán diseñados de tal manera que un fallo local, por cualquier causa, no afecte a los circuitos que no hayan sufrido daños.

2.20 Resistencia de los equipos al fuego.—El grado de resistencia al fuego de todos los equipos del túnel será el

adecuado para mantener las necesarias funciones de seguridad en caso de incendio en aquel

2.21 Equipamiento mínimo según la tipología de túnel

2.21.1 Túneles unidireccionales.—La longitud del túnel será la definida en el artículo 3 c) Además de aplicarse a túneles independientes, las condiciones de este apartado se aplicarán a grupos de túneles en los que uno de ellos al menos cumpla cualquiera de estas condiciones:

- a) Longitud mayor que 1.000 metros (apartado 2.21.1.1).
- b) Longitud mayor que 500 metros y menor que 1.000 metros e IMD por carril mayor que 2.000 (apartado 2.21.1.2.1)
- c) Urbanos de longitud mayor que 200 metros (apartado 2.21.1.3).

Y en los demás del grupo la IMD por carril sea mayor que 2.000 y la distancia al que cumple la condición sea menor que 10 kilómetros.

2.21.1.1 Túneles de longitud mayor que 1.000 metros

Aceras.
Salidas de emergencia.
Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia
Cruce de la mediana fuera de cada boca.
Apartaderos en las condiciones fijadas en el apartado 2.7.

Drenaje de líquidos tóxicos.
Centro de control.
Circuito cerrado de TV.
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual

Iluminación normal.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia
Ventilación.
Doble suministro eléctrico
Generadores de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
Detectores de CO.
Opacímetros.
Cable para detección de incendios
Detección automática de incidentes
Puestos de emergencia
Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC
Paneles de señalización variable.
Barreras exteriores.
Semáforos exteriores.
Semáforos interiores (si el tubo mide igual o más de 3.000 m).

Megafonía.
Red de hidrantes.
Aforadores.
Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

2.21.1.2 Túneles de longitud igual o menor que 1.000 metros y mayor que 500 metros.

2.21.1.2.1 Túneles con una IMD por carril superior a 2.000 veh/día:

Aceras.
Salidas de emergencia.
Cruce de la mediana fuera de cada boca.
Drenaje de líquidos tóxicos.
Centro de control.
Circuito cerrado de TV.
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.

Iluminación normal.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia.
Ventilación.
Generadores de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
Detectores de CO.
Opacímetros.
Cable para detección de incendios.
Detección automática de incidentes.
Puestos de emergencia.
Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
Paneles de señalización variable.
Barreras exteriores.
Semáforos exteriores.
Megafonía.
Red de hidrantes.
Aforadores.
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

2.21.1.2.2 Túneles con una IMD por carril igual o inferior a 2 000 veh/día:

Aceras.
Salidas de emergencia.
Cruce de la mediana fuera de cada boca.
Drenaje de líquidos tóxicos.
Iluminación normal.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia.
Ventilación.
Generadores de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
Detectores de CO.
Opacímetros.
Cable para detección de incendios.
Puestos de emergencia.
Señalización de salidas y equipamientos de emergencia.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
Barreras exteriores.
Semáforos exteriores.
Megafonía.
Red de hidrantes.
Aforadores.
Sistemas de radiocomunicación para servicios de emergencia.
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:
Centro de control.
Circuito cerrado de TV.
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
Detección automática de incidentes.
Paneles de señalización variable.

2.21.1.3 Túneles de longitud igual o menor que 500 metros y mayor que 200 metros.

2.21.1.3.1 Túneles con una IMD por carril superior a 2 000 veh/día:

Salidas de emergencia.
Iluminación normal.
Detectores de CO.
Opacímetros.
Puestos de emergencia.
Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
Semáforos exteriores.

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:
Centro de control.
Circuito cerrado de TV.
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia.
Ventilación.
Generadores de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
Cable para detección de incendios.
Detección automática de incidentes.
Paneles de señalización variable.
Barreras exteriores.
Megafonía.
Red de hidrantes.

2.21.1.3.2 Túneles con una IMD por carril igual o inferior a 2 000 veh/día:

Iluminación normal.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:
Salidas de emergencia.
Centro de control.
Circuito cerrado de TV.
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia.
Ventilación.
Generadores de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
Detectores de CO.
Opacímetros.
Cable para detección de incendios.
Detección automática de incidentes.
Puestos de emergencia.
Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
Paneles de señalización variable.
Barreras exteriores.
Semáforos exteriores.
Megafonía.
Red de hidrantes.

2.21.1.4 Túneles de longitud igual o menor que 200 metros.—Si el túnel fuese urbano deberá disponer de:

Salidas de emergencia.
Iluminación normal.
Iluminación de seguridad.
Iluminación de emergencia.
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
Detectores de CO.
Opacímetros.
Puestos de emergencia.
Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
Barreras exteriores.
Semáforos exteriores.

2.21.2 Túneles Bidireccionales.—Además de aplicarse a túneles independientes las condiciones de este apartado se aplicarán también a grupos de túneles en los que uno de ellos cumpla cualquiera de estas condiciones:

- a) Longitud mayor que 1.000 metros e IMD por carril mayor que 1.000 (apartado 2.21.2.1.1).
- b) Longitud mayor que 500 metros y menor que 1.000 metros e IMD por carril mayor que 2.000 (apartado 2.21.2.2.1).
- c) Urbanos de longitud mayor que 200 metros (apartado 2.21.2.3).

Y en los demás túneles del grupo la IMD por carril sea mayor que 2.000 veh/día y la distancia al que cumple la condición sea menor que 10 kilómetros

2.21.2.1 Túneles de longitud mayor que 1.000 metros.

2.21.2.1.1 Túneles con una IMD por carril superior a 1.000 veh/día:

- Aceras
- Salidas de emergencia.
- Apartaderos en las condiciones fijadas en el apartado 2.7.
- Drenaje de líquidos tóxicos.
- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Doble suministro eléctrico
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO.
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios
- Detección automática de incidentes
- Estaciones de emergencia
- Señalización salidas y equipamientos de emergencia
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
- Paneles de señalización variable.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Semáforos interiores (si algún tubo mide igual o más de 3.000 metros).
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia
- Mensajería de emergencia por radio para usuarios.

2.21.2.1.2 Túneles con una IMD por carril igual o inferior a 1.000 veh/día:

- Aceras.
- Salidas de emergencia.
- Drenaje de líquidos tóxicos
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Doble suministro eléctrico
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Detectores de CO.
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios
- Puestos de emergencia
- Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:

- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.

Sistema informático de extracción de humos, automático y manual

- Detección automática de incidentes.
- Paneles de señalización variable.

2.21.2.2 Túneles de longitud igual o menor que 1.000 metros y mayor que 500 metros.

2.21.2.2.1 Túneles con una IMD por carril superior a 2.000 veh/día:

- Aceras
- Salidas de emergencia.
- Drenaje de líquidos tóxicos
- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO.
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios.
- Detección automática de incidentes.
- Estaciones de emergencia.
- Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
- Paneles de señalización variable.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Megafonía.
- Red de hidrantes
- Aforadores.
- Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

2.21.2.2.2 Túneles con IMD por carril igual o inferior a 2.000 veh/día:

- Aceras
- Salidas de emergencia.
- Drenaje de líquidos tóxicos.
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Detectores de CO
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios.
- Puestos de emergencia.
- Señalización de salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
- Barreras exteriores (si IMD mayor que 1.500 veh/carril).
- Semáforos exteriores (si IMD mayor que 1.500 veh/carril).
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:

- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual
- Detección automática de incidentes

Paneles de señalización variable.

2.21.2.3 Túneles de longitud igual o menor que 500 metros y mayor que 200 metros

2.21.2.3.1 Túneles con IMD por carril superior a 2 000 veh/día:

Iluminación normal.

Iluminación de seguridad.

Iluminación de emergencia.

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).

Extintores.

Señalización de salidas y de equipamientos de emergencia.

Señalización según Norma 8 1 y 8.2 IC.

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:

Salidas de emergencia

Centro de control.

Circuito cerrado de TV.

Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.

Ventilación.

Generadores de emergencia.

Detectores de CO.

Opacímetros.

Cable para detección de incendios.

Detección automática de incidentes

Puestos de emergencia.

Señalización salidas y equipamientos de emergencia

Paneles de señalización variable.

Barreras exteriores.

Semáforos exteriores.

Megafonía.

Red de hidrantes.

2.21.2.3.2 Túneles con IMD por carril igual o inferior a 2.000 veh/día:

Iluminación normal

Señalización salidas y equipamientos de emergencia

Señalización según Norma 8 1 y 8.2 IC

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:

Salidas de emergencia.

Centro de control.

Circuito cerrado de TV

Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.

Iluminación normal.

Iluminación de seguridad.

Iluminación de emergencia.

Ventilación.

Generadores de emergencia.

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)

Detectores de CO.

Opacímetros.

Cable para detección de incendios.

Detección automática de incidentes

Estaciones de emergencia.

Señalización salidas y equipamientos de emergencia.

Paneles de señalización variable.

Barreras exteriores.

Semáforos exteriores

Megafonía.

Red de hidrantes.

2.21.2.4 Túneles de longitud igual o menor que 200 metros

Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.

Si el túnel fuese urbano además deberá disponer de:

Iluminación normal.

Iluminación de seguridad.

Iluminación de emergencia.

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).

Extintor.

3. Medidas relacionadas con la explotación.

3.1 Medios de explotación.—La explotación debe estar organizada y disponer de los medios adecuados de forma que se garanticen la continuidad y seguridad del tráfico a través del túnel. El personal que participe en la explotación, así como los servicios de emergencia, recibirán una formación adecuada, tanto inicial como continua.

3.2 Planificación de emergencias.—Deberá haber planes de respuesta a situaciones de emergencia para todos los túneles. Respecto de los túneles transfronterizos, se estará a lo dispuesto en el plan conjunto de respuesta a situaciones de emergencia. Será de aplicación lo establecido para dichos casos en el anexo I, punto 3.2 de la Directiva 2004/54/CE de la Unión Europea.

3.3 Obras en los túneles.—El cierre o corte total o parcial de carriles, con ocasión de obras de construcción o de mantenimiento, siempre comenzará fuera del túnel. Con este fin podrán utilizarse señales de mensaje variable, semáforos y barreras mecánicas.

3.4 Respuesta a accidentes e incidentes.—En caso de accidente o incidente grave en un túnel, se cerrarán inmediatamente al tráfico los tubos afectados. Esto se hará activando simultáneamente no sólo los equipos mencionados situados exteriormente al túnel, sino también las señales de mensaje variable, los semáforos y las barreras mecánicas dentro de éste, cuando existan estos dispositivos, de forma que todo el tráfico pueda detenerse lo antes posible fuera y dentro del túnel. En los túneles de longitud inferior a 1 000 metros, el cierre podrá efectuarse por otros medios. El tráfico se gestionará de tal modo que los vehículos no afectados puedan abandonar rápidamente el túnel. En túneles bidireccionales importantes con gran volumen de tráfico, se determinará, mediante un análisis de riesgo conforme al artículo 11, si deben situarse servicios de emergencia propios en el centro de control.

3.5 Actividad del centro de control.—En aquellos túneles que hayan de disponer de centro de control, según el apartado 2.21, incluidos los transfronterizos, aquél será capaz de controlar en su totalidad y en todo momento las condiciones de explotación del túnel.

3.6 Cierre del túnel.—En caso de cierre del túnel (independientemente del tiempo de duración), deberá informarse a los usuarios de los mejores itinerarios alternativos mediante los adecuados sistemas de información. Dichos itinerarios alternativos formarán parte de planes sistemáticos de emergencia. Tendrán como finalidad mantener en lo posible las condiciones de circulación y reducir al mínimo los efectos secundarios en la seguridad de las zonas circundantes.

3.7 Transporte de mercancías peligrosas.—Con excepción de aquellos túneles incluidos dentro de los itinerarios recomendados para el transporte de mercancías peligrosas, no se permitirá el transporte de éstas por los túneles incluidos en el ámbito de esta disposición, salvo que se demuestre que no hay alternativa mas favorable mediante un análisis de riesgo tal como se expone en el artículo 11.

En todo caso, se aplicarán las siguientes medidas en relación con el acceso a los túneles de los vehículos que transportan mercancías peligrosas, tal como las define la normativa vigente en materia de transporte de mercancías peligrosas por carretera:

Colocar la señalización adecuada antes de la última salida posible anterior al túnel y en las entradas del

mismo, así como con una antelación que permita a los conductores optar por itinerarios alternativos.

Estudiar medidas específicas de funcionamiento destinadas a reducir los riesgos relativos a todos o alguno de los vehículos que transportan mercancías peligrosas a través de túneles, como son la declaración antes de entrar en los mismos o la formación de convoyes con vehículos de escolta, teniendo en cuenta cada caso particular, además del mencionado análisis del riesgo.

3.8 Adelantamientos en los túneles.—Se realizará un análisis de riesgo para decidir si es posible autorizar que los vehículos pesados efectúen adelantamientos en los túneles con más de un carril en cada sentido. En los demás casos se prohibirá expresamente el adelantamiento.

3.9 Distancia entre vehículos y velocidad.—La velocidad de los vehículos y la distancia de seguridad entre ellos son especialmente importantes en los túneles y recibirán especial atención. Así, se recomendará a los usuarios de los túneles la velocidad y distancia adecuadas. En condiciones normales, los usuarios de la carretera deberán cumplir la normativa vigente en materia de tráfico y seguridad vial.

4. Campañas de información.—Se organizarán campañas de información sobre la seguridad en los túneles, tomando como base las recomendaciones de las organizaciones internacionales competentes. Dichas campañas de información abordarán el correcto comportamiento de los usuarios de las carreteras al aproximarse a los túneles y al circular por su interior, especialmente por lo que respecta a las averías de los vehículos, la congestión, los accidentes y los incendios. La información sobre los equipos de seguridad disponibles y sobre la conducta correcta del usuario de la carretera en los túneles se facilitará en lugares cómodos para los usuarios de los túneles.

ANEXO II

Aprobación del proyecto, manual de explotación, autorización de puesta en servicio de un túnel, modificaciones y simulacros periódicos

1 Aprobación del proyecto

1.1 Las disposiciones de la presente norma se aplicarán a partir de la fase de proyecto.

1.2 Durante la fase de proyecto, el gestor del túnel reunirá la documentación que constituye el manual de explotación descrita en el punto 2 respecto de cada túnel en fase de proyecto y consultará al responsable de seguridad. El gestor del túnel presentará el manual de explotación a la autoridad administrativa, adjuntando a la misma el dictamen del responsable de seguridad o del organismo de inspección, si existiese.

1.3 El proyecto será aprobado, en su caso, por la autoridad administrativa, la cual informará de su decisión al gestor del túnel.

2 Manual de explotación.

2.1 El gestor del túnel reunirá la documentación que constituye el manual de explotación de cada túnel y la mantendrá permanentemente actualizada. Facilitará al responsable de seguridad una copia de dicha documentación.

2.2 El manual de explotación describirá las medidas necesarias para garantizar la seguridad de los usuarios. Tendrá en cuenta las características de la vía, la configuración de la estructura, el entorno, la naturaleza del tráfico, los márgenes de actuación de los servicios de emergencia

definidos en el artículo 3, con especial consideración a los posibles usuarios con movilidad reducida y con discapacidad.

2.3 En particular, el manual de explotación de un túnel en fase de proyecto incluirá los siguientes extremos:

Una descripción de la estructura prevista, del acceso a la misma y de las instalaciones, junto con los planos necesarios para definir el proyecto y las disposiciones previas de funcionamiento.

Un estudio de previsión del tráfico, en el que se especifiquen y se justifiquen las condiciones que se prevén para el transporte de mercancías peligrosas, junto con el análisis de riesgo contemplado en el punto 3.7 del anexo I.

Un estudio específico de riesgo en el que se describan los posibles accidentes que afecten claramente a la seguridad de los usuarios de los túneles y que puedan ocurrir durante la fase de funcionamiento, así como la naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias; dicho estudio deberá especificar y justificar las medidas para reducir la probabilidad de los accidentes y sus consecuencias.

Un dictamen sobre seguridad emitido por un experto u organización especializados en la materia, que puede ser el organismo de inspección.

2.4 El manual de explotación de un túnel en fase de construcción y previamente a su puesta en servicio, además de los elementos indicados en el punto 2.3, incluirá los siguientes extremos:

Una descripción de la organización, de los recursos humanos y materiales y de las instrucciones dadas por el gestor del túnel para garantizar su funcionamiento y su mantenimiento.

Un plan de respuesta a situaciones de emergencia elaborado conjuntamente con los servicios de emergencia, y con los organismos competentes en materia de protección civil que tenga en cuenta asimismo a las personas con movilidad reducida y a las personas con discapacidad.

Una descripción del sistema permanente de integración de las experiencias que permita registrar y analizar los incidentes y accidentes significativos.

2.5 El manual de explotación de un túnel en servicio incluirá, además de los elementos indicados anteriormente:

Un informe y un análisis de los incidentes y accidentes significativos que se hayan producido desde la entrada en vigor de la presente disposición.

Una relación de los simulacros de seguridad realizados y un análisis de las conclusiones extraídas.

Un plan de mantenimiento de las instalaciones.

Un plan de emergencia redactado por el explotador.

Un plan de formación del personal.

Fichas de incidencias y protocolos de actuación.

3. Autorización de puesta en servicio.

3.1 La puesta en servicio inicial de un túnel estará sujeta a la autorización por parte de la autoridad administrativa, de conformidad con el procedimiento que se describe a continuación.

3.2 Este procedimiento será también aplicable a la apertura de un túnel al tráfico después de cualquier cambio importante en su estructura o modo de funcionamiento, o de cualquier obra de modificación sustancial del túnel que pueda suponer una alteración significativa de algún elemento del manual de explotación.

3.3 El gestor del túnel remitirá el manual de explotación al responsable de seguridad, que emitirá su dictamen sobre la puesta en servicio o reapertura del túnel.

3.4 El gestor del túnel transmitirá dicho manual de explotación a la autoridad administrativa, adjuntando al mismo el dictamen del responsable de seguridad. La autoridad administrativa decidirá si autoriza o no la apertura del túnel al tráfico, o bien si la autoriza en condiciones restrictivas, y lo notificará al gestor del túnel. Se transmitirá una copia de esa decisión a los servicios de emergencia.

4. Modificaciones

4.1 Respecto de cualquier modificación sustancial de la estructura, de las instalaciones o de la explotación que pueda suponer una alteración significativa de algún elemento del manual de explotación, el gestor del túnel pedirá una nueva autorización de funcionamiento mediante el procedimiento descrito en el punto 3.

4.2 El gestor del túnel informará al responsable de seguridad de cualquier otro cambio en la estructura y la explotación. Además, antes de iniciar cualquier obra de modificación del túnel, el gestor del túnel facilitará al responsable de seguridad la documentación que describa la misma.

4.3 El responsable de seguridad estudiará las consecuencias de la modificación y, en cualquier caso, transmitirá su dictamen al gestor del túnel, que enviará una copia del mismo a la autoridad administrativa y a los servicios de emergencia.

5. Simulacros periódicos y ensayos

5.1 El gestor del túnel y los servicios de emergencia organizarán, en cooperación con el responsable de seguridad y con los organismos competentes en materia de protección civil simulacros periódicos conjuntos para el personal del túnel y los servicios exteriores de emergencia.

5.2 Estos simulacros deberán ser lo más realistas que sea posible y corresponderse con las hipótesis de accidente que se hayan definido, proporcionar resultados claros de evaluación, evitar todo daño al túnel y podrán también realizarse, en parte, mediante simulaciones, que proporcionen resultados complementarios.

5.3 Se efectuarán simulacros en cada túnel a escala natural en las condiciones más realistas posibles al menos cada cuatro años. Sólo implicarán el cierre del túnel si pueden adoptarse medidas aceptables para desviar el tráfico. Se efectuarán ejercicios parciales y/o de simulación en todos los años intermedios al periodo indicado. En las zonas en que existan túneles próximos unos a otros, se deberá efectuar el simulacro a escala natural en al menos uno ellos.

5.4 El responsable de seguridad y los servicios de emergencia evaluarán conjuntamente estos simulacros, redactarán un informe y propondrán las medidas apropiadas.

5.5 Periódicamente se efectuarán ensayos internos de incidentes para analizar la efectividad de los protocolos de actuación establecidos.

ANEXO III

Señalización de los túneles

1 Requisitos generales.-Se incluyen en este anexo las señales y símbolos que han de utilizarse en los túneles. Su descripción figura en el Convenio de Viena sobre señalización vial de 1968 y demás normativa vigente en materia de señalización de carreteras y circulación, salvo que se indique lo contrario.

1.1 Se utilizarán señales viales para identificar los siguientes equipos de seguridad de los túneles:

Apartaderos

Salidas de emergencia: se utilizará la misma señal para todos los tipos de salidas de emergencia.

Vías de evacuación: las dos salidas de emergencia más próximas estarán señalizadas en las paredes a distancias no superiores a 25 m, y a una altura de entre 1,0 y 1,5 metros por encima del nivel de la vía de evacuación, con indicación de las distancias que hay hasta las salidas.

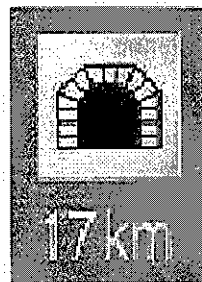
Puestos de emergencia: señales que indiquen la presencia de teléfonos de emergencia y extintores.

1.2 Radio.-En los túneles en los que se pueda recibir información a través de la radio, se indicará a los usuarios antes de la entrada, mediante los signos adecuados, cómo se puede recibir esta información.

1.3 Las señales e indicaciones se diseñarán y situarán de modo que sean claramente visibles.

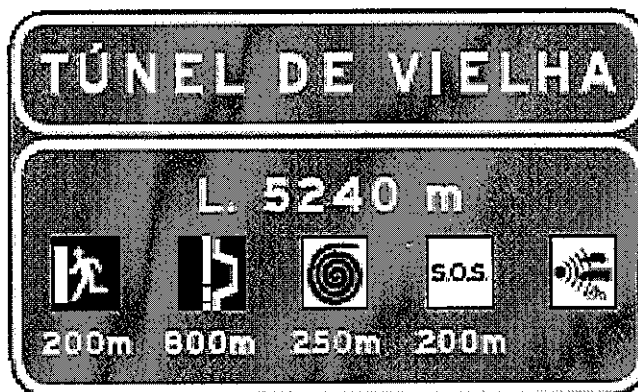
2. Descripción de las señales y paneles.-Se utilizarán las señales adecuadas en la zona de advertencia anterior al túnel, dentro de éste y después del final del mismo.

2.1 Señal de túnel.-Se situará la siguiente señal en cada entrada del túnel:

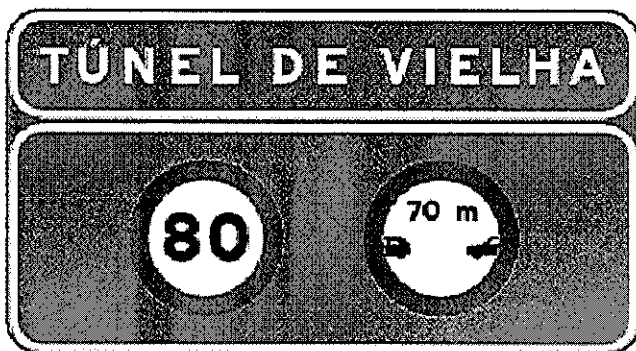


Señal E11A del Convenio de Viena correspondiente a los túneles de carretera

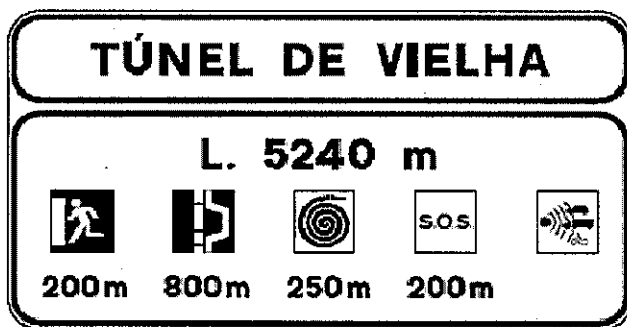
La longitud se indicará ya sea en el panel o en otro panel H2. Asimismo se indicarán las instalaciones de seguridad del túnel y las obligaciones específicas de circulación dentro del mismo (velocidad máxima, separación entre vehículos, etc.) en la forma siguiente:



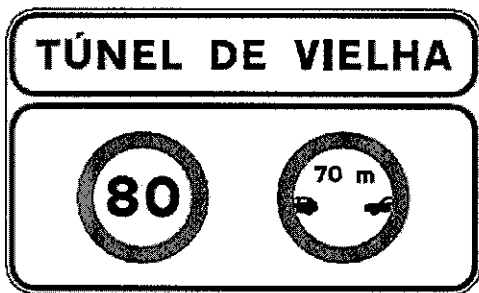
CARTEL AUTOPISTA 1A



CARTEL AUTOPISTA 2A



CARTEL CARRETERA CONVENCIONAL 1A



CARTEL CARRETERA CONVENCIONAL 2A

En el caso de los túneles de longitud superior a 3.000 metros, se indicará cada 1.000 metros la longitud restante del túnel con este mismo tipo de señal.

También podrá indicarse el nombre del túnel.

2.2 Señalización horizontal.—Deberá haber líneas horizontales en el borde de la carretera de acuerdo con la Norma 8.1-IC de la Instrucción de Carreteras sobre señalización horizontal del Ministerio de Fomento.

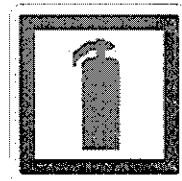
En los túneles bidireccionales, deberán utilizarse a lo largo de la separación entre sentidos, medios claramente visibles para separarlos.

2.3 Señales y paneles para informar de instalaciones.

2.3.1 Estaciones de emergencia.—En las estaciones de emergencia se situarán señales de información, que serán señales acordes con la normativa vigente e indicarán los equipos disponibles para los usuarios de la carretera, como son las siguientes:



Teléfono



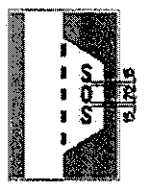
Extintor

En las estaciones de emergencia que estén separadas del túnel por una puerta, se indicará mediante un texto, claramente legible y escrito en varias lenguas, que la estación de emergencia no garantiza protección en caso de incendio. Un ejemplo sería el siguiente:

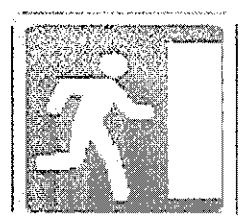
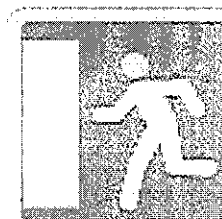
«ESTA ZONA NO PROTEGE DEL FUEGO»

Siga las señales hacia las salidas de emergencia»

2.3.2 Apartaderos.—Las señales que indiquen los apartaderos deben ser señales E acordes con el Convenio de Viena. Los teléfonos y extintores se indicarán mediante un panel adicional o incorporado a la propia señal.



2.3.3 Salidas de emergencia.—Las señales que indiquen las salidas de emergencia deben ser señales G acordes con el Convenio de Viena.



También es necesario señalizar en las paredes las dos salidas más próximas.



2.3.4 Señalización de los carriles.—Estas señales pueden ser circulares o rectangulares.



2.3.5 Señales de mensaje variable.—Estas señales mostrarán indicaciones claras que informen a los usuarios del túnel de las eventuales congestiones, averías, accidentes, incendios u otros peligros.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

9297 REAL DECRETO 584/2006, de 12 de mayo, por el que se determina la estructura, composición y funcionamiento del Consejo Superior de Metrología.

El artículo 149.112ª de la Constitución atribuye la competencia exclusiva al Estado en materia de la legislación sobre Pesas y Medidas. En uso de esta facultad se promulgó la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, que establece el marco general en lo referente a la actividad metrológica en nuestro país y que en su artículo 11.1 crea el Consejo Superior de Metrología, como órgano superior de asesoramiento y coordinación en materia de Metrología Científica, Técnica, Histórica y Legal. Asimismo, al que se confiere carácter interministerial, con la posibilidad de representación de las administraciones autonómica y local, a iniciativa de sus respectivos órganos de gobierno.

Por Real Decreto 415/1985, de 27 de marzo, se reorganizó el Ministerio de la Presidencia, y se constituyó en la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, dependiente de la Subsecretaría, el Centro Español de Metrología, con nivel orgánico de Subdirección General, al que le corresponde «la obtención, conservación, desarrollo y difusión de las unidades básicas de medida; la aprobación de modelos de instrumentos, aparatos, medios y sistemas de medida, así como los correspondientes controles metrológicos; la realización de estudios y análisis de carácter metrológico y operaciones de recalibración de equipos técnicos e industriales, así como la ordenación técnica y administrativa de estas actividades;

y, en general, el desarrollo de las funciones que las disposiciones legales vigentes atribuyen a la Administración del Estado en el campo de la metrología». Inmediatamente después fue aprobado el Real Decreto 1615/1985, de 11 de septiembre, por el que se determina la estructura, composición y funcionamiento del Consejo Superior de Metrología.

Por el artículo 12.7 del Real Decreto 1554/2004, de 25 de junio, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, el Centro Español de Metrología ha sido adscrito a este Departamento ministerial, a través de la Secretaría General de Industria.

En los años transcurridos desde la entrada en vigor del Real Decreto 1615/1985, de 11 de septiembre, se han venido produciendo transferencias a las comunidades autónomas en materia ejecutiva de política metrológica lo que ha obligado a la existencia de facto de un órgano de cooperación que ahora se incorpora al Consejo Superior bajo la denominación de Comisión de Metrología Legal y, de otro lado, la política de conservación de patrones nacionales y el correlativo nombramiento de Laboratorios Asociados, hace necesaria la creación de una Comisión, que también en este caso existe de facto, que coordine la metrología fundamental y la representación española en instituciones internacionales de carácter multilateral. También se recoge esta comisión como órgano del Consejo con la denominación de Comisión de Laboratorios Asociados del Centro Español de Metrología. Resulta, por consiguiente, aconsejable modificar la estructura y composición del Consejo Superior para lograr una mayor operatividad en la consecución de sus objetivos y también para adecuarla a la actual organización de departamentos ministeriales.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Industria, Turismo y Comercio, con la aprobación previa del Ministro de Administraciones Públicas, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 12 de mayo de 2006,

DISPONGO:

Artículo 1. Naturaleza y adscripción.

1. El Consejo Superior de Metrología, creado por el artículo 11 de la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, es el órgano superior de asesoramiento y coordinación del Estado en materia de metrología científica, técnica, histórica y legal.

2. Se adscribe al Ministerio de Industria Turismo y Comercio a través de la Secretaría General de Industria.

Artículo 2. Funciones.

1. A efectos de lo dispuesto en los artículos anteriores, son funciones del Consejo Superior de Metrología:

a) Coordinar las actividades de los departamentos ministeriales relacionadas con la metrología, estableciendo, a tal efecto, los criterios básicos en esta materia.

b) Impulsar el desarrollo de la metrología, de acuerdo con los acuerdos internacionales en los que España sea parte, las normas del Derecho comunitario europeo y las recomendaciones de la comunidad científica, velando por la correcta utilización del Sistema Internacional de Unidades (SI) como sistema legal de unidades de medida.

c) Proponer al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y, a través de éste, en su caso, al Gobierno las acciones necesarias para la obtención, mantenimiento y desarrollo de las unidades básicas y su difusión en todo el

Corrección de errores de la Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

(Diario Oficial de la Unión Europea L 167 de 30 de abril de 2004)

La Directiva 2004/54/CE se leerá como sigue:

**DIRECTIVA 2004/54/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO
de 29 de abril de 2004**

sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA.

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, el apartado 1 de su artículo 71,

Vista la propuesta de la Comisión,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social Europeo ⁽¹⁾,

Visto el dictamen del Comité de las Regiones ⁽²⁾,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 251 del Tratado ⁽³⁾,

Considerando lo siguiente:

- (1) En su Libro Blanco, de 12 de septiembre de 2001, «La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad», la Comisión anunció que propondría requisitos mínimos de seguridad para los túneles que forman parte de la red transeuropea de carreteras
- (2) El sistema de transporte, en particular la red transeuropea de carreteras definida en la Decisión n° 1692/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de julio de 1996, sobre las orientaciones comunitarias para el desarrollo de la red transeuropea de transporte ⁽⁴⁾, es de importancia capital para respaldar la integración europea y garantizar a los ciudadanos europeos un alto nivel de bienestar. La Comunidad Europea tiene la responsabilidad de garantizar, en la red transeuropea de carreteras, un nivel de seguridad, de servicio y de comodidad elevado, uniforme y constante.
- (3) Los túneles largos de longitud superior a 500 metros son estructuras importantes que facilitan la comunicación entre grandes zonas de Europa y desempeñan un papel decisivo en el funcionamiento y el desarrollo de las economías regionales

⁽¹⁾ DO C 220 de 16.9.2003, p. 26

⁽²⁾ DO C 256 de 24.10.2003, p. 64

⁽³⁾ Dictamen del Parlamento Europeo de 9 de octubre de 2003 (no publicado aún en el Diario Oficial), Posición Común del Consejo de 26 de febrero de 2004 (DO C 95 E de 20.4.2004, p. 31) y Posición del Parlamento Europeo de 20 de abril de 2004 (no publicada aún en el Diario Oficial).

⁽⁴⁾ DO L 228 de 9.9.1996, p. 1; Decisión cuya última modificación la constituye el Acta de adhesión

(4) El Consejo Europeo ha destacado, en varias ocasiones, en particular en su reunión de los días 14 y 15 de diciembre de 2001 en Laeken, que urge adoptar medidas para mejorar la seguridad de los túneles

(5) El 30 de noviembre de 2001, los Ministros de Transporte de Austria, Francia, Alemania, Italia y Suiza se reunieron en Zurich y adoptaron una declaración común en la que se recomendaba que la legislación nacional se alineara con los requisitos armonizados más recientes para mejorar la seguridad de los túneles de gran longitud.

(6) Dado que los objetivos de la acción pretendida, a saber, la consecución de un nivel de protección uniforme, constante y elevado para todos los ciudadanos europeos en los túneles de carretera, no pueden ser alcanzados de manera suficiente por los Estados miembros y, por consiguiente, debido al nivel de armonización requerido pueden lograrse mejor a nivel comunitario, la Comunidad puede adoptar medidas, de acuerdo con el principio de subsidiariedad consagrado en el artículo 5 del Tratado. De conformidad con el principio de proporcionalidad, enunciado en dicho artículo, la Directiva no excede de lo necesario para alcanzar dichos objetivos

(7) Los accidentes en túneles ocurridos recientemente subrayan su importancia, desde el punto de vista humano, económico y cultural.

(8) Algunos de los túneles que hay en Europa entraron en servicio hace mucho tiempo y fueron proyectados en una época en que las posibilidades técnicas y las condiciones del transporte eran muy distintas de las de hoy en día. Hay pues discrepancias en los niveles de seguridad, que deben ser reforzados.

(9) La seguridad de los túneles requiere una serie de medidas relacionadas, entre otros aspectos, con la geometría del túnel y su diseño, el equipamiento de seguridad, incluida la señalización vial, la gestión del tráfico, la formación de los miembros de los servicios de emergencia, la gestión de incidentes, la información dirigida a los usuarios sobre la mejor manera de actuar en un túnel, así como una mejor comunicación entre las autoridades responsables y los servicios de emergencia, tales como la policía, los bomberos y los equipos de rescate.

- (10) Como han demostrado los trabajos de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas, el comportamiento de los usuarios de las carreteras constituye un aspecto decisivo de la seguridad de los túneles
- (11) Las medidas de seguridad permitirán que las personas afectadas por incidentes puedan ponerse a salvo; permitirán la intervención inmediata de los usuarios de la carretera para evitar mayores consecuencias; garantizarán la actuación eficaz de los servicios de emergencia, y protegerán el medio ambiente y limitarán los daños materiales.
- (12) Las mejoras que aporta la presente Directiva afectarán favorablemente a las condiciones de seguridad para todos los usuarios, incluidas las personas con discapacidad. No obstante, dado que las personas con discapacidad tienen mayores dificultades para ponerse a salvo en caso de emergencia, debe prestarse especial atención a su seguridad
- (13) Con el fin de poner en práctica un planteamiento equilibrado y debido al elevado coste de estas medidas, se debería fijar un equipamiento mínimo de seguridad, teniendo en cuenta el tipo y el volumen de tráfico previsto de cada túnel.
- (14) Algunos organismos internacionales como la Asociación Mundial de la Carretera y la CEPE llevan largo tiempo haciendo recomendaciones muy valiosas sobre cómo mejorar y armonizar el equipamiento de seguridad y las normas de tráfico en los túneles de carretera. No obstante, dichas recomendaciones no son vinculantes, y la única forma de aprovechar plenamente su potencial es hacer obligatorios, mediante la legislación, los requisitos que en ellas se definen
- (15) Mantener un nivel elevado de seguridad requiere un correcto mantenimiento de los sistemas de seguridad de los túneles. Debe organizarse de modo sistemático, un intercambio de información entre los Estados miembros sobre técnicas modernas de seguridad y de datos relativos a accidentes e incidentes.
- (16) Con objeto de garantizar que los requisitos de la presente Directiva sean debidamente aplicados por los gestores de los túneles, los Estados miembros deben designar a una o varias autoridades a escala nacional, regional o local responsables de garantizar la observancia de todos los aspectos de la seguridad de un túnel.
- (17) La aplicación de la presente Directiva requiere un calendario flexible y progresivo que permita llevar a cabo las obras más urgentes sin perturbar excesivamente el sistema de transporte ni generar estrangulamientos en las obras públicas de los Estados miembros.
- (18) El coste de remodelación de los túneles existentes varía considerablemente de un Estado miembro a otro, sobre todo por motivos geográficos; debe permitirse a los Estados miembros que espacien las obras de remodelación necesarias para cumplir los requisitos de la presente Directiva en los casos en que la densidad de los túneles en sus territorios exceda considerablemente la media europea
- (19) Por lo que se refiere a los túneles que ya estén en servicio o a aquellos cuyo proyecto se haya aprobado pero que no se hayan abierto al público en los 24 meses posteriores a la entrada en vigor de la presente Directiva, debe permitirse a los Estados miembros que acepten la adopción de medidas de reducción del riesgo como alternativa a los requisitos de la Directiva, en los casos en que no sea posible poner en práctica soluciones estructurales con un coste razonable
- (20) Se siguen precisando avances técnicos para mejorar la seguridad de los túneles. Debe introducirse un procedimiento que permita a la Comisión adaptar los requisitos de la presente Directiva a los avances técnicos. Dicho procedimiento debe emplearse asimismo para adoptar un método armonizado de análisis del riesgo
- (21) Procede aprobar las medidas necesarias para la aplicación de la presente Directiva con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión ⁽¹⁾
- (22) Los Estados miembros deben presentar a la Comisión un informe sobre las medidas que piensan adoptar para cumplir los requisitos de la presente Directiva, con el fin de sincronizar las obras a escala comunitaria y poder, de este modo, reducir las perturbaciones del tráfico
- (23) Cuando los requisitos de la presente Directiva exijan la construcción de un segundo tubo en un túnel en la fase de proyecto o construcción, el segundo tubo que deba construirse debe ser considerado como un nuevo túnel. Lo mismo debe aplicarse si los requisitos de la presente Directiva incluyen la apertura de nuevos procedimientos de planificación jurídicamente vinculantes, incluido el examen de los permisos de planificación para todas las medidas conexas
- (24) El trabajo en los foros apropiados debe continuar para lograr un amplio grado de armonización en lo relativo a las señales y pictogramas utilizados en las señales de mensaje variable que se usan en los túneles. Se insta a los Estados miembros a que armonicen el interfaz de usuarios en todos los túneles de su territorio

⁽¹⁾ DO L 184 de 17 7 1999, p. 23

- (25) Debe alentarse a los Estados miembros a que pongan en práctica niveles de seguridad comparables para los túneles de carretera situados en su territorio que no forman parte de la red transeuropea de carreteras y que, por lo tanto, no entran en el ámbito de aplicación de la presente Directiva
- (26) Debe alentarse a los Estados miembros a que elaboren disposiciones nacionales orientadas a lograr un nivel más elevado de seguridad de los túneles

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

Artículo 1

Objeto y ámbito de aplicación

1. La presente Directiva tiene por objeto garantizar un nivel mínimo de seguridad a los usuarios de la carretera en los túneles de la red transeuropea de carreteras mediante la prevención de situaciones críticas que puedan poner en peligro la vida humana, el medio ambiente y las infraestructuras de los túneles y mediante la protección en caso de accidente
2. Será aplicable a todos los túneles de la red transeuropea de carreteras cuya longitud supere los 500 metros, tanto si están en servicio como si se encuentran en fase de construcción o de proyecto.

Artículo 2

Definiciones

A efectos de la presente Directiva, serán aplicables las siguientes definiciones:

- 1) Por «red transeuropea de carreteras», se entenderá la red de carreteras reseñada en la sección 2 del anexo I de la Decisión n° 1692/96/CE e ilustrada mediante mapas y/o descrita en el anexo II de dicha Decisión
- 2) Por «servicios de emergencia», se entenderá todos los servicios locales, tanto si son públicos o privados como si forman parte del personal del túnel, que intervienen en caso de accidente, y que incluyen a los servicios de policía, los bomberos y los equipos de rescate.
- 3) Por «longitud del túnel», se entenderá la longitud del carril más largo de circulación, medido en la parte totalmente cubierta del túnel

Artículo 3

Medidas de seguridad

1. Los Estados miembros garantizarán que los túneles situados en su territorio que entren en el ámbito de aplicación de la presente Directiva cumplan los requisitos mínimos de seguridad establecidos en el anexo I.
2. En los casos en que determinados requisitos estructurales establecidos en el anexo I sólo puedan satisfacerse recurriendo a soluciones técnicas que o bien no puedan cumplirse o que

sólo puedan cumplirse con un coste desproporcionado, la autoridad administrativa a que se refiere el artículo 4 podrá aceptar que, como alternativa a dichos requisitos, se apliquen medidas de reducción del riesgo, siempre y cuando las medidas alternativas den lugar a una protección equivalente o mayor. La eficacia de dichas medidas deberá demostrarse mediante un análisis del riesgo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 13. Los Estados miembros informarán a la Comisión de las medidas de reducción del riesgo aceptadas a modo de alternativa, y presentarán la correspondiente justificación. El presente apartado no será aplicable a los túneles que se encuentren en fase de proyecto a los que se refiere el artículo 9.

3. Los Estados miembros podrán especificar requisitos más estrictos, siempre que no contravengan lo dispuesto en la presente Directiva.

Artículo 4

Autoridad administrativa

1. Los Estados miembros designarán a una o varias autoridades administrativas, denominadas en lo sucesivo «la autoridad administrativa», que asumirán la responsabilidad de garantizar el respeto de todos los aspectos relacionados con la seguridad en los túneles y que tomarán las disposiciones necesarias para garantizar el cumplimiento de la presente Directiva.
2. La autoridad administrativa podrá instituirse a escala nacional, regional o local.
3. Cada túnel de la red transeuropea situado en el territorio de un solo Estado miembro será responsabilidad de una sola autoridad administrativa. Si un túnel está situado en el territorio de dos Estados miembros, o bien cada Estado miembro designará a una autoridad administrativa, o bien, como alternativa, los dos Estados miembros designarán a una autoridad administrativa conjunta. En caso de que existan dos autoridades administrativas distintas, las decisiones de cada una de ellas, al ejercer sus respectivas competencias y responsabilidades relativas a la seguridad del túnel, se adoptarán con el acuerdo previo de la otra autoridad.
4. La autoridad administrativa autorizará los túneles según se indica en el anexo II.
5. Sin perjuicio de futuras disposiciones al respecto a escala nacional, la autoridad administrativa tendrá el poder de suspender o restringir el funcionamiento de un túnel si no cumple los requisitos de seguridad. Especificará las condiciones necesarias para restablecer el tráfico normal.
6. La autoridad administrativa garantizará que se realicen las siguientes tareas:
 - a) comprobar e inspeccionar los túneles con regularidad y elaborar los requisitos de seguridad pertinentes;
 - b) establecer los planes de organización y de funcionamiento (incluidos los planes de respuesta a situaciones de emergencia) para la formación y el equipamiento de los servicios de emergencia;

- c) determinar el procedimiento de cierre inmediato del túnel en caso de emergencia;
- d) poner en práctica las medidas de reducción del riesgo que resulten necesarias.

7 Cuando antes de la designación a que se refiere el presente artículo existieran ya órganos designados como autoridades administrativas, dichas autoridades administrativas continuarán ejerciendo sus actividades anteriores, siempre que cumplan la presente Directiva

Artículo 5

El gestor del túnel

1 Para cada túnel situado en el territorio de un Estado miembro, ya se encuentre en fase de proyecto, construcción o funcionamiento, la autoridad administrativa establecerá como gestor del túnel al organismo público o privado responsable de la gestión del túnel en la fase correspondiente. La propia autoridad administrativa podrá ejercer esa función

2 Para cada túnel situado en el territorio de dos Estados miembros, las dos autoridades administrativas o la Autoridad administrativa común deberán reconocer a un único organismo encargado del funcionamiento del túnel

3. Cualquier incidente o accidente significativo que ocurra en un túnel será objeto de un informe de incidencias elaborado por el gestor del túnel. Dicho informe se transmitirá al responsable de seguridad mencionado en el artículo 6, a la autoridad administrativa, así como a los servicios de emergencia, en el plazo máximo de un mes.

4 Cuando se redacte un informe de investigación en el que se analicen las circunstancias del incidente o accidente a que se refiere el apartado 3, o las conclusiones que se puedan extraer de éste, el gestor del túnel transmitirá dicho informe al responsable de seguridad, a la autoridad administrativa y a los servicios de emergencia, en el plazo máximo de un mes a partir del momento en que él lo haya recibido.

Artículo 6

El responsable de seguridad

1. Para cada túnel, el gestor del túnel nombrará a un responsable de seguridad que deberá haber sido aceptado previamente por la autoridad administrativa y que coordinará todas las medidas preventivas y de salvaguardia, a fin de garantizar la seguridad de los usuarios y del personal. El responsable de seguridad podrá formar parte de la plantilla del túnel o de los servicios de emergencia, deberá ser independiente en todos los asuntos relacionados con la seguridad del túnel y no deberá recibir, en relación con estos asuntos, ninguna instrucción de sus superiores. Un mismo responsable de seguridad podrá realizar sus tareas y funciones en varios túneles de una misma región.

2 El responsable de seguridad realizará las siguientes tareas o funciones:

- a) asegurar la coordinación con los servicios de emergencia y participar en la preparación de los planes de actuación;

- b) participar en la planificación, puesta en práctica y evaluación de las operaciones de emergencia;

- c) participar en la definición de los planes de seguridad y en la especificación de la estructura, equipamiento y funcionamiento, tanto en lo que se refiere a los túneles nuevos como a las modificaciones de los túneles existentes;

- d) verificar la formación del personal del túnel y de los servicios de emergencia y participar en la organización de simulacros, que se realizarán periódicamente;

- e) asesorar a la hora de autorizar la estructura, el equipamiento y el funcionamiento de los túneles;

- f) verificar el mantenimiento y las reparaciones de estructura y equipamiento de los túneles;

- g) participar en la evaluación de cualquier incidente o accidente importante, tal y como se definen en los apartados 3 y 4 del artículo 5

Artículo 7

Organismos de inspección

Los Estados miembros garantizarán que los organismos de inspección lleven a cabo inspecciones, evaluaciones y pruebas. La autoridad administrativa podrá desempeñar esta función. Todo organismo que realice inspecciones, evaluaciones y pruebas deberá tener un elevado grado de competencia y un alto nivel de calidad en sus procedimientos y ser funcionalmente independiente del gestor del túnel

Artículo 8

Notificación de la autoridad administrativa

Los Estados miembros notificarán a la Comisión los nombres y direcciones de la autoridad administrativa a más tardar el 1 de mayo de 2006. Los cambios subsiguientes que se produzcan en estos datos deberán ser notificados en el plazo de tres meses.

Artículo 9

Túneles cuyo proyecto no se haya aprobado todavía

1. Cualquier túnel cuyo proyecto no haya sido aprobado por la autoridad administrativa responsable a más tardar el 1 de mayo de 2006 estará sujeto a lo dispuesto en la presente Directiva.

2 El túnel recibirá autorización, de conformidad con el procedimiento que figura en el anexo II.

Artículo 10

Túneles cuyo proyecto se ha aprobado pero que no están todavía en servicio

1. Por lo que respecta a los túneles cuyo proyecto se haya aprobado pero que no se hayan abierto al tráfico a más tardar el 1 de mayo de 2006 la autoridad administrativa evaluará el cumplimiento de los requisitos de la presente Directiva, con referencia específica a la documentación de seguridad a que se refiere el anexo II

2. Si la autoridad administrativa comprueba que un túnel no se ajusta a las disposiciones de la presente Directiva, comunicará al gestor del túnel que han de adoptarse las medidas pertinentes que sean necesarias para incrementar la seguridad e informará al responsable de seguridad.

3. A continuación, el túnel recibirá autorización, de conformidad con el procedimiento establecido en el anexo II.

Artículo 11

Túneles que ya están en servicio

1. Por lo que respecta a los túneles que estén abiertos a la circulación pública a más tardar el 30 de abril de 2006, la autoridad administrativa tendrá hasta el 30 de octubre de 2006 para valorar si el túnel cumple los requisitos de la presente Directiva, con referencia específica a la documentación de seguridad a que se refiere el anexo II y basándose en una inspección.

2. Si es necesario, el gestor del túnel propondrá a la autoridad administrativa un plan para adaptar el túnel a las disposiciones de la presente Directiva, junto con las medidas paliativas que tenga intención de aplicar.

3. La autoridad administrativa dará su aprobación a las medidas paliativas o pedirá que se modifiquen.

4. Posteriormente, si las medidas paliativas incluyen cualquier tipo de modificación sustancial de la construcción o del funcionamiento, una vez tomadas estas medidas, se aplicará el procedimiento que figura en el anexo II.

5. Los Estados miembros presentarán, a más tardar el 30 de abril de 2007, a la Comisión un informe sobre el modo en que tienen previsto cumplir los requisitos de la presente Directiva, sobre las medidas previstas y, cuando proceda, sobre las consecuencias de la apertura o clausura de las principales vías de acceso a los túneles. A fin de reducir al mínimo las perturbaciones del tráfico a escala europea, la Comisión podrá hacer comentarios sobre el calendario de las obras destinadas a dar cumplimiento a esta Directiva.

6. La remodelación de los túneles se llevará a cabo de acuerdo con un calendario y deberá haber concluido a más tardar el 30 de abril de 2014.

7. Cuando la longitud total de los tubos existentes, dividida por la longitud total de la parte de la red transeuropea de carreteras situada en sus territorios, exceda la media europea, los Estados miembros podrán ampliar en cinco años el período establecido en el apartado 6.

Artículo 12

Inspecciones periódicas

1. La autoridad administrativa verificará que el organismo de inspección realiza inspecciones periódicas para asegurarse de que todos los túneles sujetos a la presente Directiva cumplen sus disposiciones.

2. El período entre dos inspecciones consecutivas de un determinado túnel no será superior a seis años.

3. Cuando, a tenor de un informe del organismo de inspección, la autoridad administrativa compruebe que un túnel no cumple lo dispuesto en la presente Directiva, comunicará al gestor del túnel y al responsable de seguridad que han de adoptarse medidas para incrementar la seguridad del túnel. La autoridad administrativa determinará las condiciones que deberán aplicarse, hasta que haya concluido la aplicación de las medidas paliativas, para que el túnel siga funcionando o para su reapertura, así como las demás restricciones o condiciones pertinentes.

4. Si las medidas paliativas incluyen cualquier tipo de modificación sustancial de la construcción o del funcionamiento, una vez tomadas estas medidas, deberá contarse con una nueva autorización para que el túnel funcione según el procedimiento que figura en el anexo II.

Artículo 13

Análisis del riesgo

1. Los análisis del riesgo serán realizados, cuando resulten necesarios, por un organismo funcionalmente independiente del gestor del túnel. El contenido y los resultados de los análisis del riesgo se incluirán en la documentación de seguridad que se remita a la autoridad administrativa. Un análisis del riesgo de un determinado túnel tiene en cuenta todos los factores de proyecto y todas las condiciones del tráfico que afectan a la seguridad, en particular las características del tráfico, la longitud del túnel, el tipo de tráfico y la geometría del túnel, así como el número previsto de camiones por día.

2. Los Estados miembros garantizarán que se emplee a escala nacional una metodología detallada y bien definida, en consonancia con las mejores prácticas disponibles, e informarán a la Comisión de la metodología aplicada; la Comisión pondrá esta información a disposición de los demás Estados miembros en formato electrónico.

3. A más tardar el 30 de abril de 2009, la Comisión publicará un informe sobre la práctica aplicada en los Estados miembros. Cuando resulte necesario, propondrá la adopción de una metodología común armonizada de análisis del riesgo, conforme al procedimiento mencionado en el apartado 2 del artículo 17.

Artículo 14

Excepción por técnicas innovadoras

1. A fin de permitir que se instalen y utilicen equipamientos de seguridad innovadores o que se utilicen procedimientos de seguridad innovadores que proporcionen una protección equivalente o mayor que las tecnologías actuales prescritas en la presente Directiva, la autoridad administrativa podrá conceder una excepción respecto de los requisitos de la presente Directiva, previa petición debidamente documentada del gestor del túnel.

2 Si la autoridad administrativa tiene la intención de conceder la excepción, el Estado miembro deberá, en primer lugar, enviar a la Comisión una solicitud de excepción que incluya la petición original y la opinión del organismo de inspección

3 La Comisión notificará la solicitud a los Estados miembros durante el mes posterior a su recepción.

4 Si, en el plazo de tres meses, ni la Comisión ni ningún Estado miembro formulan objeciones, se considerará aceptada la excepción y la Comisión informará a los Estados miembros según corresponda

5 Si se formulan objeciones, la Comisión hará una propuesta de acuerdo con el procedimiento mencionado en el apartado 2 del artículo 17. Si la decisión es negativa, la autoridad administrativa no concederá la excepción.

6 Previo examen según el procedimiento mencionado en el apartado 2 del artículo 17, una decisión de conceder una excepción podrá permitir que esta excepción se aplique a otros túneles.

7 Siempre que lo justifiquen las solicitudes de excepción presentadas, la Comisión publicará un informe sobre las prácticas aplicadas por los Estados miembros y, si procede, hará propuestas de modificación de la presente Directiva

Artículo 15

Informes

1. Cada dos años, los Estados miembros elaborarán informes sobre accidentes e incendios en túneles que claramente afecten a la seguridad de los usuarios, así como sobre la frecuencia y las causas de dichos incidentes, los evaluarán y proporcionarán información sobre la función y eficacia reales de las instalaciones y medidas de seguridad. Remitirán dichos informes a la Comisión antes del fin del mes de septiembre del año siguiente al periodo sobre el que versen. La Comisión pondrá esos informes a disposición de todos los Estados miembros

2 Los Estados miembros establecerán un plan que incluya un calendario para la aplicación por etapas de las disposiciones de la presente Directiva a los túneles que ya estén en servicio, tal como se describe en el artículo 11, y lo comunicarán a la Comisión a más tardar el 30 de octubre de 2006. Posteriormente, los Estados miembros informarán a la Comisión cada dos años acerca del estado de aplicación del plan y de las posibles adaptaciones del mismo, hasta que finalice el período a que se refieren los apartados 6 y 7 del artículo 11.

Artículo 16

Adaptación a los avances técnicos

La Comisión adaptará los anexos de la presente Directiva a los avances técnicos, de acuerdo con el procedimiento mencionado en el apartado 2 del artículo 17.

Artículo 17

Procedimiento del Comité

1. La Comisión estará asistida por un Comité

2 En los casos en que se haga referencia al presente apartado, serán de aplicación los artículos 5 y 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8

El plazo contemplado en el apartado 6 del artículo 5 de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses

3. El Comité aprobará su reglamento interno

Artículo 18

Incorporación al Derecho nacional

1. Los Estados miembros adoptarán las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva a más tardar el 30 de abril de 2006. Comunicarán de inmediato a la Comisión el texto de estas disposiciones, así como un cuadro de correspondencias entre estas disposiciones y la presente Directiva.

2 Las disposiciones adoptadas por los Estados miembros incluirán una referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia

Artículo 19

Entrada en vigor

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

Artículo 20

Los destinatarios de la presente Directiva son los Estados miembros

Hecho en Estrasburgo, el 29 de abril de 2004

Por el Parlamento Europeo

El Presidente

P. COX

Por el Consejo

El Presidente

M. McDOWELL

ANEXO I

Medidas de seguridad a que se refiere el artículo 3

1. Bases para decidir las medidas de seguridad
 - 1.1. Parámetros de seguridad
 - 1.1.1. Las medidas de seguridad que habrán de aplicarse en un túnel se basarán en un estudio sistemático de todos los aspectos del sistema compuesto por la infraestructura, el funcionamiento, los usuarios y los vehículos
 - 1.1.2. Se tendrán en cuenta los parámetros siguientes:
 - longitud del túnel
 - número de tubos.
 - número de carriles.
 - geometría de la sección transversal.
 - alineamiento vertical y horizontal
 - tipo de construcción,
 - tráfico unidireccional o bidireccional,
 - volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución en el tiempo)
 - riesgo de congestión (diaria o de temporada),
 - tiempo de acceso de los servicios de emergencia,
 - presencia y porcentaje de camiones.
 - presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas.
 - características de las vías de acceso.
 - anchura de carril,
 - consideraciones en materia de velocidad,
 - medio geográfico y meteorológico
 - 1.1.3. Cuando un túnel tenga características especiales en lo que se refiere a los parámetros antedichos, deberá llevarse a cabo un análisis del riesgo de conformidad con el artículo 13 para establecer si son necesarias medidas adicionales de seguridad o equipamiento complementario para garantizar un alto nivel de seguridad del túnel. Dicho análisis del riesgo tomará en consideración los posibles accidentes que afecten claramente a la seguridad de los usuarios de los túneles y que puedan ocurrir durante la fase de funcionamiento así como la naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias
 - 1.2. Requisitos mínimos
 - 1.2.1. Deberán aplicarse los requisitos mínimos de seguridad indicados en los puntos siguientes para garantizar un nivel mínimo de seguridad en los túneles a los que se aplica la Directiva. Podrán permitirse desviaciones limitadas de estos requisitos siempre que se lleve a término con éxito el procedimiento siguiente
- Los Estados miembros o la autoridad administrativa enviarán a la Comisión información sobre los siguientes aspectos:
- la desviación limitada o las desviaciones limitadas que se prevean.
 - las razones imperativas en las que se basa la desviación limitada prevista,
 - las medidas de reducción del riesgo alternativas que vayan a adoptarse o a reforzarse con objeto de garantizar al menos un nivel equivalente de seguridad incluidas pruebas en forma de un análisis de los riesgos correspondientes
- La Comisión transmitirá la solicitud de desviación limitada a los Estados miembros cuanto antes y en cualquier caso dentro del mes siguiente a la recepción.

Si, a los tres meses de la recepción de la solicitud por la Comisión, ni la Comisión ni ningún Estado miembro formularan objeciones, la desviación limitada se considerará aceptada y la Comisión informará a todos los Estados miembros en consecuencia. Si se expresaran objeciones, la Comisión presentará una propuesta con arreglo al procedimiento a que se refiere el apartado 2 del artículo 17. Cuando la decisión sea negativa no se autorizará la desviación limitada.

- 1 2.2 A fin de proporcionar un interfaz unificado en todos los túneles a los que se aplique la presente Directiva, no se permitirá desviación alguna de los requisitos de los puntos siguientes en lo que se refiere al diseño de las instalaciones de seguridad del túnel que están a disposición de los usuarios (emisoras de emergencia, señales, apartaderos, salidas de emergencia, retransmisión por radio cuando resulte necesario)
- 1 3 Volumen de tráfico
- 1 3.1 A los efectos del presente anexo el «volumen de tráfico» designa la media anual de tráfico diario por carril del túnel. Para la determinación del volumen de tráfico, cada vehículo de motor se contará como una unidad
- 1 3.2 Cuando el número de camiones de más de 3,5 toneladas supere el 15 % de la media anual de tráfico diario, o cuando un tráfico diario de temporada supere significativamente la media anual de tráfico diario, el riesgo adicional se evaluará y se tendrá en cuenta incrementando la cifra de volumen de tráfico en el túnel para la aplicación de los puntos siguientes
- 2 Medidas de infraestructura
- 2 1 Número de tubos y carriles
- 2 1.1 Los principales criterios para decidir si se construye un túnel de un tubo o de dos serán el volumen de tráfico previsto y la seguridad, teniendo en cuenta aspectos como el porcentaje de camiones, la pendiente y la longitud
- 2 1.2 En cualquier caso, tratándose de túneles que se encuentran en fase de proyecto, cuando las previsiones a 15 años vista muestren que el volumen de tráfico llegará a superar los 10 000 vehículos por día y carril, deberá existir un túnel de dos tubos de tráfico unidireccional en el momento en que se exceda dicho valor
- 2 1.3 Con excepción del carril de emergencia, se mantendrá el mismo número de carriles, tanto dentro como fuera del túnel. Cualquier cambio del número de carriles se producirá a una distancia suficiente de la boca del túnel; esta distancia será, como mínimo, la distancia recorrida en 10 segundos por un vehículo que se desplace a la velocidad máxima autorizada. Si circunstancias geográficas impidiesen que pueda respetarse esta distancia, se tomarán medidas adicionales o reforzadas para aumentar la seguridad
- 2 2 Geometría del túnel
- 2 2.1 Se tendrá especialmente en cuenta la seguridad al proyectar la geometría de la sección transversal y la alineación horizontal y vertical del túnel y sus vías de acceso, ya que estos parámetros tienen una gran influencia en la probabilidad y gravedad de los accidentes
- 2 2.2 No se permitirá la existencia de pendientes longitudinales superiores al 5 % en los túneles nuevos, a menos que no sea geográficamente factible ninguna otra solución
- 2 2.3 En los túneles con pendientes superiores al 3 %, se adoptarán medidas adicionales o reforzadas o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en un análisis de riesgo
- 2 2.4 Cuando la anchura del carril lento sea inferior a 3,5 metros y se permita la circulación de vehículos, se adoptarán medidas adicionales o reforzadas, o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en un análisis de riesgo
- 2 3 Vías de evacuación y salidas de emergencia
- 2 3.1 En los túneles nuevos sin carril de emergencia, se habilitarán pasarelas de emergencia, elevadas o no, para que los usuarios del túnel las empleen en caso de avería o accidente. Esta disposición no se aplicará cuando las características de la construcción del túnel no lo permitan o sólo lo permitan con costes desproporcionados y cuando el túnel sea unidireccional y disponga de vigilancia permanente y de sistema de cierre de los carriles
- 2 3.2 En los túneles ya existentes que no tengan ni carril de emergencia ni pasarela de evacuación, se tomarán medidas adicionales o reforzadas para proporcionar seguridad
- 2 3.3 Las salidas de emergencia permitirán a los usuarios del túnel utilizarlas para abandonar el túnel sin sus vehículos y llegar a un lugar seguro en caso de accidente o incendio y también proporcionarán acceso a pie a los servicios de emergencia del túnel. Ejemplos de esas salidas de emergencia:
- salidas directas del túnel al exterior.
 - conexiones transversales entre tubos de túnel
 - salidas a una galería de emergencia
 - refugios con vía de evacuación separada del tubo del túnel.

- 2.3.4 No se construirán refugios que carezcan de salida a vías de evacuación al exterior.
- 2.3.5 Se habilitarán salidas de emergencia si los análisis de los riesgos pertinentes, entre ellos la extensión del humo y la velocidad de su propagación en condiciones locales, demuestran que la ventilación y demás medidas de seguridad son insuficientes para garantizar la seguridad de los usuarios de la carretera.
- 2.3.6 En cualquier caso, en los túneles nuevos se habilitarán salidas de emergencia cuando el volumen de tráfico sea superior a 2 000 vehículos por carril.
- 2.3.7 En los túneles ya existentes de longitud superior a 1 000 metros con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, se evaluará la viabilidad y eficacia de crear nuevas salidas de emergencia.
- 2.3.8 Cuando se hayan habilitado salidas de emergencia, la distancia entre dos salidas de emergencia no será superior a 500 metros.
- 2.3.9 Se impedirá la propagación de humo y de calor a las vías de evacuación situadas tras la salida de emergencia por medios adecuados, de forma que los usuarios del túnel puedan llegar al exterior con seguridad y los servicios de emergencia puedan acceder al túnel.
- 2.4 Acceso de los servicios de emergencia
- 2.4.1 En túneles de dos tubos en los que los tubos estén al mismo nivel o casi, las conexiones transversales deberán poder permitir el uso de los servicios de emergencia al menos cada 1 500 metros.
- 2.4.2 Siempre que sea geográficamente factible, se posibilitará el cruce de la mediana (zona central) fuera de cada boca de los túneles de dos o más tubos. De este modo, los servicios de emergencia podrán acceder inmediatamente a cualquiera de los tubos.
- 2.5 Apartaderos
- 2.5.1 En los túneles bidireccionales de longitud superior a 1 500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, deberán habilitarse apartaderos a distancias no superiores a los 1 000 metros, caso de que no estén previstos carriles de emergencia.
- 2.5.2 En los túneles bidireccionales ya existentes de longitud superior a 1 500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, que no dispongan de carriles de emergencia, se evaluará la viabilidad y eficacia de crear apartaderos.
- 2.5.3 Cuando las características de la construcción del túnel no lo permitan o sólo lo permitan con costes desproporcionados, no será preciso habilitar apartaderos si la anchura total del túnel accesible para los vehículos, excluyendo las partes elevadas y los carriles normales de circulación, es al menos igual a la anchura de un carril normal.
- 2.5.4 Los apartaderos contarán con una estación de emergencia.
- 2.6 Drenaje
- 2.6.1 Si se permite el transporte de mercancías peligrosas, deberá haber alcantarillas de ranuras bien diseñadas, u otros dispositivos, situadas dentro de las secciones transversales de los túneles, que permitan el drenaje de líquidos tóxicos e inflamables. Además, el sistema de drenaje deberá diseñarse y mantenerse de manera que se evite que el fuego y los líquidos inflamables y tóxicos se propaguen dentro de un tubo o entre tubos.
- 2.6.2 Al decidir si se permite el transporte de productos peligrosos, basándose en un análisis de los riesgos correspondientes, se tendrá en cuenta si en los túneles existentes no se pueden cumplir tales requisitos o sólo se pueden cumplir con costes desproporcionados.
- 2.7 Resistencia de las estructuras a los incendios
- La estructura principal de todos los túneles en los que el derrumbamiento local de la estructura pueda tener consecuencias catastróficas (por ejemplo, túneles subacuáticos o túneles que puedan causar el colapso de estructuras próximas de importancia) garantizará un nivel suficiente de resistencia al fuego.
- 2.8 Iluminación
- 2.8.1 La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche, tanto en la zona de entrada como en el interior del túnel.
- 2.8.2 La iluminación de seguridad se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica.
- 2.8.3 La iluminación de evacuación, por ejemplo las señales luminosas, estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proporcionarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie en caso de emergencia.

2.9 Ventilación

2.9.1. El proyecto la construcción y el funcionamiento deberán tener en cuenta:

- el control de los contaminantes emitidos por los vehículos de carretera en un flujo de tráfico normal y denso.
- el control de los contaminantes emitidos por vehículos de carretera en el caso de que el tráfico esté detenido a causa de un incidente o accidente,
- el control del calor y el humo en caso de incendio.

2.9.2. En todos los túneles de longitud superior a 1 000 metros con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril deberá instalarse un sistema de ventilación mecánica

2.9.3 La ventilación longitudinal se utilizará únicamente en los túneles con circulación bidireccional o unidireccional congestionada si un análisis del riesgo conforme al artículo 13 muestra que es aceptable, o si se toman medidas específicas, tales como una apropiada gestión del tráfico, una reducción de la distancia entre salidas de emergencia y la colocación de extractores de humo a intervalos

2.9.4 Los sistemas de ventilación transversal o semitransversal se utilizarán en aquellos túneles que requieran un sistema de ventilación mecánica y para los que no se haya autorizado una ventilación longitudinal de conformidad con el punto 2.9.3. Estos sistemas deberán poder extraer el humo en caso de incendio.

2.9.5. Para los túneles de longitud superior a 3 000 m, de tráfico bidireccional, con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, dotados de un centro de control y de ventilación transversal o semitransversal, deberán adoptarse las siguientes medidas mínimas relativas a la ventilación:

- se instalarán reguladores de aire y de humo que puedan funcionar separadamente o agrupados
- la velocidad de aire longitudinal deberá controlarse constantemente, y el proceso de control del sistema de ventilación (reguladores ventiladores etc.) deberá ajustarse en consecuencia.

2.10 Estaciones de emergencia

2.10.1 El objetivo de las estaciones de emergencia es proporcionar diversos equipos de seguridad en particular teléfonos de emergencia y extintores, pero no tienen la finalidad de proteger a los usuarios de la carretera de los efectos de un incendio.

2.10.2. Esas estaciones podrán consistir en una cabina junto a la pared o, preferentemente, un nicho vaciado en ella. Deberán estar equipadas, como mínimo, de un teléfono de emergencia y de dos extintores.

2.10.3 Habrá estaciones de emergencia cerca de las bocas y en el interior, situadas a intervalos no superiores a 150 metros para los nuevos túneles y a intervalos no superiores a los 250 metros para los túneles existentes.

2.11 Abastecimiento de agua

Todos los túneles dispondrán de abastecimiento de agua. Habrá bocas de agua cerca de la entrada y en el interior, a intervalos no superiores a 250 metros. Si no se dispone de suministro de agua, será obligatorio comprobar la existencia de otro tipo de abastecimiento de agua suficiente.

2.12. Señales viales

Se utilizarán señales específicas para designar a todos los equipos de seguridad que están a disposición de los usuarios del túnel. En el anexo III se indican los signos y paneles para su utilización en los túneles.

2.13. Centro de control

2.13.1. Todos los túneles de longitud superior a 3 000 metros, con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, deberán estar dotados de un centro de control.

2.13.2. La vigilancia de varios túneles podrá estar centralizada en un único centro de control.

2.14. Sistemas de vigilancia

2.14.1. En todos los túneles dotados de un centro de control se instalarán sistemas de vigilancia por vídeo y un sistema capaz de detectar de forma automática incidentes (tales como vehículos que se detienen) y/o incendios.

2.14.2. En todos los túneles que no estén dotados de un centro de control se instalarán sistemas de detección automática de incendios, cuando el funcionamiento de la ventilación mecánica para el control del humo sea diferente del funcionamiento automático de la ventilación para el control de contaminantes.

- 2 15. Equipos para el cierre del túnel
- 2 15 1. En todos los túneles de longitud superior a 1 000 metros se instalarán semáforos antes de las entradas, para que el túnel pueda cerrarse al tráfico en caso de emergencia. Podrán utilizarse además otros medios, tales como señales de mensaje variable y barreras, para garantizar la debida obediencia.
- 2 15 2. Dentro de los túneles de longitud superior a 3 000 metros, dotados de un centro de control y con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, se recomienda situar equipos para detener los vehículos en caso de emergencia, separados a una distancia máxima de 1 000 metros. Dichos equipos consistirán en semáforos y quizá otros medios, tales como altavoces, señales de mensaje variable y barreras.
- 2 16. Sistemas de comunicaciones
- 2 16 1. En todos los túneles de longitud superior a 1 000 metros, con un volumen de tráfico de más de 2 000 vehículos por carril se instalarán equipos de transmisión por radio para su utilización por los servicios de emergencia.
- 2 16 2. Cuando se disponga de un centro de control, deberá ser posible interrumpir la transmisión por radio de los canales destinados a los usuarios del túnel, cuando existan dichos canales, con objeto de emitir mensajes de emergencia.
- 2 16 3. Los refugios y otras instalaciones en que los usuarios del túnel deban esperar antes de poder llegar al exterior estarán equipados con altavoces para informar a los usuarios.
- 2 17. Suministro de electricidad y circuitos eléctricos
- 2 17 1. Todos los túneles deberán disponer de un suministro eléctrico de emergencia capaz de garantizar el funcionamiento del equipo de seguridad que sea indispensable hasta que todos los usuarios hayan evacuado el túnel.
- 2 17 2. Los circuitos eléctricos, de medida y de control estarán diseñados de tal manera que un fallo local, debido, por ejemplo, a un incendio, no afecte a los circuitos que no hayan sufrido daños.
- 2 18. Resistencia de los equipos al fuego
- El grado de resistencia al fuego de todos los equipos del túnel tendrá en cuenta las posibilidades tecnológicas y tendrá como finalidad mantener las necesarias funciones de seguridad en caso de incendio.
- 2 19. Cuadro en que figura un resumen informativo de los requisitos mínimos
- El cuadro que se recoge a continuación presenta un resumen informativo de los requisitos mínimos enunciados en los puntos anteriores. Los requisitos mínimos son los establecidos en el texto del presente anexo.

RESUMEN INFORMATIVO DE LOS REQUISITOS MÍNIMOS		Tráfico ≤ 2 000 vehículos por carril			Tráfico > 2 000 vehículos por carril			Otras condiciones para que la aplicación sea obligatoria, o comentarios
		500-1 000 m	> 1 000 m		500-1 000 m	1 000-3 000 m	> 3 000 m	
Medidas estructurales	Dos o más tubos							Obligatorio si una previsión a 15 años muestra que el tráfico > 10 000 vehículos por carril
	Pendiente ≤ 5 %		*	*	*	*	*	Obligatorio a menos que no sea geográficamente factible.
	Pasarelas de evacuación		*	*	*	*	*	Obligatorio si no hay carril de emergencia, salvo que se respete la condición del punto 2.3.1. En los túneles ya existentes que no tengan ni carril de emergencia ni pasarela de evacuación, se tomarán medidas adicionales o más estrictas
	Salidas de emergencia cada 500 m como mínimo		○	○	*	*	*	La habilitación de las salidas de emergencia en los túneles existentes debe evaluarse según cada caso particular
	Conexiones transversales para los servicios de emergencia cada 1 500 m como mínimo		○	○ / ●	○	○ / ●	●	Obligatorio en los túneles de 2 tubos > 1 500 m
	Cruce de la mediana fuera de cada boca		●	●	●	●	●	Obligatorio fuera de los túneles de 2 o más tubos siempre que sea geográficamente factible
	Apartaderos cada 1 000 m como mínimo		○	○	○	○ / ●	○ / ●	Obligatorio en los túneles bidireccionales nuevos > 1 500 m sin carril de emergencia. En los túneles bidireccionales existentes > 1 500 m dependerá del análisis. Tanto para los túneles nuevos como para los existentes dependerá de la anchura del túnel suplementaria aprovechable
	Drenaje de líquidos tóxicos e inflamables		*	*	*	*	*	Obligatorio si se permite el transporte de mercancías peligrosas
	Resistencia de las estructuras al fuego		●	●	●	●	●	Obligatorio si un derrumbamiento local puede tener consecuencias catastróficas

● obligatorio para todos los túneles
 * obligatorio con excepciones

○ no obligatorio
 ● recomendado

RESUMEN INFORMATIVO DE LOS REQUISITOS MÍNIMOS

		Tráfico ≤ 2 000 vehículos por carril		Tráfico > 2 000 vehículos por carril			Otras condiciones para que la aplicación sea obligatoria, o comentarios
		500-1 000m	> 1 000m	500-1 000m	1 000-3 000m	> 3 000m	
Iluminación	Iluminación normal	•	•	•	•	•	
	Iluminación de seguridad	•	•	•	•	•	
	Iluminación de evacuación	•	•	•	•	•	
Ventilación	Ventilación mecánica	○	○	○	○	○	
	Disposiciones especiales respecto de la ventilación transversal o semitransversal	○	○	○	○	○	Obligatorio en los túneles bidireccionales dotados de un centro de control
Estaciones de emergencia	Cada 150 m como mínimo	*	*	*	*	*	Equipadas con un teléfono y 2 extintores. En los túneles existentes se permite un intervalo máximo de 250 m
Abastecimiento de agua	Cada 250 m como mínimo	•	•	•	•	•	Si no se dispone de suministro, es obligatorio conseguir otro tipo de abastecimiento de agua suficiente
Señales viales		•	•	•	•	•	Para todos los equipos de seguridad que estén a disposición de los usuarios del túnel (véase el anexo III)
Centro de control		○	○	○	○	○	La vigilancia de varios túneles podrá estar centralizada en un único centro de control
Sistemas de vigilancia	Vídeo	○	○	○	○	○	Obligatorio si hay un centro de control
	Detección automática de incidentes y/o de incendios	•	•	•	•	•	Al menos uno de los dos sistemas es obligatorio en los túneles dotados de un centro de control
Equipos para el cierre del túnel	Semáforos antes de las entradas	○	•	○	•	•	
	Semáforos dentro del túnel cada 1 000 m como mínimo	○	○	○	○	○	Recomendado si se dispone de un centro de control y la longitud es superior a 3 000 m

RESUMEN INFORMATIVO DE LOS REQUISITOS MÍNIMOS

RESUMEN INFORMATIVO DE LOS REQUISITOS MÍNIMOS			Tráfico ≤ 2 000 vehículos por carril		Tráfico > 2 000 vehículos por carril		Otras condiciones para que la aplicación sea obligatoria, o comentarios	
			500-1 000 m	> 1 000 m	500-1 000 m	1 000-3 000 m		> 3 000 m
Sistemas de comunicación	Transmisión por radio para los servicios de emergencia	§2.16.1	○	○	○	●	●	
	Mensajes de emergencia por radio para los usuarios del túnel	§2.16.2	●	●	●	●	●	Obligatorio si hay transmisiones por radio destinadas a los usuarios del túnel y se dispone de un centro de control
	Altavoces en los refugios y las salidas	§2.16.3	●	●	●	●	●	Obligatorio si los usuarios que evacúan el túnel deben esperar antes de poder llegar al exterior
Suministro de electricidad de emergencia		§2.17	●	●	●	●	●	Para garantizar el funcionamiento del equipo de seguridad indispensable al menos durante la evacuación de los usuarios del túnel
Resistencia de los equipos al fuego		§2.18	●	●	●	●	●	Tendrá como finalidad mantener las necesarias funciones de seguridad

3. Medidas relacionadas con el funcionamiento

3.1. Medios de funcionamiento

El funcionamiento debe estar organizado y disponer de los medios adecuados de forma que se garanticen la continuidad y seguridad del tráfico a través del túnel. El personal que participe en el funcionamiento así como los servicios de emergencia recibirán una formación adecuada, tanto inicial como continua.

3.2. Planificación de emergencia

Deberá haber planes de respuesta a situaciones de emergencia para todos los túneles. Respecto de los túneles que empiezan y terminan en distintos Estados miembros, ambos países participarán en un único plan binacional de respuesta a situaciones de emergencia.

3.3. Obras en los túneles

El cierre total o parcial de carriles, con ocasión de obras de construcción o de mantenimiento previstas de antemano, siempre comenzará fuera del túnel. Con este fin podrán utilizarse señales de mensaje variable, semáforos y barreras mecánicas.

3.4. Respuesta a accidentes e incidentes

En caso de accidente o incidente grave se cerrarán inmediatamente al tráfico todos los tubos del túnel adecuados.

Esto se hará activando simultáneamente no sólo los equipos mencionados situados delante de las bocas del túnel, sino también las señales de mensaje variable, los semáforos y las barreras mecánicas dentro de éste, cuando existan estos dispositivos, de forma que todo el tráfico pueda detenerse lo antes posible fuera y dentro del túnel. En los túneles de longitud inferior a 1 000 metros el cierre podrá efectuarse por otros medios. El tráfico se gestionará de tal modo que los vehículos no afectados puedan abandonar rápidamente el túnel.

El tiempo de acceso de los servicios de emergencia en caso de incidente dentro de un túnel será lo más breve posible y se medirá en ejercicios periódicos. Podrá, además, medirse durante los incidentes. En túneles bidireccionales importantes con gran volumen de tráfico, se determinará, mediante un análisis del riesgo conforme al artículo 13, si deben situarse servicios de emergencia en los dos extremos del túnel.

3.5. Actividad del centro de control

Un único centro de control controlará totalmente y en cualquier momento todos los túneles que requieran centro de control, incluidos los que empiezan y terminan en distintos Estados miembros.

3.6. Cierre del túnel

En caso de cierre del túnel (por poco o mucho tiempo), deberá informarse a los usuarios de los mejores itinerarios alternativos mediante sistemas de información de fácil acceso.

Dichos itinerarios alternativos formarán parte de planes sistemáticos de emergencia. Tendrán como finalidad mantener en lo posible el flujo del tráfico y reducir al mínimo los efectos secundarios en la seguridad de las zonas circundantes.

Los Estados miembros deberán hacer lo que razonablemente esté en sus manos para evitar situaciones en que un túnel localizado en el territorio de dos Estados miembros no pueda utilizarse debido a las consecuencias del mal tiempo.

3.7. Transporte de mercancías peligrosas

Se aplicarán las siguientes medidas en relación con el acceso a los túneles de los vehículos que transportan mercancías peligrosas, tal como las define la legislación europea pertinente en materia de transporte de mercancías peligrosas por carretera:

- realizar un análisis del riesgo de conformidad con el artículo 13 antes de definir o modificar la reglamentación y los requisitos relativos al transporte de mercancías peligrosas a través de un túnel.
- para hacer cumplir la normativa, colocar la señalización adecuada antes de la última salida posible anterior al túnel y en las entradas del mismo, así como con una antelación que permita a los conductores optar por itinerarios alternativos.
- estudiar medidas específicas de funcionamiento destinadas a reducir los riesgos relativos a todos o alguno de los vehículos que transportan mercancías peligrosas a través de túneles, como una declaración antes de entrar en los mismos o la formación de convoyes con vehículos de escolta, teniendo en cuenta cada caso particular, además del mencionado análisis del riesgo.

3.8. Adelantamientos en los túneles

Se realizará un análisis del riesgo para decidir si debe o no autorizarse que los camiones efectúen adelantamientos en los túneles que tienen más de un carril en cada dirección.

3.9. Distancia entre vehículos y velocidad

La velocidad adecuada de los vehículos y la distancia de seguridad entre ellos son especialmente importantes en los túneles y recibirán especial atención. Así, se recomendará a los usuarios de los túneles la velocidad y distancia adecuadas y se emprenderán medidas coercitivas según proceda

En condiciones normales, los usuarios de la carretera que conduzcan turismos deberían mantener, respecto del vehículo que los precede, una distancia mínima equivalente a la distancia que recorre un vehículo en dos segundos. Para los camiones esas distancias deberían ser del doble.

Cuando el tráfico se detiene en un túnel, los usuarios de la carretera deberían mantener una distancia mínima de 5 m respecto del vehículo que los precede, salvo si ello no es posible debido a una parada de emergencia.

4. Campañas de información

Periódicamente, se organizarán y llevarán a la práctica conjuntamente con las partes interesadas campañas de información sobre la seguridad en los túneles, tomando como base los trabajos armonizados de las organizaciones internacionales. Dichas campañas de información abordarán el correcto comportamiento de los usuarios de las carreteras al aproximarse a los túneles y al atravesarlos, especialmente por lo que respecta a las averías de los vehículos, la congestión, los accidentes y los incendios.

La información sobre los equipos de seguridad disponibles y sobre la conducta correcta del usuario de la carretera en los túneles se facilitará en lugares cómodos para los usuarios de los túneles (por ejemplo, en las zonas de descanso antes de los túneles y en las entradas de éstos cuando el tráfico esté detenido, o en Internet).

ANEXO II

Aprobación del proyecto, documentación de seguridad, autorización de un túnel, modificaciones y simulacros periódicos**1. Aprobación del proyecto**

1.1. Las disposiciones de la presente Directiva se aplicarán a partir de la fase preliminar de proyecto

1.2. Antes de iniciarse la construcción, el gestor del túnel reunirá la documentación de seguridad descrita en los puntos 2.2 y 2.3 respecto de un túnel en fase de proyecto y consultará al responsable de seguridad. El gestor del túnel presentará la documentación de seguridad a la autoridad administrativa, adjuntando a la misma el dictamen del responsable de seguridad o del organismo de inspección, si existe este dictamen.

1.3. El proyecto será aprobado, en su caso, por la autoridad competente, que informará de su decisión al gestor del túnel y a la autoridad administrativa.

2. Documentación de seguridad

2.1. El gestor del túnel reunirá la documentación de seguridad de cada túnel y la mantendrá permanentemente actualizada. Facilitará al responsable de seguridad una copia de la documentación de seguridad.

2.2. La documentación de seguridad describirá las medidas preventivas y de salvaguardia necesarias para garantizar la seguridad de los usuarios, teniendo en cuenta a las personas con movilidad reducida y a las personas con discapacidad, las características de la vía, la configuración de la estructura, el entorno, la naturaleza del tráfico y los márgenes de actuación de los servicios de emergencia definidos en el artículo 2 de la Directiva.

2.3. En particular, la documentación de seguridad de un túnel en fase de proyecto comprenderá:

- una descripción de la estructura prevista y del acceso a la misma, junto con los planos necesarios para comprender el proyecto y las disposiciones previas de funcionamiento;
- un estudio de previsión del tráfico, en el que se especifiquen y se justifiquen las condiciones que se prevén para el transporte de mercancías peligrosas, junto con el análisis del riesgo contemplado en el punto 3.7 del anexo I;
- un estudio específico del riesgo en que se describan los posibles accidentes que afecten claramente a la seguridad de los usuarios de los túneles y que puedan ocurrir durante la fase de funcionamiento, así como la naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias; dicho estudio deberá especificar y justificar las medidas para reducir la probabilidad de los accidentes y sus consecuencias;
- un dictamen sobre seguridad emitido por un experto u organización especializados en la materia, que puede ser el organismo de inspección.

2.4. La documentación de seguridad de un túnel en fase de autorización comprenderá, además de los elementos de la fase de proyecto:

- una descripción de la organización, de los recursos humanos y materiales y de las instrucciones dadas por el gestor del túnel para garantizar su funcionamiento y su mantenimiento;
- un plan de respuesta a situaciones de emergencia elaborado conjuntamente con los servicios de emergencia que tenga en cuenta asimismo a las personas con movilidad reducida y a las personas con discapacidad;
- una descripción del sistema permanente de integración de las experiencias que permita registrar y analizar los incidentes y accidentes significativos.

2.5. La documentación de seguridad de un túnel en fase de funcionamiento comprenderá, además de los elementos de la fase de autorización:

- un informe y un análisis de los incidentes y accidentes significativos que se hayan producido desde la entrada en vigor de la presente Directiva;
- una lista de los simulacros de seguridad realizados y un análisis de las conclusiones extraídas.

3. Autorización

3.1. La apertura inicial de un túnel al tráfico estará sujeta a la autorización de la autoridad administrativa, de conformidad con el procedimiento que se describe a continuación.

3.2. Este procedimiento será también aplicable a la apertura de un túnel al tráfico después de cualquier cambio importante en su estructura o modo de funcionamiento, o de cualquier obra de modificación sustancial del túnel que pueda suponer una alteración significativa de algún elemento de la documentación de seguridad.

3.3. El gestor del túnel remitirá la documentación de seguridad mencionada en el punto 2.4 al responsable de seguridad, que emitirá su dictamen sobre la apertura del túnel al tráfico.

3.4. El gestor del túnel transmitirá dicha documentación de seguridad a la autoridad administrativa adjuntando a la misma el dictamen del responsable de seguridad. La autoridad administrativa decidirá si autoriza o no la apertura del túnel al tráfico o bien si la autoriza en condiciones restrictivas, y lo notificará al gestor del túnel. Se transmitirá una copia de esa decisión a los servicios de emergencia.

4. Modificaciones

4.1. Respecto de cualquier modificación sustancial de la estructura, del equipo o del funcionamiento que pueda suponer una alteración significativa de algún elemento de la documentación de seguridad, el gestor del túnel pedirá una nueva autorización de funcionamiento mediante el procedimiento descrito en el punto 3.

4.2. El gestor del túnel informará al responsable de seguridad de cualquier otro cambio en la estructura y el funcionamiento. Además, antes de iniciar cualquier obra de modificación del túnel, el gestor del túnel facilitará al responsable de seguridad la documentación que describa las propuestas.

4.3. El responsable de seguridad estudiará las consecuencias de la modificación y, en cualquier caso, transmitirá su dictamen al gestor del túnel, que enviará una copia del mismo a la autoridad administrativa y a los servicios de emergencia.

5. Simulacros periódicos

El gestor del túnel y los servicios de emergencia organizarán, en cooperación con el responsable de seguridad, simulacros periódicos conjuntos para el personal del túnel y los servicios de emergencia.

Estos simulacros:

- deben ser lo más realistas posible y corresponderse con las hipótesis de accidente que se hayan definido;
 - deben arrojar resultados claros de evaluación;
 - deben evitar todo daño al túnel;
 - podrán también realizarse, en parte, mediante simulaciones de tablero o de ordenador, que proporcionen resultados complementarios.
- a) Se efectuarán simulacros en cada túnel a escala natural en las condiciones más realistas posible al menos cada cuatro años. Sólo se requerirá el cierre del túnel si pueden adoptarse medidas aceptables para desviar el tráfico. Se efectuarán ejercicios parciales y/o de simulación todos los años intermedios. En las zonas en que existan túneles próximos unos a otros, se deberá efectuar el simulacro a escala natural en al menos uno de esos túneles.
- b) El responsable de seguridad y los servicios de emergencia evaluarán conjuntamente estos simulacros, redactarán un informe y propondrán las medidas apropiadas.

ANEXO III

Señalización de los túneles

1. Requisitos generales

Constan a continuación las señales y símbolos que han de utilizarse en los túneles. Las señales viales mencionadas en la presente sección se describen en el Convenio de Viena sobre señalización vial de 1968, salvo que se indique lo contrario.

Para facilitar que las señales sean entendidas internacionalmente, el sistema de señalización prescrito en el presente anexo se basa en el empleo de formas y colores característicos de cada tipo de señal y, en la medida de lo posible, en el empleo de símbolos gráficos en lugar de inscripciones. Si los Estados miembros consideran necesario modificar las señales y los símbolos prescritos, las modificaciones no alterarán sus características esenciales. En caso de que los Estados miembros no apliquen el Convenio de Viena, podrán modificarse las señales y símbolos prescritos siempre que dichas modificaciones no alteren su propósito fundamental.

1.1 Se utilizarán señales viales para designar a los siguientes equipos de seguridad de los túneles:

- apartaderos.
- salidas de emergencia: se utilizará la misma señal para todos los tipos de salidas de emergencia.
- vías de evacuación: las dos salidas de emergencia más próximas estarán señalizadas en las paredes a distancias no superiores a 25 m, a una altura de entre 1,0 y 1,5 metros por encima del nivel de la vía de evacuación, con indicación de las distancias que hay hasta las salidas.
- estaciones de emergencia: señales que indiquen la presencia de teléfonos de emergencia y extintores.

1.2 Radio:

En los túneles en los que se pueda recibir información a través de la radio, se indicará a los usuarios antes de la entrada, mediante los signos adecuados, cómo se puede recibir esta información.

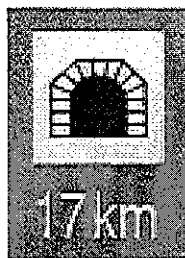
1.3. Las señales e indicaciones se diseñarán y situarán de modo que sean claramente visibles.

2 Descripción de las señales y paneles

Los Estados miembros utilizarán las señales adecuadas si es preciso, en la zona de advertencia anterior al túnel, dentro de éste y después del final del mismo. A la hora de diseñar la señalización de un túnel, se tendrán en cuenta las condiciones locales en lo referente al tráfico local y a la construcción, así como otras condiciones locales. Se utilizarán señales acordes con el Convenio de Viena sobre señalización vial, excepto en los Estados miembros que no aplican el Convenio de Viena.

2.1. Señal de túnel

Se situará la señal siguiente en cada entrada del túnel:



La señal E11A del Convenio de Viena correspondiente a los túneles de carretera.

La longitud se indicará ya sea en la parte inferior del panel o en otro panel H2.

En el caso de los túneles de longitud superior a 3 000 m, se indicará cada 1 000 m la longitud restante del túnel.

También podrá indicarse el nombre del túnel.

2.2 Señalización horizontal

Deberá haber líneas horizontales en el borde de la carretera

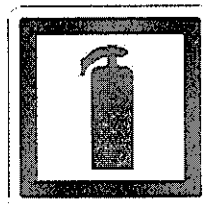
En los túneles bidireccionales, deberán utilizarse a lo largo de la mediana (sencilla o doble) medios claramente visibles para separar ambas direcciones.

2.3 Señales y paneles para informar de instalaciones

Estaciones de emergencia

En las estaciones de emergencia se situarán señales de información, que serán señales F acordes con el Convenio de Viena e indicarán los equipos disponibles para los usuarios de la carretera, como las siguientes:

Teléfono de emergencia



Extintor

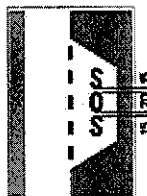
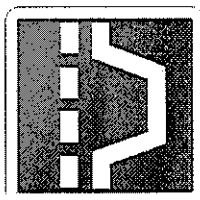
En las estaciones de emergencia que estén separadas del túnel por una puerta, se indicará mediante un texto, claramente legible y escrito en las lenguas adecuadas, que la estación de emergencia no garantiza protección en caso de incendio. Un ejemplo sería el siguiente:

«ESTA ZONA NO PROTEGE DEL FUEGO»

Siga las señales hacia las salidas de emergencia»

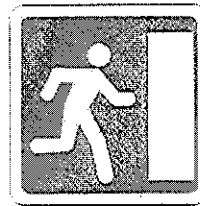
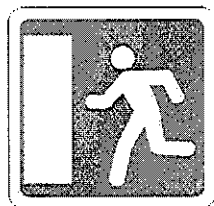
Apartaderos

Las señales que indiquen los apartaderos deben ser señales E acordes con el Convenio de Viena. Los teléfonos y extintores se indicarán mediante un panel adicional o incorporado a la propia señal.



Salidas de emergencia

Las señales que indiquen las salidas de emergencia deben ser señales G acordes con el Convenio de Viena. Véanse unos ejemplos a continuación:



También es necesario señalizar en las paredes las dos salidas más próximas. Véanse unos ejemplos a continuación:



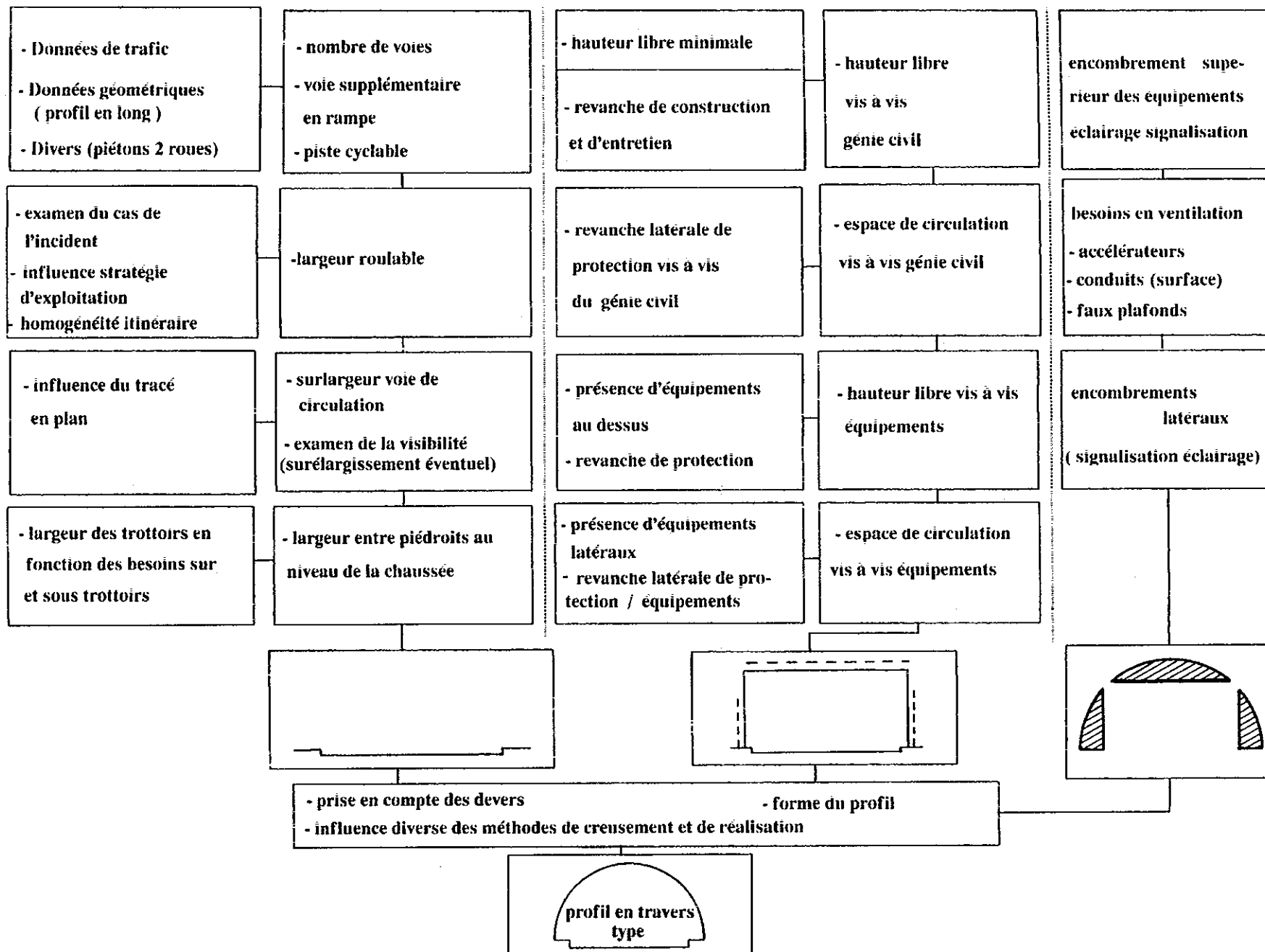
Señalización de los carriles

Estas señales pueden ser circulares o rectangulares



Señales de mensaje variable

De haber señales de mensaje variable, éstas mostrarán indicaciones claras que informen a los usuarios del túnel de las eventuales congestiones, averías, accidentes, incendios u otros peligros.



MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER
DIRECTION DES ROUTES

DOSSIER PILOTE DES TUNNELS
document n° 2
- GEOMETRIE -

décembre 1990

CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS
109, AVENUE SALVADOR ALLENDE - CSE N° 1-69674 BRON CEDEX FRANCE
TEL. 78 41 81 25 - TELEX CETELYO 370008 F - FAX 72 37 81 11

ISBN 2.11.084737-9

Avant-propos :

Le présent document géométrie s'insère dans l'ensemble du nouveau dossier pilote des tunnels qui sera composé de six documents :

- 1 – Présentation-Synthèse (à paraître ultérieurement).
- 2 – Géométrie (décembre 1990).
- 3 – Génie Civil (à paraître ultérieurement).
- 4 – Equipements (parution prévue en 1991).
- 5 – Environnement (décembre 1990).
- 6 – Coûts (à paraître ultérieurement).

Il ne s'applique pas aux tunnels à gabarit réduit de grande longueur avec ou sans péage, pour lesquels les réflexions ne sont pas assez avancées à la date de sa parution.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1	GÉNÉRALITÉS	P. 5
	1.1 IMPORTANCE DU DIMENSIONNEMENT GÉOMÉTRIQUE	P. 5
	1.2 CONFORMITÉ AUX CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES ROUTES ET AUTOROUTES	P. 5
	1.3 HOMOGENÉITÉ DU TRACÉ	P. 5
	1.4 DOMAINE D'APPLICATION DU PRÉSENT DOCUMENT	P. 6
	1.5 UTILISATION DU PRÉSENT DOCUMENT	P. 6
CHAPITRE 2	DONNÉES DE CIRCULATION	P. 9
	2.1 DONNÉES À RECUEILLIR	P. 9
	2.1.1 GÉNÉRALITÉS	P. 9
	2.1.2 UNITÉS DE VOITURES PARTICULIÈRES	P. 9
	2.1.3 DURÉE DE LA DEMANDE DE TRAFIC DE POINTE	P. 10
	2.1.4 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DIMENSIONNEMENT	P. 10
	2.2 VALEURS DE BASE	P. 10
	2.2.1 INFRASTRUCTURE DE TYPE URBAIN OU PÉRI URBAIN (trajet domicile travail)	P. 10
	2.2.1.1 Définition et valeur de la capacité	P. 10
	2.2.1.2 Débit de dimensionnement géométrique	P. 10
	2.2.2 INFRASTRUCTURE DE CAMPAGNE OU DE MONTAGNE	P. 12
	2.2.2.1 Préliminaire	P. 12
	2.2.2.2 Valeurs de base	P. 12
	2.2.3 TRAFIC À PRENDRE EN COMPTE POUR LA VENTILATION	P. 12
	2.3 NOMBRE DE VOIES	P. 13
	2.3.1 NOMBRE TOTAL DE VOIES	P. 13
	2.3.2 NOMBRE DE VOIES PAR TUBE	P. 13
	2.4 NIVEAU DE SERVICE	P. 13
	2.4.1 ADAPTATION À LA SITUATION DE L'OUVRAGE ET À LA CLASSE DE L'ITINÉRAIRE	P. 13
	2.4.2 DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE DANS L'OUVRAGE	P. 14
	2.4.3 RÉGLEMENTATION DE LA CIRCULATION	P. 14

CHAPITRE 3	TRACÉ EN PLAN	P. 17
3.1	FACTEURS D'ANALYSE	P. 17
3.2	IMPLANTATION DES ACCÈS ET DES TÊTES	P. 17
3.2.1	PRÉCAUTIONS DE TRACÉ AU VOISINAGE DES TÊTES DE TUNNEL	P. 17
3.2.2	ENTRÉES ET SORTIES EN TUNNEL	P. 17
3.2.2.1	Bifurcations et jonctions à l'intérieur d'un tunnel	P. 17
3.2.2.2	Sections d'entrecroisement	P. 18
3.2.3	BIFURCATIONS ET JONCTIONS À L'EXTÉRIEUR D'UN TUNNEL PRÈS DES EXTRÉMITÉS	P. 18
3.2.4	ÉCHANGEURS DE DÉVIATION	P. 18
3.2.5	IMPLANTATION DES BARRIÈRES DE PÉAGE	P. 18
3.3	TRACÉ EN PLAN ET DÉVERS ASSOCIÉS	P. 18
3.3.1	RAPPEL DES INSTRUCTIONS POUR L'AIR LIBRE	P. 18
3.3.1.1	ACTAAL	P. 18
3.3.1.2	ICTARN	P. 19
3.3.1.3	ICTAVRU	P. 19
3.3.2	APPLICATION AUX TUNNELS ROUTIERS	P. 20
3.4	VISIBILITÉ DANS LES TUNNELS COURBES	P. 20
3.4.1	DISTANCE DE VISIBILITÉ SELON LA VITESSE PRATiquÉE	P. 20
3.4.2	DÉGAGEMENT LATÉRAL AUX VUES	P. 21
3.4.3	CONDITIONS PARTICULIÈRES IMPOSÉES AUX TUNNELS	P. 22
CHAPITRE 4	PROFIL EN LONG	P. 23
4.1	TUNNELS À DÉCLIVITÉ UNIQUE OU EN TOIT	P. 23
4.1.1	RAMPES (déclivités en sens montant)	P. 23
4.1.2	PENTES (déclivités en sens descendant)	P. 23
4.2	TUNNELS À POINT BAS (ou en angle rentrant)	P. 24
4.3	TUNNELS À POINT HAUT (ou en angle saillant)	P. 24
4.4	VOIE SUPPLÉMENTAIRE EN RAMPE (pour les véhicules lents)	P. 25
4.4.1	ICTAAL	P. 25
4.4.2	ICTAVRU	P. 25
4.4.3	ICTARN	P. 25
CHAPITRE 5	PROFIL EN TRAVERS UTILE A LA CIRCULATION	P. 27
5.1	DÉFINITIONS	P. 27
5.2	LARGEUR ROULABLE	P. 27
5.2.1	IMPORTANCE DE LA LARGEUR ROULABLE	P. 27
5.2.2	GÉNÉRALITÉS	P. 27
5.2.3	LARGEUR UNITAIRE DES COULOIRS DE CIRCULATION	P. 27
5.2.4	SCHÉMAS TYPES	P. 29
5.2.4.1	Largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence	P. 29
5.2.4.2	Circulation au droit d'un véhicule en panne	P. 30
5.2.4.3	Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable	P. 32
5.2.5	VOIES UNITAIRES DE CIRCULATION	P. 32
5.2.6	BANDES DÉRASÉES	P. 32
5.2.7	LARGEURS ROULABLES TYPES	P. 32
5.2.7.1	Règles de choix	P. 32
5.2.7.2	Tunnels sur autoroutes de liaison, sur routes de catégorie exceptionnelle, et sur VRU de type A (circulation unidirectionnelle)	P. 32
5.2.7.3	Tunnels sur VRU de type U et assimilables	P. 34
5.2.7.4	Tunnels bidirectionnels	P. 34
5.2.8	PISTES ET BANDES CYCLABLES	P. 35

5.3 ISOLATEURS	P. 36
5.3.1 OUVRAGES NORMALEMENT ACCESSIBLES AUX PIÉTONS	P. 36
5.3.2 OUVRAGES NORMALEMENT INTERDITS AUX PIÉTONS	P. 36
5.3.3 JUSTIFICATION DE L'IMPLANTATION DE TROTTOIRS	P. 36
5.3.3.1 Cas des tunnels cadres (piédroit vertical et profils cintres à 3 centres)	P. 36
5.3.3.2 Cas des tunnels "plein cintre" (à un seul centre)	P. 36
5.3.3.3 Remplacement des trottoirs par des dispositifs genre bordure de retenue	P. 37
5.3.4 TROTTOIRS FRANCHISSABLES	P. 37
5.3.5 SÉPARATEUR CENTRAL (ou dispositif central de retenue)	P. 38
5.4 HAUTEURS	P. 38
5.4.1 TERMINOLOGIE	P. 38
5.4.2 VALEURS RÉGLEMENTAIRES DE LA HAUTEUR MINIMALE	P. 38
5.4.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	P. 40
5.4.4 LARGEURS À PRENDRE EN COMPTE	P. 40
5.4.5 PROBLÈMES PARTICULIERS DE CONSTRUCTION DES PROFILS VOÛTÉS	P. 41
5.4.6 NOTION DE GABARIT	P. 41
5.4.7 RÉCAPITULATIF	P. 42

CHAPITRE 6

INFLUENCE DES ÉQUIPEMENTS SUR LE PROFIL EN TRAVERS	P. 43
6.1 INFLUENCE DE LA VENTILATION	P. 43
6.1.1 VENTILATION LONGITUDINALE	P. 43
6.1.2 VENTILATION SEMI-TRANSVERSALE, TRANSVERSALE OU TRANSVERSALE PARTIELLE	P. 44
6.2 INFLUENCE DE L'ÉCLAIRAGE	P. 44
6.2.1 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS ÉTANCHES À FLUX DIRIGÉ	P. 44
6.2.2 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS À FLUX DIRIGÉ IMPLANTÉS EN GALERIE	P. 45
6.3 INFLUENCE DE LA SIGNALISATION	P. 45
6.4 INFLUENCE DU PASSAGE DE CÂBLES ET CANALISATIONS	P. 45

CHAPITRE 7

DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ RELATIVES AU GÉNIE CIVIL ET À LA GÉOMÉTRIE	P. 47
7.1 CIRCULATION DES PIÉTONS	P. 47
7.2 ÉVACUATION DES USAGERS	P. 47
7.3 ARRÊT ET ÉVACUATION DES VÉHICULES	P. 47
7.3.1 ARRÊT DES VÉHICULES	P. 47
7.3.2 ÉVACUATION DES VÉHICULES	P. 48
7.3.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	P. 48
7.4 SÉCURITÉ INCENDIE	P. 48
7.4.1 MOYENS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE	P. 48
7.4.2 PROTECTIONS DIVERSES CONTRE LES EFFETS DE L'INCENDIE	P. 48
7.4.2.1 Matériaux généraux de construction	P. 48
7.4.2.2 Protection des bâtiments en superstructure ou contigus	P. 48
7.4.2.3 Protection des locaux techniques	P. 48
7.4.2.4 Parois des gaines techniques	P. 48
7.5 NICHES DE SÉCURITÉ	P. 48
7.6 AMÉNAGEMENTS SPÉCIAUX	P. 51
7.6.1 TUNNEL CADRE	P. 51
7.6.2 TUNNEL OÙ LE TRANSIT DES MATIÈRES DANGEREUSES EST AUTORISÉ	P. 51

7.7. PRINCIPALES ÉVOLUTIONS ENVISAGEABLES PAR RAPPORT

À LA CIRCULAIRE 81.109 DU 29.12.1981 (données à titre indicatif)	P. 51
7.7.1 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	P. 51
7.7.2 PROTECTION DES BÂTIMENTS EN SUPERSTRUCTURE	P. 51
7.7.3 RÉFLEXIONS SUR LES ACTES TERRORISTES	P. 51
7.7.4 COMMISSION ADÉQUATE DE SÉCURITÉ	P. 51

CHAPITRE 8

PROFILS TYPES	P. 53
8.1 FICHIER DE PROFILS TYPES	P. 53
8.2 CAS DU 8,5 m DE LARGEUR ROULABLE	P. 54
8.2.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DE LARGEUR DE TROTTOIRS	P. 54
8.2.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION	P. 54
8.2.3 EXEMPLE AVEC 1 m ROULABLE SUR TROTTOIR AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m	P. 55
8.2.3.1 1 m à droite (1 seul côté)	P. 55
8.2.3.2 1 m à droite et à gauche (des 2 côtés)	P. 56
8.3 CAS DU 7,60 m DE LARGEUR ROULABLE	P. 56
8.3.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DES TROTTOIRS	P. 56
8.3.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION	P. 57
8.3.3 EXEMPLE AVEC 1 m ROULABLE SUR TROTTOIR DROIT ET GAUCHE AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m	P. 57
8.4 CONCLUSIONS GÉNÉRALES	P. 58

CHAPITRE 9

LEXIQUE FRANÇAIS-ANGLAIS	P. 59-60
---------------------------------	-----------------

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS

Un tunnel routier doit permettre le passage de la circulation automobile dans des conditions de débit, de vitesse et de confort aussi homogènes que possible avec le reste de l'itinéraire, et dans les meilleures conditions de sécurité.

Dans un projet de tunnel, l'un des premiers choix à effectuer est celui de son implantation (tracé en plan et profil en long) et de son profil en travers, compte-tenu des caractéristiques du tracé de l'itinéraire dans lequel il est inséré.

Le présent document expose les facteurs qui doivent guider ces choix, eu égard à la fonction que doit remplir un tunnel routier

1.1 IMPORTANCE DU DIMENSIONNEMENT GÉOMÉTRIQUE

La détermination des caractéristiques géométriques des tunnels routiers revêt une importance considérable, surtout en matière de profil en long et de profil en travers, étant donné leurs conséquences pour l'usager et pour la collectivité.

A) Conséquences pour l'usager :

La circulation dans un tunnel s'effectue toujours avec moins d'aisance qu'à l'air libre. Les conducteurs considèrent souvent la traversée d'un tunnel comme un "point dur", en raison des conditions d'ambiance et de visibilité, inévitablement moins bonnes qu'en section courante. De plus, les conséquences d'un incident (panne, accident, incendie) ou d'un engorgement de l'ouvrage sont plus graves qu'à l'air libre. Il est donc recommandé, pour atténuer ces inconvénients, d'adopter des caractéristiques suffisamment larges.

B) Conséquences pour les collectivités :

Les tunnels sont des ouvrages d'art très coûteux et il est naturel que les projeteurs essaient de réaliser des économies en diminuant certaines caractéristiques géométriques. Cependant les possibilités d'élargissement ou de modifications ultérieures sont très réduites, ce qui impose une définition géométrique très étudiée permettant au tunnel d'écouler non seulement les trafics prévisibles à la mise en service, mais aussi les trafics futurs.

1.2 CONFORMITÉ AUX CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES ROUTES ET AUTOROUTES

Dans toute la mesure du possible, les caractéristiques géométriques des tunnels doivent être en concordance avec celles des sections d'itinéraires à l'air libre, qui sont définies par les instructions en vigueur :

- Instruction du 22 octobre 1985 sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison (ICTAAL).
- Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU).
- Instruction du 28 octobre 1970 sur les conditions techniques d'aménagement des routes nationales (ICTARN).

Le présent document précise l'application de ces textes aux tunnels routiers, en fonction de leurs particularités techniques.

1.3 HOMOGÉNÉITÉ DU TRACÉ

On portera une particulière attention aux problèmes d'homogénéité auxquels les conducteurs sont le plus sensibles : ceux qui concernent le profil en long et le profil en travers de la chaussée.

Il ne sera pas toujours possible de réaliser une homogénéité parfaite et dans les cas difficiles, on devra prévoir des sections de transition

Il n'est pas possible, en général, de conserver une largeur de plate-forme strictement identique à celle qui règne à l'air libre, en raison du coût trop élevé qui en résulterait. On est donc souvent conduit à la réduire, en particulier au détriment des dégagements latéraux. On doit cependant toujours s'assurer que la solution adoptée conservera les niveaux de service adaptés à la nature de l'ouvrage.

1.4 DOMAINE D'APPLICATION DU PRÉSENT DOCUMENT

Le présent document traite des problèmes liés à la géométrie des tunnels routiers quels qu'en soient le type, la forme et le principe de construction, à l'exception des P.S.G.R. (Passages souterrains à gabarit réduit) pour lesquels un dossier-guide a été publié par le S.E.T.R.A. en 1971. Leur cas est cependant abordé dans certains paragraphes par comparaison avec des ouvrages à gabarit normal.

On peut classer les tunnels routiers de différentes façons :

■ Selon la catégorie de l'itinéraire sur lequel ils se trouvent situés, on distingue 5 principaux types de tunnels :

- tunnels sur autoroute de liaison ou route de catégorie exceptionnelle,
- tunnels sur voie rapide urbaine type A ou type U,
- tunnels sur route de rase campagne (catégorie 1 et 2 des R.N.),
- tunnels sur route de montagne (catégorie 3 et 4 des R.N.),
- tunnels sur section de routes à caractère urbain.

Les deux premières catégories sont en principe des ouvrages à deux tubes unidirectionnels ; les trois autres des tunnels à chaussée unique et à double sens.

■ Selon la forme de section, on distingue trois profils :

- tunnels voûtés avec un rayon de courbure ou plusieurs,
- tunnels à section entièrement circulaire construits par des machines foreuses à pleine section ou imposées pour des raisons de stabilité du terrain afin de pouvoir encaisser les poussées,

- tunnels rectangulaires (tranchées couvertes ou tunnels immergés).

Ces profils se subdivisent en fonction de la présence de galeries de ventilation ou de leur absence.

1.5 UTILISATION DU PRÉSENT DOCUMENT

La détermination définitive de la géométrie d'un tunnel ne peut être effectuée que lorsque les études du génie civil (document n° 3), des équipements (document n° 4), d'environnement (document n° 5) et des coûts de construction et d'exploitation (document n° 6) ont été suffisamment affinées. Il s'avère cependant indispensable de procéder à une étude géométrique relativement minutieuse dès les études préalables, afin de ne pas fausser les études comparatives de variantes et de ne pas introduire une cause supplémentaire d'incertitude dans l'estimation du coût. La précision doit être meilleure pour les tunnels que pour un tracé à l'air libre, étant donné l'influence très forte des données géométriques sur l'investissement à réaliser.

A cet effet, le présent document donne des indications permettant dès les études d'avant-projet d'adapter le dimensionnement aux fonctions que devra remplir l'ouvrage étudié.

Il y a lieu de noter que la définition des profils en travers à partir du présent document concerne surtout l'intrados de l'ouvrage en fonction des profils "utile à la circulation" et "nécessaire pour les équipements" qui constituent des éléments très importants. Celle de l'extrados qui fait appel aux techniques générales du génie civil est abordée dans le document n° 3.

Le dimensionnement de l'intrados peut être influencé par certains équipements des tunnels (conduits de ventilation, accélérateurs, appareils d'éclairage, galeries techniques, signalisation...).

Le présent document donne des indications à ce sujet dans le chapitre 6.

La figure 1.1 présente un organigramme de la démarche intellectuelle pour arriver à l'élaboration du profil en travers type. Ce schéma est surtout orienté vers les tunnels voûtés ; une légère adaptation est à effectuer pour le problème des profils cadres et ce, principalement pour les besoins de la ventilation.

FIG. 1 - Démarche de principe pour l'établissement d'un profil en travers



CHAPITRE 2

DONNÉES DE CIRCULATION

2.1 DONNÉES À RECUEILLIR

2.1.1 GÉNÉRALITÉS

La détermination des caractéristiques de la géométrie "utile à la circulation" d'un tunnel est fonction du trafic qui le traversera. Il est indispensable de connaître, dès les études préalables, les données de circulation auxquelles l'ouvrage devra satisfaire dans un avenir prévisible.

La consistance des études de circulation est variable selon le niveau de l'étude, la longueur de l'ouvrage et le site (ville ou rase campagne). Ces études sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques géométriques et dimensionner l'installation de ventilation éventuelle.

Les renseignements à recueillir sont les suivants :

- moyenne journalière annuelle du trafic,
- trafic horaire de pointe (qui n'a pas lieu nécessairement le soir) et pour chaque sens,
- fréquence et durée des périodes de congestion,
- pourcentage et type de poids lourds (en heure de pointe et en heure creuse).

Etant donné l'impossibilité pratique d'élargir ultérieurement un tunnel, il est nécessaire de connaître non seulement les valeurs des données ci-dessus à la date de mise en service, mais également leur évolution jusqu'à une année-horizon la plus lointaine possible (si possible au moins 20 ans après la mise en service).

Les renseignements relatifs aux risques de congestion sont d'une très grande importance, étant donné leurs conséquences sur les conditions de circulation dans l'ouvrage et sur les équipements de ventilation. L'accroissement de la circulation dans les villes rend ce risque presque certain, dans un avenir proche, dans la plupart des tunnels urbains. On devra cependant en zone urbaine porter une attention spéciale aux voies de dégagement du tunnel. Leur plus ou moins grande capacité et surtout la présence rapprochée d'intersec-

tions, commandées ou non par des feux, constituent des facteurs très importants dans l'évaluation de l'année à laquelle se produira cette congestion. Des modifications des accès sont souvent déterminantes.

2.1.2 UNITÉS DE VOITURES PARTICULIÈRES

Les débits s'expriment en unités de voitures particulières (UVP), dont la correspondance, en section courante, avec les différents types de véhicules est indiquée ci-dessous.

Type de véhicules	Equivalence en UVP
Cycle	0,5
Motocycle	1
VL ou PL (PTCA < 3,5 t)	1
PL (PTCA > 3,5 t)	2

PTCA = Poids total en charge autorisé.

REMARQUES

En général, les cycles ne sont pas admis sous les tunnels.

Il faut noter que les comptages automatiques séparent les véhicules selon que leur PTCA est inférieur ou supérieur non pas à 3,5 t, mais 5 t. Ceci revient à ne pas prendre en compte, dans les comptages automatiques, 10 à 12 % du parc dont le PTCA est supérieur à 3,5 t, soit environ 1 % du trafic total.

La valeur du coefficient d'équivalence PL, dans certains cas, n'est pas égale à 2 :

- Si les dernières recherches en la matière tendent à montrer que pour des rampes inférieures à 3 %, ce coefficient est peu différent de 2, en revanche pour des rampes plus importantes, la valeur de ce coefficient augmente fortement, sans que l'on connaisse actuellement de façon précise ses variations.

– C'est pourquoi, pour des rampes supérieures à 3 %, on essaiera dans la mesure du possible de déterminer la vitesse des PL dans la rampe en fonction de la longueur, afin de connaître à partir de quel point la vitesse des PL devient très inférieure à celle des autres usagers, perturbant ainsi en heure creuse, le confort, et en heure de pointe, la capacité.

La détermination de la vitesse atteinte par les PL dans la rampe pourra être effectuée à l'aide de la version en cours de mise à jour du programme SIMUL (programme DIAVI du CETE de Lyon).

2.1.3 DURÉE DE LA DEMANDE DE TRAFIC DE POINTE

Le dimensionnement d'une infrastructure s'effectue pour l'heure de pointe. Cette notion d'heure de pointe n'a pas la même signification selon que la demande de trafic maximal dure plus ou moins d'une heure :

– dans le premier cas, (pointe inférieure à 1 h), le trafic exprimé en UVP par heure correspond au trafic effectivement écoulé (ou prévu) pendant l'heure de pointe. C'est ce trafic qui est utilisé pour dimensionner la voie,

– dans le second cas (pointe inférieure à 1 h), il faut rétablir sur une heure le trafic de pointe écoulé pendant 1/4 h ou 1/2 h ou 3/4 h. La durée effective de la demande de pointe, ainsi que le rapport F_p (facteur de pointe) défini par :

$$F_p = \frac{\text{trafic écoulé pendant la pointe, ramené à 1 h}}{\text{trafic total écoulé pendant l'heure de pointe}}$$
 peuvent être connus par des comptages effectués par quarts d'heure à proximité de la future infrastructure, ou sur une infrastructure similaire (ou assurant la même fonction).

En tout état de cause, on peut noter que la durée de la demande dépend du nombre et de la nature des accès à la voie, de l'organisation d'ensemble des circulations dans une zone plus ou moins étendue autour de l'infrastructure, et de la taille de l'agglomération (sans que ce dernier facteur soit nécessairement prépondérant) pour les itinéraires de type urbain prononcé.

En pratique, le rapport F_p défini ci-avant est pratiquement compris entre 1,25 et 1, et inversement proportionnel à la durée de la pointe (plus la durée de demande de pointe est longue, plus le rapport s'approche de 1), d'où les correspondances :

Durée de la pointe	Trafic à prendre en compte pour dimensionner l'infrastructure
≥ 1 h	Trafic effectivement écoulé pendant 1 h
< 1 h	Trafic de pointe ramené à 1 h (au plus égal à 1,25 fois le trafic horaire de pointe donné par l'étude de trafic).

2.1.4 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DIMENSIONNEMENT

Pour les itinéraires à l'air libre, deux principes de dimensionnement sont généralement admis :

– pour les sections urbaines, le dimensionnement doit répondre à l'objectif d'assurer, sans risques trop importants de congestion, l'écoulement stable de la circulation. Les valeurs préconisées doivent donc prendre en compte un certain nombre de paramètres influençant la capacité, comme de mauvaises conditions atmosphériques (pour l'air libre) et les incidents (dépendant du nombre de voies, de la présence ou non de bande d'arrêt d'urgence (BAU) et du trafic journalier moyen annuel),

– pour les itinéraires interurbains, le dimensionnement est effectué en général pour la capacité, et il n'est pas introduit de paramètres de pertes de capacité. Il convient également de souligner que par rapport à l'urbain, les chiffres proposés tiennent compte d'une mauvaise connaissance de l'itinéraire de la part des usagers, facteur non introduit sur la voirie urbaine.

2.2 VALEURS DE BASE

2.2.1 INFRASTRUCTURE DE TYPE URBAIN OU PÉRI-URBAIN (trajet domicile-travail)

2.2.1.1 Définition et valeur de la capacité

C'est le plus fort débit, même discontinu, que l'on puisse observer (généralement pendant des durées inférieures à 1 h). Ramenée à l'heure, on constate en site urbain que la capacité moyenne C est de l'ordre de 2 000 uvp/h et par file, quelles que soient les caractéristiques géométriques en tracé en plan, profil en long et profil en travers de la chaussée, et nombre de voies dans les zones urbaines en section courante et pour des chaussées unidirectionnelles.

2.2.1.2 Débit de dimensionnement géométrique

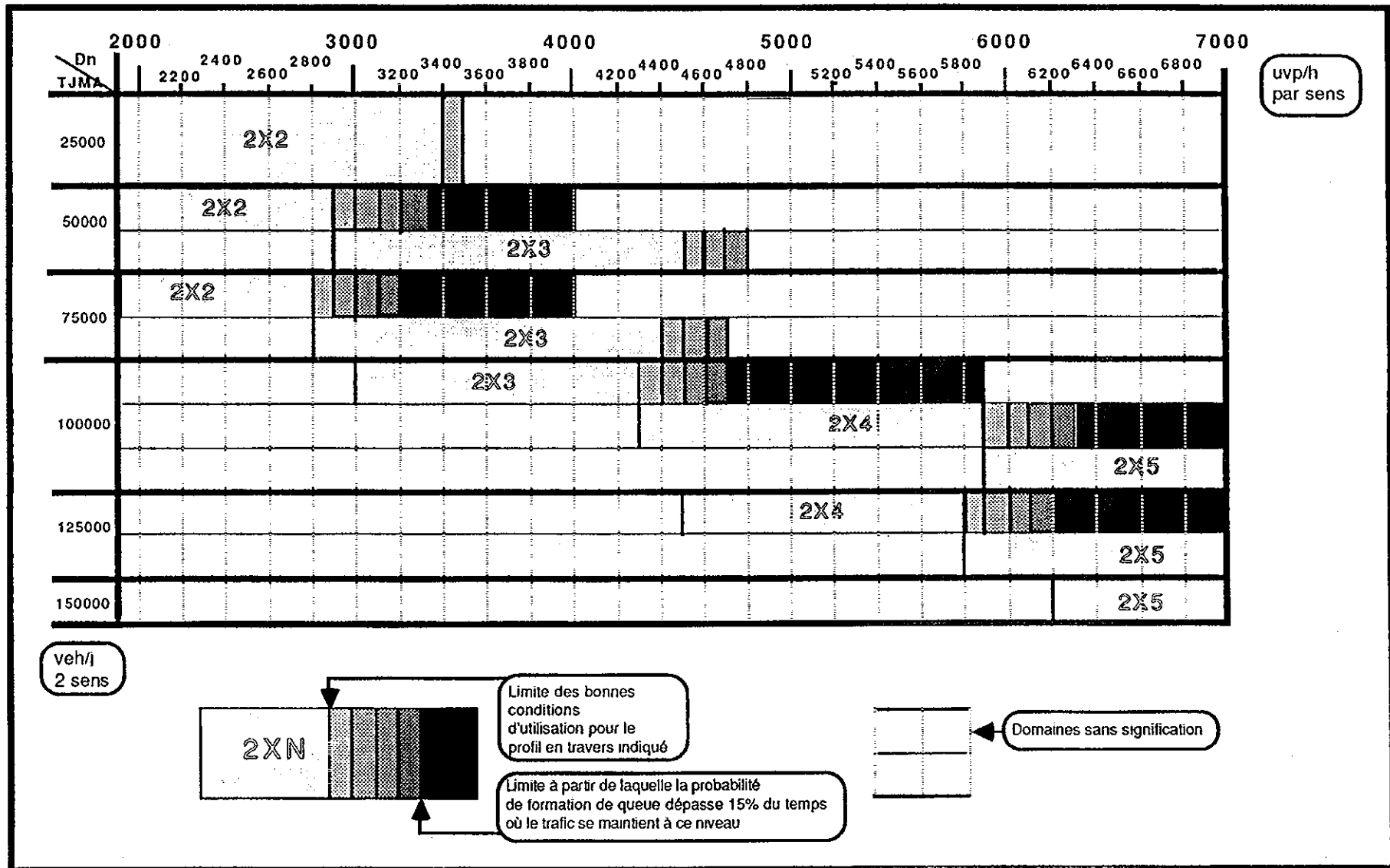
A) Routes à chaussées séparées (et à échanges dénivelés pour l'itinéraire.

Selon le niveau de service que l'on offre à l'usager, à profil en travers identique, on peut, lors du dimensionnement de la voie, prendre une marge de manœuvre plus ou moins importante (par rapport à la capacité), c'est-à-dire garantir une probabilité de non congestion plus ou moins grande.

Cette congestion dépend bien sûr du trafic de pointe en uvp/h, mais elle est également directement liée au TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) et à ses conséquences sur le nombre des incidents qui réduisent les possibilités d'écoulement de la circulation. Plus le TMJA est élevé et plus la possibilité d'écoulement du trafic est limitée, car alors toute conduite anormale a des conséquences beaucoup plus importantes sur l'ensemble des autres conducteurs et des effets seront alors plus néfastes pour la circulation.

Ainsi le tableau 2.1 donne en fonction du TMJA (deux sens) supporté par l'infrastructure, une idée des conditions de circulation offertes par un profil en travers donné avec bande d'arrêt d'urgence.

FIG. 2.1 - Domaines d'utilisation en milieu urbain en travers donné (avec BAU)
en fonction des débits horaires Dn (en uvp/h par sens9 et du TJMA (en véh./j, 2 sens)



Le débit le plus bas correspond à de bonnes conditions de service (vitesse de 60 km/h environ) et à une faible probabilité de congestion (inférieure ou égale à 15 % du temps où la demande se maintient à ce niveau) ; le débit le plus élevé correspond à des conditions de circulation instables où la vitesse est plus réduite (40 km/h ou moins) et où le risque de formation de queue est plus important, avec une probabilité de congestion (temps de résorption des files d'attente non compris) qui devient supérieure à 15 % du temps où la demande se maintient à ce niveau.

Il convient de noter que les pertes de "capacité" dues à une mauvaise connaissance de l'itinéraire ne sont pas introduites ici, dans la mesure où l'on doit considérer qu'on ne trouve aux heures de pointe "habituelles" qu'un très faible pourcentage d'usagers non habitués à la voie.

Les chiffres du tableau 2-1 ci-avant sont valables quelle que soit la largeur des voies ; l'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure que la réduction de la largeur des voies amène un abaissement des limites des domaines de dimensionnement.

Les infrastructures ne comportant pas de BAU peuvent écouler des trafics du même ordre de grandeur qu'avec une BAU (soit 1 800 à 2 000 voire 2 400 UVP/h/voie). En revanche, dès qu'un accident ou une panne survient, une voie au moins est neutralisée, et les débits chutent immédiatement. Si l'on veut garder les mêmes marges de sécurité que dans le tableau, il convient d'abaisser les débits de dimensionnement de :

- 20 à 30 % pour les bonnes conditions de circulation,
- 10 à 20 % pour la probabilité 15 % de congestion.

Les capacités indiquées sont relatives à des itinéraires avec carrefours dénivelés. Par contre, pour les routes à carrefours plans (sauf si ces derniers sont éloignés de plusieurs kilomètres), la capacité de la section courante est limitée par celle des carrefours.

B) Chaussées bidirectionnelles

Deux voies : une chaussée bidirectionnelle à 2 voies peut supporter 2 000 à 2 200 uvp/h (deux sens) sans qu'un risque de congestion important soit à craindre. Des valeurs plus élevées (supérieure à 3 000 uvp/h) ont été observées de façon durable dans la journée pour une répartition du trafic proche de 50 % par sens.

Trois voies : dans la mesure où la voie centrale est individualisée, des trafics de 3 000 à 4 000 uvp/h (2 sens) peuvent être pris en considération.

2.2.2 INFRASTRUCTURE DE CAMPAGNE OU DE MONTAGNE (non habitués) (transit)

2.2.2.1 Préliminaire

Sur ce genre d'itinéraires, la conduite des usagers est sensiblement modifiée par rapport à une zone urbaine ou péri-urbaine avec un comportement totalement différent. En outre sur bon nombre d'itinéraires, les débits à attendre sont loin d'atteindre

les seuils de congestion. Une étude est donc à effectuer pour chaque cas, étant entendu que l'influence sur le dimensionnement de la ventilation est très importante. Il est également primordial de prendre en compte les évolutions de trafic prévisibles dans l'avenir.

2.2.2.2 Valeurs de base

On trouvera en figure 2.2 un tableau donnant en fonction des caractéristiques de l'itinéraire, les débits horaires maximaux de saturation (ou capacité) que l'on peut attendre.

Ces chiffres sont tirés de la note de synthèse sur les temps de parcours des véhicules sur itinéraires interurbains (SETRA - Septembre 84) et repris par ailleurs dans différents programmes informatiques du SETRA sur les méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne.

FIG. 2.2 - Capacité d'un Itinéraire interurbain

Caractéristique de l'itinéraire de montagne ou de campagne liaisons interurbaines	Débit maximal de saturation ou capacité (1 sens) véh/h/sens	Débit maximal de saturation ou capacité (2 sens) véh/h
5 m (2 voies)	930	1 550
6 m (2 voies)	1 100	1 850
7 m (2 voies)	1 400	2 350
9 m (3 voies)	1 770	2 950
10,50 m (3 voies)	1 900	3 150
4 voies	2 340	3 900
2 x 2 voies avec carrefours plans	2 340	3 900
autoroutes ou routes 2 x 2 voies avec carrefours dénivelés	3 120	5 200
autoroutes à 2 x 3 voies	4 650	7 750

En vue des cas courants, le débit deux sens qui figure dans le tableau ci-dessus a été calculé en considérant que le sens le plus chargé représentait 60 % du trafic total deux sens. Si l'hypothèse de répartition du débit par sens n'était pas applicable au cas étudié, il faudrait bien entendu modifier le débit deux sens en conséquence.

Pour les autoroutes de liaison, l'ICTAAL mentionne le chiffre de 1800 uvp/h/voie comme débit de saturation, à comparer avec 1560 véh/h indiqué dans le tableau 2.2 pour les routes à chaussées séparées et carrefours dénivelés.

2.2.3 TRAFIC À PRENDRE EN COMPTE POUR LA VENTILATION

Les chiffres mentionnés ci-avant sont les valeurs qui peuvent être utilisées par le projeteur pour le dimensionnement géométrique de l'ouvrage. Il convient de prendre conscience que ce sont des valeurs moyennes ramenées à l'heure.

Certains itinéraires interurbains peuvent supporter occasionnellement beaucoup plus, toutefois la probabilité d'avoir un effet de congestion augmente dans de très fortes proportions. Sur le plan géométrique, il semble légitime de ne pas prendre

en compte les pointes exceptionnelles de circulation dans la mesure où les périodes saturées ne représenteront que quelques heures difficiles dans l'année. On notera la différence avec les ouvrages urbains où ces situations sont quotidiennes, et prises en compte dans le dimensionnement géométrique.

Par contre, dans le dimensionnement de la ventilation, pour des raisons évidentes de sécurité, il convient de raisonner sur des débits maximaux correspondant à l'heure de pointe. En outre, dans la distribution de la circulation pendant ces heures, on observe toujours des pointes instantanées.

Ces deux phénomènes sont à intégrer dans le dimensionnement de la ventilation. On appliquera donc pour la ventilation, un coefficient majorateur de 1,20 pour les tunnels de rase campagne et 1,10 pour les tunnels urbains par rapport aux chiffres annoncés pour le dimensionnement géométrique. Le document ventilation dans son annexe 1, relative aux éléments de trafic à prendre en compte pour le dimensionnement de la ventilation propose les diagrammes fondamentaux "débit-concentration" pour différentes catégories d'itinéraires.

2.3 NOMBRE DE VOIES

2.3.1 NOMBRE TOTAL DE VOIES

En règle générale, le nombre de voies en tunnel est le même que sur le reste de l'itinéraire.

Lorsque les trafics futurs nécessitent une augmentation ultérieure du nombre de voies sur l'ensemble de l'itinéraire, il convient d'en tenir compte pour dimensionner les tunnels. On peut, dans ce cas :

- soit augmenter la largeur roulable des tunnels pour permettre ultérieurement d'accroître le nombre de voies. En première phase, il est préférable de conserver le nombre de voies des sections à l'air libre et de maintenir la bande d'arrêt d'urgence si elle existe dans la section de route précédant le tunnel. Il est déconseillé de mettre en service un tunnel comportant davantage de voies qu'à l'air libre en raison de la congestion ou du moins des difficultés de circulation qu'entraînerait la réduction du nombre de files de circulation à la sortie du tunnel. D'une façon générale, les profils en travers comportant des bandes dérasées peuvent faciliter dans l'avenir, si leur largeur est importante, la création d'une voie supplémentaire au prix dans certains cas d'une réduction de la vitesse.

- soit prévoir de construire à terme un tube supplémentaire. Les accès des tunnels doivent alors être conçus pour permettre ultérieurement cette augmentation de la capacité.

Il est déconseillé de diminuer le nombre de voies en tunnel par rapport à l'air libre. Cela ne peut se justifier que par des considérations économiques, dans le cas des longs tunnels sur autoroute où la réalisation en une première phase de durée notable d'un seul tube à 2 ou 3 voies apparaîtrait justifiée par les économies réalisées. Dans un tel cas,

un calcul économique est nécessaire pour éclairer le choix. Lorsqu'on diminue le nombre de voies, il convient de prendre des mesures d'exploitation appropriées pour assurer la sécurité du trafic, et, si la circulation se fait sur 3 voies, pour affecter d'une manière très visible et sans ambiguïté la voie centrale au sens le plus chargé dans le cas de profil en long relativement plat. Il reste bien entendu que dans le cas de profil en long à forte rampe, deux voies seront alors affectées normalement à la circulation montante. Il est souhaitable d'éviter des modifications trop fréquentes de cette affectation. On peut, même dans ce dernier cas, n'affecter la voie centrale qu'aux périodes où la capacité des voies latérales est insuffisante pour faire face au trafic.

2.3.2 NOMBRE DE VOIES PAR TUBE

Dans les ouvrages à section voûtée ou circulaire, il est exceptionnel pour des raisons de difficultés d'exécution et des coûts de construction, qu'un tube comporte plus de 3 voies de circulation. On pourrait éventuellement déroger à cette disposition (en zone urbaine notamment) sans dépasser 4 voies et en donnant toutes justifications. Dans certains cas de mauvais terrains ou de méthodes d'exécution (tunneliers par exemple), il peut arriver également que l'on soit obligé de se limiter à 2 voies.

Il en résulte que sur autoroute (ou route express à 2 ou 3 voies par sens) les tunnels sont dédoublés. Si l'échéance de saturation est lointaine, il est raisonnable de limiter le nombre de voies à 2 par sens. Dans le cas contraire, il est préférable de construire immédiatement un profil à 3 voies, pour éviter le dédoublement ultérieur de l'itinéraire.

Dans les ouvrages à section rectangulaire, il n'existe théoriquement pas d'inconvénient majeur à prévoir, notamment en zone urbaine, des ouvrages comportant jusqu'à 5 ou 6 voies de circulation. La stabilité de l'excavation ne pose pas les mêmes problèmes que dans le cas des tunnels creusés et le coût marginal d'une voie supplémentaire est moins élevé, compte-tenu du fait que la section transversale est simplement proportionnelle à la largeur de la plate-forme.

2.4 NIVEAU DE SERVICE

2.4.1 ADAPTATION À LA SITUATION DE L'OUVRAGE ET À LA CLASSE DE L'ITINÉRAIRE

Il est très important d'adapter le mieux possible le niveau de service à la situation de l'ouvrage et à la classe de l'itinéraire. En effet, il est primordial pour l'utilisateur que le service rendu à l'intérieur de l'ouvrage souterrain soit homogène ou légèrement inférieur à ce qu'il a eu l'habitude de rencontrer sur le reste de l'itinéraire, de manière à ce que le point singulier qu'est le tunnel ne soit pas trop mal perçu.

On distingue de ce point de vue :

- les ouvrages courts sur autoroute qui requièrent un niveau de service élevé, pour des raisons d'homogénéité avec le reste de l'itinéraire,

- les ouvrages longs sur route ou autoroute qui, sauf lorsqu'il s'agit d'itinéraires proches de la saturation, peuvent présenter un niveau de service un peu moins élevé pour des raisons économiques,
- Les ouvrages courts rapprochés sur un même itinéraire à traiter d'une façon identique pour obtenir les mêmes niveaux de service,
- les ouvrages sur voie urbaine, généralement appelés à des pointes élevées ou même à la congestion du trafic pour lesquels il convient d'obtenir les niveaux de service les plus élevés possibles, et de soigner particulièrement les accès et débouchés dont la moindre insuffisance déclenche la congestion,
- les ouvrages de montagne ou en site difficile qui constituent, en général, des cas particuliers à examiner en fonction de la classe de l'itinéraire.

2.4.2 DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE DANS L'OUVRAGE

La pénétration des usagers en tunnel s'accompagne nécessairement d'une brutale modification d'ambiance et d'environnement. Pour des raisons économiques, il n'est, généralement, pas possible de dimensionner la section transversale et les équipements du tunnel de façon suffisante pour éliminer cet inconvénient. Il est généralement conseillé de fixer une vitesse de référence moins élevée que celle de l'itinéraire dans lequel le tunnel est inséré. Ceci est surtout valable pour les itinéraires à très grande vitesse. On pourra s'inspirer des valeurs indiquées dans le tableau du § 2.4.3. Lorsqu'il s'agit d'un tunnel isolé important ou d'une succession de tunnels, il y a lieu d'examiner les répercussions économiques d'une limitation de vitesse dans les tunnels ou sur l'ensemble de la section comportant des ouvrages souterrains.

La valeur retenue pour la vitesse de référence en tunnel, intervient non seulement dans la détermination des caractéristiques géométriques de l'ouvrage, mais également dans le dimensionnement des équipements (niveau et longueur des suréclairages d'entrée, pistonement de l'air par les véhicules, seuil d'opacité à respecter pour assurer une distance de visibilité supérieure ou égale à la distance d'arrêt, etc.).

2.4.3 RÉGLEMENTATION DE LA CIRCULATION

Le problème d'ensemble de la réglementation de la circulation est traité dans la section Exploitation du document n° 4.

L'attention est attirée sur la nécessité d'envisager dès le stade des études géométriques les grandes lignes de la réglementation de la circulation afin d'estimer l'incidence sur le niveau de service offert aux usagers. En outre, certains choix conditionnent dans une large mesure le dimensionnement géométrique complet de l'ouvrage : profil en travers, tracé en plan et profil en long.

Cette réglementation pourra concerner :

- l'interdiction de changement de file, portée à la connaissance de l'usager par des bandes de peinture pleines entre les voies ; cette mesure n'est en-

visageable que dans les ouvrages où ne se posent pas de problèmes aux sorties ; elle est impérative dans les tunnels bidirectionnels à 2 voies ;

- l'interdiction de dépassement pour les poids lourds quand le changement de file est autorisé (pour les ouvrages unidirectionnels) ;

– la limitation de la vitesse autorisée en tunnel, qui pourra être inférieure à la vitesse de référence (sans diminuer la capacité jusqu'à une valeur de l'ordre de 50 km/h) ;

- la fixation d'une vitesse minimale à observer (de l'ordre de 50 km/h dans certains ouvrages longs) où l'expérience a montré que certains usagers ralentissent d'une façon exagérée.

Il n'est pas possible d'édicter, en la matière, de loi générale. Il convient cependant, dans chaque cas d'espèce, de s'inspirer des indications suivantes qui résultent d'une recherche sur les problèmes économiques tant en investissement qu'en exploitation :

- les tunnels courts et rectilignes (longueur inférieure à 100 ou 150 mètres) ne constituent pas, en principe, une difficulté importante, dès lors que leur courte longueur permet d'assurer la vision, par effet silhouette sur la sortie, des obstacles éventuellement présents sur la chaussée ;

– dans certains tunnels longs (1 à 2 km au moins), lorsque son adaptation visuelle est effectuée, l'usager a quelquefois tendance à se remettre en vitesse de façon exagérée quelques centaines de mètres après l'entrée. On doit alors limiter la vitesse à la traversée de l'ouvrage. A la sortie l'usager réduit lui-même la vitesse si le phénomène d'éblouissement est graduel. Si, c'est généralement le cas, il n'en est pas ainsi, il convient de prescrire une réduction de vitesse suffisamment loin de la sortie pour que la sortie du tunnel soit abordée à vitesse modérée. On aura cependant intérêt à ce que la réglementation de la vitesse soit uniforme tout au long de l'ouvrage. Il convient également de réfléchir au respect de la réglementation de la part des usagers, des vitesses imposées trop basses n'étant alors pas crédibles vis-à-vis des conducteurs.

- les successions d'ouvrages rapprochés présentent des difficultés particulières. Il n'est cependant pas souhaitable d'imposer des limitations de vitesses trop fréquemment variables sur des sections courtes. C'est plutôt sur l'ensemble de la section d'itinéraire comportant des tunnels qu'il conviendra de réduire la vitesse.

Si par exemple, sur une section de plusieurs kilomètres règne une succession de tunnels, il convient de procéder, préalablement à la détermination des caractéristiques géométriques de l'ensemble du tracé, à une analyse approfondie des conditions de circulation et de sécurité à la traversée des différents ouvrages. On peut être conduit à adopter sur l'ensemble de la section une vitesse de base plus faible mais plus homogène avec les vitesses imposées par la sécurité.

La détermination de la vitesse à autoriser dans l'ouvrage doit, dans chaque cas, tenir compte notamment des éléments suivants :

- classe et catégorie de l'itinéraire,

- conditions de circulation, structure et répartition du trafic,
- nature et fluidité des accès (position des échangeurs d'entrée et sortie, présence de carrefours à feux, profil en long...),
- profil en long du tunnel et de ses accès,
- profil en travers du tunnel,
- conditions d'éblouissement aux entrées et sorties.
- visibilité assurée dans l'ouvrage (ventilation, éclairage),
- tracé en plan.

Dans certains cas (autoroute de liaison ou voie rapide urbaine notamment), il est souvent préférable d'imposer une fourchette de vitesse plus qu'une vitesse maximale à ne pas dépasser. On doit alors s'assurer que les caractéristiques géométriques (profil en long et tracé en plan) du tunnel et de ses accès permettent effectivement à tous les véhicules devant emprunter le tunnel (et notamment aux camions lourds) de placer leur vitesse dans la fourchette recommandée.

Sous les réserves évoquées ci-dessus, on peut s'inspirer à titre indicatif, des recommandations portées dans le tableau n° 2 3 :

FIG 2 3

VITESSE MAXIMALE RECOMMANDÉE DANS LES TUNNELS		
Catégorie de l'itinéraire	Vitesse de référence de l'itinéraire	Vitesse maximale recommandée au passage des tunnels, en km/h
Autoroute de liaison ou voie rapide urbaine (circulation à sens unique)	120	100 ou fourchette 80 - 120 (tunnel court)
	100	80 ou fourchette 70 - 90
	80	60 à 80
	60	60
Route à 3 voies (2 + 1) (circulation à double sens)	variable	60 à 80 (fonction des accès)
Route à 2 voies (circulation à double sens)	variable	40 à 60 (fonction des accès)

On se reportera à la section Exploitation du document n° 4 où ces problèmes sont traités dans le cadre de l'exploitation des tunnels.

On rappelle également l'influence considérable de la vitesse sur le dimensionnement de l'éclairage (voir la section Eclairage du document n° 4).

CHAPITRE 3

TRACÉ EN PLAN

3.1 FACTEURS D'ANALYSE

Il s'agit ici exclusivement des facteurs géométriques qui affectent la détermination du tracé en plan, mais celle-ci est une opération plus complexe, qui prend en compte également les facteurs d'ordre géologique, ainsi que des considérations d'exploitation et d'équipement

La fixation du tracé d'un tunnel dépend de l'ensemble de l'itinéraire sur lequel il est situé et on doit en particulier toujours vérifier les conditions de stabilité des véhicules et de visibilité minimale correspondant à la vitesse de référence. Néanmoins, il peut arriver qu'on fixe par priorité l'implantation des tunnels, en raison de leur importance ou des impératifs du site. Le tracé des approches en découlera, dans le cadre des valeurs minimales imposées par la vitesse de référence.

Le tracé en plan d'un long tunnel est fréquemment courbe, pour diverses raisons :

- rechercher un axe perpendiculaire aux courbes de niveau pour l'implantation des têtes, ou perpendiculaire aux discontinuités majeures du massif,
- contourner les mauvais terrains, les accidents géologiques et autres sources d'aléas présumés,
- relier des têtes dont l'implantation n'aurait guère de latitude, notamment du fait de l'environnement ou de la géologie et des conditions d'attaque,
- éviter l'éblouissement d'une sortie lumineuse en bout du tunnel rectiligne de plus de 150 m de longueur ; cette raison en fait n'est qu'un souhait, les autres éléments de décision l'emportant souvent (notamment au niveau du génie civil).

3.2 IMPLANTATION DES ACCÈS ET DES TÊTES

3.2.1 PRÉCAUTIONS DE TRACÉ AU VOISINAGE DES TÊTES DE TUNNEL

A proximité d'une entrée de tunnel, la section d'approche à l'air libre ne doit présenter aucune perte de tracé ni aucun écran de visibilité, de façon que le tunnel soit visible au moins 15 secondes à l'avance en toute circonstance. Cette condition est indispensable en rase campagne et souhaitable en zone urbaine. En outre, il est recommandé d'éviter les pertes de tracé à la sortie du tunnel. Dans le cas des ouvrages unidirectionnels, certaines règles doivent être respectées vis-à-vis de l'écartement entre tubes pour des raisons de stabilité générale du massif. On se reportera à ce sujet au document 3 Génie civil qui indique la démarche à suivre.

3.2.2 ENTRÉES ET SORTIES EN TUNNEL

3.2.2.1 Bifurcations et jonctions à l'intérieur d'un tunnel

L'implantation en souterrain doit être en principe proscrite. En effet, la visibilité dans un tunnel, même si ses équipements sont largement dimensionnés, est toujours moins bonne qu'à l'air libre. En particulier, l'expérience montre que la visibilité latérale nécessaire aux manœuvres de changements de voie n'est pas toujours suffisante et que ces manœuvres sont dangereuses.

En zone urbaine cependant il se peut que le schéma général du réseau des voies de surface conduise à envisager l'implantation, à l'intérieur d'un tunnel, d'échanges. On peut, à la rigueur, tolérer :

- les bifurcations, à condition que, grâce à une affectation des véhicules selon la destination avant leur entrée dans le tunnel, il n'y ait pas (ou très

peu) de manœuvres de changement de voies à l'intérieur de l'ouvrage ; cette tolérance ne pourra être prise en compte que si les conditions de visibilité sur le point de choix sont suffisantes afin que cette affectation soit pleinement efficace ; les capacités des bifurcations doivent, bien entendu, être suffisantes pour absorber le débit sortant et éviter les accumulations de véhicules à l'amont dans le tunnel ;

— les jonctions, si elles sont inévitables et si on prend les dispositions nécessaires pour que les manœuvres de convergence puissent s'opérer en sécurité. Après la convergence, il est nécessaire que le nombre de voies soit égal à la somme du nombre des voies affluentes à l'amont. Si cela n'est absolument pas possible, il convient d'étudier les dispositifs de signalisation lumineuse appropriés à la situation, ce qui constitue un problème difficile. Un renforcement de l'éclairage du tunnel dans ces zones est nécessaire.

Dans le cas où il n'est pas possible d'adopter les dispositions précédentes, l'exploitation de l'ouvrage sera difficile et nécessitera plus d'interventions et la sécurité risque d'être imparfaitement assurée.

3.2.2.2. Section d'entrecroisement

En règle générale, la tendance actuelle, favorable à la sécurité, consiste à obtenir une circulation en files déterminées par des lignes peintes continues. Les sections d'entrecroisement doivent être prosrites dans toute la mesure du possible. En zone urbaine, il arrive cependant qu'elles soient inévitables.

3.2.3 BIFURCATIONS ET JONCTIONS À L'EXTÉRIEUR D'UN TUNNEL PRÈS DES EXTRÉMITÉS

Les manœuvres de changement de voies entraînent toujours des ralentissements de véhicules et même des accidents si les conditions de sécurité ne sont pas respectées. Il se produit alors des répercussions souvent importantes et lointaines à l'amont de la bifurcation ou de la jonction lorsque le débit de la voie secondaire est important.

Avant tout, il faut éviter d'implanter des voies de bifurcation ou de jonction immédiatement à proximité d'une entrée ou d'une sortie de tunnel.

Ainsi, les bifurcations et jonctions doivent être éloignées des entrées ou des sorties d'un tunnel, et situées à des distances variables selon la catégorie de l'itinéraire et les conditions locales. En règle générale, une distance minimale de l'ordre de 300 m est recommandée entre l'extrémité du tunnel et, pour les bifurcations, le point de sortie "au plus tard" ou, pour les jonctions, le point d'entrée "au plus tard".

La disposition et les longueurs des différentes parties du raccordement doivent impérativement être conformes aux prescriptions des instructions mentionnées en 1.2.

3.2.4 ÉCHANGEURS DE DÉVIATION

Outre le cas où l'implantation d'échangeurs à proximité de tunnels est rendue nécessaire par les besoins de desserte, on peut être amené en site urbain, ou en cas d'ouvrage d'une certaine longueur, à prévoir avant les entrées des échangeurs de déviation pour faire face aux situations exceptionnelles qui pourraient nécessiter la fermeture temporaire de l'ouvrage. Les itinéraires de déviation doivent être soigneusement établis et convenablement signalés.

3.2.5 IMPLANTATION DES BARRIÈRES DE PÉAGE

En général, les péages de tunnel sont perçus avant l'entrée en tunnel à une distance suffisante pour isoler les péagistes de l'air pollué sortant du tunnel et pour permettre aux véhicules d'aborder le tunnel en régime normal, où ils dégagent moins de polluants qu'en accélérant. Il arrive, pour des raisons d'économie, qu'il n'existe qu'un seul péage à une extrémité contrôlant les deux sens de circulation. Les installations terminales (nombre de guichets), les aires de stockage des véhicules et les modalités d'exploitation doivent alors permettre d'obtenir le débit normal de pointe de l'année horizon et ne pas conduire à des reflux des véhicules au pas ou à l'arrêt dans l'ouvrage.

Les installations souterraines de péage sont à éviter.

Pour les tunnels autoroutiers à sens unique où l'accumulation de véhicules est plus rapide et plus importante, la barrière de péage doit être au moins à 300 m en amont de la tête d'entrée. Cette valeur est une valeur minimale et on cherchera à l'augmenter le plus possible, particulièrement dans les sections en rampe afin de donner la possibilité aux véhicules lents de s'élancer et de se stabiliser sur le plan de la vitesse. Il arrive également qu'il soit impossible de la placer ailleurs qu'à l'aval d'un tunnel.

3.3 TRACÉ EN PLAN ET DÉVERS ASSOCIÉS

3.3.1 RAPPEL DES INSTRUCTIONS POUR L'AIR LIBRE

3.3.1.1 ICTAAL

CATÉGORIE	L 80	L 100	L 120
Rayon minimal Rm (m)	240	425	665
Rayon au dévers minimal Rdm (m)	650	900	1 500
Rayon normal non déversé Rnd (m)	900	1 300	1 800

REMARQUES :

- les courbes de rayon supérieur ou égal à Rnd ne sont pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage,
- les courbes de rayon compris entre Rnd et Rdm sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente transversale de 2,5 %.

– les courbes de rayon inférieur à R_{dm} sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente transversale dont la valeur est fixée par interpolation linéaire en fonction de 1/R entre 2,5 % pour R_{dm} et 7 % pour R_m.

RAPPEL IMPORTANT CONCERNANT LE CHOIX DE LA CATÉGORIE :

Les autoroutes de liaison (ou leurs sections) sont classées, quant à leurs caractéristiques géométriques en trois catégories : L 80, L 100 et L 120, qui caractérisent l'importance et la fréquence des points particuliers

A chaque catégorie est associée une vitesse conventionnelle dite "vitesse de référence" qui permet de définir certaines des caractéristiques géométriques limites d'aménagement des points particuliers.

La "vitesse de référence" ne doit pas être confondue avec la vitesse pratiquée sur l'autoroute, surtout en dehors des points particuliers et des zones de transition qui les encadrent

Le choix de la catégorie est notamment conditionné par le site (relief, occupation du sol...) dans lequel s'inscrit la voie, et doit rester cohérent avec la perception qu'en aura l'utilisateur. La réflexion globale doit aussi s'appuyer sur les conséquences économiques du choix de telle ou telle catégorie.

La catégorie L 80 est réservée aux sites particulièrement difficiles.

Le choix de la catégorie L 100 doit être justifié par une étude comparative avec la catégorie L 120.

Il convient de retenir la catégorie L 120 lors des travaux complémentaires à effectuer sur une autoroute initialement conçue selon l'instruction de 1971 avec une "vitesse de référence" de 140 km/h.

La vitesse de référence V_r d'une section de route est la vitesse qui permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ses points particuliers. Une section homogène ne présente donc normalement nulle part de caractéristiques plus sévères que les valeurs lues dans la colonne correspondante, mais peut en revanche en présenter de meilleures sur la majeure partie de sa longueur

3.3.1.2 ICTARN

Les caractéristiques en plan tracées par l'ICTARN sont définies par la fig. 3.0

Le choix de la catégorie de la route (et donc de sa vitesse de référence) résulte de la comparaison économique.

Cette vitesse de référence ne doit pas être non plus confondue avec la vitesse pratiquée sur la route

3.3.1.3 ICTAVRU

Catégorie	U 60	U 80	A 80	A 100
Rayon minimal (dévers 5 % pour cat. A)	120	240	240	245
Rayon au dévers minimal (dévers associé + 2,5 % pour cat. A)			300	500
Rayon normal non déversé (dévers associé - 2,5 % pour cat. A)	200	400	400	800

REMARQUE :

Sur les voies de type U, les courbes de faible rayon ne sont pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage ; ce sont les conditions d'évacuation des eaux qui sont déterminantes.

RAPPEL CONCERNANT LE CHOIX DE LA CATÉGORIE

a) Voies rapides urbaines à caractère autoroutier : voies de type A

Ce sont des voies dont les objectifs sont : soit :

- trafic de transit privilégié,
 - intégration du projet dans un itinéraire autoroutier exigeant une homogénéité de caractéristiques géométriques et une continuité de la qualité de service,
 - une faible interaction fonctionnelle entre la voie et le site,
- soit :
- forte proportion des trafics d'échange et local et débits importants,
 - fréquence de points d'échange relativement importante.

Ces voies sont dimensionnées pour des vitesses de référence de 80 km/h ou 100 km/h.

FIG 3.0 - Caractéristiques en plan fixées par l'ICTARN

Vitesse de référence (V _r)	40	60	80	100	120
Catégorie	4 ^e cat	3 ^e cat	2 ^e cat	1 ^e cat	Cat exception.
Rayon minimal absolu R _{Hm} (dévers associé : 7 %)	40	120	240	425	665
Rayon minimal normal R _{HN} (dévers)	120 (5 %)	240 (5 %)	425 (5 %)	665 (4 %)	1000 (4 %)
Rayon au dévers minimal R _H (dévers associé : Béton bitumineux : 2,5 %)	250	450	650	900	1500
Béton de ciment : 2 %	300	500	700	1000	1600
Rayon non déversé R _H (dévers associé : - 2,5 % ou - 2 %)	400	600	900	1300	1800

Cependant, pour des voies répondant à la première série d'objectifs, on essaiera de retenir la Vr 100 et, dans le second cas, on n'essaiera pas systématiquement d'obtenir des caractéristiques en tracé en plan et profil en long très supérieures à celles correspondant à la Vr 80, étant entendu que le choix de la vitesse de référence résulte des considérations techniques et économiques.

Ces voies ont l'ensemble de leurs points d'échange dénivelés à terme

b) Autres voies rapides urbaines :
voies de type U

Ce sont des voies dont les objectifs consistent en :

- relations fonctionnelles avec un site très urbanisé immédiatement ou dans le futur,
- trafic d'échange et local prépondérant,
- points d'échanges fréquents assurant une bonne irrigation du tissu traversé,
- intégration éventuelle dans leur emprise, mais de façon séparée des chaussées (contre-allées) d'aménagements pour les deux roues légers et les piétons, ainsi que d'arrêts pour les transports en commun.

Ces voies sont dimensionnées pour des vitesses de référence de 80 km/h ou 60 km/h, le choix entre Vr 80 et Vr 60 se faisant par examen de l'ensemble des autres objectifs. On peut par exemple retenir la Vr 80 de préférence à la Vr 60 lorsque les contraintes ne sont pas trop fortes, ou lorsque la part de trafic à moyenne distance est importante par rapport aux trafics locaux.

Elles comportent à terme des carrefours plans, mais certains échanges peuvent être dénivelés

3.3.2 APPLICATIONS AUX TUNNELS ROUTIERS

A) Dévers en courbe

On appliquera les prescriptions des instructions en vigueur rappelées ci-dessus ; la pente transversale de la chaussée est dirigée vers l'intérieur de la courbe pour tout rayon inférieur au rayon au dévers minimal.

Les courbes de plus fort rayon ne seront pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage ; il conviendra de prendre en considération les problèmes liés à l'évacuation des eaux et à toutes les conséquences possibles sur le profil en travers de l'ouvrage

B) Dévers en alignement droit

Les ouvrages souterrains étant normalement protégés des eaux de pluie, les dévers en alignement droit, en raison des problèmes liés au profil en travers dans de nombreux tunnels, pourraient être limités à 1 % (au lieu des 2,5 % ou 2 % recommandés à l'air libre), sur toute la largeur roulable. Toutefois, il faut cependant drainer le plus rapidement les eaux d'infiltration, les eaux de lavage ou les liquides provenant d'accident mettant en cause des camions citernes (très important pour les matières dangereuses). Il convient d'éviter que sur le plan strict de l'écoulement naturel des liquides, la pente longitudinale soit trop forte

par rapport à la pente transversale avec pour conséquence d'augmenter la longueur de la flaque, ce qui est néfaste sur le plan de la sécurité. On s'attachera donc dans la majorité des cas de pente ou rampe supérieure à 2 %, à conserver le dévers minimum de 2 %

C) Précautions diverses

En tunnel, le choix de l'axe de rotation des dévers a une incidence sur le profil en travers de l'ouvrage. Un changement d'axe de référence par rapport à l'air libre peut s'avérer économiquement très rentable.

Lors de la définition du profil en travers au niveau de l'avant-projet, les problèmes liés au dévers et à l'évacuation des eaux doivent être regardés de très près, car ils conditionnent en grande partie la définition géométrique de l'ouvrage.

Dans le cas d'ouvrages avec faux plafond de ventilation, il conviendra de réfléchir à la possibilité de faire suivre les dévers au faux plafond et de la comparer à la solution consistant à le concevoir horizontal. Ce problème a une incidence directe sur les coûts d'investissement (surexcavation) ainsi que sur les puissances électriques en ventilation, et donc sur les coûts d'exploitation.

3.4. VISIBILITÉ DANS LES TUNNELS COURBES

3.4.1 DISTANCE DE VISIBILITÉ SELON LA VITESSE PRATiquÉE

La distance de visibilité à assurer en fonction de la vitesse pratiquée sera au moins égale à la distance d'arrêt (distance de freinage + distance perception - réaction), telle que définie dans le tableau ci-après.

Vitesse pratiquée (km/h)	140	120	110	100	80	60	40
Distance d'arrêt en alignement droit ou en courbe $R (m) > 5V (km/h)$	320	230	190	160	105	70	40
Distance d'arrêt en courbe $R (m) \leq 5V (km/h)$	390	280	225	180	120	80	45
Distance d'arrêt sur sol sec (en alignement droit) (pour mémoire)			125	110	75	55	35

REMARQUES :

Dans la première partie du tableau, les distances données sont calculées pour des conditions déterminées, à savoir : en palier, chaussée moyenne, roue bloquée, pneu europe, hauteur d'eau 1 mm.

Dans la deuxième partie, nous avons mentionné les distances d'arrêt sur sol sec et en alignement droit

On trouvera en figure 3.1 les minorations et majorations à appliquer sur les distances d'arrêt en fonction des déclivités telles qu'elles ont pu être évaluées à partir des courbes explicitées dans l'ICTAVRU.

Dans le cas où il doit y avoir décision de la part du conducteur, la distance d'arrêt doit être augmen-

tée d'une longueur permettant le choix et la décision soit 6 s (réf. ICTAVRU).

Dans le cas de tunnels très longs (dépassant 2 km en unidirectionnel et 4 km en bidirectionnel) et lorsque l'étanchement est très bon, les distances d'arrêt pourront être légèrement diminuées afin de tenir compte du fait que les conditions d'humidité (et donc de glissance) seront moins sévères qu'à l'extérieur ou dans les zones d'entrée (Apport d'humidité par les véhicules).

Les valeurs proposées pour les distances d'arrêt sont des arrondis par rapport à la formulation mathématique du phénomène. Dans certains cas très contraignants de site, on aura éventuellement intérêt à reprendre les valeurs précises mentionnées dans les annexes de l'ICTARN.

FIG 3.1

Influence des déclivités sur la distance d'arrêt
Longueur de majoration ou de minoration (en m)

déclivité % \ vitesse km/h	- 6	- 4	- 2	0	+ 2	+ 4	+ 6
110	35	22	10	0	- 9	- 16	- 22
100	29	16	6	0	- 7	- 11	- 15
90	16	11	4	0	- 5	- 8	- 9
80	11	7	3	0	- 3	- 6	- 8
70	7	5	3	0	- 2	- 3	- 7
60	4	3	2	0	- 1	- 1	- 4
50	2	1	1	0	- 1	- 1	- 2
40	1	1	1	0	- 1	- 1	- 1

3.4.2 DÉGAGEMENT LATÉRAL AUX VUES

Les prescriptions des instructions en vigueur relatives aux conditions générales de visibilité sont rappelées ci-après :

L'œil du conducteur est supposé placé :

- à 1,00 m de hauteur au-dessus de la chaussée,
- à 2,00 m du bord droit de la voie élémentaire sur laquelle le véhicule circule (courbe à droite),
- à 1,50 m du bord gauche de la voie élémentaire la plus à gauche (courbe à gauche).

Les obstacles éventuels sur la chaussée sont supposés avoir une hauteur de :

- 0,15 m (obstacle éventuel dangereux),
- 1,20 m (véhicule),
- 0,35 m (feux arrières d'un véhicule)

Pour les obstacles permanents, on prend en compte leur hauteur réelle et notamment 0 pour une bande de peinture sur chaussée.

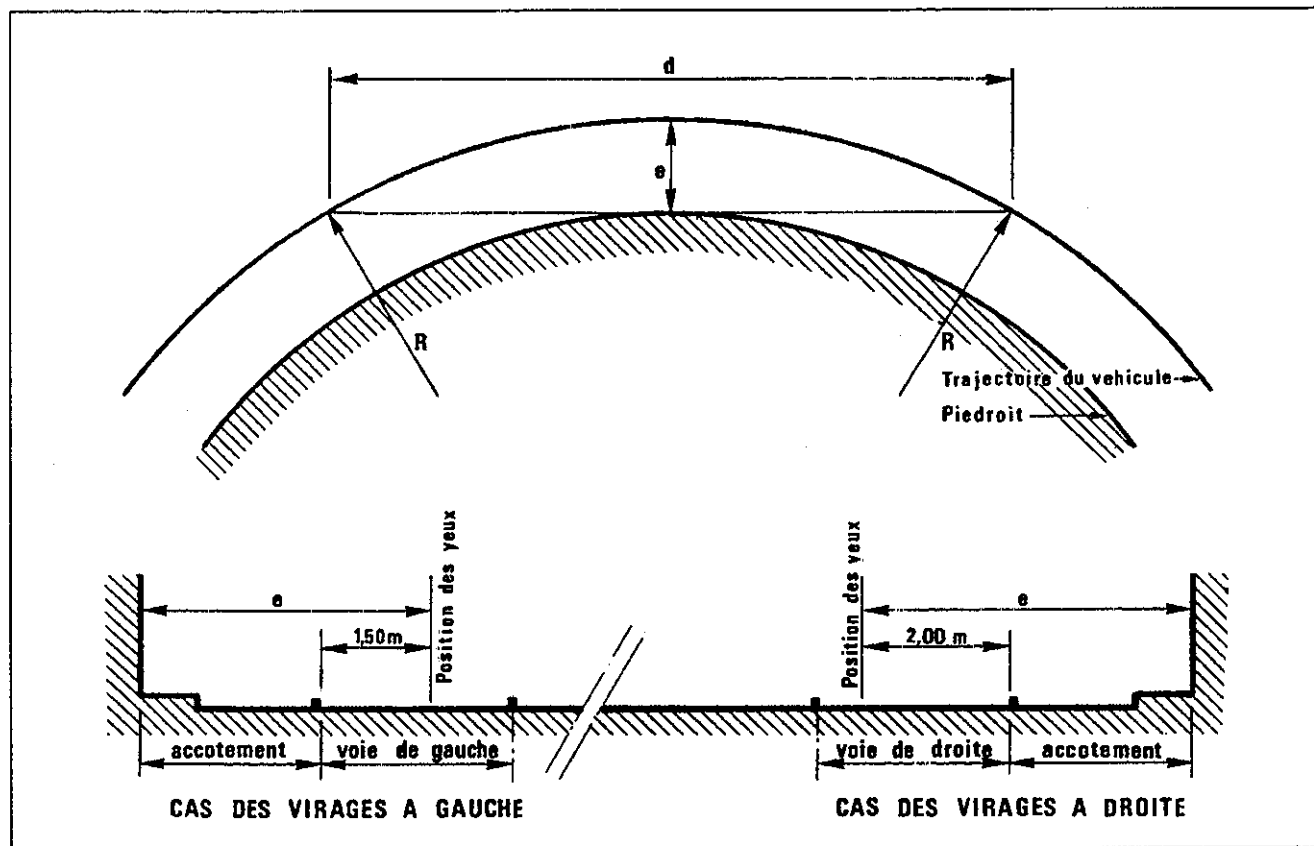
La visibilité latérale peut se vérifier par des constructions géométriques directes

Dans une courbe de rayon R (m) (pris sur l'axe de la voie suivie), la relation entre la distance de visibilité assurée d (m) et le dégagement latéral aux vues e (m) (distance entre l'œil et le piedroit convexe) est donnée par la formule :

$$R = \frac{d^2}{8e}$$

L'usage de cette formule est différent selon que le rayon R est imposé ou peut être modifié substantiellement au-delà des valeurs requises par la vitesse de base envisagée.

FIG 3.2 - Vérification du dégagement latéral



Lorsque le rayon R est imposé, la valeur du dégagement latéral e qui résulte du profil en travers considéré, donne la distance de visibilité d réalisée à comparer avec la valeur correspondante de la vitesse de référence (selon le tableau du § 3.4.1). Dans le cas où la valeur trouvée est insuffisante, il faut alors soit abaisser cette vitesse au niveau imposé par d, ou soit reculer le piédroit (accroissement de e à la valeur $d^2/8R$).

La limitation de vitesse est généralement préférable à l'élargissement onéreux de la section en courbe, sauf type de construction favorable (par exemple tranchée couverte) : il s'agit ici d'une option fondamentale dans la définition géométrique du tunnel.

Lorsque le rayon R n'est pas imposé, la formule permet de vérifier que chaque courbe du tunnel offre la visibilité correspondant à la vitesse pratiquée, et lorsqu'elle ne l'offre pas, d'en accroître le rayon pour y parvenir.

On trouvera en figure 3.3 un tableau permettant de vérifier les conditions de visibilité en fonction de la vitesse pratiquée (V en km/h) du rayon en plan (R en m) et de la distance au piédroit (e en m), et ce pour des sections sans déclivité.

Pour les sections en déclivité, on déterminera la vitesse d'arrêt comme indiquée au paragraphe 3.4.1 et on appliquera la formule ci-dessus pour calculer e.

3.4.3 CONDITIONS PARTICULIÈRES IMPOSÉES AUX TUNNELS

Les dispositions indiquées ci-dessus sont strictement minimales et ne tiennent pas compte des difficultés spécifiques aux tunnels routiers :

- difficultés de perception dues à la présence de fumée de diesels, de poussières toujours plus ou moins en suspension en espace semi-clos, éclairage artificiel toujours très inférieur aux éclairages naturels quelque effort d'équipement qui soit fait, défaut de vision dû au changement brusque des luminances rencontrées dans le champ visuel après l'entrée dans un tunnel, etc...

- conditions de freinage différentes de celles rencontrées à l'air libre avant l'entrée en tunnel : dans certains tunnels des infiltrations d'eau ne peuvent être évitées et se répandent quelquefois sur la chaussée. En outre, les chaussées de tunnels, non lavées par l'eau de pluie, sont plus grasses qu'à l'air libre.

Les rayons trop faibles (inférieurs à 500 m) peuvent poser éventuellement des problèmes aux techniciens du génie civil, en particulier si le creusement envisagé est réalisé par une machine foreuse pleine section. Toutefois, les problèmes les plus importants sont relatifs au respect des conditions de visibilité pour l'utilisateur.

FIG 3.3

Relations entre la distance au piédroit,
la vitesse et le rayon de courbure
 $e = f(V, \text{Rayon})$

V km/h \ Rayon m						V km/h \ Rayon m					
40	60	80	100	110		40	60	80	100	110	
100	2.5	8				550		1.1	2.5	5.8	11.5 / 8.2
150	1.7	5.3				600		1	2.3	5.3	7.5
200	1.3	4	9			650		0.9	2.1	4.9	6.9
250	0.8	3.2	7.2			700		0.9	2	4.6	6.4
300		2.7	6			750		0.8	1.8	4.3	6
350		1.7	5.1			800		0.8	1.7	4	5.6
400		1.5	4.5	3.4	10.1	850			1.6	3.8	5.3
450		1.4	3.1	9		900			1.5	3.6	5
500		1.2	2.8	8.1	6.4	12.7	950		1.4	3.4	4.8

Cases dont le rayon en plan est inférieur aux rayons normalement réglementaires pour la vitesse de référence.

CHAPITRE 4

PROFIL EN LONG

Les caractéristiques du profil en long d'un tunnel sont à déterminer en tenant compte :

- du profil en long des accès,
- de l'hydrogéologie du site,
- de l'implantation des têtes

Nous n'avons pas récapitulé ci-après les différents paramètres fondamentaux concernant le profil en long. On se référera aux instructions en vigueur (ICTAAL, ICTARN, ICTAVRU), les règles de base étant les mêmes en tunnel qu'à l'air libre. On a cherché simplement à mettre en valeur les problèmes particuliers aux ouvrages souterrains.

4.1 TUNNELS À DÉCLIVITÉ UNIQUE OU EN TOIT

Le choix entre un profil à déclivité unique ou un profil en toit dépend principalement de l'étude hydrogéologique et de l'importance des venues d'eau (voir document Génie civil). Ce point est particulièrement important pour les ouvrages souterrains où il faut éviter un profil plat de manière à assurer correctement tant au niveau des caniveaux (ou fils d'eau) que des conduites spécialisées, une évacuation naturelle des différentes eaux (infiltration, drainage, lavages...)

4.1.1 RAMPES (déclivités en sens montant)

Une rampe minimale de 0,2 à 0,4 % est imposée pour assurer le drainage naturel du chantier, et ultérieurement en exploitation l'écoulement longitudinal des eaux d'infiltration et de lavage. La valeur à adopter dépend dans chaque cas de la longueur de l'ouvrage, des venues d'eau prévisibles (diffusées ou concentrées) ainsi que de la méthode d'exécution (une ou plusieurs attaques).

Il est recommandé d'éviter en tunnel des déclivités maximales supérieures à celles des accès au tunnel.

Il vaut mieux ne pas dépasser 2 % dans les tunnels lorsque leur longueur dépasse 400 m et se limiter, lorsqu'on le peut, à 1,5 % pour les raisons suivantes :

- Le débit d'émission de polluants (gaz toxiques et fumées) par les véhicules augmente en fonction de la rampe. L'augmentation est particulièrement

sensible pour la fumée dégagée par les poids lourds diesel à partir d'une rampe de 1,5 à 2 % (Voir document Equipements-section Ventilation),

- la vitesse des camions lourds décroît très vite avec la rampe (surtout à partir de 1,5 %). Des vitesses de 50 km/h et moins nuisent à l'écoulement du trafic et doivent être évitées. Elles ont notamment pour effet de réduire la capacité et d'augmenter le nombre de véhicules présents dans le tunnel, donc les besoins en ventilation. Une voie supplémentaire, très coûteuse en tunnel, supprimera les bouchons ou les réductions de débit mais n'évitera cependant pas le dégagement important de fumées par les diesels. On trouvera en 4.4 le rappel des différentes instructions sur l'aménagement des voies réservées aux véhicules lents,

- l'expérience montre que les rampes ont une influence très importante sur le nombre de véhicules en panne dans un tunnel. Pour pallier l'effet des pannes sur la réduction de capacité et sur les risques de collision, il est nécessaire de construire en surlargeur des garages surtout dans les tunnels longs en rampe dont la largeur roulable ne permet pas la circulation à vitesse réduite sur deux files en présence d'un véhicule en panne.

4.1.2 PENTES (déclivités en sens descendant)

Pour les ouvrages à sens unique, les pentes conduisent à une diminution des besoins de ventilation. Toutefois, il convient de souligner leur effet néfaste en cas d'incendie en raison de l'effet "cheminée". On se référera à ce sujet au document Equipements -section Ventilation

Les fortes pentes sont dangereuses en tunnel en raison des vitesses excessives que certains conducteurs peuvent être tentés de pratiquer. De plus elles incitent les poids lourds à ralentir, ce qui peut nuire à la capacité de l'ouvrage.

On pourra utiliser les règles valables pour les ouvrages à l'air libre.

4.2 TUNNELS À POINTS BAS (ou en angle rentrant)

Dans les tunnels à point bas (généralement passages souterrains de voirie urbaine ou passages sous fluviaux) on doit s'assurer que les plafonds ne réduisent pas les distances de visibilité au-dessous des distances d'arrêt données par le tableau du § 3.4.1, tant dans les entrées qu'en section courante de l'ouvrage (cf. fig. 4.1)

REMARQUES :

Pour des ouvrages à gabarit réduit (circulation réservée aux voitures légères) l'œil du conducteur sera pris à 1 m du sol

Pour les ouvrages à gabarit normal, le cas défavorable est celui des conducteurs de poids lourds. Dans ce cas, la hauteur est de 2,5 m par rapport au sol.

4.3 TUNNEL À POINT HAUT (ou en angle saillant)

Il convient d'appliquer les règles données par les instructions pour les routes à l'air libre, permettant d'assurer la visibilité d'un obstacle derrière l'angle saillant (voir Fig. 4.2).

Les yeux du conducteur sont supposés être situés à une hauteur h (1 m pour le cas des véhicules légers, les plus défavorables à cet égard),

Les obstacles à prendre en compte sont supposés avoir une hauteur de :

- objet éventuel sur la chaussée : $x = 0,15$ m,
- feux arrières d'un véhicule : $x = 0,35$ m,
- véhicule : $x = 1,20$ m,
- au sol (marquage routier) : $x = 0$ m.

FIG 4.1 - Visibilité dans un tunnel à point bas

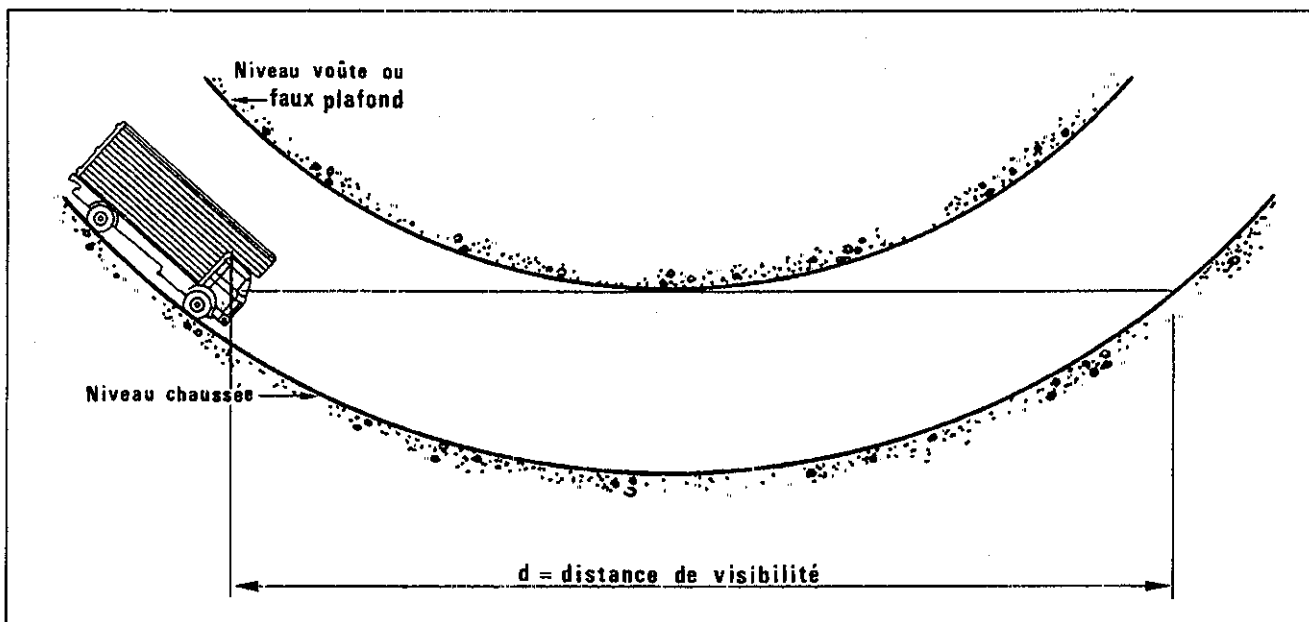
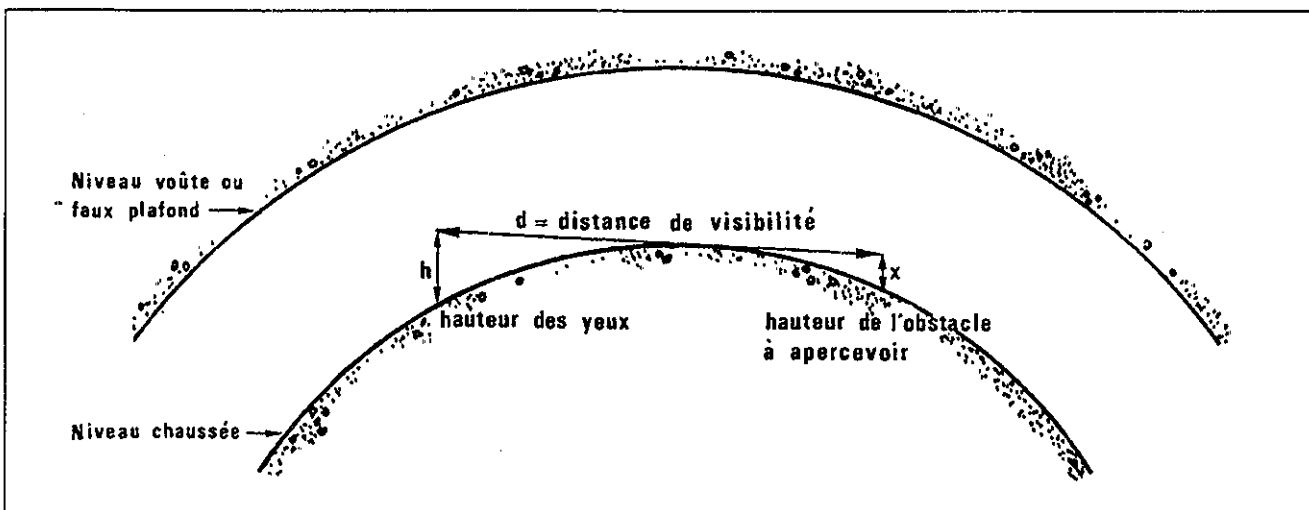


FIG. 4.2 - Visibilité dans un tunnel à point haut



Les règles générales du choix de l'obstacle à prendre en considération sont les suivantes :

- section courante :
 - normalement objet sur la chaussée,
 - exceptionnellement feux arrière d'un véhicule.
- voirie annexe, peu circulée : véhicule,
- dans le cas de souterrain en zone urbanisée où des changements d'affectation de file importants sont à attendre, il convient alors de prendre en compte le marquage du sol (attention, dans ce cas les distances d'arrêt devront être augmentées afin de prendre en compte les temps de décision).

4.4. VOIE SUPPLÉMENTAIRE EN RAMPE (pour véhicules lents)

Il a été vu auparavant en 4.1.1 que le profil en long avait une très grande importance sur la circulation lorsque l'on introduit de fortes rampes. Afin de remédier à cet état, le projeteur peut être alors tenté d'envisager une voie supplémentaire réservée aux véhicules lents (VSVL).

Cependant en souterrain, le coût supplémentaire entraîné par une VSVL est très important et sans commune comparaison avec un tracé à l'air libre. Pour cette raison, une méthode de choix afin de justifier une voie supplémentaire en rampe, basée sur de seules considérations économiques, en y incluant les avantages financiers pour l'usager, semble parfaitement illusoire.

En conséquence, on se contentera d'appliquer les règles générales édictées pour l'air libre et rappelées ci-après, basées sur la seule notion de vitesse (et non plus sur des critères économiques). Celles-ci pourront alors être transposées directement dans l'esprit pour la conception des ouvrages souterrains.

Les courbes de la figure 4.3 (page 26), établies par le SETRA, permettent de déterminer l'ordre de grandeur des vitesses atteintes par les poids lourds en fonction de leur vitesse initiale (90 km/h = trait plein, arrêt = trait tireté), de la rampe et de la longueur de celle-ci.

4.4.1 ICTAAL

Une voie supplémentaire banalisée peut être aménagée sur justification économique dans les sections en rampe, lorsque leur longueur et leur déclivité sont telles que la vitesse des véhicules lents est réduite à moins de 50 km/h.

On utilise les diagrammes de vitesse des véhicules lents, tels qu'ils peuvent résulter des mesures ou des programmes de calcul électronique, pour l'étude économique qui doit être faite afin de situer l'implantation optimale de l'origine et de l'extrémité de cette voie.

Toutefois, sur les autoroutes comportant des chaussées unidirectionnelles à plus de 2 voies, il n'y a pas lieu de prévoir de telles voies supplémentaires, sauf cas exceptionnel spécialement justifié.

REMARQUE : les études récemment menées montrent que pour les valeurs maximales de rampes, (de 5 à 7 % suivant la catégorie) les vitesses des véhicules lents (poids lourds pour l'essentiel) peuvent atteindre dans la condition la plus pénalisante :

Catégorie	L 80	L 100	L 120
Rampe maximale en montée	6 %	5 %	4 %
en descente	6 %	6 %	5 %
Vpl (km/h)	30	40	50

4.4.2 ICTAVRU

Pour des rampes supérieures à 3 %, on essaiera dans la mesure du possible de déterminer la vitesse des poids lourds dans la rampe en fonction de la longueur, afin de connaître à partir de quel point la vitesse des poids lourds devient très inférieure à celle des autres usagers, perturbant ainsi en heure creuse, le confort, et en heure de pointe, la capacité. La détermination de la vitesse atteinte par les poids lourds dans la rampe pourra être effectuée à l'aide de mesures, par consultation de courbes ou au moyen d'un programme de calcul électronique.

En fonction des résultats obtenus et du niveau de service offert à l'usager sur la voie, on pourra envisager d'ajouter une voie supplémentaire au nombre de voies déterminé par le trafic en UVP/h (où le coefficient d'équivalence PL est de 2), dans la section où la vitesse des PL chute en-dessous de 40 km/h.

4.4.3 ICTARN

L'étude économique permet de déterminer les déclivités à adopter et les aménagements à prévoir pour les rampes (ou pentes) correspondantes.

La diminution de vitesse des véhicules rapides due à la gêne apportée à la circulation par les véhicules lents dans les rampes peut justifier la construction d'une voie supplémentaire pour les véhicules lents.

Pour des trafics inférieurs à 15 000 véh/jour sur routes à 4 voies ou 2 fois 2 voies, et à 10 000 véh/jour sur routes à 2 ou 3 voies, la rentabilité de telles voies est surtout assurée pour des rampes de grande longueur, et pour des routes à chaussée unique bidirectionnelle à 2 voies où la visibilité de dépassement n'est pas assurée dans la rampe.

REMARQUE : la tendance actuelle et l'évolution de la doctrine vont vers la banalisation de cette voie. La notion de "voie spéciale pour véhicules lents" est donc à remplacer par celle de "voie supplémentaire en rampe".

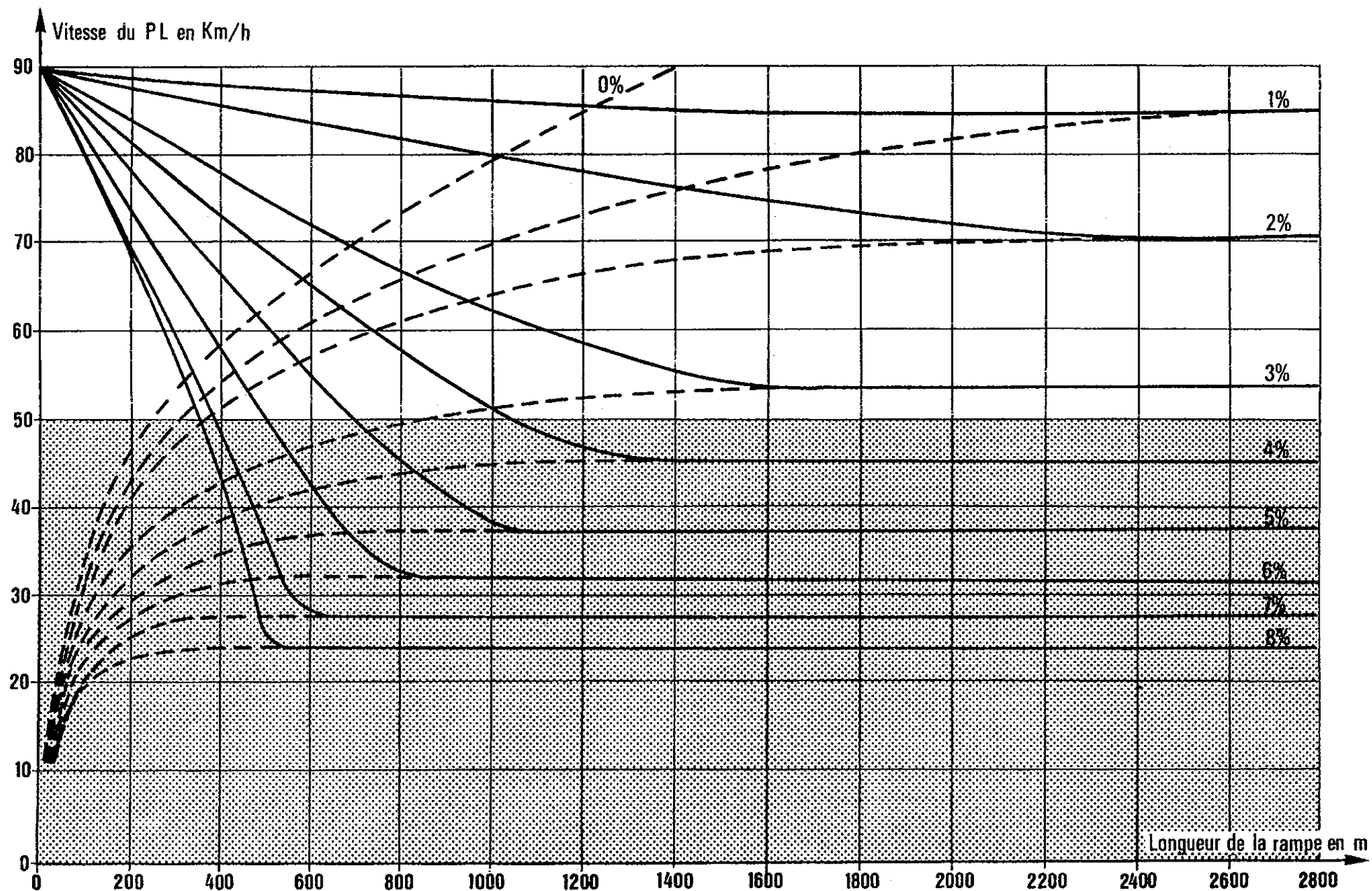


FIG. 4.3 - Vitesse des PL en rampe

CHAPITRE 5

PROFIL EN TRAVERS UTILE À LA CIRCULATION

Ce chapitre traite uniquement des caractéristiques géométriques imposées par les impératifs de la circulation. La détermination complète du profil en travers ne peut être effectuée qu'après avoir analysé les incidences des équipements (chapitre 6 du présent document) et des conditions géotechniques (document Génie civil).

5.1 DÉFINITIONS

Le profil en travers d'une plate-forme en tunnel comprend, comme indiqué sur la figure 5.1 :

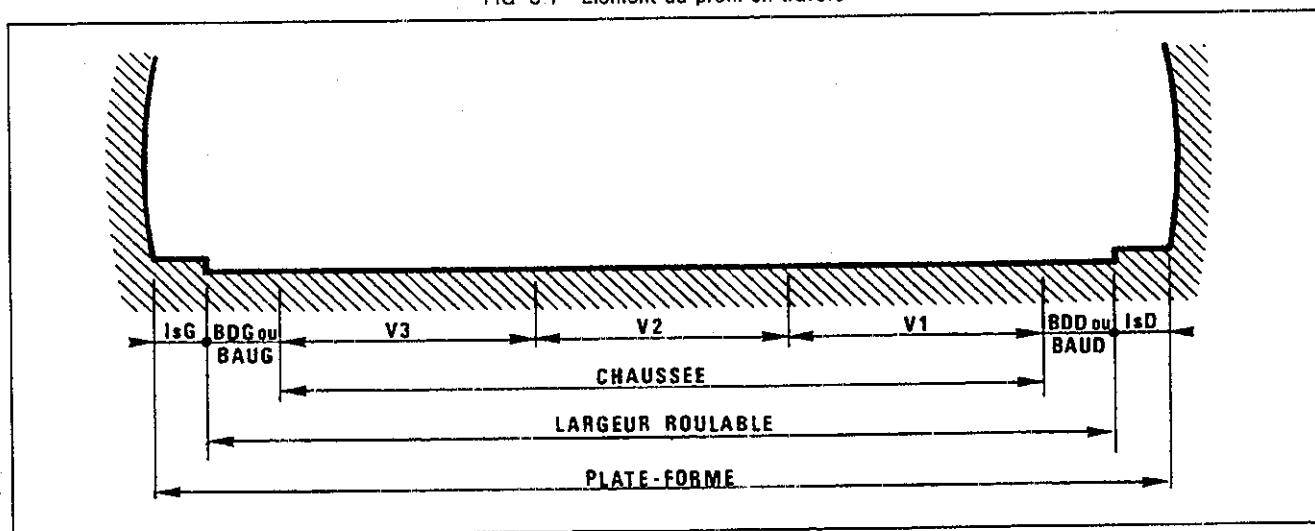
- un isolateur à droite constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues (ISD),
- une bande dérasée de droite pouvant servir (totale, partiellement ou non) à l'arrêt d'urgence de certaines catégories de véhicules (BDD). Elle est appelée bande d'arrêt d'urgence de droite (BAUD) lorsque sa largeur est supérieure ou égale à 2 m,
- plusieurs voies élémentaires de circulation (Vi),
- une bande dérasée de gauche (BDG) ou bande d'arrêt d'urgence de gauche (BAUG),
- un isolateur à gauche (ISG) constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues.

On appelle largeur roulable la partie accessible aux véhicules constituée par l'ensemble de la chaussée (au sens géométrique) et des deux bandes dérasées qui la bordent.

REMARQUES IMPORTANTES

En principe, la grande majorité des tunnels est équipée de trottoirs, sauf lorsqu'il y a des bute-roues. En souterrain, la largeur roulable est donc assimilée à la distance entre trottoirs, et comprend donc les caniveaux ou fils d'eau ainsi que les avaloirs (à la différence de l'air libre où ces dispositifs sont extérieurs à la largeur roulable). Des précautions sont donc à prendre à la construction afin qu'il n'y ait pas de différence de niveau significative pour la sécurité de la circulation entre la chaussée proprement dite et le caniveau. Le pro-

FIG 5.1 - Élément du profil en travers



blème est également très important lors d'un rechargement éventuel de la chaussée.

Lorsqu'elles existent, les bandes dérasées de droite et de gauche doivent supporter les bandes de guidage latérales (à implanter hors de la chaussée) et nécessitent donc compte tenu des trottoirs, une largeur plus importante que la bande proprement dite qui est normalisée par les instructions sur la signalisation en vigueur.

On rappellera simplement que la largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité "U" différente suivant le type de route. La largeur des bandes latérales de guidage, est en général égale à 3 "U" avec les valeurs suivantes :

- U = 7,5 cm sur autoroutes et voies rapides urbaines,
- U = 6 cm sur les routes du schéma directeur et les voies urbaines assimilables,
- U = 5 cm sur toutes les autres routes.

Une valeur minimale de 0,30 m pour les bandes dérasées peut donc être recommandée.

Lorsqu'il n'y a pas de bandes dérasées, il sera fortement conseillé de peindre les bordures de trottoirs (ou bute-roues).

5.2 LARGEUR ROULABLE

5.2.1 IMPORTANCE DE LA LARGEUR ROULABLE

La largeur roulable conditionne les possibilités de l'ouvrage et constitue l'élément fondamental du dimensionnement de la plate-forme. Elle prend une particulière importance pour les ouvrages souterrains, tout élargissement de la plate-forme se traduisant directement par une augmentation de la section totale excavée et donc du coût de l'ouvrage.

Dans chaque projet, la largeur roulable constitue, une fois les données de trafic connues, l'un des premiers facteurs à analyser, bien avant que soit définie la composition de la plate-forme.

5.2.2 GÉNÉRALITÉS

Il convient dans chaque cas de tenir compte des quatre éléments suivants :

A) Homogénéité avec les accès. Ce point a été signalé au § 2.4.1. Il est rappelé ici en raison de son importance. Lorsque pour des raisons particulières, la largeur roulable doit être réduite en tunnel, il est essentiel que cette réduction règne avant l'ouvrage sur une longueur suffisante (au moins 100 à 150 m) afin que le conducteur ne soit pas surpris à l'entrée du tunnel.

B) Satisfaction des besoins de trafic qui nécessitent que soient bien appréhendés : la catégorie de l'itinéraire, les trafics prévisibles, le pourcentage de poids lourds en pointe et en heure normale, le mode d'exploitation, la présence et les caractéristiques des garages et niches de retournement en tunnel.

C) Maintien du niveau de service qui dépend de l'importance de l'itinéraire et des risques engendrés par une panne ou une congestion (longueur

de l'ouvrage augmentant la probabilité d'arrêt, niveau d'équipement).

A titre indicatif, on donne ci-après l'ordre de grandeur des fréquences des pannes et accidents, telles qu'elles résultent de l'analyse des tunnels français actuellement en service.

Evénement	Taux pour 100 millions de véhicules km	Taux moyen
Pannes	400 à 1 100	750
Accidents matériels	30 à 80	50
Accidents corporels	7 à 20	9
Morts	0 à 0,6	0,2
Incendies (petits incendies)	1 à 9	2

Pour plus de précision, il convient de se reporter au document Equipements - section Exploitation.

La fréquence des pannes en tunnel dépend dans une large mesure du profil en long. Elle peut varier dans la proportion de 1 à 10 selon la valeur des rampes et pentes. L'altitude a également une influence très marquée sur les pannes et particulièrement pour le trafic PL (problèmes de réglages des moteurs).

La fréquence des accidents dépend également du tracé en plan et du profil en long. De plus, pour les ouvrages urbains avec adjonction, bifurcation, le taux est beaucoup plus élevé (taux moyen de 300, 100 et 6 pour les accidents matériels, corporels et les tués).

D) Coût de l'ouvrage : l'attention est attirée sur les conséquences financières d'une augmentation abusive de la largeur roulable.

Indépendamment des indications données plus loin sur les notions propres à la composition de la largeur roulable (voies élémentaires de circulation, bandes dérasées) au sens matérialisation au sol par le marquage routier, il convient de réfléchir sur les éléments permettant de rechercher la permanence de l'écoulement du trafic en présence d'un véhicule en panne.

5.2.3 LARGEUR UNITAIRE DES COULOIRS DE CIRCULATION

Par opposition à la notion de voies unitaires de circulation (matérialisées au sol et valables pour une circulation normale), il convient de dimensionner la largeur roulable à partir de la notion de couloir de circulation à réserver pour chaque file de circulation qui peut se rencontrer à l'intérieur de l'ouvrage.

On trouvera ci-après un tableau donnant la largeur des couloirs de circulation suivant différentes vitesses. Les valeurs données prennent en compte les largeurs unitaires des véhicules (1,80 m pour les véhicules légers et 2,50 m pour les poids lourds) ainsi que les gardes nécessaires à droite et à gauche (fonction du type de véhicule et du cas de circulation envisagé).

Ces gardes sont valables quel que soit le type de circulation (bi ou unidirectionnelle).

Condition de circulation \ Type	VL - Voiture légère	PL - Poids lourds
	m	m
Véhicule arrêté	2,15	2,85
Véhicule au pas	2,30	3,00
Vitesse prudente 40-50 km/h	2,70	3,25
Vitesse normale 60 km/h	3,00	3,5

REMARQUES :

Dans le cas d'ouvrages à très faible rayon de courbure en plan (inférieur ou égal à 200 m), il convient également de majorer la largeur du couloir de circulation afin de tenir compte des débordements latéraux supplémentaires de la carrosserie par rapport à la normale.

On pourra appliquer les surlargeurs suivantes (le rayon R étant exprimé en mètre) :

- voiture de tourisme : $8/R$ m,
- camion routier : $22,5/R$ m,
- transport semi-remorque : $55/R$ m réduite à $50/R$ dans les instructions.

Dans certains cas, il convient de vérifier également que les dispositions retenues pour la largeur rou-

lable permettent la giration des véhicules dans le couloir de circulation et qu'il n'y aura pas lieu d'introduire de surlargeurs complémentaires pour tenir compte des possibilités réelles de braquage des véhicules. On portera également son attention en milieu urbain sur les caractéristiques et les possibilités de certains véhicules, notamment les transports en commun, camions d'ordures ménagères ou véhicules de lutte contre l'incendie

5.2.4 SCHÉMAS TYPES

On trouvera ci-après différents schémas types (applicables à 2 voies) ainsi que les différents tableaux permettant toutes les combinaisons possibles sur la vitesse des différentes voies de circulation.

5.2.4.1. Largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence

(valables pour une circulation uni ou bidirectionnelle).

On trouvera en fig. 5.2 et 5.3, les schémas des largeurs roulables valables pour deux courants de circulation pour des conditions normales. Vitesse normale

FIG 5.2 - Schéma des largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence

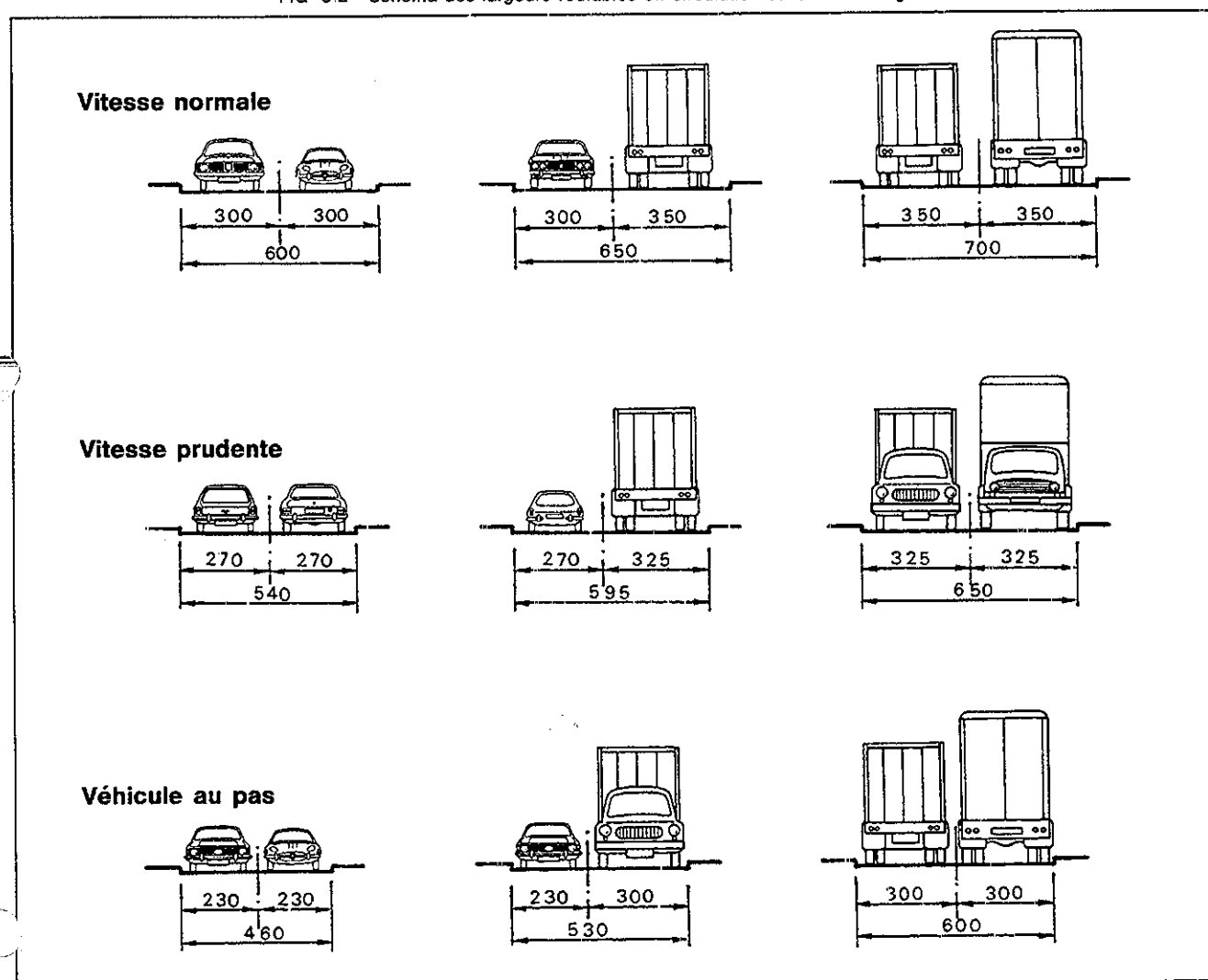


FIG 5 3 - Tableau de combinaisons : largeur minimale pour 2 courants de circulation
(bi ou unidirectionnelle)

File 2		Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas	
		VL 3 m	PL 3,5 m	VL 2,70 m	PL 3,25 m	VL 2,30 m	PL 3 m
VITESSE NORMALE	VL 3 m	6,00	6,50	5,70	6,25	5,30	6,00
	PL 3,5 m	6,50	7,00	6,20	6,75	5,80	6,50
VITESSE PRUDENTE	VL 2,70 m	5,70	6,20	5,40	5,95	5,00	5,70
	PL 3,25 m	6,25	6,75	5,95	6,50	5,55	6,25
VÉHICULE AU PAS	VL 2,3 m	5,30	5,80	5,00	5,55	4,60	5,30
	PL 3 m	6,00	6,50	5,70	6,25	5,30	6,00

5.2.4.2 Circulation au droit d'un véhicule en panne

(valable pour 2 voies de circulation bi ou unidirectionnelle)

On trouvera en fig. 5.4 et 5.5 les schémas et tableaux de combinaison des largeurs roulables nécessaires pour différents cas de circulation au droit d'un véhicule arrêté en panne.

FIG 5 4 - Schéma de circulation au droit d'un véhicule en panne
(valable pour 2 voies de circulation bi ou unidirectionnelle)

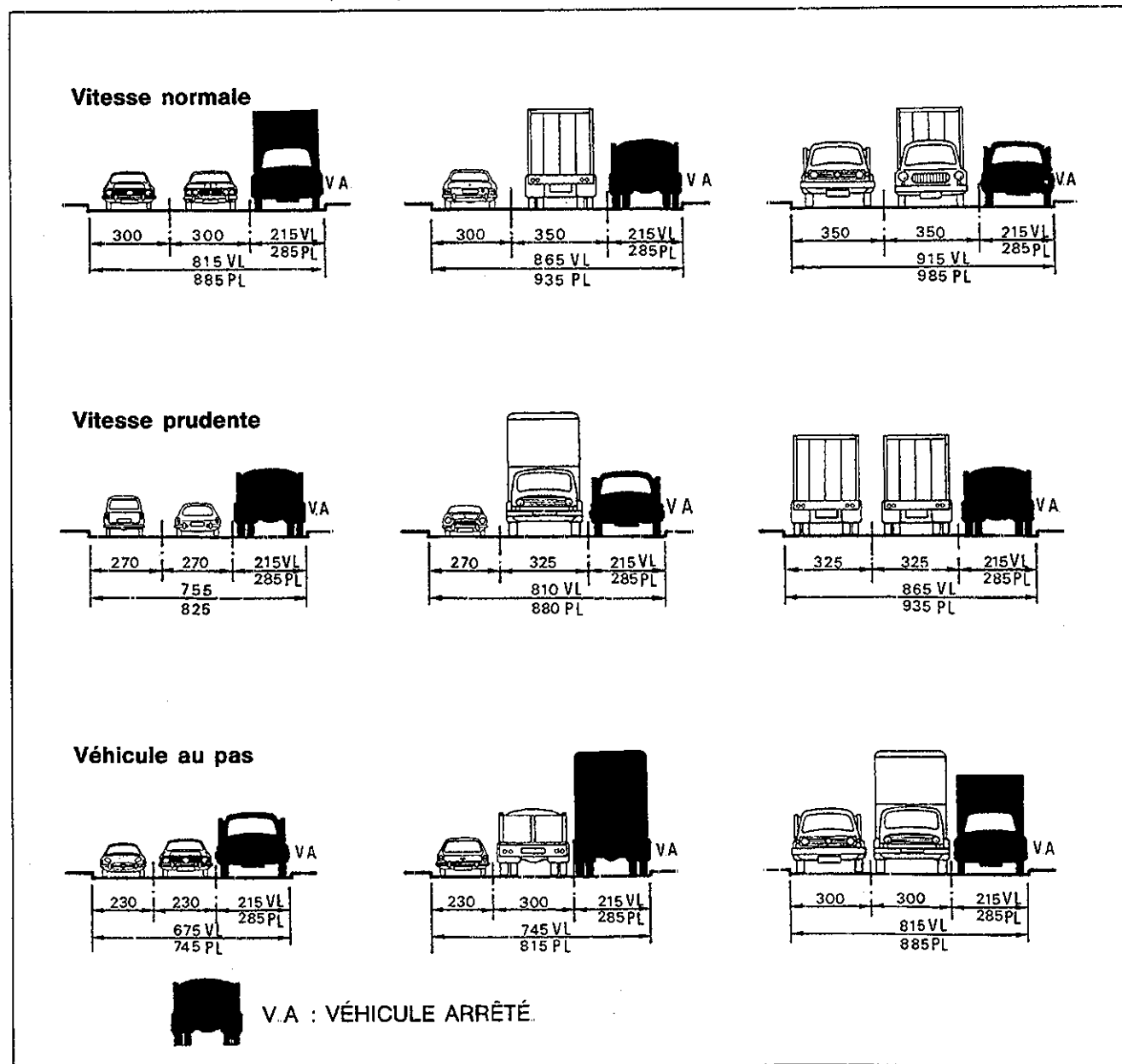


FIG 5 5 - Tableau de combinaisons : largeur minimale nécessaire pour la conservation de deux voies de circulation (bi ou unidirectionnelle) au droit d'un véhicule arrêté

			PL ARRÊTÉ (2,85 m)						
File 2 ou 1 File 1 ou 2			Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas		
			VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3	
V L A R R Ê T É 2 , 1 5 m	Vitesse normale	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85
		PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35
	Vitesse prudente	VL 2,70	7,85	8,35	7,55	8,25	8,80	7,85	8,55
		PL 3,25	8,40	8,90	8,10	9,35	8,65	8,40	9,10
	Véhicule au pas	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	8,15
		PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15	8,85

NOTA : La partie du tableau au-dessus du trait oblique concerne le cas d'un poids lourd arrêté.

La partie du tableau au-dessous du trait oblique concerne le cas d'un véhicule léger arrêté.

Exemples d'utilisation du tableau de la fig. 5.5 :

FIG 5 6 - Exemple A : Largeur roulable nécessaire pour 1 PL arrêté, 1 VL en circulation prudente et un PL en circulation au pas LR = 8,65 m.

			PL ARRÊTÉ						
File 1 ou 2		File 2 ou 1	Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas		
			VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3	
V L A R R Ê T É	Vitesse normale	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85
		PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35
	Vitesse prudente	VL 2,70	7,85	8,35	7,55	8,25	8,80	7,85	8,55
		PL 3,25	8,40	8,90	8,10	9,35	8,65	8,40	9,10
	Véhicule au pas	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	8,15
		PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15	8,85

FIG 5 7 - Exemple B : Largeur roulable nécessaire pour 1 VL arrêté, 1 VL en circulation prudente et 1 PL en circulation au pas LR = 7,85 m

			PL ARRÊTÉ						
File 2 ou 1 File 1 ou 2			Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas		
			VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3	
V L A R R Ê T É	Vitesse	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85
		PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35
	Vitesse	VL 2,70	7,85	8,35	7,55	8,25	8,80	7,85	8,55
		PL 3,25	8,40	8,90	8,10	9,35	8,65	8,40	9,10
	Véhicule	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	8,15
		au pas	PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15

5.2.4.3 Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable

On trouvera en fig. 5.8 (page 33) le tableau récapitulatif, en fonction de la largeur roulable, des différentes conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté.

5.2.5 VOIES UNITAIRES DE CIRCULATION

La largeur des voies de circulation est en principe de 3,5 m.

Cependant :

- pour la voirie urbaine (infrastructure du type U à caractère non autoroutier), on pourra diminuer cette valeur jusqu'à 3 m, sans toutefois avoir pour une chaussée à deux voies, une largeur roulable inférieure à 6,5 m,
- pour les passages souterrains à gabarit réduit, le minimum est de 2,75 m pour un gabarit de 2,60 m,
- pour les routes nationales, la largeur peut être ramenée à 3 m (routes à 2 voies de 2^e, 3^e et 4^e catégories et routes à 4 voies de 3^e et 4^e catégories),
- pour les routes nationales à très faible circulation de 3^e et 4^e catégories, la largeur peut être réduite à 2,50 m.

En cas de création d'une voie supplémentaire en rampe, la voie de gauche pourra être réduite à 3 m (bande de guidage non comprise) dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel. Pour les tunnels bidirectionnels, on aura intérêt à diminuer la voie de droite à 3 m et laisser la voie montante gauche à 3,5 m afin de diminuer les risques de conflit de circulation entre les deux sens.

5.2.6 BANDES DÉRASÉES

Comme pour l'air libre, les largeurs comprises entre 1 et 2 m sont à proscrire car elles peuvent donner l'illusion d'une possibilité d'arrêt en sécurité.

En tunnel, la valeur normale de la bande d'arrêt d'urgence (à droite) est de 2 m permettant ainsi l'arrêt d'un VL (mais sans travaux possibles sur le véhicule). Cependant cette largeur infléchit légèrement la trajectoire des véhicules circulant sur la voie de droite.

Les bandes dérasées de droite ou de gauche ont une largeur comprise entre 0,30 m et 1 m. Les dimensions les plus couramment utilisées sont les suivantes : 0,30 m, 0,50 m, 0,60 m, 0,75 m ou 1 m.

La dimension de 0,30 m correspond à la largeur minimale permettant, en présence de trottoir, d'implanter les bandes de guidage peintes sur la plate-forme.

5.2.7 LARGEURS ROULABLES TYPES

Entre la largeur déterminée suivant la méthode exposée en 5.2.4 et la largeur à retenir finalement, il convient d'intégrer dans le profil en travers les aspects réglementaires sur les voies de circula-

tion, sur les bandes d'arrêt d'urgence et sur les bandes dérasées. Le projeteur a donc à composer sa plate-forme. Il faut retenir que les contraintes les plus fortes sont celles relatives aux bandes dérasées et aux bandes d'arrêt d'urgence dans la mesure où il est réglementairement interdit de prévoir tant à droite qu'à gauche des surlargeurs comprises entre 1 et 2 m.

On trouvera ci-après les profils en travers qui peuvent être utilisés de façon systématique. Le projeteur pourra apporter les adaptations nécessaires en fonction des particularités ou des contraintes du projet.

5.2.7.1 Règles de choix

Il convient avant tout de prendre en considération les facteurs liés au trafic devant emprunter l'ouvrage, les conditions exactes de circulation que l'on veut donner aux usagers, **et leur sécurité** en cas d'arrêt d'un véhicule.

De plus, il convient de tenir compte du degré d'équipement installé à l'intérieur ainsi que des possibilités d'information et d'intervention rapide sur la circulation, tant pour les usagers que pour les services appelés à intervenir.

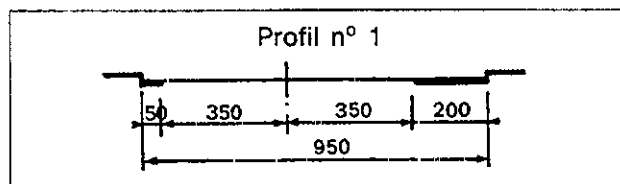
On rappellera que le choix de la largeur roulable conditionne également les besoins en ventilation dans la mesure où son dimensionnement nécessite la prise en considération des différentes conditions de circulation que l'on pourra trouver à l'intérieur de l'ouvrage.

En outre, la largeur roulable conditionne, et ce beaucoup plus qu'à l'air libre, l'économie générale du projet ; pour un tunnel, il semblerait illusoire en l'état actuel des connaissances, d'essayer de faire des calculs économiques car bon nombre de facteurs ne sont pas chiffrables financièrement ; en outre, pour des raisons évidentes de sécurité, il doit être dans le cas d'ouvrages souterrains tenu compte des événements exceptionnels, nécessitant de la part des secours spécialisés (pompiers, garagistes, SAMU...) une possibilité d'intervention très rapide.

5.2.7.2 Tunnels sur autoroutes de liaison, sur routes de catégorie exceptionnelle, et sur VRU de type A (circulation unidirectionnelle)

A) Profil sans réduction de vitesse

Les conditions essentielles à respecter sont la vitesse d'écoulement du trafic et la sécurité en cas d'arrêt d'un véhicule (VL ou PL) et ce quelle que soit la longueur de l'ouvrage.



Ce profil est celui qui est le plus satisfaisant sur le plan de la circulation, car il permet en cas d'arrêt d'un PL ou d'un VL de conserver 2 voies de circulation à vitesse normale (1 voie PL et 1 voie VL).

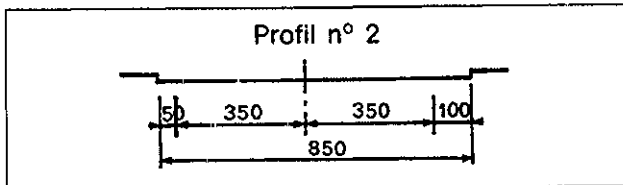
FIG. 5.8 - Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable
(bidirectionnel ou unidirectionnel)

Largeur roulable	PL arrête	VL arrête	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
9,85					
9,60					
9,35					
					
					
9,15					
9,10					
					
9,05					
8,90					
8,85					
					
					
8,80					
8,65					
					
					
8,55					
					

Largeur roulable	PL arrête	VL arrête	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
8,40					
					
					
8,35					
8,25					
8,15					
					
					
					
					
8,10					
7,95					
7,85					
					
					
7,70					
7,55					
7,45					
					
					
7,15					
6,75					

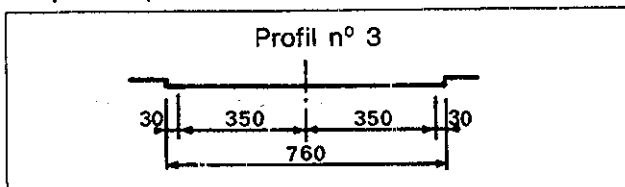
B) Profil avec légère réduction de vitesse et conservation du nombre de circulation.

Dans de nombreux cas, il peut être admis une certaine diminution de la vitesse au droit d'un véhicule en panne. Ceci est admissible pour tous les tunnels longs (supérieurs à 1 km) où la vitesse sera réduite et où des moyens de contrôle de la circulation et de la signalisation seront mis en œuvre.



C) Caractéristiques réduites - Non conservation du nombre de voies de circulation - Profil minimal

Lorsque le trafic prévisible est très faible, la notion de conservation du nombre de files de circulation au droit d'un véhicule en panne n'a plus sa raison d'être, toute la circulation pouvant alors se rabattre sur la voie de gauche sans risque. On pourra alors adopter le profil minimal suivant :

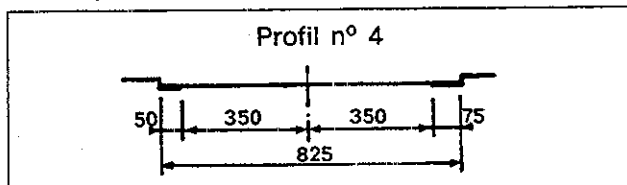


5.2.7.3 Tunnels sur VRU de type U et assimilables (circulation unidirectionnelle)

Sur ce type d'itinéraire, la vitesse, normalement limitée, n'est pas l'objectif essentiel. De plus la circulation est souvent congestionnée. Le dimensionnement de la largeur roulable doit permettre par contre de maintenir rigoureusement les possibilités d'écoulement au droit d'un véhicule en panne.

A) Avec un fort pourcentage de PL :

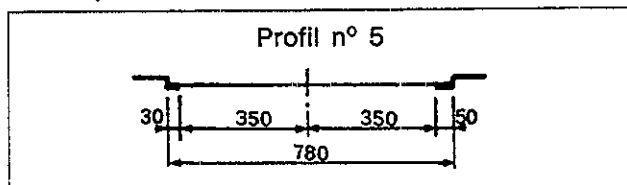
Dans ce cas, on pourra appliquer soit le profil n° 2, soit le profil minimal ci-dessous :



Ce profil permet en cas d'arrêt PL, 2 voies de circulation à vitesse prudente pour des VL ou 2 voies au pas pour un VL et un PL.

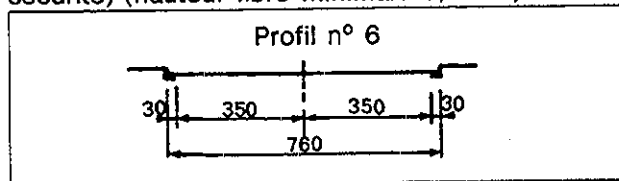
B) Avec un faible pourcentage de PL

Dans ce cas, on pourra appliquer soit le profil n° 4 soit le profil minimal ci-dessous :

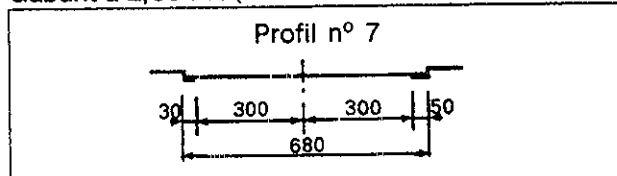


C) Pas de gros poids lourds : (cas des PSGR unidirectionnels)

Gabarit à 3,50 m : (bus, camionnettes, services de sécurité) (hauteur libre minimale 3,65 m).



Gabarit à 2,60 m : (hauteur libre minimale 2,70 m).



5.2.7.4 Tunnels bidirectionnels

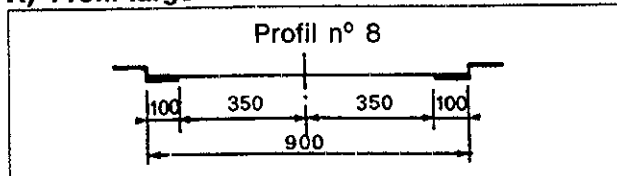
Le dimensionnement de ce type d'ouvrage dépend de la fonction qu'il doit remplir, parfois très différente suivant la catégorie de l'itinéraire ; il dépend donc du degré d'équipement de l'ouvrage, du pourcentage de poids lourds, et du volume de trafic, des possibilités d'intervention des services d'exploitation et de leur rapidité.

Pour les grands itinéraires de trafic international, la chaussée devra être au minimum de 7 m (l'ICTARN se référant à la déclaration du 16 septembre 1950 de la CEE), impliquant donc pour le cas particulier des tunnels une largeur entre trottoirs de 7,60 m afin de tenir compte des caniveaux. Cette valeur retenue par l'ICTARN a été confirmée par le décret 84.164 du 2 mars 1984, portant publication de l'Accord Européen sur les grandes routes de trafic international (A.G.R.) en date, à GENÈVE, du 15 novembre 1975.

En outre, pour les tunnels bidirectionnels, se pose un problème d'ordre réglementaire et de sécurité. En effet, d'après le Code de la Route, lorsqu'il y a présence d'une ligne continue séparant les 2 courants de circulation, les usagers ne peuvent en aucun cas la franchir sauf s'ils y sont autorisés par des personnels habilités à cet effet.

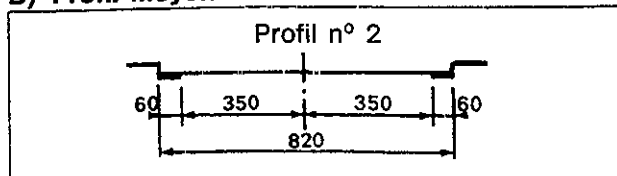
Le projeteur peut, en fonction des différents objectifs, choisir pour les ouvrages bidirectionnels, entre les différents profils types suivants :

A) Profil large



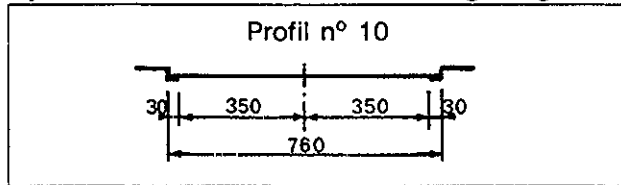
Dans le cas d'ouvrages destinés à devenir unidirectionnels dans une deuxième phase d'aménagement, ce profil pourra être porté à 9,50 m (profil n°1).

B) Profil moyen



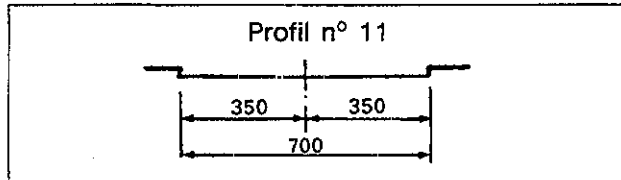
Dans le cas d'ouvrages unidirectionnels en deuxième phase, ce profil pourra être porté à 8,50 m (profil n°2).

C) Profil minimal avec bandes de guidage

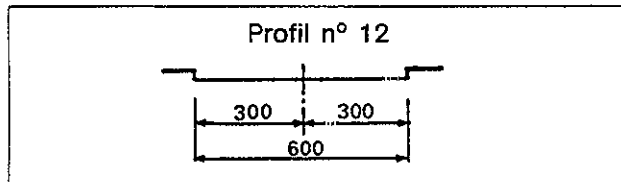


D) Profil sans bandes de guidage

Profil normal :



Profil minimal :



E) Remarques fondamentales sur les tunnels bidirectionnels :

Le dimensionnement de la largeur roulable d'un tunnel bidirectionnel nécessite une réflexion au coup par coup beaucoup plus importante que dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel. Les problèmes de sécurité et d'entretien y sont plus aigus. La stratégie d'exploitation retenue et la rapidité tant dans la détection des incidents que dans l'intervention sur place sont autant d'éléments qu'il convient de prendre en considération.

L'analyse doit également prendre en compte la durée dans le temps du caractère bidirectionnel. A ce sujet, deux cas sont à dissocier :

- tunnel bidirectionnel à terme ou pendant une durée importante (cas des ouvrages devant ultérieurement devenir unidirectionnels),
- tunnel bidirectionnel pendant une durée relativement courte destinée à devenir ensuite rapidement unidirectionnel.

Dans le premier cas, l'analyse doit prendre en compte d'une manière certaine les aspects liés à la sécurité et l'influence générale sur la circulation au droit d'un véhicule arrêté. Par contre dans le second cas, l'influence sur la circulation et les restrictions qui en découlent peuvent être éventuellement négligées (ce qui n'empêchera d'ailleurs pas de prévoir alors les moyens techniques et humains afin de remédier aux inconvénients le plus rapidement pendant la phase provisoire).

Il ne semble pas raisonnable d'envisager pour des ouvrages à 2 voies, l'installation d'un séparateur central, sauf s'il est admis que sur tout arrêt de véhicule, la circulation pourra être stoppée et arrêtée. Cette solution nécessitera cependant obligatoirement des moyens conséquents de détection,

d'alerte, d'avertissement et d'évacuation rapide du véhicule arrêté.

Pour les ouvrages bidirectionnels à terme ou pendant une durée importante, on peut éventuellement envisager des solutions du genre :

- exploitation à deux voies (une par sens) avec réalisation au centre d'un marquage au sol permettant de séparer les courants de circulation et rendant possible le dépassement des véhicules en panne sans devoir circuler sur la voie à contre sens ;
- exploitation à 3 voies avec affectation possible de la voie centrale à l'un des deux courants de circulation (voie dans un seul sens).

5.2.8 PISTES ET BANDES CYCLABLES

En zone urbaine, péri-urbaine ou de rase campagne, il arrive fréquemment que certains itinéraires soient empruntés par un nombre plus ou moins élevé de deux roues. La présence de ces usagers (s'ils sont autorisés sur l'itinéraire sans possibilité de déviation au niveau de l'ouvrage souterrain) perturbe les schémas simples décrits précédemment (croisement ou juxtaposition des courants de circulation). Le Code de la Route prévoit une marge d'un mètre pour le dépassement d'un deux roues par un autre usager. En outre, bon nombre de vélos modernes ne sont plus équipés de dispositifs réfléchissants ou lumineux, posant en tunnel un problème de perception par l'automobiliste.

Afin de traiter ce problème lorsqu'il se présente, trois solutions sont possibles :

- Soit une bande cyclable dans le sens de la circulation (exclusivement réservée à la circulation des deux roues), latérale à la chaussée et délimitée par un trait de peinture relativement large (minimum 0,30 m). La largeur de la bande cyclable est en général de 1,70 m avec une possibilité de réduction de 1,20 m, voire 1 m dans des situations exceptionnelles. La bande cyclable à contre-sens (2 à 2,30 m de large) est à proscrire dans les tunnels. La couleur du revêtement de la bande cyclable doit être différente de celle de la chaussée.
- Soit une piste cyclable exclusivement réservée à la circulation deux roues. Elle est située entre la chaussée et le trottoir et est séparée de la chaussée par un terre-plein (largeur généralement admise : 0,70 m). Les largeurs normales sont de 2 m pour une piste cyclable unidirectionnelle et de 3 m pour une bidirectionnelle. Il conviendrait normalement de prévoir 0,20 m de surlargeur par sens pour les effets de parois ou alors de chanfreiner les bordures.
- Soit une surlargeur de la file de circulation. Lorsque l'emprise disponible est insuffisante, son coût prohibitif ou lorsque le trafic deux roues est très faible, l'élargissement de la file de droite de la chaussée peut améliorer les conditions de sécurité et de confort des deux roues. La largeur de cette voie ne devra toutefois pas excéder 3,80 m, afin d'éviter que cet élargissement ne permette une file de circulation supplémentaire, ce qui irait à l'encontre de l'effet recherché.

Ces différents éléments sur les pistes et bandes cyclables sont conformes au dossier CETUR n° 8 de 1980 "les deux roues légers - Aménagements spécifiques" (actualisation des recommandations).

5.3 ISOLATEURS

5.3.1 OUVRAGES NORMALEMENT ACCESSIBLES AUX PIÉTONS

Dans les ouvrages où la circulation piétonnière est autorisée, il convient de prévoir des isolateurs constitués de trottoirs suffisamment larges et en nette saillie sur la chaussée afin d'assurer la sécurité des piétons.

Il peut être avantageux, du point de vue de la sécurité et des normes de ventilation, de séparer l'espace réservé aux piétons par une cloison. Il convient en tout cas, d'effectuer une étude spéciale sur les plans de la géométrie et de la pollution.

On ne saurait trop conseiller que les trottoirs soient très surélevés par rapport au niveau de la chaussée (minimum 0,50 m).

Le dimensionnement de ces trottoirs sera conforme aux errements en vigueur. Pour les ouvrages interurbains, on se référera à l'ICTARN (§ III.4.3). Dans le cas d'ouvrages urbains, le dimensionnement sera effectué conformément au guide technique de juin 1975 édité par le SETRA (les aménagements en faveur des piétons).

En tout état de cause, leur largeur ne sera pas inférieure à 1,50 m.

5.3.2 OUVRAGES NORMALEMENT INTERDITS AUX PIÉTONS

Les seuls piétons qui ont exceptionnellement à circuler dans les ouvrages où la circulation piétonnière est interdite sont les agents du service d'exploitation et les usagers en panne. Les isolateurs peuvent être de simples bute-roues (de 0,25 m de large) au minimum ou de véritables trottoirs (de 0,60 à 0,75 m au minimum dans les cas courants). Ils sont en saillie sur la chaussée, les bordures à utiliser étant en général du type T2 (cf. § 5.3.4).

Le bute-roues ne pourra être envisagé qu'en présence d'une bande d'arrêt d'urgence.

La largeur minimale des trottoirs est de 0,60 m pour les piédroits concaves et 0,75 m pour les piédroits verticaux afin de disposer d'au moins 0,75 m au niveau des épaules et des coudes d'un piéton éventuel. Toutefois leur dimensionnement ne peut être arrêté définitivement que lorsque toutes les réservations et réseaux divers devant être mis sous trottoirs auront été répertoriés et définis. Les principaux sont les suivants : (liste non exhaustive)

CÂBLES :

- câbles d'alimentation en énergie (BT, MT),
- câbles de télétransmission des informations,
- câbles du réseau d'appel d'urgence (RAU),
- câbles pour la télévision.

RÉSEAUX DIVERS :

- conduite incendie,
- évacuation des eaux de surface et des eaux de drainage du terrain,
- système de récupération des matières dangereuses liquides,
- chambres de tirage et de dérivation des câbles,
- chambres de visite pour l'entretien des conduites,

En outre, il convient également dans une grande majorité des cas de placer au droit des trottoirs, un certain nombre d'équipements (signalisation, capteurs...)

D'autres facteurs interviennent également dans le choix de la largeur à mettre en œuvre, comme les dévers, la visibilité, les impératifs de génie civil et le mode de construction. On trouvera dans le document Génie civil, un certain nombre de dessins types pour les trottoirs. Comme on pourra le constater, dans certains cas, la largeur des trottoirs devra être de 0,80 à 1 m pour implanter les différents réseaux et passages de câbles.

On trouvera en fig. 5.9 (page 37) le dessin de l'homme type pour dimensionner les trottoirs en fonction des gabarits à prendre en compte pour le passage occasionnel des piétons en profil cadre ou voûté.

5.3.3 JUSTIFICATION DE L'IMPLANTATION DE TROTTOIRS

5.3.3.1 Cas des tunnels cadres (piédroit vertical) et des profils cintrés à 3 centres

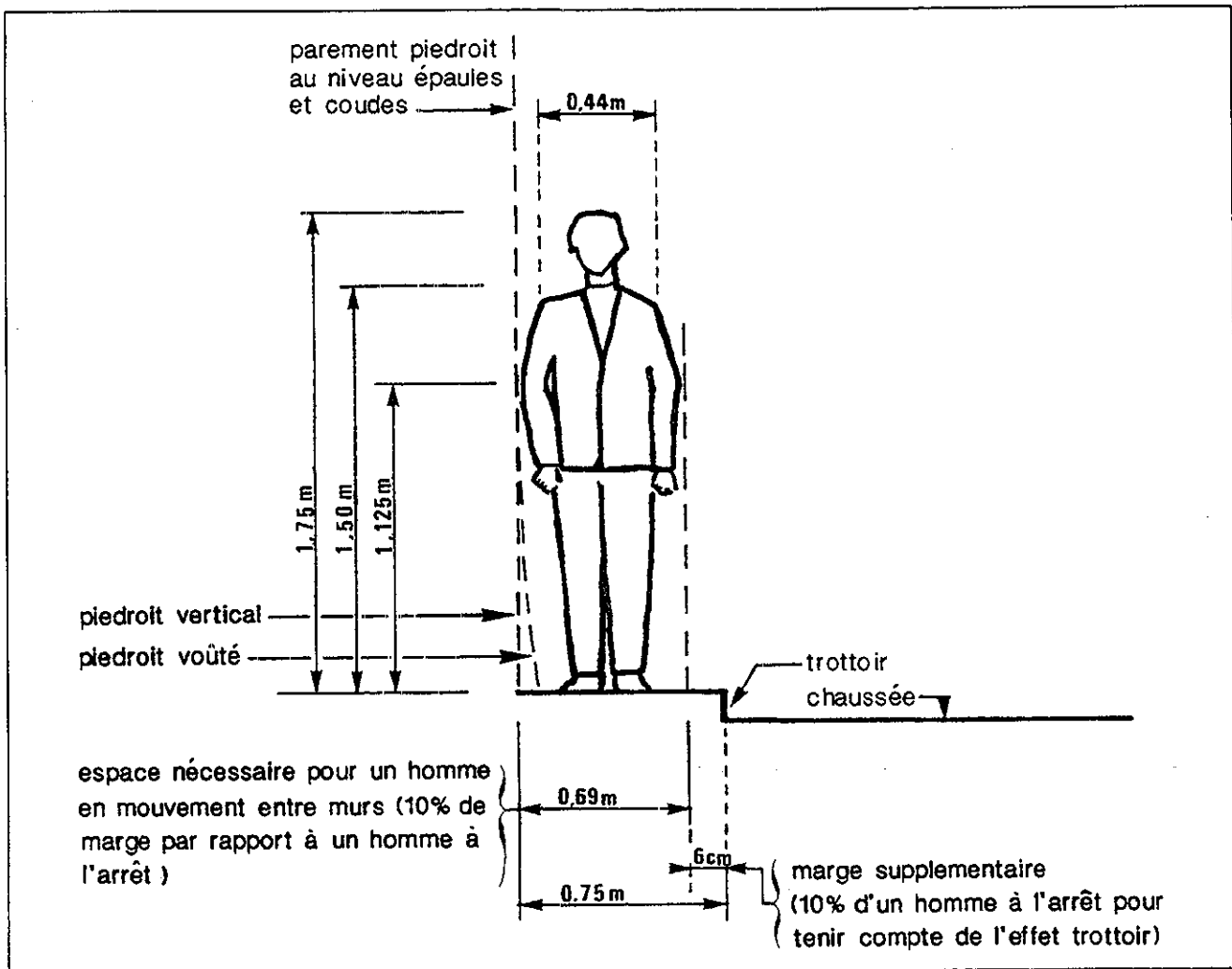
Dans ce cas, l'implantation de trottoirs conduit à une surexcavation. Les projeteurs peuvent être tentés (lorsqu'il existe une BD ou une BAU) de supprimer les trottoirs et de les remplacer par un simple bute-roues. Il convient cependant de ne pas perdre de vue différents avantages du trottoir :

- La sur largeur offerte par les trottoirs permet outre l'implantation de différents réseaux ou câbles, la mise en œuvre d'une signalisation latérale et d'un certain nombre d'équipements (éclairage, capteurs...) et leur protection physique.
- Le trottoir produit un petit effet de paroi qui réduit le confort de l'utilisateur, et le conduit à diminuer sa vitesse (pour les vitesses élevées supérieures à 90 km/h), ce qui est un des buts recherchés.
- Pour les véhicules arrêtés, une implantation de trottoirs permet aux usagers de sortir de leur voiture sans devoir ouvrir la portière côté circulation, opération qui est toujours potentiellement dangereuse.
- En tracé en plan en courbe, l'espace dégagé par les trottoirs permet le respect des distances de visibilité ou leur amélioration.

5.3.3.2 Cas des tunnels "plein cintre" (à un seul centre)

L'implantation de trottoirs à largeur raisonnable (0,60 à 0,80 m pour des profils à 2 voies, 1 m à 1,20 m pour 3 voies) permet des économies sur le

FIG. 5.9 - Encombrement type d'un homme en marche



volume excavé par rapport à une solution à butes-roues de 0,25 m, et la même largeur roulable. Par contre dans le cas de tunnels avec faux plafond, la surface dégagée pour la ventilation est plus faible. Une étude économique (dépenses d'investissement et d'exploitation) est à effectuer au cas par cas.

Les avantages soulignés dans le paragraphe précédent sont également valables.

5.3.3.3 Remplacement des trottoirs par des dispositifs du genre bordure de retenue

Certains projeteurs peuvent être tentés pour des besoins de sécurité en comparaison avec ce qui est réalisé à l'air libre, de mettre en œuvre latéralement des bordures de retenue pour véhicules qui est un dispositif de retenue utilisé en zone urbaine réduite de 0,32 m à 0,40 m (type Autonor, Trief...). Si cette disposition en elle-même part d'un bon raisonnement, elle offre en tunnel des inconvénients :

- L'accès aux bornes d'urgence n'est pas facilité pour les personnes à mobilité réduite (hauteur à franchir 0,40 à 0,50 m). De plus, la marche sur le trottoir surélevé pour accéder aux bornes et l'attente des services d'intervention sont plus

déliçates que dans le cas d'un trottoir légèrement surélevé (20 cm). En tout état de cause, il conviendrait d'augmenter dans ce cas la largeur (un minimum de 0,80 à 1 m semble convenable).

- Cette disposition ne permet pas l'ouverture des portières côté piédroit, sauf si l'usager en détresse prend en compte cette possibilité, empiétant donc d'autant sur la largeur roulable. Afin de tenir compte de cet élément, il conviendrait donc d'augmenter la largeur roulable de 0,50 m par rapport à une solution avec trottoirs bas.

5.3.4 TROTTOIRS FRANCHISSABLES

Dans la majorité des cas, il est implanté des bordures de trottoir type T2 non franchissables. Toutefois, parfois, il peut être envisagé des bordures franchissables dans le but de :

- permettre aux usagers en détresse de profiter au maximum de la largeur entre piédroits pour se garer et d'influencer le moins possible la circulation,
- permettre aux services d'exploitation en roulant tant sur la B.D. que sur le trottoir, d'accéder en tout point du tracé lorsque la circulation est congestionnée ou arrêtée

Cette disposition a toutefois des conséquences sur le dimensionnement du profil en travers et les

exigences particulières suivantes doivent être examinées :

- protection de la signalisation et des autres équipements (implantation en hauteur pour permettre le passage des véhicules),
- hauteur libre minimale de 3,65 m (hauteur requise pour les véhicules de sécurité) à l'aplomb du trottoir, conduisant donc, en cas de profil voûté, à un surdimensionnement important.

5.3.5 SÉPARATEUR CENTRAL (OU DISPOSITIF CENTRAL DE RETENUE)

Dans le cas d'implantation d'un séparateur central permettant de séparer les 2 courants de circulation dans les ouvrages bidirectionnels, deux optiques peuvent être retenues :

- soit séparateur central (dimensions minimales 0,20 m de haut sur 0,30 m de large) permettant la séparation normale des courants de circulation, mais ne prenant pas en compte le franchissement possible (en cas d'accident) d'un véhicule. Cette solution permet de lutter contre les excès de vitesse et les dépassements intempestifs.
- soit séparateur central (dimension minimale tant en largeur qu'en hauteur de 0,45 m) empêchant le franchissement d'un véhicule en cas de perte de contrôle. Il se pose alors le problème supplémentaire de l'ouverture des portières du fait de cette hauteur.

Dans ces deux solutions, l'établissement du profil en travers devra tenir compte des sujétions entraînées par un tel dispositif, qui est certes sur le plan sécurité très attrayant mais qui est lourd de conséquences sur le plan financier.

On rappellera également que les largeurs prises en compte ci-dessus sont des dimensions minimales par rapport à celles généralement retenues pour l'air libre.

5.4 HAUTEURS

Les éléments explicités ci-après sont conformes à la circulaire du 17 octobre 1986 (Équipement, Logement) relative au dimensionnement de la hauteur des ouvrages routiers sur le réseau national.

5.4.1 TERMINOLOGIE

La figure 5 10 (page 39) visualise les définitions données ci-après :

A) Hauteur libre de l'ouvrage (ou tirant d'air) : (H)

Cette valeur représente la distance minimale entre tout point de la partie roulable de la plate-forme existante ou projetée et de tout point de la sous face de l'ouvrage, ou le cas échéant, de la partie inférieure des équipements que supporte cette sous face.

B) Hauteur libre minimale (Hm)

Cette donnée représente la hauteur minimale que doit normalement présenter l'ouvrage tout au long de sa durée de vie afin de pouvoir assurer le passage des véhicules en mouvement.

C) Gabarit (G)

Il caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté sous un ouvrage, dans des conditions normales de circulation. Cette grandeur est associée au véhicule.

D) Revanche de construction et d'entretien (Rc)

Lors du dimensionnement il est nécessaire de prévoir par rapport à la hauteur libre minimale que l'ouvrage doit normalement présenter tout au long de sa durée de vie, une "revanche de construction et d'entretien" afin de tenir compte des tassements ou des erreurs de nivellement éventuels ainsi que des rechargements qui pourraient être réalisés sur la chaussée.

E) Revanche de protection (Rp)

Afin de préserver la pérennité des nombreux équipements en tunnel, il convient d'ajouter une revanche de protection;

F) Revanche de signalisation (Rs)

Entre le gabarit, caractéristique du véhicule à l'arrêt, et la valeur en hauteur représentative du véhicule en mouvement, il convient évidemment de prévoir une marge de sécurité qui tient compte aussi bien des écarts dynamiques du véhicule, ou des bâches flottantes que d'une imprécision sur l'appréciation de sa hauteur. A cet égard, c'est cette même marge de sécurité appelée en l'occurrence "revanche de signalisation", qui est prise en compte pour déterminer la hauteur limite des véhicules concernés ou encore le gabarit admissible.

G) Récapitulation :

- Ouvrages à construire : $H = H_m + R_c + R_p$.
- Ouvrages construits : $G = H - R_s - R_p$ arrondi au multiple de 0,10 m inférieur

5.4.2 VALEURS RÉGLEMENTAIRES DE LA HAUTEUR LIBRE MINIMALE

Les hauteurs libres minimales à prendre en compte sont les suivantes :

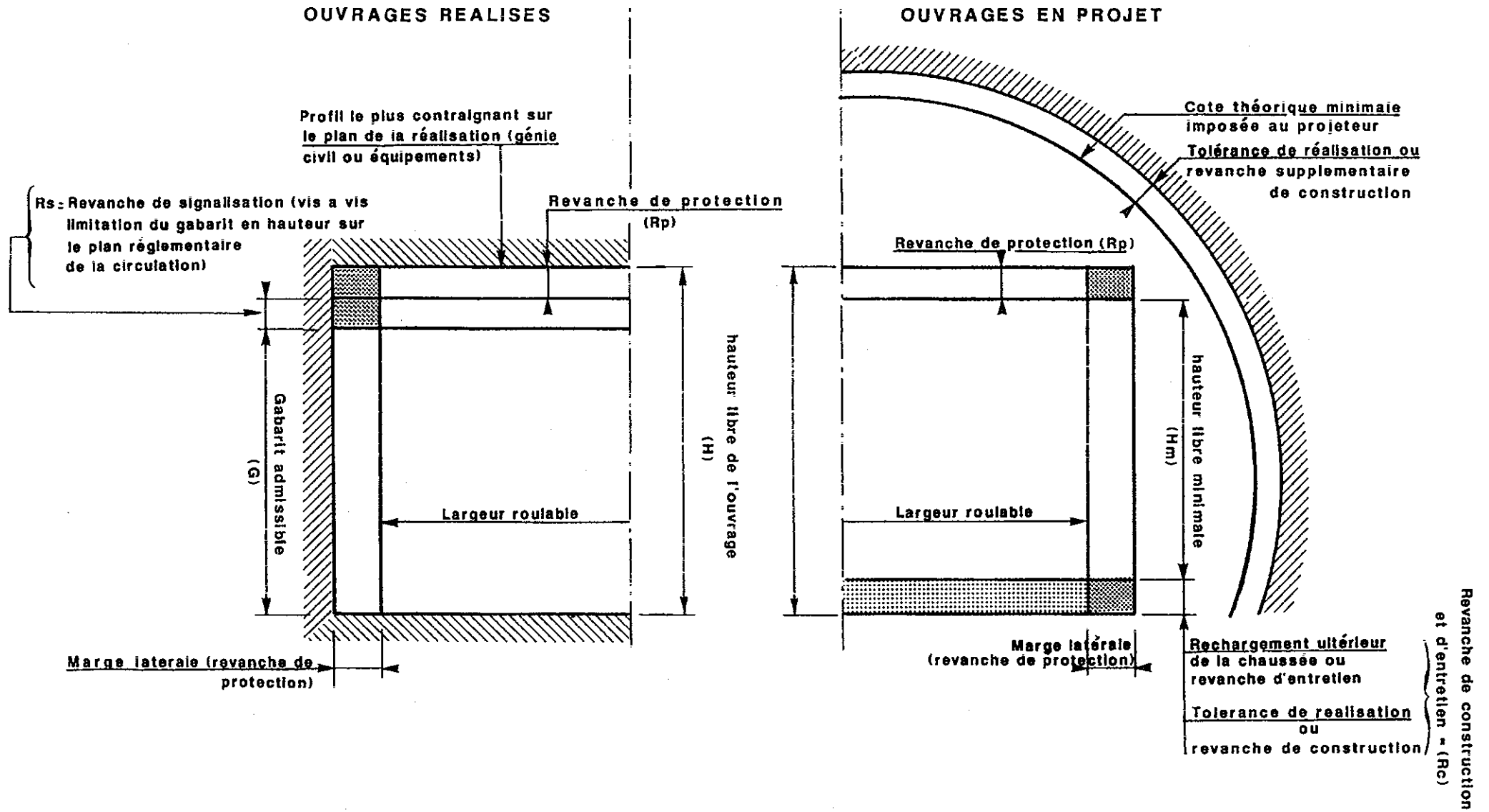
- autoroutes = 4,75 m,
- grandes routes de trafic international (définies suivant les termes de l'accord de Genève du 15 novembre 1975) = 4,50 m,
- autres routes du réseau national = 4,30 m.

Pour des raisons d'homogénéité, il est cependant possible de continuer à admettre la hauteur libre de 4,75 m à titre dérogatoire et sur justifications spécifiques qui devront être soumises à approbation, sur certaines routes qui s'intègrent dans un maillage dont les ouvrages répondent aux mêmes caractéristiques.

Sur autoroutes, pour les tunnels et tranchées couvertes, sur justifications économiques et techniques qui devront être soumises à approbation, il est possible de ramener la hauteur libre de 4,75 à 4,50 m.

Pour ce qui est des passages souterrains à "gabarit réduit", seules les hauteurs libres minimales de 2,75 m (admettant un gabarit de 2,60 m) et 3,65 m (admettant un gabarit de 3,50 m)

FIG. 5.10 - Terminologie employée



paraissent mériter une attention particulière, étant entendu que toute implantation de PSGR nécessite une réflexion spécifique, en fonction des caractéristiques des véhicules concernés. La hauteur libre minimale de 3,65 m permet le passage de la plupart des autobus urbains, fourgons de secours et véhicules de service. En tout état de cause, afin de rester homogène et en conformité avec les règles sur la signalisation, les hauteurs libres à prendre en compte devraient être de 2,80 m et de 3,70 m (cf. § 5.4.6)

REMARQUES IMPORTANTES SUR LES "GABARITS RÉDUITS"

Le projeteur portera son attention sur les problèmes posés par l'adoption d'un "gabarit réduit" et sur la valeur exacte à prendre en compte. En effet, les dispositions générales et commentaires officiels de l'arrêté du 25 juin 1980 relatif au règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public indiquent que pour les véhicules de secours, la hauteur libre sur les sections d'accès doit être au minimum de 3,50 m sur terrain plat pour la desserte de tels établissements. Il faut savoir que cela ne comprend pas les tolérances vis à vis du gabarit, ni les différentes revanches constructives, ce qui pour l'accès à de tels établissements conduit à une hauteur libre de 3,65 m au moins (3,70 m afin de respecter les règles de signalisation).

En ce qui concerne les véhicules de sécurité capables d'intervenir seulement au profit des usagers à l'intérieur d'un tunnel, ils n'ont pas de gabarit normalisé et ils doivent s'adapter aux conditions locales. Néanmoins, si l'on choisit une hauteur libre minimale trop faible pour des tunnels urbains de grande longueur, on limite la capacité d'intervention des moyens de secours à l'intérieur d'une agglomération et aussi le nombre de véhicules capables d'intervenir au profit des usagers.

Pour les raisons qui viennent d'être exposées, il paraît souhaitable, en site urbain et pour des tunnels routiers d'une certaine importance (longueur du tunnel, caractère de la zone desservie), de retenir une hauteur libre minimale de 3,70 m.

Il conviendra en tout état de cause de vérifier sur le plan local avec les services concernés (pompiers) si le gabarit envisagé permet le passage de leurs gros engins d'intervention (véhicules avec échelle ou avec groupe mousse).

Si pour les ouvrages normaux à 4,30 m, 4,50 m et 4,75 m, le projeteur ne doit pas se poser de questions vis-à-vis du gabarit, il n'en est pas de même pour les passages souterrains à "gabarit réduit" où la notion d'objectif à atteindre est très importante.

5.4.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES :

Lors de la conception d'un ouvrage, il convient de majorer les valeurs précédentes :

- d'une revanche de "construction et d'entretien" (représentant les aléas de construction, les déformations de l'ouvrage ainsi que le problème de rechargement ultérieur de la chaussée),

- d'une revanche de protection supplémentaire par rapport à la précédente afin de protéger efficacement les équipements fragiles d'un tunnel.

A) Revanche de construction et d'entretien

Pour les tunnels et tranchées couvertes, elle peut être fixée de 0,05 à 0,10 m suivant la politique prévue pour le rechargement ultérieur de la chaussée.

Il est déconseillé en général de prévoir une telle opération, car elle nécessite de telles sujétions (trottoirs qui "disparaissent", réhaussement presque obligatoire des avaloirs, changement du gabarit admissible à l'intérieur de l'ouvrage) que l'on n'a généralement pas intérêt à prévoir une réfection par dessus l'ancienne couche de roulement. Ce cas n'est à prévoir en règle générale que pour les ouvrages courts qui sont passibles de la même politique d'entretien que la chaussée à l'air libre.

B) Revanche de protection

Vis-à-vis des équipements, la valeur minimale à prendre en compte est de 0,10 m. Il reste bien évident qu'elle s'appliquera au droit des équipements et que dans le cas où le projeteur dispose d'espaces importants (par exemple profil voûte sans plafond de ventilation), on aura intérêt à augmenter sensiblement cette valeur.

C) Remarques

Il convient parallèlement de tenir compte de l'ensemble des éléments qui peuvent intervenir sur l'évaluation de la hauteur libre, à savoir :

- influence du tracé en plan : il entraîne des variations de dévers dont l'influence est loin d'être négligeable et qui doivent être systématiquement prises en compte,
- influence du profil en long : pour les tunnels à point bas (en angle rentrant), on aura soin également de vérifier que la distance de visibilité longitudinale est respectée.

5.4.4 LARGEURS À PRENDRE EN COMPTE

La hauteur libre minimale augmentée de la revanche de construction et d'entretien doit régner sur toute la largeur roulable augmentée de chaque côté d'une marge latérale ou revanche latérale de protection. Les valeurs à prendre en compte vis-à-vis du génie civil seront les suivantes :

- chaussée bordée d'une bande d'arrêt d'urgence : 0 m,
- chaussée bordée d'une bande dérasée :
 - 0,10 m pour les hauteurs de 4,50 et 4,30 m,
 - 0 m pour la hauteur libre de 4,75 m.

En cas de présence d'équipements latéraux, la marge latérale doit être au minimum de 0,25 m.

Dans le cas particulier où des équipements sont implantés dans les coins, le projeteur prend en compte la hauteur libre (et non plus minimale) avec la marge latérale de protection de 0,25 m vis-à-vis des différents appareils mis en œuvre.

5.4.5 PROBLÈMES PARTICULIERS DE CONSTRUCTION DES PROFILS VOÛTES :

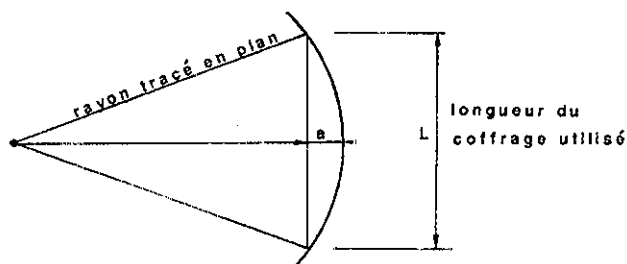
A) Aléas de construction du profil voûte :

Compte tenu de la déformation des coffrages utilisés pour la réalisation des profils voûtés, l'aléa de construction d'un profil voûté est de 0,05 m par rapport au rayon théorique du coffrage.

Il conviendra de tenir compte de cette tolérance de réalisation (ou revanche supplémentaire de construction) lorsque cet aléa peut engager la hauteur libre réelle de l'ouvrage ou poser des problèmes vis à vis de l'implantation des équipements.

B) Problème particulier des tracés en plan courbes :

La réalisation d'un tracé en plan courbe pose également quelques problèmes. En effet, les coffrages utilisés sont droits en plan de par leur fabrication. A la réalisation du génie civil, dans les courbes, la forme donnée prendra donc la corde réduisant en tout point du profil en travers les dimensions géométriques du projet (et donc les hauteurs libres).



La réduction maximale occasionnée est donnée par la relation :

$$a = R - \sqrt{R^2 - L^2/4}$$

Ce problème est à prendre en compte dans la conception et de la réalisation de l'ouvrage, car la réduction occasionnée peut être importante (si l'on n'y fait pas attention) pour les faibles rayons.

Pour un coffrage de 10 m environ et un rayon en plan de 200 m, elle est de l'ordre de 6 à 6,5 cm environ, auxquels il convient d'ajouter également les aléas de construction comme indiqué dans le paragraphe précédent.

C) Conclusion

Ces éléments, s'ils sont difficilement appréhendables au niveau de l'avant projet, sont à regarder

de très près et à prendre en considération au niveau du dossier de consultation des entreprises, ainsi qu'au moment de la réalisation. Ces notions sont rappelées et explicitées plus à fond dans le document "Génie civil" du présent dossier pilote.

5.4.6 NOTION DE GABARIT

A) La notion de gabarit (associé à la hauteur proprement dite des véhicules) n'est à employer que vis-à-vis de la signalisation et de la réglementation de limitation en hauteur pour les ouvrages construits (et non pas projetés).

Le gabarit se déduit de la hauteur libre mesurée sous l'ouvrage par la formule :

$G = \text{Hauteur libre} - \text{Revanche de protection} - \text{Revanche de signalisation}$.

Cette valeur est arrondie au multiple de 0,10 m inférieur pour donner le gabarit admissible à l'intérieur de l'ouvrage, à mentionner sur les panneaux B 12 qui sont implantés au niveau de l'ouvrage proprement dit et au niveau de la présignalisation de l'itinéraire de déviation.

B) D'après les textes en vigueur sur la signalisation, l'ensemble revanche de protection - revanche de signalisation a une valeur de 0,20 m à 0,30 m. En complément à cette règle nous préconisons d'adopter les usages suivants :

– Pour les hauteurs libres supérieures à 4,30 m on peut retenir :

- sans équipement : 0,20 à 0,30 m,
- avec équipement : 0,30 à 0,40 m.

– Pour une hauteur libre de 3,65 m : à la construction, il conviendrait d'adopter une hauteur minimale de 3,70 m (et non plus 3,65 m) dont on retranche pour la détermination du gabarit (obligation de gabarit 3,50 m) les valeurs suivantes :

- sans équipement : 0,20 m,
- avec équipement : 0,30 m.

– Pour une hauteur libre de 2,75 m (PSGR type B) : à la construction, la hauteur libre minimale souhaitable est de 2,80 m (et non plus de 2,75 m), dont on retranche les valeurs mentionnées ci-dessus, afin d'obtenir un gabarit de 2,60 m sans équipements.

– Pour une hauteur libre de 2 m (PSGR type A) : comme dans le cas précédent, il serait souhaitable de passer à 2,10 m (et non plus à 2 m) pour obtenir un gabarit à 1,90 m sans équipements avec les revanches préconisées ci-dessus.

5.4.7 RÉCAPITULATIF

I - TABLEAU RÉCAPITULATIF

Conception d'un ouvrage neuf			Signalisation d'un ouvrage existant	
Revanche de protection. Revanche de construction et d'entretien.	Rp Rc	H Hauteur libre de l'ouvrage	Rp Rs	Revanche de protection. Revanche de signalisation.
Hauteur libre minimale.	Hm		G	Gabarit admissible
H = Hm + Rc + Rp			Valeur du gabarit admissible G = H - Rp - Rs arrondi au multiple de 0,10 inf.	

II - VALEURS USUELLES

Hauteur libre minimale Hm
- cas général : 4,30 m, - route internationale : 4,50 m, - autoroute : 4,75 m (avec possibilité de dérogation à 4,50 m dans les tunnels), - P.S.G.R. bus : 3,65 m avec souhait à 3,70 m, - P.S.G.R. A ou B : voir dossier pilote P.S.G.R. (2 m, 2,75 m avec souhait à 2,10 m et 2,80 m).

Revanche de protection Rp en tunnel et tranchée couverte
- génie civil : 0, - équipements : 0,10.

Revanche de construction et d'entretien Rc
- tunnel et tranchée couverte : 0,05 m à 0,10 m suivant la politique de rechargement ultérieur.

Revanche de signalisation Rs
- 0,20 m à 0,30 m.

CHAPITRE 6

INFLUENCE DES ÉQUIPEMENTS SUR LE PROFIL EN TRAVERS

Dans le chapitre 5 ont été données les indications permettant de déterminer les caractéristiques géométriques (largeur roulable, isolateurs, gabarit, dévers) imposées par les impératifs de la circulation routière.

Le dimensionnement définitif du profil en travers nécessite en outre de connaître les incidences :

- des conditions géotechniques qui déterminent la forme générale du profil en travers des tunnels creusés (profil plein cintre, voûte surbaissée, radier en contre-voûte, profil circulaire ...) et le dimensionnement du revêtement,
- des méthodes de construction, en particulier de l'utilisation éventuelle d'une machine foreuse à pleine section,
- des équipements du tunnel (ventilation, éclairage, équipements de sécurité et éventuellement signalisation de direction) qui nécessitent la réservation d'un espace suffisant pour loger les gaines ou appareillages en dehors du "gabarit" routier.

Les deux premiers facteurs sont examinés dans le document "Génie civil".

Le troisième fait l'objet du présent chapitre qui rassemble les indications du document "Équipements" ayant une incidence sur la géométrie.

6.1 INFLUENCE DE LA VENTILATION

L'influence sur le profil en travers de l'installation de ventilation mécanique dépend dans une large mesure du système de ventilation adopté (les différents systèmes sont décrits au chapitre 3 de la section Ventilation du document Equipements).

6.1.1 VENTILATION LONGITUDINALE

La ventilation longitudinale par accélérateurs n'a pratiquement pas d'influence sur la géométrie des tunnels voûtés, si l'on se limite à des diamètres de ventilateurs de 0,80 m à 1,50 m environ. La place disponible en voûte, au-dessus du gabarit routier et de sa hauteur libre minimale associée est suffisante. La revanche de protection **au droit** des groupes moto-ventilateurs sera d'au moins 0,10 m. Pour les tunnels à profil rectangulaire, au contraire, la ventilation longitudinale a une influence non négligeable sur la géométrie du profil en travers, étant donné que l'on ne peut généralement pas installer les accélérateurs au-dessus des trottoirs sans engager le gabarit routier.

Les solutions adoptées pour réserver au moindre coût les emplacements nécessaires à l'installation des accélérateurs sont différentes selon qu'il s'agit d'une tranchée couverte ou d'un tunnel immergé :

- Dans les tranchées couvertes, les accélérateurs peuvent être exceptionnellement installés dans des niches aménagées dans le plafond ou dans les piédroits. Pour des accélérateurs de 1,20 m de diamètre, les dimensions de ces niches sont les suivantes :

Longueur : 20 à 25 m.

Profondeur : 1,60 à 1,80 m.

La longueur importante est nécessitée par le raccordement à la section courante qui doit être progressif du côté du refoulement des accélérateurs pour conduire les jets d'air. La profondeur se détermine en prenant une garde de 0,30 m entre les accélérateurs et les parois, afin de diminuer les frottements des jets d'air contre ces dernières qui réduisent l'efficacité des accélérateurs ; une revanche minimale de protection de 0,10 m entre les accélérateurs et la hauteur libre minimale (définie au chapitre 5) est à prendre en compte afin d'éviter les accrochages par les bâches flottantes de

certain poids lourds. On veillera également à soigner la forme aérodynamique de la niche.

— Dans les tunnels immergés, une étude économique et technique est à effectuer au cas par cas entre les quatre solutions suivantes :

- augmenter la hauteur sous plafond de la quantité nécessaire sur toute la longueur de l'ouvrage,
- augmenter la largeur de l'ouvrage sur toute la longueur afin de pouvoir implanter les accélérateurs latéralement,
- prévoir des caissons spéciaux pouvant recevoir les accélérateurs soit au-dessus ou soit latéralement.

pements de ventilation. Les conduits d'air frais sont situés sous la chaussée et les conduits d'air vicié au-dessus du gabarit routier

C) Tunnels à profils rectangulaires

Dans ce cas la ventilation a une influence souvent très grande sur la géométrie du tunnel. Elle nécessite soit un approfondissement, soit un élargissement de l'ouvrage. On cherche en général à réduire la section des conduits de ventilation en augmentant le nombre des usines de ventilation, ce qui a pour effet de réduire les débits d'air dans les conduits.

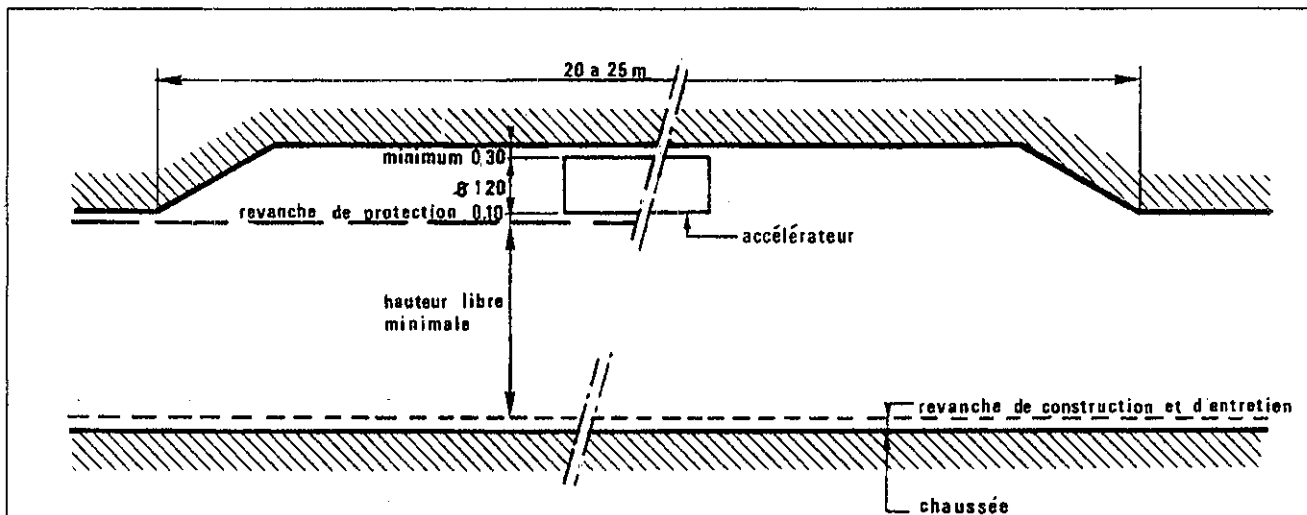


FIG. 6.1 - Coupe au droit d'une niche de ventilation

6.1.2 VENTILATION SEMI-TRANSVERSALE, TRANSVERSALE OU TRANSVERSALE PARTIELLE

L'influence de ces installations de ventilation dépend dans une large mesure de la forme du profil en travers.

A) Tunnels voûtés

La ventilation a en général beaucoup d'influence sur la géométrie, et ce surtout s'il s'agit d'un tunnel très long pour lequel la construction de puits de ventilation en nombre suffisant est trop coûteuse ou impossible. Les conduits de ventilation sont placés de préférence en voûte dans la section disponible au-dessus du gabarit routier. Dans certains cas on est amené à augmenter la section déroctée pour assurer aux conduits de ventilation une section suffisante. L'agrandissement se fait de préférence au-dessus du gabarit routier, car la construction des conduits est en général plus économique en voûte que sous la chaussée, en raison des coûts respectifs d'un faux plafond et d'une dalle de chaussée. En règle générale, il faut effectuer une étude économique.

B) Tunnels à profil circulaire

L'adoption d'un profil circulaire, pour des raisons constructives, permet de loger facilement les équi-

6.2 INFLUENCE DE L'ÉCLAIRAGE

L'influence de l'éclairage sur la géométrie du profil en travers est différente selon qu'il s'agit d'un éclairage par appareils étanches à flux dirigé ou d'un éclairage par paroi lumineuse.

6.2.1 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS ÉTANCHES À FLUX DIRIGÉ

Dans ce cas l'éclairage a généralement peu d'influence sur la géométrie.

Dans les tunnels voûtés sans faux plafond, à 2 ou 3 voies, l'installation des appareils d'éclairage ne nécessite aucune modification du profil en travers.

Dans les tunnels voûtés larges comportant un faux plafond et dans les tunnels à profil rectangulaire, les appareils d'éclairage se trouvent soit au-dessus de l'espace réservé à la circulation, soit au-dessus des trottoirs. Leur installation en plafond nécessite une augmentation de 0,30 à 0,40 m de $0,201060^{\circ}0h^{\circ}u^{\circ}e^{\circ}r$.

D'une façon générale, il est recommandé de réserver une garde suffisante entre ces appareils et la hauteur libre minimale, afin d'éviter leur détérioration par les bâches flottantes. La revanche de protection doit être au minimum de 0,10 m.

6.2.2 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS À FLUX DIRIGÉ IMPLANTÉ EN GALERIE

Ce mode d'éclairage est employé dans certains tunnels urbains où il y a volonté d'effectuer les interventions sans avoir à arrêter ou à réduire la circulation. Il nécessite une galerie d'environ 1 m de large et 2 m de haut. Elle peut être jumelée avec les conduits de ventilation.

6.3 INFLUENCE DE LA SIGNALISATION

L'influence de la signalisation est assez voisine de celle de l'éclairage. Elle est en général nulle pour des ouvrages voûtés à 2 voies et pour les tunnels à profil rectangulaire si les panneaux sont installés en piédroits. Il convient simplement de vérifier que l'on dispose d'environ 0,50 m (plus 0,25 m de garde) entre le gabarit en largeur et le piédroit dans les cas courants de panneaux de signalisation (gamme miniature) ou de feux tricolores.

Dans les ouvrages à plus de 2 voies comportant un faux plafond et dans les ouvrages à profil rectangulaire où la signalisation est implantée au-dessus des voies, le surgabarit moyen en hauteur nécessité par les feux d'exploitation de voie est de 0,40 m environ (0,30 m d'équipement pour des $\varnothing$ 20 et 0,10 m de revanche de protection).

Dans certains tunnels, il est nécessaire d'installer des panneaux directionnels dont les dimensions, très variables, peuvent être importantes. Il convient d'en tenir compte au niveau du dimensionnement géométrique. De telles dispositions sont à éviter dans toute la mesure du possible, en raison des répercussions importantes sur le profil en travers.

Dans certains cas spéciaux, les panneaux réglementaires (limitation de vitesse, interdiction de doubler) peuvent ne pas être implantés latéralement, mais au-dessus de la hauteur libre de l'ouvrage. Il convient alors d'en tenir compte dans le dimensionnement général, et en particulier du faux plafond de ventilation ou plafond.

Dans tous les cas, il conviendra de s'assurer que la gamme miniature pour la signalisation (feux, panneaux de signalisation) est adéquate et qu'il ne convient pas de prendre en compte des gammes petite, normale, grande ou très grande. La dimension réglementaire des panneaux de signalisation (en mm) est définie par le tableau ci-dessous :

Type de panneau GAMME	Triangle (côté nominal)	Disque (diamètre)	Octogone (largeur)	Carré (côté nominal)
Très grande	1500	1250	1200	1050
Grande	1250	1050	1000	900
Normale	1000	850	800	700
Petite	700	650	600	500
Miniature	500	450	400	350

L'implantation en hauteur des panneaux de signalisation peut dans le cas des tunnels être adaptée. On trouvera toutefois ci-après la partie réglementaire concernant cette question (Signalisation Routière - livre I première partie - article 9) :

La hauteur des panneaux au-dessus du sol s'entend toujours sauf indication contraire, de la hauteur du bord inférieur du panneau ou du panneau associé (mais non d'un cartouche éventuel) par rapport au niveau de l'accotement (ou du trottoir).

a) En rase campagne

La hauteur réglementaire est fixée en principe à 1 m (si plusieurs panneaux sont placés sur le même support, cette hauteur est celle du panneau inférieur), hauteur assurant généralement la meilleure visibilité des panneaux frappés par les feux des véhicules.

Elle peut être modifiée compte tenu des circonstances locales :

- soit pour assurer une meilleure visibilité des panneaux,
- soit pour éviter qu'ils masquent la circulation. C'est ainsi que, sur les îlots directionnels, ils peuvent être placés à une hauteur inférieure à 1 m.

b) En agglomération

Dans les agglomérations bénéficiant d'un éclairage public, les panneaux peuvent être placés à une hauteur allant jusqu'à 2,30 m pour tenir compte notamment des véhicules qui peuvent les masquer, ainsi que de la nécessité de ne gêner qu'au minimum la circulation des piétons.

AVERTISSEMENT

De par l'influence énorme que peut représenter la signalisation sur la conception du profil en travers et sur les réservations éventuellement nécessaires, on aura tout intérêt lors des études préliminaires à étudier ces équipements (implantation dans le tracé en plan et le profil en travers, taille....).

Le document 4 Equipements section 4 reprend en les explicitant, les différents problèmes liés à cet équipement.

6.4 INFLUENCE DU PASSAGE DE CÂBLES ET DE CANALISATIONS

(complément du § 5.3 du présent document)

Dans les tunnels routiers, à l'exception des ouvrages très courts sans équipements, il est nécessaire d'assurer le passage des câbles pour l'alimentation électrique des équipements et pour les télétransmissions. Certains tunnels sont équipés d'une conduite incendie. En outre, ils doivent parfois livrer passage à des câbles électriques ou à des canalisations diverses sans rapport avec les équipements de l'ouvrage, notamment si des venues d'eaux importantes sont drainées par le tunnel.

Dans certains cas, ces câbles et canalisations doivent être installés sous les trottoirs, ce qui peut conduire à remplacer de simples bûtes-roues, suffisants sur le plan de la circulation routière, par des trottoirs plus larges.

Il est plus commode de placer les câbles sous trottoirs dans des caniveaux (généralement préfabriqués) plutôt que de prévoir des fourreaux. Un jeu suffisant doit être aménagé dans leur logement.

Dans bien des cas, une galerie visitable, indépendante de l'espace réservé à la circulation, serait utile. Bien que l'incidence financière soit généralement importante, il convient, au niveau du projet,

d'étudier la faisabilité d'une telle galerie en cherchant à utiliser les espaces disponibles en dehors du gabarit routier.

On trouvera dans le document "Génie civil" des schémas types pour les trottoirs et les différentes réservations pour le passage de câbles et des canalisations

CHAPITRE 7

DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ RELATIVES AU GÉNIE CIVIL ET À LA GÉOMÉTRIE

Ce chapitre fait l'inventaire des dispositions spéciales de sécurité relative au génie civil et à la géométrie qui sans être à proprement parler de la géométrie, doivent être connues du projeteur et des "décideurs" ; ces éléments peuvent éventuellement influencer les choix relatifs à la largeur roulable, au profil en travers, au tracé en plan et au profil en long

Tous les éléments explicités ci-après contribuent à la sécurité des usagers et facilitent l'intervention des secours ainsi que l'évacuation des automobilistes.

Nous avons reproduit ci-après un certain nombre de prescriptions réglementaires de la circulaire interministérielle 81.109 du 29 décembre 1981 relative à la sécurité dans les tunnels routiers situés sur le réseau national.

Toutefois, un certain nombre d'évolutions constructives qui sont apparues pourraient être débattues lors de l'examen du projet par la commission départementale de sécurité. On trouvera d'ailleurs en 7.7 les points susceptibles d'évoluer.

7.1 CIRCULATION DES PIÉTONS

Ce point a déjà été examiné dans le cadre du présent document (cf. § 5.3). On rappellera qu'il faut distinguer les ouvrages où les piétons sont admis (trottoirs surélevés et de 1,50 m de large) et ceux où ils sont interdits.

7.2 ÉVACUATION DES USAGERS

Il convient de prendre des dispositions afin de permettre l'évacuation à pied des usagers bloqués en tunnel à la suite d'un sinistre grave. Différentes possibilités sont offertes qui sont répertoriées ci-après :

7.2.1. Pour les tunnels à couverture très faible (cas général des tunnels urbains en tranchée couverte), on prévoit des communications avec l'air libre, accessibles aux piétons à partir de l'intérieur tous les 200 m environ.

7.2.2. Pour les tunnels comportant deux tubes à circulation unidirectionnelle, des galeries de communication sont implantées à intervalles réguliers voisins de 400 m. Ces galeries sont accessibles aux piétons. Certaines d'entre elles, en règle générale une sur deux, doivent être également accessibles aux véhicules.

Dans le cas des tranchées couvertes juxtaposées ces dispositions sont également appliquées (galeries de communications devenant communications directes).

7.2.3. Pour les tunnels à double sens et à couverture importante, pour lesquels la communication directe avec l'air libre n'est pas possible, on doit étudier la faisabilité technique et financière d'une galerie piétonne parallèle au tunnel.

Si cette faisabilité n'est pas assurée, on doit :

- soit prévoir des refuges (éclairés, ventilés) au droit des galeries de retournement,
- soit aménager les gaines techniques d'amenée d'air frais afin de permettre leur utilisation pour l'évacuation ou la mise à l'abri des usagers.

7.2.4. Les galeries pour piétons ainsi que les issues de secours doivent avoir pour largeur un multiple de 0,70 m (avec un minimum de 1,40 m) et une hauteur de 2,60 m.

7.3 ARRÊT ET ÉVACUATION DES VÉHICULES

7.3.1 ARRÊT DES VÉHICULES

Les perturbations apportées par la présence d'un véhicule en panne dépendent surtout de l'import-

tance du trafic et de la largeur roulable qui peut ne pas être suffisante dans tous les cas.

Aussi, il est recommandé lorsque la largeur roulable ne permet pas la circulation sur le nombre nominal de files au droit d'un véhicule arrêté, de prévoir des garages tous les 800 m environ, cette distance étant à moduler en fonction des déclivités. La figure 7.1 (page 49) montre les dispositions qui peuvent être adoptées.

7.3.2 ÉVACUATION DES VÉHICULES

Il est souhaitable pour des raisons de sécurité, en particulier dans les tunnels longs, de prendre des dispositions spéciales en vue de pouvoir faire évacuer les véhicules bloqués dans l'ouvrage.

On distingue à cet effet deux sortes d'aménagement répondant à des objectifs différents, et représentés sur la figure 7.2 (page 50) :

- Les galeries de retournement sont autant que possible prévues dans le cas des tunnels ne comportant qu'un seul tube. Leur dimensionnement doit permettre le retournement des poids lourds, en tenant compte de la largeur roulable disponible dans le tunnel.
- Les galeries de communication entre les deux tubes des tunnels unidirectionnels sont implantées à intervalles réguliers de 800 m environ (couplées avec les galeries piétons). Ces galeries doivent permettre d'une part l'évacuation des voitures de tourisme et petites fourgonnettes en cas de sinistre, et d'autre part, l'accès des véhicules de secours. Leur largeur est un multiple de 5 m avec une hauteur minimale permettant le passage des véhicules à gabarit de 3,50 m, soit environ 3,60 à 3,70 m de hauteur libre à la construction

7.3.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Tant pour les garages mentionnés en 7.3.1. que pour les différentes galeries de retournement ou de communication (paragraphe 7.3.2.), des dispositifs spéciaux peuvent être éventuellement prévus afin que les angles formés par les 2 piédroits (tunnel et galerie) ne puissent pas constituer un point de choc dangereux pour les automobilistes.

7.4 SÉCURITÉ INCENDIE

7.4.1 MOYENS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Une conduite incendie doit être prévue. Des points d'eau disposant de 120 m³ à la pression de 6 bars sont installés tous les 200 m. Le débit à la sortie des bouches d'incendie doit être de 60 m³/h. Dans le cas d'alimentation par réservoir, l'installation de deux réservoirs, un à chaque extrémité du tunnel, d'une capacité minimale de 60 m³ chacun, est recommandée.

On doit veiller au problème de la mise hors gel de cette conduite incendie et du réservoir (avec remplissage automatique).

L'attention du projeteur doit être attirée également sur les réservations à prévoir au niveau du profil en travers pour l'implantation de cette conduite incendie (en général sous un trottoir).

7.4.2 PROTECTIONS DIVERSES CONTRE LES EFFETS DE L'INCENDIE

7.4.2.1 Matériaux généraux de construction

Les matériaux de construction du tunnel exception faite des éléments de chaussée doivent être classés M0 du point de vue de la réaction au feu au sens de l'arrêté du 4 juin 1973 du Ministère de l'Intérieur.

7.4.2.2 Protection des bâtiments en superstructure ou contigus

Lorsque le tunnel se trouve contigu ou situé sous un immeuble habité ou occupé, les murs ou les parois mitoyens sont :

- coupe-feu de degré 4 heures pour un immeuble de grande hauteur,
- coupe feu de degré 3 heures au moins pour un établissement recevant du public, un établissement classé au titre de la loi du 19 juillet 1976 en raison du risque d'incendie,
- coupe-feu de degré 2 heures dans les autres cas.

Dans la mesure où une ou plusieurs parties du tunnel constituent des éléments de la structure porteuse des équipements en superstructure, indépendamment des mesures citées ci-dessus, ces éléments porteurs doivent présenter un même degré de stabilité au feu que ceux des bâtiments en superstructure.

7.4.2.3 Protection des locaux techniques

Si des locaux techniques du tunnel communiquent directement avec le tunnel, les portes de communication doivent être coupe-feu de degré deux heures. Toutefois, pour les cas où ces locaux techniques présenteraient des dangers particuliers d'incendie, l'installation d'un sas ventilé est conseillée.

7.4.2.4 Parois des gaines techniques

Les parois séparant une gaine technique du tunnel ou deux gaines techniques entre elles doivent être coupe-feu de degré deux heures au moins.

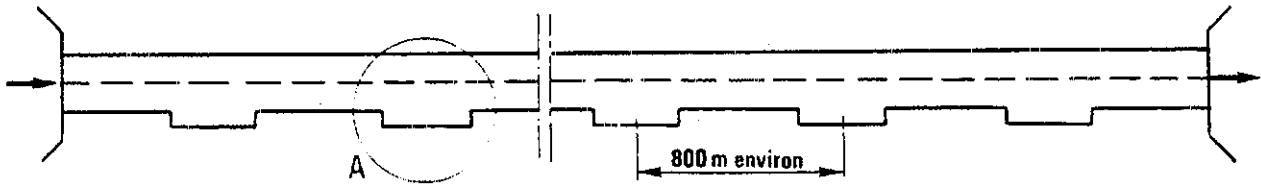
Dans la mesure où les gaines techniques d'amenée d'air frais sont utilisées pour l'évacuation ou la mise à l'abri des usagers, le calcul de leurs planchers devra prendre en compte une surcharge minimale de 250 daN/m² (kg/m²) pour utilisation exceptionnelle en cas de panique.

7.5 NICHES DE SÉCURITÉ

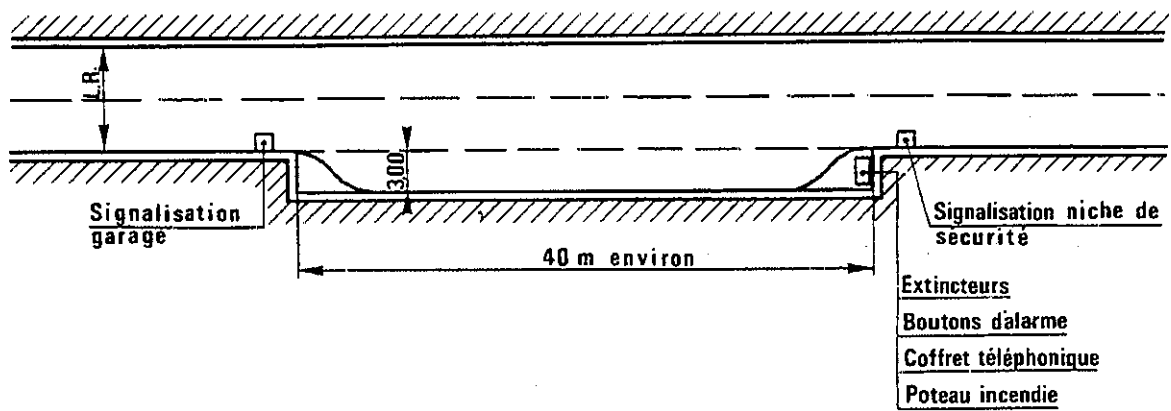
Comme décrit dans le document Equipements, un certain nombre d'équipements sont implantés régulièrement (200 m environ) tout au long de l'ouvrage.

Outre les équipements dits de sécurité (téléphone, extincteurs, boutons-poussoirs, alimentation en énergie, poteaux incendie) on a intérêt à regrou-

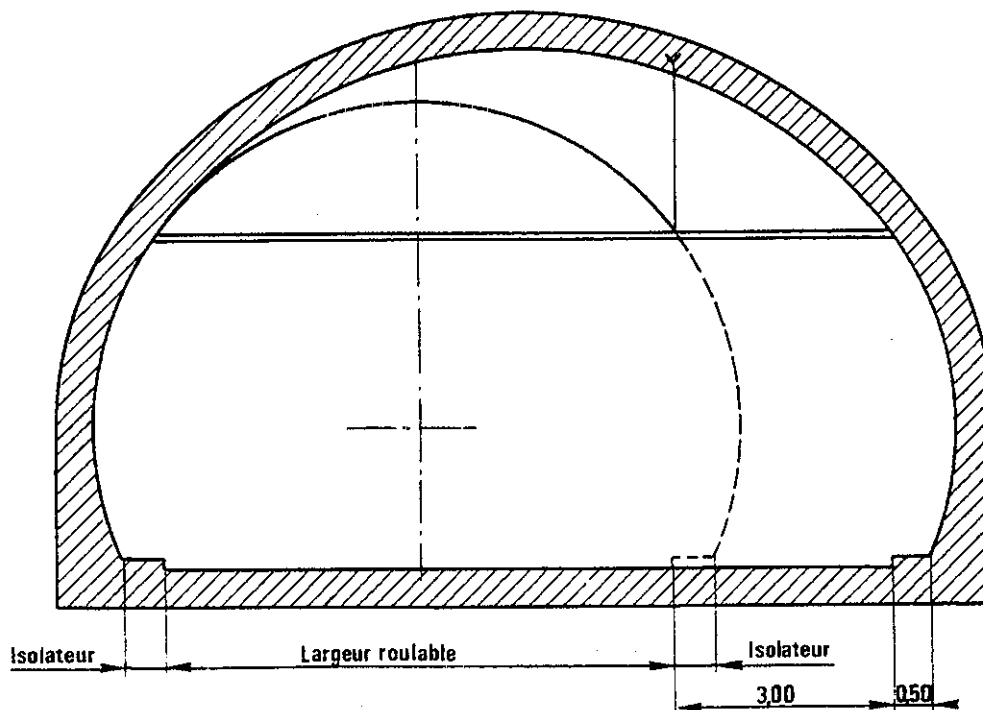
Disposition en plan



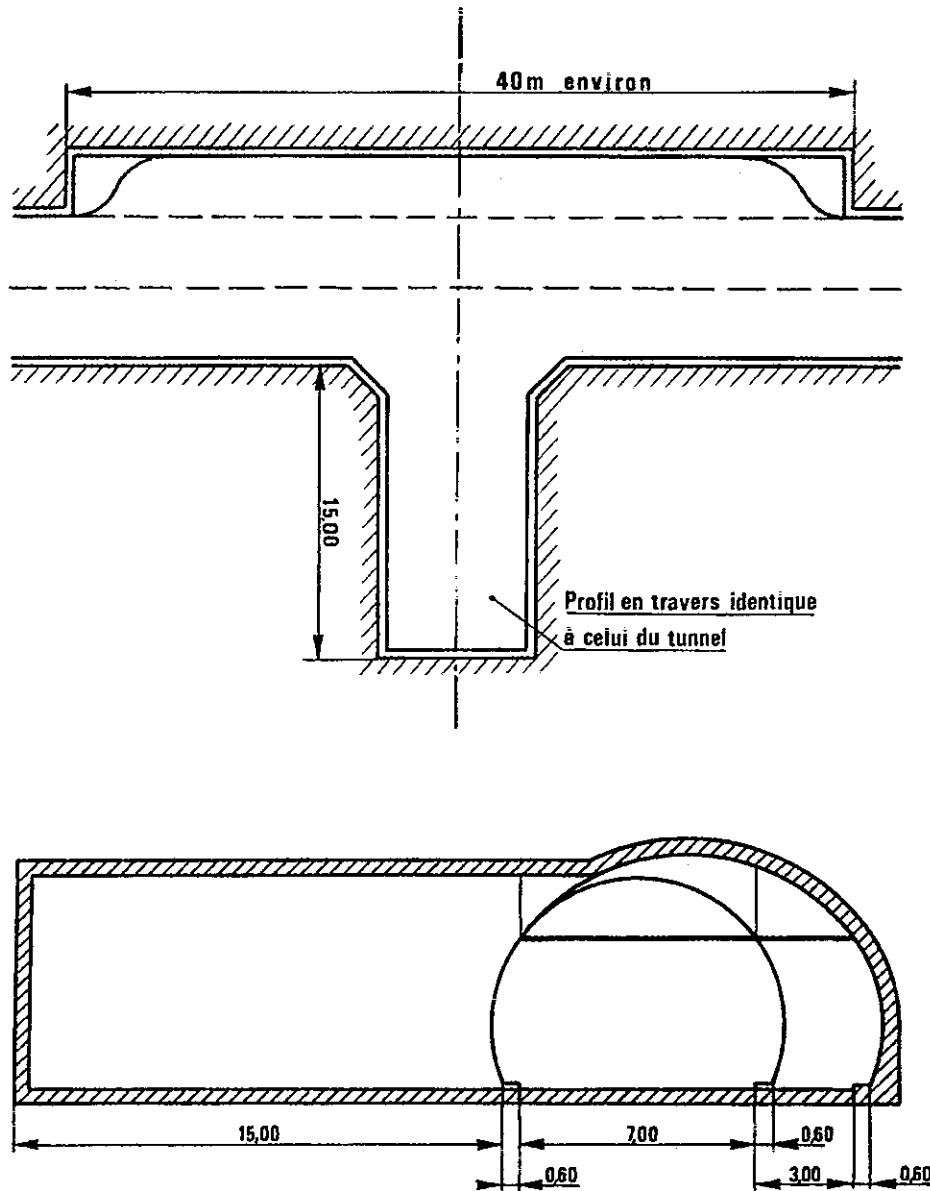
Vue en plan - détail A



Vue en travers - détail A

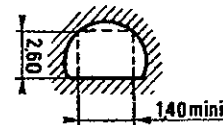
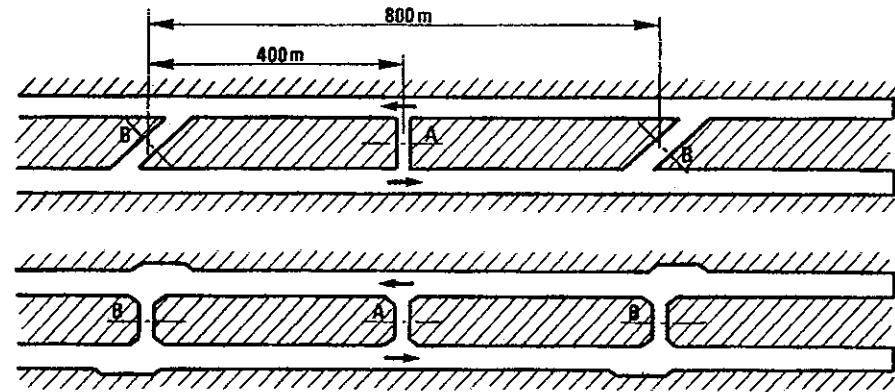
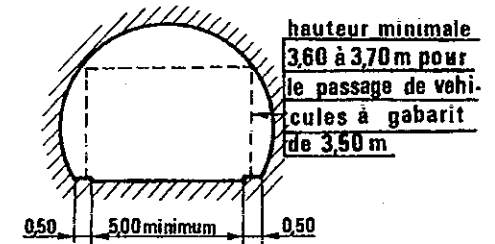


GALERIE DE RETOURNEMENT



PASSAGES DE SECOURS (2 tubes parallèles)

Variantes possibles

GALERIE PIÉTONS
Coupe AGALERIE POUR VÉHICULES
Coupe B

EXEMPLE D'UTILISATION

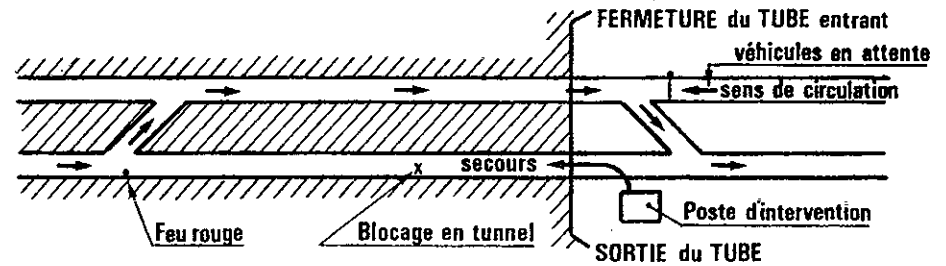


FIG 7.2 - Evacuation des véhicules et usagers

per à ce niveau d'autres équipements comme les armoires de signalisation, les capteurs (ou prises), de manière à simplifier les problèmes d'entretien et d'exploitation

Les niches de sécurité prévues à cet effet ont les dimensions minimales suivantes :

- largeur 2 m,
- hauteur 2 m sur toute la largeur,
- profondeur 0,70 m.

Toutefois ces dimensions sont à adapter en fonction des matériels à implanter et des possibilités offertes par le génie civil (cf. fig. 7.3 et 7.4 à titre d'exemples) (page 52).

7.6 AMÉNAGEMENTS SPÉCIAUX

7.6.1 TUNNEL CADRE

Si les engins de relèvement des véhicules renversés ne peuvent intervenir efficacement dans les tunnels "cadre" en raison du gabarit limité, il est recommandé de placer un anneau (force minimale 5 t) dans les piédroits entre 0,5 m et 1,5 m du sol, tous les 50 m en quinconce.

7.6.2 TUNNEL OÙ LE TRANSIT DES MATIÈRES DANGEREUSES EST AUTORISÉ

Si le passage des matières dangereuses est autorisé, il est nécessaire de prévoir les aménagements suivants :

- caniveau fendu continu ou recueil tous les 50 cm sur toute la longueur de l'ouvrage pour collecter les liquides inflammables répandus,
- canalisation d'évacuation d'une capacité de 200 l/s, et bouches de communication avec le tunnel tous les 50 m d'une capacité de 100 l/s et munie d'un syphon,
- fosse de récupération au point bas d'une capacité de 50 m³.

REMARQUE :

Ces dispositions peuvent être étendues au cas des tunnels routiers où le transit des matières dangereuses, même s'il est interdit à l'ouverture, n'est pas totalement à exclure à long terme.

7.7 PRINCIPALES ÉVOLUTIONS ENVISAGEABLES PAR RAPPORT À LA CIRCULAIRE 81.109 DU 29.12.1981 (données à titre indicatif)

7.7.1 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Les matériaux de construction du gros œuvre du tunnel, exception faite des éléments de chaussée, doivent être incombustibles

Les matériaux de revêtement et les matériaux de couverture doivent être classés M0 et M1 en réaction au feu au sens des dispositions de l'arrêté du 30 juin 1983.

Cette prescription vise principalement les matériaux utilisés pour recouvrir les piédroits, ou pour réaliser une couverture légère translucide.

7.7.2 PROTECTION DES BATIMENTS EN SUPERSTRUCTURE

Lorsqu'un tunnel se trouve en tout ou partie contigu à des locaux ou situé sous un immeuble habité ou occupé, à défaut de justification par le calcul d'une résistance au feu qui tienne compte du risque réel d'incendie pouvant résulter d'un accident de la circulation, on fait en sorte forfaitairement que :

- les parois mitoyennes soient coupe-feu de degré trois heures,
- la ou les parties du tunnel constituant des éléments de la structure porteuse des bâtiments en superstructure soient stables au feu de degré trois heures

Si les locaux techniques du tunnel communiquent directement avec le tunnel, les portes de communication doivent être coupe-feu de degré deux heures. Toutefois, pour le cas où ces locaux techniques présenteraient des dangers particuliers d'incendie, l'installation d'un sas ventilé est nécessaire.

Si le tunnel communique avec un complexe d'urbanisme souterrain, on prévoit un sas globalement coupe-feu trois heures (cela peut être obtenu avec deux portes coupe-feu de degré une heure et une surface au sol comprise entre 6 et 10 m²).

7.7.3 RÉFLEXIONS SUR LES ACTES TERRORISTES

Lors de la conception du projet, le projeteur peut prendre également en compte des considérations liées aux actes terroristes tant dans la possibilité d'accès à certains points sensibles du tunnel (équipements techniques) qu'aux possibilités d'arrêt (garages, galeries...).

7.7.4 COMMISSION ADÉQUATE DE SÉCURITÉ

La circulaire 81/109 du 29/12/1981 prévoit qu'au cours de l'étude de l'avant-projet de l'ouvrage, il convient de faire examiner par la commission départementale de sécurité concernée les dispositifs prévus.

Il semblerait actuellement que la commission concernée soit la Commission Consultative Départementale de la Protection Civile, de la Sécurité et de l'Accessibilité (C.C.D.P.C.S.A.) créée par le décret 85.988 du 16 septembre 1985 (Ministère de l'Intérieur et de la Décentralisation).

Dans le cas particulier de Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne, la C.C.D.P.C.S.A. est à remplacer par la Commission Départementale de Sécurité.

FIG 7 3 - Niche de sécurité type ouverte sur piédroits voûtés

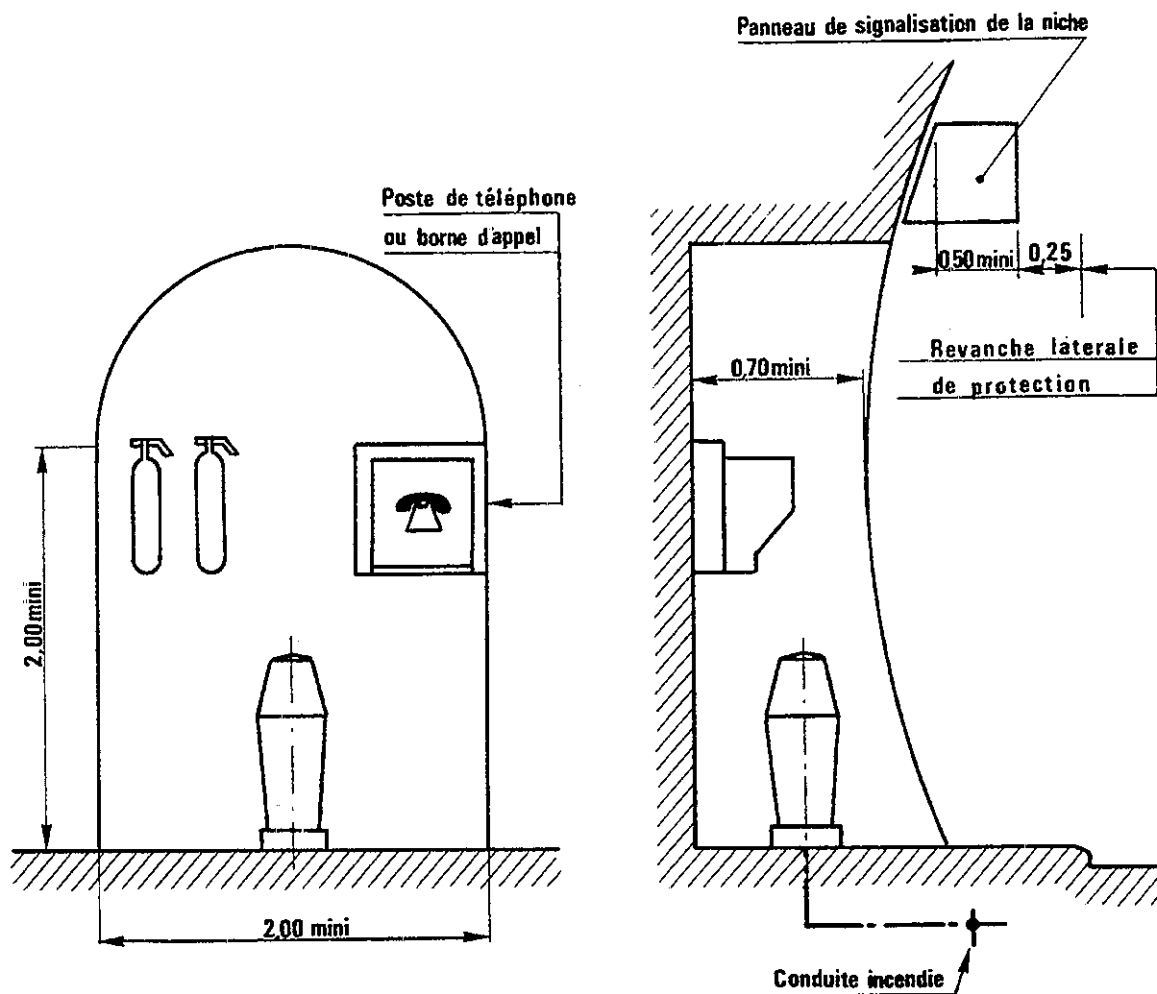
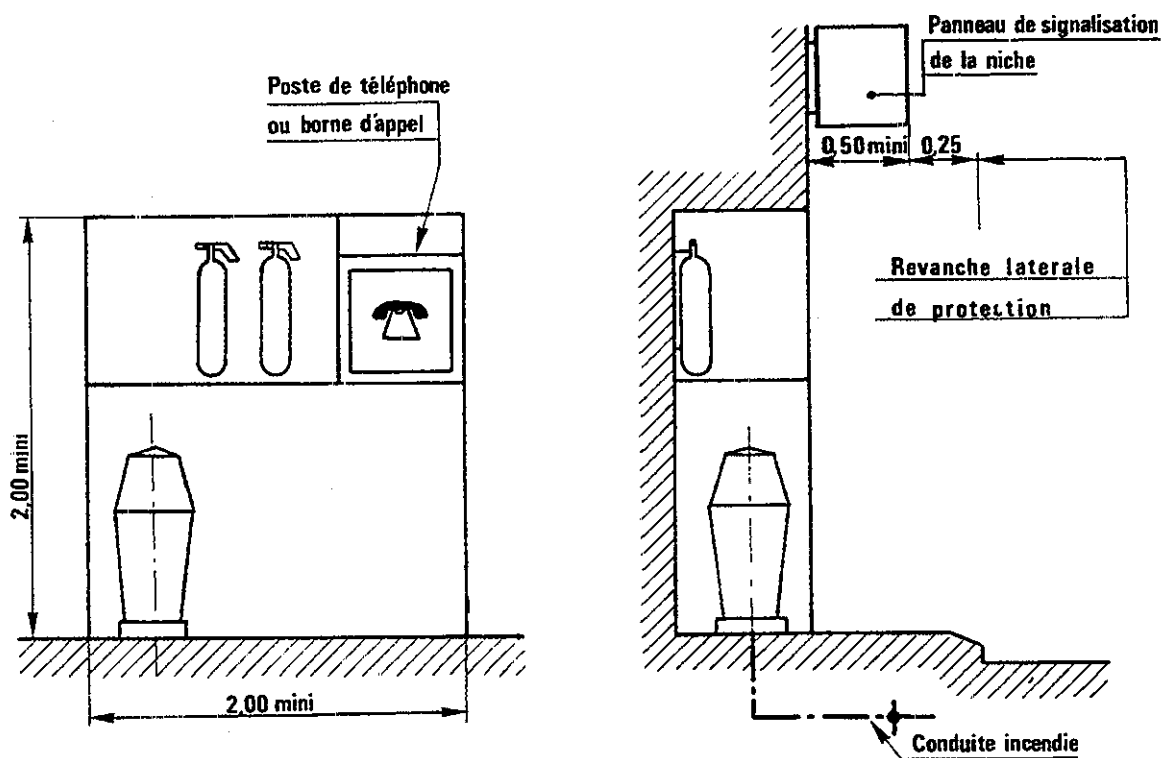


FIG. 7.4 - Niche de sécurité type fermée sur piédroits verticaux



CHAPITRE 8

PROFILS TYPES (à forme circulaire)

8.1 FICHER DE PROFILS TYPES

On trouvera ci-après un fichier de profils types permettant à partir des caractéristiques largeur roulable et hauteur libre minimale de déterminer pour une première approche, les données géométriques d'un profil en travers à forme circulaire.

Ces profils types sont établis sur les bases suivantes :

- dévers variable de - 3 à + 3 % (avec point de rotation sur axe chaussée),
- pas de contraintes particulières liées à la ventilation (dans un système avec faux plafond) ou aux autres équipements à implanter dans le profil en travers (éclairage, signalisation ou exploitation et sécurité),
- tolérance de réalisation du génie civil : ± 5 cm.

FICHER DE PROFILS TYPES

Largeur roulable	Largeur trottoir horizontale m	Hauteur libre m	Section intérieure avec tolérance réalisation (m ²) (intrados)	Position du centre/ axe chaussée m	Hauteur du centre m	Rayon du cercle m
7.60 m	0.65	4.35	52.31	0	1.69	4.76
	0.65	4.55	54.30	0	1.81	4.81
	0.66	4.80	56.83	0	1.96	4.87
8.20 m	0.75	4.35	57.13	0	1.55	5.09
	0.75	4.55	59.23	0	1.68	5.13
	0.75	4.80	61.90	0	1.83	5.19
8.50 m	0.75	4.35	59.58	0	1.53	5.22
	0.75	4.55	61.72	0	1.66	5.27
	0.75	4.80	64.44	0	1.81	5.32
9.00 m	0.84	4.35	63.76	0	1.37	5.51
	0.85	4.55	66.01	0	1.51	5.55
	0.85	4.80	68.86	0	1.67	5.60
9.50 m	0.84	4.35	66.84	0	1.26	5.73
	0.84	4.55	70.41	0	1.47	5.78
	0.85	4.80	73.35	0	1.64	5.83

REMARQUE :

Le cas 9,5 m de largeur roulable et à 4,35 m de hauteur libre a été adapté, le profil minimal correspondant étant un demi-cercle parfait (R = 6,51 m)

8.2 CAS DU 8,5 m DE LARGEUR ROULABLE

La largeur roulable de 8,5 m est couramment utilisée dans les ouvrages actuellement en exploitation ou projetés sur autoroutes, routes express ou sur VRU. On trouvera ci-après quelques exemples de l'utilisation de cette largeur roulable dans différentes hypothèses de contraintes particulières sur le plan équipements ou données géométriques, pour un profil en travers circulaire

8.2.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DE LARGEUR DE TROTTOIRS

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- dévers variables + 3 à – 3 %,
- pas de ventilation.

B) Tableau des résultats

Minimum trottoir m	Largeur trottoir horizontale m	Section intérieure avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	rayon m	Hauteur libre requise m
0.25	0.31	59.68	0	2.02	4.99	4,35
0.50	0.55	59.60	0	1.75	5.11	
0.60	0.65	59.58	0	1.64	5.17	
0.70	0.75	59.58	0	1.53	5.22	
0.80	0.84	59.59	0	1.41	5.28	
1.00	1.04	59.64	0	1.18	5.41	
0.25	0.31	61.61	0	2.13	5.04	4,55
0.50	0.56	61.65	0	1.87	5.16	
0.60	0.65	61.68	0	1.76	5.21	
0.70	0.78	61.72	0	1.66	5.27	
0.80	0.85	61.77	0	1.55	5.33	
1.00	1.04	61.90	0	1.32	5.45	
0.25	0.32	64.09	0	2.26	5.10	4.80
0.50	0.56	64.26	0	2.02	5.22	
0.60	0.66	64.35	0	1.92	5.27	
0.70	0.75	64.44	0	1.81	5.32	
0.80	0.85	64.54	0	1.71	5.38	
1.00	1.04	64.76	0	1.49	5.50	

C) Commentaire :

Dans tous les cas, en l'absence de faux-plafond, on peut donc porter les trottoirs à 1 m sans augmenter la surface intérieure (au maximum, 1 % d'augmentation de la section pour une hauteur libre de 4,80 m lorsque les trottoirs passent de 0,25 à 1 m).

8.2.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- dévers variables + 3 à – 3 %,
- largeur trottoir minimale 0,60 m,
- épaisseur faux plafond 0,25 m.

B) Tableau des résultats.

Hauteur libre	Hauteur sous plafond	Surface ventilation m ²	Surface totale avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	Rayon cercle m
4,55 m	5,08 m pour dévers 0 (4,55 m + 0,30 équipement + 0,10 revanche protection)	8,65 profil minimal	61,68	0	1,76	5,21
		10	63,93	0	1,89	5,26
		12,5	67,80	- 0,01	2,09	5,35
		15	71,42	- 0,01	2,28	5,43
4,55 m	4,68 m pour dévers 0 (4,55 m pas d'équipement)	11,83 profil minimal	61,68	0	1,76	5,21
		12,5	62,83	- 0,01	1,82	5,24
		15	66,26	0	2,02	5,31
4,35 m	4,88 m pour dévers 0 (4,35 m + 0,30 équipement + 0,10 revanche protection)	8,86 profil minimal	59,58	0	1,64	5,17
		10	61,43	- 0,01	1,74	5,21
		12,5	65,25	- 0,01	1,96	5,29
		15	68,82	- 0,01	2,15	5,37
4,35 m	4,48 m pour dévers 0 (4,35 m sans équipement)	12,05 profil minimal	59,58	0	1,64	5,17
		12,5	60,33	- 0,01	1,67	5,19
		15	63,83	- 0,01	1,88	5,26

C) Commentaire :

Pour ce type de profil, une valeur minimale de surface de ventilation est toujours disponible. A largeur de plate-forme fixée, elle est d'autant plus importante que la hauteur libre est plus faible. Au-delà de ce minimum toujours disponible, une augmentation des besoins en surface de ventilation se traduit par une augmentation de la section intérieure qui lui est supérieure d'environ 50 %.

8.2.3 EXEMPLE AVEC 1 m DE ROULABLE SUR TROTTOIR AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m

8.2.3.1 1 m à droite (un seul côté)

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- hauteur libre 4,55 m sur LR + 3,65 m sur 1 m du trottoir droit,
- dévers - 3 ; + 3 %,
- pas de contraintes équipement ou ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir gauche 1,04 m,
- LR = 8,5 m,
- trottoir droit :
 - roulant sous 3,65 m : 1 m,
 - complément trottoir droit non roulant = 0,44 m,
 - total trottoir droit = 1,44 m.
- position centre 0 ; hauteur centre 1,28 m,
- rayon du cercle 5,64 m,
- surface totale intérieure (avec tolérance réalisation) 65,19 m²

8.2.3.2 1 m à droite et à gauche (de 2 côtés)

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- hauteur libre 4,55 m sur LR + 3,65 m sur 1 m du trottoir droit et gauche,
- dévers – 3 ; + 3 %,
- pas de contraintes équipement, ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir droit ou gauche = 2,20 m,
- position centre 0,
- hauteur centre 0,
- rayon du cercle 6,45 m,
- section intérieure avec tolérance réalisation 66,37 m².

8.3 CAS DU 7,60 m DE LARGEUR ROULABLE

8.3.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DES TROTTOIRS

A) Données de base :

- dévers variables + 3 à – 3 %,
- pas de contraintes particulières équipement ou ventilation.

B) Tableau des résultats

Minimum trottoir m	Largeur trottoir horizontale m	Section intérieure avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	rayon m	Hauteur libre requise m
0.25	0.31	52.05	0	2.04	4.59	4.35
0.50	0.55	52.23	0	1.79	4.71	
0.60	0.65	52.31	0	1.69	4.76	
0.70	0.75	52.41	0	1.59	4.82	
0.80	0.84	52.51	0	1.48	4.88	
1.00	1.04	52.75	0	1.27	5.00	
0.25	0.31	53.90	0	2.14	4.64	4.55
0.50	0.56	54.17	0	1.91	4.76	
0.60	0.65	54.30	0	1.81	4.81	
0.70	0.75	54.43	0	1.72	4.86	
0.80	0.85	54.57	0	1.61	4.92	
1.00	1.04	54.88	0	1.41	5.04	

C) Commentaire :

L'influence de la largeur des trottoirs sur la section intérieure reste faible, même si elle est plus sensible que pour une largeur roulable de 8,5 m (au maximum 1,8 % d'augmentation de la section lorsque les trottoirs passent de 0,25 m à 1 m avec une hauteur libre de 4,55 m).

8.3.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION

A) Données de base :

- dévers variables + 3 à - 3 %,
- largeur trottoir 0,60 m,

B) Tableau des résultats.

Hauteur libre	Hauteur sous plafond requise pour dévers 0	Surface ventilation m ²	Surface totale avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	Rayon cercle m
4,55 m	5,06 m (4,55 m + 0,10 revanche protection + 0,30 équipement)	5,93 profil minimal	54,30	0	1,81	4,81
		7,5	57,07	- 0,01	1,97	4,88
		10	61,06	- 0,01	2,19	4,98
		12,5	64,94	- 0,01	2,39	5,08
		15	68,60	0	2,58	5,17
4,55 m	4,66 m (4,55 m pas d'équipement)	8,72 profil minimal	54,30	0	1,81	4,81
		10	56,32	0	1,93	4,86
		12,5	60,11	- 0,02	2,13	4,96
		15	63,68	- 0,02	2,32	5,05
4,35 m	4,46 m (4,35 m pas d'équipement)	8,90 profil minimal	52,31	0	1,69	4,76
		10	54,10	- 0,01	1,79	4,81
		12,5	57,74	- 0,01	2	4,90
		15	61,15	0	2,20	4,98
4,35 m	4,86 m (4,35 m + 0,10 revanche protection + 0,30 équipement)	6,10 profil minimal	52,31	0	1,69	4,76
		7,5	54,74	0	1,84	4,82
		10	58,67	- 0,01	2,06	4,92
		12,5	62,51	- 0,02	2,26	5,02
		15	66,12	- 0,01	2,45	5,11

C) Commentaire :

La surface minimale toujours disponible pour la ventilation est évidemment plus faible qu'avec une largeur roulable de 8,5 m. Une augmentation des besoins en surface pour la ventilation au-delà de ce minimum a une influence comparable au cas précédent sur la section intérieure, qui augmente de 50 % à 60 % de plus que la section de ventilation.

8.3.3 EXEMPLE AVEC 1 m DE ROULABLE SUR TROTTOIRS DROIT ET GAUCHE AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m

A) Données de base :

- LR = 7,60 m,
- hauteur libre : 3,65 m sur 1 m de trottoirs droit et gauche 4,55 m sur LR,
- dévers - 3 ; + 3 %,
- pas de contraintes équipement, ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir droit ou gauche = 2,30 m dont 1 m à 3,65 m,
- position centre 0,
- hauteur centre 0,
- rayon du cercle 6,10 m,
- section intérieure avec tolérance réalisation 59,41 m².

8.4 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Des quelques exemples développés ci-avant, il ressort qu'une étude sérieuse doit être effectuée sur le dimensionnement d'un profil en travers de tunnel creusé

Dans le cas réel, il conviendra également de prendre en considération les surfaces nécessaires à la mise en œuvre du béton de voûte ainsi que la section sous chaussée ; des économies substantielles peuvent être réalisées, ou inversement on peut arriver à obtenir, à surface égale, une meilleure distribution au niveau de la chaussée.

Outre les aspects purement géométriques, il convient également de prendre en considération les problèmes liés à la nature des terrains et à la stabilité générale de l'ouvrage.

CHAPITRE 9

LEXIQUE FRANÇAIS - ANGLAIS

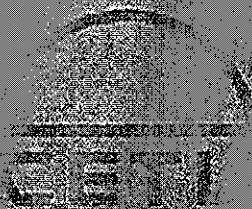
Français	Anglais
On trouvera ci-après, le lexique Français-Anglais des principaux termes utilisés dans le document et concernant tant la géométrie que le trafic.	<i>The French-English lexikon of major terms used in the document and concerning both geometry and traffic is given hereunder.</i>
Autoroute	<i>Motorway</i>
Bande d'arrêt d'urgence (BAU) de droite ou de gauche	<i>Right or left emergency lane</i>
Bande dérasée (BD) de droite ou de gauche	<i>Right or left shoulder</i>
Bute-roues	<i>Curb</i>
Capacité	<i>Capacity</i>
Chaussée	<i>Traffic lanes</i>
Débit	<i>Flow</i>
Débit de dimensionnement géométrique	<i>Geometric design flow</i>
Déclivité	<i>Gradient</i>
Dévers	<i>Super elevation</i>
Distance d'arrêt	<i>Stopping distance</i>
Distance de visibilité	<i>Viewing or visibility distance</i>
Gabarit	<i>Clearance</i>
Galerie de retournement	<i>Turning layby</i>
Garage	<i>Layby</i>
Hauteur libre	<i>Headroom</i>
Hauteur libre minimale	<i>Minimal headroom</i>
Isolateur (de droite ou de gauche)	<i>Insulator (right or left)</i>
Largeur roulable	<i>Roadway</i>
Marge latérale	<i>Lateral margin or clearance</i>
Moyenne journalière annuelle	<i>Annual daily average</i>
Niche de sécurité	<i>Emergency recess</i>
Niveau de service	<i>Service level</i>
Ouvrage en projet	<i>Structure under project</i>
Ouvrage réalisé	<i>Achieved structure</i>
Passage de secours	<i>Emergency passageway</i>
Profil en long	<i>Longitudinal profile</i>
Profil en travers	<i>Cross section</i>

Français	Anglais
Revanche de construction et d'entretien	<i>Construction and maintenance margin</i>
Revanche de protection	<i>Protection margin</i>
Revanche de signalisation	<i>Signalling margin</i>
Route de montagne	<i>Mountain road</i>
Route de rase campagne	<i>Rural road</i>
Route nationale	<i>National road</i>
Route urbaine	<i>Urban road</i>
Route interurbaine	<i>Intercity road</i>
Surlargeur	<i>Overwidth</i>
Tracé en plan	<i>Layout</i>
Trafic de pointe	<i>Peak traffic flow</i>
Trottoir	<i>Footway</i>
Tube	<i>Tube</i>
Tunnel bidirectionnel	<i>Two-way tunnel</i>
Tunnel cadre	<i>Tunnel of rectangular cross-section</i>
Tunnel unidirectionnel	<i>One-way tunnel</i>
Tunnel voûté	<i>Vaulted tunnel</i>
Vitesse de référence	<i>Design speed</i>
Vole élémentaire de circulation ou de chaussée	<i>Lane</i>
Voie pour véhicules lents	<i>Slow vehicle lane</i>
Voie rapide urbaine	<i>Urban motorway</i>
Voie supplémentaire en rampe	<i>Additional upgrade lane</i>

Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable
(bidirectionnel ou unidirectionnel)

Largeur roulable	PL arrête	VL arrête	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
9,85			 		
9,60					
9,35			 		
				 	
					
9,15			 		
9,10					
					
9,05					
8,90					
8,85					
			 		
					 
8,80				 	
8,65					
			 		
					
				 	
8,55					
					

Largeur roulable	PL arrete	VL arrete	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
8,40				 	
					
					
8,35					
8,25					
8,15					
					 
			 		
					
					 
8,10				 	
7,95					
7,85					
					
					
7,70					
7,55				 	
7,45					 
					
					 
7,15					
6,75					 



CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS

**PIARC-ROAD TUNNELS COMMITTEE
WORKING GROUP No. 4 : COMMUNICATION SYSTEMS AND
GEOMETRY**

FINAL DRAFT OF THE SUBGROUP "CROSS SECTION"
Approved by WG4 at the meeting in Oslo, March 2003

CROSS SECTION DESIGN

FOR

BI-DIRECTIONAL ROAD TUNNELS

April 2003

FOREWORD

This report has been prepared under the auspices and with the approval of the PIARC Committee on Road Tunnels by its working group No.4 devoted to "Communication Systems and Geometry". This working group included the following members:

Convenor: Urs WELTE (Switzerland)
Secretary: Tony ROCK (United Kingdom)
Members: Joan ALMIRALL (Spain)
Wolfgang BALTZER (Germany)
Torsten BERGH (Sweden)
John BURACZYNSKI (USA)
Harald BUVIK (Norway)
Gerhard EBERL (Austria)
Hideyuki FUJIKAWA (Japan)
Joergen HOLST (Denmark)
Andreas HOFER (Switzerland)
Martin KELLY (United Kingdom)
Bernardo MAGRI (Italy)
Jean Paul MIZZI (France)
Ben RIGTER (Netherlands)

Work on this report started in September 2001 as a continuation of the work carried out by WG4 between the years 1998 and 2001, which concluded with the report entitled CROSS SECTION GEOMETRY IN UNIDIRECTIONAL ROAD TUNNELS, published by PIARC in March 2001 (R-1). This report shares the terminology and general approach of the previous document but adapts and extends it to cover tunnels with a single gallery and two directions of travel. The drafting of this report has involved examination of appropriate national standards and recommendations, as well as various documents of the PIARC and other international organisations that have recently come into being in response to the tragic accidents that have occurred in tunnels since 1999.

The first drafts and the final document were drawn up by Joan Almirall, with the valuable collaboration of Ben Rigter, Harald Buvik and Torsten Bergh. Tony Rock was responsible for the careful task of correcting the drafts.

The conclusions and recommendations of the report are based on common practice in various countries, as well as on the opinions of the experts on the PIARC WG4 committee. However, there may be other solutions to the problems discussed here, and national standards could take different approaches to some of the situations dealt with in this report.

The working group hopes that this document will supply information for designers and owners of tunnels to decide on the geometry of the tunnels.

CROSS SECTION DESIGN FOR BI-DIRECTIONAL ROAD TUNNELS

INDEX

1. Introduction.	4
1.1 Objectives of the report.	4
1.2 Safety considerations.	4
1.3 Concepts and elements.	7
2. Summary of the main recommendations and international standards governing bi-directional tunnels.	11
3. Traffic speed and densities.	17
3.1 General features of the traffic.	17
3.2 Speed and capacity calculations	18
3.2.1 Theoretical Capacity and Practical Capacity	19
3.2.2 Capacity of traffic lanes for general use	20
3.2.3 Capacity of a climbing-lane	23
3.2.4 Distribution of traffic between directions of travel	24
3.2.5 Daily Capacity	24
4. Incident and accident rates	25
5. Horizontal alignment.	27
6. Vertical alignment.	28
7. Geometric cross-section.	29
7.1 Lane widths.	29
7.2 Hard clearance widths.	29
7.3 Central median strip.	32
7.4 Walkways.	32
7.5 Recommendations	35
7.6 Off-Carriageway widths and visibility distances.	36
7.7 Safety barriers separating the direction of traffic.	37
7.8 Vertical clearances.	38
8. Special elements.	40
9. Maintenance operations.	41
10. References.	43

1. Introduction.

1.1. Objectives of the report.

The purpose of this report is to offer a synthesis of the experience, as well as of the recommendations and international standards that provide viable solutions and design criteria for the selection of cross sections for bi-directional tunnels.

The report also discusses different aspects of the design of bi-directional tunnels, such as the capacity and the traffic density, the longitudinal slopes and radii of curvature, considered from the perspective of traffic safety and efficiency under normal and exceptional conditions as well as from that of operation and maintenance of the tunnel.

1.2. Safety considerations.

The main criteria in deciding whether to build a single or twin-tube tunnel shall be projected traffic volume and safety. Other aspects shall also be taken into account, such as percentage of heavy goods vehicles, length and gradient etc. When a long term forecast shows that traffic volume will exceed 9.000 vehicles per lane, a twin tube tunnel with uni-directional traffic should be considered at the time when this value will be exceeded.

The basic design criteria for the cross section of bi-directional tunnels are not very different from those applied for the determination of cross sections for open roadways carrying similar densities of traffic. However, there are certain aspects that differentiate the solutions to be adopted in tunnels from other types of roadway.

The tunnels differ, among other ways, from surface roads mainly due to:

- No external distracting activity
 - Moderate winter conditions
 - Constant light conditions throughout the day and year, with the exception of the tunnel entrance zone
 - Difficulty of judging rising or falling gradients
 - Difficult to estimate the distance to vehicles in front
 - Constrained access for safety, emergency services etc.
- These conditions dictate that the design of certain elements in a tunnel must differ from those on a surface road. There are two criteria that apply in all bi-directional tunnels and both must be taken into consideration when determining the cross-sections:
- The **safety** criteria for the prevention of accidents, especially accidents or incidents that result in head-on collisions, or in a fire, because of the worsening of the resulting conditions due to the confinement of a tunnel. In general, tunnels must be designed so that the users themselves can act to ensure their safety in the event of an emergency.

- Those derived from the cost of construction of the infrastructure, as in the case of a tunnel the cost per linear metre may be from several times to orders of magnitude higher than the adjoining open roadway. In addition, consideration should be given to the fact that the cost of construction of a tunnel increases much more quickly with any increase in the cross section than for outdoor sections.

These two groups of criteria create a challenge and cause the difficulty in the design of road tunnels. The safety criteria tend to increase the section (wide hard clearance, comfortably wide walkways, facilities for disabled people, long visibility distances, possibility of overtaking a stopped vehicle at any point, etc.). The economic criteria lead to cross sections that are more restrictive than those used for open roadways with similar traffic density and geometric conditions.

There are, nevertheless, certain basic principles that must be upheld in bi-directional tunnels:

- The design of tunnels should incorporate the geometric conditions, illumination, signalling and road markings that best improve and increase traffic safety conditions.
- It should be possible for one heavy goods vehicle to overtake a stopped heavy goods vehicle without completely interrupting traffic in the opposite direction.
- If there is only one lane of traffic for either or both directions, overtaking a moving vehicle in this direction must be absolutely forbidden.
- The cross section point of a tunnel where there is the minimum capacity for passage of vehicle traffic should be located before the tunnel itself or in the entry section of the tunnel in each direction, it should never be located at any intermediate point or at the exit.

This document does not discuss the safety measures to be adopted in the tunnel infrastructure (emergency exits, evacuation tunnels, lay-by's, vehicle turn-around points), nor the installations required as a function of the type and length of the tunnel, average annual daily traffic density and, therefore, its systems for ventilation, detection of incidents, detection and extinction of fires or similar requirements. However, in the design of the cross section of a tunnel, all these considerations are important, as they influence the dimensions of the cross section. The following sections suggest provisions for the cross section to ensure safe traffic movement, and the designer should consider any variations of design that may be required to cater for other uses, as well as the different installations required for each particular type of tunnel.

Neither does this document include any discussion of the provisions for signalling, illumination, colours and shapes of the walls, carriageway, roof and other elements in the tunnel, even though they are all important aspects whose adequate design could contribute to increase the traffic safety.

As a resume of our thought, we can say that "tunnels are generally safer than similar open highway sections, and can be built to a high level of safety at reasonable costs".

1.3. Concepts and elements.

To facilitate international communication and comparison, a minimal set of terms is desirable, with terminology chosen such that the meaning is intuitively obvious. Such a terminology is proposed and defined in Table 1 and figures 1, 2 and 3.

According to the structure from the former publication of the Working Group "Cross Section Geometry in Uni-directional Road Tunnels PIARC - 2001" (R-1), there are two main parts of the cross section:

1. Carriageway, comprising the area inside the inner edges of the outermost traffic lane markings.
2. Off-carriageway, comprising those areas in plan outside the carriageway, including edge lane markings, clearances, emergency lanes, sidewalks and safety barriers

The distinction is justified in that there appears to be general agreement about the use and dimensions of the carriageway while the dimensions of and requirements for elements of the off-carriageway differ greatly between countries.

Table 1 : Terminology and Definitions as used in this report in alphabetical order

Term	Definition
AADT	Annual Average Daily Traffic. Total traffic flow in one year divided by 365 days. Expressed in vehicles per day.
Additional traffic lanes	Namely, any one of the lanes, additional to the first one, present in the same direction of the tunnel, when all of them were used by all types of vehicles, providing an increased capacity.
Capacity	Maximum sustainable flow rate at which vehicles can traverse a point or uniform segment of a roadway.
Carriageway	Area of road, traversed by traffic in normal operation, extends between inner edges of outermost edge lane markings
Climbing lane or slow lane	Additional slow traffic lane on the right side of the carriageway in right driving countries; on the left side in left driving countries specialized for the use of Heavy Goods Vehicles when climbing.
Constructed Headroom	Height between top of pavement and roof, including maintained headroom, construction allowances and equipment clearances
Design Speed	Theoretical speed that is used as a parameter to design the elements of a road. The actual or planned speed limit can be, in some countries, different
Edge Lane Marking	Marking delineating the carriageway extent
Emergency Lane	Area of hard clearance to park vehicles in case of emergency
Free Flow Speed FFS	Space mean speed of traffic, averaged over all vehicles present on the length of a considered section of the road, when the intensity of traffic is low and there are not heavy vehicles present.

Term	Definition
Guard Rail	Flexible or frangible beam type construction supported on poles to prevent vehicles colliding with the tunnel side-wall.
Hard Clearance	Area between inner edges of outermost edge lane markings and kerbs or guard rails if present, if not, extends to the tunnel wall.
Kerb (U.S.: Curb)	Construction element forming the edge of walkway.
Lateral Clearance	Transverse distance between the wall or other obstacle and the edge of the carriageway.
Level of service	Quality of the operational conditions within a traffic stream, considering speed, travel time, freedom to manoeuvre and comfort.
Maintained Headroom (U.S.: Clear Height) (Minimum Headroom + Comfort Margin)	Headroom, which shall be preserved at all times, e.g. after resurfacing, to ensure safe passage of permitted traffic.
Minimum Headroom	Design height of heavy goods vehicle, plus necessary allowance for dynamic vehicle movements.
Motorway	Generic name for expressway, highway, freeway i.e. high performance dual carriageways where slow moving vehicles, pedestrians and cyclists are forbidden.
Object Distance	Minimum measure of hard clearance as margin for safety and comfort.
Off-carriageway	Area between inner edge of outermost edge lane marking and the tunnel wall, including hard clearance and walkway and/or barrier and/or guard rails.
Paved Area (Platform) (= Roadway + Walkways)	Area of paved construction designed to support vehicles safely.
Peak Hour Factor PHF	Factor that indicates the variation of traffic in the peak hour. Referred to a 15 minutes period, it is calculated by dividing the total flow in the peak hour, by four times the maximum flow in the maximum intensity fifteen minutes period in that hour.
Pedestrian Lane	Part of the walkway meant for safe walking.
Pedestrian Safety Margin	Margin (Zone) on the walkway between kerb and pedestrian lane.
Redress Lane	Part of the hard clearance, measured from the outer side of edge lane marking, used to correct course in case of accidental crossing of edge lane marking.
Reference Speed	Planned speed limit.
Road Tunnel	An enclosed road structure with a length of at least 5 times the width of the carriageway.
Roadway (= Carriageway + Hard Clearances)	Area between kerbs of walkways or between guard rails (or safety barriers) used by traffic in normal operation.
Roll-over kerb	Low height kerb which is not crossed by traffic in normal operation, but may be crossed by vehicles in emergency or following a traffic incident.

Term	Definition
Safety Barrier (also named Concrete type barrier)	Massive concrete construction to guide vehicles colliding with the tunnel side-wall safely back in the direction of traffic.
Space Mean Speed	Mean speed of the vehicles present at any given moment of time along a certain length of a traffic lane or roadway.
Spot Speed (Time Mean Speed)	Mean speed of the vehicles that pass by a fixed point of a traffic lane or roadway during a certain time interval.
Structure Gauge	Spatial envelope within which no fixed structure, fitting or fixture, is allowed.
Traffic Lane	Area of road for a row of vehicles, extends between inner edge of lateral lane marking and the centre of central traffic lane marking.
Traffic Lane Marking	Marking showing boundary between traffic lanes.
Walkway (U.S.: Sidewalk)	Area for maintenance staff and motorists to walk following a traffic incident or in emergency.
Walkway Headroom	Headroom to be maintained above walkways.

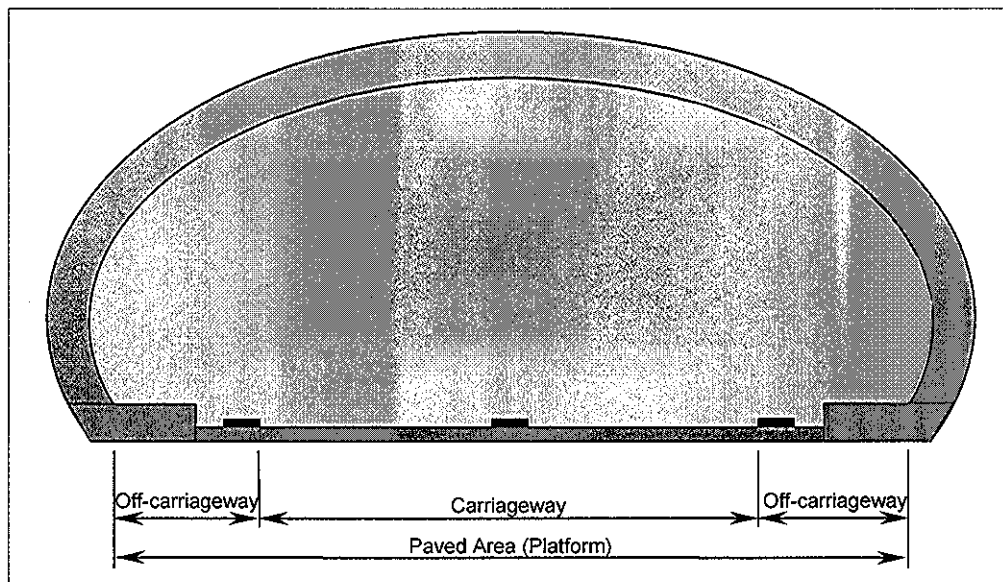


Figure 1: Primary partition of the Paved Area

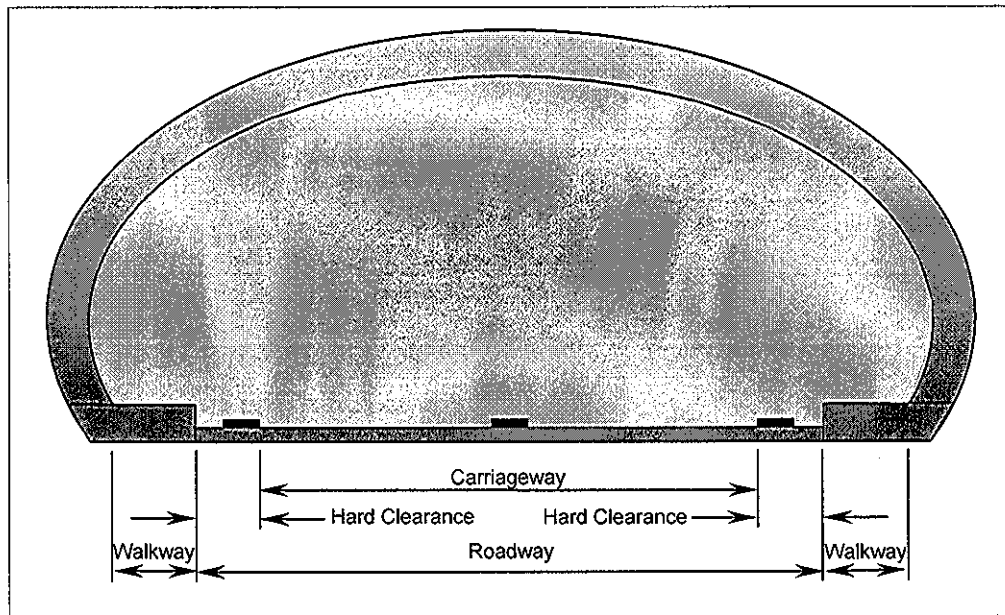


Figure 2: Secondary partition of the platform and partition of roadway

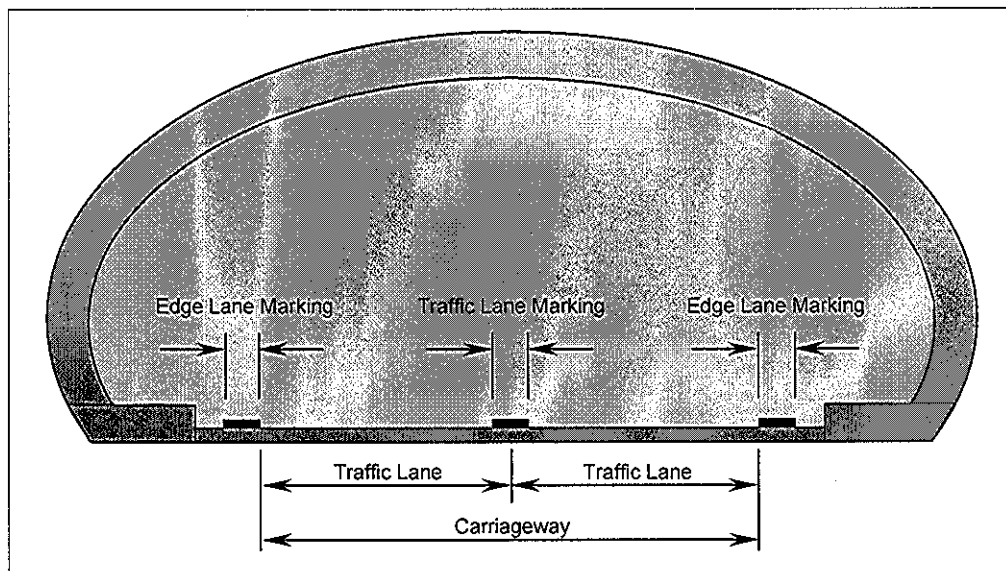


Figure 3: Definition of Traffic Lanes and Lane Markings

Summary of the main recommendations and international standards governing bi-directional tunnels.

Few countries have regulations governing bi-directional road tunnels. The national guidelines or recommendations should be considered in its context, so they are offered country by country, as a parameter by parameter comparison would be inappropriate, and could difficult the comprehension of the guideline philosophy:

* FRANCE -- Dossier pilote des tunnels. Geometrie. CETU -1990. (R-5)

- Capacity.
 - In bi-directional urban tunnels 2,200 pcph (passenger cars per hour), although values above 3,000 pcph have been detected.
 - In bi-directional mountain tunnels 2,350 pcph.
- Speed. The recommended speed should not exceed 80 km/h.
- Overtaking is prohibited in bi-directional tunnels with 2 traffic lanes.
- In general, in or out ramps are not permitted in tunnels, except when absolutely necessary in urban areas, in which case a special study is required.
- The recommended gradient should not be more than 2% if the length exceeds 400 m.
- A climbing lane should be planned if the speed of heavy vehicles drops below 50 km/h. The width of this additional traffic lane should be 3.00 m.
- Sidewalks are recommended with a minimum width of 60 cm.
- Traffic lane widths. Minimum in urban areas 3.00 m., in general 3.50 m.
- Hard shoulders with widths between 1.00 and 2.00 m are prohibited.

Type of Section	Traffic lanes	Hard clearance	Walkway
T10.2 Large section	2*3.50 m.	2*1.00 m.	2*0.60 m.
T9.4 Medium section	2*3.50 m.	2*0.60 m.	2*0.60 m.
T8.8 Minimum section	2*3.50 m.	2*0.30 m.	2*0.60 m.
Sections without edge lane marking (*)			
T8.20	2*3.50 m.	-	2*0.60 m.
T7.20	2*3.00 m.	-	2*0.60 m.

(*) For this sections the lane markings should be painted on the kerbs.

- The criteria determining the section for a bi-directional tunnel include:
 - Homogeneity of access roads.
 - Satisfy the traffic requirements (AADI, percentage of heavy vehicles, growth to the horizon year, etc.)
 - The level of service required, even in the event of an in-tunnel traffic incident, and the level of congestion to be designed for the type of itinerary.
 - Cost of the infrastructure.
 - Space required for tunnel installations.

- The minimum width is defined as 8.85 m. to enable the trucks to pass at very slow speed when another heavy goods vehicle is stopped because of breakdown.
- The indicated visibility distances required are in general agreement with the table in this document.
- It is proposed adopting a central safety zone (central median strip)
- If median safety barriers are to be installed the height should be limited to 20 cm.
- Maintained headroom, 4.50 m on main roads, and of at least 4.30 m.

* **NORWAY Norwegian Design Guide for Road Tunnels (R-2)**

- Defines several types of tunnel (T5.5 to T9.5), with overall width between walls varying from 5.5 to 9.5 m, depending on the class of the tunnel.

These classes, denoted A, B, C, D, E and F are defined as a function of the traffic (defined by the AADT and the maximum hourly intensity $H_{I\max}$) and the length of the tunnel.

Class of tunnel Basic	AADT Veh/day	Section Type
A	<300	T5.5
B	<5000	T8.5
C	<7500	T9.5
D	<10000	T9.5
E	<15000	Double tunnel (2xT8.5)
F	>15000	Double tunnel (2xT9.5)

- If the length exceeds 2.5 km., the class of tunnel may be one degree higher.

Bi-directional tunnel sections	Lanes	Hard clearance	Walkway
T5.5 Category A on local or secondary roads	2*2.75 m.	-	-
T8.5 Category B or C on main roads	2*3.25 m.	2*1.00 m.	-
T9.5 Category C or D on main roads	2*3.50 m.	2*1.25 m.	-
T11.5 Category B, C and D when it is need for three traffic lanes or emergency lane.	2*3.25 + 1*3.00 m	2*1.00 m.	-

- Slow lanes with a width of 3.50 m (minimum 3.0 m).
- Traffic lanes 3.50 m (minimum 3.0 m).
- Maintained Headroom for traffic lanes and Hard-Shoulder = 4.60 m.
- Establish the visibility distances to be maintained in general agreement with the table in this document.
- Maximum inclination of the grade in function of tunnel type, AADT, length and presence of climbing lane.

	Maximum gradient table			
Tunnel type	Bi-directional		Uni-directional	
AADT (Veh/day)	$\leq 1,500$ v/d	$> 1,500$ v/d	$\leq 15,000$ v/d	$> 15,000$ v/d
Maximum Gradient	8%	7%	7%	6%

- If there is a climbing lane the gradient may be increased by 1%.
- Climbing lane: If the slope is longer than 1 km, or the inclination is more than 6%, a climbing lane should be used after the point at which the difference in speed between light and heavy vehicles exceeds 15 km/hour, and must be maintained for 1 km long, as a minimum.

* SPAIN Standard 3.1 –I.C. Instructions for Roadways. Layout. February 1996. (R-4)

- Transversal section. Cross section should be designed to achieve capacity at the horizon year, fixed 20 years in the future.
- Horizon year should maintain some capacity reserve in main roads.
- Central median strip is used for safety reasons.
- Transversal section dimensions:

Bi-directional tunnels			
	Length $\leq$ 500 m.	Length $>$ 500 m	
		Main roads	Other roads
Lane width	As outside	3.50	3.50
Hard clearance	As outside	1.50	1.00
Central median strip	No	1.00	1.00
Walkways	0.75	0.75	0.75
Headroom over lanes and hard clearance	5.00	5.00	5.00
Headroom over walkways	2.00	2.00	2.00

Climbing lanes.

- Climbing lanes should be avoided inside tunnels.
- Climbing lanes are necessary when one of these conditions are present:
 - Traffic condition implies level of service worse than Capacity at horizon year
 - Heavy goods vehicles speed less than 40 km / h

Grades.

- Tunnels with length $<$ 500 m should have a constant grade.
- Grades greater than 3% should be avoided.
- Climbing lanes should be avoided inside tunnels, calculating maximum grade to obtain Heavy Goods Vehicles speeds over 60 km / h.

*** UNITED KINGDOM BD2 (DMRB 1.1) part III, and TD27/96 Cross sections and headrooms (R-3)**

- Intersections should be avoided in tunnels.
- Reduction of sections in tunnels compared to sections in the open is accepted.
- Basic capacity 1800 Veh/Hour per traffic lane, including 5% heavy goods vehicles present, with additional adjustments in function of the gradient and the presence of other proportions of heavy goods vehicles.

Table of corrections to the basic capacity per traffic lane (%)		
% HGV	Gradient (%)	
	< 2%	< 4%
5%	-	-15%
10%	-5%	-20%
15%	-10%	-25%
20%	-15%	-30%

- Follow the capacity calculation of HCM-1995. (R-14)
- Propose minimum design speeds for tunnels.

Minimum design speed (km/h)	Type of tunnel	
	Cut & cover	Bored
- recommended	As outside	85
- absolute minimum	As outside	70

- Proposes the use of higher friction coefficients in tunnel than outside.
- Permits overtaking in bi-directional tunnels, assuming good visibility, but not recommended if $L < 400$ m.
- Establishes safe stopping distances in close agreement with those of the table in this document.
- Gradients of not more than 6%.
- Climbing lanes not recommended.
- Headroom on walkways 2.30 m.
- Headroom in traffic lanes and walkways (as outside + 0.50 m).
- Pedestrian walkways of 1.00 m, of which 0.6 m must have unrestricted headroom. In spite of this, pedestrians are not generally allowed in practice.
- Heights of walkways on carriageway 0.075 m. Roll over kerbs are suggested.
- Width of traffic lanes 3.60 m. (RD27 Std.)
- Width of hard clearance greater or equal to 1.15 m. (RD27 Std.)

3. Traffic speed and densities.

3.1. General features of the traffic.

- The movement of traffic in a two-way tunnel is similar, but not identical to that of similar open sections of highway. There appears to be a slightly higher carrying capacity in the tunnel. According to some reports (R-16) this is due to the higher level of concentration of drivers and fewer manoeuvres that cause interruptions in the flow of vehicles.
- The reference used in this section for calculating capacity is the Highway Capacity Manual published 2000 (R-14), which considers different roadway types for two-way traffic. These types are: roadways with two traffic lanes and bi-directional, characterised by the intense interaction between the flows in both directions, and multiple lane roadways with two-way traffic, both directions being separated by various means, from a physical barrier, to simple traffic lane markings. On multiple lane roadways the traffic flows do not interact with each other or do so to a slight degree.
- On a section of open roadway, with one traffic lane in each direction and without physical separation between the traffic, there is a great deal of interaction between the two traffic flows. This means that the behaviour is highly influenced by the possibility of overtaking, after checking that there is sufficient visibility distance, and the absence of any other impediments.
- When the interaction between directions is very slight, either because there is a physical separation or because of a road rule that does not permit overtaking under any circumstances because it requires invading the lane travelling in the opposite direction, the operation of the road is to a great extent similar to that of a multiple lane highway.
- In the case of a two lane tunnel with one lane of traffic in each direction of travel, there are many more similarities to the behaviour of multiple lane highway than to that of a two-way roadway. In this case the phenomenon, predominant in one-way tunnels because of their growing presence on the roads, of drivers not paying any special attention when driving through a tunnel because they have become accustomed to them, is not so common. On the other hand, even today, going through a two-way tunnel heightens driver attention, and drivers are also aware that there is no overtaking in the tunnel. According to certain studies (R-10, R-11), the distribution of the positions of the vehicles in the traffic lanes in a tunnel places them much closer than outside, providing further evidence of this phenomenon of greater attention to driving.
- The case of bi-directional tunnels with several traffic lanes in the same direction is usually even more closely related to multiple lane highways. Bi-directional tunnels with more than four lanes of traffic in total are not very common except in urban areas, and generally they have a median strip with physical separation. In the case of tunnels with several lanes of traffic in each direction, especially if the geometric conditions and illumination are of the highest quality, they may even behave like uni-directional tunnels, in which

case the capacity and speeds should be studied in accordance with the procedure of the corresponding paragraph of the document "Cross section geometry of uni-directional road Tunnels", PIARC - March 2001 (R-1).

- A special case is the presence of a climbing lane in the ascending direction of the tunnel. In this case a decision should be made regarding the conditions prevailing in the traffic flow for each particular case:
 - If the additional traffic lane mainly behaves as specialised in heavy vehicles which travel at a speed far below the vehicle traffic in the fast lane, the behaviour is that of a typical climbing lane.
 - If all types of vehicles use the additional traffic lane, and its operation is similar to the other traffic lanes, only providing increased capacity, it should be regarded as a traffic lane on a multiple lane highway.
- When making a capacity study it must be defined whether sections of the tunnel are to be considered separately, or the complete tunnel as a whole. Of course, if the cross section varies, the minimum section will define the capacity of the whole. In regard to the longitudinal section, a study should be made of combining a series of ramps with various gradients into a single ramp of average gradient, or whether each should be studied separately. In these cases various estimates should be made to determine the point which most limits the capacity. This usually coincides with the point of the slowest speed for heavy vehicles.
- In summary, and with the limitations mentioned, this section describes the variations in the traffic flow inside a bi-directional tunnel in accordance with the variations in geometry and layout, and the variations and composition of traffic requirements. To this end, the determinations of the Highway Capacity Manual 2000, as well as various other studies have been adapted to the case of bi-directional tunnels with a maximum of four traffic lanes in total. The tables of coefficients and general procedures used are extracted from HCM 2000 (R-15), although, on occasions, the presentation of the calculations differs from that of the reference document. One exception is the equivalence factors for trucks on a ramp which originate from the 1995 version of HCM (R-14), as those in the 2000 version have been obtained for trucks with a high power / weight ratio and do not effectively adapt to the usual behaviour in the majority of countries.

3.2. Speed and capacity calculations.

The procedure for estimating the capacity of a tunnel involves individual and separate determinations of the partial capacities for each of the directions of travel.

In the most frequent case, that of a single traffic lane in each direction, the capacity is calculated using the method for traffic lanes of general use as explained below. On the other hand, if there is more than one traffic lane in one direction, the analysis first involves a determination of the predominating traffic flow for each direction of travel in the tunnel under conditions of high traffic intensity, that is

under conditions close to the situation of full capacity or saturation. As indicated above, it may be that the slow lane is exclusively specialised in heavy vehicles, with little or no presence of light vehicles, or even that both traffic lanes are to approximately the same extent occupied by all types of vehicles.

The differentiating factors for these cases are usually the existence of sharp upward or downward grades and a high percentage of heavy vehicles which tend to use the slow lane as a climbing-lane, whereas a layout with little or no presence of heavy vehicles tends to reproduce situations similar to that of a multiple lane roadway. In tunnels, under conditions close to capacity, the traffic lanes tend to be used in a similar way with a slightly greater presence of heavy vehicles in the slow lane, whereas under reduced traffic density trucks tend to exclusively occupy the climbing lane, only using the fast traffic lane to overtake. In this regard, the company responsible for operating the tunnel should make an effort to ensure that the fast lanes of a tunnel with more than one traffic lane in each direction are only used if the capacity of the slow lane is insufficient to handle the traffic density, as the safety of traffic is greater if there is a free traffic lane between both directions in the tunnel. Of course, in the event that heavy vehicles are prohibited from overtaking other heavy vehicles in the tunnel, the fast traffic lane will be free of this type of vehicles. This measure of control tends to increase the safety under conditions of low to medium traffic intensity, but may limit the capacity of the tunnel as it imposes the condition that the speed in the slow lane is that of the slowest vehicle.

If the predominant situation is a slow lane specialised as a climbing-lane, the procedure should be to first determine the capacity of the climbing-lane, and then that of the fast traffic lane with very few or no heavy goods vehicles. The first stage of the procedure is to calculate the capacity of a normal traffic lane, or of two with a predominantly similar use. An estimate is then made of the additional capacity provided by a climbing-lane.

3.2.1 Theoretical Capacity and Practical Capacity.

One should distinguish the Theoretical Capacity of a road section, which is defined as the maximum intensity of vehicles that can be maintained during a period of fifteen minutes, expressed in terms of vehicles per hour. This is not an absolute maximum, but rather refers to reasonable repeatability. Expressed in this way, the capacity only depends on section geometry. It does not depend on the percentage of heavy vehicles, since it is clear that this intensity will be maximum when traffic is formed exclusively by light vehicles and regular drivers.

If one would like the capacity to refer to the number of vehicles, taking into account the percentage of heavy vehicles, the Practical Capacity is expressed. This is defined as the maximum intensity per hour of vehicles that can cross this section in a fifteen-minute period, with the composition of traffic that prevails in that location.

3.2.2 Capacity of traffic lanes for general use.

This section is applicable to all cases where there is a single traffic lane in the direction of travel being considered, as well as for calculating the capacity of the fast traffic lane whenever the slow lane is a climbing-lane, which should be considered separately. This section can also be applied to the case of determining the total capacity of the combination of two traffic lanes with a similar use in the same direction of travel.

The capacity is determined in two steps; the first is to calculate the theoretical capacity on the basis of the free flow speed (FFS). The second step is to adjust this theoretical capacity depending on the presence of heavy vehicles and the type of drivers to obtain the practical capacity.

The FFS is the space mean speed of light vehicles when there is not much traffic that causes some vehicles to delay others. The FFS can be determined by direct observation, making sure that the intensity on the traffic lane in question is not more than 1,400 pcph (passenger cars per hour), and that no other types of vehicles are present. If the FFS is measured directly, no other adjustments are necessary, but care should be taken to correctly measure the speed over the whole length of the tunnel or the section of tunnel under study. These speeds should be calculated by measuring travel times over the complete section, and not by calculating the average of the speed at any one point as this would lead to erroneous results.

If it is not possible to use direct observation, the calculations may be based on the Basic Free Flow Speed (BFFS), which is only dependent on the geometry of the tunnel and the speed limits imposed. It may also be estimated as somewhat less (5 to 10 km/h) than the design speed of the section, or as slightly higher than (8 to 15 km/h) than the traffic speed limit enforced.

When based on the BFFS the FFS is determined by applying reduction factors that depend on:

- F_A - The width of the traffic lanes, when less than 3.60 m (12 ft)
- F_W - The side clearance on both sides of the direction of travel (off-carriageway + central median strip, if present)
- F_M - The type of separation between directions of travel.

$$FFS = BFFS - F_A - F_W - F_M$$

The adjustment factor for the width of the traffic lanes is indicated in the tables below, together with the adjustment factor for side clearance.

Adjustment for width of traffic lanes F_A	
Width of traffic lane	Reduction of the BFFS (in km/h)
3.60 m.	0.0

Adjustment for side clearance F_W	
Total width of Side Clearance	Reduction of the BFFS (in km/h)
3.60 m.	0.0

Adjustment for width of traffic lanes F_A	
Width of traffic lane	Reduction of the BFFS (in km/h)
3.50 m.	1.0
3.40 m.	2.1
3.30 m.	3.1
3.20 m.	5.6
3.10 m.	8.1
3.00 m.	10.6

Adjustment for side clearance F_W	
Total width of Side Clearance	Reduction of the BFFS (in km/h)
3.00 m.	0.6
2.40 m.	1.5
1.80 m.	2.1
1.20 m.	3.0
0.60 m.	5.8
0.00 m.	8.7

The width of traffic lanes should not include the traffic lane markings, except traffic lane markings between traffic lanes in the same direction of travel, which are considered as included in adjacent traffic lanes.

The side clearance should be considered as the total of the off-carriage way plus the central median strip separating directions of travel, if it exists. The calculation does not take any widths in excess of 1.80 m. into consideration for either of the two factors. This means that widths of off-carriageway that exceed 1.80 m. are considered as 1.80, and central median strips in excess of this value are also considered to have a value of 1.80. The widths of walkways are included in the side clearance unless they are considerably raised above the hard clearance or there are either rigid or flexible barriers separating the limit of the walkway. If the separation between directions of travel is only a line, single or double, painted on the pavement, the central side clearance is zero.

The reduction factor for the type of median strip F_M , is only taken into account if there are no fixed barriers between directions of travel nor a central median strip, and has a value of 2.5 km/h. This reduction is due to the effect of insecurity caused by traffic in both directions and which does not affect drivers so much when there is a median barrier or a central safety strip.

Once the FFS, in km/h, has been calculated from direct observation or by reduction factors applied to the BFFS, the Theoretical capacity per traffic lane (TCpl) is calculated from:

$$TCpl = (FFS \times 10 + 1,200) \text{ in passenger cars per hour per lane (pcphpl)}$$

This means that for a FFS of 70 km/h, the TCpl is 1,900 pcphpl. It has not been possible to determine theoretical capacities above 2,200 pcphpl, and no reliable data is available for free flow speeds below 60 km/h.

If there are two traffic lanes in the same direction of travel, and the slow lane is not a climbing-lane, the capacity of the tunnel in this direction is double that of a single traffic lane.

The theoretical capacity, TCpl, is then used to obtain the Practical Capacity, PCpl, by applying reduction factors to compensate for:

- The peak hour factor, PHF, which represents the relationship of the hourly intensity in capacity divided by four times the maximum number of vehicles in a period of fifteen minutes during peak hour. This factor includes the dispersion of the intensities over the peak hour period, and is used to calculate the practical capacity which is expressed in terms of the maximum sustainable intensity over periods of 15 minutes. This factor usually varies between 0.92, for cases where the flow is highly uniform, to 0.80. Its value should either be obtained by observation, or default values used.
- The factor for type of driver, f_p , is based on the degree of awareness and habitual use of the tunnel by drivers. The value ranges from 1.00 to 0.85, the value of 1.00 being applied to drivers that use the tunnel on a regular basis, and 0.85 for a population with recreational behaviour, or who have not previously used this or other similar tunnels.
- The factor for heavy vehicles on grades, f_{HV} , indicates the effect of the types of slow vehicles on the flow of light vehicles.

The factor to adjust for the presence of heavy vehicles f_{hv} is obtained from the Equivalence Factor E_q of a heavy vehicle (bus or truck) among light vehicles. It is determined as the relation between the demand of capacity for heavy vehicles (lorries, buses, trailers) and the demand of capacity for a private car. The Equivalence Factor E_q varies between 1.5 and 10 for lorries and buses, depending on the length and grade of the slope. Its values are stated in the table below.

Once the E_q factor has been determined, depending on inclination and length of the grade, and percentage of heavy vehicles, the f_{hv} is calculated by:

$$f_{hv} = \frac{1}{(1 + P_c (E_q - 1))}$$

Where: P_c is the proportion of heavy vehicles in the total traffic flow.

Inclination (%)	Length of ramp (m)	E _q Equivalence factor in ramps					
		Percentage of heavy vehicles (%)					
		4	6	8	10	15	20
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2	0-400	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	400-800	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	800-1200	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1200-1600	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5
	1600-2400	3	3	2.5	2.5	2	2
	> 2400	3.5	3	2.5	2.5	2	2
3	0-400	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	400-800	2.5	2	2	2	2	1.5

Inclination (%)	Length of ramp (m)	E _q Equivalence factor in ramps					
		Percentage of heavy vehicles (%)					
		4	6	8	10	15	20
	800-1200	4	3.5	3.5	3	2.5	2
	1200-1600	5.5	4.5	4	4	3.5	3
	1600-2400	6	5	4.5	4	4	3
	> 2400	6	5	4.5	4.5	4	3
4	0-400	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	400-800	4	3.5	3	3	3	2.5
	800-1200	7	6	5.5	5	4.5	4
	1200-1600	8	6.5	6	5.5	4	4.5
	> 1600	8	7	6	6	5	5
5	0-400	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	400-800	4.5	4	3.5	3	3	2.5
	800-1200	7	6	5.5	5	4.5	4
	1200-1600	9	8	7	7	6	6
	1600-2400	9.5	8	7.5	7	6.5	6
	> 2400	9.5	8	7.5	7	6.5	6

The Practical Capacity, C_p , is calculated by multiplying the theoretical capacity, T_c , by the above three factors.

$$C_p = T_c * PHF * f_{hv} * f_p$$

3.2.3 Capacity of a climbing-lane

In the event that the slow lane is a climbing-lane, the practical capacity can be approximately estimated from the total intensity of heavy vehicles that the traffic lane can carry considering its inclination and length. The following formula could be used:

$$PCcl = (10 * V_{HGV} + 1.200) / E_I$$

Where V_{HGV} is the mean speed of the heavy vehicles on the incline under conditions of high traffic intensity. If this cannot be observed directly, it may be estimated from the following expression:

$$V_{HGV} = [0.30 * (\text{Power} / \text{weight})] / (i + 0.015)$$

Where the ratio of power / weight of the heavy vehicles is expressed as kW per ton weight, and the inclination of the grade "i" as a ratio of one.¹

E_I is the equivalent in heavy vehicles or trucks, as calculated from the above table in the column corresponding to 20% or more heavy vehicles. If the total flow of traffic

¹ This formula approximates the steady speed of heavy vehicles on prolonged inclines, disregarding the effect of air resistance, and assuming that the performance of the motor-transmission of the truck is 80%, and the coefficient of resistance to the roadway is 15 kgm / Ton.

does not include sufficient trucks and heavy vehicles to saturate the climbing-lane, not all the capacity is used, as some passenger cars will travel between the trucks in traffic lanes specialised for slow vehicles, but very rarely is the remaining capacity efficiently used to full advantage.

As an example, a climbing-lane of 3,000 m in length with a gradient of 3% results in an E_T of 3.0, whereas the balanced speed V_{HGV} for trucks with a power of 8 kW/Tn is 53 km/h. This means that the practical capacity of the climbing lane is:

$$PCcl = (10 * 53 + 1,200) / 3.0 = 577 \text{ heavy goods vehicles per hour.}$$

3.2.3 Distribution of traffic between directions of travel.

When the capacity of each of the directions of travel in the tunnel has been determined separately, both values are then added together to determine the total capacity of the tunnel. If currently, or in the future, there may be sufficient traffic demand to saturate both directions simultaneously, the total capacity is, simply, the sum of the capacity of both directions.

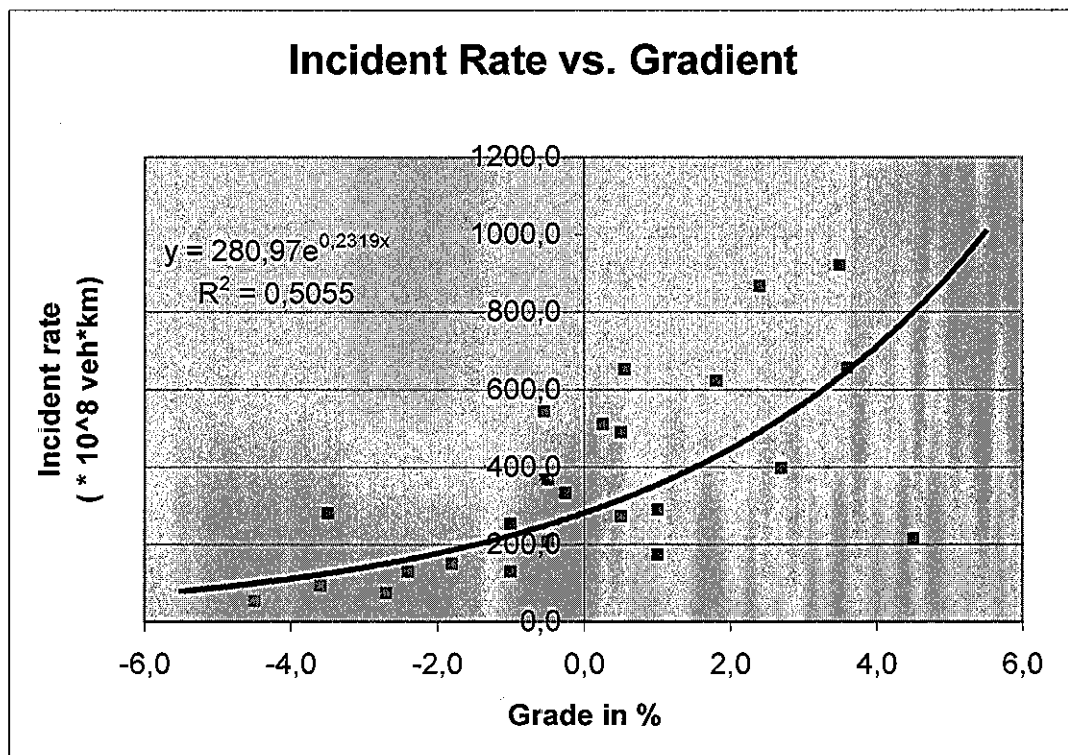
However, the most usual situation is that whenever there is low demand in one direction, the demand on the other is usually maximum. If this is the predominant effect, the joint capacity of the tunnel will be the sum of the maximum capacity of one direction, plus the demand in the other direction at the same times, provided this value is less than the calculated capacity. The tunnel could effectively support greater traffic intensity in one of the two directions, but if the demand cannot be met the tunnel will be saturated (at least in one of the directions) with a total intensity which is the sum of both directions and less than the calculated practical capacity.

3.2.3 Daily Capacity.

It is also quite common to express the practical capacity in vehicles per day instead of vehicles per hour. The relationship between maximum AADT and capacity depends on the type of traffic and the environment of the tunnel, the AADT being in the order of 11 times higher in saturated urban or metropolitan roads, and 6 times higher on rural roads with vocational traffic.

4 Incident and accident rates.

- It is difficult to compare data between different countries because of the different definition of the injured, incidents, etc. However, comparison is possible of some of the common aspects of all the data available.
- The approximate incident rate in bi-directional tunnels is estimated at about 750 incidents per 10^8 vehicles per kilometre, with a dispersion of $\pm 40\%$. This figure is approximately 25% higher than that of uni-directional tunnels. An incident is defined as a vehicle stopping inside the tunnel for any reason except traffic congestion. (R-6, R-7)
- The slope of the tunnel has a significant influence on the number and frequency of incidents, this rate being obviously higher in the upward than in the downward direction. This seems to be due to the fact that drivers tend to exit the tunnel by their own means if this is at all possible. (R-6, R-7, R-9)
- Additionally to the gradients inside the structure, steep or long gradients in access roads to the tunnel increase incidents rate inside the tunnel (R-7)
- The graph shows the relationship between the mean longitudinal slopes of tunnels and the incident rates in those cases where different data is available for each direction of the tunnel (R-6, R-7, R-9)



- In tunnels where lay-by's are available, even in cases where these lay-by's are clearly indicated, it is unusual for them to be used in more than 40% of the cases of stopping (R-7). It seems therefore that the presence of lay-by's could be a considerable advantage, but they do not provide a substitute for the need of an area for vehicle to be stopped beside the carriageway.
- The indexes of accidents in tunnels are much lower than those for incidents. There is a great deal of variation between the definitions of slight and serious injury in different countries, and even in some cases the deaths attributed to accidents are only included in the statistics if they occur within a short time following the accident. As a result, the indications here are only general tendencies, and the figures taken into consideration should be those of the place and circumstances of the tunnel in question.
- In general, tunnels have an accident index similar to or lower than equivalent open roads (R-8, R-9, R12). In many cases these indexes are even lower. Bi-directional tunnels have accident indexes involving injuries that are between 25 and 30% higher than single direction tunnels. As indicated above, the same applies to the incident rates (R-6, R-7, R-12).
- There is an area of concentration of accidents in the proximity of the tunnel portals, and even in certain references (R-8) this concentration extends to about fifty metres outside the tunnel. The cause of this situation seems to be the turning and entry manoeuvres, which are relatively frequent in these areas. Another factor that seems to be determinant is the quality of the illumination, both for accidents at the entry because of defective adaptation to darkness, as well as accidents in the central area when there is no illumination in the tunnel (R-8). The central areas of tunnels are, nevertheless, the safest.
- Accidents due to a head-on collision show considerable increases whenever the width of the traffic lanes is less than three metres (R-8). Rear-end accidents (collisions from behind) increase with growing intensity of AADT traffic, because of the effect of congestion.
- The accident rate, expressed as accidents causing injuries per one hundred million vehicles per kilometre, are reduced with increasing length of the tunnel, as well as higher AADT. The cause of the reduction in association with the length of the tunnel seems to be the effect of the area close to the entry, relatively less important in long tunnels, whereas the reduction of the accident rate with an increase in the AADT also occurs on all types of roadways, including open roads (R-8).
- The addition of a traffic lane for slow vehicles appears to improve the safety in tunnels (R-8).
- Steep grades (more than 9%) increase the number of accidents (R-8). However, the effect of gradients or ramps on accidents, when the inclination is only slight is not clear.
- No studies are available that enable a clear relationship to be established between the characteristics of the layout (curves in plan and elevation view)

nor the widths of side clearance with the accident rate. In spite of this, tunnels designed with good geometric characteristics show a noticeable drop in accident rates.

- There is evidence that tunnels with entry or exit slip roads in their interior have accident rates that are several times higher than similar tunnels without these special points (R-5).

5. Horizontal alignment.

- The curves in plan view should meet the minimum radius requirements for the design speed of the tunnel. Furthermore, it is necessary to ensure that the hard clearance on curves provides sufficient visibility for stopping vehicles. The alignment standards and recommendations of each country offer similar values for these parameters, and so it is not necessary for them to be later harmonised.
- Straight alignments should not necessarily be avoided, but they should not be more than 1500 m in length because the effect of excessive concentration on one point could distract the driver, or even induce an unconscious increase in the speed.
- For the same reason, the last few metres of a tunnel should have a gentle curve in plan view, in a direction that does not limit the visibility, whereas in bi-directional tunnels it is better to provide greater visibility in the direction entering the tunnel as this is the direction where the loss of vision because of variation in the lighting level is most intense. This alignment takes on special importance if the direction of the tunnel is approximately East-West to prevent glare on exiting the tunnel at sunrise or sunset.
- The entrance and exit from the tunnel are places with a certain tendency to concentrate accidents, it is important to adopt suitable measure to ensure a gradual adaptation to changing lighting conditions. These measures, apart from the illumination of the tunnel itself, could be included in the design of the tunnel portals, the direction of the alignment as well as other measures that aid in concentrating driver attention.
- If a certain average speed is to be maintained when travelling through in the tunnel, the minimum radii in plan view must allow for this speed. However, in curved sections, and especially in curves that limit visibility, the admissible speed will be limited by the stopping distance and visibility allowed by the hard clearance. The clearance distances required for certain combinations of speeds and radii of curvature may be difficult to implement in tunnels, and so the design should give careful consideration to this aspect (Chapter 7.6, below).
- The recommended maximum speed in bi-directional tunnels is 90 km/hour, or even less if the geometry of the tunnel (section, curves or slope) involves other limiting factors. In this case, the speed limit should correspond to a safe speed under the prevailing tunnel and traffic conditions.

- In spite of the fact that tunnels are not adversely affected by rain which can reduce the coefficient of resistance to skidding, neither do they benefit from its pavement cleaning effect, it is therefore recommended that this coefficient of resistance to skidding be similar or somewhat lower than that applied outside when calculating the acceptable curves and stopping distances.

6. Vertical alignment.

- It is very common for tunnel designs to include a high point somewhere in the tunnel, in this case, just like in the case of there being a low point, careful consideration should be given to whether this point will cause any problems for the ventilation system.
- Steep inclination of the pavement alignment (more than 3.5%) makes ventilation more difficult as the chimney effect (tendency for gases to rise because of the difference in height of different points of the tunnel compared to the reference level) becomes powerful, and considerable resistance must be overcome to establish an air flow against this effect (R-13). This becomes even more important in the event of fire, as hot gases have even more tendency to rise.
- The lengthways slope of a tunnel should not exceed 4% in bi-directional tunnels. In the event that it is necessary to adopt steeper gradients, the design of the ventilation system should take this effect carefully into account.
- If the decision is to provide an additional traffic lane in the upward direction, it should be designed whenever possible, to begin and end outside the tunnel to prevent merging and overtaking traffic from causing greater risk within the confines of the tunnel.
- Any changes in the gradient inside a tunnel should comply with the same geometric standards as for outside. In the event of tunnels with reduced vertical clearance, additional consideration should be given to the conditions outside the tunnel in the event that any concave change in the gradient should seriously reduce the distance of visibility.
- Adhering to the principle of not having a section with minimum traffic capacity inside a tunnel, any changes in the slope of the pavement should preferably be from high to low steepness. Whenever this distribution is not possible, for example in submerged tunnels, careful consideration should be given to the possible formation of traffic hold-ups due the reduction of carrying capacity inside the tunnel.

7. Geometric cross section.

The points in this section include considerations of the different parts of the cross section of bi-directional tunnels based on international standards, as well as the results of various studies of this aspect. A summary of these considerations is included in the paragraph of recommendations.

7.1. Lane widths.

- In general, international recommendations coincide to a very large extent in suggesting that traffic lanes have widths that are equal to or in excess of 3.25 m, with a recommended value of 3.50 m, which should always be used whenever the tunnel carries heavy vehicle traffic. This width may include the proportional part of the traffic lane markings in the centre. In North America, the recommended width for traffic lanes is 3.65 m. (12 feet)
- The traffic lane markings in the centre should be double continuous lines to effectively prohibit any overtaking. The width of each line should not be less than 15 cm.
- It is also recommended that the traffic lane markings in the centre of the tunnel should be painted as rumble strips, in an attempt to reduce head-on accidents by invasion of the traffic lane in the opposite direction. Good results can also be obtained by using cat eyes as road markings or small barriers set into the pavement to improve guidance and reduce the risk of accidental invasion of the lanes with traffic flow in the opposite direction (R-11).

7.2. Hard Clearance widths.

There is considerable diversity between the recommendations of different countries in this regard. However this diversity becomes less pronounced if we take the hard clearance and walkways simultaneously into consideration, that is the total area of the off carriageway.

The off carriageway comprises the hard clearances and the walkways, if present. There should be also space enough for safety barriers, if they are provided in the section. These aspects are illustrated in figures 4, 5 and 6, below.

- In bi-directional tunnels, both left and right hard clearance widths should be equal. The only exception, as explained later, could be the tunnels with more than one lane at the same direction.
- Hard clearance functions are:
 - Increase lane capacity.
 - Provide a redress space strip, allowing drivers who cross the edge line to correct its drive surely.

- Provide space to stop a broken down vehicle.
 - Provide an emergency lane to give access to rescue services.
 - Facilitate maintenance activities.
- It is important to respect the safety criteria that requires a minimum travel width (traffic lanes + hard clearance) of 8 m 50 cm, as this is the distance required for a heavy goods vehicle to overtake another vehicle that is stopped without completely interrupting traffic in the opposite direction. ($3 * 2.50 + 4 * 0.25$ m.) This criterion should be respected in all cases and so the width of the hard-clearance should complement that of the traffic lanes in order to obtain this total width. In spite of this, there are some European countries where overtaking is not allowed when there is an incident; this results in less width required, but traffic in this direction remains stopped till the incident is solved.
 - Furthermore, it is also recommended that the hard clearance enables a vehicle to stop without impeding or restricting traffic flow in the opposite direction. This means that the recommended width of the traffic lane plus the width of the hard clearance should be more than 5 metres 50 cm, as stated in the majority of international recommendations for bi-directional tunnels of some importance.
 - The best possible situation would be for the hard clearance to enable a vehicle to be stopped completely off the carriageway and this would require a minimum width of 2.50 m.
 - Some countries (R-5) also consider the space required for the driver to alight from the stopped vehicle increasing the width of the hard clearance to 3.00 m.
 - Widths of hard clearance between 0.75 and 2.00 metres are not recommended in certain countries, except in the case of a central median strip or when there is more than one lane of traffic in the same direction. A hard clearance less than 2.00 m could induce vehicles in difficulties to stop partially invading the traffic lane, and hereby create a dangerous hazard when overtaken by following traffic.
 - In the case of using safety barriers, both flexible or concrete type, at the outer edge of the hard clearance, or adjacent to the tunnel wall if there is a walkway, the space to place this element should increase the total width of the tunnel, so maintaining the hard clearance and walkway widths.

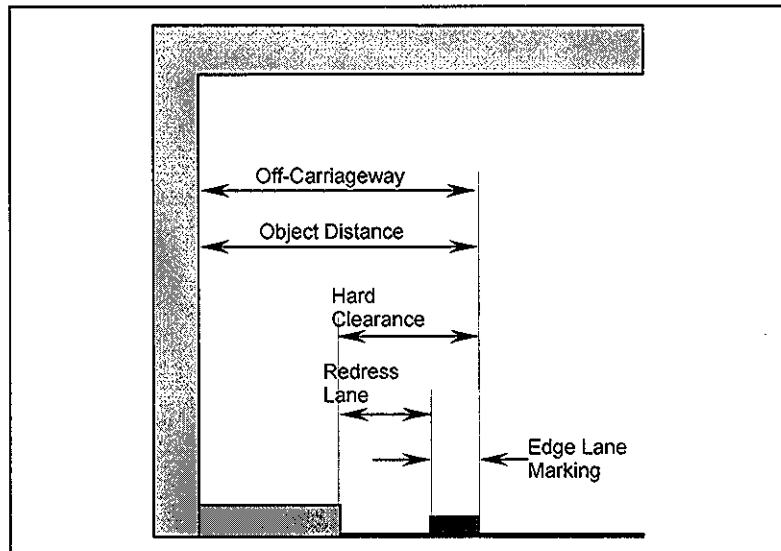


Figure 4: Elements and functions of off carriageways in case of walkways.

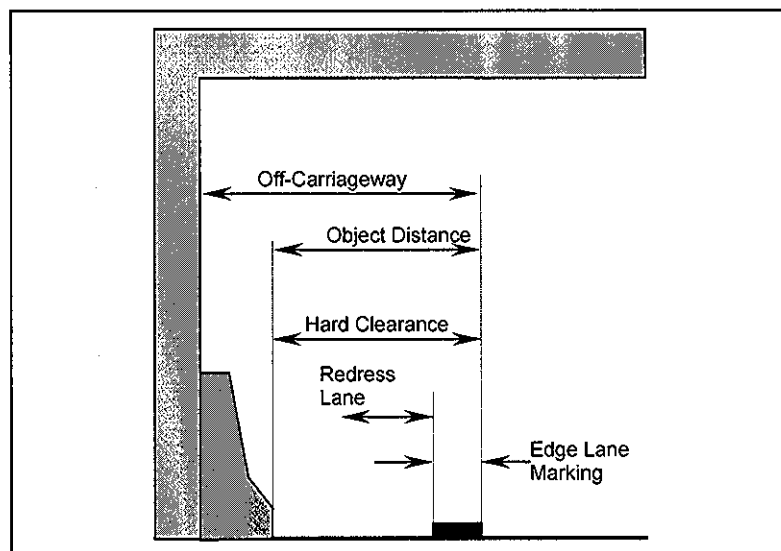


Figure 5: Elements and functions of off carriageways in case of safety barriers.

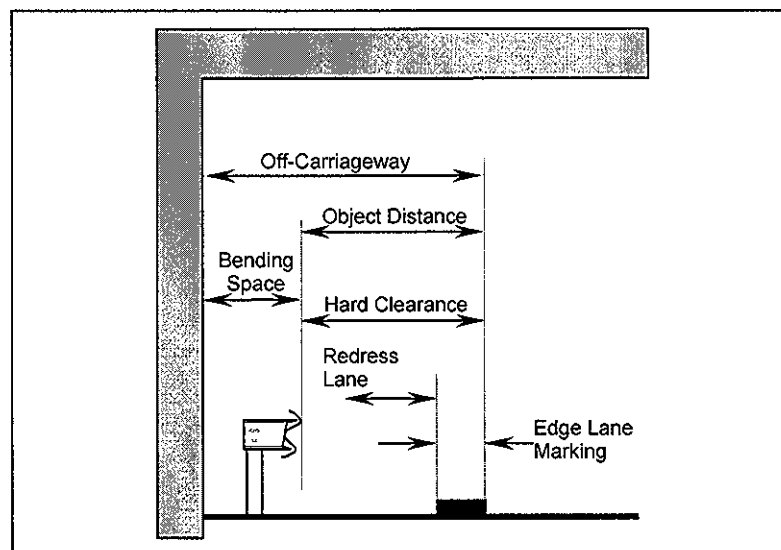


Figure 6: Elements and functions of off carriageways in case of flexible guard rails.

7.3. Central median strip.

- One possible solution for limiting the total width of the tunnel without excessively compromising safety considerations would be to include a strip or non-usable traffic lane separating the directions of a bi-directional tunnel. This strip would have the following functions:
 - Separate the traffic in both directions, improving the safety of the tunnel.
 - Partially replace the hard clearance on the sides enabling a vehicle stopped to one side of the lane to be overtaken without invading the lane for traffic travelling in the opposite direction.
 - Provide a free emergency lane, wide enough for the access of emergency service vehicles.
- On the other hand, this central strip may be dangerous under certain circumstances:
 - If a vehicle that has broken down stops on this central strip. This is strictly prohibited except in the case of service vehicles with adequate signalling and warning systems. This risk can also be considerably reduced by clearly marking the central median strip so that it cannot be confused with a traffic lane nor an area designated for parking or standing.
 - If the vehicle that stops beside the hard clearance does so at a point with poor visibility (curve to the right in right-hand driving countries). In areas of the tunnel where there is insufficient visibility for stopping at the average speed of traffic because of reduced curve radius or small hard clearance, it may prove dangerous to install a central median strip in combination with narrow or non-existent hard clearances. In these cases sufficient lateral hard clearance should be provided for the safe stopping of vehicles without any reduction of width even though there is also a central median strip.
- If it is used, this central strip should enable a width of between 1,0 and 2,5 metres, and could enable a certain reduction in the width of the side hard clearances, with the exception indicated above, to a minimum of 0.50 m.

7.4. Walkways

- Almost all international regulations recommend that tunnels include walkways for pedestrian use stating the following purposes:
 - Provide better level of service to vehicle traffic. Its width, in addition with hard clearance widths, give greater roadway capacity, although this function is not increased with widths greater than 1,80 m (hard clearance + walkway)
 - Give an orientating line to the drivers, marked by the kerbs.

- Kerbs could also prevent from colliding with the tunnel wall to the vehicles, which have crossed the edge line. This function, that is the same that is attributed to the safety barriers, is scarcely effective with the usual heights of the kerbs.
 - Enable door opening, both from the stopped cars and from the equipment of the tunnel (emergency escape doors, SOS station doors etc.)
 - Enables road users who have had to stop their vehicles to proceed safely to the emergency telephone points.
 - Occasionally, they enable users waiting for help after a breakdown or accident to do so in better conditions of safety.
 - Simplify maintenance work
 - Site for the placement of conduits, cables and other elements of the tunnel installations.
- There are three different cases:
- A. Walkways that only have the uses defined above.
In this case the minimum width is 0.60 m, and the recommended width is 0.75 m. The walkway should be raised between 7 and 15 cm above the carriageway with a vertical kerb (not roll over), and headroom over the walkway should be 2 m 30 cm. It seems necessary for all tunnels to have at least this type of walkways ².
- B. Walkways for a certain amount of bicycle or pedestrian traffic.
- In general this solution is not recommended, and should only be applied when there is no other alternative. Whenever possible, the pedestrian and/or bicycle traffic should be in another tunnel or tube separated from the road tunnel.
 - If the walkway must be used for this purpose, it should be raised at least 50 cm above the carriageway and fitted with some kind of barrier. The walkway should also be compatible with the needs of other users and so should be fitted with a means of access from the traffic lanes.
- C. Walkways demarcated by roll-over kerbs.
- This type of walkways should facilitate vehicles in emergency to park partly on the walkway.

² In spite of this, some countries prefer no kerbs in a bi-directional tunnel as they consider kerbs to be dangerous for disabled users, as well as the fact that a collision with a kerb may, in some cases, cause the vehicle to roll over. They also argue that a kerb may make more difficult to execute a U-turn inside a tunnel

- This design enables any vehicles that stop because of a breakdown or other cause to take up less width of the carriageway and get closer to the wall of the tunnel.
- There are opinions that maintain that the occasional losses of trajectory of vehicles, which are the most common reason for accidents involving only one vehicle, may have less serious consequences with this type of kerb. There is considerable controversy about this however and further experiments are required before accepting or rejecting this hypothesis.

If this type of kerb is used, the normal layout is:

- The kerb is inclined; roll over type, with maximum inclinations of 1V/2H (30° to the horizontal). The heights are usually between 7 and 15 cm above the carriageway.
- This type of kerbs and walkways must be able to withstand an axle weight of 10.5 Tonne, so that heavy vehicles do not damage the walkway nor any underground service and utility installations.
- When using this type of walkways, the vertical clearance over the walkway should be more than that indicated earlier for pedestrian use, the same as the headroom over the carriageway.
- When this type of walkways is used, half of the width may be considered as the width of the hard clearance and so this width may be reduced accordingly.

7.5.- Recommendations

The table below summarises the recommended characteristics for bi-directional tunnels with two traffic lanes. The dimensions indicated as minimum should be adopted for any level of traffic or length of tunnel. The dimensions corresponding to the restricted section may be used for tunnels of a certain importance although, whenever possible, the section should be adapted to the recommended dimensions.

These recommendations are based on common practice in various countries, as well as on the opinions of the experts on the PIARC WG4 committee. However, there may be other solutions to the problems discussed here, and national standards could take different approaches to some of the situations dealt with in this report.

Table summarising recommendations.						
Type of section	Central median strip (m)	Traffic lanes (m)	Hard clearance (m)	Walkways (m)	Roll over walkways (m)	Total width between walls (m)
Minimum without walkways	-	3.50	0.75	-	-	8.50
Minimum with walkways	-	3.50	0.75	0.60	-	9.70
Minimum with roll over walkways	-	3.50	0.50	-	0.60	9.20
Restricted with walkways	-	3.50	2.00	0.60	-	12.20
Restricted with roll over walkways	-	3.50	1.75	-	0.60	11.70
Restricted with central median strip	2.00	3.50	0.50	0.60	-	11.20
Recommended	-	3.50	2.50	0.60	-	13.20

The recommended width of any additional traffic lanes is 3.50 m. The width of the hard clearance in the direction of a tunnel with more than one traffic lane should not be reduced, as any stationary vehicle would create the need for dangerous manoeuvres even at low levels of traffic.

Some countries recommend walkway widths greater than 0.60 m, and in the case of providing space for wheelchairs consider widths of 1,00 to 1,20 m.

7.6. Off-Carriageway widths and visibility distances

- The off-carriageway is understood to be the total space of the hard clearance and the walkway. This strip, apart from providing the design functions of its components, should also provide sufficient visibility distance on any curves inside the tunnel to be able to safely stop a vehicle when should there be any obstacle.
- In the majority of countries the standards include this type of consideration, associating visibility and stopping distances with the speed, radius of the curve and the slope of the roadway.
- The table below shows the free distances required by the majority of countries under similar conditions and at different traffic speeds ⁽³⁾.

Spot speed (km/h)	40	60	80	100	120
Minimum radii (m)	100	160	260	470	800
Safe stopping distance (m)	40	80	130	180	280
Lateral width needed (m)	2.0	4.9	8.0	8.5	12.2
Off-carriageway width required, assuming driver situated 1.5 m from the edge of the lane	0.5	3.4	6.5	7.0	10.7

Note: If lane is downwards, safe stopping distance should be increased.

- The table below shows the visibility distance provided by an off-carriageway of various widths as a function of the radius of the curve.

Visibility distance offered (m)					
Off-carriageway available (m)	Curve radii (m)				
	100	160	260	470	800
1	45	57	72	97	127
2	53	67	86	115	150
3	61	76	97	130	170
4	67	85	108	144	188

Note: Distances are shown, supposing driver situated 1.5 m from the edge of the lane.

³ Safe stopping distances are calculated considering 0% inclination, 2 seconds as perception & reaction time, and friction coefficient varying from 0.35 (90 km/h) to 0.39 (40 km/h)

- Finally, this table indicates the maximum safe speed, that is the speed that enables sufficient visibility to be able to stop the vehicle, as a function of the radius of the curve and the free space between the traffic lane and the side wall.

Safe available speed (km/h)					
Off-carriageway available (m)	Radius (m)				
	100	160	260	470	800
1	40	50	60	70	80
2	50	55	65	80	90
3	55	60	70	85	95
4	55	65	80	90	100

Note: Speeds are calculated according to prior conditions.

Note: If lane is downwards, safe speed should be decreased

- Should the visibility distance be insufficient, the traffic speed in the tunnel should be adjusted to ensure adequate safety levels are maintained.

7.7. Safety barriers separating the direction of traffic.

The main danger for traffic in a bi-directional tunnel is a head-on collision, as this type of accident has the most serious consequences and, at the same time, is also the type of accident most likely to start a fire. Rear-end collisions of a vehicle with one travelling in the same direction are generally much less serious. This type of accident is usually caused by a momentary lack of concentration of the driver of the vehicle that collides into the back of the other, sometimes aggravated by insufficient visibility and stopping distance in relation to the driving speed.

The possibilities of an accident involving a head-on collision can be greatly reduced by the installation of safety barriers that separate both directions of traffic. When considering the convenience of these barriers, several aspects should be taken into consideration:

- The barrier should not prevent overtaking a vehicle that has stopped because of a breakdown. This means that the space available for each direction of traffic should not be less than 5,50 m, corresponding to two heavy goods vehicles plus passing clearances.
- The space used by the barrier itself is about 0.50 m. Furthermore there should also be a hard clearance on both sides of no less than 0.50 m. Therefore the minimum central median strip with a barrier is 1.50 m (2 x 0.50 hard clearance + 0.50 of the barrier itself) According to the above

criteria, fixed or uncrossable barriers should not be installed if the width of the tunnel does not exceed 12.50 metres.

- The barriers prevent U-turns and so this type of safety barrier should not be installed if this manoeuvre is considered desirable in certain emergency situations.
- When planning any maintenance work on the installations inside the tunnel the presence of the barrier should be taken into consideration.
- Barriers could make emergency response vehicles access more difficult.
- When the installation of this type of barriers is decided, it should be noted that operation of the tunnel is greatly simplified by the use of rigid safety barriers (concrete type) mainly because it requires less maintenance work than flexible metal guard rails.
- The rigid type of safety barrier is much safer than a flexible guard rail for accidents involving cars, and even heavy vehicles, as it is much more difficult to cross. As the majority of collisions will involve small angles, the advantage of re-directioning provided by the flexible guard rail is not of such critical importance.
- Another possibility is the installation of removable safety barriers consisting of parts that are supported on the pavement of the tunnel and joined together to improve response to a collision.
- Even though the effect is more optical than any real physical limitation, the installation of rumble strips, cat-eyes or markings to separate both directions of travel considerably improves safety in the tunnel. The only negative effect of these measures is the damage they may cause to vehicles, or the accidents they may cause should they be loosened by traffic and this possibility should be taken into consideration during their selection.
- This type of barrier should only be installed as a temporary solution, caused by maintenance or other reason. In the event of permanent use, two uni-directional tunnels should be considered.

7.8. Vertical clearances.

The table below gives a list of the maintained headrooms and allowances as applied in a number of countries.

International comparison of Maintained Headroom.

Country and name of guidelines or other source	Minimum Headroom above Carriageway (m)	Maintained Headroom above Carriageway (m)	Additional allowance as safety zone for signs, luminaires, fans etc. [m]	Allowance for signs, luminaires, fans etc. [m]	Allowances for later pavement and construction [m]
Austria RVS 9.232		4.70	n.s.	min. 0.20	n.s.
Denmark (practice)	4.00	4.60	0.20	n.s.	n.s.
France CETU		4.50 (roads in international network) 4.75 (highest order roads)	0.10	n.s.	0.05 - 0.10
				Total allowance 0.30 – 0.40	
Germany RAS- Q1996/RABT 94	4.20	4.50	n.s.	n.s.	n.s.
Japan Road Structure Ordinance		4.50	n.s.	n.s.	n.s.
the Netherlands ROA	4.20	4.50	0.20	0.30	n.s.
Norway Design Guide Road Tunnels	n.s.	4.60	0.10	n.s.	0.10
Spain Instruction 3.1	n.s.	5.00	n.s.	n.s.	n.s.
Sweden Tunnel 99		4.50	0.20	0.40	
Switzerland (rectangular tunnels)	n.s.	4.50	0.20	0.40	
Switzerland (oval tunnels)	n.s.	4.50			
UK ID27(DMRB 6.1.2)	5.10	5.35	0.25	0.40	n.s.
USA AASHTO	n.s.	4.90 (free ways) 4.30 (other highways)	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. = not specified

- The **minimum headroom** above the carriageways must be at least equal to the maximum (design) height of heavy good vehicles (HGV) that is allowed on the road plus the space necessary to allow for dynamic movements of the vehicles due to irregularities of the pavement and the vehicle suspension. This extra space has a similar function to the difference between the width of traffic lanes and the width of cars. In the European Community the maximum **height of heavy good vehicles** is 4.00 m. If to this maximum height a **margin** of 0.20 m is added to absorb vertical movements of the HGV the **minimum height** required is 4.20 m.
- Above this minimum an extra space is necessary for drivers of HGV's to feel comfortable. This comfort margin is equivalent with the horizontal distance to the obstacles. The minimum height plus the comfort margin yields the maintained headroom. If for this comfort margin or object distance a value of 0.30 m is taken the **maintained headroom** is at least 4.50 m.
- To prevent damage of equipment mounted above the carriageway by for instance loose tarpaulins an additional allowance often is applied.
- Finally allowance has to be made for inaccuracies in the construction, deflection of the roof and possible later paving overlays.

As a result of these considerations, it should be concluded that:

- The maintained headroom is the sum of the height of a design HGV, assumed space necessary for the dynamic movements of the HGV and a comfort distance.
- This height has to be increased with allowances to prevent damage of equipment, future re-paving layers, and to allow inaccuracies in the construction.

8. Special elements

Special attention should be given to the design of points of entry to and exit from a tunnel. These points, as already indicated, usually produce accident concentrations and, in any case, are areas where the lighting conditions change rapidly.

Care should be taken to ensure that the shape, road markings and illumination of tunnel entries and exits do not distract drivers, but rather concentrate their attention and improve guidance towards the centre of the traffic lane.

Any system that aids in smoothing the changes in the lighting level, such as an area of transition outside the tunnel by means of a false tunnel with progressively smaller openings in the roof, effectively improve the adaptation to the light levels in the area of tunnel entry. Also, improved traffic lane markings and design of the entry without any elements that could excessively distract the driver's attention, may aid in improving safety. According to an Austrian study, tunnel entrances in light colours and with a certain funnel shape give the greatest sensation of safety and guidance to drivers, whereas dark entrances and those surrounded by a highly visible wall or barrier crossing the direction of travel are perceived as less safe (R-10).

Any change in the number of traffic lanes inside a tunnel should only occur in exceptional circumstances, as it may cause sudden, forced manoeuvres, and changes in traffic flow. Should it be necessary to reduce the carriageway width by one traffic lane, this should not occur inside the tunnel. However, there are cases when the carriageway

must gain a traffic lane, coinciding with an increase in the longitudinal grade, so as not to produce a point of restricted capacity inside the tunnel. In this case it is also recommendable to begin the lane before entering the tunnel and, if this is not possible, the area of widening should be subject to a special study of visibility, road markings and signalling.

In general, entry and exit slip roads in tunnels are not recommended, as they are usually associated with a high accident rate, just like in the open areas. Some national standards prohibit these provisions (R-3, R-5). However, they may be necessary in some special cases, especially in tunnels in urban areas. When designing one of these points a specific study should be made of the layout, visibility, lighting and road markings, considering the possibility of extending the acceleration traffic lane in the event of entry, or the deceleration lane for exit ramps, to the area outside the tunnel.

9. Maintenance operations

The complexity of the installations in modern tunnels requires constant maintenance operations. The safety measures to be adopted, heightened in many national and international standards after the unfortunate accidents that occurred in 1999 and 2000, have resulted in the use of increasingly complex equipment. This equipment requires constant verification of its operation, cleaning and maintenance to ensure that it is fully operational at all times.

It is therefore convenient to make a prior study for the selection of the equipment to be installed in a tunnel with special emphasis on technical, functional and economic aspects, as well as the maintenance requirements of these installations.

It is especially important to plan maintenance operations that affect vehicle traffic, as these may be the cause of accidents involving users of the tunnel, or the workers operating the maintenance equipment. Whenever possible, the equipment should be used in such a way as to reduce the necessity of operations that affect traffic flow, or expose the maintenance workers operating the equipment to any danger. Many of these provisions should be included in the design of the infrastructure or the installations, as it is extremely expensive and sometimes impossible to make any corrections in an operational tunnel.

- For example, the tunnel should be equipped in such a way that as many maintenance operations as possible can be carried out off-site in workshops, or other places where it is not necessary to interfere with traffic flow in any way. Furthermore, safe parking places must be available for the vehicles of staff carrying out maintenance operations so that the distance they are forced to travel on walkways are as short as possible.
- Any maintenance operations that must necessarily affect traffic flow (luminaries, ventilation equipment suspended from the roof, etc.) should be placed so that they affect the carriageway area as little as possible.
- The existence of a work area inside a tunnel must be intensively indicated, and the works signalling must always begin outside the tunnel in both directions of travel.

- In the work area itself the traffic speed should be adjusted to comply with the effective width of the available traffic lanes. This available width should not include the space required for signalling and road markings in the work area, nor any area corresponding to requirements for protecting the works. The following table, from French guidelines, shows the maximum recommended traffic speed in function of the effective available width of the traffic lane.

Available traffic lane width	Maximum recommended speed
3.50 m.	The speed limit in the tunnel, or a maximum of 80 km/h
3.00 m.	60 km/h
2.70 m.	10 to 20 km/h
< 2.70 m.	Alternating traffic flow

- Some countries have a general limitation on worksites, regulating speeds at a maximum speed between 30 and 50 km/h
- In the event that the available width of the traffic lanes is less than 2.70 m, traffic should only be allowed in alternating directions, one direction at a time, using either traffic lights or barriers. The alternative traffic flow should be established through the whole tunnel, separating traffic lanes with cones or light barriers, which should be reinforced by additional devices on approaching, and in the area of the works themselves. Alternating traffic considerably reduces the capacity of the tunnel, and even more so the longer the tunnel, as traffic must be retained at each entrance for the whole time that traffic is entering the opposite portal, plus the time taken for the last vehicle of the group to travel through the tunnel. The signalling should be reinforced for 200 m before of the area of works, using adequate means of signalling and according to the layout of each particular tunnel, in addition to intensification of the lighting level in the area, and warning messages as considered convenient.

10. References.

- R-1.- Cross section design for uni-directional road tunnels. C5 - WG4 Committee on Road Tunnels. 2001
 - R-2.- Norwegian Design Guide for Road Tunnels. 2002.
 - R-3.- Design of Road Tunnels. (Draft 1998) and BD2 (DMRB 1.1) part III, and ID27/96 Cross sections and headrooms. UNITED KINGDOM
 - R-4.- Standard 3.1 -I.C. Instructions for Roadways. Layout. Ministerio de Fomento. SPAIN. February 1996
 - R-5.- Dossier pilote des tunnels. Geometrie. CETU- 1990.
 - R-6.- Pannes, accidents et incendies dans les tunnels routiers français. S. Lingelser CETU - 1998
 - R-7.- Road Safety in Tunnels. PIARC C5 – WG4 Committee on Road Tunnels 1995
 - R-8.- Studies on Norwegian Road Tunnels. Norwegian Public Roads Administration. 1997
 - R-9.- Accidents i Incidents als Túnels de Vallvidrera. TABASA 1996 a 2000. Spain.
 - R-10.- Psychological aspects of tunnel safety. Österreichische Autobahnen und Schnellstrassen. AG. 2002.
 - R-11.- Driving behaviour and subjective experience. A driving simulator study. INO Human Factors. The Netherlands. 2002.
 - R-12.- Tyne & Wear Traffic Accident Data Unit. Report 2000. UK.
 - R-13.- Fire and smoke control in road tunnels. C5 Committee PIARC - 1999
 - R-14.- HCM-1995. Highway Capacity Manual. Special Report 209. TRB. 1995
 - R-15.- HCM-2000. Highway Capacity Manual. TRB. 2000.
 - R-16.- World Road Congresses; Technical Committee on Road Tunnels PIARC; Vienne 1979, Sydney 1983; Brussels 1987, Montreal 1995
-