

## VII.3 Réaction au feu des matériaux

### VII.3.1 Généralités

Des conséquences très graves peuvent se produire si un matériau réagit de manière inappropriée lors d'un incendie :

- la première, et la plus grave, est la propagation de l'incendie par le matériau en feu ; bien sûr, il n'est pas possible d'éviter tout dégât au tunnel à proximité d'un incendie ; il est cependant impératif d'éviter que les matériaux, en brûlant, ne propagent un incendie localisé vers une autre partie du tunnel ;
- une autre conséquence dangereuse est l'augmentation de la production de chaleur due au matériau en combustion : les matériaux ne doivent pas produire une forte quantité de chaleur lorsqu'ils brûlent ;
- même si un matériau ne propage pas l'incendie, ni ne produit trop de chaleur, il peut générer des fumées dangereuses lorsqu'il brûle ou est exposé à la chaleur, et peut ainsi faire peser des menaces sur les personnes présentes dans le tunnel, c'est-à-dire les usagers et les équipes de secours, sur la structure du tunnel (corrosion chimique) et sur l'environnement.

Les conséquences sur les personnes et la structure seront traitées dans les deux prochains paragraphes. Celles sur l'environnement ne sont généralement pas prises en compte ; les exigences en la matière sont en effet faibles, car un incendie est un événement rare, et il y a peu de différence pour l'environnement si l'incendie se déclare dans un tunnel ou à l'air libre. Les deux derniers paragraphes sont consacrés à des matériaux particuliers : matériaux de chaussée et peintures.

### VII.3.2 Gaz de combustion dangereux pour l'être humain

Les gaz de combustion produits par un incendie ne peuvent être évités. Une cargaison de matériaux générant des produits dangereux lorsqu'ils brûlent est un risque supplémentaire en cas d'incendie. Une telle situation ne peut être évitée. Le danger pour le public et le personnel des services de secours peut être réduit en prévoyant de bons itinéraires de secours permettant une évacuation rapide.

D'un autre côté, on peut parer le risque de production de substances dangereuses générées par la combustion des matériaux utilisés pour la construction des tunnels. L'utilisation de certains matériaux, les matières plastiques en particulier, doit être considérée d'un œil critique.

## VII.3 Fire reaction of materials

### VII.3.1 General

Very prejudicial consequences may arise from the inappropriate reaction to fire of a tunnel material:

- the first and worst one is the spreading of fire by the burning material: of course it is not possible to avoid any damage to the tunnel in the vicinity of a serious fire, however, it is imperative that no tunnel material can burn in such a way that it brings a local fire to other parts of the tunnel;
- another possible dangerous consequence is that the material combustion strongly increases the heat output of the fire: tunnel materials must not be able to produce a significant amount of heat if they burn;
- even if the material does not spread the fire nor produce much heat, it may generate dangerous smoke when burning or strongly heated. This can raise several threats: to the people present in the tunnel, i.e. evacuating users and rescue teams, to the tunnel structure by chemical corrosion, and to the environment.

The threats to people and the structure will be examined in the next two paragraphs. The consequences for the environment are generally not considered, because the corresponding requirements are lower, taking into account that a fire is a rare and unwanted event and it does not make much difference for the environment if the same fire takes place in a tunnel rather than in the open. The last two paragraphs are devoted to particular materials: those used for the road construction, and paints.

### VII.3.2 Combustion gases dangerous for people

Combustion gases generated by a fire cannot be prevented. A cargo loaded with materials generating harmful products when burning is an additional hazard when it is involved in a fire. Such a situation cannot be prevented. The danger to the public and the emergency service personnel should be reduced by providing good escape routes enabling rapid evacuation.

On the other hand, the risk of hazardous substances being produced by the combustion of the materials used in the tunnel construction can be prevented. The use of certain materials, and plastics in particular, must be looked at very critically.

En Norvège, par exemple, le polyuréthane a été, jusqu'à fort récemment, utilisé comme barrière contre l'humidité dans les tunnels creusés dans la roche. Cependant, des essais d'incendie ont montré que ce matériau présentait un risque inacceptable pour le public et le personnel des services de secours, car il produit des fumées toxiques.

A cet égard, il faut également prêter attention à l'application de matériaux de revêtement des parois pour l'architectonique, l'étanchéité ou l'éclairage. Les spécifications pour ces matériaux doivent comprendre des exigences quant à leurs propriétés en cas d'incendie. L'aspect extérieur, la facilité d'entretien et la résistance à la corrosion sont habituellement recherchés, mais pas aussi souvent les propriétés vis-à-vis du feu. Il est indispensable de sélectionner un matériau de revêtement de parois qui ne soit pas combustible ou, au moins, qui ne propage pas l'incendie, ni ne produise de grandes quantités de substances dangereuses lorsqu'il brûle. Les matériaux non combustibles comprennent les céramiques, les panneaux en acier émaillé, etc.

Bien entendu, il faut tenir compte de la quantité de matériaux utilisés. En effet, en raison d'un accroissement possible des coûts, il n'y a pas d'interdiction systématique des matériaux potentiellement dangereux.

### VII.3.3 Corrosion chimique de la structure

Lorsque des matériaux brûlent, ils peuvent générer toutes sortes de substances toxiques et corrosives. Cela ne crée pas seulement un danger direct pour les personnes, mais également un risque pour la structure. Si ces substances pénètrent dans le béton, elles provoqueront à long terme une corrosion de l'armature et même du béton. Il est difficile de dire quoi que ce soit sur les dommages infligés sans connaître la nature exacte des substances impliquées. Mais on peut agir sur le choix des matériaux lors de la construction d'un tunnel. C'est là que les composants produits durant la combustion seront pris en compte. Si ces composants sont corrosifs et produits en grande quantité, alors le matériau ne sera de préférence pas retenu. Toutefois, lors de l'examen de l'utilisation de tels matériaux, la quantité qui sera présente dans le tunnel sera également prise en compte.

Un exemple de composant corrosif pouvant être généré lors d'un incendie est l'acide chlorhydrique (HCl). Cet acide est produit par la combustion du PVC, un matériau très souvent utilisé pour l'isolation des câbles. L'acide chlorhydrique est très corrosif et l'inhalation de ses vapeurs est très nocive pour les êtres vivants. L'inhalation a un effet immédiat, mais le comportement corrosif de HCl a des effets à long terme sur les structures. C'est pourquoi certains pays exigent que, dans les tunnels, les câbles ne soient pas isolés avec un matériau contenant du PVC. D'autres pays pensent que la seule condition importante est que les câbles ne propagent pas l'incendie : s'ils satisfont cette exigence, la quantité de HCl produite par la combustion des câbles est jugée quantité négligeable par rapport aux gaz corrosifs produits par un véhicule en feu.

Il est également déconseillé d'utiliser des enduits qui forment des vapeurs corrosives ou de la fumée en cas d'incendie. La quantité de matériaux utilisés doit bien évidemment être prise en compte. L'interdiction systématique de certains matériaux n'est pas recommandée, car il peut en résulter un accroissement inutile des coûts.

For instance polyurethane was used until very recently for the moisture barriers in rock tunnels in Norway. However, fire tests have shown that this resulted in unacceptable risks for the public and the emergency service personnel, due to the generated poisonous fumes.

In this respect, attention must also be drawn on the application of wall-covering materials for architectural, waterproofing or lighting purposes. The specifications set for such materials should also include requirements concerning their properties in the event of a fire. External appearance, maintenance and resistance to corrosion are usually looked at, but not so frequently the properties with respect to fire. It is necessary to choose a wall-covering material which is not combustible or at least will not spread fire nor produce hazardous substances in appreciable quantities when burning. Non-combustible materials include tiles, enamelled steel panels, etc.

Of course, the quantity of material used must be considered. There is no point prohibiting potentially dangerous materials indiscriminately, as this increases the costs unnecessarily.

### VII.3.3 Chemical corrosion of the structure

All kinds of chemically corrosive and toxic substances can be generated when materials are burnt. This not only creates a direct danger to people but means also a risk to the structure. If these substances penetrate the surface of the concrete, in the long run the reinforcement and even the concrete itself can corrode. It is difficult to say anything about the damage inflicted without knowing the exact substances involved. But what can be controlled is the choice of the materials. When choosing materials for the tunnel construction, the compounds which are produced during combustion should be taken into account. If these compounds are corrosive and produced in appreciable quantity, then this material should preferably not be used. While considering the use of these materials, the amount that will exist in the tunnel has to be taken into account as well.

An example of a corrosive compound which can be produced during a fire is hydrochloric acid (HCl). It is for instance produced by the burning of PVC, a material very often used in power and control cable insulation. Hydrochloric acid is very corrosive and the inhalation of its vapours is dangerous to living creatures. Inhalation has an immediate effect, but the corrosive behaviour of HCl shows its effect on the structures in a longer period. Therefore countries require that cable insulation containing PVC should not be used in tunnel installations. Other countries consider that the only important condition is that the cables should not spread fire: if they meet this criteria, the quantity of HCl released by the cables local combustion is deemed to be negligible compared to the corrosive gases released by the vehicle which burns.

It is also not advisable to use coatings which form corrosive vapours or smoke in the event of a fire. Of course, the amount of the materials to be applied must be considered. The indiscriminate banning of certain materials is not advisable and can result in an unnecessary increase in costs.

Il faut tout de même attirer l'attention sur les matériaux transportés par les usagers. Ces matériaux sont bien évidemment hors du contrôle du concepteur et de l'exploitant du tunnel. Cela signifie que ces derniers ne peuvent prévoir l'effet, sur la structure, de la fumée et des vapeurs produites par la combustion d'un de ces matériaux.

### VII.3.4 Incendie et effets sur / de la chaussée

Trois matériaux peuvent être utilisés pour la chaussée d'un tunnel :

- béton de ciment,
- enrobé bitumineux dense classique,
- enrobé drainant, qui est utilisé pour stocker l'eau de pluie sous la surface afin de réduire les éclaboussures et/ou de réduire le bruit.

Le béton de ciment est le seul qui ne soit pas combustible et qui ne présente aucune difficulté d'utilisation dans les tunnels.

L'enrobé bitumineux classique peut s'enflammer à de très fortes températures. Il produit également des fumées et des gaz chauds dangereux car la quantité d'enrobé en feu augmente la production de chaleur de l'incendie. Cependant, comparativement au feu d'origine, ces productions supplémentaires sont la plupart du temps ignorées ; l'enrobé bitumineux classique peut donc être utilisé.

L'enrobé drainant n'est pas recommandé dans les tunnels car une fuite de carburant, que ce soit en conditions normales de circulation ou lors d'accidents ou d'incendies, sera stockée sous la surface. Ce stockage entraînera une plus large propagation de l'incendie, et il faudra plus de temps pour pomper le carburant. Un autre désavantage de l'enrobé drainant est le suivant : en cas de fuite, une surface plus importante est atteinte par le liquide, dont les vapeurs, en raison de leur combustion incomplète, risquent de provoquer une explosion à l'extérieur de la zone de l'incendie. En outre, la structure granulaire de ce type d'enrobé augmente la surface d'évaporation.

### VII.3.5 Utilisation de la peinture

La peinture utilisée comme revêtement brûle à partir d'une température d'environ 200 °C. Elle s'écaille et la couche sous-jacente est exposée.

Lors du choix du type de peinture et de protection anticorrosion, il faut tenir compte de l'éventualité de corrosion et de production de vapeurs dangereuses en cas d'incendie. Cependant, les quantités de gaz dangereux pouvant être générées par la combustion de la peinture doivent être comparées à celles produites par l'incendie d'un véhicule, avant d'éliminer des peintures qui pourraient être avantageuses sur d'autres plans. En tout cas, il faut s'assurer que la peinture choisie ne peut pas propager l'incendie.

A general remark has to be made in relation to the materials passing through the tunnel in the users' vehicles. These materials are outside the control of the tunnel designers and operators. That means as well that no prediction can be made of the effect on the structure of the smoke and vapour produced during a burning of these materials.

### VII.3.4 Fire and the effects on/of the road surface

The pavement of the tunnel can consist of three materials:

- cement concrete,
- common compact asphalt,
- very open asphalt which is used to store the rain below the road surface in order to reduce the splashing effect on the traffic, and/or to reduce noise.

Of these, cement concrete is the only one which is not combustible and does not raise any question as to its use in tunnels.

The normal asphalt can be ignited by a high temperature fire. Some additional dangerous smoke and hot gases will be produced while the amount of burning asphalt will increase the fire burning rate. However, seen in comparison with the initial fire, these additional outputs are most generally ignored, so that normal asphalt can be used in any case.

The open asphalt is not advisable in tunnels as a fuel spillage, occurring during normal traffic, accident or fire situations, will be stored below the road surface. The fire area will be spread more by this storage volume, which also takes more time to be removed. Another disadvantage of the open asphalt is the fact that the spillage creates a larger liquid area from which vapours can easily generate an explosion danger outside the direct fire spot due to the not-complete burnt vapours. Besides the larger area, also the granular structure of this type of asphalt enlarges the surface of evaporation.

### VII.3.5 Use of paint

Paint applied as a coating will be burned off at a temperature of approximately 200°C. The paint will peel off, hence the underlying surface will be exposed.

The possible corrosive and dangerous vapours released during a fire situation should be considered while selecting the type of paint and anti-corrosion protections. However, the quantities of dangerous gases possibly released by the combustion of paint should be compared with those produced by the vehicle fire before rejecting paints that would be otherwise advantageous. In any case it must be checked that the chosen paint cannot spread fire.