

# TUNNELS FIABLES : LA COMMUNAUTÉ DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT

par Jan P.-G. MIJNSBERGEN  
(directeur DARTS et UPTUN),  
Steen ROSTAM (coordinateur DARTS),  
Johan VAN DESSEL (coordinateur FIT)  
et Kees BOTH (coordinateur UPTUN)

## INTRODUCTION

**L**a construction des tunnels a été accélérée en Europe grâce à la réalisation du Réseau trans-européen de Transport et au souci de préserver l'environnement. La construction et l'exploitation des tunnels représentent donc des défis majeurs pour le futur.

Trois projets européens importants, connus par leurs acronymes DARTS, FIT et UPTUN, concernent la sécurité des tunnels [20]. Ces projets sont brièvement présentés.

## DARTS : STRUCTURES DE TUNNELS DURABLES ET DIGNES DE CONFIANCE

**L**a planification des structures de tunnels devrait conduire à des solutions optimales. La conception tient compte d'un nombre infini de paramètres conduisant à de nombreux effets dans les domaines des coûts financiers, de l'environnement, des risques et du trafic.

L'objectif de DARTS était de développer un cadre de décision transformant l'approche de conception traditionnellement fragmentée en une évaluation totalement intégrée tout le long de la vie de l'ouvrage, et de développer des méthodes permettant de choisir le type optimal du tunnel et des méthodes de construction. L'innovation consiste en l'intégration dans la conception structurelle des questions liées à la confiance en l'ouvrage, aux aspects géotechniques, à la durée de vie, aux risques y compris la prise en compte de ces risques, à l'environnement, aux besoins de la société, à la durabilité et aux aspects économiques.

# SAFE AND RELIABLE TUNNELS: COMMUNITY R&D

by Jan P.-G. MIJNSBERGEN  
(DARTS and UPTUN manager; CUR),  
Steen ROSTAM (DARTS coordinator; COWI A/S),  
Johan VAN DESSEL (FIT coordinator; BBRI)  
and Kees BOTH (UPTUN coordinator; TNO)

## INTRODUCTION

**T**unnel construction activities have accelerated in Europe in connection with the implementation of the Trans European Transport Network and the need for preserving the quality of the habitable environment. Tunnelling and tunnel usage therefore represent major challenges of the future.

Three major European projects, known by their acronyms DARTS, FIT and UPTUN, are devoted to safe and reliable tunnels [20]. The projects are briefly introduced.

## DARTS: DURABLE AND RELIABLE TUNNEL STRUCTURES

**P**lanning of tunnel structures should result in optimal solutions. The design includes numberless parameters resulting in many effects within the fields of financial costs, environmental effects, hazard related effects and traffic effects.

The purpose of DARTS was to develop a decision framework transforming the traditional fragmented design approach into an integrated total economic life cycle evaluation and to develop methods for choosing the optimal tunnel type and construction procedures. The innovation was the integration of reliability based structural design, geotechnical issues, service life design, hazard design including risk assessment, environmental aspects, societal needs, sustainability and economic aspects.

## Phases de décision et de projet

Le dénominateur commun est que les décisions doivent être prises, en prenant en compte l'ensemble de l'information disponible, et avec l'objectif d'atteindre la solution optimale.

## Decisions and project phases

The common denominator is that decisions have to be made, taking into account all available information and with the goal of reaching the optimal solution.

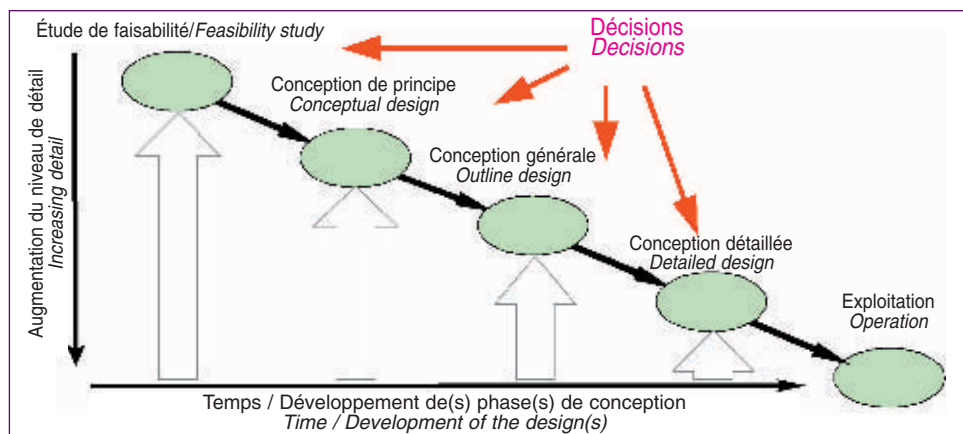


Figure 1

Modèle simplifié de processus de conception  
*Simplified model of the design process*

La planification d'un projet de tunnel est divisée en 4 phases : étude de faisabilité, conception de principe, conception générale et conception détaillée (Figure 1).

Concevoir un tunnel est un processus d'avancement direct : on débute avec une idée et on ajoute de plus en plus de détails en passant d'une phase à la suivante. Dans chaque phase du processus de conception certaines questions sont éclaircies et les effets des options de conception sont analysés.

Planning of a tunnel project consists of a number of phases, divided into four phases: Feasibility study, conceptual design, outline design and detailed design phase (Figure 1).

Designing a tunnel is presented as a straightforward process: one starts with an idea and adds more and more details when going from one phase to the next. In each phase of the design process certain questions are worked out and the effects of design options are assessed.

## Modélisation de la durabilité, de l'impact sur l'environnement et des risques

Des modèles ont été élaborés et quantifiés pour déterminer la probabilité de dépasser les états-limites. La prévention de la corrosion des armatures, l'étanchéité à l'eau ainsi que les effets de l'entretien et des réparations ont été les sujets principaux.

Les aspects environnementaux liés à l'impact sur la nature et la santé sont nombreux. La pollution de l'air, du sol, des nappes phréatiques et des eaux de ruissellement, les effets toxicologiques; le bruit et les vibrations; la conservation de l'énergie; les impacts sur le psychique et sur la santé ont été rassemblés et validés.

Les risques d'incendies et des autres accidents pendant la construction et l'exploitation ont été étudiés. La meilleure décision n'est pas toujours évidente. En présence de besoins contradictoires. Une méthode rationnelle a été développée pour optimiser les mesures en minimisant les effets des risques.

## Modelling durability, environmental impact and hazards

Models have been elaborated and quantified for determining the probability of exceeding the limit states. Prevention of reinforcement corrosion, water tightness and effects of maintenance and repair were main issues.

Environmental aspects related to the impact on nature and health are numerous. Pollution of air, soil, ground- and surface water; eco toxicological effects; noise and vibrations; consumption of resources; psychological impacts and health impacts were compiled and validated.

Risks of fires and other accidental events during construction and operation are elaborated. In case of conflicting requirements the best decision is not always evident. A rational method was developed for optimising measures by minimising the effect of hazards.

## Conception intégrée

La formule de base pour une conception intégrée prend en compte tous les coûts et les bénéfices. Des coûts peuvent être attribués aux risques, aux dommages causés par les réparations, l'entretien et l'environnement. Tous les aspects pertinents doivent être pris en compte pour chaque option de conception. La conception minimale globale est recherchée pour déterminer l'optimum (Figure 2).

## Integrated design

The basic formula for integrated design takes into account all costs and benefits. Costs may be related to hazards, repair and maintenance and environmental damage. For each design option all relevant aspects are accounted for. For determining the optimum the minimum over all design alternatives is sought (Figure 2).

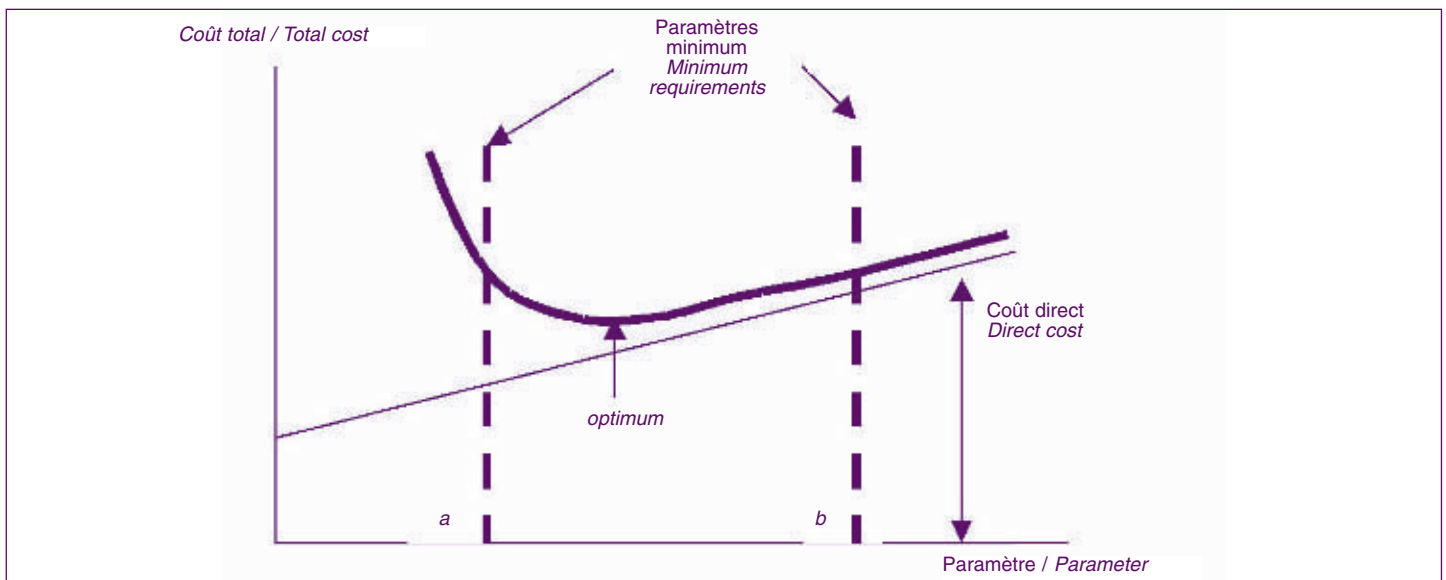


Figure 2

Optimisation du coût et des contraintes. Le paramètre de conception peut être constitué soit par des variables continues soit par des ensembles isolés d'options de conception.

*Cost optimisation and constraints.*

*The design parameter may be continuous variables and discrete sets of design options.*

La conception optimale est liée au coût économique total sur toute la durée de vie de l'ouvrage. Une méthode de choix des options a été développée comme partie du projet DARTS.

The optimum design option is found by means of the total economic life cycle cost. A method for selection options has been developed as part of the DARTS project.

## FIT : INCENDIES EN TUNNELS

Le réseau thématique FIT se concentre sur l'échange de connaissances, l'intégration et la création d'un savoir-faire. Pour profiter au maximum des enseignements d'incendies réels et les résultats de recherche et développements techniques, on doit utiliser toutes les informations disponibles. Les objectifs principaux sont de disséminer les travaux de recherche et les avancées techniques ainsi que les résultats de conception, de créer des bases de données consultables, de préparer en commun des recommandations sur le type d'incendies à prendre en compte pour une conception sûre sur la base de règles et besoins existants, et de définir les meilleures pratiques en matière de prévention, de formation, de gestion des accidents et d'interventions d'urgence en cas d'incendie.

## FIT: FIRE IN TUNNELS

The Thematic Network FIT focuses on the exchange of knowledge, integration and creation of know-how. To profit at most from the knowledge from real fire accidents and RTD (Research and Technical Development), there is a merit of using all available information. Main objectives are to disseminate RTD and design results, to establish a set of consultable databases, to realise recommendations on design fires to develop consensus for fire safe design on basis of existing rules and requirements and to define best practices on prevention, training, accident management and fire emergency operations.

## Prise en compte des incendies dans le projet

**L** il s'agit de prendre en compte la sécurité corporelle et l'intégrité structurelle. Pour la route, le rail et le métro les sujets suivants ont été inclus : le déroulement de l'incendie, l'évaluation du taux d'expansion et son point culminant, l'intégrité structurelle, la ventilation, l'équipement, l'évacuation et l'assistance aux personnes. Les recommandations sont basées sur des hypothèses définies dans certains pays, sur des incendies expérimentaux et sur des enseignements d'incendies réels.

## Recommandations pour une conception sûre vis-à-vis de l'incendie

**L**e rassemblement des recommandations pour une conception sûre vis-à-vis de l'incendie donne un aperçu de toutes les recommandations, réglementations, normes ou meilleures pratiques actuelles pertinentes en provenance des pays européens et d'autres pays importants du point de vue des tunnels. Des documents pertinents d'organisations européennes ou internationales sont également repris. Chaque document est identifié et fait l'objet d'une définition des parties essentielles, suivie d'une comparaison et d'une discussion. L'analyse inclut et les ouvrages structurels de sécurité et l'équipement de sécurité.

## Meilleures pratiques

**L**a définition des meilleures pratiques pour les autorités de tunnels et les services des pompiers en matière de prévention et de formation, gestion des accidents et lutte contre l'incendie, engagent les responsabilités des usagers du tunnel, les exploitants et les services de secours. Les recommandations se concentrent spécialement sur les facteurs de prévention.

## Bases de données consultables

**D**es bases de données consultables fournissent de l'information, contribuent au transfert de connaissances, renforcent la collaboration et permettent des comparaisons. Les 6 bases de données de FIT sont :

1. Projets de recherche sur la sécurité incendie en tunnel.
2. Cartographie des ouvrages permettant des essais en matière d'incendies et de tunnels.
3. Vue d'ensemble des codes informatiques numériques pour les incendies en tunnel.
4. Données sur les équipements de sécurité.
5. Rapports d'évaluation d'accidents ayant comportés des incendies en tunnel.
6. Cartographie et vue d'ensemble des améliorations dans les tunnels.

## Design Fires

**T**he work addresses life safety issues and structural integrity. For road, rail and metro the following topics are included: the course of fires, evaluation of fire growth rate and peak HRR, structural integrity, ventilation, equipment, and evacuation and rescue of people. Recommendations are based on design fires that are already defined in some countries, experimental fires and lessons learned from real fire events.

## Guidelines for fire safe design

**T**he compilation of guidelines for fire safe design gives an overview of all the relevant guidelines, regulations, standards or current best practices from European countries and other important tunnel countries. Relevant documents from European or international organisations are also included. Each document is identified with a definition of the essential parts, followed by a comparison and discussion. The analysis includes a/o structural safety facilities and safety equipment.

## Best practices

**T**he definition of best practices for tunnel authorities and fire emergency services on prevention and training, accident management and fire emergency operations engages on the responsibilities from the tunnel users, the operators and the emergency services. The recommendations concentrate especially on the safety factors before a fire.

## Consultable databases

**C**onsultable databases provide information, contribute to knowledge transfer, enhance collaboration and support benchmarking. The six FIT-databases are:

1. Research projects on fire safety in tunnels.
2. Mapping of test site facilities regarding fire and tunnel.
3. Overview of numerical computer codes for fire in tunnels.
4. Data on safety equipment.
5. Assessment reports on fire accidents in tunnels.
6. Mapping and overview of upgrade activities involving tunnels.

## UPTUN : MÉTHODES DURABLES ET INNOVATRICES D'AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES TUNNELS EXISTANTS

Les systèmes de sécurité de nombreux tunnels existants ont été conçus sur la base du trafic et de son accroissement estimé d'il y a 2 décades ou plus. Le trafic a augmenté davantage. Par conséquent, le niveau de sécurité dans les tunnels existants a souvent diminué dans les cas où aucune mesure intermédiaire n'a été prise pour s'adapter à ces évolutions. UPTUN se concentre sur le développement de technologies innovatrices et l'analyse de technologies existantes pour une application aux tunnels. L'accent est mis sur les technologies dans les domaines de la détection et du suivi, de mesures de réduction, de l'influence sur le comportement humain, et sur la protection contre les dommages structurels ; il se concentre également sur le développement, la démonstration et la promotion de procédures pour l'évaluation de la sécurité, incluant des modèles d'aide à la décision et de transfert des connaissances. Le résultat principal est constitué par un modèle d'évaluation et d'amélioration basé sur l'analyse du risque.

Le travail est effectué dans les phases de travail indiquées sur la Figure 3.

## UPTUN: COST-EFFECTIVE, SUSTAINABLE AND INNOVATIVE UPGRADING METHODS FOR FIRE SAFETY IN EXISTING TUNNELS

Safety systems in many existing tunnels were designed on the basis of traffic and its estimated growth of two or more decades ago. Traffic has grown more significantly. Consequently the safety level in existing tunnels often has decreased in cases where no intermediate measures were taken to cope with the developments. UPTUN focuses on: development of innovative technologies and the assessment of existing technologies for tunnel application. Focus is on technologies in the areas of detection and monitoring, mitigating measures, influencing human response, and protection against structural damage; and development, demonstration and promotion of procedures for safety evaluation, including decision support models and knowledge transfer. The main output being a risk based evaluating and upgrading model.

The work is being performed in work packages as illustrated in Figure 3.

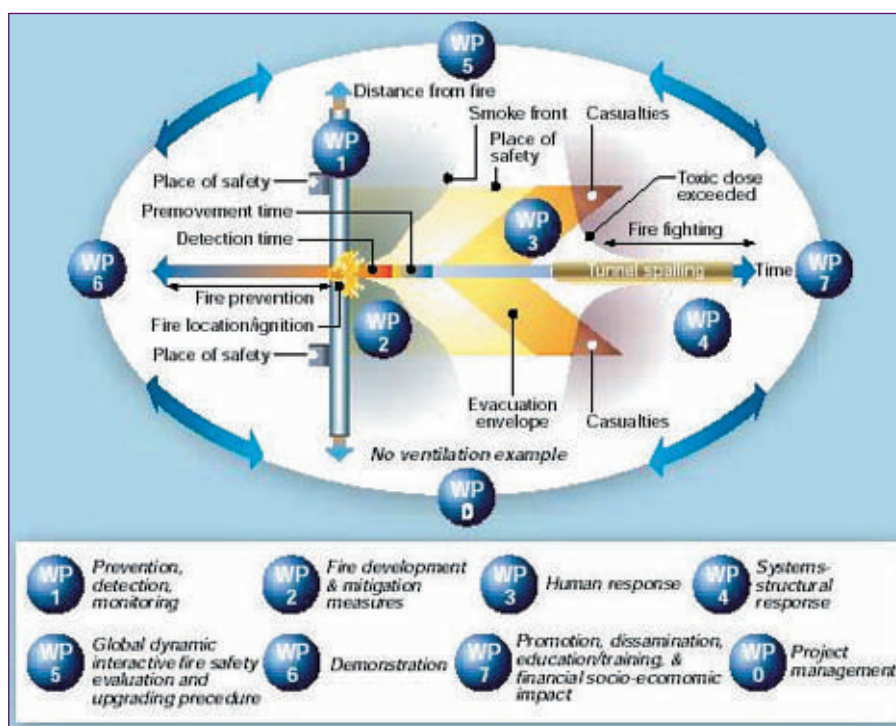


Figure 3

Visualisation du projet UPTUN (source G.A. Khoury) [22].  
The UPTUN-project visualised (source G.A. Khoury) [22].



## Développement du feu et mesures de réduction

**L**e travail a pour objectif de développer des mesures de réduction à coût acceptable en cas d'incendie, l'accent étant mis sur les systèmes de réduction et l'amélioration des outils d'évaluation. La conception appropriée sera basée sur des données statistiques et des essais en laboratoire. Les scénarios d'incendies et les critères d'acceptation seront développés en fournissant une meilleure connaissance des risques d'incendie et d'explosion impliqués.

## Réaction humaine

**L**a réaction humaine est un facteur crucial dans la sécurité globale des tunnels. Elle réferre à l'usager, à l'exploitant du tunnel et aux équipes de secours. Pour éviter des réactions humaines négatives, de nouvelles méthodes et de nouveaux moyens sont en cours de développement, évalués et promus pour informer et assister les personnes dans diverses circonstances.

## Comportement de la structure

**D**es incidents récents ont montré que le projet pouvait être déficient et que des inspections postérieures à l'incident avaient relevé des dommages importants et une fragilisation de composants et de systèmes. Des solutions sont en cours de développement, garantissant le fonctionnement correct des processus de secours et d'évacuation par la réduction des dommages aux structures et par la préservation des caractéristiques fonctionnelles des structures et des composants.

## Évaluation des niveaux de sécurité et amélioration des tunnels existants

**D**es critères sont mis en avant pour évaluer les niveaux de sécurité des systèmes-processus-composants-structures et pour développer une méthodologie capable d'évaluer d'une manière holistique les niveaux de sécurité de tunnels existants. Ceci permettra d'établir des recommandations pour l'amélioration au moyen d'une procédure informatique. Le résultat du modèle consistera en la production des profils de risques avant et après l'amélioration. Ils constitueront une donnée pour le modèle socio-économique pour évaluer l'impact de l'amélioration.

## Essai en grandeur nature et démonstration

**L**à où les éléments innovateurs sont rassemblés dans le modèle d'évaluation et d'amélioration, ses prédictions demandent une vérification expérimentale. Ceci sera entrepris en grandeur nature et sous des conditions

## Fire development and mitigation measures

**T**he work aims at developing cost efficient mitigation measures in case of fire with focus on mitigating systems and at improving evaluation tools. The appropriate design will be based on statistical data and laboratory-scale tests. By providing better knowledge about the fire and explosion hazards involved, design fire scenarios and acceptance criteria will be developed.

## Human response

**H**uman response is a crucial factor in the overall safety of tunnels. It refers to the user, tunnel operator and emergency response teams. To prevent negative human responses, new methods and means are being developed, evaluated and promoted for informing and supporting the human under various circumstances.

## Structural response

**R**ecent incidents have shown that fire design procedures can be deficient and post incident inspections showed extensive damage and reduced functionality of components and systems. Design solutions guaranteeing the correct functioning of the rescue and evacuation processes by means of damage mitigation of the load bearing structures and preservation of the functional characteristics of structures and components are being developed.

## Evaluation of safety levels and upgrading of existing tunnels

**C**riteria are set for evaluating the safety levels of the individual systems-processes-components-structures and to develop a methodology capable of evaluating holistically the safety levels of existing tunnels. This will allow recommendations for upgrading by means of a computational procedure. The output from the model will be fire safety risk profiles before and after upgrading. These will be input into the socio-economic model to evaluate the impact of the upgrading.

## Full scale experimental proof and demonstration

**W**here the innovative features are brought together in the evaluation and upgrading model, its predictions require experimental verification. This will be undertaken in full-scale and under realistic representative fire conditions.

réalistes d'incendie. Les objectifs principaux sont la validation des éléments de sécurité et le suivi des appareils, la preuve de l'amélioration et l'analyse des résultats et la validation du modèle.

## DISSÉMINATION

**L**es 3 projets recherchent une dissémination optimale. La première action a été le symposium commun [21].

Les bases de données de FIT sont ouvertes pour consultation et alimentation. De plus, de nombreux résultats de FIT sont présentés en tant que « documents de travail publics » qui sont également accessibles (pour les membres correspondants FIT).

Le projet DARTS a terminé son travail de recherche et de développement au printemps de 2004. Le jeu complet des rapports (outil de décision, conception pour la durée de vie, aspects environnementaux, risques, et exemples de conception intégrée) sera disponible.

## REMERCIEMENTS

**D**ARTS, FIT et UPTUN sont financés par l'Union européenne dans le cadre du cinquième programme-cadre « Croissance compétitive et durable » (1998-2002).

Mains issues are the validation of safety features and monitoring devices, demonstration after upgrading and the analysis of results and validation of the model.

## DISSEMINATION

**A**ll three projects strive after optimal dissemination. The first action was the joint Symposium [21].

The FIT databases are open for consultation and input. In addition, many of the FIT achievements are presented in "public working documents" which are open (for FIT corresponding members) too.

The DARTS-project finished its R&D work in spring 2004. The full set of reports (decision tool, service life design, environmental aspects, hazards, and integrated design examples) will be available.

## ACKNOWLEDGEMENTS

**D**ARTS, FIT and UPTUN are funded by the European Community under the fifth Framework Programme, "Competitive and Sustainable Growth" Programme (1998-2002).