



ISSN : 1270-9840

SÉRIE BIMESTRIELLE **N° 4/2015**(anciennement : Annales de l'I.T.B.T.P.,  
Revue créée en 1948)

NOVEMBRE 2015

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**

Serge KEBABTCHIEFF

**RÉDACTION****Rédacteur en chef**François BUYLE-BODIN,  
université de Lille**Représentant l'Union  
des Associations Françaises  
de Génie Civil**

Jean-Marc TANIS (EGIS), Président

**Représentant  
l'Association Française  
de Génie Civil AFGC**Bruno GODART (IFSTTAR),  
Président du CAPatrick GUIRAUD (Cimbéton),  
Président du Comité des Affaires Générales  
Thierry KRETZ (IFSTTAR),  
Président du Comité Scientifique et Technique**Représentant l'Association  
Universitaire de Génie  
Civil AUGC**Fabrice GATUINGT,  
Président du CASofiane AMZIANE (Université de Clermont-  
Ferrand), Président du Conseil Scientifique  
Hélène CARRÉ (université de Pau),  
chargée du prix jeunes  
chercheurs René Houpert**Représentant l'Ifsttar**

Jean-Luc CLÉMENT, direction scientifique

**Représentant l'Union des Ingénieurs et  
Scientifiques Francophones UISF**

Élie ABSI, président

**Relations internationales**

Zoubeir LAFHAJ, École Centrale de Lille

**ABONNEMENT :**

Editions ESKA

<http://www.eska.fr>12, rue du Quatre-Septembre - 75002 PARIS  
Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35**FABRICATION : AGPA EDITIONS**4, rue Camélinat - 42000 Saint-Etienne  
Tél. : 04 77 43 26 70 - Fax : 04 77 41 85 04  
E-mail : agpaedit@wanadoo.fr**PUBLICITÉ** - À la rédaction**IMPRESSION :**

# sommaire

## éditorial

Le projet de recherche CANOPEE sur la programmation, la conception et la réalisation de couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain .... 8  
*CANOPEE research project - Methods and tools to optimize planning, design, construction and operation of structural covers over transportation infrastructures in urban areas*

*Michel MOUSSARD, Pierre MÉRAND, François APPÉRE*

Autoroute A26 : bilan de 25 ans de gestion patrimoniale de 253 ouvrages d'art potentiellement affectés par des réactions de gonflement ..... 35  
*Interne highway A26: 25 years management of 253 bridges potentially affected by internal swelling reactions*

*Marc BROUXEL, Grégoire SERGENT, Yannick JEANJEAN et Bruno GODART*

abstracts — résumés .....	6
annonces de colloques .....	49
bulletin d'abonnement .....	2
recommandations aux auteurs .....	3 <sup>e</sup> de couv



Photos de couverture : les auteurs

Crédits photos : les auteurs



# BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner aux Éditions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. 01 42 86 55 65 – Fax 01 42 60 45 35

Nom .....

Raison sociale.....

Adresse .....

Code postal ..... Ville ..... Pays .....

Je m'abonne pour l'année 2016 (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

- Tarif FRANCE individuel (TTC) : **264 €**      Tarif ETRANGER individuel (HT) : **318 €**  
 Tarif FRANCE institution (TTC) : **330 €**      Tarif ETRANGER institution (HT) : **380 €**

Je joins :      Un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA  
 Un virement bancaire aux Editions ESKA -  
 BNP Paris - Champs Elysées - 30004-00804 - Compte 000101399.56

\* 4/2015

## LISTE DES ANNONCEURS

ANNONCES DE COLLOQUES :     Evadéos

Maquette terre : Construction en terre crue : avancées scientifiques

Novatech

## éditorial

Chers lecteurs des Annales du BTP,

Ce numéro comporte un article traitant d'un projet de recherche supporté par l'Agence Nationale de la Recherche, appelé CANOPEE traitant des couvertures d'infrastructures en milieu urbain. Il est complété d'un article proposé par des exploitants d'ouvrages routiers atteints par des réactions de gonflement interne, pathologie importante impliquant des politiques de maintenance rigoureuses.



### *Méthodes et Outils pour optimiser la programmation, la conception, la réalisation et l'exploitation de couvertures d'infrastructures en milieu urbain*

Le projet CANOPEE souhaite proposer une méthodologie et des outils d'aide à la décision et à la réalisation sur les couvertures d'infrastructures en milieu urbain qui, malgré leur complexité, n'ont pas encore fait l'objet d'une doctrine ni de réglementations spécifiques.

### *Croiser les enjeux urbains, juridiques et techniques à tous les stades d'un projet de couverture d'infrastructures*

Les infrastructures routières ou ferroviaires en milieu urbain génèrent des nuisances visuelles, acoustiques et atmosphériques et de profondes coupures dans le tissu urbain. Pour pallier à cette situation, les couvertures d'infrastructures se développent, sans qu'une « doctrine » ou une réglementation spécifique ne soit encore clairement définie.

Ce projet trouve son origine dans les réflexions et les réalisations engagées par la Ville de Paris au cours de la dernière décennie (Porte des Lilas, Porte de Vanves). Il s'agit de proposer une méthodologie et des outils d'aide à la décision et à la réalisation de ces objets urbains complexes.

La recherche est orientée vers 4 objectifs scientifiques :

- Caractérisation pluridisciplinaire des projets de couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain, par l'établissement d'une grille d'analyse urbaine, juridique, organisationnelle et technique, et l'examen à travers cette grille de projets existants.
- Mise en place de méthodes et d'outils d'évaluation, pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre, outils qui leur font actuellement défaut. Ce second objectif scientifique s'intéressera aux ouvrages eux-mêmes, à leur place dans le tissu urbain environnant, aux intérêts suscités chez les acteurs politiques et économiques ainsi que chez les usagers et riverains. Il s'agira aussi, à ce stade, d'identifier et d'analy-

ser les questions juridiques concernées, et les instruments susceptibles d'être mobilisés par le maître d'ouvrage pour réaliser et exploiter un tel équipement.

- Élaboration d'outil d'aide à la décision sous la forme d'un « méta référentiel » d'optimisation croisée au regard des avantages en termes de développement durable.
- Transfert vers l'ingénierie : innovations techniques et conception intégrée qui visent à proposer des méthodes innovantes de conception et de réalisation des couvertures, dans la perspective de leur exploitation.

### *Une approche systémique et pluridisciplinaire des couvertures*

Une analyse des projets de couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain mettra en évidence un certain nombre de spécificités en matière d'usages, de réglementation, de montages juridiques et financiers, d'attentes des populations, d'intégration d'échelles territoriales plus larges que la couverture elle-même, de contraintes de conception et de réalisation. Outre le fait que ces spécificités sont mal connues (verrou cognitif), elles sont traitées de façon distincte.

En réponse au verrou cognitif : les questionnements scientifiques sur des notions énoncées, actées tacitement permettront de formaliser, argumenter et justifier certains critères incontournables pour apprécier la contribution à l'évolution d'une ville vers plus de durabilité.

En réponse au manque de cadre d'analyse globale : une analyse sous l'angle pluridisciplinaire et systémique de ces projets et des propositions de méthodes et d'outils d'évaluation et d'aide à la décision adaptés aux élus et services des collectivités territoriales, à l'ingénierie, aux acteurs économiques, aux juristes, à la population. L'objectif est de donner un langage commun à tous les acteurs du projet, sur toute sa temporalité.

Enfin, la réalisation de couvertures, souffre d'une réglementation peu adaptée et d'un manque de recommandations spécifiques. Les contraintes liées à la conception de ces ouvrages, qui sont autant de verrous à leur développement, sont liées à la sécurité dans les ouvrages en souterrain, au traitement des effluents gazeux, à la gestion des réseaux aussi bien au niveau de l'infrastructure couverte qu'au niveau de la couverture elle-même, à l'intégration harmonieuse et efficace des différentes fonctions. De même leur réalisation est soumise aux contraintes fortes de l'exploitation de l'infrastructure couverte en cours de travaux, ces ouvrages étant très souvent réalisés sur des infrastructures existantes. Nous examinerons comment dans chaque domaine ces contraintes peuvent être traitées.

### **Résultats**

L'objectif du projet est de mettre à dispositions une grille d'analyse pluridisciplinaire des couvertures, ainsi que des méthodologies et des outils d'évaluation et d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage. Le groupement proposera également des recommandations à l'attention des maîtres d'œuvres, en vue d'une approche globale innovante et cohérente de la conception techniques des couvertures.

### **Partenaires**

ARCADIS ESG

TECOMAH / CCIP Ecole de l'Environnement et du Cadre de Vie Chambre de Commerce et d'Industrie de paris EIVP École des Ingénieurs de la Ville de Paris

EGIS Structures SA

IREX Institut de la Recherche appliquée et de l'Expérimentation en Génie Civil

UPEMLV - LEESU - GU Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

SDIE Sources du droit, institutions, europe

Ville de Paris

Le projet a été restitué les 28 et 29 septembre 2015.

Les présentations sont disponibles sur

<http://www.irex.asso.fr/seminaire-canopee-presentations/>



**Le rédacteur en Chef,  
Professeur François BUYLE-BODIN**

## résumés — abstracts

### **LE PROJET DE RECHERCHE CANOPEE SUR LA PROGRAMMATION, LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION DE COUVERTURES D'INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT EN MILIEU URBAIN**

Michel MOUSSARD, Pierre MÉRAND, François APPÉRE

Le projet CANOPEE, issu de réflexions engagées dans le cadre des couvertures du Boulevard Périphérique à Paris, a permis à une équipe pluridisciplinaire (Ville de Paris, EIVP, IREX, Université Paris-Est, Tecomah, ARCADIS, EGIS, CETU) de développer une analyse globale des couvertures d'infrastructures de transports en milieu urbain, afin de développer et de proposer aux maîtres d'ouvrages et aux maîtres d'œuvre des outils d'analyse, d'aide à la décision et de conception de ces ouvrages aux multiples enjeux. Ce travail, financé par l'ANR dans le cadre du programme « Bâtiments et villes durables », a été lancé en 2012 et viendra à son terme en 2015. Il comprend 5 tâches :

Tâche 1 : Recherche et compilation des études et projets antérieurs – analyse et synthèse de la documentation réunie.

Tâche 2 : Analyse et évaluation des enjeux et des montages juridiques pour ces opérations

Tâche 3 : Analyse organisationnelle du pilotage des projets

Tâche 4 : Mise au point d'outils de diagnostic et d'évaluation

Tâche 5 : Identification et évaluation de pistes d'innovations technologiques

Ces travaux ont montré en particulier les grandes difficultés que l'on rencontre sur le terrain pour coordonner harmonieusement le projet urbain et le projet de transport : différents acteurs, différents enjeux, et qui plus est différentes temporalités. Créer une couverture c'est créer un sol urbain artificiel en s'inscrivant dans la durée, d'où une exigence particulièrement élevée de qualité, de durabilité, de maintenabilité, d'adaptabilité.

L'objet de cette communication est de présenter les résultats de cette recherche, et les outils et solutions proposés, en faisant référence à des réalisations en cours, notamment le quartier Seine Rive Gauche à Paris et le quartier de Zuidas à Amsterdam.

### **CANOPEE RESEARCH PROJECT - METHODS AND TOOLS TO OPTIMIZE PLANNING, DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF STRUCTURAL COVERS OVER TRANSPORTATION INFRASTRUCTURES IN URBAN AREAS**

*CANOPEE research project, which originated from reflections related to the realization of structural covers over Paris Ring Road, has given to a multidisciplinary team (City of Paris, EIVP, IREX, Université Paris-Est, Tecomah, ARCADIS, EGIS, CETU) the opportunity to develop a global approach to structural covers of infrastructures in urban environments, in order to propose to owners, project managers and designers tools to analyze, plan and conduct these projects, which face multiple challenges and involve many stake-holders. This project, which is financed by ANR (French National Association for Research) under its program "Sustainable buildings and cities", started in 2012 and will be completed in October 2015. It comprises 5 tasks :*

*Task 1: State of the art. Research and compilation of existing projects data. Analysis and synthesis.*

*Task 2: Legal issues and projects contractual set up.*

*Task 3: Projects governance and management. Games of actors.*

*Task 4: Systemic functional analysis. Diagnosis and evaluation.*

*Task 5 : Civil engineering solutions. Potential innovations.*

*These works have particularly enhanced the difficulties encountered to coordinate harmoniously and timely urban development and large transport infrastructure projects, either railways or roadways, which differ by their actors, stakes and timeframes. To create a structural cover means to create an artificial urban ground with a long term perspective, which highly requires quality, durability, maintainability and adaptability.*

*The purpose of this paper is to present the main results of this research, and to show how the different tasks were articulated.*

### **AUTOROUTE A26 : BILAN DE 25 ANS DE GESTION PATRIMONIALE DE 253 OUVRAGES D'ART POTENTIELLEMENT AFFECTES PAR DES REACTIONS DE GONFLEMENT INTERNE**

BROUXEL Marc, SERGENT Grégoire, JEANJEAN Yannick et Bruno GODART

L'objectif de cet article est de présenter la politique de maintenance suivie par la SANEF après avoir découvert les premiers désordres liés à des réactions de gonflement interne (alcali-réaction et/ou réaction sulfatique interne) sur plusieurs ouvrages de l'autoroute A26 au début des années 1990. Un groupe de travail regroupant les autorités de tutelle, des scientifiques de l'Administration des Ponts et Chaussées, la SANEF et le bureau d'études Concrete s'est réuni plusieurs fois au cours de ces 25 dernières années pour établir et faire évoluer cette politique de maintenance. En effet, il a fallu adapter la gestion du patrimoine en fonction de l'évolution, non seulement des pathologies mais également des connaissances scientifiques.

Les différentes étapes suivies lors de cette politique de maintenance sont décrites dans cet article. Elles vont des investigations initiales à la mise en place d'un suivi simplifié en passant par des investigations physico-chimiques et microscopiques détaillées. Des essais de vieillissement accélérés, des essais de revêtements d'imperméabilisation et des essais de chargement des tabliers de l'ouvrage ont également été réalisés. Il a fallu, enfin, mettre au point une instrumentation adaptée pour pouvoir, après 25 ans, être en mesure de statuer sur l'état des ouvrages et leur pérennisation dans le cadre du contrat de concession de la SANEF.

### **HIGHWAY A26: 25 YEARS MANAGEMENT OF 253 BRIDGES POTENTIALLY AFFECTED BY INTERNAL SWELLING REACTIONS**

*The aim of this paper is to present the asset management methodology followed by SANEF (French highway operator) after discovering the first signs of internal swelling reaction (alkali-aggregate reaction and/or delayed ettringite formation) on highway bridges in the early 90's. A working group with the*

*highway national administrator, the French authorities, SANEF and Concrete design office meet several times these last 25 years to establish and modify the asset management policy. It was indeed necessary to adapt the asset management policy to the pathology evolution but also to the scientific knowledge.*

*The different steps followed by the asset management policy are described in this paper. They include initial investigations,*

*simplified monitoring, physico-chemical analysis and detailed microscopic observations. Aging tests, waterproofing coatings evaluations and loading tests of both decks of the bridge were also realized. Finally a specific monitoring was developed and it is now possible, after 25 years, to decide on the state of conservation of each bridge under SANEF concession contract.*

---

**LE PROJET DE RECHERCHE CANOPEE  
SUR LA PROGRAMMATION,  
LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION  
DE COUVERTURES  
D'INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT  
EN MILIEU URBAIN**

***CANOPEE RESEARCH PROJECT -  
METHODS AND TOOLS TO OPTIMIZE  
PLANNING, DESIGN,  
CONSTRUCTION AND OPERATION  
OF STRUCTURAL COVERS  
OVER TRANSPORTATION  
INFRASTRUCTURES IN URBAN AREAS***

---

**Michel MOUSSARD\*, Pierre MÉRAND\*\*, François APPÉRE\*\*\***

\* ARCADIS

\*\* EGIS

\*\*\* ARCADIS



## 1. INTRODUCTION

Les infrastructures routières ou ferroviaires en milieu urbain génèrent des nuisances visuelles, acoustiques et atmosphériques, et de profondes coupures dans le tissu urbain. Pour pallier cette situation, il y a essentiellement deux approches possibles. La première, qui en fait ne s'applique qu'aux infrastructures routières, consiste à transformer ou retransformer la voie rapide en boulevard urbain, avec aménagement paysager et éventuellement mise en place d'un TCSP (exemples : Boulevard des Maréchaux à Paris, ancien Boulevard Périphérique de Lyon). La seconde consiste à couvrir l'infrastructure par une dalle assurant à la fois la protection contre les nuisances et la continuité urbaine (exemples : couvertures du Boulevard Périphérique à Paris, couverture du faisceau des voies d'accès à la Gare d'Austerlitz – ZAC Paris Rive Gauche). C'est dans cette deuxième approche que nous nous sommes situés, non sans nous être interrogés sur sa pertinence dans le contexte général du « projet urbain ».

Outre leur capacité à réduire les nuisances, ces couvertures constituent des opportunités dans le cadre des stratégies d'urbanisme, des politiques foncières, du logement, des transports et du développement des activités économiques en milieu urbain dense. La création d'ouvrages de couverture d'infrastructure induit la création de sol artificiel accessible à des usages publics et privés. L'ouvrage peut se voir lié à la construction d'immeubles en superstructure, ce qui multiplie les sujétions de fonctionnement et d'usage des différents volumes bâtis. La prise en compte de l'expérience issue des « quartiers sur dalles » des années 1960-1970 ou des opérations de couverture plus récentes permet de mieux appréhender les difficultés de gestion et d'entretien propres à l'intrication tridimensionnelle des usages et des propriétés. Ces couvertures sont des ouvrages complexes de génie civil urbain, réalisées dans des conditions difficiles du fait de l'encombrement des sites concernés et de la nécessité dans la plupart des cas de maintenir l'exploitation des voiries concernées pendant phase de réalisation. Elles n'ont toutefois jamais fait l'objet de réglementations ou de recommandations spécifiques, alors qu'elles constituent un type d'ouvrage particulier : ce ne sont ni des ponts, ni des tunnels, ni des bâtiments, ni des voiries, mais tout cela à la fois, notamment si l'on considère leur capacité à supporter des bâtiments, des voiries, ou des aménagements paysagers. Ceci a conduit à les décomposer en différentes parties (infrastructures, équipements, aménagement de surface, bâtiments) traitées parallèlement les unes aux autres, en appliquant des réglementations plus ou moins cohérentes entre elles, et en gérant tant bien que mal les interfaces, aussi bien d'un point de vue architectural et technique que d'un point de vue politique, contractuel et juridique. Or les interactions sont fortes et surtout le processus de gestion de projet est fondamental. Cette absence de vision globale, de démarche systémique, d'outils de programmation et de conception et d'analyse des risques spécifiques, nuit certainement à l'utilisation optimale de ce concept pour le renouvellement urbain, alors qu'il recèle un potentiel considérable au vu de l'importance des surfaces occupées par les grandes infrastructures de transport dans les grandes agglomérations.

## 1. INTRODUCTION

*Road and railway infrastructures in urban contexts generate visual, acoustic and atmospheric pollution, as well as deep disconnection within urban structures. To compensate for this currently existing problem, different approaches have been developed: when these infrastructures are located at the road and railway levels, one approach has been to carry out urban boulevards transformations along with landscaping works as well as sometimes the establishment of a TCSP (Boulevard des Maréchaux in Paris, ex-peripheral boulevard in Lyon); when they are in trenches, projects have involved the construction of a structural cover to ensure both protection against interferences and urban continuity (Boulevard Périphérique in Paris). Our work follows this second approach.*

*In addition to their capacity of reducing interferences, these structural covers also represent an opportunity within the framework of urban planning strategies, to occupy grounds, for land and housing policies, as well as for the development of transport and economic activities. The construction of infrastructural covers also implies the creation of artificial flooring, then available for public and private uses. This type of work can also allow for the construction of buildings, which multiplies the function and operation possibilities of these different constructed buildings. Taking into account the experiences of the 1960s and 1970s "quartiers sur dalle" or of more recent covering operations can allow for a better preparation against management and maintenance difficulties.*

*These structural covering works represent complex urban civil engineering projects, carried out in difficult conditions when the concerned sites are congested and need to see their traffic running during the construction phases. **Despite the fact of representing a very specific type of work, structural covers over transport infrastructures in urban areas have never been the subject of particular regulations or recommendations:** they are neither bridges nor tunnels, buildings, roadways and railways, but all of these at once, and particularly if we take into account their capacity to support buildings, roadways, railways or landscape planning projects. This has led to their separation into different parts (infrastructures, equipments, surface planning, buildings), treating them independently from one another, whilst applying different regulations more or less coherent with one other, and managing as best as possible their technical and legal interconnections. However, the interactions are strong and most of all, the project management process is fundamental.*

*This absence of a global vision, systematic approach as well as planning and designing tools restrains without any doubt the optimal use of these structures for urban renewal. This is despite the fact that they hold a huge potential when looking at the size of the surfaces occupied by big transport infrastructures in large cities.*

*It is symptomatic to see that there exists neither an official name nor a specific acronym for this type of work; we will call them "structural covers" in the following pro-*

Il est symptomatique de constater qu'il n'existe ni désignation ni acronyme spécifique pour ce type d'ouvrage ; nous les désignerons ici sous le nom de couvertures. Il convient de préciser que même s'il y a beaucoup de similitudes, il ne s'agit pas ici de traiter de l'urbanisme de dalle, même si l'on se situe bien dans la dimension verticale de la ville.

Devant cette absence d'études et de documentation sur ce type d'ouvrage, le projet Canopée s'est donné comme objectifs :

- d'établir dans un premier temps un état de l'art de ces ouvrages, en regroupant au sein d'une base de données une large documentation sur les réalisations remarquables en France, en Europe et dans le Monde : ce travail a été réalisé dans le cadre de la tâche 1, pilotée par l'EIVP.
- D'examiner les aspects juridiques du développement de ces projets, en particulier sous l'angle de la propriété, avec l'apparition de la division en volumes : ce travail a été réalisé par l'Université Paris-Est, établissement de Créteil, puis transféré à l'Université Paris 1 (tâche 2).
- D'examiner comment les interactions fortes qui existent entre le projet d'infrastructure d'une part et le projet urbain d'autre part (le « dessous » et le « dessus ») se traduisent au niveau des jeux d'acteurs entre maîtres d'ouvrage et concessionnaires : ce travail a été piloté par l'Université Paris-Est, établissement de Marne-la-Vallée (tâche 3).
- D'analyser de façon systématique et rationnelle les fonctions de cet objet « couverture », défini ici comme l'ouvrage de génie civil proprement dit : ce travail a été piloté par l'Université Paris-Est, établissement de Marne-la-Vallée (tâche 4).
- De rechercher sur la base des travaux des 4 premières tâches quelles réponses l'ingénierie et l'industrie du Génie Civil peuvent apporter aux problématiques propres à ces ouvrages : ce travail a été piloté et réalisé par Egis, en collaboration avec ARCADIS et Tecomah (tâche 5).

Le pilotage global du projet et la synthèse sont réalisés par ARCADIS (tâche 6).

Les autres membres du groupement, qui apportent leur concours et leur expertise, mais ne sont pas directement impliqués dans les travaux de recherche, sont la Ville de Paris et l'IREX. Le CETU intervient aussi en tant que conseil.

Ce projet a été retenu par l'ANR dans le cadre du programme Villes et Bâtiments Durables en 2011, et lancé en janvier 2012. Il se terminera fin Octobre 2015, avec en particulier la remise du rapport final.

## 2. ÉTAT DE L'ART

La première tâche, c'est-à-dire la revue analytique d'opérations de couvertures réalisées dans plusieurs continents, a été coordonnée par l'EIVP, sous la direction de Laurent Ducourtieux. Un jeune ingénieur d'étude, Brice Chandon, a travaillé deux ans dans l'École pour établir une base de données qui détaille plus de cent opérations de ce genre, réalisées le plus souvent en France mais aussi en Europe, en Amérique du Nord et en Australie (Melbourne).

**ject proposal.** *It is necessary to clarify that despite the similarities, we are not looking here at "urbanisme de dalle", even if our project's subject is related to cities' vertical dimension.*

*Given this lack of studies and documentation on this type of work, the Canopy project has adopted the following goals:*

- *establish initially a state of the art of these works, and group within a database an extensive documentation on the remarkable achievements in France, Europe and the World: the work was done as part of Task 1, piloted by EIVP.*
- *consider the legal aspects of the development of these projects, especially in terms of ownership, with the appearance of volume division: This work was carried out by Université Paris-Est - Creteil, then transferred to the University of Paris 1 (Task 2).*
- *Examine how the strong interactions between the infrastructure project on the one hand and the other urban project (the "bottom" and "top") are translated at the actors' roles level. This work was led by the Université Paris-Est - Marne-la-Vallée (Task 3).*
- *To analyze the systemic and rational functions of this object "cover", defined here as the civil engineering structure itself: this work has been led by the Université Paris-Est - Marne-la-Vallée (Task 4).*
- *Seek based on the work of the first four tasks which responses engineering and construction industry can bring to challenges which are specific to these works. This work was piloted and implemented by Egis in collaboration with ARCADIS and Tecomah (Task 5).*

*The overall management of the project and its synthesis are carried out by ARCADIS (Task 6).*

*Other members of the group, who support and bring expertise, but are not directly involved in the research, are the City of Paris and IREX. CETU also acts as counsel.*

*This project was selected by the ANR under the Sustainable Buildings and Cities program in 2011 and launched in January 2012. It will end in October 2015, with in particular the submission of the final report.*

## 2. STATE OF THE ART

*The first task, that is to say the analytical review of covers projects in several continents, was coordinated by EIVP, under the direction of Laurent Ducourtieux. A young engineer, Brice Chandon, was employed for two years by EIVP to establish a database detailing more than a hundred such operations, realized mostly in France but also in Europe, North America and Australia (Melbourne).*

Il ne s'agissait pas pour nous d'être exhaustif, même si le recensement avec la base de données du Centre d'études des tunnels a montré que, pour la France, nous avons semble-t-il repéré à peu près toutes les couvertures de plus de 300 m de long. Notre objectif était de comparer ces opérations entre elles, afin de savoir si nous pouvions en distinguer des catégories.

Après examen de nombreux cas très différents les uns des autres, nous avons pu confirmer que les couvertures de voiries majeures se présentent bien comme une réponse urbanistique particulière face à un problème de développement urbain à plusieurs dimensions. Trois questionnements en particulier sont apparus déterminants dans la décision de couvrir ou pas, qui sont partiellement indépendants les uns des autres :

- Il y a tout d'abord la question de l'usage de l'infrastructure majeure qui traverse le site : veut-on maintenir un trafic intense voire l'augmenter, ou veut-on déclasser la voie, et réduire voire supprimer le trafic ? La réponse à cette question est déterminante pour le choix de couvrir ou non.
- Il y a ensuite la nature du développement immobilier envisagé sur ce site. Dispose-t-on de foncier non bâti sur les rives de la voie ? Peut-on valoriser un sol artificiel ? La densité humaine nette, l'intensité urbaine visée justifient-elles qu'on limite les nuisances de la voie ?
- Il y a enfin la configuration topographique du site, favorable ou non à une opération de génie civil. Une voie existante en tranchée se prête bien à une opération de couverture, dont le dessus viendra naturellement se situer au niveau des voiries et terrains adjacents. Par contre lorsque l'infrastructure de transport se trouve au niveau des voiries adjacentes, l'opération de couverture ne peut s'insérer dans le tissu urbain qu'au prix d'aménagements importants de part et d'autre. Nous avons toutefois constaté, à travers l'analyse de notre base de données, que le retour d'expérience de quelques projets emblématiques, comme le quartier de Paris Rive Gauche ou l'opération de Sijtwende en Hollande, ont montré que la couverture d'infrastructures routières ou ferroviaires situées au niveau du sol était tout à fait possible et pouvait conduire à des aménagements urbains d'une grande qualité, à condition que l'opération puisse être étendue de part et d'autre de la voirie couverte. Des études récentes menées par l'Agence Devillers pour la couverture du Boulevard Périphérique dans le secteur de la Gare des Minimes ont aussi montré l'intérêt d'une telle approche, qui peut s'avérer, comme c'est le cas dans ce projet, beaucoup plus « réalisable » que le décaissement d'une voirie supportant une circulation intense et stratégique, tout en offrant de réelles opportunités de développement urbain.

L'établissement de la base de données et son analyse ont aussi confirmé – s'il était nécessaire – les différences fondamentales qui existent entre les projets de couverture de voiries routières et ceux de voiries ferroviaires. En premier lieu vis-à-vis de l'opportunité de couvrir et des alternatives possibles. Il apparaît en effet que, dans le cas d'infrastructures ferroviaires, le déclassement soit rarement envisageable, en particulier dans les grandes agglomérations où l'accès des grandes lignes en centre-ville est un facteur essentiel de la mobilité durable. Il est intéressant à ce propos de rappeler qu'un débat a été ouvert à Paris sur l'opportunité de renvoyer au-delà du Boulevard Périphérique

*We did not pretend to be exhaustive. However comparison with the CETU database for tunnels in France showed that we had identified almost all covers more than 300 m long. Our objective was to compare these operations together, to see if we could distinguish categories.*

*After reviewing many cases very different from each other, we confirmed that large infrastructures covers bring an appropriate answer to an urban development problem with several dimensions. Three questions in particular appeared critical with regard to the decision to cover or not, that are partially independent of each other:*

- *There is first the question of the use of major infrastructure that crosses the site: do we want to maintain a high traffic or increase it, or do we want to downgrade the way and reduce or eliminate traffic? The answer to this question determines the choice to cover or not.*
- *There was then the nature of the proposed housing development on this site. Do we have undeveloped land alongside the way? Can we develop an artificial soil? Do the net population density and the intended urban intensity target justify to limit the nuisances?*
- *There is finally the topographic configuration of the site, favorable or not to a civil engineering operation. An existing trench configuration is well adapted to a cover, where the upper level will naturally meet the level of the roads and adjacent lands. Then when transportation infrastructure is at the adjacent ground level, the cover integration into the urban fabric may require major works. However, we found through the analysis of our database and the feedback from some emblematic projects such as the Paris Rive Gauche district or the operation Sijtwende in Holland, that the coverage of road and rail infrastructure located at ground level was quite possible and could lead to urban development of high quality, provided that the operation can be extended on both sides of the road covered. Recent studies conducted by the Christian Devillers urban planning agency for the cover of Paris Ring Road in the Minimes Station sector also showed the interest of such an approach, which can be much more "achievable" than lowering the level of an infrastructure carrying intensive traffic, while offering real urban development opportunities.*

*The database and its analysis also confirmed – if necessary – the fundamental differences between roadways cover projects and those of railways. First vis-à-vis the opportunity to cover and possible alternatives. It appears that in the case of rail infrastructure, decommissioning is rarely feasible, especially in large cities where the access of intercity railways to city centers is a key factor in sustainable mobility. It is interesting in this context to recall that a debate had been opened in Paris on whether to move stations beyond the ring road, which ended with the maintenance of these stations intramuros, despite the enormous potential of urban real estate represented by the areas covered by the great lines that converge in Paris. Pour simplifier on peut dire que pour l'infrastructure ferroviaire il n'y a que deux alternatives, la supprimer, ce qui est rarement faisable ni sou-*

les gares « grandes lignes », débat qui s'est conclu par le maintien de ces gares intra-muros, malgré l'énorme potentiel urbain et immobilier que représentent les emprises des grandes lignes qui convergent dans Paris. Pour simplifier on peut dire que pour l'infrastructure ferroviaire il n'y a que deux alternatives, la supprimer, ce qui est rarement faisable ni souhaitable en milieu urbain dense, ou la maintenir quasiment en l'état, tout en tenant compte des projets à venir, alors que pour les infrastructures routières il y a une grande variété de solutions, dans un contexte globalement peu favorable au maintien de la circulation automobile en ville, du moins aux niveaux d'intensité et de vitesse actuels. Ces deux modes de transport se distinguent aussi très nettement, vis-à-vis des projets de couverture, par les contraintes qu'ils génèrent, qu'il s'agisse des contraintes d'exploitation, notamment en phase de construction, ou des contraintes liées à la sécurité dans les tunnels, qui sont fixées par des réglementations différentes.

Notre travail de recherche documentaire nous a aussi conduits à nous intéresser aux projets et aux recherches hollandais. Trois projets ont particulièrement retenu notre attention :

- L'insertion de la Route 14 à la Haye (tunnel de Sijtwende), où un partenariat public-privé basé sur la mutualisation d'une opération de développement d'une voie rapide et d'un programme de logements ont permis la conception intégrée de l'infrastructure et de son environnement urbain, dans le contexte de la couverture d'une voirie située au niveau du terrain naturel.
- L'« Utrechtse Baan », projet de couverture de l'autoroute A 12 à La Haye. Cinq immeubles-ponts et une couverture partielle sont répartis en entrée de ville au-dessus de l'autoroute A12 qui traverse la ville en tranchée, sur 1,2 km. L'autoroute arrive jusqu'au cœur de la ville dans des espaces à forte pression foncière. Dans ce quartier tertiaire, les différentes opérations, indépendantes, permettent de jalonner le parcours des automobilistes et de favoriser la continuité du tissu urbain.
- La couverture des voies routières et des voies ferrées du nouveau quartier de Zuidas au Sud d'Amsterdam, quartier d'affaires situé à proximité de l'aéroport

*haitable en milieu urbain dense, ou la maintenir quasiment en l'état, tout en tenant compte des projets à venir, alors que pour les infrastructures routières il y a une grande variété de solutions, dans un contexte globalement peu favorable au maintien de la circulation automobile en ville, du moins aux niveaux d'intensité et de vitesse actuels. Ces deux modes de transport se distinguent aussi très nettement, vis-à-vis des projets de couverture, par les contraintes qu'ils génèrent, qu'il s'agisse des contraintes d'exploitation, notamment en phase de construction, ou des contraintes liées à la sécurité dans les tunnels, qui sont fixées par des réglementations différentes. One may say that for rail infrastructure there are only two alternatives, either to remove it, which is rarely feasible nor desirable in dense urban environments, or maintain it virtually as it is, although trying to take into account projects to come. While for road infrastructure there is a wide variety of solutions, in a generally unfavorable environment for the maintenance of traffic in the city, at least at current levels of intensity and speed. These two modes also differ sharply vis-à-vis cover projects, the constraints they generate, whether*

*operating constraints, particularly in the construction phase, or constraints related to safety in tunnels, which are fixed by different regulations. Our state of the art research also led us to take an interest in Dutch projects and research. Three projects have particularly caught our attention:*

- *The insertion of Route 14 in the Hague (tunnel Sijtwende), where a public-private partnership based on sharing an expressway project and a housing program have integrated infrastructure design with its urban environment, in the context of the cover of a road located at the natural ground level.*
- *The "Utrechtse Baan" cover project over the A 12 Motorway in The Hague. This project includes five bridge-buildings distributed along the 1,2 km long highway, and partial covers in between. Because of the high value of real estate in this city center, these building were profitable despite the higher cost, and helped restore urban continuity.*



**Figure 1 : couverture de l'A12 à la Haye.**  
**Figure 1: A12 cover - Den Hagen.**

international de Schiphol, traversé par l'Autoroute A10 et un faisceau de voies ferrées. Projet doublement intéressant, par son ampleur d'une part, et par les jeux d'acteurs auquel il a donné lieu. Le projet initial, qui prévoyait la couverture totale des voies routières et ferroviaires, et la construction d'immeubles au-dessus des voies couvertes, sur financement privé des infrastructures dans le cadre des opérations immobilières prévues, a dû être abandonné à la suite de la crise dite des « subprimes ». Après une concertation étroite entre les acteurs publics et privés, dans la tradition du « Dutch dialogue », un projet plus modeste a été retenu, avec couverture des voies routières seulement, sous financement public, la couverture des voies ferroviaires et la construction d'immeubles étant remises à plus tard.

Dans le cadre d'un voyage d'études en Hollande nous avons entamé des échanges fructueux avec Bert van Eekelen, urbaniste et chercheur, auteur d'un ouvrage récemment publié sur le projet de Zuidas. Nous avons pu aussi prendre connaissance d'un travail de recherche très abouti sur le développement de projets immobiliers au-dessus de faisceaux ferroviaires urbains, dont les résultats ont été publiés par Sebastiaan de Wilde dans son ouvrage intitulé *Rail Estate*.

Enfin dans le cadre des enquêtes menées pour les différentes tâches, nous avons eu de nombreux contacts avec la SEMAPA pour le projet Paris Rive Gauche, qui illustre par son ampleur et sa variété tout le potentiel des couvertures d'infrastructures en milieu urbain, et est devenu le projet de référence de notre travail de recherche. Dans le cadre de la tâche 5, un important travail de compilation des différentes solutions techniques mises en œuvre dans le cadre des couvertures du faisceau des voies issues de la Gare d'Austerlitz a été réalisé par Pierre Foqué d'Egis ; ce travail vient compléter les travaux de la tâche 1.

- *The covering of roads and railways of the new Zuidas area south of Amsterdam, a new business district close to Schiphol International Airport, crossed by the A10 motorway and railway lines. Project doubly interesting, by its scale, and by the game of actors it generated. The initial project, which provided full coverage of roads and railways, and the construction of buildings above the covered roads, on private financing of infrastructure as part of the planned real estate transactions, had to be abandoned as a result of the "subprime" crisis. After close consultation between public and private actors, in the tradition of "Dutch dialogues", a more modest project was selected, with coverage of roads only, under public financing, coverage of railways and of buildings above being postponed to more favorable times.*

*As part of a study tour in Holland we started fruitful discussions with Bert van Eekelen, urban planner and researcher, author of a recently published book on Zuidas project. It gave us also the opportunity to read a very complete research work on the development of real estate projects over urban rail networks, whose results were published by Sebastiaan de Wilde in Rail Estate.*

*Finally, on the occasion of investigations for different tasks, we had many contacts with SEMAPA for Paris Rive Gauche project, which fully illustrates by its scope and variety the potential of infrastructure covers in urban areas, and became the reference project of our research work. As part of task 5, an important work of compilation of various technical solutions implemented within the covers of the railways to and from "Gare d'Austerlitz" was directed by Pierre Foqué of Egis. This work complements the work of Task 1.*



**Figure 2 : le site de « Zuidas », au Sud d'Amsterdam.**  
**Figure 2: « Zuidas », South Amsterdam.**

### 3. ASPECTS JURIDIQUES

Les réflexions sur les aspects juridiques des projets de couverture, dirigés par le Pr Rozen Noguellou, et réalisés par Laura Preud'homme, doctorante, ont été menées sur la base d'enquêtes et d'analyse relatives à quatre projets : Paris Rive Gauche, la dalle des Olympiades à Paris, la couverture du Boulevard Périphérique Porte des Lilas, et la ZAC des Batignolles à Paris. Les projets de couverture, compte tenu de la superposition des ouvrages et des fonctions, soulèvent un certain nombre de problèmes juridiques particuliers, notamment en ce qui concerne le partage de la propriété et la gestion contractuelle des opérations.

Le partage de la propriété est essentiellement un partage en volume (notion introduite historiquement dans le cadre du projet de la Défense), entre le propriétaire de la voirie couverte, celui de la dalle et éventuellement celui des immeubles construits au-dessus de la dalle. La dalle elle-même peut faire l'objet d'une division en surface. Deux projets illustrent particulièrement les problèmes rencontrés, la dalle des Olympiades d'une part et Paris Rive Gauche d'autre part. La dalle des Olympiades ressort en fait de l'urbanisme de dalle plus que de la couverture d'infrastructure de transport, mais illustre les difficultés potentielles d'une approche du partage de la propriété qui a consisté à donner la propriété de la dalle aux propriétaires des immeubles, dans le cadre de copropriétés. Ces propriétaires n'ayant pas la capacité financière ni la structure nécessaire pour faire face à l'entretien de la dalle, celle-ci n'est pas entretenue, ce qui conduit à une situation de dégradation progressive non résolue à ce jour. À l'autre extrémité du spectre, dans le cadre du projet Paris Rive Gauche, compte tenu de son ampleur et de sa durée, les acteurs ont pu mettre en place une approche élaborée du partage de la propriété entre RFF, propriétaire de l'infrastructure et des appuis de la dalle, la SEMAPA, propriétaire des surfaces de dalle destinées à l'espace public, et les propriétaires des immeubles, publics ou privés, qui sont aussi propriétaires des dalles situées au droit de leurs immeubles. Au démarrage du projet la propriété de certaines dalles a été partagée dans l'épaisseur entre RFF pour le dessous et la SEMAPA pour le dessus, mais cette disposition a été abandonnée. Comme cela est le cas dans des situations plus courantes, les interfaces entre propriétés donnent lieu à des servitudes.

En ce qui concerne les montages contractuels, on distingue en premier lieu les montages avec maîtrise d'ouvrage publique et ceux avec maîtrise d'ouvrage privée. Dans le premier cas on se situera dans le cadre d'un marché public de travaux, régi par le Code des Marchés Publics et la loi MOP. Ce cadre, bien connu et bien maîtrisé par les maîtres d'œuvre publics, peut présenter deux inconvénients : d'une part il nécessite le financement public de l'ensemble de l'opération, d'autre part il ne facilite pas la prise en compte dans le projet de l'ensemble des complexités techniques, notamment de réalisation. D'où le recours à des montages sous maîtrise d'ouvrage privée, avec quatre options disponibles : la concession de travaux, le contrat de partenariat public-privé, le bail emphytéotique administratif et la concession d'aménagement, qui présentent l'intérêt de

### 3. LEGAL ASPECTS

*Reflections on the legal aspects of cover projects, led by Prof. Rozen Noguellou, and produced by Laura Preud'homme, PhD, were conducted on the basis of surveys and analysis on four projects: Paris Rive Gauche, Olympiades District in Paris, Paris Ring Road cover at Porte des Lilas, and "ZAC des Batignolles" in Paris. Cover projects, calling for the superposition of structures and functions, raise a number of specific legal problems, particularly regarding the division of property and contractual issues.*

*The ownership division is essentially a volume division (concept historically introduced as part of "La Défense" business district development), between the owners of the covered road, of the cover itself and possibly of the buildings constructed above. The cover itself may be divided into areas. Two projects in particular illustrate the problems encountered, the cover of the "Olympiades" on the one hand and Paris Rive Gauche on the other. "Olympiades" cover belongs in fact to "urbanisme de dalle" more than just transportation infrastructure covering, but illustrates the potential difficulties of an approach of property division that was to give the cover property to the co-owners of the buildings. As these owners do not have the financial capacity nor the structure to deal with the maintenance of the slab, it is not maintained. This situation lead to a gradual degradation situation unresolved to this day. At the other end of the spectrum, in the case of Paris Rive Gauche project, given its size and duration, the actors were able to develop a sophisticated approach of shared ownership between RFF, infrastructure and cover supports owner, SEMAPA, owner of cover surfaces used as public space, and the buildings owners, public and private, who are also owners of the covers located right under their buildings. At the early stages of the project, ownership of certain slabs had been divided in layers between RFF for the lower layer and SEMAPA for the higher, but this provision was later abandoned.*

*Regarding the contractual arrangements, there are primarily those with public owners acting directly, and those with private entities acting on behalf of public owners, under delegation. In the first case it will be in the context of a public works contract, governed by the Public Procurement Code and the MOP law. This framework, well known and well controlled by public agencies, may have two disadvantages: it requires public financing of the entire operation, and it does not facilitate the integration in the project of all the technical complexities, including construction issues. Hence the use of contracts that transfer temporarily the owners right and duties to a private entity, with four options available: works concession, public-private partnership contract, administrative long lease and "concession d'aménagement", which have the advantage of deferring all or part of the financing costs to the private client, and imposing a logic of constructive and economic performance. Works concession, which assumes the remuneration of the other party (the private temporary owner) with a toll, is not suited to this type of project. Installing a toll to cross the ring road or the Avenue de*

reporter tout ou partie du financement sur le maître d'ouvrage privé, et de lui imposer une logique de performance constructive et économique. La concession de travaux, qui suppose la rémunération du co-contractant (le maître d'ouvrage privé) par un péage, n'est pas adaptée à ce type de projet. On voit mal en effet l'installation d'un péage pour traverser le Boulevard Périphérique ou l'Avenue de France ! Le choix entre les trois autres solutions dépend du type de projet. Le partenariat public privé suppose des conditions particulières de complexité ou d'urgence. La concession d'aménagement s'impose lorsque la cession de bien fait partie du processus, et apparaît comme la solution la mieux adaptée en général.

#### 4. JEUX D'ACTEURS

Dans le prolongement des réflexions sur les montages contractuels des projets de couverture, les travaux de la tâche 3, engagés par Joël Idt et Stéphanie Leheis (Université Paris Est, Lab'Urba, département Génie Urbain), portent sur l'analyse organisationnelle des modes de pilotage de ces projets. L'objectif est de mettre en lumière la façon dont les acteurs s'organisent, et de repérer les principales difficultés en termes de coordination dans l'action collective. Il ne s'agit pas de définir une organisation idéale, donnant les clés d'une coordination réussie entre les acteurs, et à ce titre il est important de rappeler d'emblée qu'il n'existe pas d'organisation « idéale » d'un projet, chaque projet appelant une organisation spécifique. En revanche, cette analyse vise à apporter un éclairage sur les problèmes et les difficultés de coordination, ce qui permettra aux acteurs de repérer des points de vigilance pour la mise en œuvre de tels projets.

Lors de la réalisation d'une couverture, plusieurs acteurs, ayant chacun une action à réaliser, des compétences et des savoirs, doivent agir ensemble pour construire un objet. Entre celui qui construit la dalle de couverture, celui qui en aménage la surface, ou celui qui gère l'infrastructure du dessous, les acteurs impliqués sont dans une situation d'interdépendance où les actions de l'un impactent celles de l'autre. Il s'est agi dans cette tâche de questionner les coopérations entre les acteurs, et de repérer les dispositifs qu'ils peuvent mettre en œuvre pour organiser cette coopération. Sur ce point, la sociologie des organisations et de l'action publique fournit des pistes de réflexions pour mettre en lumière la façon dont les acteurs agissent dans une situation d'action collective. Le cadre d'analyse qui en découle permet de comprendre les situations d'interdépendances entre les acteurs, les stratégies que les acteurs peuvent mettre en œuvre dans ce contexte, et les dispositifs construits pour régir ces situations d'interdépendances et organiser l'action collective.

Chacun des projets étant le plus souvent porté par des acteurs différents, appartenant à des corps professionnels distincts, c'est aux interfaces que l'on retrouve les principales difficultés d'action collective, avec des acteurs qui s'inscrivent chacun dans une démarche de projet, qui ont donc un calendrier et des contraintes propres, ne parlent pas forcément le même langage, mais sont amenés à se coordonner pour gérer l'articulation entre les multiples dimensions du projet de couverture.

*France is not realistic! The choice between the three other alternatives depends on the type of project. The public-private partnership requires special conditions of complexity or urgency. The development concession, which is required when the sale of property is part of the process, appears to be generally the best solution.*

#### 4. JEUX D'ACTEURS

*In continuation to the reflections on the contractual arrangements of cover projects, the work of Task 3, performed by Joel Idt and Stephanie Leheis (East Paris University Lab'Urba, Urban Engineering department), relate to organizational analysis of the way these projects are driven. The objective is to highlight how the actors are organized, and to identify the main challenges in terms of coordination within collective action. The idea is not to define an ideal organization, giving the keys to a successful coordination between actors, and as such it is important to note at the outset that there is no "ideal" organization of a project, each project requiring a specific organization. However, this analysis aims at shedding light on the problems and difficulties of coordination, to help potential actors to identify critical issues for the implementation of such projects*

*When constructing a cover, several actors, each having an action to perform, with their skills and knowledge, must act together to build an object. Between the one who build the covering structure, the one who equip the surface, or the one that manages the infrastructure below, the actors involved are in a situation of interdependence where the actions of one impact the others'. This task was to question the cooperation between actors, and to identify features that they can implement to organize this cooperation. On this point, the sociology of organizations and public action provides lines of thought to highlight the way the actors react and operate in a collective action situation. The resulting analysis framework helps understanding the situations of interdependencies between actors, the strategies that actors can implement in this context, and devices built to govern these interdependencies situations and organize collective action.*

*Each project usually being carried out by different actors belonging to different professional body, it is at the interfaces that are found the main difficulties of collective action, with players who follow each their own process, with their own timetable and constraints, do not necessarily speak the same language, but have to coordinate themselves to manage the interferences between the multiple dimensions of the cover project.*

*The technical characteristics of the cover (length, width, capacity, materials, etc.) have a pivotal role on games of*

Les caractéristiques techniques de la couverture (longueur, largeur, portance, matériaux, etc.) ont un rôle structurant sur les jeux d'acteurs et sur les modalités de coordination entre les acteurs. Des contraintes fortes s'imposent sur cet objet, en particulier celles liées à la sécurité de l'ouvrage et à sa réalisation, de sorte que la couverture peut être considérée comme un ouvrage d'art coûteux et complexe. Les choix techniques qui sont faits, par exemple sur le type de couverture, sont ensuite déterminants pour les options d'aménagements en surface. Les jeux d'acteurs s'en trouvent modifiés et fortement contraints. Ainsi, les acteurs qui aménagent la dalle en surface doivent souvent faire face à des contraintes imposées par les caractéristiques de la dalle, sur lesquelles il n'est pas toujours possible de revenir. Les modalités de coordination entre les acteurs sont ainsi en partie déterminées par les caractéristiques techniques de l'ouvrage. L'analyse met en lumière le poids de ces caractéristiques techniques et les marges de manœuvre sur lesquelles les acteurs peuvent jouer pour se coordonner. Le dispositif d'enquête s'appuie sur plusieurs études de cas. Trois cas exploratoires ont d'abord été analysés, de façon à tester et préciser la grille d'analyse : la réalisation de la rocade L2 à Marseille, la couverture de l'A6 dans le Val de Marne, et la couverture du Boulevard Périphérique, Porte des Lilas à Paris.

Ces études de cas exploratoires ont permis par exemple de mettre en lumière la multiplicité des logiques qui justifient un projet de couverture d'infrastructure : réduire les nuisances, créer du foncier, réorganiser un quartier en supprimant une coupure urbaine, repenser des flux de transport en les enterrant (pour en augmenter la vitesse en toute sécurité par exemple), etc. On observe au minimum une combinaison de deux stratégies : l'une liée aux transports, et qui concerne l'infrastructure du dessous (ce qu'elle apporte en terme d'amélioration des circulations, et son inscription dans une politique de transport pensée à l'échelle métropolitaine et pas seulement locale), l'autre liée à l'aménagement urbain (relative au traitement des dalles et à leur articulation par rapport à l'espace urbain). A la suite de cette étude exploratoire, une enquête de terrain et une analyse détaillée et comparative de cinq cas de couvertures a été menée : la couverture des voies ferrées existantes au sortir de la gare d'Austerlitz dans la ZAC Paris Rive Gauche, l'élargissement d'une partie du réseau ferroviaire autour de Bruxelles accompagné par endroit de portions de couvertures, la couverture d'une voie rapide urbaine et la réalisation d'une ligne de tramway en surface à Karlsruhe, l'enfouissement de l'A55 à Marseille dans le cadre du projet Euroméditerranée, la réalisation en tranchée couverte d'une section de voie rapide à Gennevilliers. Le choix des projets répond à une exigence de travailler sur plusieurs types de couverture, pour lesquelles les interactions entre l'ouvrage d'art et son environnement urbain sont particulièrement fortes.

Les analyses de terrain ont donné lieu d'abord à un travail sur les données bibliographiques, techniques, cartographiques, etc., relatives aux projets sélectionnés, de façon à repérer les caractéristiques principales de ces projets et les acteurs impliqués. Ensuite des entretiens ont été réalisés auprès des acteurs du projet. Le panel des interviews com-

*actors and on the modalities of coordination between actors. Strong constraints are imposed upon this object, particularly those related to the safety of the structure and to its implementation, so that the cover can be viewed as a costly and complex work of art. The technical choices made, for example on the type of coverage, are determining the amenities options on the surface. As a result actors games are modified and deeply constrained. Thus, the actors who plan the surface installations often face constraints imposed by the characteristics of the structural cover, on which it is not always possible to go back. The methods of coordination between actors are thus partly determined by the technical characteristics of the work. The analysis highlights the importance of these characteristics and leeways on which actors can play to coordinate themselves.*

*The enquiry methodology was based on several case studies. Three exploratory cases were first analyzed in order to test and refine the analysis grid: the completion of the bypass L2 in Marseille (a roadway infrastructure), the coverage of the A6 Motorway in the Val de Marne, and coverage of Paris Ring Road - Porte des Lilas.*

*These exploratory case studies allowed for example to highlight the multiplicity of logics that justify an infrastructure cover project: reduce pollution, create land, rearrange a neighborhood by removing an urban cut, rethink of transport flows in burying them (to increase speed safely, for example), etc. There is a combination of at least two strategies: one related to transport and the infrastructure below (what it brings in terms of improvement of traffic, and its inclusion into a metropolitan, not just local, transport policy), the other related to urban development (relative to the treatment of covers and their articulation with the urban space).*

*Following this exploratory study, a field survey and a detailed and comparative analysis of five case-covers was conducted: the covering of existing railways at the exit from Austerlitz Station in ZAC Paris Rive Gauche, the widening of part of the railway network around Brussels accompanied by localized covers, covering of an urban expressway accompanied by construction of a surface tramway in Karlsruhe, burying the A55 in Marseille within the Euro-Mediterranean project, a cut and cover expressway section in Gennevilliers. Project selection meets a requirement to work on several types of cover, for which the interaction between civil works and urban environment are particularly high.*

*Field enquiries resulted first in a work on bibliographic, technical, topographical data, on selected projects, so as to identify the main features of these projects and the actors involved. Then interviews were conducted with project stakeholders. The panel includes actors from the owners teams and from the project management teams, stakeholders involved with the infrastructure below, the cover or surface facilities. Two levels of analysis were identified: the level of institutions and groups of actors (with their standards and technical universe), and the level of individuals (to identify actors systems within an institution). In total, approximately ten interviews for each case study, ie a total of fifty interviews, were conducted.*



prend des acteurs de la maîtrise d'ouvrage comme de la maîtrise d'œuvre, des acteurs concernés par l'infrastructure du dessous, par la dalle ou bien par les aménagements de surface. Deux niveaux d'analyse ont été repérés : le niveau des institutions et des groupes d'acteurs (avec leurs référentiels et univers techniques), et le niveau des individus (pour repérer les systèmes d'acteurs à l'intérieur d'une institution). Au total, une dizaine d'entretiens par étude de cas, représentant un total d'une cinquantaine d'entretiens, a été réalisée.

Finalement, l'analyse a été structurée autour de deux ensembles de questionnements :

- Comment caractériser les interdépendances (physiques, techniques et fonctionnelles, mais aussi politiques, économiques et contractuelles) au sein d'un système comportant la dalle de couverture, l'infrastructure couverte, la surface de la dalle et ses abords ?
- Comment les acteurs agissent-ils dans ces situations d'interdépendance, et comment se coordonnent leurs actions ?

Il n'est pas possible de restituer cette analyse dans toute sa complexité dans le cadre de cet article, et le travail ainsi accompli constitue avant tout un retour d'expérience structuré par une grille analytique, et ne peut se traduire par des recommandations dans la mesure où il n'y a pas, comme cela a été dit plus haut, d'organisation idéale d'un projet. On retiendra toutefois :

- L'importance des structures intermédiaires auxquelles est confiée la maîtrise d'ouvrage de tout ou partie du projet, afin d'en faciliter la coordination : MPM pour Euromed, KASIG à Karlsruhe, SEMAPA pour Paris Rive Gauche, TUC rail pour le projet RER de Bruxelles.
- L'importance du dialogue entre acteurs, afin d'harmoniser les projets et leurs temporalités propres.
- Le poids des dispositifs de contractualisation, comme cela a été évoqué dans le cadre des aspects juridiques.
- L'intérêt de faire émerger des solutions techniques innovantes, ce qui nécessite la mise en place d'une maîtrise d'œuvre indépendante de la maîtrise d'ouvrage, aussi transversale que possible, afin de promouvoir une vision globale du projet et de concevoir les ouvrages en conséquence.
- L'intérêt évident pour de tels projets, comprenant une multitude d'interfaces et où les dimensions formelles (nivèlement, cheminements,...) et structurelles des projets sont des dimensions centrales des négociations, de mettre en place une Maquette Numérique, au sens large de ce terme, c'est-à-dire un ensemble de bases de données interactives et partagées entre tous les acteurs du projet, dès la phase de conception et pour tout le cycle de vie de l'ouvrage.

## 5. OUTILS DE DIAGNOSTIC ET D'ÉVALUATION - ANALYSE FONCTIONNELLE

La multiplicité des acteurs concernés, la considération multi-scalaire et l'intégration de la temporalité, en plus des contraintes contextuelles et techniques, font que la prise de décision dans le cas des couvertures d'infrastructures

Finally, the analysis was structured around two sets of questions:

- How to characterize the interdependencies (physical, technical and functional, but also political, economic and contractual) within a system with the cover, the covered infrastructure, the surface and the surroundings?
- How do actors act in these situations of interdependence, and how their actions are coordinated?

It is not possible to restore this analysis in all its complexity in the context of this paper. This work is primarily a feedback structured by an analytical grid, and cannot result into recommendations since there is not, as was been said before, an ideal organization of a project. However, we may point out:

- The importance of intermediate structures to which is entrusted the project management of all or part of the project, in order to facilitate coordination: MPM for Euromed, KASIG in Karlsruhe, SEMAPA for Paris Rive Gauche, TUC rail for RER project Brussels.
- The importance of dialogue between stakeholders, in order to harmonize projects and their proper temporality.
- The weight of contractual arrangements, as has been mentioned in the analysis of legal aspects,
- The interest of innovative technical solutions, which requires the establishment of an independent project management, as transverse as possible, to promote a global vision of the project and produce a design that reflects this vision.
- The obvious interest in such projects, including a multitude of interfaces and where topography (leveling, paths,...) and structural solutions are central to negotiations, to establish a BIM approach, with a set of interactive databases shared among all stakeholders of the project, from the design phase and for the entire life cycle of the project.

## 5. DIAGNOSIS AND EVALUATION TOOLS - FUNCTIONAL ANALYSIS

The multiplicity of actors involved, the multi-scale consideration and the integration of temporality, added to contextual and technical constraints, result into a decision process that is often chaotic and rarely concerted. The objective of the research work conducted by

urbaines est un processus souvent chaotique et trop rarement concerté. L'objectif du travail de recherche mené par Marina Maurin sous la direction de Katia Laffrêchine et Denis Morand (Université Paris-Est – Marne-la-Vallée – équipe de génie urbain du Lab'Urba) dans le cadre de la tâche 4 est de mettre au point des outils et des méthodes d'évaluation qui permettent aux acteurs des prises de décisions mieux fondées et plus cohérentes. Dans ce but un travail de modélisation des couvertures a été engagé.

Les couvertures, interventions urbaines importantes, se confrontent à des problématiques diverses liées au contexte urbain dans lequel elles s'intègrent et principalement aux infrastructures qu'elles recouvrent. Celles-ci, implantées et développées par soucis de mobilité, d'urbanisation et d'accessibilité sont souvent ressenties et décrites localement (par les riverains et/ou usagers de l'espace) comme des « monstres urbains » aussi bien visuels que sonores. Des désagréments relatifs à la pollution atmosphérique et aux vibrations sont aussi largement évoqués. D'un point de vue structurel et technique, l'infrastructure tient lieu de coupure urbaine entre les deux rives qu'elle génère. Celle-ci engendre des difficultés de franchissement des réseaux et une partition morphologique du territoire urbain.

La démarche consiste d'une part à observer et analyser les couvertures d'infrastructures dans leur contexte et environnement urbain immédiat et d'autre part à mener une réflexion théorique, l'enjeu étant de saisir, comprendre et appréhender la complexité des territoires urbains intégrant (ou allant intégrer) ces objets de génie civil au-dessus d'infrastructures de transports routiers ou ferroviaires pour les modéliser et proposer des méthodes et des outils d'évaluation. L'approche méthodologique présentée dans ce document est focalisée sur l'observation et l'analyse de couvertures d'infrastructures urbaines, dont la plupart sont référencées dans la base de données élaborées dans le cadre de la tâche 1 de ce projet.

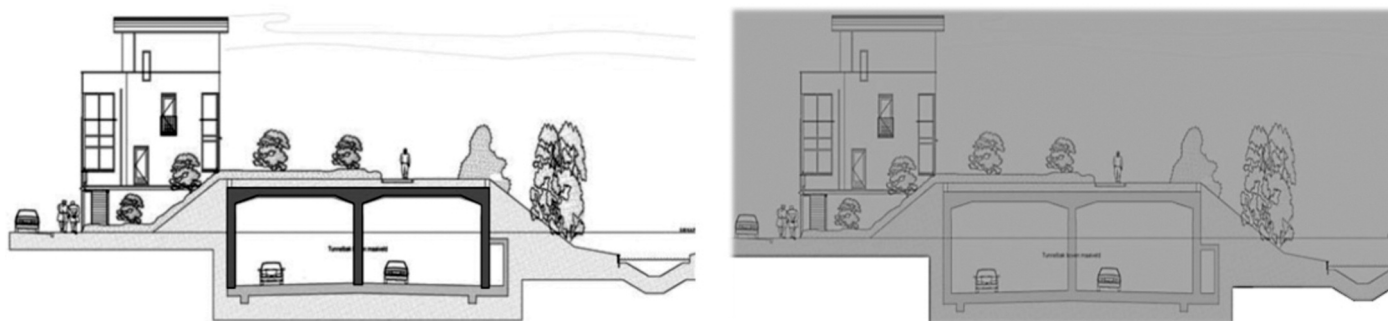
L'ouvrage de génie civil couverture, recouvrant totalement ou partiellement des voies d'infrastructures de transport, est considéré comme un **objet technique urbain**. La couverture se positionne comme une interface structurelle tridimensionnelle entre un dessus (espace urbain) et un dessous (l'infrastructure de transport) d'une part, et dans le plan horizontal entre les deux rives du dessus d'autre part. La définition de la couverture ne peut donc pas se cantonner à l'étude de l'ouvrage de génie civil. Celle-ci doit intégrer un second périmètre, plus large, correspondant au territoire du projet d'aménagement dans lequel elle s'implante. Deux périmètres importants se dessinent : un péri-

*Marina Maurin and led by Katia Laffrêchine and Denis Morand (Université Paris-Est – Marne-la-Vallée – urban engineering team Lab'Urba), as part of Task 4, is to develop tools and assessment methods that allow players to make better founded and more consistent decisions. For this purpose a modeling work of covers has been developed.*

*Covers, which are significant urban operations, are confronted with various issues related to the urban context in which they fit, in particular with the infrastructure they cover. These, established and developed for the sake of mobility, urbanization and accessibility, are often felt and described locally (by local residents and / or users of the space) as "urban monsters" both visually and noise wise. Inconveniences related to air pollution and vibrations are also widely discussed. From a structural and technical point of view, the infrastructure serves as urban divide between the two sides it generates. This creates networks crossing difficulties and morphological partition of the urban territory.*

*The approach is first to observe and analyze the infrastructure covers in their context and immediate urban environment and also to conduct a theoretical reflection, the challenge being to capture, understand and grasp the complexity of urban areas including (or up to integrate) the civil engineering objects over road or rail transport infrastructure, to model and propose methods and assessment tools. The methodology presented in this paper is focused on the observation and analysis of urban infrastructure covers, most of which are referenced in the database developed under Task 1 of the project.*

*The structural cover, fully or partially covering the transport infrastructure is considered as an **urban technical object**. The cover is positioned on one hand as a three-dimensional structural interface between an upper volume (urban area) and a lower volume (transportation infrastructure), and on the other hand in plane as an interface between two sides of the urban fabric. The definition of a cover cannot therefore be confined to the study of civil engineering works. This should incorporate a second perimeter, wider, corresponding to the territory of the urban development project in which it is set. Two important areas are emerging: **a structural perimeter and a project perimeter**. The first perimeter adopts the physical contours of the civil engineering work. It is the cover (red, Figure 3). The second perimeter corresponds to the urban area directly affected by the operation of coverage: the limits of*



**Figure 3 : Les différentes échelles de la couverture d'infrastructures - projet de Sijtwende en Hollande (Marina Fund-Maurin).**  
**Figure 3: The different scales of a cover - Sijtwende project in Holland (Marina Fund-Maurin).**

mètre structurel et un périmètre projet. Le premier périmètre, **structurel**, adopte les contours physiques de l'ouvrage de génie civil. Il s'agit de **la couverture** (en rouge, Figure 3). Le second périmètre correspond au territoire urbain directement concerné par la mise en place de la couverture : les limites de l'**opération d'aménagement** autour de la couverture (à droite, Figure 3).

Une autre représentation de ces deux périmètres est proposée Figure 4. Les périmètres structurel et de l'opération d'aménagement sont représentés schématiquement en plan puis reportés sur l'opération de couverture de la porte des Lilas à Paris.

Le système retenu, dans le cadre de ce projet de recherche, est donc le **système urbain de couverture**, dont le périmètre correspond à l'opération d'aménagement dans lequel vient se greffer la couverture. Ce système est également qualifié d'**environnement** de la couverture.

L'analyse fonctionnelle de la couverture d'infrastructure de transport en milieu urbain vise à proposer un modèle descriptif et structuré **du fonctionnement du système urbain couverture**. Celui-ci doit être intelligible par l'ensemble des acteurs concernés par ces projets particuliers.

L'analyse de la Base de Données de la tâche 1 permet d'identifier clairement que les couvertures sont programmées pour répondre à des problématiques de nuisances (sonores, pollution, coupure urbaine...). Afin de caractériser clairement ces nuisances, la modélisation du processus nuisance / gêne a été menée en utilisant la méthode NIAM. Cette modélisation fine a permis d'identifier le **conflit** entre le dessus et le dessous. Ce conflit est repris dans l'analyse systémique, il traduit la finalité du système "couverture dans son environnement urbain". L'analyse systémique est conduite par la méthode APTE, méthode par laquelle des fonctions principales et de contraintes sont identifiées et hiérarchisées. La couverture est soumise à une analyse fonctionnelle externe. Autrement dit, il s'agit de s'intéresser au fonctionnement et au comportement de la couverture dans son environnement. Le choix de centrer la méthode sur l'objet

the urban development project around the cover (right, Figure 3).

Another representation of these two areas is provided in Figure 4. The structural perimeters and the urban development operation perimeter are shown schematically in plan and in the context of Porte des Lilas area in Paris.

The system adopted in the framework of this research project is the **urban cover system** which encompasses the urban development area inside which the cover is built. This system is also qualified as the cover **environment**.

Functional analysis of the urban transport infrastructure cover aims at providing a descriptive and structured model of the functioning of urban cover systems. It must be intelligible by all actors involved in these particular projects.

The analysis of the task 1 database clearly identifies that the covers are programmed to respond to issues of pollution (noise, atmospheric pollution, urban disconnection...). To clearly characterize these nuisances, the process modeling nuisance / trouble was conducted using NIAM method. This detailed modeling has identified the conflict between top and bottom. This conflict is introduced into the system analysis, as it reflects the purpose of the system "coverage in the urban environment." System analysis is conducted by the APTE method, method by which the main functions and constraints are identified and prioritized.

The cover is subjected to an external functional analysis. In other words, we focus upon the functioning and behavior of the cover in its environment. The choice to focus upon the engineering object has the advantage of identi-

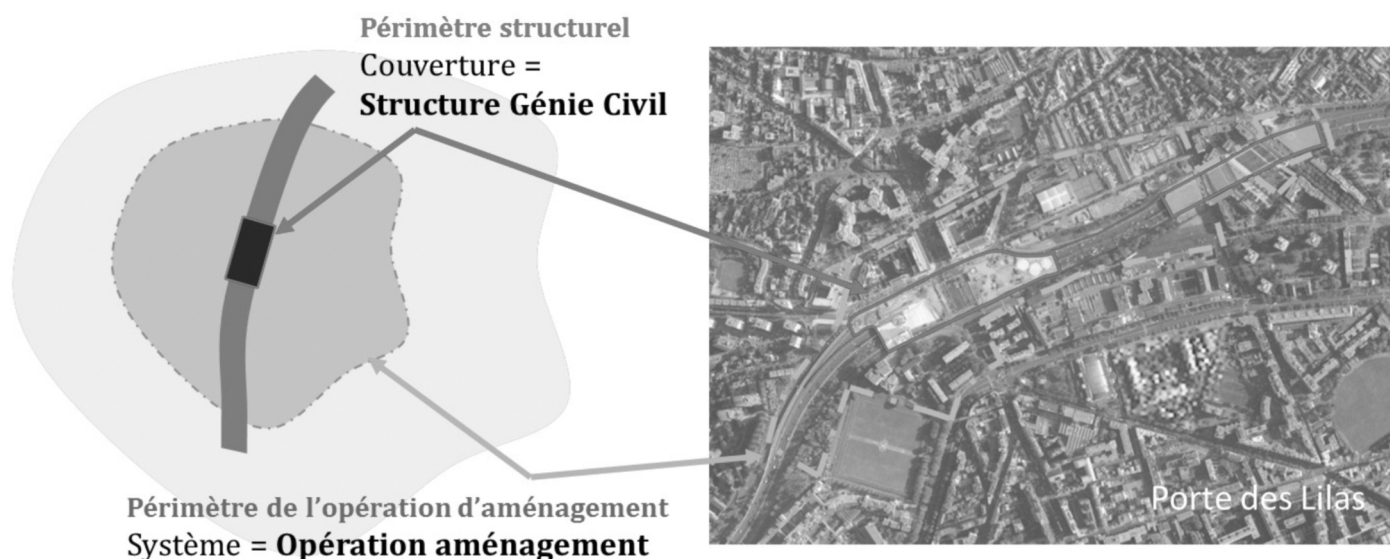


Figure 4 : Les périmètres considérés pour la couverture d'infrastructures (Marina Fund-Maurin).  
Figure 4: The perimeters considered for a cover (Marina Fund-Maurin).

de génie civil présente l'avantage d'identifier l'ensemble du fait de couvrir l'infrastructure sur et dans son environnement. Par ailleurs, du fait de la pérennité de l'ouvrage et des limites spatiales retenues, la phase d'analyse fonctionnelle interne s'apparente à une analyse structurelle de génie civil. Cette phase, dont l'objet est la spécification technique du besoin est une partie du travail de recherche effectué dans la tâche 5 du projet, décrit au chapitre 6.

Il n'est pas possible dans le cadre de cet article de présenter l'analyse fonctionnelle qui a été menée sur la base de la méthode APTE. Nous mentionnerons toutefois la définition des fonctions principales et des fonctions de contrainte identifiées.

**Les fonctions principales** expriment les interactions, induites par la couverture, entre deux environnements, ou éléments de l'environnement, ou d'un environnement et lui-même. L'environnement de la couverture, ou espace urbain, a été scindé en quatre environnements : *environnement mobile*, *environnement équipé*, *environnement habité*, et *environnement actif*.

Un **espace urbain** supporte les activités diverses des populations. En se référant à la typologie de populations proposée et aux *supports* associés, une décomposition de l'espace se révèle assez logiquement : un **espace mobile**, un **espace habité**, un **espace actif** et un **espace équipé**. De cette manière chaque type de populations s'appuie sur l'espace associé (population mobile sur l'espace mobile, population riveraine sur l'espace habité, population active sur le territoire actif et population usager sur l'espace équipé) pour exercer son activité (Figure 5).

Ces quatre espaces sont bien définis selon une typologie fonctionnelle et non géographique. En ce sens, ils peuvent se juxtaposer spatialement. Cette décomposition se base sur les quatre fonctions urbaines : *Ville mobile*, *Ville résidentielle*, *Ville active* et *Ville équipée*. Précepte adopté, implémenté et utilisé tant de façon méthodologique qu'opérationnelle par l'agence d'urbanisme et de programmation urbaine Alphaville. Ces fonctions font également écho aux travaux de Le Corbusier et notamment aux enseignements de La Charte d'Athènes. En pratique, des études d'impact utilisent également ce découpage en fonctions urbaines pour appuyer leurs expertises. Ce modèle présente l'intérêt d'aborder le territoire et la ville selon une approche fonctionnelle (et systémique) en se basant à la

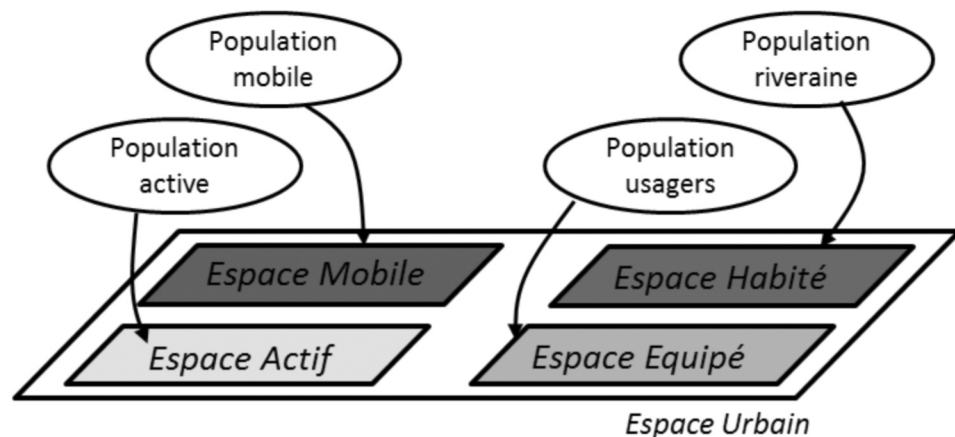
*ifying the overall operation of covering the infrastructure in its environment. Moreover, due to the durability of the structure and of its spatial boundaries, the internal functional analysis phase is similar to a structural analysis of civil engineering. This phase, whose purpose is the technical specification of the required structure is one part of the research work done in task 5 of the project, described in Chapter 6.*

*It is not possible within the scope of this paper to present the functional analysis that was conducted on the basis of the APTE method. However, we mention the definition of the main functions and of the constraint functions that have been identified.*

**The main functions** express the interactions, induced by the cover, between two environments, or elements of the environment, or an environment and itself. The environment of the cover, or urban space, has been divided into four environments: *mobile environment*, *equipped environment*, *inhabited environment*, and *active environment*.

*An urban space supports various activities of people. Referring to the population typology proposed and the associated supports, a decomposition of space appears logically: a mobile space, a living space, an active space and an equipped space. In this way each type of population is based on the associated space (mobile population in the mobile space, local population on the living space, working population on the active space, user population on the equipped space) to exercise its activity (Figure 5).*

*These four areas are well defined into a functional, non-geographic, typology. In this sense, they can be juxtaposed spatially. This breakdown is based on the four urban functions: Mobile City, Residential City, active city and equipped city. Precept adopted, implemented and used in a methodological and operational manner by the urban programming and planning agency Alphaville. These functions also echo the work of Le Corbusier and especially the teachings of the Charter of Athens. In practice, impact studies also use this division into urban functions to support their expertise. This model has the advantage of addressing the territory and the city under a functional (and systemic) approach based on both the urban composition and the practices of people.*



**Figure 5 : Déclinaison de l'espace urbain en sous espaces et action des populations associées (Marina Fund-Maurin).**  
**Figure 5: Division of the urban space in sub-spaces and associated populations (Marina Fund-Maurin).**

fois sur la composition urbaine et sur les pratiques de la population qui y évolue.

L'étude des interactions entre chacun des quatre environnements via la couverture a permis d'identifier **onze fonctions principales**. Le Tableau 1 liste ces fonctions en précisant les environnements extérieurs considérés.

FP	Intitulé de la fonction	Environnement 1	Environnement 2
FP01	Créer une proximité entre espace mobile et espace habité / Assurer l'accessibilité de l'espace habité pour les populations	Environnement mobile	Environnement habité
FP02	Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure	Environnement mobile	Environnement habité
FP03	Créer une proximité entre espace mobile et espace actif / Assurer l'accessibilité de l'espace actif pour les populations	Environnement mobile	Environnement actif
FP04	Protéger l'espace actif des nuisances environnementales générées par l'infrastructure	Environnement mobile	Environnement actif
FP05	Créer une proximité entre espace mobile et espace équipé / Assurer l'accessibilité de l'espace équipé pour les populations	Environnement mobile	Environnement équipé
FP06	Créer une proximité entre espace mobile et espace mobile / Assurer l'accessibilité de l'espace mobile pour les populations	Environnement mobile	Environnement mobile
FP07	Protéger l'espace mobile des nuisances environnementales générées par l'infrastructure	Environnement mobile	Environnement mobile
FP08	Créer une proximité entre espace habité et espace équipé	Environnement habité	Environnement équipé
FP09	Protéger l'espace équipé des nuisances environnementales générées par l'infrastructure	Environnement mobile	Environnement équipé
FP10	Créer une proximité entre espace actif et espace équipé	Environnement actif	Environnement équipé
FP11	Créer une proximité entre espace habité et espace actif	Environnement habité	Environnement actif

**Tableau 1 : Fonctions principales de la couverture d'infrastructure urbaine (Marina Fund-Maurin).**

*The study of interactions between each of the four environments through the cover identified **eleven main functions**. Table 1 lists these functions while specifying outdoor environments considered.*

FP	Function description	Environnement 1	Environnement 2
FP01	Create a proximity between mobile space and inhabited space / Ensure accessibility of inhabited space for people	Mobile environment	Inhabited environment
FP02	Protect the living space from environmental pollution generated by the infrastructure	Mobile environment	Inhabited environment
FP03	Create a proximity between mobile space and active space / Ensure accessibility of active space for people	Mobile environment	Active environment
FP04	Protect the active space from environmental pollution generated by the infrastructure	Mobile environment	Active environment
FP05	Create a proximity between mobile space and equipped space / Ensure accessibility of equipped space for people	Mobile environment	Equipped environment
FP06	Create a proximity between mobile space and mobile space / Ensure accessibility of mobile space for people	Mobile environment	Mobile environment
FP07	Protect the mobile space from environmental pollution generated by the infrastructure	Mobile environment	Mobile environment
FP08	Create a proximity between inhabited space and equipped space	Inhabited environment	Equipped environment
FP09	Protect the equipped space from environmental pollution generated by the infrastructure	Mobile environment	Equipped environment
FP10	Create a proximity between active space and equipped space.	Environnement actif	Environnement équipé
FP11	Create a proximity between inhabited space and active space	Inhabited environment	Active environment

**Table 1: Main functions of the urban infrastructure cover (Marina Fund-Maurin).**

**Les fonctions de contrainte** expriment les interactions directes entre un milieu extérieur ou composant et la couverture. L'étude des interactions de chacun de quatre environnements avec la couverture a permis d'identifier **neuf fonctions de contrainte**. Le tableau 2 liste ces fonctions en précisant les environnements extérieurs en interaction directe avec la couverture.

FC	Intitulé de la fonction	Environnement en interaction directe avec la couverture
FC01	Assurer le confort des populations sur l'espace mobile	Environnement mobile
FC02	Créer du foncier à destination de l'espace mobile / Créer de l'espace mobile	Environnement mobile
FC03	Assurer l'efficacité de l'infrastructure de transport	Environnement mobile
FC04	Créer du foncier à destination de l'espace équipé / Créer de l'espace équipé	Environnement équipé
FC05	Assurer le confort des populations sur l'espace équipé	Environnement équipé
FC06	Assurer le confort des populations sur l'espace actif	Environnement actif
FC07	Créer du foncier à destination de l'espace actif / Créer de l'espace actif	Environnement actif
FC08	Créer du foncier à destination de l'espace habité / Créer de l'espace habité	Environnement habité
FC09	Assurer le confort des populations sur l'espace habité	Environnement habité

**Tableau 2 : Fonctions de contrainte de la couverture d'infrastructure urbaine (Marina Fund-Maurin).**

Les résultats de cette analyse fonctionnelle, ainsi que la base de données établie dans le cadre de la tâche 1, ont constitué les principales données d'entrée de la tâche 5 décrite ci-après.

## 6. RÉPONSES DU GÉNIE CIVIL URBAIN AUX FONCTIONS ET CONTRAINTES DES COUVERTURES

La tâche 5 s'est donné comme objectif de décrire et d'analyser les réponses que peut apporter le génie civil aux enjeux de tous ordres des projets de couverture, enjeux décrits et analysés par les travaux des tâches précédentes. Ces travaux ont été divisés en :

- typologie, analyse et évaluation des structures lourdes,
- typologie, analyse et évaluation des structures légères,
- interface dessus-dessous – aspects règlementaires et contraintes techniques,

*Constraint functions express the direct interaction between an external medium or component and the cover. The study of the interactions of each of the four environments with the cover has identified nine constraint functions. Table 2 lists these functions and specifies the environments in direct interaction with the cover.*

FC	Function description	Environment with direct interaction with the cover
FC01	Ensure the comfort of people on the mobile space	Mobile environment
FC02	Create areas available to the mobile space / Create mobile space	Mobile environment
FC03	Ensure the efficiency of the transport infrastructure	Mobile environment
FC04	Create areas available to the equipped environment	Equipped environment
FC05	Ensure the comfort of people on the equipped space	Equipped environment
FC06	Ensure the comfort of people on the active space	Active environment
FC07	Create areas available to the active space	Active environment
FC08	Create areas available to inhabited space / Create inhabited space	Inhabited environment
FC09	Ensure the comfort of people on the inhabited space	Inhabited environment

**Table 2: Constraint functions of urban infrastructures cover (Marina Fund-Maurin).**

*The results of the functional analysis and the database established under Task 1 were the main inputs of task 5 described hereafter.*

## 6. HOW THE URBAN CIVIL ENGINEERING MEETS THE FUNCTIONS AND CONSTRAINTS OF COVERS

*Task 5 objective was to describe and analyze the urban civil engineering solutions that meet the issues of all kinds of cover projects, issues described and analyzed by the work of tasks 1 to 4. The work was divided into:*

- *typology, analysis and evaluation of heavy structures,*
- *typology, analysis and evaluation of light structures,*

- modules d'aménagements environnementaux et « focus » sur la végétalisation,
- synthèse faisant l'inventaire des réponses aux fonctions attendues.

Les travaux de la tâche 5 comportent aussi un retour d'expérience sur les couvertures réalisées dans le cadre de la ZAC Paris Rive Gauche, déjà mentionné dans le chapitre relatif à l'état de l'art.

## 6.1. Typologie, analyse et évaluation des structures lourdes

Une couverture lourde est définie comme une structure apte à supporter des voiries urbaines, des aménagements paysagers et/ou des immeubles tout en respectant toutes les fonctionnalités de l'infrastructure couverte. Pour l'analyse nous avons retenu quatre types de couvertures :

- Les **structures voûtées**, associant des ouvrages en béton ou en maçonnerie à des remblais de couverture qui restituent la continuité du sol « végétal ».

- *spacial top-down interface - Regulatory aspects and technical constraints,*
- *environmental improvements modules and "focus" on landscaping,*
- *synthesis of the answers to the expected functions.*

*The works of task 5 also include feedback from the covers of Paris Rive Gauche, already mentioned in the chapter on the state of the art.*

## 6.1. Typology, analysis and evaluation of heavy structures

*A heavy structural cover is defined as a structure capable of supporting urban roads, landscaping and / or buildings while maintaining the functionality of the covered infrastructure. For the analysis we have identified four types of heavy cover:*

- *Vaulted structures, combining concrete or masonry structures with embankments, with the specific advantage to restore ground continuity.*

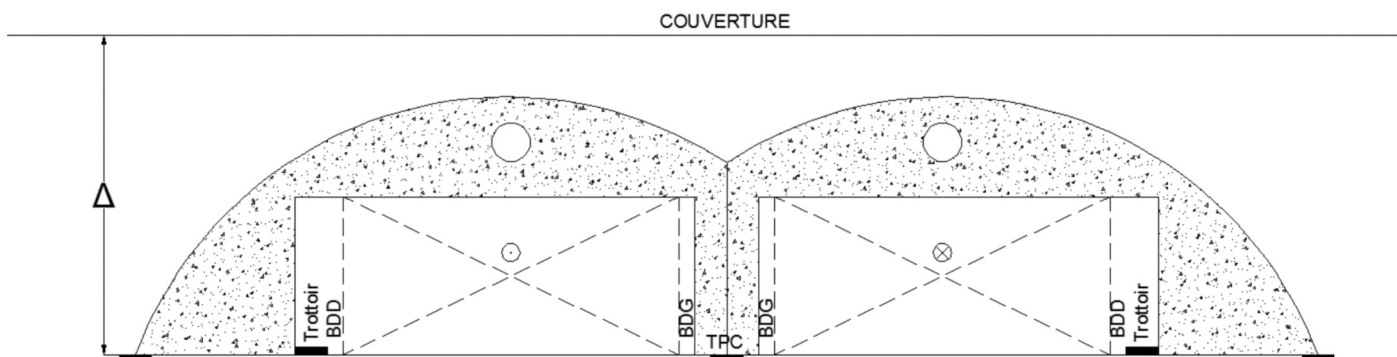


Figure 6 : Schéma de principe d'une structure voûtée.  
Figure 6: Vaulted structure in outline.

- Les **dalles simples**, au sens large, qu'il s'agisse de dalles pleines en béton armé ou précontraint, ou de structures à poutres en béton, métalliques ou mixtes ;

- **Simple slabs**, whether solid slabs of reinforced or prestressed concrete, or beams and slabs structures, of steel construction, or composite steel and concrete.

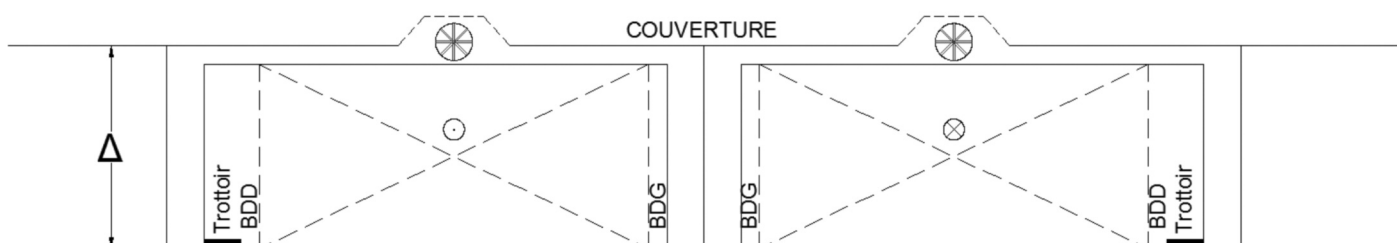


Figure 7 : Schéma d'une dalle simple.  
Figure 7: simple slab in outline.

- Les **dalles doubles**, comportant deux niveaux séparés par un espace utilisable (parkings, circulations, réseaux), les deux niveaux étant structurellement reliés entre eux pour bénéficier de la grande capacité portante qui en résulte ;

- **double slabs**, with two levels separated by a usable space (parking, traffic, networks), both levels being structurally connected by walls or struts to benefit from the large structural capacity resulting from it.

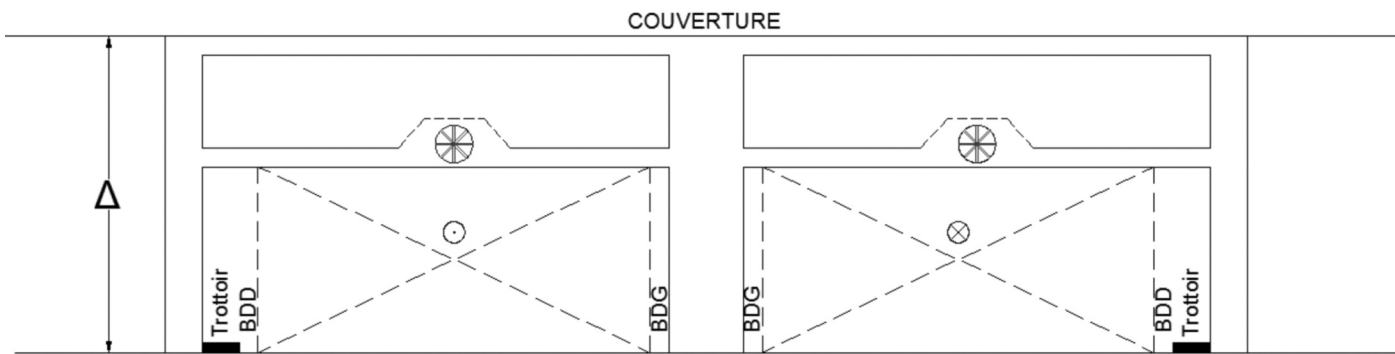


Figure 8 : Schéma d'une dalle double.  
Figure 8: double slab in outline.

• Les *dalles ajourées*, variante des dalles simples, où la présence d'ouvertures permet de répondre à certaines fonctions, comme la transparence aéraulique.

• *perforated slabs*, where the presence of openings can facilitate some functions, such as aerodynamics transparency.

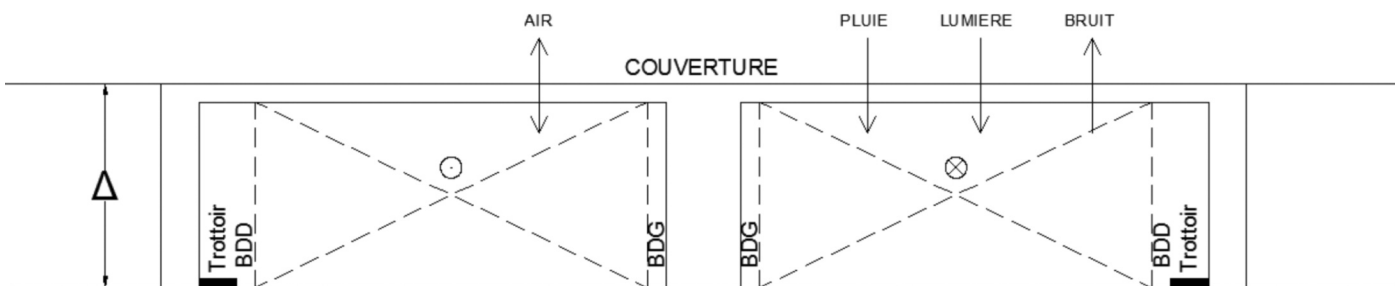


Figure 9 : Schéma d'une dalle ajourée en coupe.  
Figure 9: perforated slab in outline.

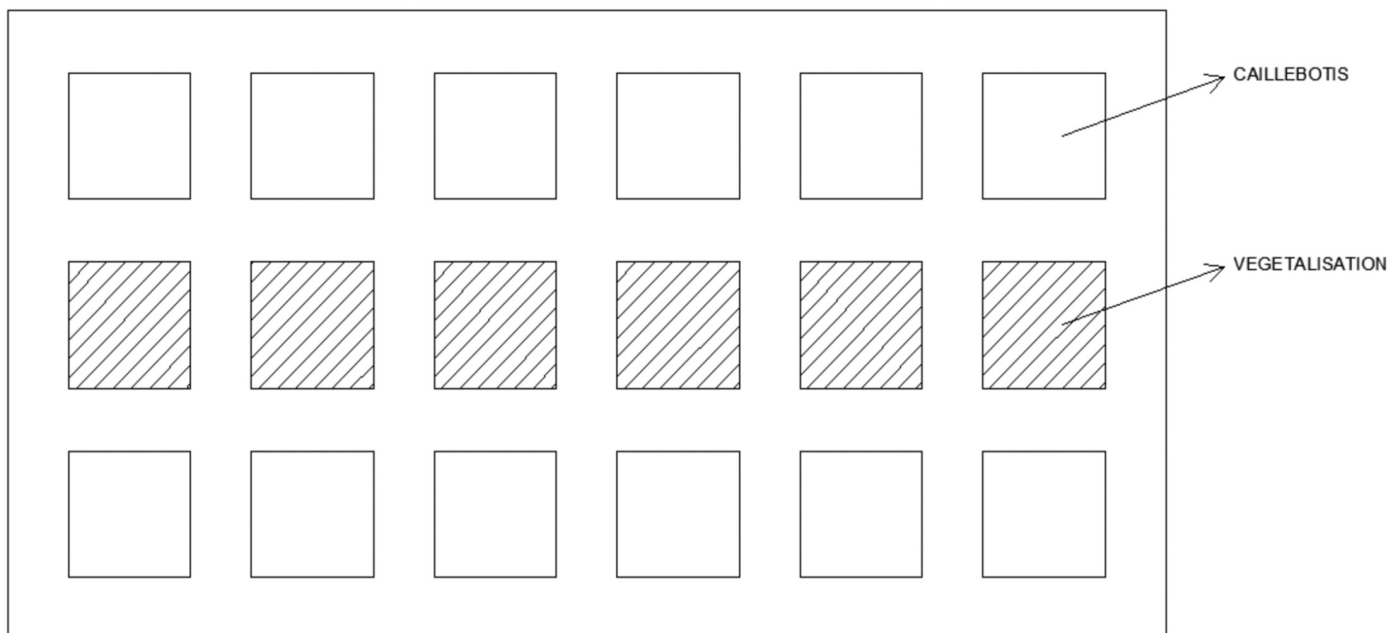


Figure 10 : Schéma d'une dalle ajourée, vue en plan. Les vides sont autant de modules dont la fonction peut évoluer au cours de la vie de l'ouvrage.

Figure 10: perforated slab, plane view. Openings function may evolve during the life cycle.



Chaque type de structure a fait l'objet d'une étude préliminaire en considérant deux projet-types : couverture d'une infrastructure routière comprenant 2 voies dans une direction et 3 voies dans l'autre, et couverture d'une infrastructure ferroviaire comprenant 2 voies dans une direction et 2 voies dans l'autre. De plus, pour les voiries routières, on a distingué les couvertures de moins de 300 m de longueur de celles d'une longueur supérieure pour tenir compte de l'impact de la réglementation sur les tunnels routiers. À partir des résultats de ces études préliminaires, des évaluations comparatives des solutions ont été établies, en premier lieu sur des critères de coût, et ensuite sur des critères liés aux fonctions attendues.

**Comparaison sur la base du coût :** Nous donnons (Figure 11 page suivante) les résultats de ces comparaisons en fonction du type de voie franchie, puis en fonction du type de structure, en attirant l'attention du lecteur sur le fait que les montants indiqués sont théoriques et n'ont de sens que pour la comparaison des solutions.

Cette analyse comparative permet de mettre en évidence que le coût des différentes couvertures lourdes varie relativement peu d'une solution à une autre. Aucune solution structurelle ne se différencie significativement des autres. Cela montre que le choix d'un type de structure doit être fait avant tout en fonction des contraintes du site, notamment de la topographie, et des fonctions que l'on souhaite privilégier. Nous allons voir en effet dans ce qui suit que les différentes structures considérées répondent différemment aux fonctions attendues.

Les couvertures sont considérées comme une modification du système urbain, on attend donc de ces ouvrages de répondre à des fonctions. Ces fonctions ont été déjà définies et regroupées selon trois catégories différentes à la suite des travaux de la tâche 4 :

- **Fonctions externes :** celles liées aux objectifs primaires de la création de couvertures,
- **Fonctions internes :** celles en relation avec l'aménagement du dessus et du dessous et qui permettent l'exploitation et l'utilisation de la couverture elle-même,
- **Fonctions spécifiques relatives à la construction et à la déconstruction de la couverture :** celles relatives à la faisabilité de la couverture.

L'analyse des typologies structurelles vis-à-vis de la matrice des fonctions a permis d'établir les conclusions suivantes :

- La structure voûte apporte la meilleure réponse lorsque l'objectif principal du client est la réduction des nuisances aux riverains de l'infrastructure ainsi que l'aménagement paysager. Le remblai, indissociable de la voûte, restitue la continuité du sol et constitue le support idéal pour la création d'un environnement naturel permettant à la fois la réduction de l'impact négatif de l'infrastructure, l'essor de la biodiversité et le développement de zones d'agrément pour les riverains.
- La dalle ajourée présente de nombreux avantages, notamment de permettre une ventilation naturelle, et représente surtout, grâce à la flexibilité d'utilisation des ouvertures, la réponse la plus adaptée aux évolutions des fonctionnalités, ce qui est un facteur de durabilité.

*Each type of structure has been the subject of a preliminary study based upon two typical cases: covering a road infrastructure with 2 lanes in one direction and 3 lanes in the other, and covering a railway infrastructure including 2 lanes in each direction. In addition, for traffic roads, covers under 300 m in length have been distinguished from the longer ones to account for the impact of safety regulations on road tunnels. From the results of these preliminary studies, comparative evaluations of solutions have been established, primarily on cost criteria, and then on criteria related to the way functions are met.*

**Comparison on the basis of cost:** We give (Figure 11 below) the results of these comparisons based on the type of way covered, and then on the type of structure, drawing the reader's attention to the fact that the indicated costs are theoretical and should be used only to compare solutions. This comparative analysis highlights that the cost of various covers types varies relatively little from one solution to another. No structural solution is significantly different from the other in terms of cost. This shows that the choice of a type of structure ought to be made primarily on the basis of site constraints, including topography, and functions that one wishes to prioritize. We'll see indeed in what follows that the different structures considered respond differently to the expected functions.

*Covers are considered as a modification of the urban system, so we expect these structures to respond to functions. These functions have already been identified and grouped into three different categories according to the work of work of Task 4:*

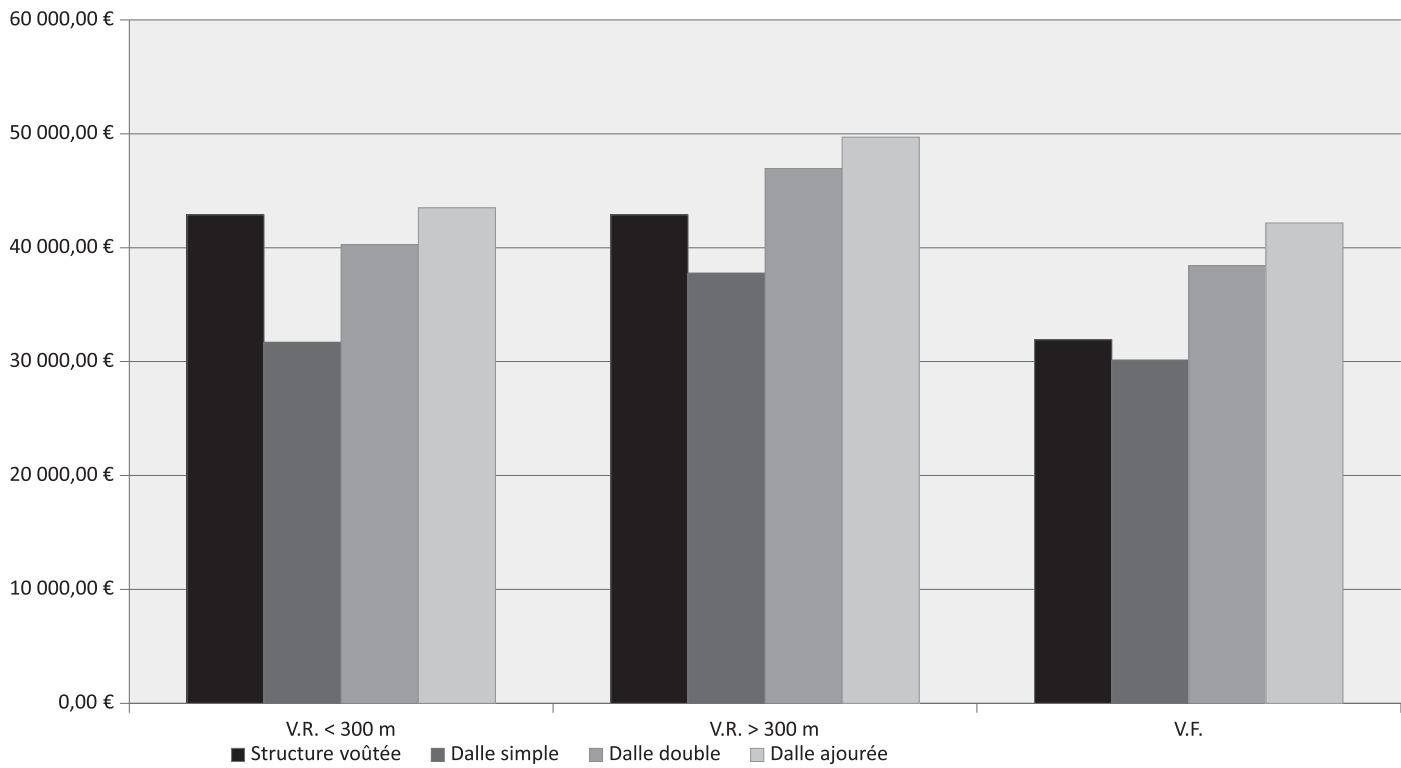
- **External functions:** those related to the primary objectives of creating covers,
- **Internal functions:** those related to the operation and use of the cover itself,
- **Specific functions** linked to the construction feasibility.

*Analysis of structural typologies vis-à-vis the functions matrix led to the following conclusions:*

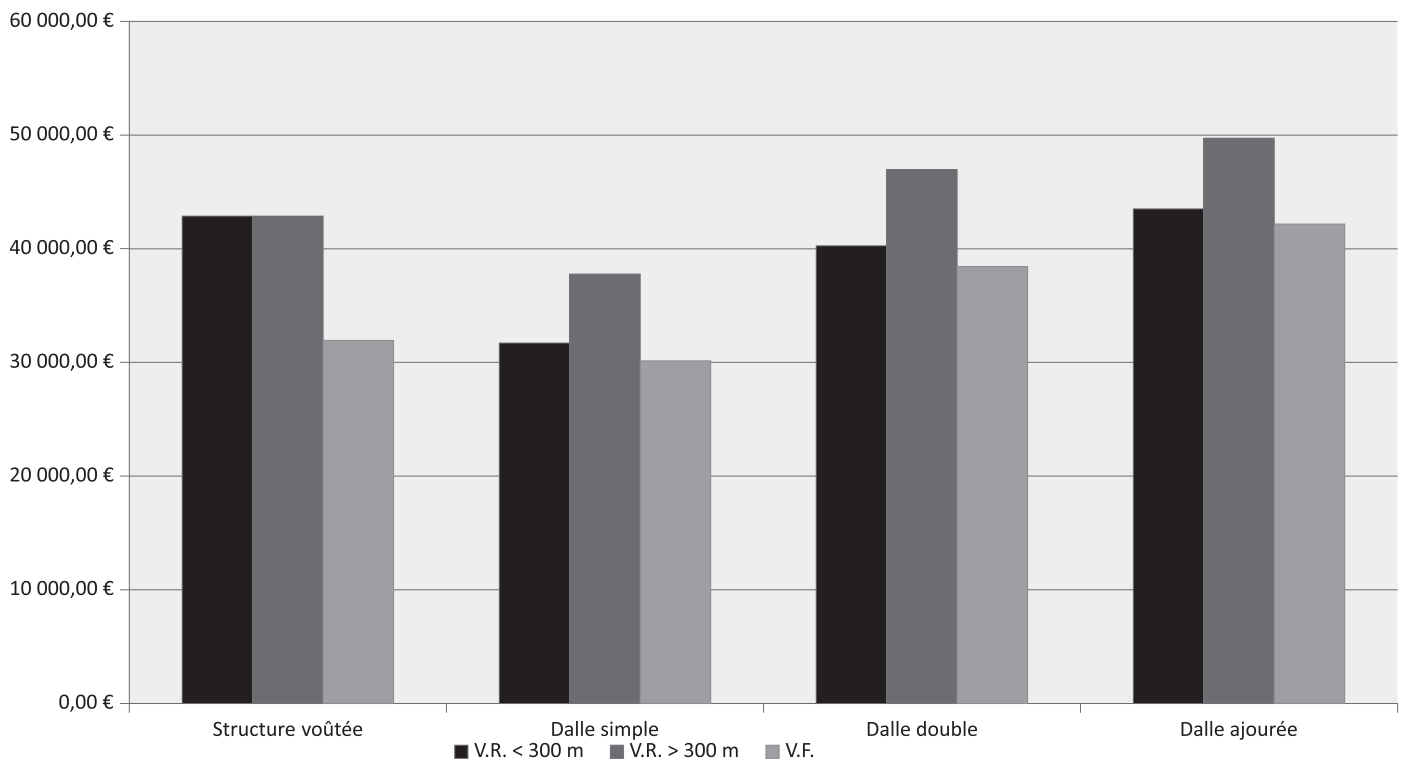
- *The vaulted structure provides the best response when the main objective of the client is the reduction of infrastructure nuisances and landscaping. The embankment, inseparable from the vault, restores the continuity of the ground and is the perfect medium for creating a natural environment, reducing the negative impact of the infrastructure. It facilitates development of biodiversity and the creation of a friendly environment.*
- *The perforated cover has many advantages, including natural ventilation, and represents mainly, thanks to the flexibility of use of the openings, the most appropriate response to changes in functionality, which is a major sustainability factor.*



### Prix global par mètre linéaire de couverture selon les voies franchies



### Prix global par mètre linéaire de couverture selon les solutions envisagées



**Figure 11 : Graphiques comparatifs du prix par mètre linéaire de couverture.**  
**Figure 11: Comparison of costs per linear metre of cover.**

- La dalle double, lorsque la topographie du site le permet, apporte une réponse très adaptée à la gestion des réseaux et à l'installation de parkings, ce qui est particulièrement utile lorsque des immeubles sont implantés au-dessus de la dalle, voire portés par cette dalle.

- The double slab, where the site topography allows it, provides a very appropriate response to the fluids network management, and provides the opportunity to create car parks, which is appropriate in particular when the buildings are located above the slab or supported by it.



## 6.2. Typologie, analyse et évaluation des couvertures légères

Créer des couvertures sur des infrastructures routières ou ferroviaires en milieu urbain implique souvent un franchissement de portées significatives sur de grandes surfaces. Pour ce type de projet, il est aussi souhaitable de minimiser le nombre et la taille des appuis pouvant venir perturber la circulation existante. Ces aspects peuvent orienter vers des solutions de couverture à structure légère qui maximisent les portées tout en réduisant la quantité de matière.

À l'inverse d'une structure lourde de type béton, la structure légère offre des opportunités de natures différentes :

- **Montage** (construction déconstruction) : une structure légère dispose d'assemblages réguliers, qui facilitent les opérations de montage et démontage ;
- **Interruption de trafic** : un large partie du levage et de la mise en place des structures légères proposées (type grid-shell ou nexorade) demande une interruption de trafic minimale et peuvent être montées en grande partie depuis les abords de l'infrastructure. Ceci contribue à réduire la gêne vis-à-vis des usagers ;
- **Modularité** : la préfabrication largement employée dans les structures légères facilite le déploiement en modules, qui peuvent prendre place sur le projet successivement dans le temps. Ces structures permettent l'intégration de modules comprenant des dispositifs environnementaux, dont les fonctions pourraient varier pour répondre à des besoins et des problématiques spécifiques (ces notions sont développées plus loin dans le paragraphe « Modules environnementaux et végétalisation »). De plus, la légèreté de ces couvertures, la variété des matériaux et des éléments qui peuvent être utilisés, offrent de nombreuses possibilités : l'aspect de surface et les fonctionnalités (notamment les fonctionnalités environnementales) qui peuvent leur être associées sont vastes. Ces caractéristiques permettent aussi un travail sur les ambiances intérieures, en y apportant de la lumière naturelle par exemple. Un confort d'usage extérieur et intérieur peut ainsi être apporté ;
- **Bilan carbone** : le bilan carbone ou l'ACV de structures légères, souvent en matériaux recyclables, est plus favorable que celui de structures lourdes.

Ces opportunités sont néanmoins le corollaire de la légèreté de la structure, qui ne peut reprendre que des charges de faible intensité. Contrairement aux structures lourdes, les couvertures légères ne sont pas accessibles à la circulation (piétonne ou automobile), et ne peuvent pas servir de support à des bâtiments ; elles ne sont donc pas capables de répondre à l'ensemble des fonctions identifiées dans le cadre de la tâche 4, mais **essentiellement aux fonctions de protection des nuisances environnementales et de confort.**

Plusieurs types de structures légères ont été identifiés et étudiés :

## 6.2. Typology, analysis and evaluation of light covers

*Creating covers on road or rail infrastructure in urban areas often involves crossing wide spans over large areas. For this type of project, it is also desirable to minimize the number and size of support that can disrupt existing traffic. These aspects may lead to light structures options.*

*As compared with heavy structures, lightweight structures offer specific advantages:*

- **Installation** (assembly and dismantling): *a light structure is by essence easier and faster to assemble and dismantle than a heavy one. This is particularly important for construction under traffic.*
- **Modularity**: *prefabrication, widely used in lightweight structures, facilitates deployment from elements, which can take place progressively. These structures allow the integration of modules whose functions could vary to meet the specific needs and issues (these concepts are developed further in the section “environmental modules”). Moreover, the lightness of these cover and the variety of materials and components that can be used, offer many possibilities: the surface appearance and functionalities (including environmental features) that may be associated with them are vast. These features allow also improvements of inside environments, by bringing natural light for example. They can bring comfort inside and outside.*
- **Carbon footprint**: *the carbon footprint or more generally the life cycle impact of lightweight structures, often made of recycled materials, is more favorable than that of heavy structures.*

*However unlike heavy structures, light covers are not accessible to traffic (pedestrian or automobile), and cannot be used to support buildings; they are not able to meet all of the functions identified as part of Task 4, **but essentially the functions of protection of environmental pollution and comfort.***

*Several types of light covers were identified and analyzed :*

- *Voûtes bidimensionnelles :*



**Figure 12 : voûtes bidimensionnelles.**  
**Figure 12: bi-dimensional vaults.**

- **Bi-dimensional vaults:**

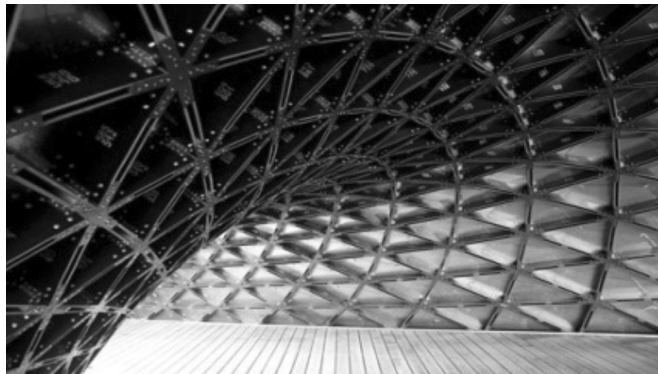
- *Voûtes tridimensionnelles en coques :* les ouvrages réalisés selon ce principe sont de bons compromis entre la quantité de matériaux utilisée et la surface couverte.



**Figure 13 : voûte tridimensionnelle.**  
**Figure 13: spacial shell.**

- **Spacial shells:** *these structures are very efficient in terms of material quantities.*

- *Gridshell :* ce type de structure permet de réaliser d'importantes portées en utilisant relativement peu de matière et ainsi offrir de très grands espaces couverts par une structure sans appuis verticaux intérieurs (tels que des poteaux).



**Figure 14 : Gridshell.**  
**Figure 14: Gridshell.**

- **Gridshells:** *These structures are also very optimized, with the advantage of being assembled with small standard elements.*

- *Voûtains sur Poteaux + Poutres :* la structure est supportée par des poteaux et des poutres.



**Figure 15 : voûtains sur poteaux et poutres.**  
**Figure 15: vaulted roof.**

- **Vaulted roofs:**

- **Nappes de câbles** : ces nappes de câbles sont fixées en rives à des ancrages ponctuels, à des câbles de lisières, à un anneau de compression ou une structure rigide. Elles sont généralement précontraintes par les tensions exercées grâce aux câbles de bordure.



**Figure 16 : nappe de câbles.**  
**Figure 16: glass walls.**

- **glass walls**: This walls are associated with supporting cable networks to form extremely light structures.

- **Nexorades** : les structures construites selon le principe de nexorade sont conçues à partir d'éléments longitudinaux reposant mutuellement les uns sur les autres et n'étant jamais liés que deux à deux. Ce principe permet entre autre de créer des assemblages très simples.



**Figure 17 : nexorades.**  
**Figure 17: nexorades.**

- **Nexorades**: structures built on the principle of nexorade are designed with longitudinal elements linked to each other by pairs. This principle allows a simple assembly process.

- **Toiles tendues** : le fonctionnement des structures en toiles tendues est basé sur le principe des surfaces minimales (c'est-à-dire la plus petite des surfaces qui remplit un contour donné) et de leur stabilité. Ce type de structure légère permet de couvrir de grandes surfaces avec peu de matière en minimisant le nombre d'appuis verticaux. Elle nécessite toutefois dans la plupart des cas d'importants encastresments au niveau des mâts ou structures portant les toiles.



**Figure 18 : toiles tendues.**  
**Figure 18: tension fabrics.**

- **Tension fabrics**: tension fabrics structures are based on the principle of minimal surfaces (that is to say the smallest of surfaces that fills a given contour) and of their stability. This type of light structure can cover large areas with little material while minimizing the number of vertical supports.

### 6.3. Interface dessus-dessous, aspects techniques et règlementaires

La réglementation des tunnels routiers ou ferroviaires impose dans certaines conditions la mise en place de dispositifs particuliers concernant la sécurité des usagers en cas d'incident. Ces dispositifs peuvent avoir un impact non négligeable en surface, en particulier les ouvrages d'évacuation, les accès pour les services de secours ou encore les ouvrages de ventilation. L'ampleur de ces émergences peut cependant être limitée par un travail de conception, en concertation avec les services de secours et l'administration pour répondre à leurs besoins. La concertation avec les mairies, les syndicats et les riverains est également primor-

### 6.3. Spacial top-down interface - Regulatory aspects and technical constraints

The regulations applying to road or rail tunnels require implementing a number of safety features and equipment. These have a significant impact on the surface above, especially emergency exits and accesses, or ventilation equipment. The magnitude of these emergencies may be limited by an appropriate design, in close cooperation with authorities to meet their requests. Consultation with local councils, trustees and residents is also essential to find solutions that are accepted by all stakeholders.

diale afin de trouver des solutions qui soient acceptées le mieux possible.

La démarche visant à réduire les impacts d'un projet de couverture sur son environnement se décompose en une succession d'étapes, ponctuées par de nombreux échanges avec des acteurs différents. Notre étude de l'interface dessus-dessous n'a pas pour objectif de créer un guide de solutions techniques, ce qui serait impossible compte-tenu de la diversité et de la complexité des sujets, mais plutôt d'explicitier la démarche permettant de mener à une conception intégrant les paramètres de l'environnement. Cette démarche peut être décomposée selon trois axes présentés ci-après. Chacun de ces axes a fait l'objet d'un ou de plusieurs développements particuliers (appelés « thèmes ») pour aborder les sujets majeurs.

**Le premier axe concerne** la longueur couverte, qui est un paramètre prépondérant. Pour cette raison le thème « optimisation de la longueur de couverture » a été largement développé pour ce qui concerne les couvertures d'infrastructures routières. En effet, les exigences réglementaires sont fonction de seuils : 300m, 500m, 800m, 1000m, 1500m, 3000m et 5000m. Les différentes solutions fonctionnelles envisageables, ainsi que leurs avantages et inconvénients, sont présentées dans le tableau 3 ci-après, pour les infrastructures routières.

Solutions	Aménagements particuliers	Avantages	Inconvénients
<b>1. Succession de plusieurs tranchées couvertes courtes (&lt;300m) sans système de ventilation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Issue de secours vers la surface par tube et ouvrage</li> <li>• 1 niche de sécurité et 1 niche d'incendie par tube et par ouvrage</li> </ul>	Coûts de construction et d'exploitation faibles	Tranchée ouverte >100m entre les TC (impact visuel, bruit et pollution)
<b>2. Tranchée couverte moyenne (entre 300 et 500m) avec ventilation longitudinale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Issues de secours vers la surface par tube</li> <li>• 3 niches de sécurité et 2 à 3 niches d'incendie par tube</li> <li>• Bossages supérieurs ou latéraux pour positionnement des accélérateurs</li> <li>• Murs d'anti-recyclage de fumés à chaque tête</li> </ul>	Coûts de construction et d'exploitation limités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interdiction de congestion dans le tunnel</li> <li>• Interdiction des TMD</li> <li>• Sécurité limitée en cas d'incendie dans le tunnel</li> <li>• Longueur de la TC limitée à 500m</li> </ul>
<b>3. Tranchée couverte longue (&gt;500m) avec ventilation transversale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Issues de secours tous les 200 m</li> <li>• Niches de sécurité et d'incendie tous les 200m</li> <li>• Bossages supérieurs ou latéraux pour positionnement des accélérateurs</li> <li>• Murs d'anti-recyclage de fumées à chaque tête</li> </ul>	Impact minimal pour les aménagements en surface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts de construction et d'exploitation plus élevés</li> <li>• Problématique de sécurité si permission des TMD en période de congestion</li> </ul>

**Tableau 3 : avantages et inconvénients des types de couvertures d'infrastructures routières en fonction des longueurs couvertes**

*The approach to reduce the impacts on the environment of a covering project is broken down into a series of steps, punctuated by numerous exchanges with various stakeholders. Our study of the top-down interface does not aim at creating a technical solutions guide, which would be impossible in view of the diversity and complexity of the subjects, but rather at clarifying the process of a design incorporating environmental parameters. This can be divided into three areas described below. Each of these areas has been the subject of one or more particular developments (called "themes") to address the major issues.*

*The first area relates to the covered length, which is a key parameter. For this reason the theme "optimize coverage length" was widely developed with regard to road infrastructure covers. Indeed, the regulatory requirements are based on thresholds: 300m, 500m, 800m, 1000m, 1500m, 3000m and 5000m. The different possible functional solutions and their advantages and disadvantages, are presented in Table 3 below, for road infrastructure.*

Solutions	Specific features & equipments	Advantages	Disadvantages
<b>1. A succession of short covers (below 300m) without ventilation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 emergency exit per tube and per cover</li> <li>• 1 safety recess and one fire recess per tube and per cover</li> </ul>	Low construction and operation costs	Need of an opened trench >100m between 300 m segments (issues of visual impact, noise and pollution)
<b>2. Middle size cover (300 to 500m) with longitudinal ventilation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 safety exits per tube</li> <li>• 3 safety recesses and 2 to 3 fire recesses per tube</li> <li>• Upper recesses to locate ventilators</li> <li>• Fire walls at each extremity</li> </ul>	Limited construction and operation costs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interdiction of traffic congestion</li> <li>• Interdiction of dangerous products transport</li> <li>• Limited fire safety regulations</li> <li>• Length limited to 500m</li> </ul>
<b>3. Long cover (&gt;500m) with transverse ventilation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety exits every 200 m</li> <li>• Safety recesses every 200m</li> <li>• Upper or lateral recesses to locate ventilators</li> <li>• Fire walls at each extremity</li> </ul>	Minimal impact on the environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High construction and operation costs</li> <li>• Safety issues if dangerous product transport is allowed under traffic congestion</li> </ul>

**Table 3: advantages and disadvantages of covers types n view of the covered length.**

Il faut cependant garder à l'esprit que les dispositions exigées par la réglementation ne sont pas forcément binaires, et sont soumises à l'accord de l'administration. La sécurité des ouvrages est alors étudiée dans sa globalité, et des dispositifs non clairement exigés réglementairement peuvent être exigés afin d'obtenir l'autorisation d'exploiter.

**Le deuxième axe** concerne l'insertion dans leur environnement les ouvrages techniques liés à l'ouvrage souterrain ayant un impact en surface (émergence). Le thème « intégration des émergences créées par la couverture » traite notamment de l'insertion des locaux techniques, des ouvrages de ventilation, et des ouvrages d'évacuation des usagers. À titre d'exemple, deux intégrations d'émergences particulièrement réussies : la cheminée de ventilation du Tunnel de la Croix Rousse à Lyon et une issue de secours sur les quais de la Seine à Paris. Voir figures 19 et 20 page suivante.

Pour accompagner ce thème, il nous a semblé important de développer le sujet lié à la maîtrise des polluants. Un ouvrage souterrain ne génère pas plus de pollution qu'une autre voie routière : cependant, le tunnel a une influence sur

*In practice provisions required by the regulations are considered on a project by project basis. Safety is considered globally, and equipments that are not clearly imposed by regulations may be required to obtain permission to operate.*

*The second area relates to the insertion in their environment of emerging structures. The theme "integration of emergences created by the cover" particularly addresses the integration of technical facilities, ventilation works and emergency exits. For example, two well integrated emergences: the ventilation stack of the Croix Rousse tunnel in Lyon and an emergency exit on the banks of the River Seine in Paris.*

*To support this theme, we thought it important to develop the topic related to the control of pollutants. An underground roadway does not generate more pollution than an open air one. However, a tunnel has an influence on the*



**Figure 19 : cheminée de ventilation du Tunnel sous la Croix-Rousse à Lyon.**  
**Figure 19: ventilation shaft from Croix-Rousse tunnel in Lyon.**



**Figure 20 : issue de secours sur les quais de la Seine à Paris.**  
**Figure 20: safety exit on the River Seine banks in Paris.**

les concentrations en polluant puisque les polluants sont rejetés en un ou plusieurs points localisés. En effet, la solution de ventilation d'un ouvrage souterrain doit intégrer un nombre important de paramètres (conditions de trafic, conditions météorologiques locales, densité urbaine, points de rejets...). Plusieurs techniques de traitement de l'air, telles la filtration des particules, la dénitrification ou encore la bio-filtration ont été étudiées, afin d'en comprendre les avantages et inconvénients et les applications possibles.

**Le troisième axe** concerne la gestion de la phase de travaux. Le thème « partage de l'espace trafic en phase chantier » fait état des solutions permettant de réaliser des travaux sur des ouvrages en exploitation (routiers ou ferroviaires), tout en assurant la sécurité des personnes (usagers et travailleurs), le maintien des conditions nécessaires à l'exploitation, ainsi que l'acceptabilité sociale (maintien de capacités de transport suffisantes, préservation du cadre de vie). Trois solutions peuvent être mises en œuvre, en fonction du besoin, des contraintes et de la localisation de l'ouvrage :

- Neutralisation permanente de voies de circulation ;
- Fermeture totale de l'axe ;
- Ripage de balisage amovible.

L'étude de trafic est un élément déterminant pour retenir la ou les méthodes de travaux adéquates, suivant le projet à réaliser. Une concertation avec tous les acteurs locaux est donc indispensable pour le bon déroulement du projet. Le tableau ci-dessous recense les conclusions de cette partie, en évaluant les différentes solutions selon trois critères fondamentaux : sécurité des travailleurs, gêne à l'utilisateur et coût.

	Sécurité des travailleurs et des usagers	Gêne à l'utilisateur	Coût
Neutralisation permanente de voies	Bonne	Congestion du trafic aux heures de pointe	Peu onéreux
Fermeture totale	Optimale	Longue déviation	onéreux
Ripage de balisage	Acceptable	minimisée	Très onéreux

**Tableau 4 : comparatif des solutions de gestion du trafic pendant les travaux.**

concentrations of pollutants since these are concentrated and released in a few locations. Indeed, an underground structure ventilation solution must integrate a large number of parameters (traffic conditions, local weather conditions, urban density, discharge points...). Several air treatment techniques such particulate filtration, denitrification or bio-filtration were studied in order to understand their advantages and disadvantages and their possible applications.

**The third area relates to works implementation on site.** The theme "sharing traffic space during the construction phase" indicates the solutions to carry out work on operating roadways or railways, while ensuring the safety of people (users and workers), the continuity of operation, as well as the social acceptability (ensuring sufficient traffic capacity, preservation of the environment). Three types of actions can be implemented according to the requirements and constraints:

- permanent neutralization of traffic lanes
  - total closure of the facility
  - temporary neutralization of lanes with movable barriers
- Traffic study is a key element for selecting adequate traffic management methods. Consultation with all local stakeholders is essential for the success of the project. The table below shows the results of this part, evaluating the various solutions against three fundamental criteria: safety of workers, discomfort to the user and cost.

	Safety of workers and users	Generated trouble	Cost
Permanent neutralization of lanes	Good	Traffic congestion at peak hours	Low
Total closure of the facility	Optimal	Long time traffic diversion	High
Temporary neutralization of lanes with daily moved barriers	Acceptable	Minimal	Very high

**Table 4: comparison of traffic management solutions during works implementation.**



Enfin, une étude complémentaire a été développée autour du thème de « la perception des ouvrages souterrains ». En effet, les usages des milieux souterrains se développent et ce développement nécessite de mener des réflexions relatives à la perception de ces ouvrages par leurs usagers. Un ouvrage acceptant des piétons devra par exemple disposer d'un éclairage adapté. Finalement, ce thème a pour objectif d'identifier les paramètres auxquels porter une attention particulière pour rendre des espaces souterrains adaptés à leurs usagers, afin de concilier besoins, contraintes de conception et de réalisation, et confort des usagers (acoustique, géométrie, architecture, etc.). Une étude de cas du tunnel de la Croix Rousse à Lyon a permis d'illustrer cette démarche.

#### 6.4. Modules environnementaux et végétalisation

Qu'il s'agisse d'une structure lourde ou d'une structure légère, celle-ci peut être le support d'équipements permettant d'agir sur l'environnement, afin de réduire ou de compenser son impact.

Des solutions nouvelles ou innovantes de type alternatives, bioclimatiques et passives sont présentées :

- Solutions passives : Assurer des fonctions/performances (confort, gestion des nuisances, ...) sans apport d'énergie.
- Solutions bioclimatique : interagissant avec le contexte naturel local (climat, vent, ensoleillement, topographie,...)
- Solutions alternatives : mise en œuvre d'énergies renouvelables.

Les solutions environnementales sont envisagées sous la forme de modules rapportés localement, adaptables aux différentes configurations des sites, et démontables ou interchangeables au cours de la vie de l'ouvrage. Elles profitent des échanges entre le dessus et le dessous pour :

- Traiter à l'interface entre l'intérieur et l'extérieur la question de la nuisance et du confort urbain ;
- Produire/mettre à disposition des ressources renouvelables pour couvrir les besoins locaux.

Afin de réaliser ces fonctions, des micromodules peuvent être installés. Ce sont des éléments standards, démontables, qui peuvent assurer plusieurs fonctions :

- Module acoustique : panneau acoustique absorbant/isolant ;
- Module énergétique photovoltaïque : production d'électricité photovoltaïque pour des usages/besoins locaux
- Module énergétique « Savonius » : production d'électricité éolienne pour des usages/besoins d'appoints locaux ;
- Module lumineux : éclairage de base ou de renfort, signalétique ou animation (LED, etc.) autoalimentées ;
- Module collecteur : collecte d'eau de pluie et stockage déporté pour usages locaux ;
- Module rétention : rétention d'eau de pluie par végétalisation permettant de compenser l'imperméabilisation des voies de circulation ;
- Module Filtrant : panneau végétalisé filtrant l'air du tunnel ;
- Module Habitat Bio : habitat écologique (niches à insecte) ;
- Module à membrane : étanchéité entre le dessus et le dessous, effet trombe (tirage thermique).

*Finally, an additional study was developed around the theme of "the perception of underground structures." Indeed, the use of underground environments are developing and this development requires to conduct reflections on the perception of these environments by users. This theme aims at identifying the parameters which require special attention to make underground spaces tailored to their users, in order to reconcile the needs, constraints, design and implementation, and user comfort (acoustic, geometry, architecture, so forth.). A case study of the of Croix Rousse tunnel in Lyon has illustrated this approach.*

#### 6.4. Environmental improvements modules and "focus" on landscaping

*Whether it is a heavy structure or a light structure, it may be the support of equipment for acting on the environment, to reduce or offset its impacts. Different types of solutions are presented:*

- *passive solutions, providing functions / performance (comfort, nuisance management, ...) without energy supply.*
- *bioclimatic solutions, interacting with the local natural environment (climate, wind, sunlight, topography, ...)*
- *Alternative solutions: implementation of renewable energy.*

*Environmental solutions are considered as modules reported locally, adaptable to different site configurations, and removable or interchangeable during the life of the structure. They take advantage of the exchange between upper and lower levels :*

- *To treat nuisances at the interface between the inside and outside*
- *To produce / make available renewable resources to meet local needs.*

*To achieve these functions, micromodules can be installed. These are standard elements, removable, which can perform different functions:*

- *Acoustic module: absorbing acoustic panel / insulation.*
- *Photovoltaic energy module: photovoltaic electricity for uses / local needs.*
- *Energy module "Savonius" : wind power generation for uses / local needs.*
- *Lighting module: basic lighting or reinforcement, signage or animation (LED, etc.) self-powered.*
- *Module collector: rainwater collecting and remote storage for local use*
- *Retention module: rainwater retention by vegetation to compensate for the waterproofing of roads*
- *Filtering module: vegetated air filter.*
- *Organic habitat module: ecological habitat (insect niches)*
- *Membrane Module: waterproofing between top and bottom, venturi effect (thermal draught).*

Le choix de ces modules dépend du contexte de l'opération : configuration du site, climat, sensibilité de l'espace urbain local.

**La végétalisation** peut répondre à plusieurs fonctions :

- Fonction économique alternative : création de ressources pour l'agriculture urbaine ;
- Valorisation esthétique du quartier : occulter les axes de transport, déminéraliser les espaces urbains, etc. ;
- Fonction d'ambiance : fleurissement, site d'accueil pour les œuvres d'art ;
- Fonctions bioclimatiques : contribuer à la baisse de la température urbaine, favoriser la biodiversité animale, limiter l'imperméabilisation des sols, etc. ;
- Fonctions dépolluantes : de l'air, des sols, des eaux ;
- Diminution de la pollution sonore et visuelle ;
- Fonction bio-protectrices : permettre le développement de la biodiversité animale.

Il est donc possible d'utiliser la couverture comme support d'une démarche écologique.

## 6.5. Synthèse : inventaire des réponses aux fonctions attendues

La tâche 5 a permis d'inventorier et d'analyser des solutions pour une approche globale et cohérente de la conception et de la construction de couvertures, respectueuse des critères du développement durable, en apportant des réponses techniques aux fonctions définies précédemment. Elle a permis aussi de mettre au point un outil d'analyse et d'évaluation des projets de couverture, sous la forme d'une matrice indiquant la capacité d'une solution technique à répondre à un ensemble de fonctions, tout en permettant de pondérer les critères d'évaluation : fonctionnalité, protection environnementale et intégration urbaine notamment.

## 7. CONCLUSION

Le projet CANOPEE a exploré l'identité et la complexité des projets de couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain, en leur apportant un éclairage pluri-disciplinaire. L'hypothèse selon laquelle ils constituent un type particulier d'ouvrages de génie civil a été pleinement vérifiée. Le rapport final et la synthèse des travaux constitueront une somme d'informations, à la fois retours d'expériences et pistes d'amélioration et d'innovation, qui seront ainsi mises à la disposition de tous ceux qui s'engagent dans de tels projets, à différents niveaux de responsabilité et à différentes étapes.

*The choice of these modules depends upon the context of the operation: site configuration, climate, sensitivity of the local urban space.*

**Revegetation** can meet several functions:

- *alternative economic function: generating resources for urban agriculture*
- *aesthetic and ambiance improvement: hiding transport infrastructure, demineralizing urban spaces, floral gardening, artworks exhibition, etc*
- *bioclimatic functions: contributing to the reduction of urban temperature, promote animal biodiversity, limiting soil sealing, etc*
- *dépolluting functions:*
- *reduction of noise and visual pollution*
- *bio-protective function: allow the development of animal biodiversity*

*The cover may indeed be used as a support to sustainable development.*

## 6.5. Synthesis of the answers to the expected functions

*Task 5 reviewed and analyzed solutions for a comprehensive and coherent approach to the design and construction of covers, respectful of sustainable development criteria, and proposed civil engineering solutions to previously defined functions. It also helped developing a tool for analysis and evaluation of cover projects, in the form of a matrix indicating the capacity of a technical solution to meet a set of functions, while allowing to weight the evaluation criteria: functionality, environmental protection and urban integration in particular.*

## 7. CONCLUSION

*CANOPEE project explored the identity and complexity of projects of transport infrastructure covers in urban environment, and proposed a global and multidisciplinary approach. The assumption that these covers are a particular type of civil works has been fully verified. The final report and the synthesis of the work will carry a wealth of information, both feedback and proposals for improvement and innovation, which will thus be made available to all those who engage in such projects at different levels of responsibility and at different stages.*

# AUTOROUTE A26 : BILAN DE 25 ANS DE GESTION PATRIMONIALE DE 253 OUVRAGES D'ART POTENTIELLEMENT AFFECTÉS PAR DES RÉACTIONS DE GONFLEMENT INTERNE

## *HIGHWAY A26: 25 YEARS MANAGEMENT OF 253 BRIDGES POTENTIALLY AFFECTED BY INTERNAL SWELLING REACTIONS*

**BROUXEL Marc\***, **SERGEANT Grégoire \*\***, **JEANJEAN Yannick \*\*\*** et **Bruno GODART\*\*\*\***

\* CONCRETE SARL, 13-15 allée des Gingkos, 69500 Bron, France

\*\* CONCRETE SARL, Campus la Cessoie, 41 rue Simon Volland, 59130 Lambersart, France

\*\*\* SANEF, Direction Construction et Patrimoine, BP50073, 60304 Senlis cedex, France

\*\*\*\* Université Paris-est - IFSTAR, Cité Descartes - 14-20 bd Newton, 77447 Champs-sur-Marne, Cedex 2, France

### **I. INTRODUCTION**

Dans le cadre de son processus de surveillance des ouvrages, la SANEF a mis en évidence en 1990, sur le tronçon Laon – Calais de l'autoroute A26, la présence

d'ouvrages d'art atteints par des attaques différées de leurs bétons de structure (alcali-réaction et/ou formation différée d'ettringite).

Les premiers signes ont été observés sur quelques ouvrages proches de Béthune ce qui a conduit la SANEF à lancer

une campagne de reconnaissance pour déterminer l'ampleur des désordres affectant tous les ouvrages de l'autoroute A26.

La SANEF avait déjà été confrontée à des désordres liés à l'alcali-réaction sur l'autoroute A4 (district de Coutevroult) où deux ouvrages, les PS 24 et 32, ont dû être dynamités, et un autre ouvrage, le PS25, a fait l'objet de travaux d'imperméabilisation. Fort de cette expérience et sur la base des connaissances de l'époque, une gestion globale des ouvrages d'art de l'autoroute A26 (Figure 1) potentiellement affectés par ces phénomènes de gonflement interne a été progressivement déployée.

Ce document décrit la démarche qui a été mise en place et les principaux résultats obtenus ainsi que les décisions qui ont été prises au cours de ces 25 dernières années.

## II. INVESTIGATION INITIALE (1990 - 1992)

La première étape a consisté à faire, entre 1990 et 1992, un audit de l'ensemble des ouvrages d'art de l'autoroute A26. Cette première étude a permis de balayer tous les ouvrages en béton armé en se basant volontairement sur des techniques d'investigations rapides et sommaires et en réalisant ainsi des observations à 3 niveaux :

- Au niveau macroscopique : inspection visuelle rapide de l'ouvrage,

- Au niveau microscopique : prélèvement d'échantillons et observations sur lames minces des décollements pâte-granulats,
- Au niveau minéralogique : analyse d'une fraction de l'échantillon pour rechercher de minéraux potentiellement délétères (ettringite et thaumasite) par diffraction des Rayons X.

Les premières inspections visuelles ont montré que les zones les plus dégradées des Passages Supérieurs étaient alors (Figures 2 et 3) :

- Le sommet des piles sous appuis ou bossages (fissures verticales de moins de 1mm avec faïençage centimétrique).
- La mi-hauteur des piles (faïençage centimétrique ou décimétrique).
- Les abouts de chevêtres de culées (faïençage centimétrique et fissures verticales de 1 à 2 mm).

Les zones les plus dégradées des Passages Inférieurs étaient (Figures 4 et 5) :

- Les piédroits (fissures verticales, faïençage au droit des infiltrations sous le terre-plein central).
- Les murs en retour (faïençage centimétrique).

Les ouvrages ont alors été classés une première fois en 4 groupes sur la base de ces observations visuelles :

- Groupe 1 : ouvrages présentant de très nombreuses dégradations,
- Groupe 2 : ouvrages présentant de nombreuses dégradations,
- Groupe 3 : ouvrages présentant quelques dégradations,

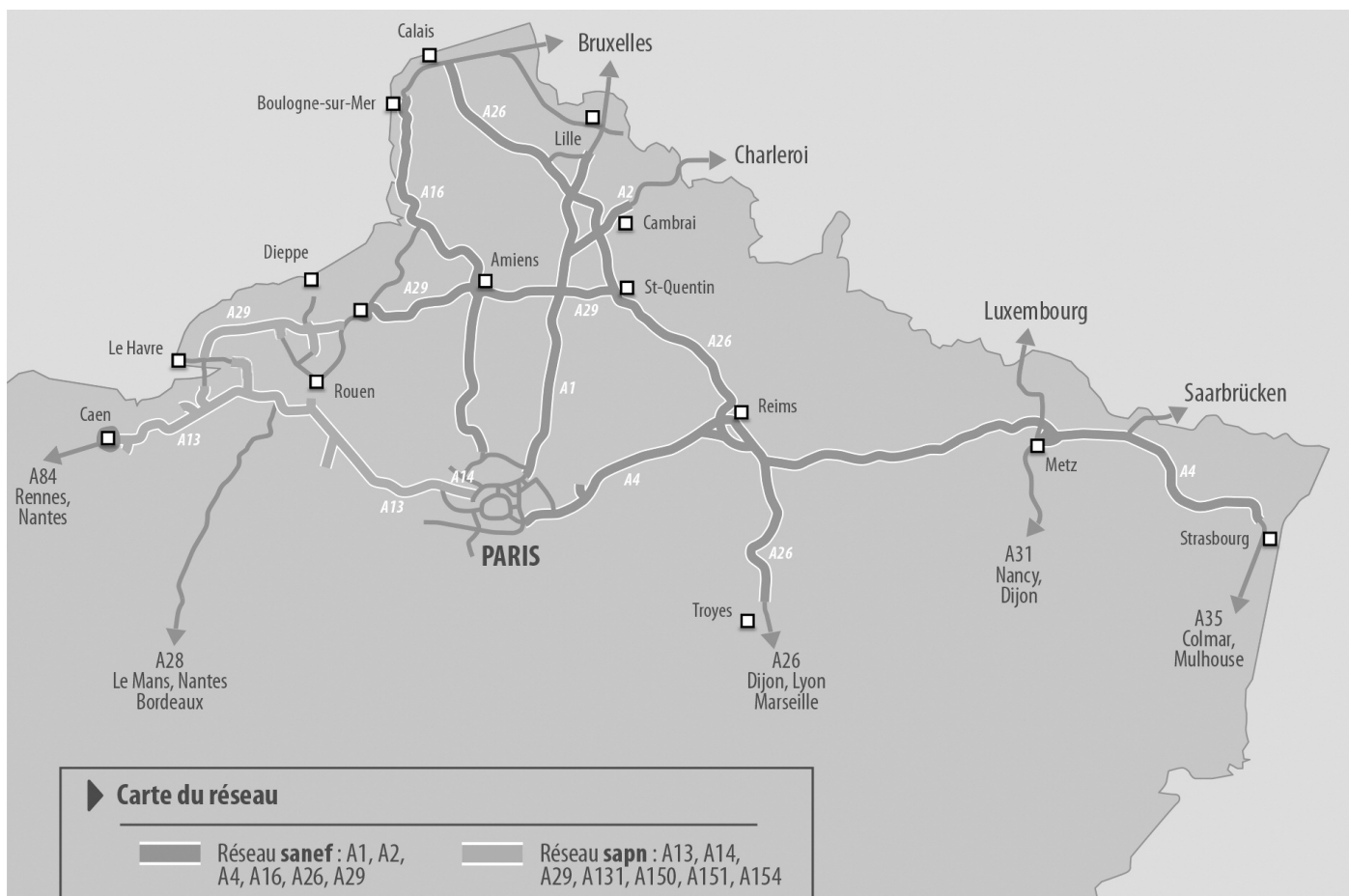
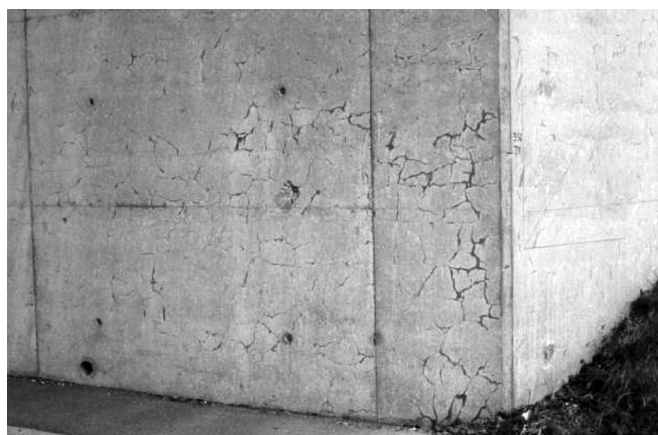


Figure 1 : Carte du réseau SANEF (Google Map ©).



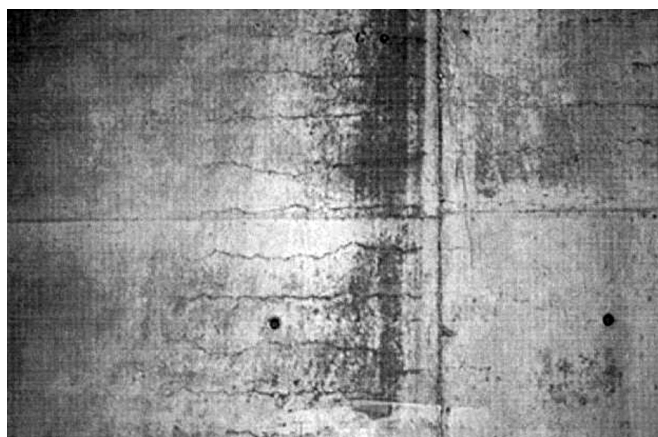
**Figure 2 : Faïençage d'une pile de pont.**



**Figure 3 : Vue de détail du faïençage.**



**Figure 4 : Faïençage du piédroit et du mur en retour.**



**Figure 5 : Faïençage du piédroit sous le terre-plein central.**

– Groupe 4 : ouvrages ne présentant aucune dégradation au jour de la visite.

À partir des deux lames minces confectionnées par ouvrage, la présence de fissures et de décollements pâte de ciment – granulats a conduit à classer les échantillons ainsi :

- Groupe 1 : béton présentant de très nombreux décollements et/ou fissures,
- Groupe 2 : béton présentant d'assez abondants décollements et/ou fissures,
- Groupe 3 : béton présentant quelques décollements et/ou fissures,
- Groupe 4 : ouvrages ne présentant aucun(e) décollement ou fissure.

Enfin, deux échantillons par ouvrage ont été broyés et analysés par diffraction des rayons X. Les principaux minéraux détectés sont le quartz, la calcite, la portlandite, l'ettringite et la dolomie. Ces minéraux reflètent la composition de la pâte de ciment et des granulats utilisés pour confectionner le béton. Certains minéraux présents en trop faible quantité ne sont pas détectés. D'autres minéraux ont pu être détruits plus ou moins partiellement par le broyage et ne sont plus identifiables. Enfin, il convient de rappeler que les gels d'alcali-réaction sont

des phases amorphes, non cristallisées et non identifiées par l'analyse par diffraction des rayons X. Par conséquent, l'ettringite (à laquelle la thaumasite parfois associée a été rajoutée, Brouxel et Valière, 1992) est le minéral sur lequel, le classement a été basé, étant entendu que cette analyse ne fait pas la part entre l'ettringite primaire et l'ettringite secondaire (ou ettringite différée) :

- Groupe 1 : ouvrages avec :  $> 4,5 \%$  d'ettringite,
- Groupe 2 : ouvrages avec :  $3,5 \% < \text{ettringite} < 4,5 \%$ ,
- Groupe 3 : ouvrages avec :  $2,5 \% < \text{ettringite} < 3,5 \%$ ,
- Groupe 4 : ouvrages avec :  $2,5 \% < \text{ettringite}$ .

Dans la mesure où le niveau d'observation et d'analyse n'est pas le même pour chacun de ces classements, une pondération a été réalisée pour définir la note finale de l'ouvrage :

- Dégradation sur site : x 1,5,
- Microscopie optique : x 1,
- Diffraction des rayons X : x 0,5.

Sur les 253 ouvrages d'art de ce tronçon de l'autoroute A26, 224 ouvrages ont fait l'objet de cette étude. 29 ouvrages ne sont pas concernés par ces pathologies de gonflement interne (ouvrages construits récemment, notamment au droit de nouveaux échangeurs, ouvrages

métalliques et ouvrages en terre armée). Ce système de notation a débouché sur un classement des 224 ouvrages en béton de l'autoroute A26 en 4 groupes :

- Groupe 1, les plus dégradés : 24 ouvrages (10%).
- Groupe 2 : 63 ouvrages (28%).
- Groupe 3 : 116 ouvrages (52%). Total des groupes 1+2+3 = 203 ouvrages.
- Groupe 4 : les moins dégradés : 21 ouvrages (10%).

Il convient de souligner également qu'à ce stade de l'étude, 46 ouvrages ont été considérés comme potentiellement réactifs d'après leur composition chimiques et minéralogiques (présence de granulats potentiellement réactifs vis-à-vis de l'alcali-réaction et/ou teneurs élevées en cristaux d'ettringite).

Les ouvrages du groupe 1 sont essentiellement des Passages Inférieurs, et parmi ceux-ci, quatre ouvrages sont particulièrement dégradés : PI328, PI 329, PI 330 et PI 338. Ces quatre ouvrages ont été construits entre avril et décembre 1974, vraisemblablement pendant les mois d'été et faisaient partie de la déviation de Béthune. Cette déviation fut le premier tronçon de l'Autoroute A26.

### III. ANALYSE DES DOSSIERS D'OUVRAGE

Étant donné la longueur du tracé (plus de 200 km) et la durée des travaux (plus de 10 ans), les matériaux utilisés (sable, graviers et ciment) varient d'une section à l'autre. On trouve ainsi les formulations suivantes :

#### **Section Saint-Omer / Lillers :**

– ciment : Lumbres, sable et graviers : marbre du Boulonnais

#### **Section Lillers / A1 :**

– ciment : Barlin, sable : Rue ou Seine, graviers : Gaurain (calcaire de Tournaisis)

#### **Section A1 / Cambrai-Masnières :**

– ciment : Cantin, sable : Rue ou Seine, graviers : Gaurain (calcaire de Tournaisis)

#### **Section Cambrai-Masnières / Gauchy :**

– ciment : Origny Ste Benoite, sable : Seine ou Oise, graviers : Viry Noureuil

#### **Section Gauchy / Laon :**

– ciment : Origny Ste Benoite, sable : Seine ou Oise, graviers : Oise ou Viry Noureuil

#### **Section Laon / Vallée de l'Aisne :**

– ciment : Origny Ste Benoite, sable et graviers : Oise  
 À la lumière des données disponibles aujourd'hui, il apparaît que le calcaire de Tournaisis (carrière de Gaurain au sud de la Belgique) est particulièrement réactif vis à vis de l'alcali-réaction et que la cimenterie de Barlin (région de Béthune), aujourd'hui fermée, a fourni un ciment particulièrement riche en alcalins (Prin et Brouxel, 1992, Salomon et al., 1992). La teneur en alcalins équivalents du ciment de Barlin était d'environ 1,12 % (0,4 % Na<sub>2</sub>O + 1,1 % de K<sub>2</sub>O), soit 4,4 kg d'alcalins par m<sup>3</sup> pour un béton dosé à 400 kg de ciment. Il est donc "normal" que les ouvrages les plus dégradés se situent dans la section Lillers - autoroute A1 (ouvrages de Béthune).

Il convient également de souligner que des matériaux à base de schistes houillers (potentiellement riches en sulfures) provenant des terrils ont été utilisés pour remblayer les ouvrages d'art de la région de Béthune.

### IV. DIAGNOSTIC MATÉRIAU INITIAL (1992 - 1993)

Afin de pouvoir conclure sur l'origine des désordres et réfléchir à la mise en place d'une politique de maintenance, un diagnostic approfondi des quatre ouvrages d'art les plus dégradés du groupe 1 a été effectué dans un premier temps.

Ce diagnostic comprenait :

- la mise en place d'une instrumentation simplifiée à l'aide de trièdres (Godart et al., 1992, méthode LCPC n°47) et de plots d'extensométrie,
- le prélèvement d'échantillons pour réaliser des essais mécaniques et physico-chimiques,
- des observations au microscope optique pour caractériser la nature des granulats et observer la microfissuration de la pâte de ciment,
- des observations au microscope électronique à balayage pour identifier la nature des phases délétères néoformées (gel d'alcali-réaction et/ou ettringite et/ou thaumasite), des essais de vieillissement accéléré :

- spécifiques à l'alcali-réaction. Les éprouvettes sont soumises à des cycles de passage en autoclave à 120°C en milieu humide de 24 heures suivis de 4 heures de refroidissement. Le seuil d'expansion retenue est de 0,11%. Entre 0,02 et 0,06 % les bétons sont considérés comme faiblement réactifs. Entre 0,06 et 0,11 % ils sont considérés comme moyennement réactifs. Il s'agit d'un essai développé initialement pour caractériser la réactivité des granulats dans une formulation de béton donnée (essai de caractérisation des granulats à l'autoclave, Tang et al. 1983) et qui a été détourné pour évaluer le potentiel de gonflement résiduel de bétons affectés par l'alcali-réaction. Cet essai jugé trop sévère, n'est plus pratiqué aujourd'hui et a été remplacé par des essais mis au point par le LCPC (méthode LCPC n° 44).

- spécifiques à l'attaque sulfatique (essai développé par Garbowski et al. 1992). Les carottes utilisées ont la même taille que celles utilisées pour l'essai spécifique à l'alcali-réaction. Elles sont d'abord soumises à des cycles journaliers d'immersion dans l'eau à 21°C et de chauffage en étuve à 82°C pendant 5 jours pour initier le développement des cristaux d'ettringite. Au bout de 5 jours, la longueur des carottes est mesurée (point 0) et les carottes sont plongées dans l'eau distillée à 21°C. La longueur des carottes est mesurée tous les 3 jours et si l'expansion moyenne est inférieure à 0,10 %, le béton est considéré comme non expansif vis-à-vis des réactions ettringitiques. Cet essai n'est plus pratiqué aujourd'hui et a été remplacé par des essais mis au point par le LCPC. L'essai actuel prend en compte les périodes de chauffage pour les bétons frais (méthode LCPC n° 66) mais ces périodes de chauffage ne sont pas réalisées pour les bétons prélevés sur des ouvrages d'art existants (méthode LCPC n° 67).

Dans les deux méthodes, le gonflement est mesuré pendant 52 semaines.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 1 ci-après. Ils ont servi de base aux réflexions pour la mise en place de leur suivi sachant qu'en 1993, les connaissances relatives à ces pathologies étaient nettement moins développées qu'à ce jour.

Les PI 328 et 338 ont fait l'objet d'une « contre-expertise » par le LCPC en 1995, soit trois ans après l'expertise initiale. Si une attaque sulfatique a bien été mise en évidence par le LCPC dans les bétons de ces deux ouvrages, il convient de souligner qu'aucune alcali-réaction n'a été observée dans les bétons du PI 328. Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que l'alcali-réaction n'était pas ou n'était plus la pathologie dominante dans ces bétons. Ces observations accréditent par contre le fait que ces deux pathologies sont souvent présentes de façon concomitante.

## V. SUIVI ET TRAITEMENT DES OUVRAGES : 1993 À 2006

Une mission conjointe SANEF, Concrete, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Ministère des Transports (IGOA) a été créée en janvier 1993 pour examiner la situation. Il a été décidé de mettre en place un suivi de la fissuration et de réaliser les travaux d'étanchéité des ouvrages les plus dégradés ou présentant des expansions résiduelles significatives.

### V.1. Suivi des ouvrages

Le suivi de la fissuration des ouvrages a été réalisé par la méthode des trièdres (Figure 6, méthode LCPC : mesures du nombre et des ouvertures des fissures sur les axes verticaux, diagonaux et horizontaux de trièdres installés sur les parements des ouvrages). Ce suivi a été mis en place par Concrete pour les ouvrages des groupes 1 et 2 et a été

étendu aux ouvrages des groupes 3 et 4 par les équipes de la SANEF.

Les indices de fissuration ainsi mesurés (moyenne de la somme des ouvertures de fissures) ont permis de classer les ouvrages en 6 catégories :

catégorie A : < 0,15 mm/m

catégorie B : < 0,30 mm/m

catégorie C : < 0,60 mm/m

catégorie D : < 1,20 mm/m

catégorie E : < 2,40 mm/m

catégorie F : > 2,40 mm/m

#### PI 329

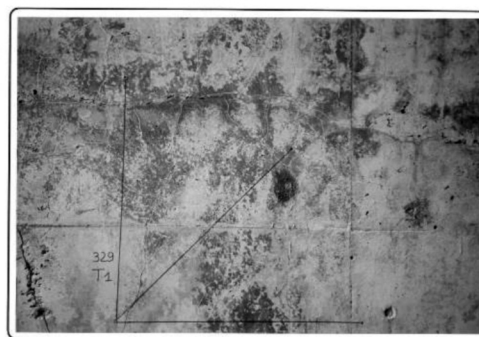
Date : 18 Avril 1994

Température : 7,6 °C

Position : Piédroit Reims - Calais : côté Reims

#### Trièdre

1



Axes	Ouverture des fissures (mm)	Nombre de fissures	Indice de fissuration (mm/m)	Ouverture moyenne (mm)	Histogramme des ouvertures de fissures (mm)
↑ 1 m	0,3 0,1 0,4 0,1 0,05 0,2 0,8 0,05	8	2,00	0,25	
↗ 1 m	1,7 0,2 0,3 0,2 0,1 0,1 0,4	7	3,00	0,43	
→ 1 m	1,7 0,5 0,2 1,0 0,8	5	4,20	0,84	
<b>Totalité</b>		20	3,07	0,51	

Figure 6 : Indice de fissuration du PI 329.

OA	Début fissures	Zone atteinte	Pathologie
PI 338 (PIPO)	1983 traversantes	Tablier et piédroits	Présence d'ettringite secondaire et de thaumasite Pas d'expansion résiduelle potentielle mesurée
PI 328 (PICF)	< 1983 traversantes	Tablier et piédroits	Présence de gel d'alcali-réaction, d'ettringite et de thaumasite Fort potentiel d'expansion résiduelle vis-à-vis de l'alcali-réaction et de l'attaque sulfatique
PI 329 (VIPP)	1977 Fissures importantes	Voiles culées	Présence de gel d'alcali-réaction en grande quantité, d'ettringite et thaumasite Fort potentiel d'expansion résiduelle vis-à-vis de l'alcali-réaction et de l'attaque sulfatique
PI 330 (VIPP)	< 1983 importantes	Voiles culées	Présence de gel d'alcali-réaction et d'ettringite Pas d'expansion résiduelle potentielle mesurée

Tableau 1 : Synthèse des résultats obtenus sur les 4 ouvrages les plus dégradés.

Les mesures ont été effectuées deux fois par an, au printemps et à l'automne. Concrete a effectué les mesures sur les ouvrages présentant une fissuration supérieure à 0,6 mm/m (catégories D, E et F). Le personnel SANEF des districts a effectué les mesures sur tous les autres ouvrages. Concrete a assuré la formation du personnel SANEF effectuant les relevés. Dans la mesure du possible, la même personne a été chargée, au fil des ans, de réaliser ces relevés. L'ensemble des données a été rassemblé à la SANEF dans une base de données spécifique "Suivi des Trièdres".

Chaque année un bilan de l'évolution de la fissuration a été fait conjointement entre la SANEF et Concrete et les ouvrages présentant une évolution de leur fissuration en catégorie D, E ou F ont fait l'objet d'une pré-visite pour s'assurer du caractère évolutif de la fissuration et écarter d'éventuels artefacts de mesure.

Il a ainsi été possible de montrer que certains ouvrages, pourtant bien dégradés, ne montraient pas d'évolution de leurs indices de fissuration. C'est le cas du PI 328 (Figure 7) qui a servi d'ouvrage test pour effectuer notamment des essais sur les produits d'imperméabilisation.

Les ouvrages en catégorie D, E ou F (indice de fissuration supérieur à 0,6 mm/m) ont fait l'objet ensuite :

- Dans un premier temps, d'une étude spécifique visant à déterminer la nature de la pathologie à l'origine des désordres observés (diagnostic matériau identique à celui décrit au chapitre IV),
- Puis, dans un deuxième temps, de travaux, si la pathologie était avérée et que le potentiel résiduel de gonflement était important,

- Et / ou d'un suivi de leur fissuration.

## V.2 - Traitement des ouvrages

En fonction des résultats des observations et des essais, et en fonction de l'état de fissuration de l'ouvrage, il a été décidé, ou non, d'effectuer des travaux sur l'ouvrage. Ainsi, les ouvrages les plus dégradés et/ou présentant un fort potentiel d'évolution ont été sélectionnés. Au total, 10 ouvrages (PI 322, 328, 329, 330, 354, 355, 361, 363, 365, et PS 357) ont fait l'objet de travaux de réhabilitation : Avec mise en œuvre, soit, dans 9 cas sur 10, d'un revêtement hydraulique souple, type Masterseal 550, soit, dans le cas du PI 328 (Figure 8), d'un revêtement polymère souple à base de styrène butadiène, sur l'ensemble des parements visibles (piédroits, murs en aile et intrados de tablier).

Avec réfection de la chape d'étanchéité de l'extrados des tabliers (Figure 9).

Pour les ouvrages ne faisant pas l'objet de travaux en raison d'une pathologie peu marquée ou d'une absence d'évolution résiduelle significative, le suivi de la fissuration par trièdres a été poursuivi.

Les travaux d'imperméabilisation des ouvrages se sont étalés sur plus de 7 ans (entre 1996 et 2006) au fur et à mesure de l'évolution de la fissuration des ouvrages et des résultats des diagnostics matériaux. Les travaux ont été réalisés selon le phasage suivant :

- 1997 : PI 322, PI 329, PI 330 et PI 361,
- 1999 : PI 354,
- 2000 : PI 355 et PS 357,

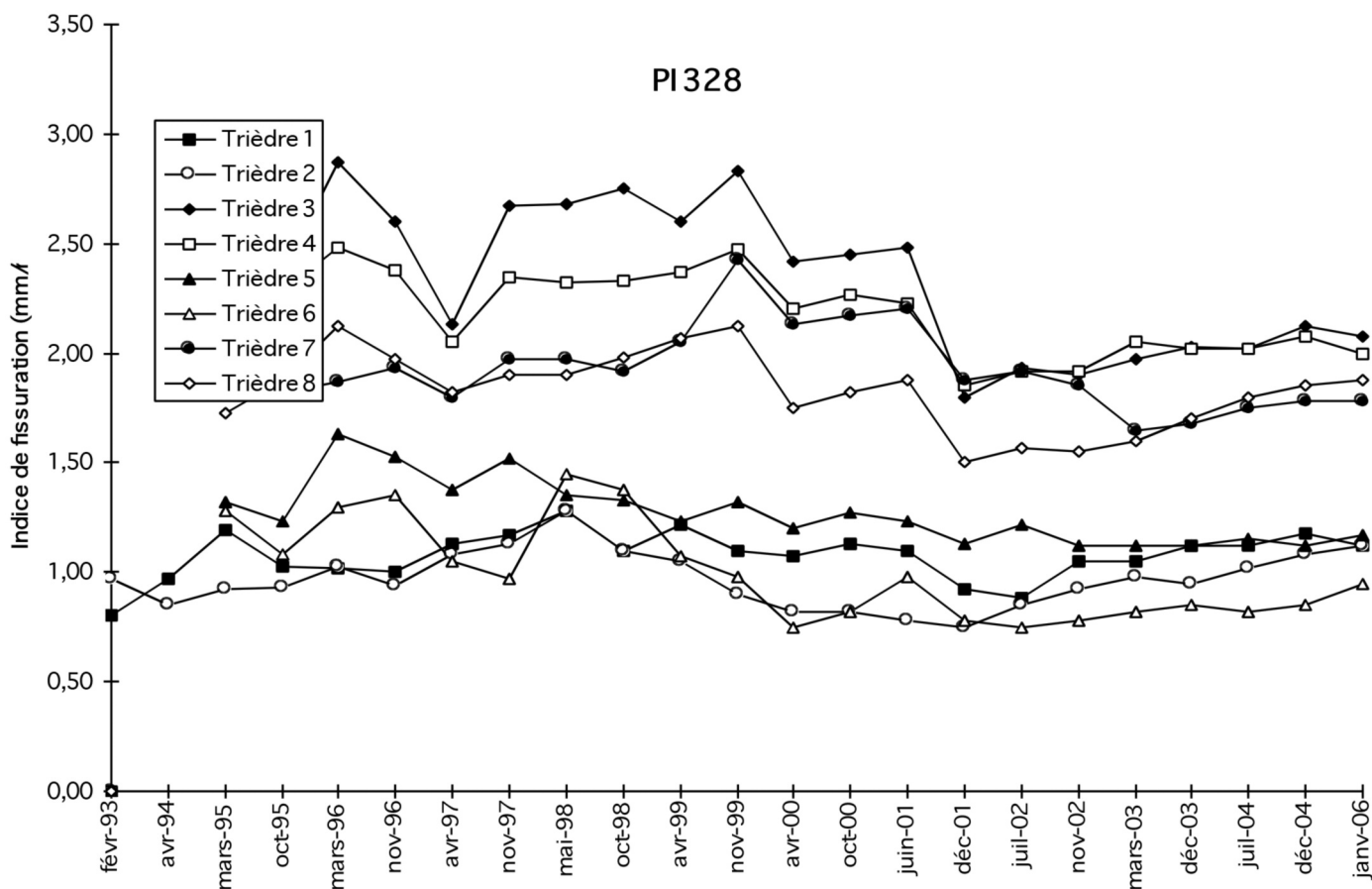


Figure 7 : Évolution de l'indice de fissuration du PI 328 entre 1993 et 2006.





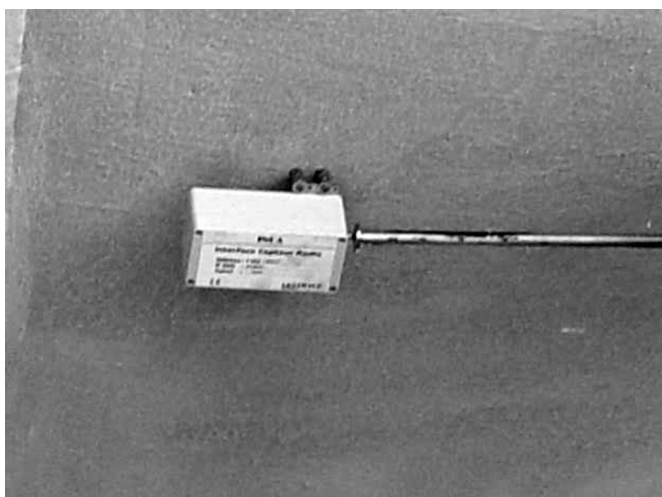
**Figure 8 : Piédroits du PI 328 revêtus par un produit à base de styrène-butadiène.**

- 2003 : PI 363 et PI 365,
- 2006 : PI 328 (sur un seul piédroit du fait de l'absence d'évolution de la fissuration).

### V.3. Instrumentation des ouvrages revêtus

Afin de vérifier que le traitement appliqué sur les ouvrages ralentit de manière satisfaisante les réactions internes au béton, les ouvrages traités ont fait l'objet d'un suivi de leur fissuration à l'aide de capteurs mesurant :

- Soit l'ouverture d'une fissure,
- Soit la déformation globale du parement (y compris l'ouverture d'un grand nombre de fissures) par l'intermédiaire de barres de mesures fixées sur le parement des ouvrages (Figures 10 et 11). Par ouvrage, il a été installé un capteur par piédroit et intrados de tablier et un capteur sur 2 barres de déplacement de 6 m et de 12 m.



**Figure 10 : capteur de déplacement à l'extrémité d'une barre de mesure.**



**Figure 9 : Réfection de l'étanchéité du tablier du PI 328.**

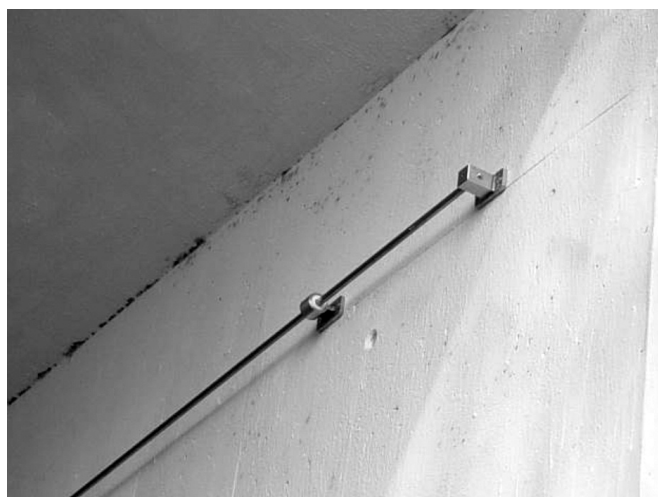
### V.4. Essais préliminaires à la réalisation des travaux

Parmi les ouvrages les plus dégradés, le PI 328 a été sélectionné pour réaliser des essais et des investigations complémentaires.

#### V.4.1. Enlèvement du remblai présent à l'arrière du piédroit

Les ouvrages affectés par des réactions de gonflement interne présentent une fissuration importante de leurs parements exposés à l'air et aux intempéries. Aucune information n'est disponible sur l'état des parements en contact avec les remblais. Il a donc été décidé de procéder au décapage du remblai derrière un des piédroits du PI 328 (piédroit côté Calais, sens Reims - Calais).

Pour ce faire, en 1993, un rideau de palplanches a été battu 3 mètres derrière l'ouvrage (Figure 12) et le remblai constitué de schistes noirs et de schistes rouges a été retiré à la pelle mécanique (Figure 13). Après décapage haute



**Figure 11 : Barre de mesure fixe à une extrémité.**

pression, il a été possible de procéder à l'inspection du parement. Il est apparu quelques désordres ponctuels (béton pulvérulent), notamment à l'interface schistes noirs – schistes rouges (Figure 14), mais aucun faïencage caractéristique de l'alcali-réaction ou de l'attaque sulfatique n'a été observé sur le parement intérieur, à la différence du parement extérieur. Cette information, capitale, a permis de valider le traitement envisagé, à savoir réaliser uniquement une imperméabilisation des parements exposés à l'air et à l'eau.

#### **V.4.2. Essais sur les produits d'imperméabilisation**

Il a ensuite été réalisé sur cet ouvrage, en 1996, des essais de produits d'imperméabilisation sur un piédroit (piédroit côté Reims, sens Calais - Reims). L'objectif de ces essais était de retenir un produit ou une famille de produits pour réaliser l'imperméabilisation des parements extérieurs. En effet, avant de sélectionner un produit spécifique au traitement d'ouvrages atteints de réactions de gonflement interne, il faudrait idéalement pouvoir répondre à deux questions :

- l'eau interne au béton suffit-elle pour alimenter et entretenir la réaction ? Si la réponse à cette question est positive, il est probable que le fait d'imperméabiliser le béton ne fera que ralentir l'expansion. La question sera alors de savoir si l'on peut ralentir suffisamment la réaction au point d'éviter la fissuration du béton et du revêtement d'imperméabilisation.



**Figure 12 : Rideau de palplanches à l'arrière du piédroit.**

- le revêtement à mettre en œuvre doit-il assurer une simple imperméabilité à l'eau de pluie, ou une imperméabilité plus complète à la vapeur d'eau ? La plupart des revêtements habituellement appliqués sur les ouvrages d'art présentent une certaine perméabilité à la vapeur d'eau afin de permettre à l'eau contenue dans le béton de s'évaporer.

Les produits retenus devaient :

- être imperméables à l'eau,
- avoir une certaine souplesse pour pouvoir supporter une éventuelle fissuration résiduelle,
- avoir une bonne durabilité (résistance au pelage et au cloquage, maintien des propriétés élastiques et de la résistance à la fissuration et bonne résistance au gel-dégel),
- avoir une adhérence suffisante au support (au moins 1 MPa).

Un produit à base de styrène – butadiène (Decadex de Pentagon), imperméable à l'eau et à la vapeur d'eau et 5 produits à base de liants hydrauliques modifiés (Sika, MBT, Kristo, Lanko et Betorec), imperméables à l'eau mais pas à la vapeur d'eau, ont été mis en œuvre directement par les fournisseurs (Figure 15) sur des surfaces de 2 m x 2 m. Le support a été préalablement sablé et des essais d'adhérence ont été effectués pour vérifier l'épaisseur et l'adhérence des produits mis en œuvre (Figure 16). En parallèle, des essais de vieillissement accéléré ont été réalisés sur des carottes revêtues par ces mêmes produits.



**Figure 13 : Retrait du remblai à la pelle mécanique.**



**Figure 14 : Parement du piédroit côté remblai après décapage des terres.**



**Figure 15 : Application d'un liant hydraulique modifié sur une zone test du PI 328.**



**Figure 16 : Essais d'adhérence.**

Ces essais ont permis de confirmer que les liants hydrauliques modifiés étaient parfaitement adaptés pour ralentir les phénomènes de gonflements résiduels liés à l'alcali-réaction et/ou à l'attaque sulfatique. Ils ont également confirmé que le produit de la société Décadex pouvait, grâce à sa très forte élasticité et à son imperméabilité, répondre aux critères imposés par les pathologies affectant les ouvrages d'art de la SANEF. À ce jour, les produits mis en œuvre à la SANEF depuis plus de 20 ans sont le Masterseal de la société BASF et le Décadex de la société Pentagon.

### V.4.3. Essai de chargement d'un tablier fortement fissuré

Le PI361 (district de Saint Omer) présentait un tablier fortement fissuré (fissuration horizontale dans l'épaisseur et faïençage dans la masse, figures 18 et 19). Le diagnostic matériau a confirmé l'existence d'une alcali-réaction avec toutefois des potentiels limités d'expansion dans le temps. Il a donc été décidé, comme pour tous les ouvrages fortement dégradés, de mettre en œuvre un revêtement d'étanchéité sur les parois en contact avec l'environnement ainsi

que sur le tablier (réfection de l'étanchéité sous chaussée). Toutefois, étant donné le niveau de fissuration anormalement élevé de l'ouvrage, il a également été décidé d'effectuer un essai de chargement des deux tabliers de l'ouvrage. Un premier essai de chargement a été réalisé en 1995. Quatre points de mesure supplémentaires ont été effectués en plus du point situé au centre de l'ouvrage (cas de charge réglementaire de référence). L'objectif était notamment de vérifier les effets des désordres liés à l'alcali-réaction dans la partie la plus abîmée du tablier (partie centrale côté terre-plein central). Cet essai de chargement a permis de montrer :

- Un retour élastique des tabliers,
- Une flèche légèrement plus importante (en partie centrale et côté terre-plein central) par rapport à l'essai de chargement initial de 1975, conduisant à une très faible diminution du coefficient de sécurité dans la partie la plus dégradée (12 %),
- Aucune variation dans les autres parties des deux tabliers par rapport à l'essai de chargement initial de 1975.

Ces résultats ont confirmé que l'ouvrage pouvait faire l'objet de simples travaux d'imperméabilisation et qu'il conviendrait de vérifier l'évolution de son comportement dans un délai de 10 ans.



**Figure 18 : Tablier fortement faïencé du PI 361.**



**Figure 19 : Prélèvement par carottage (à noter la fissuration horizontale du tablier).**

La méthodologie suivie par la SANEF pendant ces 10 premières années a été présentée lors de la 11<sup>e</sup> conférence internationale sur l'alcali-réaction en 2000 à Québec (Baillemont et al., 2000).

## V. PREMIER BILAN : 2006

Un premier bilan du suivi des ouvrages a été établi en 2006, soit 16 ans après le début du suivi, par la mission conjointe SANEF, Concrete, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Ministère des Transports (IGOA) créée en janvier 1993 pour examiner la situation. Ce premier bilan avait notamment pour but d'examiner :

- les mesures de suivi,
- l'évolution constatée,
- les mesures envisagées à moyen et long terme.

L'objectif était également d'être en cohérence avec la politique française de maintenance des ouvrages atteints de réactions de gonflements internes définie en France (Godart et al., 2004).

### VI.1. Patrimoine couvert par les investigations

Il apparaît que 243 ouvrages sont suivis sur 253. Les dix ouvrages qui ne font pas l'objet d'un suivi sont bien identifiés et sont susceptibles d'être intégrés dans les ouvrages suivis en cas d'évolution qui serait constatée lors de la surveillance périodique.

### VI.2. Modalités du suivi réalisé avec les trièdres

Le suivi de la fissuration est réalisé sur les 243 ouvrages par mesure de l'ouverture cumulée de fissures selon la méthode LCPC des trièdres. Les indices de fissuration conduisent au classement des ouvrages selon 6 catégories réparties de la façon suivante :

- catégories A, B et C : fissuration inférieure à 0,6 mm/m : 230 ouvrages suivis par les districts de Béthune (46 ouvrages), St Omer (47 ouvrages), Cambrai (26 ouvrages) et St Quentin (84 ouvrages).
- catégories D, E et F : fissuration supérieure à 0,6 mm/m : 13 ouvrages suivis par Concrete dans les districts de Béthune (8 ouvrages : 322, 328, 329, 330, 338, 354, 355 et 357), de Saint Omer (3 ouvrages : 361, 363 et 365), d'Arras (1 ouvrage : 525) et Saint Quentin (1 ouvrage : 631).

Les trièdres (minimum 3 par ouvrage) sont mesurés deux fois par an par les districts ou par Concrete. Les données sont centralisées dans une base de données spécifique et les éventuelles évolutions sont validées conjointement par la SANEF et Concrete. Cette méthodologie paraît bien adaptée et est maintenue au même rythme, c'est-à-dire deux fois par an, sauf pour les ouvrages qui semblent être stabilisés et pour lesquels un rythme annuel peut être admis.

### VI.3. Modalité du diagnostic matériau

En cas d'évolution de la fissuration, la méthodologie implique de :

- Réaliser des carottes dans les parties les plus dégradées,
- D'observer le béton au microscope polarisant (caractérisation des granulats et étude de la micro-fissuration de la pâte de ciment et des granulats),
- D'observer les bétons au microscope électronique à balayage (caractérisation des gels d'alcali-réaction ou des cristaux d'ettringite secondaire).
- De réaliser des essais de vieillissement accélérés.

Il apparaît clairement que les ouvrages se dégradent moins que ce que les essais de vieillissement ultra-accéléré laissaient supposer. Il est donc décidé d'abandonner les essais de Tang et al. 1983 et de Garbowski et al. 1992 et de les remplacer, en cas de nouvelles études, par les essais mis au point par le LCPC (méthode LCPC n°44 pour l'alcali-réaction et méthode LCPC n°67 pour l'attaque sulfatique).

### VI.4. Modalité du suivi de la fissuration par capteurs

Les neuf ouvrages protégés entièrement par un revêtement à base de liant hydraulique modifié ont été instrumentés avec des capteurs de déplacement positionnés, soit au droit de fissures, soit à l'extrémité de barres verticales de 3, 5, 6 ou 12 m en fonction de la géométrie des ouvrages (Figure 20). Le principe de cette instrumentation est de détecter un gonflement qui serait masqué par le revêtement qui est suffisamment souple pour ne pas fissurer sous un gonflement modéré (Delaby et al., 2004).

Les résultats obtenus entre 1997 (pour les premiers ouvrages équipés) et 2006 (date du premier bilan) ont mis en évidence un certain nombre de problèmes liés au fonctionnement des capteurs et à leur entretien (problèmes d'alimentation par panneaux solaires ou batterie, vieillissements prématurés, corrosion des palpeurs). De plus, les mesures sur fissures n'ont pas permis d'obtenir des résultats intéressants. Il a donc été décidé de poursuivre uniquement l'instrumentation des capteurs sur barres. Le matériel a été remplacé ou reconditionné et les capteurs ont été reprogrammés pour prendre une mesure toutes les 4 h au lieu de toutes les heures auparavant.

L'instrumentation a permis de mettre en évidence dans la plupart des cas uniquement des variations saisonnières. Aucune augmentation significative n'a été mise en évidence, confirmant l'efficacité des revêtements mis en œuvre.

À l'issue de cette mise à jour, le matériel d'instrumentation suivant était en place :

- PI 322 (VIPP dont les poutres précontraintes ne sont pas affectées par une quelconque pathologie) : 1 barre verticale de 5 m sur piédroit et 1 barre horizontale de 12 m sur piédroit,
- PI 329 (VIPP dont les poutres précontraintes ne sont pas affectées par une quelconque pathologie) : 1 barre horizontale de 12 m sur piédroit,

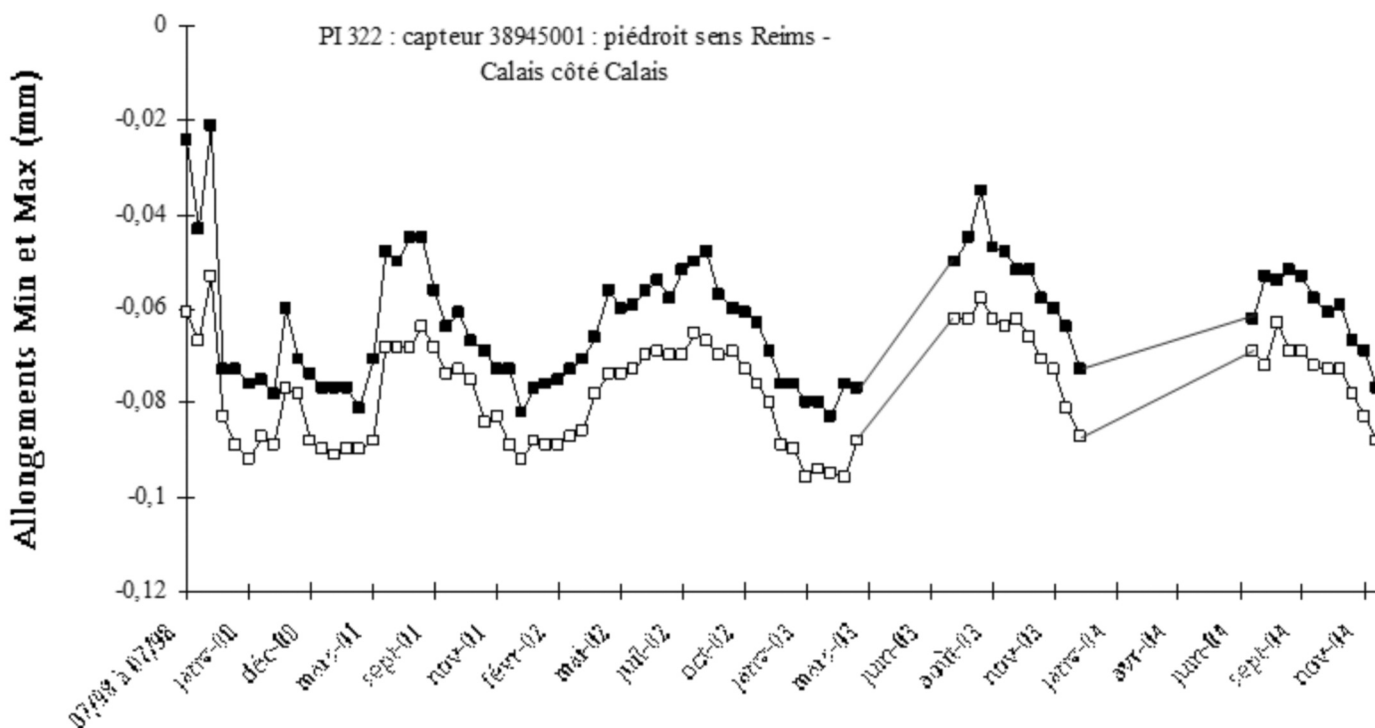


Figure 20 : Synthèse des résultats obtenus entre 1998 et 2004. Seule la valeur maximale par période de 24h est présentée.

- PI 330 (VIPP dont les poutres précontraintes ne sont pas affectées par une quelconque pathologie) : 1 barre horizontale de 12 m sur piédroit,
- PI 354 : 1 barre de 5 m en intrados de tablier et une barre de 12 m sur piédroit,
- PI 355 : 1 barre de 5 m en intrados de tablier et une barre de 12 m sur piédroit,
- PS 357 : 2 barres horizontales de 3 m sur pile,
- PI 361 : 1 barre de 6 m en intrados de tablier et une barre de 12 m sur piédroit,
- PI 363 : 1 barre de 6 m en intrados de tablier et une barre de 12 m sur piédroit,
- PI 365 : 1 barre de 6 m en intrados de tablier et une barre de 12 m sur piédroit.

Le traitement et l'analyse des résultats ont également été modifiés comme le montre la Figure 21 où une faible expansion a été mesurée entre 2009 et 2014 sur le PI 354.

## VI.5. Résultats des suivis

Les résultats des suivis réalisés pendant les 16 premières années ont conduit à prendre les décisions suivantes, outre la poursuite des suivis réalisés par trièdres et la poursuite de l'instrumentation par capteurs sur barres après reconditionnement du matériel :

- Essai de chargement à reconduire sur le PI 361, 10 ans après l'essai précédent,
- Vérification de l'état des armatures du PI 329 au droit des fissures les plus ouvertes,
- Reprise des revêtements d'étanchéité dégradés du PI 330 et traitement des fissures présentant des traces d'humidité,
- Suivi de l'état des revêtements de tous les ouvrages traités,
- Reprise des zones cloquées au droit du terre-plein central et traitement des venues d'eau du PI 363.

- Reprise des zones cloques cloquées et mise en œuvre d'une étanchéité au droit du joint entre ouvrages en terre-plein central du PI 365.
- Les revêtements des ouvrages, s'ils ont vieilli et montrent localement des désordres tels que des cloquages, sont globalement en bon état. Il convient de les inspecter régulièrement et de prévoir une réfection lourde tous les 20 ans (durée vie habituellement constatée).

## VI.6. Traitements préventifs

Les traitements de fond préventifs suivants ont été préconisés suite à ce bilan :

- Sur deux ouvrages (PI 525 et PI 631), mise en œuvre partielle (parties exposées aux pluies et aux ruissellements) d'un revêtement à base de styrène – butadiène (Decadex de Pentagon),
- En vue d'éviter un « décaissement à l'arrière des culées avec remplacement du remblai, drainage et étanchéité » et la démolition-reconstruction des ouvrages, les travaux suivants ont été réalisés :
  - suppression des chapes dans les trottoirs au profit d'une chape générale,
  - imperméabilisation des terre-pleins centraux au droit des ouvrages avec recueil des eaux de plate-forme,
  - imperméabilisation des remblais sur 30 m de part et d'autre des ouvrages.

## VI.7. Fonctionnalité résiduelle des dispositifs de retenue

On dispose de nombreux éléments sur la dégradation des matériaux et leurs conséquences structurelles (exemple du

## PI 354 - Capteur 2302

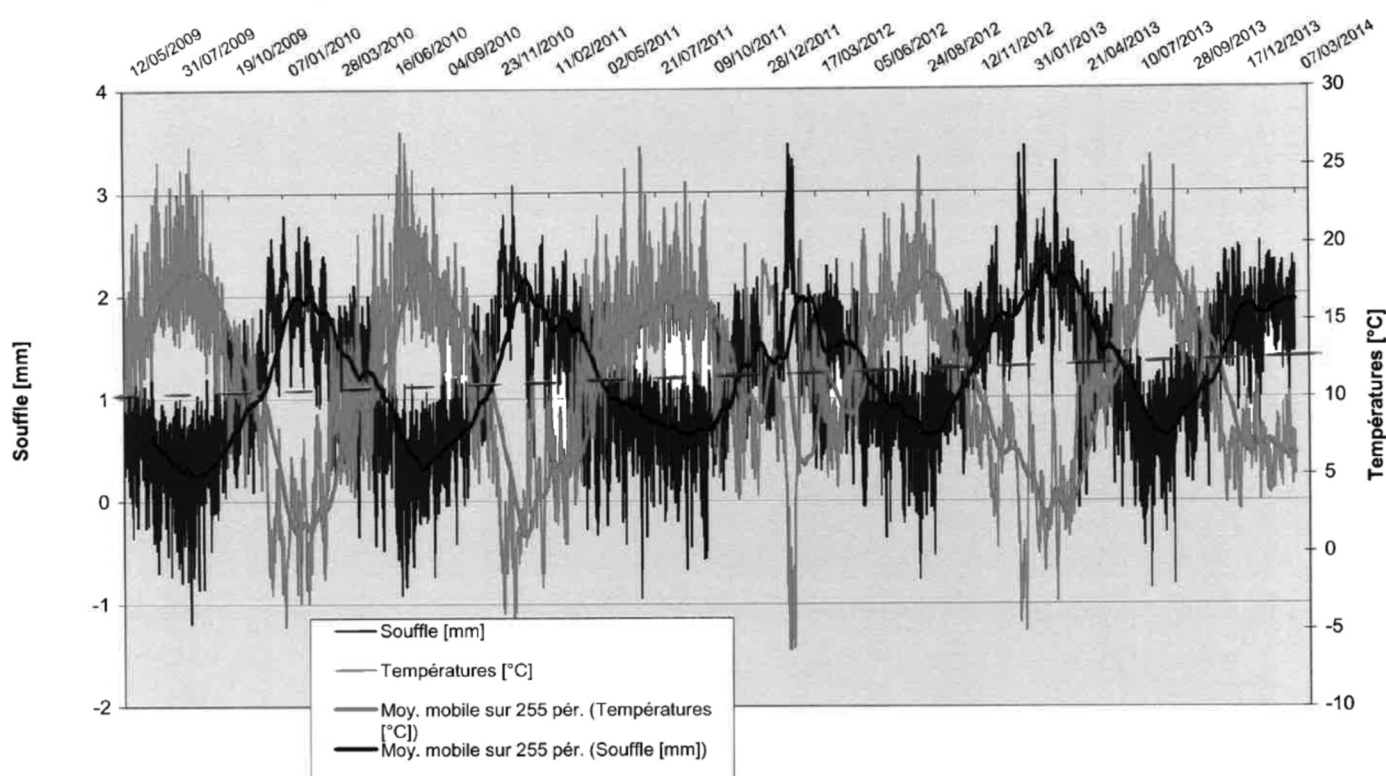


Figure 21 : Instrumentation du PI 354 entre 2009 et 2014.

PI 329 et du PI 361). Par contre, on ne dispose pas d'éléments quantifiés sur la dégradation de la fonctionnalité des ouvrages et notamment l'efficacité des dispositifs de sécurité. Les longrines d'ancrage des dispositifs de retenue sont probablement constituées de bétons identiques à ceux des piédroits et des tabliers. S'ils sont soumis aux intempéries ils peuvent donc développer les mêmes pathologies. Par conséquent, des études spécifiques sont à prévoir au cas par cas.

## VII. SUIVI ET TRAITEMENT DES OUVRAGES : 2007 À 2015

### VII.1. État des armatures

Des sondages de reconnaissance ont été réalisés sur le PI 329, l'ouvrage le plus fissuré, pour vérifier l'état des armatures au droit des fissures les plus ouvertes. Les investigations n'ont montré aucune armature déformée ou sectionnée.

### VII.2. Essai de chargement

Un essai de chargement a été réalisé en 2007 sur le PI 361, dans les mêmes conditions qu'en 1995. Cet essai a permis de montrer :

- Un retour toujours élastique des tabliers,

- Une bonne symétrie de comportement des deux rives de chaque tablier (flèches mesurées sous bande d'arrêt d'urgence très proches des flèches mesurées sous voie rapide), ceci quel que soit le cas de charge et en tenant compte de la symétrie des chargements (camions identiques sur voie rapide et sur bande d'arrêt d'urgence).
- Une absence d'évolution significative de la flèche au centre de l'ouvrage dans le cas de chargement de référence sur le tablier non dégradé,
- Une légère tendance à l'augmentation des flèches sur le tablier dégradé. Il s'agit toutefois d'une tendance à pondérer du fait des faibles flèches mesurées étant donné le type de pont (pont cadre à faible portée).

Les variations par rapport à 1995 sont faibles au regard des valeurs mesurées, mais montrent tout de même une tendance à l'augmentation vraisemblablement liée à l'alcali-réaction et/ou à l'attaque sulfatique. Le bon état apparemment du revêtement mis en œuvre en 1995 sur les parements de l'ouvrage et plus particulièrement du tablier, et l'absence de traces de circulations d'eau à travers le tablier suite au remplacement de l'étanchéité en extrados laissent penser que la ou les pathologies affectant les bétons ont été fortement ralenties. Elles restent toutefois actives comme l'atteste la tendance à l'augmentation des flèches ce qui nécessitera l'entretien à vie de l'ouvrage d'un revêtement d'imperméabilisation en bon état.

Il conviendra également de s'assurer, par des essais de chargement réguliers (tous les 10 ans), du maintien du fonctionnement élastique des tabliers de cet ouvrage.

## VIII. DEUXIÈME BILAN : 2014

Un second bilan du suivi des ouvrages a été établi en 2014, soit près de 25 ans après le début du suivi. On constate après 25 ans de suivi que sur 253 ouvrages :

- 18 ne sont pas susceptibles d'être affectés par une réaction de gonflement interne,
- 182 sont dans un état de fissuration acceptable (fissuration inférieure à 0,3 mm/m),
- 39 sont dans un état « moyen » (fissuration comprise entre 0,3 et 0,6 mm/m),
- 4 sont particulièrement dégradés (fissuration supérieure à 0,9 mm/m).

Le nombre d'ouvrages dégradés n'a pas ou peu évolué au cours des 10 dernières années et les travaux réalisés ont permis de limiter l'évolution des désordres.

### VIII.1. Suivi de la fissuration des ouvrages les moins dégradés

Le suivi réalisé pendant 25 ans a montré sa fiabilité. Il peut être envisagé d'alléger ce suivi (tous les ans ou tous les 2 ans).

### VIII.2. Suivi de la fissuration et état des ouvrages les plus dégradés

Plusieurs ouvrages (PI 322, 329, 338, 354) n'ont montré aucun gonflement depuis la mise en œuvre des revêtements d'étanchéité, soit pour certains depuis plus de 15 ans. Certains ouvrages montrent des évolutions faibles, voire négligeables (PI 330, 355).



Figure 22 : Cloquage du revêtement du PI 361.

Deux ouvrages montrent un gonflement, des exsudats de gel et une fissuration sur les murs en retour (PI 363 et 365). Une vérification de l'instrumentation et un suivi annuel de l'état des revêtements et de la fissuration est à prévoir.

Le PI 361, qui a montré une légère augmentation de la flèche du tablier lors de l'essai de chargement de 2007, devra faire l'objet d'un nouvel essai de chargement en 2017. On note également une dégradation de plus en plus importante du revêtement d'imperméabilisation (Figure 22). Une réfection de ce revêtement est à prévoir d'autant plus qu'il a bientôt 20 ans.

Le PS 357 montre une évolution significative (capteurs sur barres horizontales de 2 m) et son revêtement est fissuré en plusieurs points (figure 23). Des investigations complémentaires sont à prévoir sur cet ouvrage :

- Carottage au droit d'une fissure pour déterminer sa profondeur et la comparer à l'enrobage,
- Décapage horizontal du revêtement sur une bande de 10 cm de large pour mesurer l'ouverture des fissures,
- Essais d'expansion résiduelle,
- Mesure de la résistance mécanique du béton,
- Mesure du module d'élasticité du béton.

## IX. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les méthodes déployées pour l'analyse, le suivi et le traitement des ouvrages sont bien adaptées à la problématique et ont permis d'effectuer des travaux adaptés à la pathologie et de limiter ces travaux aux seuls ouvrages réellement dégradés.

Même si la démolition – reconstruction de certains ouvrages n'est pas à exclure, cet article montre qu'une bonne politique de gestion et de maintenance des ouvrages



Figure 23 : Fissuration du revêtement du PS 357.

atteints de réaction de gonflement interne du béton peut permettre de les maintenir en service et de prolonger significativement leur durée de vie tout en respectant les conditions de sécurité nécessaires. Il convient évidemment de mettre en œuvre une surveillance renforcée de ces ouvrages et de s'assurer du bon état des revêtements et de la bonne récupération et évacuation des eaux de pluie.

## X. BIBLIOGRAPHIE

- Baillemont G., Delaby J.B., Brouxel M. et Rémy P., 2000, Diagnosis, treatment and monitoring of a bridge damaged by AAR. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, Quebec, p. 1099 - 1108.
- Brouxel M. et Valière A., 1992, Thaumasite as the final product of alkali-aggregate reaction: a case study. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, London, p. 136 -144.
- Delaby J.B., Brouxel M. et Remy P., 2004. Monitoring of nine repaired bridges affected by AAR. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, Beijing, p. 1215-1218.
- Godart B., Fasseu P. and Michel M., 1992, Diagnosis and monitoring of concrete bridges damaged by A.A.R in northern France. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, London, p. 368 -375.
- Godart B., Mahut B. Fasseu P. and Michel M., 2004. The guide for aiding to the management of structures damaged by concrete expansion in France. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, Beijing, p. 1219-1228.
- Garbowski E., Czamecki B., Gillot J.E., Duggan C.R. et Scott J.F., 1992, Rapid test of concrete expansivity due to internal sulfate attack, American Concrete Institute Materials Journal, v. 89, 5, p. 469-480.
- Méthode d'essai n° 44 : Alkali-réaction du béton. Essai d'expansion résiduelle sur béton durci. Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 10 pages.
- Méthode d'essai n° 47 : Détermination de l'indice de fissuration d'un parement de béton. Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 11 pages.
- Méthode d'essai n° 66 : Réactivité d'un béton vis-à-vis d'une réaction sulfatique interne. Essai de performance. Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 18 pages.
- Méthode d'essai n° 67 : Réaction sulfatique interne au béton. Essai d'expansion résiduelle sur carotte de béton extraite de l'ouvrage. Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 18 pages.
- Prin D. et Brouxel M., 1992, Alkali-aggregate reaction in northern France: a review. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, London, p. 790-798.
- Salomon, M., Caude J. et Hasni L., 1992, Diagnosis of concrete structures affected by alkali-aggregate reaction. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate reaction in Concrete, London, p. 902 - 932.
- Tang M.S., Han S.F. and Zhen S.H., 1983, A rapid method for identification of alkali reactivity of aggregates. Cement and Concrete Research, v.13, 3, p. 417-422.



## annonces de colloques



### EvaDéoS

Evaluation non destructive pour la prédiction  
de la Dégradation des structures et  
l'Optimisation de leur Suivi



### Journée de restitution

**14 janvier 2016**

**Campus EDF R&D CHATOU**  
6 quai Watier BP 49 78401 CHATOU cedex

### Partenariat



Avec l'appui des GIS :



### Inscriptions

La participation à la journée est gratuite  
grâce au soutien d'EDF R&D.

### ! INSCRIPTION OBLIGATOIRE !

L'inscription doit être faite en ligne via le lien  
ci-dessous avant le 18/12/2015.

⇒ <http://evadeos.sciencesconf.org>

Au-delà de cette date l'accès au campus n'est  
plus garanti par EDF R&D.

## Présentation du projet

L'objectif de cette journée de restitution est de présenter les principaux résultats et avancées du projet EvaDéOS financé par l'Agence Nationale de la Recherche (Programme Villes & Bâtiments Durables -2011).

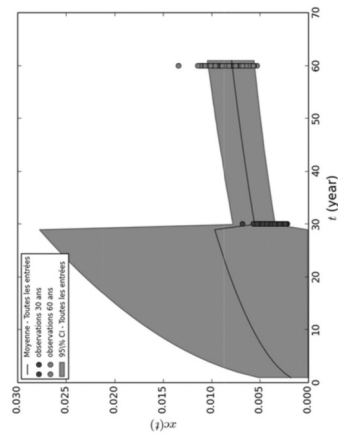
Ce projet vise à proposer une méthodologie globale de suivi des structures en béton armé intégrant les phases de l'évaluation, du diagnostic d'état, du pronostic et de la prise de décision en regroupant des partenaires spécialistes de ces différentes phases autour de gestionnaires d'ouvrages. La pathologie à laquelle s'intéresse le projet est la corrosion des armatures. Le projet se place dans une démarche préventive afin d'anticiper l'apparition des dommages et d'éviter ainsi la mise en place de réparations importantes.

Grâce à un audit réalisé auprès des gestionnaires partenaires du projet des critères décisionnels ont été proposés, en veillant à la spécificité de chaque type d'ouvrage. Ces critères ont ensuite été utilisés pour structurer le processus de prise de décision. Des modèles prévisionnels d'évolution des dégradations ont été testés grâce à un banc d'essai numérique. Le choix des modèles a été réalisé sur la base de leur performance mais également vis-à-vis de leur aptitude à utiliser des grandeurs accessibles par évaluation non destructive (END). Une procédure d'actualisation des grandeurs prédites par les modèles a été développée, en s'appuyant également sur des grandeurs potentiellement accessibles par END. La prise en compte de la variabilité spatiale des grandeurs d'intérêt sur ouvrages réels a également été abordée. Une méthodologie visant à optimiser les campagnes d'END sur sites réels a été

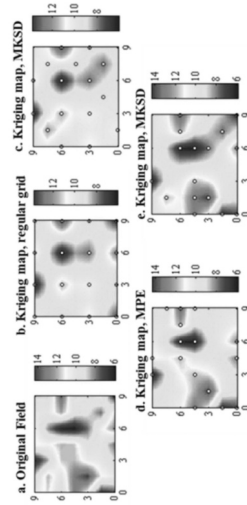
développée permettant à la fois de limiter le nombre de mesures non destructives mais également le nombre de carottages nécessaires pour les recalages.

L'ensemble de la méthodologie proposée a été mise en œuvre sur un ouvrage réel.

Site internet du projet : <http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/evadeos/accueilvadeos.htm>



Actualisation d'un modèle de prédiction de la profondeur carbonatée



Cartes de krigeage comparées au champ de mesures réel

## Programme

- 9h-9h30 : accueil
- 9h30-10h00 : ouverture
- 10h00-10h20 : objectifs du projet
- 10h20-10h40 : pause
- 10h40-12h30 : bilan des travaux par action
- 12h30-14h00 : déjeuner-buffet, posters
- 14h00-15h20 : focus sur avancées spécifiques
  - Innovations en CND
  - Optimisation des essais sur sites
  - Actualisation
  - Aide à la prise de décision
- 15h20-15h40 : pause
- 15h40-16h00 : application sur site réel
- 16h00-16h30 : bilan et perspectives
- 16h30 : fin de la journée



## Constructions en terre crue: avancées scientifiques

17 – 18 mars 2016, Chambéry

### Contexte

Le matériau terre (pisé, adobe, ...) attire l'intérêt du public ces dernières années grâce à sa faible énergie grise et son comportement hygrothermique intéressant. Par conséquent, de nombreux acteurs français et internationaux travaillent sur ce type de matériaux.

La rencontre nationale « **Constructions en terre crue: avancées scientifiques** » est une occasion, pour les différents acteurs (chercheurs, ingénieurs, architectes, artisans, ...) qui travaillent sur le sujet, de se rencontrer, échanger et développer des collaborations.

### Thèmes abordés

Les communications aborderont, tant au niveau **académique** que **professionnel**, les aspects mécaniques, sismiques, hygrothermiques, bioclimatiques mais aussi architecturaux et socio-économiques des matériaux provenant du sol.

Une table-ronde aura lieu en deuxième journée pour discuter du projet d'une norme internationale labellisée par la RILEM.

### Appel à communication

Les communications pourront être présentées à l'oral ou sous forme de poster. Les résumés (1 page) seront collectés dans un livret qui sera distribué aux participants.

### Dates à retenir

Soumission des résumés (1 page): avant **22/01/2016**

Retour d'acceptation: **15/02/2015**

Date limite d'inscription: **05/03/2016**

### Soumissions - Inscriptions

La participation à la rencontre est gratuite mais l'inscription est obligatoire. Toutes les soumissions et inscriptions doivent être envoyées à: [quoc-bao.bui@univ-smb.fr](mailto:quoc-bao.bui@univ-smb.fr)

Site web: [www.polytech.univ-savoie.fr/locie](http://www.polytech.univ-savoie.fr/locie)

### Comité d'organisation (LOCIE)

Organisateur: Quoc-Bao Bui

Catherine Buhé, Ranime El-Nabouch, Thierry Goldin, Anne-Cécile Grillet, Pascal Perrotin, Cédric Poinard, Noémie Prime, Bastian Sentosa, Benoit Stutz, Monika Woloszyn.

### Comité scientifique

S. Amziane (Polytech Clermont), J.-E. Aubert (U. de Toulouse 3), Q.-B. Bui (U. Savoie Mont Blanc), A. Fabbri (ENTPE), D. Gallipoli (U. de Pau), J.-C. Morel (Coventry University).

### Lieu

La rencontre se tiendra au Bâtiment **Pôle Montagne**, Campus Savoie Technolac, 73370 Le Bourget-du-Lac.

**Accès en train:** desserte ferroviaire de Chambéry au départ de Paris, Lyon, Grenoble, Valence et Genève.

**Avion:** aéroport de Lyon et de Genève à 1h00 (navettes et trains)

**Voiture:** accès par autoroute.



Photo : Maison en pisé construite par N. Meunier

**LOCIE** (Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement), UMR 5271 CNRS – Université Savoie Mont Blanc  
Campus Scientifique - Savoie Technolac - 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex France

## Titre (Times New Roman, 16 pts, gras)

**Q-B. Bui<sup>1\*</sup>, N. Prime<sup>1</sup>, A. Auteur<sup>2</sup> (Times New Roman, 11 pts, gras)**

<sup>1</sup> *Université Savoie Mont Blanc, LOCIE - UMR 5271, Polytech Annecy-Chambéry – 73376 Le Bourget du Lac*

<sup>2</sup> *Autre affiliation (Times New Roman, 11 pts, italique).*

\* *quoc-bao.bui@univ-savoie.fr (auteur correspondant)*

### Résumé (Times New Roman, 11 pts, gras - espacement 6 pts après le titre)

Premier paragraphe (Times New Roman, 11 pts, justifié). La totalité du résumé (titre, mots clés, corps du texte, références) s'étendra sur une page maximum. Une figure pourra être ajoutée au sein du résumé. Les références seront citées par nom et date (Bui *et al.* 2009, Eymard *et al.* 2015).

Deuxième paragraphe (espacement 6 pts entre paragraphes).

Troisième paragraphe.



**Titre de la figure (Times New Roman, 11 pts, gras, centré).**

**Mots clés (Times New Roman, 11 pts, gras) 5 mots clés maximum**

### Références (Times New Roman, 11 pts, gras)

Bui Q. B., Morel J. C., Hans S., & Meunier N. (2009). Compression behaviour of non-industrial materials in civil engineering by three scale experiments: the case of rammed earth. *Materials and structures*, 42(8), 1101-1116.

Eymard M., Plassiard J. P., Perrotin P., & Le Fay S. (2015). Interfacial strength study between a concrete substrate and an innovative sprayed coating. *Construction and Building Materials*, 79, 345-356.

*Constructions en terre crue: avancées scientifiques, Chambéry, 17 – 18 mars 2016,*

5<sup>e</sup> CONFÉRENCE INTERNATIONALE  
**NOVATECH**  
 28 JUIN > JUILLET Lyon 2016

Stratégies & solutions pour une gestion durable de l'eau dans la ville

**APPEL A COMMUNICATION**

NOVATECH porte sur les stratégies et solutions pour une gestion intégrée et durable de l'eau dans la ville, avec un focus sur les eaux pluviales urbaines. Elle vise à croiser les approches et faire dialoguer tous les acteurs.

Répondez à l'appel à communication - Rendez-vous à Lyon du 28 juin au 1<sup>er</sup> juillet 2016 !



**Pourquoi participer à Novatech**

**Novatech rassemble des professionnels de haut niveau issus de champs diversifiés.** Scientifiques, décideurs, gestionnaires et techniciens, français et internationaux, exposent et partagent leur connaissance à Novatech des dernières recherches, innovations et perspectives d'évolution ; ils font connaître et partager leurs expériences techniques et stratégiques.

**Novatech favorise les passerelles entre les acteurs et la transversalité des approches.**

En accueillant à la fois les acteurs de l'eau - assainissement et milieux aquatiques - et les acteurs de l'aménagement du territoire - urbanistes, paysagistes, architectes, sociologues - qui ont en commun la gestion et l'aménagement d'un territoire, Novatech favorise la construction d'une culture commune sur la gestion de l'eau, contribue au transfert des connaissances et incite à l'évolution des pratiques.



**Communiquez à Novatech Lyon 2016**

**Votre expertise et vos réalisations au cœur de la conférence**

En participant à la 9ème conférence Novatech, vous contribuez à faire évoluer les connaissances et les pratiques pour une gestion plus intégrée et durable de l'eau en ville. C'est, en effet, autour de vos recherches, de vos réalisations et de vos retours d'expérience que se construit la conférence.

**Votre expertise et vos réalisations valorisées**

La diversité des formats d'intervention vous offre de nombreuses opportunités de présenter le fruit de votre travail. Novatech s'engage, en outre, à valoriser vos communications au terme de la conférence dans les actes et sur son site internet. Enfin, les finalistes aux Trophées Novatech 2016 trouveront un écho dans la presse technique.



**Novatech : une occasion unique en France pour...**

- Faire un tour d'horizon des pratiques dans des villes du monde entier en termes d'urbanisme, d'aménagement et de politiques incitatives pour une bonne gestion de l'eau dans la ville.
- Connaître les dernières solutions techniques innovantes, intégrant les résultats de recherche, pour une gestion durable de l'eau dans la ville, pour faire face aux problèmes d'inondation, de pollution et de risques sanitaires.
- 3 jours de conférence du mardi 28 au jeudi 30 juin : 200 communications attendues, orales et posters, représentatives des recherches et pratiques dans une trentaine de pays dont 1/3 de pays d'Europe, 60 % des communications ont un caractère scientifique, 50 % s'appuient sur des retours d'expérience.

**Novatech c'est aussi...**


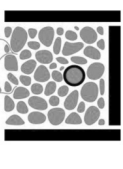


- Des conférences plénières permettant d'ouvrir sur des approches plus larges de la gestion durable de l'eau dans la ville et des ateliers, pour des temps d'échange plus libres.
- Les trophées Novatech, pour valoriser des opérations d'aménagement et des stratégies innovantes en matière de gestion des eaux pluviales, en réponse aux contraintes du renouvellement urbain.
- Des séminaires et des visites le vendredi 1<sup>er</sup> juillet, pour illustrer les propos.

**Novatech 2013 en chiffres**

545 participants - 35 pays représentés - 1/3 scientifiques, 1/3 collectivités, 1/3 secteur privé - 3 jours de conférences - 210 communications présentées - Des invités de prestige en plénière d'ouverture - Les Trophées Novatech - 5 ateliers interactifs - 3 workshops spécialisés - 3 visites techniques et 1 balade urbaine

**Les thèmes de Novatech 2016**

De l'aménagement d'un nouveau quartier à la gestion des risques d'inondation à l'échelle d'un bassin versant, de l'apport de résultats scientifiques à l'application de solutions innovantes, de la perception des eaux pluviales par les habitants aux nouveaux enjeux de gouvernance, la conférence Novatech 2016 s'organise autour de quatre approches complémentaires.

 <b>Eaux Pluviales et Aménagement Urbain</b>	 <b>Eaux Pluviales et Solutions Innovantes</b>	 <b>Eaux Pluviales et Milieux Aquatiques</b>	 <b>Eaux Pluviales, Ville et Acteurs</b>
---	--	--	--

**De la parcelle aux grands territoires, quelles stratégies et réalisations pour une gestion intégrée des eaux pluviales ?**

- L'eau pour façonner un nouveau paysage urbain
- La gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement urbain : enjeux, contraintes, opportunités et solutions
- Les approches multifonctionnelles (climat, biodiversité, espaces de vie) et services rendus

> **Communications proposées par les acteurs de la ville, de l'aménagement et de l'assainissement et par les scientifiques**

**Quelles techniques alternatives pour construire et gérer des territoires durables ?**

- La décontamination, l'infiltration et le traitement des eaux pluviales : innovations, retours d'expérience
- Les outils et techniques d'entretien et d'exploitation des ouvrages pluviales et la gestion des sous-produits
- Le suivi et la caractérisation qualitative et quantitative des eaux pluviales et des rejets urbains de temps de pluie, y compris polluants émergents et pathogènes

> **Communications proposées par les chercheurs et techniciens de l'assainissement**

**Inondation, érosion, pollution, quelle stratégie globale pour limiter les risques ?**

- L'évaluation du ruissellement sur les bassins versants, des facteurs de risque et des impacts sur les cours d'eau
- La métrologie et la modélisation intégrée des stratégies intégrées de maîtrise de l'urbanisation et de gestion des eaux pluviales à l'échelle d'une agglomération ou d'un bassin versant
- La cartographie et les mesures de maîtrise et de réduction des impacts

> **Communications proposées à la fois par les scientifiques, les acteurs de la gestion des milieux aquatiques, de la planification à grande échelle et de l'assainissement**

**Compétences, services, responsabilités, usages - faut-il revoir nos organisations et réglementations ?**

- Les nouveaux métiers pour la conception, la réalisation et la gestion des espaces à vocations multiples
- L'implication des acteurs et des usagers, les perceptions, le partage d'une vision transversale et les clés du changement
- La définition de nouveaux cadres réglementaires et nouveaux modèles économiques
- Les enjeux sociaux, économiques et financiers associés à une gestion durable des eaux de pluie à différentes échelles

> **Communications proposées plus spécifiquement par les scientifiques des sciences sociales et les acteurs des politiques publiques et de la planification**



Campus Lyontech la Doua  
 66 boulevard Niels Bohr  
 CS 52132  
 F 69603 Villeurbanne Cedex  
 France  
 T +33 (0)4 72 43 70 56  
 F +33 (0)4 72 43 92 77  
 novatech@graie.org



## Appel à Communication

### Communications attendues – 2 catégories

#### Les communications scientifiques et techniques : Gestion des eaux pluviales urbaines

Présentation de méthodes ou de résultats de recherche, en lien avec les besoins opérationnels, s'appuyant sur une analyse bibliographique, sur des essais de laboratoire, des modélisations ou des suivis in situ ; réalisations techniques à caractère innovant, faisant l'objet d'un suivi et d'une mise en perspective ; opérations ayant fonctionné plusieurs années, comparaisons entre différentes stratégies ou ouvrages ; réflexions sur la gouvernance et les clés du changement.

#### Les études de cas : Intégration des eaux pluviales dans les opérations d'aménagement et dans les politiques publiques

Présentation d'opérations d'aménagement, de renouvellement urbain et de projets d'architecture, de l'espace public à la zone d'aménagement, en passant par le quartier ; présentation de politiques publiques et de planification, d'animation locales et de mobilisation des habitants, de stratégies d'agglomération ou de bassin versant. Ces expériences mettront en évidence les différents enjeux et la place des eaux pluviales, en intégrant plusieurs dimensions (techniques, environnementales, urbanistiques, sanitaires, économiques ou financières, historique, sociologiques, institutionnelles ou réglementaires, etc.).

### Pour soumettre une communication

Une déclaration d'intention pourra être faite avant le 20 octobre 2015 (étape facultative).

Votre communication devra être déposée au plus tard le 30 novembre 2015. Elle sera rédigée en français ou en anglais, en respectant les instructions et en utilisant le modèle de document Novatech. Elle comportera nécessairement en première page la traduction française-anglais du titre et d'un résumé de 10 lignes (la traduction par nos soins -payante- est possible après sélection).

#### Les organisateurs de Novatech souhaitent privilégier les résumés longs de 4 pages maximum !

Ce changement d'habitude (par rapport aux papiers longs) est justifié par plusieurs raisons, qui méritent d'être explicitées : les organisateurs ne s'engagent pas dans la sélection d'articles pour des revues scientifiques ; ce format court est suffisant pour sélectionner les communications pour la conférence ; il facilite le travail des relecteurs, très sollicités ; la publication en ligne sur l'INIST (<https://revues.inist.fr/novatech/>) d'un format court évite de pénaliser les auteurs pour des publications ultérieures dans des revues scientifiques. Les organisateurs acceptent de recevoir des articles longs de 8 à 10 pages pour Novatech, mais cela n'apporte aucun bénéfice pour la sélection.

### Sélection

#### Pour les communications scientifiques et techniques

Le comité scientifique, constitué de 15 membres, s'appuie sur les groupes thématiques du comité joint IWA/AHR sur l'assainissement urbain, ainsi que sur l'avis d'experts scientifiques et techniques, pour faire une sélection des communications définitives et leur répartition entre communication orale et poster. L'évaluation des communications est faite selon les critères suivants :

- La concordance avec les thèmes de la conférence
- L'innovation (originalité de l'approche, intérêt du sujet, résultats jamais présentés auparavant, ...)
- La qualité du travail présenté (y compris les références bibliographiques pour les communications scientifiques)
- La transférabilité de l'information et de l'expérience
- La clarté de la communication (approche, objectifs, conclusions, et qualité rédactionnelle)

#### Candidatez pour les trophées Novatech 2016

Les Trophées Novatech récompenseront et valoriseront des opérations ou politiques publiques, françaises ou internationales, dans 3 catégories : Renouvellement urbain - Stratégies urbanisme - Acceptation sociale / place de l'individu au cœur du projet.

Consulter le règlement des Trophées Novatech 2016



## Partenaires

Co-organisée par le GRAIE et INSA Lyon, la conférence Novatech est soutenue par de nombreux partenaires.

### Novatech à Lyon : l'expertise d'une ville pilote

L'organisation de Novatech à Lyon s'inscrit dans la continuité de la démarche initiée par la métropole en matière de gestion durable des eaux pluviales et bénéficie d'appuis remarquables

#### Un réseau de recherche et d'expertise régional reconnu au plan international :

- l'OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine
- l'IMU – Intelligences des Mondes Urbains
- Le Graie – organisateur de Novatech depuis 1992.

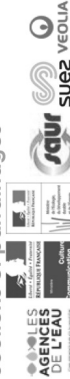
#### La Métropole de Lyon - Une ville pilote :

- un modèle en matière de gestion durable des eaux pluviales développé depuis plus de 30 ans
- de nombreuses expérimentations pour une ville perméable, pour lutter contre les îlots de chaleur, ou encore une plateforme "Eau et Santé", dans lesquelles les eaux pluviales ont toute leur place.

#### Partenaires techniques et financiers\*



#### Soutiens et parrainages\*



#### Associations françaises et internationales \*

IWA - IAHR - Comité Joint IWA/AHR Hydrologie Urbaine - AISH - Advivet - Axelera - FNAU - OIEAU - SFU - SHF

#### Comité scientifique

Présidents : Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA Lyon, FRANCE - Tim D FLETCHER, The University of Melbourne, AUSTRALIE  
 Membres : Karsten ARNBORG-NIELSEN, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), DANEMARK - Alberto CAMPISANO, University of Catania, ITALIE - François CLEMENS, Delft University of Technology, PAYS-BAS - Nilo DE OLIVEIRA NASCIMENTO, Universidade Federal de Minas Gerais, BRÉSIL - Raphaela DE SALDANHA MATOS, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC), PORTUGAL - Hiroaki FURUMAI, University of Tokyo, JAPON - William F. HUNT, North Carolina State University, USA - Jiri MARSALEK, Nat. Water res. Institute (NWRI), CANADA - Wolfgang RAUCH, University of Innsbruck, AUTRICHE - Manfred SCHÜTZE, Institut für Automation und Kommunikation (ifak), - Virginia STOVIN, The University of Sheffield, ROYAUME-UNI - Bruno TASSIN, CERVEE - ENPC, FRANCE - Andres TORRES, Pontificia Universidad Javeriana, COLOMBIE



Campus LyonTech la Doua  
66 boulevard Niels Bohr  
CS 52132  
France  
T +33 (0)4 72 43 70 56  
F +33 (0)4 72 43 92 77  
novatech@graille.org

novatech.graille.org



\* sous réserve de confirmation pour 2016