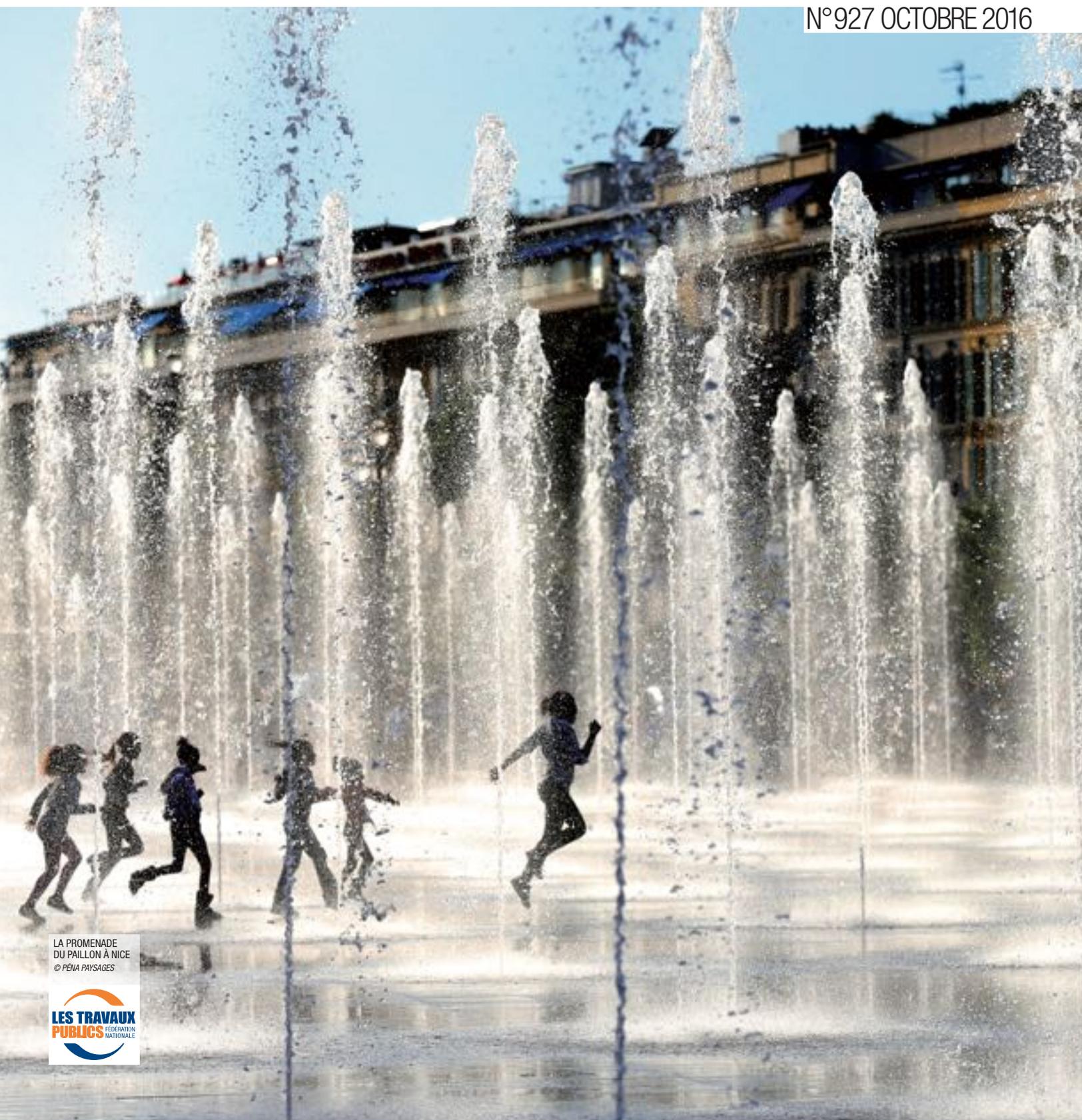


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VILLE & PATRIMOINE. LA METAMORPHOSE DE LA GARE VERSAILLES-CHANTIERS. LA CANOPEE : LA STRUCTURE DE LA COUVERTURE, L'ENVELOPPE DE VERRE, LES TRAVAUX ET LE BIM. ANALYSE DU CYCLE DE VIE COMPLETE D'UN OUVRAGE SOUTERRAIN - TUNNEL DU SIAIX. GESTION DE DEBLAIS URBAINS. LE FPJP (FUTUR PALAIS DE JUSTICE DE PARIS). TRESORS DE NOS ARCHIVES : LE GRAND PALAIS - TRAVAUX DE RENOVATION DES FONDATIONS ET INSTRUMENTATION DE CONTROLE

N°927 OCTOBRE 2016



LA PROMENADE
DU PAILLON À NICE
© PÉNA PAYSAGES

**LES TRAVAUX
PUBLICS** FEDERATION
NATIONALE

SMA



**Ensemble,
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,
des professionnels, des dirigeants,
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
SMA L'AVANCE AVEC ASSURANCE

SMA **VIE**

SMA
ASSURANCES

SMA
COURTAGE

SMA **VIE**
COURTAGE

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

Directeur délégué
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03
morgenthalerm@fntp.fr

Comité de rédaction
Hélène Abel (Ingerop), David
Berthier (Vinci Construction France),
Sami Bounatirou (Bouygues TP),
Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe
Gotteland (Fntp), Jean-Christophe
Goux-Reverchon (Fntp), Laurent
Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar
(Eiffage TP), Florent Imberty
(Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Jacques Robert (Arcadis), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copemic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité
Rive Média
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée
Com'1 évidence
Siège :
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur
se réserve le droit de refuser toute insertion,
jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

LE TEMPS MATIÈRE DE LA VILLE



© THOMAS BARTEL

« LE VIEUX PARIS N'EST PLUS
(LA FORME D'UNE VILLE CHANGE
PLUS VITE, HÉLAS ! QUE LE CŒUR
D'UN MORTEL) »

Ces vers nostalgiques de Baudelaire écrits en 1859 invitent à la méditation sur le temps comme matière de la ville. Un siècle et demi plus tard Paris est figé ; et pourtant ce qui en fait le caractère vivant, sa matière humaine, change plus vite encore que lorsque l'on en détruisait les pierres. La société mute à toute vitesse et vient se couler (par crainte de l'inconnu ?) dans un cadre de plus en plus préservé.

Apparent paradoxe que la société du zapping soit aussi celle de la sacralisation du patrimoine ! Le patrimoine est devenu polysémique. Seule la forme urbaine ancienne semble incarner la ville européenne, au point d'en constituer l'identité en contraste avec les métropoles mondiales en fort développement. Le patrimoine urbain est ressenti comme notre bien commun. Mais on peut garder la forme d'une ville et perdre son âme, trahir son esprit.

Il y a un risque d'enfermement dans ce modèle où le conservatisme et la mode portée par les classes urbaines dites « créatives » se rejoignent. On peut le tourner en faisant dialoguer patrimoine ancien et création contemporaine. Le Centre Georges Pompidou reste

le meilleur exemple de la force de cette rencontre. Il donne à voir le temps à l'œuvre comme quand Rem Koolhaas édifie Euralille, surgissement de la ville de la grande vitesse face au Vieux Lille, comme quand J.O. Von Spreckelsen érige l'Arche de la Défense sur le grand axe de Le Nôtre poursuivant l'histoire de Paris hors les murs.

Il faut en effet, sous peine d'asphyxie, ouvrir l'horizon du patrimoine. Partout il y a un déjà là (la géographie, le paysage, les tracés, le parcellaire, la culture sociale...) qui mérite d'être considéré comme un appui précieux dans la conception de la ville et sa réalisation progressive, permettant d'éviter le désastre de la tabula rasa du mouvement moderne, de renouer les fils du temps. Plusieurs œuvres de Le Corbusier viennent d'être classées à l'UNESCO. Mais imaginons ce qu'il serait advenu de Paris si son « Plan Voisin » avait été réalisé ! Car la ville avec son espace public est un bien plus précieux que les monuments, beaucoup plus complexe que l'architecture et elle s'accommode mal des utopies simplificatrices. Le patrimoine urbain ne naît pas du geste d'un seul mais d'une histoire collective.

L'élargissement de la notion de patrimoine touche aujourd'hui, à juste titre, le patrimoine industriel et populaire ; le bassin Minier du Nord-Pas de Calais est inscrit à l'UNESCO au titre des paysages culturels évolutifs ; Plaine-Commune se veut territoire de culture et de création. Ce sont des ouvertures prometteuses. Le patrimoine latent dans les périphéries mérite d'être reconnu comme support d'une urbanité de demain.

En effet, le modèle « patrimonialisé » de la ville européenne - trop souvent pensée comme réduite à son centre - éclate sous les coups de la métropolisation. Il éclate dans sa forme - il n'y a plus de limite, plus de trame urbaine éprouvées -, il se fracture socialement. À la grande échelle métropolitaine - celle de l'urbain d'aujourd'hui - tout est à réinventer : dans nos agglomérations européennes pour garder une cohésion sociale entre les territoires et retrouver l'élan et l'énergie ; dans les mégapoles galopantes pour écrire une histoire nouvelle de l'urbanité. Nôtre tâche la plus urgente me paraît être d'affronter ces défis pour bâtir ce qui demain par son excellence, sa créativité, sa force sera partagé avec les générations à venir. La conception et la construction d'une métropole solidaire doivent retrouver une part de rêve et stimuler notre action.

JEAN-LOUIS SUBILEAU
GRAND PRIX DE L'URBANISME
« UNE FABRIQUE DE LA VILLE »

VILLE



PATRIMOINE

LA PROMENADE DU PAILLON À NICE © PÉNA PAYSAGES





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16 ENTretien avec
ÉRIC CHENDEROWSKY
ET THALIE MARX
STRASBOURG - DEUX-RIVES :
LA NOUVELLE VILLE SUR LE RHIN

22 PÉNA PAYSAGES - DONNER DE LA SENSUALITÉ
À DES «VALLÉES» DE VERRE ET DE BÉTON



28 LA MÉTAMORPHOSE
DE LA GARE DE
VERSAILLES-CHANTIERS



32 LA STRUCTURE
DE LA COUVERTURE
DE LA CANOPÉE
La genèse architecturale
et technique



38 LES ÉTUDES SPÉCIFIQUES
DE LA CANOPÉE
L'enveloppe de verre -
Les travaux et le BIM



44 ANALYSE DU CYCLE DE VIE
COMPLÈTE D'UN OUVRAGE
SOUTERRAIN
Tunnel du Siaix



50 GESTION DE DÉBLAIS
URBAINS
Un enjeu incontournable



54 LE FPJP
ou quand le gigantisme rencontre
la technique



TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
LE GRAND PALAIS
Travaux de rénovation des fonda-
tions et instrumentation de contrôle
Numéro 791 - novembre 2002



VERSAILLES- CHANTIERS TRAVAIL DE NUIT DANS LA DEUXIÈME GARE D'ÎLE- DE-FRANCE

VERSAILLES-CHANTIERS, déjà deuxième gare d'Île-de-France après La Défense, est un grand pôle d'échange multimodal (PEM) en cours d'aménagement. C'est une gare TGV où circulent actuellement 1 000 trains par jour, qui offre de nombreuses correspondances avec d'autres moyens de transport. À terme, 70 000 voyageurs l'emprunteront quotidiennement. L'aménagement de la gare proprement dite va de pair avec une opération d'urbanisme majeure conduite par la Ville de Versailles. L'installation de la passerelle enjambant les voies a donné lieu à la mise en place nocturne, par Razel-Bec, de deux tronçons de 75 t et 100 t respectivement, au moyen d'une grue exceptionnelle dotée d'une flèche de 90 m. (voir article page 28).



MIEUX BÂTIR SUR TERRAIN INONDABLE CONSTRUCTIBLE

Vingt-deux projets figurent au palmarès du grand prix d'aménagement sur la construction en terrain inondable. Trois ont eu un repère d'or dont Mont-de-Marsan (Landes) pour la reconquête des berges de la Midouze.



Peu importe la hauteur de crue, les piétons peuvent toujours se promener au bord de la Midouze à Mont-de-Marsan (Landes).

Mont-de-Marsan (Landes) a mis ses rivières au centre de la reconquête de ses espaces publics. La commune, située à une centaine de kilomètres au nord-est de Bayonne (Pyrénées-Atlantiques), a vécu du commerce fluvial du XIII^e siècle jusqu'à la seconde moitié du XIX^e. Des céréales, du vin, du bois étaient chargés sur des gabarres qui voguaient jusqu'à l'Adour pour rejoindre la mer à Bayonne.

Le bourg ancien s'est construit aux bords de la Douze et du Midou qui se rejoignent pour former la Midouze, voie navigable. « Les berges sont de véritables poumons

verts du centre-ville, liens entre ses quartiers et supports de son histoire, » écrit l'agence d'architectes-urbanistes Lance-reau & Meyniel, mandataire du groupe de maîtrise d'œuvre avec Exit Paysagistes, Iris Conseil (ingénierie infrastructures et génie civil) et Concepto (lumière), chargée de ces aménagements.

→ Passerelle flottante

La municipalité travaille sur cette revalorisation depuis 2008. Elle a fait de la Midouze qui peut sortir rapidement de son lit, une partenaire de sa mise en valeur. Au remaniement de places avec une pente vers le cours d'eau, à la réfec-

tion d'une cale en rive gauche avec restauration d'un lavoir à colonnes, s'est ajouté l'aménagement de transitions entre quais et bord de l'eau.

L'équipe de maîtrise d'œuvre a remodelé les différents niveaux, des places jusqu'aux chemins en bord de rivière. En rive gauche, au quai de la Midouze, les piétons peuvent emprunter la pente, s'arrêter sur les gradins si la rivière monte, ou continuer jusqu'à l'eau. Une passerelle boucle la promenade sur les berges, d'une rive à l'autre. Flottante, elle se maintient au-dessus de la surface quoiqu'il arrive. Ainsi, laisse-t-elle passer tout ce que charrie la rivière en crue. Pour l'ensemble de ces aménagements dont un volet reste à faire en rive droite, Mont-de-Marsan et sa maîtrise d'œuvre a reçu un des trois repères d'or du grand prix d'aménagement "Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles", lancé en 2015 par Ségolène Royal, ministre de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (voir ci-dessous).

→ Passerelles, escaliers, rampes

Un autre repère d'or a été attribué à l'Établissement public d'aménagement Orly Rungis Seine Amont dans le cadre du projet de Zac Seine Gare Vitry (2017-2022) avec le collectif d'architecture Germe & Jam.

Les voies principales seront hors d'eau. Des voies secondaires seront inondables mais des dispositifs en hauteur - passerelles, escaliers, rampes - maintiendront l'accès aux logements et aux commerces, pour les piétons et les pompiers. Le 3^e repère d'or couronne une opération livrée en 2012 à Saint-Ouen-l'Aumône (Val-d'Oise, Emmaüs Habitat, agence Daufresne, Le Garrec et associés). "Tout un monde flottant" réunit 90 logements sur pilotis. Son terrain, qui sert de bassin d'infiltration en cas d'inondation, est

traité en jardin semi-aquatique. Les huit bâtiments sont reliés par des passerelles.

→ Rez-de-chaussée non habités

Enfin, le jury du grand prix d'aménagement a attribué une mention spéciale à Saint-Pierre-des-Corps (Indre-et-Loire, Agence d'urbanisme de l'agglomération de Tours). La ville, entièrement inondable entre la Loire et le Cher, mène une réflexion depuis quinze ans pour concilier développement urbain et prévention du risque. Elle travaille avec architectes et promoteurs pour imaginer des opérations qui souffrent le moins possible des crues et retournent à la normale, rapidement. Les rez-de-chaussée peuvent être occupés par des garages, des jardins, des pièces de service. Les logements sont en étage. Les terrains absorbent l'eau. Une résidence conçue par l'architecte Paul Chemetov est bâtie sur des parkings en rez-de-chaussée. Une ligne de carrelage bleu signale la hauteur de crue. Les dispositifs protecteurs s'appliquent aussi en réhabilitation. Un premier plancher hors d'eau a été créé lors de l'agrandissement de la Salle de la médaille (polyvalente). ■



Les parkings occupent le rez-de-chaussée de cette résidence à Saint-Pierre-des-Corps (Indre-et-Loire). Les logements sont hors d'eau en étage.

2^e GRAND PRIX D'AMÉNAGEMENT

La deuxième édition du grand prix d'aménagement "Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles" a été lancée en septembre par la ministre de l'Environnement.

Lors du premier grand prix décerné en 2016, 22 projets ont été distingués parmi 43 reçus⁽¹⁾. Thème : intégrer le risque inondation à la conception. Cette compétition fait partie de la stratégie de 2014

de l'État pour prévenir les effets dévastateurs des inondations⁽²⁾.

→ Risque ni fort ni grave

Lors d'une densification urbaine, il n'est pas question d'exposer davantage d'habitants au risque d'inondation sauf à les en protéger.

Les villes sont souvent implantées dans des vallées en bordure de rivière.

Les terrains "inondables constructibles",

objets du grand prix, sont ceux « où le risque n'est ni fort ni grave pour les vies humaines, » écrit Ségolène Royal.

→ Ne pas mettre en danger

« Il est possible de construire sur de tels terrains dès lors que les populations (...) ne sont pas mises en danger et que leurs biens ne risquent pas d'être endommagés par l'eau au moment du passage de la crue ou des remontées de nappes, »

précise Marc Jacquet, chef du service risques naturels et hydrauliques.

En savoir plus :

www.developpement-durable.gouv.fr, rubrique prévention des risques, 23 mars 2016. ■

⁽¹⁾ Co-organisé avec les ministères du Logement et de la Culture.

⁽²⁾ Cf. *Travaux* n°910, novembre 2014, page 10.

UNE LOI DE RECONQUÊTE DE LA NATURE



© MADELEINE CARROLÉ/CINEMA

La loi consacre les liens entre préservation de la biodiversité et activités humaines. Ici, berges restaurées de la Brétonnière, auparavant canalisée, affluent de l'Orge (Essonne).

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, publiée cet été⁽¹⁾, affirme trois principes. Elle instaure un régime de réparation de préjudice écologique.

La protection de l'environnement ne peut qu'être améliorée, jamais amoindrie.

La solidarité écologique consacre les liens entre préservation de la biodiversité et activités humaines. Les continuités écologiques, la restauration et la création d'espaces naturels seront renforcées pour préserver les trames vertes et bleues.

En toile de fond de la loi : le développement de l'emploi dans l'écologie.

L'Agence française de la biodiversité est officiellement créée et sera opérationnelle le 1^{er} janvier 2017. Elle réunit l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, l'Agence des aires marines protégées, les Parcs nationaux de France et l'Atelier technique des espaces naturels.

→ 500 atlas de la biodiversité communale

L'Agence exerce des missions de préservation, gestion et restauration de la biodiversité. Elle est une référence institutionnelle en expertise, pilotage, assistance et contrôle, et établit des partenariats avec tous les acteurs.

Les données issues des études d'impact seront versées dans l'inventaire du patrimoine naturel.

La loi généralise les plans et atlas du paysage. L'appui au déploiement de 500 atlas de la biodiversité communale est une des premières actions de l'Agence.

La stratégie nationale pour la biodiversité de 2004⁽²⁾ est intégrée au code de l'environnement. Les collectivités doivent introduire la biodiversité urbaine dans les plans climat-énergie.

→ Moins de sols imperméables

Les nouvelles surfaces commerciales comprendront des dispositifs favorables à la biodiversité : toitures végétales, énergies renouvelables, non-artificialisation des sols, etc.

La nature appartient à tous. Des comités associent tous les acteurs aux débats sur la reconquête de la biodiversité. Le brevetage de produits issus de procédés essentiellement biologiques est interdit. Les échanges et cessions de semences du domaine public sont autorisés. La loi renforce la protection des espèces en danger et des espaces sensibles. ■

⁽¹⁾ Loi n°2016-1087 du 8 août 2016.

⁽²⁾ La stratégie nationale pour la biodiversité en est à sa deuxième période d'engagements : 2011-2020.

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE VU PAR LES PRODUCTEURS DE GRANULATS

Plus de sept ans ont été nécessaires pour réaménager une ballastière des Carrières et ballastières de Normandie, à Yville-sur-Seine (Seine-Maritime). Huit hectares sont devenus une prairie humide qui, à terme, redeviendra une parcelle agricole.

Cette restauration écologique a valu au site le prix Réaménagement du concours Développement durable de l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG), décerné tous les trois ans.

Le grand prix a été attribué au site de Ferques (Pas-de-Calais) des Carrières du Boulonnais dans la catégorie biodiversité. L'entreprise familiale mène nombre d'actions de développement durable. À noter qu'elle soigne particulièrement le dialogue avec les collectivités et les habitants, ainsi que la formation et la sécurité de ses salariés.

→ Concours européen d'ici fin 2016

Le prix Meilleurs pratiques environnementales a été attribué à Cerf SAS pour

sa sablière de Saint-Loup (Allier). Lafarge a remporté la catégorie Partenariat avec une collectivité locale à Le Pouzin (Ardèche). Plattard a été récompensé pour sa "contribution économique à la société" sur la carrière d'Anse (Rhône) et Colas,

pour ses pratiques opérationnelles et les innovations process/produits à Sainte-Colombe (Pyrénées-Orientales).

Les six sites couronnés par l'UNPG vont concourir au niveau européen, d'ici à la fin de l'année. ■



Ancienne ballastière comblée et réaménagée en prairie humide à Yville-sur-Seine (Seine-Maritime).

© CARRIÈRES ET BALLASTIÈRES DE NORMANDIE-EUROVA

SUBVENTIONS EUROPÉENNES AU TRANSPORT

La Commission européenne va verser 141 millions d'euros à la France en subventions aux infrastructures de transport, dans le cadre du Mécanisme pour l'interconnexion en Europe (appel à propositions 2015). Parmi les projets aidés, citons la résorption des nœuds ferroviaires à Marseille (études), Lyon (études et travaux) et Nice (études), et l'autoroute de la mer entre Saint-Nazaire et Gijon (Asturies, Espagne). Les études pour le développement de services intelligents sur les routes seront financées à 50%.

Liste des projets aidés :

<http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/project-funding/doc/cef/2015-cef-selected-proposals.pdf>.

450 MILLIONS CONTRE LES SÉISMES AUX ANTILLES

L'État va mobiliser 450 millions d'euros de 2016 à 2020 pour conforter et reconstruire des bâtiments les plus exposés au risque de séisme dans les Antilles, et renforcer la prévention. Le Plan Séismes Antilles a été lancé en 2007. Il a déjà apporté une contribution de 350 millions d'euros. La ministre de l'Environnement et celle de l'Outre-Mer souhaitent lui donner une nouvelle impulsion.

MODE D'EMPLOI ENDIGUEMENT

La direction générale de prévention des risques (ministère de l'Environnement) publie un mode d'emploi des systèmes d'endiguement à destination des collectivités locales qui vont en recevoir la compétence au 1^{er} janvier 2018 (loi n°2014-58). Ce guide "Gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations" (Gemapi) développe l'économie générale de ces systèmes et les autorisations administratives liées. Téléchargeable sur : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/node/106369>.

MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

L'appel à projets "Chimie du végétal et matériaux biosourcés" débouchera sur le financement de démonstrateurs et de briques technologiques sur ces deux domaines en développement. Dépôt des dossiers avant le 13 février 2017.

www.ademe.fr/actualites/appels-a-projets.

LABELS ET TROPHÉES AQUAPLUS

Labels et trophées Aquaplus sont décernés par des représentants des professionnels, des maîtres d'ouvrage et de l'État, tous les trois ans.

Cette année, Antibes-Juan-les-Pins (Alpes-Maritimes) a reçu un label service pour l'amélioration constante de son réseau d'assainissement (diagnostic permanent, auto surveillance, investissements). Deux syndicats intercommunaux d'eau potable de la Manche ont également obtenu ce label.

En 2016, 28 entreprises affichent un label Aquaplus en cours de validité (trois ans). Quatre sociétés l'ont obtenu pour 2015-2018 : Bayard by Talis et Pam Saint-Gobain (transport de l'eau), SCE Aménagement et Environnement (ingénierie traitement) et Parengé (réseaux, génie civil de l'eau).

Les trophées sont remis à des réalisations remarquables y compris pour leur exploitation. Le jury a distingué la station d'épuration de Fontainebleau-Avon (Seine-et-Marne) mise en service en 2012 et la station Epur Vallons (Isère) de 2013. Réalisations, entreprises, collectivités distinguées répondent sur des dizaines de critères de développement durable.



Poste de relevage d'eaux usées complètement enterré à Antibes-Juan-les-Pins (Alpes-Maritimes).

DIVERSIFIER LES SOURCES D'EAU ET LES PRÉSERVER



Zone plantée de roseaux du bassin écologique que Mantes-la-Jolie (Yvelines) veut développer au Val-Fourré.

La facture d'eau et d'assainissement peut représenter jusqu'à 58 % des charges des habitants du Val-Fourré à Mantes-la-Jolie (Yvelines). C'est plus que le chauffage. Afin de la diminuer, la ville, le Comité d'agglomération de Mantes en Yvelines et l'Établissement public d'aménagement du Mantois Seine aval ont imaginé une stratégie globale de gestion de l'eau. Leur projet est en phase d'études jusqu'à la fin de l'année et fait suite à la rénovation du quartier. Mantes est la seule ville à se concentrer sur l'eau parmi les 20 lauréates de l'appel à manifestations d'intérêt "Viser la très haute performance et l'innovation environnementale pour le renouvellement urbain" (Agence nationale pour la rénovation urbaine).

→ Nettoyer les eaux de pluie

La consommation des logements est suivie en continu à distance et les habitants, conseillés pour la réduire. La ville veut récupérer les eaux de pluie à grande échelle et les réutiliser pour l'arrosage et le nettoyage. Celles tombant sur les espaces publics ne seront plus collectées et rejetées dans la Seine. Des bassins écologiques seront aménagés pour les capter, les faire décanter et les infiltrer dans la nappe phréatique.

En cas d'orage, le débordement est dirigé vers une zone plantée de roseaux qui le filtre. Puis, l'eau collectée par des drains repart vers le premier bassin de captage afin de maintenir une eau de qualité dans le circuit. Le trop-plein, s'il persiste, rejoint l'ancien collecteur.

Les bassins sont prolongés par des darses paysagères à proximité des immeubles.

Avantages du système : moins de pollution dans le fleuve, recharge de la nappe, espaces verts utiles, économies d'eau et contribution à la continuité écologique. Ces milieux humides en ville auront aussi un effet rafraîchissant en été. « L'atténuation des îlots de chaleur urbains peut passer par la création de zones dites "de fraîcheur" grâce à la présence importante de végétation ou d'eau, » souligne le rapport d'information sur la gestion de la ressource en eau à moyen et long terme de la délégation sénatoriale à la prospective⁽¹⁾.

→ Prévenir les conflits d'usage

Le rapport d'Henri Tandonnet et Jean-Jacques Lozach chiffre la pénurie d'eau en France métropolitaine et donne des moyens de prévenir les conflits d'usage. « La consommation annuelle d'eau à travers le monde est supérieure aux capacités de renouvellement des réserves. » rappellent-ils.

Vingt pages font le bilan des mesures pour consommer moins, gérer mieux et

produire plus. Les toits végétalisés ont des effets inattendus. Conçus pour ralentir l'écoulement des eaux de pluie, ils atténuent le bruit et allongent la durée de vie de l'étanchéité des toitures (source : KPMG).

En ce qui concerne les rivières, les espaces boisés qui les longent sont des zones de transition indispensables à la biodiversité et à la lutte contre les crues. Les arbres renforcent l'infiltration de la pluie vers les nappes souterraines tout en la filtrant.

→ Stocker la pluie pour l'été

Le rapport est une bonne synthèse des questions actuelles sur la réutilisation des eaux usées et la récupération des eaux de pluie, pointant les risques de pollution. Il fait le point sur les retenues et se demande comment stocker l'eau de pluie quand elle abonde pour l'utiliser en période sèche. ■

⁽¹⁾ "Eau : une urgence déclarée", Sénat, rapport d'information n°616, 19 mai 2016, 205 pages.



Les arbres le long des cours d'eau renforcent l'infiltration de la pluie vers les nappes. Ici, ripisylve naturelle sur l'Auxances (Vienne).

RÉHABILITATION D'UN ÉMISSAIRE D'ASSAINISSEMENT DE 4,5 KM

Un mortier en aluminat de calcium a été projeté sur la paroi interne d'un émissaire d'assainissement sur 4,5 km. Le collecteur, situé dans le nord-ouest de l'Île-de-France, sur Herblay (Val-d'Oise), Conflans-Sainte-Honorine et Maurecourt (Yvelines), souffrait de dégradations dues à l'hydrogène sulfuré, produit par les eaux usées. « *Le chantier s'est tenu d'avril à fin juillet, c'était le délai imparti par le Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (Siaap), indique Pascal Rault, directeur du service travaux spéciaux à la Sade, mandataire et pilote technique du groupement d'entreprises⁽¹⁾. Il y a eu jusqu'à 160 personnes sur le chantier en même temps.* »

C'est la première fois en Europe qu'un tel ciment, baptisé Sewpercoat PG25, est appliqué sur une telle surface - 23 000 m² - selon la Sade. La mise en œuvre sur 25 mm d'épaisseur, requiert des conditions particulières - hygrométrie de 90% obtenue par brumisation, température du produit inférieure à 22°C, distance de pompage de 70 m maximum - et un savoir-faire spécifique, d'autant plus nécessaire que les diamètres

de l'émissaire et les profondeurs de travail variaient.

→ Retrouver le support sain

Après creusement des puits d'accès au réseau et installation de l'alimentation en eau sur tout le tracé, les enduits existants ont été démolis à l'eau sous pression pour retrouver les supports sains - maçonnerie, béton, coques - dont certains datent de plus d'une centaine d'an-

nées. Avant projection du mortier en aluminat de calcium, la structure de plusieurs segments de l'ouvrage a été reprise, avec comblement de vides et renforcement armé.

L'ensemble de cette réhabilitation a coûté 17 millions d'euros. ■

⁽¹⁾ Intervenu aux Enjeux de l'eau, UIE, 7 avril 2016, Paris.



La mise en œuvre du mortier en aluminat de calcium est délicate.

© SERVICE TRAVAUX SPÉCIAUX SADE

ÉCRANS ACOUSTIQUES SUR L'AUTOROUTE A9

Les riverains de l'autoroute A9 transformée en boulevard urbain à Montpellier (Hérault) vont être protégés du bruit de la circulation par des écrans. Les panneaux sont constitués d'un béton de bois isolant, de 15 cm, formulé en pouzzolane et copeaux de bois, et d'une couche de béton structurant, deux produits de Ciments Calcia. La société PBM 26 en préfabrique 8 500 de 5 m de long et de 1 à 2,50 m de haut, empilables jusqu'à 6 m, pour ASF Vinci Autoroutes. Côté route, ils présentent une surface en galets (photo). Côté ville, ils sont lisses. La pose de ces écrans sur 25 km de voies dure jusqu'à fin 2017.



© CIMENTS CALCIA

Côté route : surface absorbante en béton de bois.

UNE STATION D'ÉPURATION PRODUIT DU BIOCARBURANT



© SUEZ

Épuration et liquéfaction du biogaz à la station d'épuration de Valenton (Val-de-Marne).

Une production de biogaz ne peut pas toujours être raccordée au réseau de gaz naturel, à cause de la distance qui les sépare, par exemple. Le liquéfier

est alors une solution pour le stocker et le transporter facilement. Il est alors 600 fois moins encombrant.

Le biogaz produit à la station d'épuration

de Valenton (Val-de-Marne) est refroidi, épuré et devient biocarburant. Une fois liquide, il peut alimenter des poids lourds ou des bus, ou être stocké en station-service.

→ Une tonne par jour

Cette innovation est mise en œuvre dans un démonstrateur, équipement destiné à en tester la faisabilité technico-économique à grande échelle. Le démonstrateur produit une tonne par jour de bioGNL. Les tests démontrent que les eaux usées de 100 000 habitants produiraient suffisamment de biocarburant pour alimenter 20 bus. L'usine de Valenton traite celles de 9 millions de Franciliens.

Le démonstrateur est l'aboutissement du projet BioGNval lancé en 2013 par le Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne associé à Suez, exploitant de l'usine.

Le projet a bénéficié d'un financement de l'État (investissements d'avenir). ■

AMÉNAGEMENT URBAIN EN PPP

Le groupe NGE va réaliser des travaux de rénovation urbaine à Bellegarde (Ain) en partenariat public privé. Le contrat concerne 6,6 km de voirie, 4 km de routes départementales, 70 000 m² d'aménagement de surface, la sécurisation des travaux et la remise en état des voiries à l'issue du partenariat de quinze ans. Montant : 18,5 millions d'euros dont 14,6 de constructions. Le chantier dure trois ans et demi. Par ailleurs, sa filiale NGE Génie-Civil, a remporté un des marchés du prolongement de la ligne 11 du métro parisien. Le chantier comprenant un tunnel de 3 km, 4 stations enterrées et 3 ouvrages de ventilation et d'accès pompiers, est estimé à 267 millions d'euros et s'étalera sur six ans.

CHAUSSEE RÉCUPÉRATRICE DE CHALEUR

Charier a conçu un système de récupération de chaleur dans la route, baptisé Hélianthe. L'entreprise espère le mettre en œuvre sur le parking d'un camping cet hiver. Un fluide circulant dans un serpentin noyé dans l'enrobé captera la chaleur - jusqu'à 50-60°C - et la transmettra par échangeur à l'eau d'une piscine (300 m³). Une surface de 500 m² ainsi équipée, peut produire 125 MWh par an d'énergie thermique, selon Charier.

Les travaux se feraient en période creuse du camping situé dans le Morbihan.

Le client profite que le parking doit être refait et agrandi pour éventuellement y incorporer ce captage de chaleur. Il faut donc définir le type d'enrobé, son épaisseur, les tubes, l'ensemble supportant un trafic faible ou lourd.

Ajoutons que Charier a signé en juillet un partenariat avec Ooms, société néerlandaise qui a développé une route photovoltaïque Solaroad.



Test de mise en œuvre de la récupération de chaleur.

1^{er} TRANSPORT PAR CÂBLE DE VOYAGEURS EN ÎLE-DE-FRANCE



Projet d'une station sur la ligne entre Créteil et Villeneuve-Saint-Georges (Val-de-Marne).

La date de mise en service du premier téléphérique en Île-de-France n'est pas encore connue mais la décision est prise. Le Câble A-Téléval reliera Créteil à Villeneuve-Saint-Georges, deux villes du Val-de-Marne, au sud de Paris. Le projet voté à l'unanimité par le conseil du Syn-

dicat des transports d'Île-de-France (Stif) sera en enquête publique jusqu'en 2018. Ce tronçon de 4,5 km, à vol d'oiseau, va servir de prototype pour les douze autres transports par câble portés par des acteurs locaux et que le Stif va analyser au 1^{er} semestre prochain. Puis, à l'au-

tomne, il approfondira un projet de ce type sur l'est du plateau de Saclay (Essonne).

Le téléphérique, en franchissant facilement voies ferrées, routes, fleuve, relief, va désenclaver certains quartiers d'habitat, comme celui du Bois Matar à Villeneuve-Saint-Georges, terminus. Le Câble A-Téléval reliera Valenton et Limeil-Brévannes, situées sur le tracé, au réseau de transport en commun rapide. Il comprendra cinq stations.

→ 100 millions d'euros

Le périmètre d'étude s'étend sur une bande de 500 m autour, distance qu'un piéton peut parcourir pour le rejoindre. Ce tronçon de téléphérique est estimé à 100 millions d'euros plus 20 pour les acquisitions foncières, opérations de dépollution, compensation au déboisement, etc. ■

BREST : LE TÉLÉPHÉRIQUE BIENTÔT LIVRÉ

Il est prévu que le téléphérique de Brest (Finistère) soit inauguré fin octobre. En 460 m, il franchit la rivière Penfeld dans le quartier de Recouvrance. Son coût était estimé en 2015 à un peu plus de 19 millions d'euros HT⁽¹⁾.

La partie charpente métallique a été confiée à SMB par le groupement mené par Bouygues Construction. La filiale de Soprema Entreprises a réalisé la structure-sabot de la station des Capucins, celle de la station Siam, de l'autre côté de la Penfeld et le pilône central de 80 m de haut. Ces structures retiennent les câbles du téléphérique aux extrémités et les portent au-dessus du franchissement.

⁽¹⁾ Cf. *Travaux*, n°921, janvier-février 2016, page 11, et n°905, avril-mai 2014, page 12.



Structure métallique qui retient les câbles à la station Siam, à Brest.

PASSE À POISSONS COUPLÉE À UNE MICRO CENTRALE



À gauche, en Y, les entrées de la passe à poissons avant la micro centrale (toits blancs) puis la rivière qui conduit les migrateurs jusqu'à la sortie.

Une passe à poissons inhabituelle vient d'être inaugurée en rive droite d'une centrale électrique sur le Rhin, au sud de Strasbourg (Bas-Rhin). Les poissons sont attirés dans les entrées de la passe par la turbine de la micro-centrale électrique de 1,5 MW. Ils passent dessous, continuent leur remontée dans une rivière de 500 m sur 5,50 m creusée autour du transformateur, puis empruntent une seconde série de 18 bassins pour rejoindre le fleuve au-delà des remous de l'usine électrique.

La rivière est nécessaire pour contourner le transformateur - il n'y avait pas de

place pour construire entre entrées et sortie de la passe - et pour franchir le dénivelé de 13 m, hauteur du barrage sur le Rhin qui alimente la grosse centrale.

→ 19 millions d'euros

Le débit du circuit de turbinage de la micro centrale varie de 8,8 m³/s à 13,8 m³/s. Il comprend une prise d'eau dans le Rhin, une conduite forcée de 150 m et deux groupes alternateurs de 750 kW.

Conception : Centre d'ingénierie hydraulique d'EDF en collaboration avec Hydros-tadium pour l'électromécanique. Coût : 19 millions d'euros HT. ■

CONFINEMENT DE DÉCHETS INDUSTRIELS PAR GÉOCOMPOSITES

Deux géocomposites ont été utilisés pour encapsuler des laitiers d'aciérie et des crassiers industriels rencontrés sur le tracé du déplacement de la route nationale 90 de la rive droite à la rive gauche de l'Isère, entre Moutiers et Saint-Marcel (Savoie). La RN90, implantée entre voie de chemin de fer et Isère, était dangereuse. En 2013, un bloc de pierre est tombé sur une tractopelle, sans faire de victime. Les déchets industriels ont été remontés sur une plate-forme dans la pente et encapsulés pour stopper une éventuelle pollution du sol.

En juillet, a été posé un géocomposite anti contaminant et drainant (Teradrain) sous le remblai de laitiers. Une fois compactés, ces déchets ont été recouverts d'un complexe drainant et étanche Terapro, pour la plate-forme. Il comprend une géomembrane polyéthylène (PE) de 1 mm et des mini drains enfermés entre deux géotextiles anti poinçonnement, le tout ayant été solidarisé à chaud. Sur ces couches, a été épandu du tout-venant sur 3 m d'épaisseur afin d'encasser la chute de rochers de la falaise.

→ Trois couches soudées

La partie en pente est recouverte d'un Teraplex, accroche terre, anti poinçon-



Plate-forme de stockage des déchets en cours d'encapsulation. Sur la pente, le géocomposite à barrières filtrantes de 13 cm de haut.

nement et anti infiltration des eaux de pluie.

Ce géocomposite soudé est constitué de trois couches : un non-tissé géoconteneur alvéolaire anti-érosion à barrières filtrantes de 13 cm de haut, une géomembrane PE de 1 mm protégée par un non tissé. Afin de supporter le poids

des matériaux qui le recouvre, il est renforcé de câbles en polyester.

Cette déviation de la RN90 est sous maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre de la Direction interdépartementale des routes Centre-Est. Entreprise : Bouygues TP. Géocomposites : Teragéos. Chantier déviation : 2013-2017. ■

RECHERCHE SUR LA PROTECTION CONTRE LES RISQUES NATURELS



Filet, barrage à coulées de pierres lors de crues, à Saint-Maurice-de-Rotherens (Savoie).

Le projet "Protection contre les risques naturels dynamiques" (Pridyn) démarre cet automne. Il s'agit de développer de nouveaux ouvrages de sécurité contre les risques rocheux et glissement de terrain : écrans dont des forestiers, barrages anti-coulée, kits pare-pierres. Pridyn est porté par le pôle de compétitivité Techtera (textiles et matériaux souples) et co-labellisé par le cluster Safe (sécurité des personnes et de l'environnement).

GTS en est le maître d'œuvre industriel. Y participent également Texinov (textiles techniques), Sites (auscultation, instrumentation), l'Institut de recherche en sciences et techniques pour l'environnement et l'agriculture, et l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux. Les partenaires vont concevoir des ouvrages de protection intégrant des

géotextiles et des géofilets équipés de capteurs.

→ Classes d'énergie faibles

Ils vont élaborer des prestations clé en main, de l'expertise à la mise en œuvre en passant par l'ingénierie et la conception de produits sur mesure.

Ils perfectionneront les outils de modélisation numérique qui simulent les écoulements.

Ils mettront au point des composants adaptés aux classes d'énergie actuellement dépourvues de solutions techniques performantes, celles de 100 à 2 000 kJ, notamment des géofilets.

→ Aides publiques

Le projet de recherche et développement dure trois ans. Il est doté d'un budget de 4 millions d'euros et reçoit une aide de 1,4 million de l'État (Fonds unique interministériel) et de collectivités territoriales. ■

ÉVOLUER DANS UN PROJET

Grâce à Autodesk Live, les concepteurs d'un projet peuvent le visualiser en progressant dans l'espace virtuellement. Leurs maquettes sont converties en modèles 3D interactifs. Les clients visitent leur futur bâtiment comme si ils y étaient. Les données concernant les objets mis en place sont intégrées dans le Live. La simulation propose, par exemple, une situation à différents moments de la journée et même de l'année, pour étudier la luminosité.

Le logiciel, service payant, est réservé aux utilisateurs de Revit, suite de logiciels destinée à la conception-réalisation partagée (Bim).

PORTE-OUTILS URBAIN

L'Hydradig est un porte-outils destiné aux chantiers en ville. La vue sur l'environnement est libérée grâce à l'implantation de la chaîne cinématique dans le châssis inférieur. La pompe hydraulique s'y trouvant aussi, le centre de gravité de l'engin est abaissé, ce qui le rend plus stable.

Ces deux qualités autorisent une vitesse de déplacement du porte-outils de 40 km/h. Une remorque spéciale transportera godets, matériaux, etc. L'engin fonctionne à deux ou quatre roues directrices et en crabe.

Les opérations courantes d'entretien sont réalisables depuis le sol.



La chaîne cinématique et la pompe hydraulique sont dans le châssis inférieur.

CROCHET D'ATTELAGE MONOBLOC

En décembre, sera disponible le crochet d'attelage monobloc Konexo, homologué pour des tenues mécaniques élevées ($D = 200$). Développé pour les véhicules de travaux publics manœuvrant sur sol irrégulier, il est muni de larges rampes qui guident l'anneau lors de l'attelage en rattrapant les écarts d'alignement entre crochet et timon sur le porteur. Le système se commande à distance. Une fois l'anneau dans le crochet, la broche se verrouille automatiquement. Le Konexo peut être dotée d'une poignée orientable et d'un contrôle visuel depuis la cabine.

CAPTEUR DE NIVEAU DE FLUIDE

Ce capteur surveille, mesure et relève à distance des niveaux d'eau - château d'eau, nappe, bassin de rétention - ou de fluides (fioul, gaz). Le Presso Lora de NKE Watteco fonctionne avec toute jauge qui délivre un signal de sortie analogique 0-10 V ou 4-20 mA. Il communique par radio jusqu'à 10 km en champ libre. Il relève des informations pendant cinq ans au rythme de 24 mesures et une transmission par jour.

MICRO BÉTON

Le micro béton Cel Mass sert au scellement ou au rehaussement de tampons de voirie, de mobilier urbain, à la pose de trappes et boîtiers ou au rebouchage de trous sur sol en béton.

Grâce à sa formulation, il se malaxe rapidement, à la main ou à la machine, et supporte une remise en circulation de la voie entre une heure et demie et quatre heures et demie, selon la température et le trafic.

© SAINT-GOBAIN WEBER FRANCE



Pour scellement rapide.

INNOVATIONS ROUTIÈRES : ENTRETIEN ET SÉCURITÉ

Creysinet met au point avec Lafarge Holcim un béton fibré haute performance (BFUP) qui puisse être projeté sur une paroi. Leur projet commun sera proposé à l'expérimentation dans les directions interdépartementales des routes (Dir, réseau national), avec le support du réseau scientifique et technique de l'État et du Cerema⁽¹⁾. Il a été sélectionné, comme cinq autres innovations, dans l'appel à projets "routes et rues" 2016 du Comité innovation du même nom (direction des infrastructures de transport, ministère de l'Environnement). Les procédés doivent coûter moins cher que les existants, requérir moins de matériaux et être plus performants. Chaque expérimentation est réalisée et suivie selon un protocole précis. Le Cerema en diffuse les résultats auprès de la maîtrise d'ouvrage routière.

→ BFUP projetable

Pour utiliser un BFUP en projection, il faut en modifier la formulation et concevoir une machine spécifique. Un tel béton ne tient pas naturellement sur un mur ou en plafond. Au contraire, il coule tout seul dans un coffrage, sans vibrations, à l'horizontale et à la verticale. Projetable, il peut renforcer des tunnels, voûtes et galeries. Dans un premier temps, il sera projeté sur des buses métalliques. Quatre procédés de revêtement routier figurent parmi les innovations lauréates. Le béton bitumineux d'Eiffage Infrastructures est destiné aux plates-formes aéroportuaires. L'Aéroprène a une profondeur de texture supérieure à 1 mm, valeur de certification, et résiste au kérosène.

Deux produits de Colas pourront être expérimentés. L'Euromac, béton bitumineux ultra mince, s'applique en couche de 1,5 cm. Le Pen Tach, émulsion suivie d'un sablage, régénère les couches de roulement à forte macro texture.

→ Moquette ancrée

La "moquette BHP" d'Agilis allonge la durée de vie d'une chaussée fissurée. Elle n'adhère pas au support. Elle est ancrée sur des poutres transversales. Enfin, dans un tout autre domaine - la sécurité du personnel - Aximum Produits Electroniques propose une flèche lumineuse d'urgence décalable. La flèche se dégage du fourgon porteur grâce à une

glissière et se commande à partir du poste de conduite. Le dispositif devrait contribuer à mieux protéger le personnel d'entretien des routes. En 2015, deux agents des Dir avaient ainsi trouvé la mort. Chaque année, une quinzaine d'agents de l'État sont blessés, en moyenne, dans des accidents où des flèches lumineuses sont percutées par des véhicules, pour moitié des camions.

Pour en savoir plus : www.idrim.com/6/1.

⁽¹⁾ Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.



Les revêtements routiers lauréats devraient faciliter l'entretien des couches de roulement.

DE JEUNES ENTREPRISES CONCOURENT À LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Les petites entreprises de moins de 36 mois ont été appelées à répondre à l'appel à projets "Jeunes pousses - Green Tech verte". Sur 120 candidatures, 37 ont été retenues fin juin. Elles bénéficient d'une aide financière et d'un accompagnement technique. Elles peuvent rejoindre l'incubateur de "jeunes pousses" inauguré le 8 septembre à l'École nationale des ponts et chaussées (site de Champs-sur-Marne). Il s'agit de faciliter la transition écologique grâce au numérique dans un large éven-

tail de domaines : économies d'énergie, bâtiment, transports, risques, économie circulaire, santé, environnement, etc. Parmi les projets lauréats, citons une plate-forme de simulation énergétique territoriale accessible par un navigateur web, de Wattstrat.

→ Pertes électriques en ligne

Plusieurs projets de Fidélise ont été retenus. Par exemple, Matabase, plate-forme numérique pour soutenir le développement des filières de matériaux biosourcés et de recyclage pour le BTP,

et une solution pour réduire les pertes électriques en ligne, automatiquement et à distance.

Pour faciliter l'irrigation par eaux usées, Greencyzen a conçu un pilotage basé sur la qualité de l'eau retraitée, la météo et l'état du sol, ceci grâce aux capteurs de sa Hummbox.

En savoir plus : rubrique développement durable sur www.developpement-durable.gouv.fr.

LE BÉTON EN GESTION D'EAUX PLUVIALES

Deux brochures sur l'évacuation des eaux pluviales par des dispositifs en béton permettent d'associer familles de produits et but recherché. Elles sont publiées par trois organisations professionnelles du béton.

La première développe les moyens concrets pour maîtriser le risque inondation en milieu urbain. Elle s'intéresse à l'infiltration des eaux de pluie dans le sol, à leur récupération, collecte, transport, impact sur l'environnement, à la régula-

tion de leur débit, sans oublier le dimensionnement et la réglementation.

La seconde traite du risque inondation et de pollution en milieu routier et ferroviaire. Les produits doivent s'intégrer à l'environnement, ne pas nuire à la biodiversité ni aux écoulements naturels de l'eau, dépolluer, réguler les volumes, etc.

www.fig.org, rubrique **Actualité et publications** ■



CONCEVOIR LA VOIRIE URBAINE

Le guide d'aménagement Voirie urbaine est publié par la direction technique Territoires et ville (ex-Certu) du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). Adressé à un large public, l'ouvrage de 348 pages est

aussi un outil de conception. Il fournit à la fois une approche multi thématique de l'aménagement de la voirie ordinaire, qu'elle sillonne une petite commune ou une ville moyenne, et une description précise des éléments qui la composent. Des chapitres spécifiques sont consacrés

aux transports collectifs, aux cyclistes et aux piétons. Il vient compléter d'autres publications du Cerema sur la sécurité sur voirie, les carrefours, le partage de la voirie et les aménagements cyclables.

www.cerema.fr ■



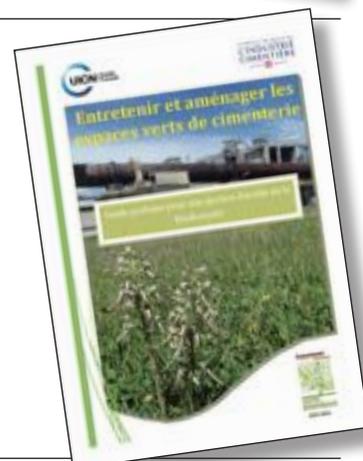
ESPACES PLUS VERTS EN CIMENTERIE

Les cimenteries, à travers le Syndicat français de l'industrie cimentière (Sfic), apportent leur contribution à la stratégie nationale pour la biodiversité. Elles sont invitées à s'inspirer du guide *Entretien et aménager les espaces verts de cimenterie* publié par le Sfic avec le comité français de l'Union internationale

pour la conservation de la nature. Le document de 47 pages rappelle les grands principes qui guideront des actions simples, appropriées et durables : bien connaître son espace vert, adapter les pratiques à ses caractéristiques et à sa fréquentation, prévenir plutôt que guérir et inciter la nature à revenir.

Il propose des techniques d'entretien et de restauration selon le type de milieu (ouvert, boisé, humide) et les moyens de mieux accueillir la faune (oiseaux, insectes, chauve-souris, petits animaux).

www.infociments.fr/publications/ciments-betons/brochures ■



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 15 NOVEMBRE

Biodétérioration des matériaux

Lieu : Toulouse (Haute-Garonne)

www.afgc.asso.fr

• 15 AU 17 NOVEMBRE

C2rop (projet national chutes de blocs, risque rocheux, ouvrages de protection)

Lieu : Villeurbanne (FRTP, Rhône)

www.c2rop.fr

• 29 NOVEMBRE AU 2 DÉCEMBRE

Pollutec

Lieu : Lyon (Eurexpo)

www.pollutec.com

• 14 ET 15 DÉCEMBRE

Energaïa, forum énergies renouvelables

Lieu : Montpellier

www.energaia.fr

• 15 DÉCEMBRE

5^e rencontres Windustry (éolien)

Lieu : Montpellier

<http://windustry.fr>

FORMATIONS

• 14 AU 25 NOVEMBRE

Maîtrise des opérations de réhabilitation urbaine des quartiers

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 15 ET 16 NOVEMBRE

De l'idée au marché : comment assurer le succès de vos innovations ?

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 16 ET 17 NOVEMBRE

Tram-train : conception, exploitation et matériel roulant

Lieu : Île-de-France

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 28 NOVEMBRE AU 9 DÉCEMBRE

Systèmes d'information pour la gestion et l'exploitation des routes

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 29 NOVEMBRE

Métropoles et infrastructures, quels financements

Lieu : Paris

<http://evenements.infopro-digital.com>

• 29 ET 30 NOVEMBRE

Mesures compensatoires pour la biodiversité

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 6 DÉCEMBRE

Entrées de villes

Lieu : Paris

<http://evenements.infopro-digital.com>

• 7 AU 9 DÉCEMBRE

Réhabilitation énergétique : règles et pratiques pour une approche optimisée du projet

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

ANRU : Damien Ranger remplace Anne Peyricot à la direction des relations institution-

nelles de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine.

BOUYGUES : La direction générale est complétée de deux directeurs délégués, Olivier Roussat et Philippe Marien, tous deux déjà présents dans le groupe.

ÉCONOMIE : Christophe Baulinet a été nommé médiateur du ministère de l'Économie.

ÉOLIEN : Pauline Le Bertere prend la succession de Sonia Lioret comme déléguée générale de l'association professionnelle France Énergie Éolienne.

PROMOTEURS : Anne Peyricot rejoint la Fédération des promoteurs immobiliers en tant directrice de cabinet et des relations institutionnelles, poste nouvellement créé.

SOCOTEC : Hervé Montjotin devient président exécutif. Il remplace Vincent Oudin qui passe président non exécutif à la place de Xavier Urbain.



Membre du Réseau Congés Intermédiaires RTP

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics

procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 400 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **270 000 salariés**.

Nos coordonnées :

Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

Par Internet : www.cnetp.fr

Par mail : sur www.cnetp.fr, lien [nous contacter](#)

Par téléphone :

pour les entreprises : 01.70.38.07.70

pour les salariés : 01.70.38.07.77

Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00



Le patrimoine dont s'occupe le STRRES est constitué des ouvrages de notre paysage, lui conférant un caractère historiquement légitime.



Christian Tridon, président du Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes des Travaux de Réparation et de Renforcement de Structures (STRRES)

Le génie civil s'identifie par la symbolique du pont. N'est-ce pas cette image qui figure sur l'une des faces de nos Euros ?

L'évolution des performances des matériaux tels que le béton et l'acier a permis la réalisation d'ouvrages de plus en plus complexes.

Si la pierre ou la brique présentait peu de désordres liés aux effets du vieillissement, il en est tout autrement de ce matériau composite qu'est le béton armé.

En effet, la mise en contact de la chaux (constituant de base du ciment) avec l'acier, provoque, à la longue un phénomène de corrosion dont la conséquence est l'éclatement du béton.

Tous les ouvrages en béton armé sont, potentiellement, soumis à ce phénomène.

On pallie cette pathologie en mettant en œuvre des bétons plus compacts, limitant ainsi la pénétration des agents extérieurs.

Notre souhait bien légitime de vouloir circuler, en hiver, en toute sécurité avec nos véhicules, sur des routes sans risque de verglas, a favorisé l'emploi de sels de déverglaçage. Les chlorures ainsi répandus migrent au travers des bétons et attaquent les aciers d'armature par dissolution. Le phénomène est le même pour les ouvrages situés en bordure du littoral et soumis aux sels marins.

D'autres phénomènes tels que la RSI⁽¹⁾ et la RAG⁽²⁾ ont pour conséquence l'éclatement du béton par gonflement interne. Ces pathologies sont aujourd'hui de mieux en mieux connues mais aucune thérapie ne permet d'un supprimer les effets. Les ouvrages ou parties d'ouvrage qui en sont atteints sont malheureusement condamnés.

Sur les ponts anciens, ce sont généralement les fondations qui posent problème. Très souvent, sur des pieux en bois battus au travers des couches meubles, elles peuvent subir des mouvements verticaux ou horizontaux. Les voûtes qu'elles supportent sont alors affectées.

Les dégâts des eaux sont considérables sur tout type de pont. Soit par effet mécanique direct sur sa structure, soit par effet de l'érosion régressive, en particulier sous les arches de ponts en maçonnerie (déchaussement des fondations), soit encore par les effets de la migration des eaux de ruissellement au travers de la maçonnerie (entraînant le disjoindrement des pierres).

Nous pouvons rajouter à tout ceci les effets des erreurs de conception, des conséquences d'une mauvaise réalisation, d'un défaut d'entretien, voire même d'une mauvaise utilisation de l'ouvrage (surcharge).

Tous ces désordres provoquent des pathologies plus ou moins importantes qui auront, en particulier pour conséquence, l'accélération du phénomène de vieillissement.

Toutes ces nouvelles contraintes se sont considérablement accrues depuis les années 50.

Il a donc fallu imaginer des techniques d'entretien et de réparation. Autant de nouveaux métiers qui nécessitent la formation d'ouvriers, de techniciens et d'ingénieurs. Des entreprises spécialisées se sont créées.

En 1982, le STRRES s'est donc tout naturellement constitué, en regroupant, sous forme d'un syndicat professionnel, les quelques entreprises de ce nouveau secteur. Il en compte aujourd'hui plus de 80.

Ce domaine d'activité est directement lié à la quantité d'ouvrages en service qu'il est nécessaire de maintenir en état.

La maintenance des structures de génie civil est devenue une activité professionnelle à part entière, avec ses normes et ses règles.

Dans les années 80, le STRRES avait d'ailleurs rédigé des guides techniques sur les méthodologies de réparation (les fameux « guides verts »). Ces premiers guides sont tous devenus des normes NF en 1994⁽³⁾, qui sont toujours en vigueur⁽⁴⁾.

Depuis une dizaine d'année, avec l'aide de la FNTP, notre syndicat s'est investi dans la rédaction de nouveaux guides techniques les « Guides-STRRES ». Nous en comptons à ce jour 19 qui totalisent près de 3000 pages. Ces Guides sont en accès libre sur le site www.strres.org. On y trouve également les RECOS-STRRES qui sont des documents synthétiques qui proposent, pour une tâche bien précise (en liaison avec nos Guides) une procédure de contrôle, à l'attention des organismes qui assurent le contrôle qualité. Pour chacune des tâches considérées, ils répondent à 3 questions :

- Que doit-on contrôler ?
- Quand doit-on contrôler ?
- Comment doit-on contrôler ?

Le STRRES organise, à longueur d'année, toute une série de manifestations liées aux activités de réparation et de renforcement : journées techniques sur des thèmes ciblés, visites de chantiers. Il participe également à diverses manifestations liées à ce domaine comme en particulier le colloque « Le Pont » organisé chaque année en octobre à Toulouse⁽⁵⁾ depuis plus de 20 ans.

Le STRRES multiplie ses messages vers ceux qui sont chargés de la gestion des ouvrages d'art. Même si l'argent est rare, il faut rediriger les crédits nécessaires vers ce domaine afin que notre pays ne perde pas la richesse que représente toutes ces infrastructures qui sont une des conditions nécessaires au développement social et économique de nos sociétés.

1- Réaction Sulfatique Interne.

2- Réaction Alcali-Granulat.

3- Normes NF-P. 95.101 à 107.

4- Les normes 95.101 et 103 sont aujourd'hui en cours de révision.

5- Colloque « Le Pont » voir www.le-pont.com.



STRASBOURG

DEUX-RIVES : LA NOUVELLE VILLE SUR LE RHIN

JUSQU'À PRÉSENT PEU URBANISÉE LE LONG DE SES RIVES DU RHIN, STRASBOURG A FAIT LE CHOIX DE SE RAPPROCHER DE L'IMMENSE FLEUVE EUROPÉEN ET MÊME DE PLACER LE RHIN AU CENTRE DU DÉVELOPPEMENT DE L'AGGLOMÉRATION. AU FIL DES CONSTRUCTIONS, CELLE-CI SE TOURNE AUTANT VERS LA FRANCE QUE VERS L'ALLEMAGNE, DEVENANT UNE VÉRITABLE « MÉTROPOLÉ DES DEUX RIVES » À 360 °. **ENTRETIEN AVEC ÉRIC CHENDEROWSKY, DIRECTEUR À LA DIRECTION URBANISME ET TERRITOIRES DE L'EUROMÉTROPOLÉ, ET THALIE MARX, CHARGÉE DE MISSION DÉVELOPPEMENT URBAIN DURABLE.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1 © MARC MONTAGNON

LE PROJET D'URBANISATION DES DEUX-RIVES DISPOSE D'UN POTENTIEL GLOBAL DE CONSTRUCTIBILITÉ QUI S'ÉLÈVE À 1,5 MILLION DE M² ET FAIT DE LUI LE DEUXIÈME PLUS GRAND PROJET URBAIN FRANÇAIS APRÈS CELUI DE PARIS - RIVE GAUCHE. ROLAND RIES, MAIRE DE STRASBOURG, INDIQUE LES GRANDES LIGNES DIRECTRICES DE CE PROJET QUI, SUR UN SECTEUR DE 250 HECTARES, PERMET À STRASBOURG DE SE RÉINVENTER, DE SE PROLONGER VERS LE RHIN ET DONNE UNE FORMIDABLE IMPULSION AU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE DE L'AGGLOMÉRATION, À L'HORIZON 2030, 2040. IL LAISSE À ERIC CHENDEROWSKY, DIRECTEUR À LA DIRECTION URBANISME ET TERRITOIRES DE L'EUROMÉTROPOLÉ, ET À THALIE MARX, CHARGÉE DE MISSION DÉVELOPPEMENT URBAIN DURABLE, LE SOIN D'EN DÉCRIRE LES INNOVATIONS TECHNIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES.



2 © MARC MONTAGNON



3 © EUROMÉTROPOLÉ DE STRASBOURG

Quelles sont les grandes lignes du projet des Deux-Rives ?

Le projet des « Deux-Rives » se développe sur 5 km, entre les portes de la Petite France et la gare de Kehl avec deux territoires - les fronts de Neudorf et le port du Rhin.

L'opération des fronts de Neudorf a été engagée à la fin des années 90 et s'achèvera en 2020, celle de la ZAC des Deux Rives a été engagée dès 2004 avec la réalisation de plusieurs ouvrages dont la passerelle des Deux Rives due à l'architecte Marc Mimram, pour piétons et cyclistes qui relie les deux parties du jardin des Deux Rives situées de chaque côté du Rhin, entre la ville française de Strasbourg et la ville allemande de Kehl et le prolongement de la ligne de tramway à partir de 2010, sur la base d'un schéma directeur imaginé par l'architecte urbaniste Bernard Reichen et le paysagiste Alfred Peter.

Dès 2017, le tramway reliera Strasbourg à la gare de Kehl et desservira les espaces en projet.

Ce schéma a défini les grandes masses de constructibilité du secteur et les concepts urbains à mettre en œuvre ainsi que le plan d'échanges fonciers avec le port autonome de Strasbourg qui était en grande partie propriétaire des terrains. Dans ce territoire, le projet Deux-Rives concerne les trois secteurs de Citadelle, Starlette et Coop situés autour des bassins et de l'avenue du Rhin.

Il concerne 480 000 m² à développer dont 4 800 logements et 30 % d'activités économiques (commerces, locaux d'activités et bureaux), notamment sur le site de la Coop, et représente 200 millions d'euros d'investissements publics.

Dernier grand projet urbain de Strasbourg, il verra son achèvement à l'horizon 2035/2040.

À PROPOS DU PROJET URBAIN DES DEUX-RIVES

Par Roland Ries,
maire de Strasbourg



© EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG

Le vaste chantier des Deux-Rives illustre la métamorphose en cours de Strasbourg qui se développe à présent jusqu'aux rives du Rhin, comme jamais auparavant dans son histoire. Cette mutation offre la formidable opportunité pour notre territoire de devenir un laboratoire à l'échelle européenne, tant au plan des relations binationales avec l'Allemagne qu'en termes d'innovation technologique, de renouvellement urbain, d'expérimentation sociale ou encore de transition énergétique. Deux-Rives propulse résolument Strasbourg vers le futur.

Quelles sont ses ambitions par rapport à l'agglomération strasbourgeoise telle qu'elle est aujourd'hui ?

Le projet Deux-Rives a l'ambition de replacer le Rhin au cœur du développement de l'agglomération. Il est tourné

vers la France autant que vers l'Allemagne. Il permet de passer d'un territoire traversé par le fleuve à une ville construite sur ses deux rives, à 360°. L'ouverture au Rhin apparaît ainsi aujourd'hui comme un moteur capable de renforcer le rang de Strasbourg, métropole rhénane et européenne, et d'assurer sa vitalité économique. Deux-Rives vise le renouvellement urbain de friches portuaires et industrielles situées entre le centre-ville et le port pour développer, sur plus de 250 ha desservis par une nouvelle ligne de tramway, la ville de Strasbourg jusqu'à Kehl en Allemagne. Il offre de nombreuses opportunités de développement à vocation de logements, d'activités, mais aussi d'accueil de grands équipements et de fonctions régionales et internationales.

Au sein de Deux-Rives, s'appuyant sur une prévision de 20 000 habitants supplémentaires d'ici 20 ans,

le projet d'Écocité dessine les contours d'une cité transfrontalière dont le territoire s'articule autour de 3 trames : la trame bleue avec le développement d'un cœur de ville autour du Rhin, la trame verte pour valoriser un cadre de vie de qualité avec parcs, jardins, forêts, coulées vertes le long des cours d'eau, espaces agricoles, et la trame des transports en commun anticipant la fin du règne de la voiture.

Plusieurs opérations d'aménagement et projets immobiliers sont déjà engagés, voire livrés, parmi lesquels, le Heyritz, la ZAC Étoile, la Presqu'île Malraux, l'Écoquartier Danube... Quelles sont les réalisations à venir ?

Une vaste part du projet située à l'est de l'axe Deux-Rives reste à urbaniser dans le cadre d'une ZAC dite « des Deux Rives ». Par ailleurs, les projets innovants Écocité retenus par l'État pour bénéficier de financements se développent, ou ont vocation à se développer, au sein de plusieurs de ces opérations d'aménagement.

L'objectif est, à terme, de pouvoir dupliquer et déployer à l'échelle de l'ensemble du territoire métropolitain les expérimentations techniques, technologiques, méthodologiques, faisant de la démarche Écocité un levier de la qualité et de l'innovation.

Le projet Deux-Rives sert ainsi à accueillir les programmes d'expérimentation d'Écocité, lesquels sont ceux qui nous intéressent ici en priorité. Peut-on dire qu'il constitue, en quelque sorte, le territoire opérationnel d'Écocité ?

Le projet d'Écocité, lancé en 2009 visait, à l'origine, à « fabriquer » un concept permettant aux villes de répondre à la croissance démographique des 25 prochaines années. ▷

- 1- Thalie Marx et Éric Chenderowsky.
- 2- L'immeuble de la Ville de Strasbourg et de l'Eurométropole.
- 3- Vue aérienne du parc du Heyritz.
- 4- La passerelle et le jardin des Deux-Rives.
- 5- La tour Elithis dans l'écoquartier Danube.

© AEPICT

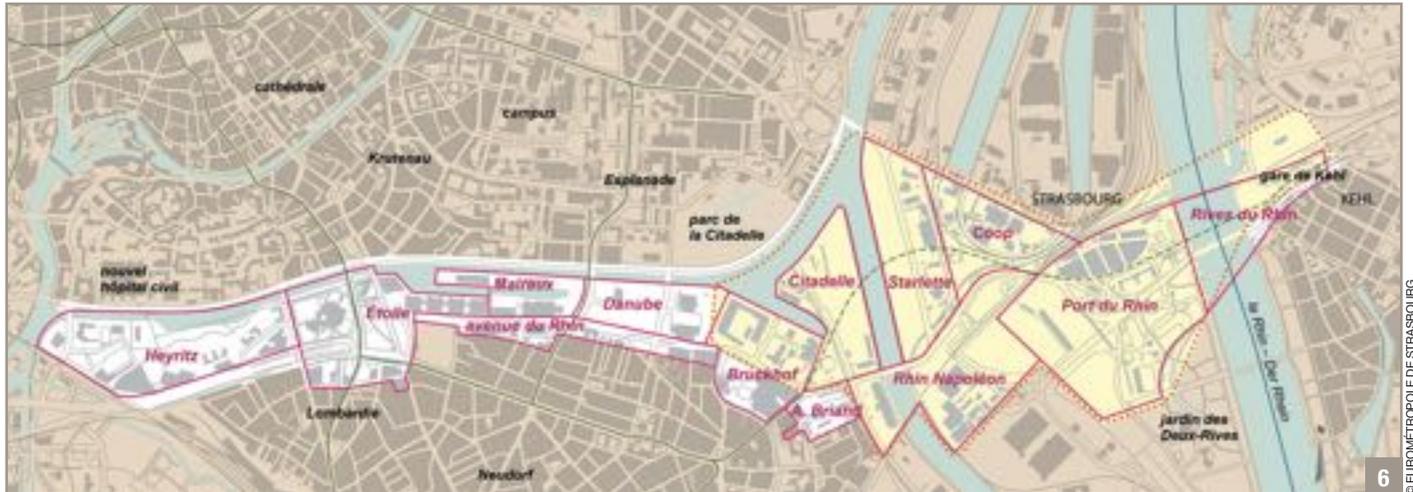
4



© AEPICT

5





© EUROMETROPOLE DE STRASBOURG

La démarche Écocité vise, dans sa phase engagée en 2011, à soutenir financièrement des projets innovants dans le cadre du Programme des Investissements d'Avenir (PIA), via le fonds Ville de demain.

Le dossier de candidature strasbourgeois a répondu aux critères de financement du fonds et à son cahier des charges resserré, en présentant des actions sur deux axes : celui des mobilités innovantes et d'îlots d'expérimentations au sein d'un périmètre restreint à un quartier - le projet urbain des Deux-Rives, vitrine du savoir-faire local en matière de développement urbain durable -, démonstratrices et exemplaires de ce que ce sera la ville du futur, grâce à une approche intégrée et innovante dans les domaines de la mobilité, des énergies et de l'environnement dans le bâti.

Il déploie des innovations techniques et environnementales, qui peuvent être mises en œuvre à court et moyen termes, dans le cadre de larges partenariats avec des acteurs publics et avec le monde économique et de la recherche, dans une perspective de

reproductibilité permettant un déploiement plus large sur le territoire.

La démarche Écocité offre, sur le territoire du projet Deux-Rives, l'opportunité d'une approche croisée et complète de l'innovation environnementale et énergétique.

Ainsi, Deux-Rives est le lieu d'une expérimentation croisée des nouvelles pratiques urbaines de mobilités réduisant l'usage individuel du véhicule thermique au profit d'une offre en modes actifs, transports en communs et véhicules moins polluants partagés. Le projet donne lieu en outre à des constructions qui dépassent les standards environnementaux actuels pour préfigurer les bâtiments du futur.

L'impact écologique est limité mais ce sont aussi un haut niveau de qualité de vie et une vie sociale riche qui sont dans le même temps privilégiés.

Quelles sont les opérations en cours ou à venir dans le cadre d'Écocité ?

Écocité se développe autour d'une thématique par îlot, poussée à son maximum d'innovation : îlot bois, îlot

6- Plan-masse du périmètre du quartier des Deux-Rives.

7- Dans la ZAC Étoile, l'un des immeubles à « gestion énergétique intelligente ».

8- Dans le quartier du Port du Rhin, l'un des îlots à ossature bois.

9- Première image des lots 1 et 2 du nouveau quartier d'affaires international du Wacken.

10- Le projet innovant à ossature bois s'inscrit dans la démarche Écocité.

11- Le pont sur le Rhin de la ligne D du tramway de Marc Barani Architectes.

à gestion énergétique intelligente (production locale, stockage, utilisation), îlot à production de géothermie intégrée aux bâtiments, etc.

12 actions sont en phase pré-opérationnelle ou opérationnelle sur les 21 du dossier de candidature : en ce qui concerne la mobilité : 5 actions sur 8 en phase candidature ; en ce qui concerne les îlots démonstrateurs : 7 actions sur 13 en phase candidature. L'ensemble des projets présente une originalité au niveau du montage.

En effet, la consultation des équipes permet de désigner une équipe pluridisciplinaire constituée d'un promoteur, d'un architecte, d'entreprises spécialisées dans le domaine de l'énergie (production stockage, gestion, réseaux, *smart grids*).

Dans le groupement, sont présents des bureaux d'études/cabinets, compétents en ingénierie thermique avec spécialisation dans le domaine des énergies renouvelables, en ingénierie électrique, qualité environnementale du bâtiment, compétence juridique et économique pour la réalisation et l'exploitation/maintenance des systèmes techniques.

© JULIEN STIÉVENARD

7



© KOZ ARCHITECTES

8



Quels sont les îlots « démonstrateurs » les plus innovants ?

Avec l'îlot Étoile, l'objectif est de construire des logements produisant localement l'énergie nécessaire pour chauffer les bâtiments grâce à l'intégration de sondes de géothermie au sein de leur structure, dans les pieux de fondation de 0,62, 0,75 et 0,88 m de diamètre et de 7 à 10 m de profondeur, puisant les calories dans le sol. Dans cet îlot, l'énergie géothermique produite sous quelques bâtiments est mutualisée avec redistribution par réseau de chaleur de l'ensemble et chaufferie commune, pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Le programme se compose de deux bâtiments de 90 logements R+2 et R+7. La performance énergétique visée BEPOS⁽¹⁾ est de 15 kWh/an/m²SHON RT.

La technologie proposée ne bénéficiait pas à ce jour d'un avis technique valide. Elle fait donc l'objet d'une appréciation ATEX⁽²⁾. Son obtention permettra de reproduire cette technique innovante et de vérifier sa pertinence sur la base des performances réelles. Dans le périmètre de l'écoquartier Danube, face à la station de tramway Churchill, Elithis aménage actuellement une tour de 63 logements à énergie positive, la première de ce type réalisée en France à coûts standards. Cette tour produira plus d'énergie qu'elle n'en consommera grâce à un millier de mètres carrés de panneaux photovoltaïques.

La conception bioclimatique d'Elithis optimise les façades et les surfaces vitrées en fonction de l'orientation. Une récupération de calories est réalisée sur les eaux grises, c'est-à-dire les eaux usées des salles d'eau tandis qu'un double système de ventilation est organisé par palier : simple flux l'été, double flux l'hiver et aux intersaisons.



9

UN NOUVEAU QUARTIER D'AFFAIRES INTERNATIONAL AU WACKEN

Le chantier du futur Quartier d'Affaires International de Strasbourg, implanté à proximité des institutions européennes, a été lancé officiellement le 2 mai dernier par Roland Ries, maire de Strasbourg, et Robert Herrmann, président de l'Eurométropole.

L'objectif de la Ville et de l'Eurométropole est de créer dans le quartier européen du Wacken un pôle économique métropolitain, dédié à deux axes de développement : la rencontre économique et le tertiaire supérieur.

« Nous avons choisi ce site, chargé d'histoire, où se sont agglomérées depuis les années 20 quantité d'activités, pour incarner le Strasbourg du futur, un nouveau modèle urbain mêlant qualité architecturale, mixité des usages et des fonctions, mobilités douces et innovantes, et qualité de vie », a précisé le maire de Strasbourg.

Maître d'ouvrage, la Ville de Strasbourg entend, avec ce nouveau Quartier d'Affaires International, créer un pôle économique métropolitain de grande envergure, dédié aux activités tertiaires supérieures.

À deux pas des banques et assurances, au pied des institutions européennes, ce vaste ensemble, situé en cœur de ville et d'accès aisé, sera pour Strasbourg une véritable vitrine d'excellence en termes d'ambitions économiques, d'aménagement durable, de qualité environnementale, de mixité fonctionnelle.

Le projet conjugue logements, infrastructures hôtelières et business international.

Il offrira une réponse adaptée aux besoins exprimés par l'Eurométropole de dynamiser ses activités en direction du tertiaire international, l'un des quatre secteurs clés de sa stratégie de développement économique, Strasbourg Éco2030. L'objectif étant de consolider à terme le positionnement de Strasbourg comme 3^e pôle tertiaire après Paris et Lyon.

Parallèlement, il sera aussi un lieu de vie de grande qualité, avec un ensemble résidentiel de 148 appartements haut de gamme, aux volumes spacieux, dont le niveau de performance énergétique BEPAS sera certifié NF Habitat. Les logements seront répartis sur 3 immeubles en R+16 ; leurs façades seront reconnaissables à leur esthétique futuriste et aérée.

Par ailleurs, le bâtiment est équipé d'un plancher technique dédié.

Pour sa réalisation, un nouveau système de management de projet est mis en place dit « management latéral de la performance énergétique ».

L'objectif de performance recherché est supérieur au label BEPOS Effinergie 2013.

Avec ce niveau de performance énergétique, la tour Elithis figure parmi les projets pionniers de tours de logements à énergie positive au niveau international.

Vous avez également évoqué un îlot à gestion énergétique intelligente. Quelles sont ses grandes caractéristiques ?

L'écoquartier Danube sert de théâtre d'expérimentation à un îlot dit « à gestion énergétique intelligente », au travers d'un groupe de bâtiments à énergie positive en assurant une gestion intelligente et un suivi de l'énergie produite (électrique en particulier) dans une perspective d'autoconsommation et d'effacement sur le réseau électrique, à partir de compteurs intelligents.

L'objectif est de réaliser un programme à faible impact environnemental alliant la performance énergétique à la recherche d'un coût global maîtrisé en promouvant l'efficacité énergétique et en limitant la compensation pour atteindre un îlot à énergie positive sur les 5 usages réglementaires que sont le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, la climatisation et les auxiliaires. Ceci est obtenu en utilisant au maximum l'énergie produite sur la parcelle en limitant autant que possible la revente en bloc au réseau d'électricité par autoconsommation électrique sur les équipements communs et effacement, par retrait d'un réseau électrique, une heure par jour *a minima* grâce au stockage de l'énergie produite. ▶

© TECTONIKES, ATELIER D

10



© CYRILL THOMAS

11



La production estimée d'électricité d'origine photovoltaïque (500 m²) sur l'îlot est de 105 MWh/an.

Dans le cadre de ce projet, outre le montage « classique » d'une opération immobilière, une société sera constituée soit pour la réalisation de l'opération immobilière (par exemple foncière), soit pour la réalisation et l'exploitation du système énergétique de l'îlot (production et revente de l'énergie ou des capacités d'effacement).

La tour de logements de 16 étages, avec un dernier plancher à 50 m, qui est intégrée à ce projet, se caractérise par une conception bioclimatique optimisant les déployés de façades par rapport à la surface de plancher et le ratio de surfaces vitrées en fonction de l'orientation, afin de garantir un confort visuel et thermique optimal. Elle présentera une silhouette effilée, avec une façade couverte de bardages métalliques côté Nord, et de panneaux photovoltaïques et de verre polarisant côté Sud.

Au sommet de la tour, un espace partagé par les habitants de la tour, tel un belvédère, offrira une vue sur la ville et sera accessible par un ascenseur panoramique.

Pour optimiser les consommations énergétiques, plusieurs dispositifs sont mis en place :

- Une nouvelle technologie de distribution de chaleur individualisée et optimisée ;
- La récupération des calories sur les eaux grises ;
- Un double système de ventilation fonctionnant par palier (simple flux pour l'été et double flux pour l'hiver et les intersaisons permettant de filtrer et préchauffer l'air frais avant de l'envoyer dans les logements) ;
- L'instrumentation des logements pour assurer le suivi des consommations d'énergie par les habitants.



12

LE QUARTIER D'AFFAIRES INTERNATIONAL EN CHIFFRES

4 hectares de superficie totale et 105 000 m² de surface plancher :

- **45 000 m² : tertiaire supérieur (bureaux, sièges, centre d'affaires),**
- **10 000 m² : hôtels et résidences hôtelières,**
- **2 000 m² : commerces et services de proximité,**
- **18 000 m² : 250 logements,**
- **30 000 m² : réserve foncière à destination des institutions européennes,**
- **Parkings en sous-sol de près d'un millier de places dont 230 pour un parking public.**

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Strasbourg.

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Erik Giudice Architects (EGA) / INGEROP / BASE / ON / EGIS Concept.

Qu'en est-il de l'îlot « bois » ?

Ce projet consiste à expérimenter la construction d'un îlot de grande taille (de 400 à 450 logements) regroupant plusieurs opérateurs, utilisant au maximum des matériaux bois et biosourcés, avec des niveaux sur une hauteur rarement réalisée en France (jusqu'à R+11), ainsi que des objectifs de performance énergétique ambitieux privilégiant la sobriété.

La conjugaison de ces caractéristiques en fait l'un des projets les plus innovants actuellement en développement en France sur l'utilisation du bois.

L'objectif majeur consiste à favoriser l'utilisation du bois et plus généralement des matériaux biosourcés dans les constructions de logements collectifs d'une certaine hauteur afin de diminuer l'impact environnemental de la construction et de prouver leur adéquation avec certaines caractéristiques en matière de performance thermique, de résistance au feu, de normes sismiques, acoustiques, qualité de l'air intérieur...

De plus, l'intégration d'une approche locale de l'approvisionnement en matériaux biosourcés et bois est un autre objectif et permet de soutenir les filières locales.

L'opération comprend quatre lots de logements en accession ou locatifs dans des bâtiments dont la hauteur

va de R+3 à R+11 incluant en rez-de-chaussée des commerces ainsi qu'un parking silo mutualisé à l'îlot d'environ 350 places.

Les quatre lots présentent des innovations constructives qui en font une réalisation unique :

- La totalité de la superstructure en bois, y compris les cages d'escaliers et d'ascenseur avec le béton utilisé uniquement pour les fondations et le plancher bas du rez-de-chaussée ;
- La structure massive des bâtiments, composée de murs de refend et de dalles en bois avec une stabilité gérée indépendamment pour chaque plot ;
- Des façades en panneaux préfabriqués, avec leur propre ossature bois, accrochés sur la structure existante, assurant le contreventement ;
- Une enveloppe constituée de caissons à ossature bois préfabriqués ;
- Une isolation thermique assurée par un mélange de chanvre et chaux faiblement dosé en liant sur l'un des bâtiments.

Il y aurait sans doute encore énormément à dire sur Deux-Rives mais il faut conclure.

Le projet ambitieux des Deux-Rives incarne plus que tout autre une nouvelle page de l'histoire de la ville. Sur un secteur de 250 hectares, Strasbourg se réinvente, se prolonge vers le Rhin et donne une formidable impulsion au développement économique de l'agglomération à l'horizon 2030/2040. □

1- **BEPOS** : Un bâtiment à énergie positive BEPOS est un bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ce standard sera obligatoire pour tous les bâtiments neufs à partir de 2020. Pour certifier des logements BEPOS, l'association Effinergie a créé un label pilote, nommé BEPOS-Effinergie 2013, applicable à court terme, qui s'appuie sur la RT 2012 et le label effinergie+.

2- **ATEX** : Appréciation Technique Expérimentale.

© JÉRÔME DORKEL – EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG

13



© AIRDIASOL

14



PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

SPÉCIAL LGV 912

TRAVAUX SOUTERRAINS 913

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 914

OUVRAGES D'ART 915

SOLS ET FONDATIONS 916

SPÉCIAL BIM 917

INTERNATIONAL 918

VILLES, TRANSPORTS ET PATRIMOINE 919

SPÉCIAL BFUP 920

TRAVAUX SOUTERRAINS 921

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 922

OUVRAGES D'ART 923

SOLS ET FONDATIONS 924

SPÉCIAL HONG KONG 925

ÉNERGIE 926

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 - cometcom.fr - octobre 2016



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 912 x | <input type="checkbox"/> 917 x | <input type="checkbox"/> 922 x |
| <input type="checkbox"/> 913 x | <input type="checkbox"/> 918 x | <input type="checkbox"/> 923 x |
| <input type="checkbox"/> 914 x | <input type="checkbox"/> 919 x | <input type="checkbox"/> 924 x |
| <input type="checkbox"/> 915 x | <input type="checkbox"/> 920 x | <input type="checkbox"/> 925 x |
| <input type="checkbox"/> 916 x | <input type="checkbox"/> 921 x | <input type="checkbox"/> 926 x |

Soit un montant total de :
_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais postaux : 4,80€ d'envoi France, 9,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi informatique et des Libertés du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



1
© PÉNA PAYSAGES

PÉNA PAYSAGES DONNER DE LA SENSUALITÉ À DES «VALLÉES» DE VERRE ET DE BÉTON

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LE TRAVAIL DU PAYSAGISTE-CONCEPTEUR SUR LA VILLE CONSISTE, PLUS ENCORE QU'À LUI DONNER DU VERT, À LUI DONNER DE L'AIR, DU VENT, DU LOINTAIN. IL LA REGARDE ET IL Y CHERCHE DES FENÊTRES. CERTAINES LUI PARLENT DU CIEL, DES COLLINES LOINTAINES, DE LA MER, MAIS AUSSI DE LA TERRE ET DES FORMES MERVEILLEUSES DE LA VIE. EN ABORDANT LE PAYSAGE D'UNE VILLE, CE SONT TOUTES SES COUCHES SÉMANTIQUES QU'ON EXHUME, QU'ON FAIT FOISONNER. TELLES SONT QUELQUES-UNES DES IDÉES QUE MET EN ŒUVRE MICHEL PÉNA, CRÉATEUR AVEC CHRISTINE PÉNA DE L'AGENCE PÉNA PAYSAGES, DANS LES TRÈS NOMBREUSES RÉALISATIONS DONT ILS PEUVENT SE PRÉVALOIR DANS TOUTE LA FRANCE, DONT 25 HECTARES DANS PARIS, DEPUIS LA CRÉATION DE L'AGENCE EN 1983.

Ils sont issus l'un et l'autre en 1983 de l'une des toutes premières promotions de l'École du Paysage de Versailles, créée en 1976, à l'époque où le métier n'existait pas encore.

Michel et Christine Péna se sont fait connaître par le jardin Atlantique, installé dans l'enceinte de la gare Montparnasse.

Une réalisation dont l'originalité avait surpris à l'époque mais dont la concep-

tion atypique s'est depuis largement répandue, notamment au sein des très nombreuses réalisations de Péna Paysages dans des domaines particulièrement diversifiés : parcs urbains denses en milieu hyper contraint ou sur d'anciennes friches industrielles, jardins publics et cœurs d'îlot, quartiers de ville, places et espaces urbains, structures paysagères, humanisation d'axes routiers et de lignes de tramways...

1- La promenade du Paillon à Nice.

La liste des réalisations est longue et il serait de peu d'intérêt d'en faire l'énumération. Aussi, ce reportage est-il centré sur trois d'entre elles, significatives de l'esprit qui anime cette agence et qui constituent déjà des références de

ce que l'on peut qualifier d'école paysagère du XXI^e siècle : le jardin Atlantique, la promenade d'Auteuil, au cœur même de l'hippodrome, et la promenade du Paillon, à Nice.

RETISSER LA VILLE

Dans les sites d'accumulation de voiries, immeubles, tours et mobiliers urbains que sont souvent les villes, le projet de paysage peut servir à

revenir à l'espace démembré et à lutter contre la souffrance humaine qu'une telle fragmentation engendre. D'une part, en recomposant des morceaux dissociés par des mécanismes fonctionnels, économiques, en un tout cohérent. D'autre part, en imaginant des liaisons sensibles dans la ville, qui pourraient constituer un véritable maillage de grandes promenades.

« Cette démarche paysagère capable d'exprimer une pensée nouvelle de l'espace urbain est celle que nous cherchons aujourd'hui, précise Michel Péna. La ville doit redevenir à la fois plus dense et plus naturelle ! La notion de paysage doit précéder celle d'urbanisme. L'organisation de l'espace doit être à la fois plus efficace et plus sensorielle. Il nous faut, comme c'était le cas du temps d'Alphand, nous placer à hauteur d'homme, et non à vol d'oiseau, pour que notre travail sur le paysage ne soit pas théorique mais physique ».

Ainsi, la promenade doit recommencer à mettre en scène les éléments significatifs de la ville, à faire en sorte qu'ils offrent la possibilité d'une perception nouvelle et "assemblée". Il ne s'agit pas nécessairement d'interventions lourdes, mais de jouer entre des significations possibles offertes par le territoire et entre les sentiments que les éléments constitutifs du paysage urbain suscitent. Pour le paysagiste-concepteur qu'il est, scénariser la promenade doit servir à donner du sens à ce qu'elle montre, ou bien, très souvent, tout simplement à le révéler.

Il suffit parfois d'offrir des cheminement où l'on prend du plaisir sensoriel à être là, à déambuler à travers le lieu ; des parcours qui donnent la possibilité au promeneur de comprendre physiquement, perceptivement l'environnement



© MARC MONTIGNON

2

MICHEL PÉNA : REPÈRES-CLÉS

- 1983** : Diplômé de l'École du paysage de Versailles, création de l'agence Péna Paysages.
 - 1994** : Jardin Atlantique, à Paris (gare Montparnasse).
 - 1994** : Rcade sud-est de Bordeaux (6 km).
 - 2002** : Parc du Bois Bonvallet, à Amiens (2 ha).
 - 2005** : Parc urbain Vert-de-Maisons, à Maisons-Alfort (2,5 ha).
 - 2006** : Parc des Guillauds, à Bagnolet et Montreuil (25 ha).
 - 2008** : Trois jardins publics sur les dalles de couverture du RER, à Vincennes et Fontenay-sous-Bois (1 ha).
 - 2011-2017** : Place du Grand Ouest, à Massy Palaiseau (19 ha).
 - 2012** : Cimetière paysager de la Baule (11 ha).
 - 2013** : Parc de l'hippodrome de Pornichet (28 ha).
 - 2013** : Promenade du Paillon, à Nice (12 ha).
 - 2014** : Parc public de l'hippodrome d'Auteuil, à Paris (12 ha).
 - 2016** : Jardin éphémère de l'Institut du Monde Arabe, à Paris.
- Michel Péna entretient un partenariat régulier avec les architectes Christian de Portzamparc, Bruno Fortier, Reichen & Robert, Sylvain Dubuisson, Frank Hammoutène, Dominique Hertemberger.**

Il enseigne à l'École nationale supérieure du Paysage de Versailles.

2- Michel Péna, dans le jardin de ses bureaux dans le 13^e arrondissement de Paris.

3- Le parc de Bagnolet avec, à l'arrière-plan, le donjon du château de Vincennes.

4- Le parc de l'écoquartier de la place de Rungis, à Paris.

ment de ce moment de vie qu'il est en train d'expérimenter, car n'oublions pas qu'être dehors et jouir du paysage, c'est se sentir au monde, se percevoir dans le monde.

Si la ville doit posséder d'autres vocations que le travail et la production, si elle doit offrir du bien-être, le projet de paysage urbain doit prendre en compte la qualité de la perception, c'est-à-dire le lien qui se crée en permanence, par le regard, entre le sujet percevant et l'espace physique qui l'entoure.

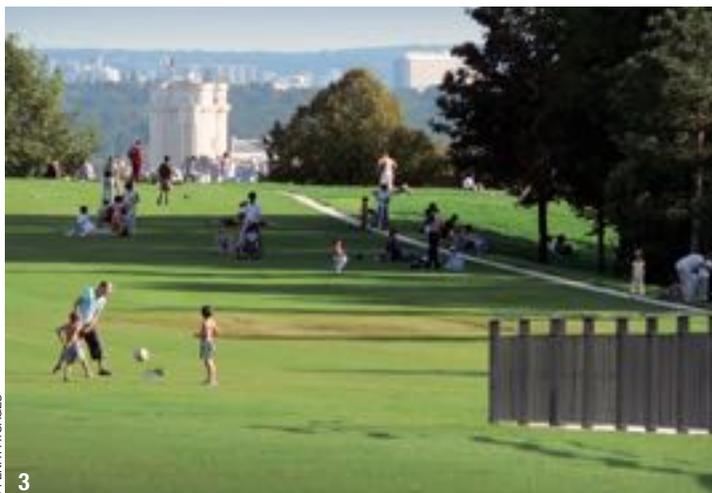
Ce réseau "percepteur" qui permet de rendre cohérent l'ensemble de ces appréhensions de l'espace, de les assembler, ce sont les promenades qui l'assurent.

Ainsi, une promenade est un récit de paysages. Elle se compose avec des séquences, des coups de théâtre, du suspens, des changements de décor. Le paysage nous est plus proche que le cinéma, le théâtre, la littérature et même la musique.

MONTPARNASSE : UN JARDIN DANS UNE BOÎTE

Le jardin Atlantique est un jardin parisien du quartier Necker du 15^e arrondissement, conçu par François Brun et Michel Péna, paysagistes, construit au-dessus des voies de la gare de Paris-Montparnasse, sur une surface de 3,5 hectares, et entouré par des barres d'immeubles de l'ensemble Maine-Montparnasse.

Une grande pelouse carrée libre d'accès constitue le centre du parc. Elle est traversée en son centre par une allée qui mène à la fontaine de l'île des Hespérides où l'on trouve un portique dont chaque pied héberge un équipement météorologique et qui supporte un grand miroir orientable. La végétation persistante ornant le parc est empruntée à la nature des façades atlantiques des deux continents et offre outre le vert, du mauve, du blanc et du bleu. Le jardin propose une aire de jeux pour les enfants dont la configuration faite de petites places et de chemins encaissés tranche radicalement avec le reste du parc. Cette zone est survolée par une longue passerelle piétonne courbe. Le parc propose également une aire de musculation, des courts de tennis, des tables de ping-pong et des visites guidées.



© PÉNA PAYSAGES

3



4

C'est un carré de verdure qui apparaît comme placé dans un écrin de verre et de béton. Son dessin parvient à concilier les impératifs techniques avec la nature. Les 130 trémies réparties dans le jardin qui permettent de ventiler la gare et le parc de stationnement souterrain construit en dessous se fondent dans un environnement largement végétalisé. Le thème de l'océan est suggéré par la végétation, par les formes de vagues omniprésentes et le mobilier qui rappelle la construction navale. Il est une question que Michel Péna considère comme essentielle : c'est celle de l'univers de référence et de l'accoutumance à son unité de mesure, inhérente à celle de la perception environnementale. Dans la démarche paysagère, il s'agit en l'occurrence, d'identifier le "facteur dominant". C'est le cas de la dalle Montparnasse qui est entourée de barres d'immeubles de 50 m de hauteur, soit le double de la hauteur moyenne des bâtiments parisiens. « Pour intervenir sur la dalle dans le cadre de l'opération du jardin Atlantique, précise-t-il, il a ainsi fallu créer des espaces à la bonne échelle. Le jardin est dans une boîte : comme il

n'était pas possible de sortir le jardin de la boîte, l'enjeu était de faire disparaître la boîte pour avoir le sentiment d'en sortir un peu ». La difficulté était de réunir paysagèrement les deux parties du jardin qui étaient dissociées spatialement par la large voie d'accès-pompiers. Enfin, il ne fallait pas que la tour Montparnasse écrase le jardin et en fasse un triste espace vert, un verdissement laborieux au pied des grands immeubles. Il fallait donc créer un objet à cheval sur cette grande voie traversante et, surtout, un objet bizarre, presque incongru, qui interpelle le promeneur. Ainsi, afin de jouer avec ces différents éléments hétérogènes, il utilise le concept de "présences relatives". « Nous avons donc disposé des lames de pierres bretonnes auprès des trémies de ventilation et placé un objet insolite au centre du jardin : un observatoire météorologique qui fournit les informations climatiques au promeneur. Sans cet observatoire, l'allée centrale n'aurait aucune consistance et le promeneur risquerait d'éprouver un sentiment de déception en sortant du jardin à peine y être entré ».

**HIPPODROME D'AUTEUIL :
 UNE NAPPE PAYSAGÈRE**

Pour la promenade d'Auteuil, c'est le principe de "nappe paysagère" qu'il a tenté d'instaurer, en constituant un socle le plus contenu possible pour intégrer au mieux les équipements et les bâtiments du site. Les lisses du parc reprennent les lisses de l'hippodrome d'Auteuil. Hors les courses, l'hippodrome s'ouvre désormais à la population, avec un parc sportif et paysager au beau milieu du site. Une opération de 12ha sur un espace trois fois plus grand pour également retisser les liens entre le bois de Boulogne et la capitale.

Ceinturé par les pistes de courses hippiques, le projet s'inscrit dans la charte d'aménagement du bois et du plan local d'urbanisme. La première pelouse, au sud, côté porte d'Auteuil, est vouée à la promenade et aux loisirs ; elle accueille un terrain de rugby en gazon synthétique, ainsi qu'un terrain de football en gazon naturel, entouré d'une piste d'athlétisme de six couloirs formant un anneau de 400 m, revêtu d'un élastomère moucheté vert. La deuxième pelouse, au centre, "comme un havre de paix naturel", est entièrement dévolue au repos et aux loisirs tout en évoquant la fameuse mare d'Auteuil supprimée en 1921 pour l'extension de l'hippodrome. Une aire de jeux pour enfants a été réalisée à l'extrémité Nord de cette pelouse. Facilement accessible depuis l'allée des Fortifications, elle est équipée d'un sol amortissant composé d'écorces de couleur sombre et entourée d'une large banquette en bois pour constituer à la fois une assise et une table. À proximité se trouve une borne-fontaine. Au nord du projet, côté porte de Passy, la troisième pelouse permet de rejoindre le lac supérieur.

5- Réaménagement du quartier de la Rocaille à Biarritz, avant et après.
6- La gare Montparnasse et le jardin Atlantique, avant et après.



5a



5b
 © PENA PAYSAGES



6a



6b
 © PENA PAYSAGES



7

© PÉNA PAYSAGES

On y trouve un terrain de hockey recouvert d'un revêtement synthétique et deux terrains de basket au sommet d'une petite butte aplatie dont le talus donne naissance à des gradins.

Enfin, un parcours de santé de 3 km, ponctué de 12 alcôves accueillant des agrès sportifs et trois bornes-fontaines, s'affirme comme l'élément fédérateur de l'opération. Aménagé en périphérie des trois pelouses, il profite ainsi de la voie de service ceinturant les pistes. Élaboré dans le cadre d'une démarche de qualité environnementale, le projet répond à plusieurs objectifs : l'intégration dans le paysage des espaces sportifs et d'un bâtiment semi-enterré dont la toiture est recouverte d'une végétalisation extensive, une gestion de l'eau responsable (récupération des précipitations et utilisation de l'eau de la Seine pour les bassins d'agrément, plantation de végétaux nécessitant peu, voire pas du tout, d'arrosage...), recours à des systèmes de modulation de niveau

7- Le parc paysager de l'hippodrome d'Auteuil avec la fameuse mare retrouvée après avoir été supprimée en 1921.

8- La promenade du Paillon avant et après les aménagements.

d'éclairage pour les luminaires, réutilisation des matériaux du site pour les déblais et remblais et recyclage de ceux qui n'ont pu être réemployés.

« La notion de "nappe paysagère" fédère l'ensemble du projet de réaménagement, indique Michel Péna, en assurant la compatibilité entre des exigences parfois difficilement concili-

ables. Ainsi, la présence des arbres, indispensables sur un tel parc et la vue sur le déroulement des courses depuis les tribunes. Des cônes de visibilité ont été déterminés pour les dégager de toutes constructions et plantations, au niveau des obstacles de l'hippodrome. Trois cent cinquante sujets de forces variables mais d'essences identiques à celles que l'on trouve dans le bois et sur le site ont été plantés afin de constituer une structure paysagère verticale et de réduire la présence de certains équipements ».

PROMENADE DU PAILLON : UN SENTIMENT DE CONTINUITÉ

La promenade du Paillon à Nice est une bande de terrain de 12 ha, qui va de la Promenade des Anglais au théâtre national, c'est-à-dire de la mer au pôle culturel.

« Lors de la conception de la promenade du Paillon, j'ai eu, avant tout, des problèmes perceptifs à régler, indique

Michel Péna, bien plus importants que les problèmes matériels, toujours plus faciles à résoudre. J'ai considéré la question de l'intégration urbaine, centrale dans le projet en question, en termes de sensations, sentiments, sens. J'ai donc essayé de ne pas dissocier l'espace physique autonome de son rapport à l'humain, sachant qu'il n'y a pas d'usagers de la ville ni d'utilisateurs mais des sujets percevant ».

Dans ce nouveau paysage urbain, tout est mis en oeuvre pour créer un sentiment de continuité par le fait qu'il conte une histoire globale.

Grâce à ce nouveau parcours qui traverse la ville et qui présente des paysages s'enchaînant et se complétant, les Niçois redécouvrent maintenant les crêtes des montagnes lointaines, la colline du château, la mer. Ils comprennent de quelle manière la place Masséna et la place Garibaldi se relient, comment l'histoire s'est écrite et s'écrit dans leur ville. ▶



© PÉNA PAYSAGES



9



10

© PENA PAYSAGES

« Le projet de réaménagement vise à clarifier, poursuit-il, en réduisant les éléments formels et en redéfinissant une ligne stylistique des traitements. Cette cohérence se fonde sur la réalité du lieu, son histoire, sa géographie, son usage, en un mot son sens remis à jour. C'est ce que l'on pourrait nommer simplement la "poésie des lieux" ».

« Le promeneur devient dès lors un "sujet percevant" capable de dépasser le simple usage pour entretenir une relation intelligible avec le lieu dans son épaisseur : la force et le génie de la rivière enfouie du Paillon, les ouvrages extraordinaires qui ont permis de la canaliser, la cohérence de l'expression des jardins qui habillent l'ensemble en surface, mais aussi le souvenir lointain des lavandières ».

« C'est pourquoi cette notion de sens doit présider à la composition générale des traitements. Notre ambition a été de retrouver une unité d'ensemble sans pour autant réduire l'identité de chaque lieu. Cette réalité existe physiquement tout au long du Paillon, en amont de sa couverture ».

9- À Nice, de part et d'autre de la place Masséna, les vastes miroirs d'eau, animés de fontaines et brouillards.

10- Les beaux immeubles de style méditerranéen se reflètent dans les miroirs d'eau.

11- Jeux d'eau pour les enfants sur la promenade du Paillon.

12- Aménagement paysager sur la ligne du tramway T3, boulevard des Maréchaux, à Paris.

13- La ligne de tramway en direction de Vélizy, au sud de Paris.



11

© PENA PAYSAGES

« L'ouverture d'une liaison "naturelle" du pôle culturel jusqu'à la Promenade des Anglais est une ambition fondatrice, capable de redonner un contenu puissant à l'échelle de la ville et de son territoire. À ces fins, nous avons dessiné une allée d'une largeur de 8 m, qui se glisse entre les arbres et les divers obstacles en créant un lien fédérateur du théâtre jusqu'à la plage. Ce ruban de pierre, à la forme souple, n'est pas sans

rappeler le tracé de la rivière oubliée ». Il s'accompagne d'un large tapis vert (et bleu) très ouvert. L'alliance entre le minéral, le végétal et l'eau permet d'ordonner l'ensemble des espaces du Paillon en une vaste entité paysagère. Il est dès lors possible d'admirer les plus belles scènes naturelles de Nice : les lointains des premières Alpes, la colline du château et enfin une mer revisitée par la ville.



12



13

© PENA PAYSAGES



14

© PÉNA PAYSAGES



15

© PÉNA PAYSAGES

RESPECTER LA GÉOGRAPHIE URBAINE NIÇOISE

« Une fois mis en place ces principes, nous avons dessiné les réalités formelles de chaque lieu. La plupart des arbres sont conservés, quelques fois avec difficulté par rapport aux nouveaux tracés, car ils sont l'histoire du lieu et suscitent une grande affection de la part des Niçois ».

« Si le projet se doit d'exprimer une véritable volonté urbaine, il se doit de le faire avec attention et douceur vis-à-vis de l'existant. Accepter d'infléchir le tracé de l'allée pour éviter un beau sujet, révèle notre désir de respecter la vie du site ».

D'autre part, l'espace urbain, à l'instar de l'espace naturel, possède une géographie, une climatologie, un adret et un ubac. Le trottoir au soleil n'a rien à voir avec le trottoir à l'ombre ! Il ne s'y passe pas les mêmes activités : deux vies parallèles et complémentaires. Il était donc logique d'installer l'espace

14- Le jardin éphémère de l'Institut du Monde Arabe.

15- Une nouvelle expression de l'espace urbain.

minéral ouvert offrant tout le soleil possible pour les jours d'hiver. À l'opposé, la fraîcheur doit venir de sols fortement végétalisés, de pelouses denses, de grands arbres aux frondaisons filtrant les soleils trop violents.

« Cette situation privilégiée a initié l'organisation fonctionnelle du parc linéaire, poursuit Michel Péna, et justifie sa disposition dissymétrique. La plus belle promenade paysagère se trouve sur la "rive" Nord et incite à laisser le tapis vert s'étendre jusqu'aux ombres de la "ripisylve" au sud. La promenade, ainsi placée, propose de sublimes dégagements vers les lointains niçois mais ce

ci et lui redonnent toute la fraîcheur dont elle a besoin. Les clochers et les façades du vieux Nice pénètrent ainsi au cœur même de la promenade.

La géographie urbaine véhicule une réalité particulièrement forte. Nous avons vu un adret et un ubac, correspondant à deux versants urbains opposés : un versant régulier, et un versant pittoresque. De ces deux réalités, accentuées par la présence du soleil ou de l'ombre, ont découlé des propositions spatiales et fonctionnelles différentes. Une logique similaire s'applique donc aux plantations : côté plein soleil, la végétation est densifiée venant compléter les vides des massifs existants. En contrepoint, l'autre rive, bordant le boulevard Jean Jaurès, se devrait d'être légère et transparente. Les bouquets d'arbres dégagent des fenêtres sur le Nice pittoresque, la colline et la cascade du parc du château. Un vaste jardin de fleurs offre une palette de couleurs digne de cette lumière tant célébrée par Matisse.

caractère grandiose ne doit pas entraîner une approche sensible et délicate. Elle sait courtiser un arbre remarquable, vient envelopper le socle de la statue de Masséna, s'interrompt au passage de la place et montre une politesse attentionnée au passage des traverses. Vers le théâtre, elle s'émancipe de son allégeance au tapis vert pour accompagner le promeneur vers la suite des grandes promenades urbaines et, plus loin, la place Garibaldi. À l'autre extrémité, la promenade se divise, telles les ramifications. L'une des difficultés était de concilier tout cela en un espace cohérent ».

« Nous avons imaginé un vaste tapis offrant la possibilité d'intégrer des espaces d'usages différenciés pouvant évoluer dans le temps. Résonnant à l'infrastructure souterraine, mais sans pour autant s'y conformer systématiquement, le tapis est composé de quatre rubans de 6,60 m correspondant aux murs souterrains ».

De part et d'autre de la place Masséna, deux vastes miroirs d'eau, animés de fontaines et brouillards, cadrent celle-

« C'est la "ville fertile" dont nous rêvons. À Nice, cette immense ouverture, recrée par la destruction d'immeubles étouffants, nous a permis de retrouver des paysages oubliés et d'en inventer de nouveaux. Ainsi, les façades colorées du vieux Nice viennent illuminer désormais la promenade verte du Paillon ».

Pour Michel Péna, le paysage est la nécessaire contribution à une vraie politique de l'écologie et la source possible d'un renouveau des milieux vivants au sein des projets d'aménagement.

Au-delà de l'immense satisfaction que lui procurent ses réalisations, eu égard au nombre important de visiteurs qu'elles attirent et donc, de l'appropriation qu'ils s'en font, Michel Péna exprime un regret : celui de n'avoir pas encore réussi à imposer une nouvelle conception de la végétalisation des plateformes de tramway, en l'occurrence celle du boulevard des Maréchaux à Paris, à l'aide de plantes rampantes et tapissantes en lieu et place du gazon. Mais il ne désespère pas d'y parvenir. □

BIBLIOGRAPHIE

- Jardins : le soin (Éditions du Sandre) en collaboration.
- Pour une troisième nature (Édition ICI consultants) 2010.
- Petite histoire du jardin et du paysage en ville, avec Michel Audouy (Éditions Gallimard) 2011.
- Jouer du paysage (AAM-Ante Prima éditions) 2016.



© AREP GROUP

LA MÉTAMORPHOSE DE LA GARE DE VERSAILLES-CHANTIERS

AUTEUR : CHRISTIAN LOCQUEVILLE, DIRECTEUR DU CHANTIER DE RAZEL-BEC

LE PROJET DE RÉNOVATION ET DE RESTRUCTURATION DE L'ANCIENNE GARE, RÉALISÉ EN SITE EXPLOITÉ AU-DESSUS ET À PROXIMITÉ DES VOIES EN SERVICE, A REQUIS UN PHASAGE COMPLEXE NÉCESSITANT DES OPÉRATIONS NOCTURNES ET DES INTERVENTIONS EN CONTINU DE 54H, DURANT LES WEEK-END. LA POSE DE LA NOUVELLE PASSERELLE MÉTALLIQUE DE 69 M DE LONGUEUR CONSTITUAIT LE POINT LE PLUS DÉLICAT, L'ENSEMBLE DES TRAVAUX NÉCESSAIRES À SA RÉALISATION DEVANT ÊTRE IMPÉRATIVEMENT ACHEVÉ POUR LA DATE BUTOIR PROGRAMMÉE TROIS ANS AVANT.

Les prémices de ce projet d'aménagement datent de 1998. Les premiers plans, élaborés entre 1998 et 2003, sont le fruit d'une concertation entre l'État, la Région Île-de-France, le département des Yvelines, la ville de Versailles, le STIF, la SNCF et RFF. Il est mené en parallèle avec une vaste opération d'aménagement urbain réalisée sur les 3,5 ha de terrain contigus à la gare, propriété de la SNCF et de RFF. Ces deux volets, urbain et transport, restent indépendants l'un de l'autre, mais sont conduits en synergie pour une requalification complète du quartier de la gare. Les premières pièces de ce programme ont été l'ouverture de la gare vers le sud-est de la ville et la création d'un nouvel accès Cour de Buc, respectivement mises en service en septembre 2010 et février 2011.

DEUX CHANTIERS EN UN

Dans la pratique, deux chantiers sont menés simultanément, les travaux de rénovation et de réaménagement du bâtiment existant (Hall 1) étant concomitants avec ceux destinés à la création d'une extension à l'ouest. Cette dernière comprend la création d'un nouveau hall (Hall 2), d'une nouvelle passerelle (figures 2 et 3) et d'une coursive de liaison de 80 m (elle reliera le bâtiment voyageur existant à l'extension), l'ensemble du programme s'inscrivant dans l'esprit architectural des années 1930 (voir encadré), afin de garantir une intégration parfaite des infrastructures dans leur environnement.

Les travaux de réhabilitation de la partie historique sont assez classiques et ne soulèvent pas, techniquement, de problème majeur, la difficulté princi-

pale étant liée à la nécessité d'opérer dans un site en exploitation, avec donc des modalités et des contraintes d'accès à respecter. L'afflux important de voyageurs, tôt dans la matinée et en fin d'après-midi, exclut ainsi toute possibilité d'intervenir hors du créneau 10h/16h pour tous les travaux intérieurs - désamiantage, élimination du plomb, peintures, rénovation des parties

1 - Croquis de la Gare de Versailles-Chantiers.

1 - Sketch of Versailles-Chantiers Station.

en stuc, nettoyage des pierres, réfection des étanchéités en zinc - le ravalement des abris de quai ainsi que la rénovation de leur étanchéité devant, pour les mêmes raisons, se dérouler durant les périodes creuses, autrement dit principalement les week-end.

Pour en finir avec ce volet spécifique, les travaux comprenaient également le ravalement de la façade extérieure principale - réalisé manuellement, au papier de verre de différentes granulométries, afin de retrouver l'aspect poli originel - la réfection de l'étanchéité du parvis extérieur - avec décapage des bétons dégradés et reprise des armatures apparentes - ainsi que le réaménagement des galeries existantes, constituant la coursive Ouest, les anciennes tôles ondulées étant remplacées par des murs rideaux vitrés.



2

© NICOLAS VERCELLINO

FLUIDIFIER LE TRAFIC

Le second chantier dans le chantier consistait donc à construire une extension Ouest (figure 5) - comprenant un nouvel accès à la gare ferroviaire depuis la gare centrale des bus qui sera construite au nord-ouest du site - celle-ci devant être traitée en cohérence (volume, ordonnancement, matière) avec le bâtiment historique. Les objectifs étaient, outre de rendre la gare plus confortable, d'améliorer l'accessibilité, notamment pour les personnes en situation de handicap, et de fluidifier le trafic. Pour se faire, un bâtiment R+2 (Hall 2) de 3 x 1 050 m², fondé sur semelles superficielles, a été construit à une centaine de mètres de la partie historique, les deux halls étant désormais reliés par une coursive de

liaison. Le dispositif de circulations verticales se compose de deux escaliers fixes, de trois escaliers mécaniques et d'un ascenseur PMR (Personne à Mobilité Réduite), l'ensemble assurant l'accessibilité des clients entre le niveau bas « gare routière » et la nouvelle passerelle de 69 m de long (largeur 13,50 m), implantée à une centaine

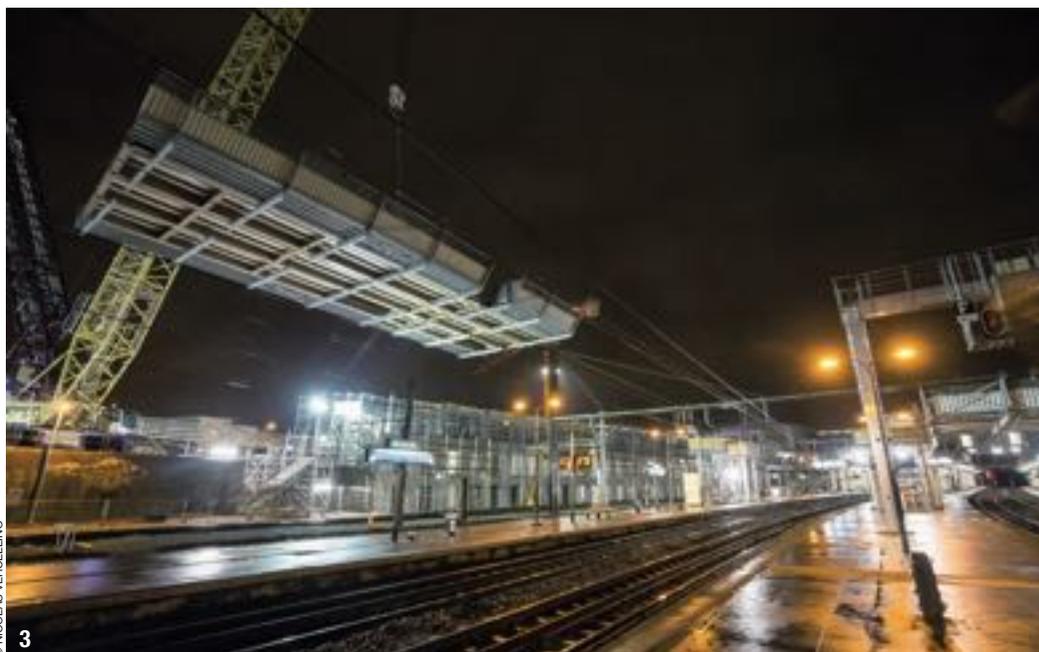
2 & 3- Pose de la passerelle.

2 & 3- Placing the pedestrian bridge.

de mètres de la structure existante, qui enjambe désormais les quais à 7,50 m de hauteur. Voulu comme une jumelle contemporaine de son aïeule, l'ouvrage, qui comporte un escalier mécanique et un ascenseur desservant chacun des quatre quais, est constitué d'un tablier métallique reposant, au niveau de chacun des quais, sur des poteaux métalliques circulaires creux, remplis de béton afin de respecter les contraintes coupe-feu, boulonnés sur les fondations en béton équipées de platines métalliques. Celles-ci sont constituées de 16 à 40 micropieux (diamètre 0,089 m) selon les quais, ancrés à 11 m dans le substratum et connectés, en tête, par un radier de 0,60 m d'épaisseur coulé après terrassement sur 1,00 m de hauteur.

BÉTONNAGES NOCTURNES

À noter qu'au niveau des fosses d'ascenseur, il a été nécessaire de terrasser à 2,20 m de profondeur après exécution préalable d'une berlinoise périphérique. Anecdote : durant les grèves de juillet 2014, les déblais ont été stockés dans des big bags, répartis sur les quais, ceux-ci ne pouvant pas être évacués avant le mois de septembre suivant. La difficulté principale des travaux résidait, là encore, dans les problèmes d'accessibilité, l'ensemble des interventions de fondation étant réalisé sur 22 week-end, de fin mai à début novembre 2014 - les machines de pieux étant mise en œuvre au moyen de trains travaux fournis par la SNCF - avec obligation de laisser une bande libre de 1,50 m le long des quais, déjà très étroits, afin de permettre la circulation des usagers. Même problématique au niveau de l'acheminement du béton, les opérations de bétonnage s'effectuant les week-end, essentiellement dans les nuits du vendredi au samedi, eu égard à la difficulté de disposer d'une centrale en fonctionnement durant ces créneaux particuliers. D'où l'obligation de regrouper les interventions qui se sont déroulées par pompage (6 à 7 toupies par fondation), jusqu'à des distances pouvant atteindre 250 m, et ce en respectant donc des timings extrêmement serrés, entre une et quatre heures du matin, afin de garantir la remise en service des quais au matin. Quant à la passerelle, il s'agit d'une structure à quatre travées, celles-ci ayant été préfabriquées en usine, au Puy-en-Velay (Haute-Loire), acheminées par convois exceptionnels, en huit morceaux, puis assemblées sur site en deux tronçons de 31 et 38 m, pesant respectivement 75 et 100 t. ▷



3

© NICOLAS VERCELLINO

Les deux éléments ont été levés puis mis en place par l'intermédiaire d'une grue Demag Superlift 3800 sur chenilles, équipée d'une flèche treillis de 90 m de portée et donc capable de déposer les 75 t du colis de 31 m à 75 m (figure 6).

PEINTURE SOUS TUNNEL CHAUFFANT

Contraintes dictées par la topographie et, là encore, par les conditions d'accessibilité, l'opération se déroulant dans la nuit du 13 au 14 février 2015, sous fermeture totale de la gare, cette date impérative ayant été programmée et calée trois ans auparavant par la SNCF et RFF. L'application du revêtement ignifuge s'effectuant en plein hiver, durant le mois de février, l'ouvrage a dû être bâché, afin de créer un tunnel chauffant et pourvoir, ainsi, intervenir dans des conditions de température correctes. Un crash deck a été préalablement installé, de part et d'autre du tablier, afin de pouvoir travailler en toute sécurité, au-dessus des quais et des voies ferrées, sans être contraint par des obligations de fermeture. Un hourdis de 16 cm, rechargé par un sol industriel de 5 cm d'épaisseur, a ensuite été coulé

DU CHÂTEAU DE VERSAILLES AU PÔLE MULTIMODAL

La première gare de Versailles-Chantiers, située sur la ligne qui relie Paris-Montparnasse à Brest et la grande ceinture de Paris, fut édifée en 1849, mais l'actuel bâtiment, pensé par l'architecte André Ventre dans un esprit résolument Art Déco, a été érigé en 1932. La gare tire son nom d'une épopée beaucoup plus ancienne, à savoir la construction de son illustre voisin, au XVII^e siècle, le château de Versailles. C'est en effet sur ce site que furent taillées les pierres nécessaires à la réalisation du chantier pharaonique du royal édifice. Lors de son inauguration (figure 4) l'ouvrage fut salué par l'ensemble de la presse comme « la plus moderne et la plus audacieuse de toutes les grandes gares de France de par sa conception », éloge et enthousiasme dus notamment à l'emploi de matériaux innovants et à sa structure, de type bâtiment-pont, enjambant les voies ferrées. En 1998, l'ensemble de la gare a été inscrit à l'Inventaire Supplémentaire des Monuments Historiques. Aujourd'hui, elle est traversée par 12 voies ferrées (TGV, TER, Intercités Île-de-France, fret), dont 8 à quais, et constitue un nœud stratégique des transports de la région. La gare est en effet empruntée par 70 000 voyageurs et voit le passage de 1 000 trains chaque jour, avec, pour 2020, une perspective de 75 000 voyageurs qui y transiteront quotidiennement.

sur un système de prédalles collaborantes, l'ossature métallique, qui sert de support à la couverture cintrée en zinc, étant alors assemblée. La recherche du confort lumineux ayant été un des

4- Inauguration de la passerelle.

4- Inauguration of the pedestrian bridge.

éléments clef qui a guidé la conception architecturale, cette couverture comporte un éclairage zénithal, les façades légères étant, quant à elles, constituées de murs-rideaux vitrés. Même au niveau de la construction des escaliers il a fallu faire preuve d'imagination, là encore en raison des difficultés d'accès et de l'impossibilité de disposer de moyens de levage lourds. La pose des marches en béton préfabriquées (170 kg), boulonnées sur un limon métallique, a en effet été réalisée par l'intermédiaire de minipelles chargées sur des trains travaux et de portique à palans. Cette partie des travaux s'est achevée par l'installation d'une ligne de CAB (Contrôle Automatique Banlieue) hall 2/passerelle 2.

PRÉMURS EN FAÇADE

Afin d'éviter la mise en œuvre de passerelles extérieures lors de la construction des façades du hall 2, notamment pour celle qui donne sur les voies SNCF très proches, nous avons opté pour la solution Prémurs, cette technique constructive assurant, par ailleurs, un avantage notoire en termes de rapidité d'exécution. Les travaux ont été réalisés, après protection des caténaires avec un habillage en bois, au moyen



© NICOLAS VERCELLINO



5

© NICOLAS VERCELLINO



6

© NICOLAS VERCELLINO

d'éléments hauteur d'étage de 7 à 8 m de longueur posés sur les deux premiers niveaux, le troisième étage étant constitué d'une structure mur-rideau vitrée. Côté extérieur, les Prémurs sont revêtus d'un enduit ITE et habillés de coques composites ciment-verre préfabriquées, agrafées par l'intermédiaire de platines. Le plafond du dernier niveau a par ailleurs nécessité la pose d'un étaieement complet, sur toute la surface du dernier plancher, eu égard aux exigences architecturales, la sous-face maintenue apparente exigeant, de fait, un état de surface irréprochable. D'où la nécessité de couler sur un coffrage en contreplaqué et d'intégrer en parallèle des rupteurs thermiques, noyés dans le béton, afin de garantir l'absence de ponts thermiques avec le mur-rideau. Le bâtiment étant réalisé en tous corps

5- Partie de l'extension Ouest.

6- Grue à treillis de 650 t sur chenilles, la Terex SL3800 de Dufour.

5- Part of the West extension.

6- 650-tonne lattice crawler crane, the Terex SL3800 from Dufour.

d'état, il a fallu gérer de nombreux sous-traitants tout en assurant un gros de travail de coordination et de planification pour l'ensemble du projet. □

FICHE TECHNIQUE

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Gares & Connexions ; RFF Direction Régionale Île-de-France

MAÎTRE D'ŒUVRE : SNCF Gares & Connexions Département Conceptions et Réalisations

BUREAUX D'ÉTUDES : Arep (Aménagement Recherche Pôles d'Échanges) Jean-Marie Duthilleul/Étienne Tricaud ; SNCF Infra/Ingénierie, Snc Lavalin ; B2E

BUREAU DE CONTRÔLE : Dekra

COORDONNATEUR SPS : Systra

ENTREPRISES : Razel-Bec / Brezillon / Gagne

MONTANT DU MARCHÉ : 16,38 millions d'euros

FINANCEMENT : État, Région Île-de-France, Conseil Général des Yvelines, Ville de Versailles, STIF, SNCF et RFF

DURÉE DES TRAVAUX : 28 mois

ABSTRACT

METAMORPHOSIS OF VERSAILLES-CHANTIERS STATION

CHRISTIAN LOCQUEVILLE, RAZEL-BEC

This complex project, carried out on a site in operation and registered on the "Supplementary List of Historic Monuments", will transform Versailles-Chantiers Station into a multimodal hub, in line with present-day comfort and fluidity requirements. The project, which employs all types of building trades, is also subject to all the constraints inherent in work on railways. The foundations of the new steel pedestrian bridge, 69 metres long, placed in operation in April 2016, were executed at night, usually on weekends, as was the installation of steel columns. Everything had to be ready for the night of 13 to 14 February 2015, scheduled three years earlier for lifting and placing the two sections, 31 and 38 metres long, forming the structure. The operation, carried out with the station completely closed, was performed with a crawler-mounted crane of exceptional capacity. The renovation work on the historic section was carried out in accordance with the original Art Deco architectural spirit of the 1930s. □

LA METAMORFOSIS DE LA ESTACIÓN DE VERSAILLES-CHANTIERS

CHRISTIAN LOCQUEVILLE, RAZEL-BEC

Este complejo proyecto, realizado con las instalaciones en funcionamiento e inscrito en el Catálogo Adicional de Monumentos Históricos, permitirá transformar la estación de Versailles-Chantiers en un núcleo multimodal conforme a los imperativos de confort y fluidez actuales. La obra, que exige todos los tipos de competencias de construcción, está asimismo sujeta al conjunto de restricciones propias de las obras ferroviarias. Los cimientos de la nueva pasarela metálica de 69 m de longitud, que entró en servicio en abril de 2016, se realizaron de noche, casi siempre en fin de semana, al igual que la instalación de los postes metálicos. Todo debía estar listo para la noche del 13 al 14 de febrero de 2015 programada 3 años antes para la elevación y la colocación de los dos tramos de 31 y 38 m que forman la construcción. La operación, que exigió el cierre completo de la estación, se llevó a cabo mediante una grúa con orugas con una capacidad excepcional. Las obras de renovación de la parte histórica se realizaron teniendo en cuenta el estilo arquitectónico Art Déco original de los años 1930. □



1
© FRANCK BADAIRE

LA GENÈSE ARCHITECTURALE ET TECHNIQUE DE LA COUVERTURE DE LA CANOPÉE - LA STRUCTURE

AUTEURS : MARIE-VÉRONIQUE PÉRON, CHEF DE PROJET STRUCTURES CANOPÉE, INGEROP - ADRIEN LE BRET, CHEF DE PROJET BÂTIMENT, INGEROP - FRANÇOIS SERET, INGÉNIEUR, INGEROP

LA GÉOMÉTRIE DE CETTE STRUCTURE EST LE FRUIT D'UNE DÉMARCHÉ COLLABORATIVE ENTRE L'ARCHITECTE ET L'INGÉNIEUR. L'IMAGINATION ET LA CRÉATIVITÉ DE L'UN ASSOCIÉES À L'EXPÉRIENCE ET À LA MAÎTRISE DES MATÉRIAUX DE L'AUTRE ONT ABOUTI À UNE SOLUTION TECHNIQUE APPROPRIÉE. 3^e ARTICLE D'UNE SÉRIE DE 4 COMMENTÉES DANS LA REVUE TRAVAUX N° 919.

LES EXIGENCES

Le concept général du projet et notamment la couverture du patio sont gouvernés par les exigences fonctionnelles principales suivantes :

- Réaliser une structure et des bâtiments émergents sur une construction existante ;
- Garantir une couverture « à l'air libre », contrainte imposée par les organismes de sécurité pour assurer l'évacuation du forum via la place basse niveau -3. La notion «à l'air libre» suppose une ouverture

de plus de 50% de la surface de base permettant le désenfumage ;

- Conserver l'activité du centre commercial du Forum et de la gare Châtelet pendant la réalisation des travaux.

Les exigences structurelles découlent directement des exigences fonctionnelles et architecturales :

- Limiter les charges du nouvel ouvrage sur le bâti existant pour limiter les travaux de renforcement dans le centre commercial en activité ;

1- Nervure-méridien.

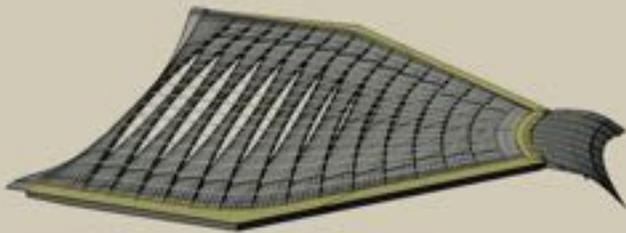
1- Meridian rib.

- Structure ajourée pour respecter la notion « à l'air libre » ;
- Méthodologies de montage adaptées au site urbain dense et aux conditions de maintien de l'exploitation du forum soumis à une très forte fréquentation du public.

Ces exigences ont abouti à des contraintes structurelles :

- Un maximum de légèreté ;
- Ne pas solliciter significativement les têtes des poteaux existants sur lesquels viennent se reposer les nouveaux ouvrages ;
- Minimiser l'impact visuel côté jardin ;
- Une préfabrication maximale, assemblage sur place de grande rapidité ;
- Une grande transparence aérodynamique ;
- Une mise en œuvre sous un haut niveau de sécurité.

MODÉLISATION



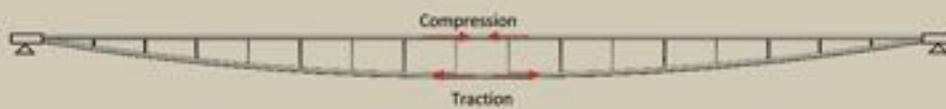
2



3

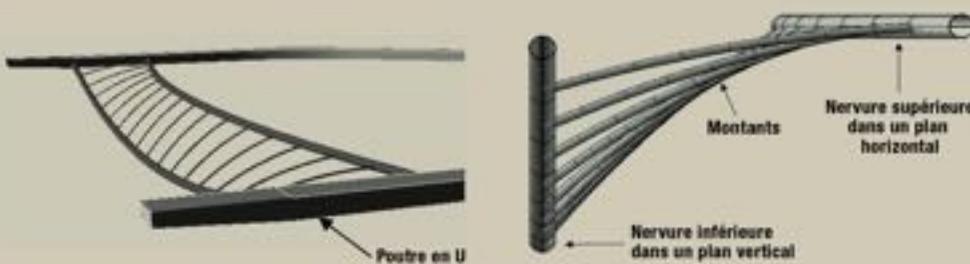
© FRANCK BADAIRE

UNE VENTELLE ÉLÉMENTAIRE



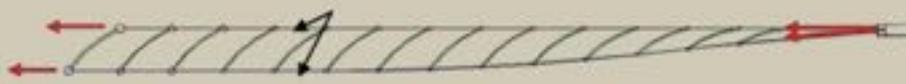
4

FONCTIONNEMENT D'UNE VENTELLE

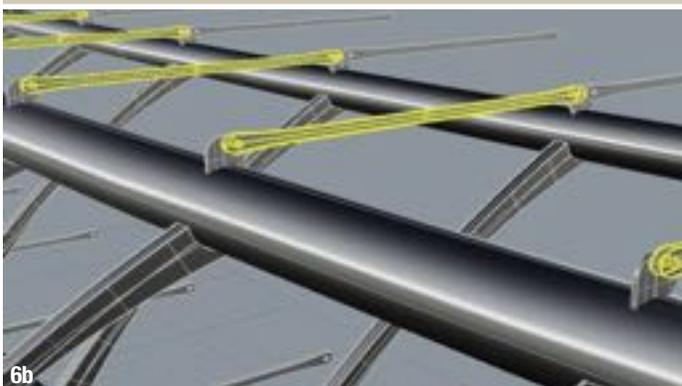


5

FONCTIONNEMENT DES MÉRIDIENS



6a



6b

2- Modélisation.
3- Vue aérienne.
4- Une ventelle élémentaire.
5- Fonctionnement d'une ventelle.
6a & 6b- Fonctionnement des méridiens.

2- Model.
3- Aerial view.
4- An elementary louver.
5- Operation of a louver.
6a & 6b- Operation of meridians.

→ Quinze poutres transversales en forme de ventelle portent des écailles de verre et constituent une couverture partielle.

SCHÉMA STRUCTUREL INITIAL

Le schéma structurel est conçu pour ne pas renvoyer d'efforts horizontaux sur la poutre périphérique en U, car il n'est pas envisageable de transmettre ce type d'efforts dans les structures des bâtiments ; il est aussi hors d'échelle de pouvoir imaginer un U suffisamment résistant et surtout suffisamment rigide pour résister à des efforts horizontaux importants, tendant à « rapprocher » les branches du U sous l'effet du poids de la couverture.

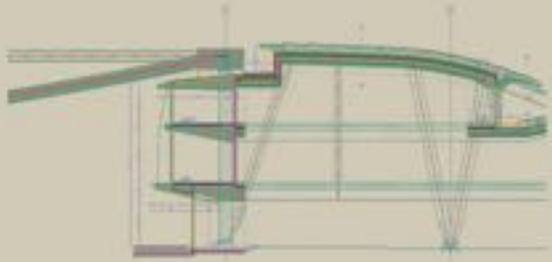
La solution la plus élégante, la plus légère et la plus efficace, fait appel au concept de la poutre transversale sur appuis simples, d'élanement modéré. Le principe initial de fonctionnement d'une ventelle est donc celui d'une poutre sur appuis simples à deux nervures fonctionnant en traction compression (figure 4).

LA RÉPONSE STRUCTURELLE

La réponse structurelle est une couverture indépendante monolithique s'appuyant sur les nus des bâtiments distants de 100 m (figures 2 & 3) :

→ Une poutre périphérique en forme de U s'appuie directement sur la trame des poteaux existants des bâtiments et minimise l'impact côté jardin ;

COUPE SUR APPUI BÂTIMENT



7



8

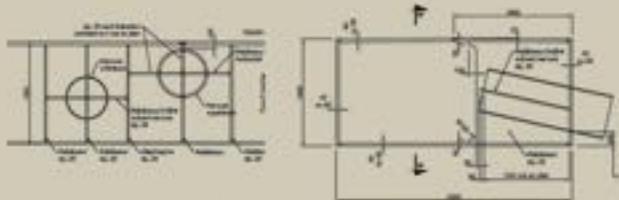


9a



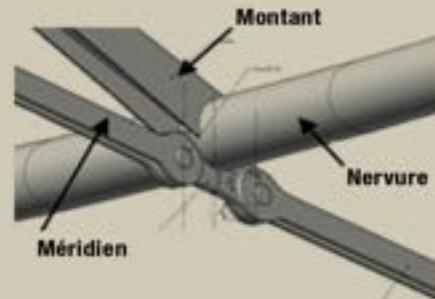
9b

ASSEMBLAGE NERVURE - CAISSON



10

ASSEMBLAGE MÉRIDIAN - MONTANT - NERVURE



11

Aux appuis il n'y a transmission que de charges verticales. Le cheminement des efforts est univoque et complètement contrôlé.

Des montants assurent la liaison entre les nervures et portent les écailles de verre. Les quinze ventelles sont espacées l'une de l'autre d'une 1/2 trame soit 5,65 m.

Ce schéma structurel initial a finalement été adapté pour intégrer la bonne inclinaison des écailles.

EXIGENCE DE CONFORT ET DE SÉCURITÉ

Le projet impose des conditions de confort vis-à-vis des intempéries climatiques et des conditions d'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Après de nombreux essais techniques et architecturaux, la solution retenue consiste à dédoubler les appuis

des nervures et à vriller les ventelles. En projection au sol la couverture par les écailles est totale alors qu'en 3 dimensions la transparence aéraluque est assurée entre les ventelles (figure 5). Le décalage en plan de la nervure haute par rapport à la nervure basse s'accompagne de sa mise en courbe dans le plan horizontal. Les nervures sont finalement encastrées dans la poutre périphérique.

Vu l'espacement entre ventelles, et les proportions d'ensemble, une forte section d'air « libre » est maintenue pour l'évacuation naturelle des fumées.

La géométrie des ventelles ainsi vrillées entraîne des efforts supplémentaires. C'est pourquoi les quinze ventelles sont reliées entre elles par deux nappes de « méridiens », une nappe reliant les membrures supérieures et l'autre les membrures inférieures.

7- Coupe sur appui bâtiment.

8- Illustration architecturale - phase PRO.

9a & 9b- Chantier.

10- Assemblage nervure - caisson.

11- Assemblage méridien - montant - nervure.

7- Cross section on building support.

8- Architectural illustration - PRO phase.

9a & 9b- Construction site

10- Rib-box girder assembly.

11- Meridian-upright-rib assembly.

Les méridiens sont constitués de barres à œil. Ils sont ancrés dans la poutre caisson à la base du U, c'est-à-dire à l'opposé du bord libre de la couverture. La fonction majeure des méridiens est double :

- Équilibrer les « poussées au vide » vers le jardin, induites par la courbure des nervures supérieures ;
- Reprendre aussi les poussées secondaires dues à l'inclinaison des montants des ventelles.

Les méridiens et montants sont disposés pour être dans les mêmes plans verticaux (figure 6).

LES DIMENSIONS

La structure se développe sur une emprise de 100 m (nord-sud) par 110 m (est-ouest).

Les quinze ventelles distantes de 5,65 m se déploient sur 1,90 m de



12

© INGEROP



13

© FRANCK BADAIRE

hauteur pour la première à 5,37 m pour la quinzième qui borde la couverture côté jardin.

L'appui de la Canopée au-dessus du patio étant totalement assujéti à la position des points d'appui existants jusqu'au sol, ceci conduit au dimensionnement de la poutre en U périphérique, caisson métallique rectangulaire de 1,50 m de haut et 3,30 m de large. Cette poutre permet le report sur les poteaux des charges verticales issues des nervures et la reprise des efforts entre les ancrages des nervures inférieure et supérieure d'une même ventelle (figure 7).

12- Caisson.
13- Canopée Lescot.
14- Logigramme des études.

12- Box girder.
13- Lescot canopy.
14- Design engineering flow chart.

Les profilés des nervures sont des tubes creux de diamètre variant de 406 mm à 1017 mm pour la nervure supérieure côté jardin (figure 8).

Le tracé des montants est circulaire et leur section résistante est un caisson rectangulaire de 20 cm de large et 25 cm de haut. Leur rôle est à la fois de constituer l'âme des ventelles et d'assurer le support de l'enveloppe (figures 8 & 9).

Les méridiens sont des plats de 150 à 200 mm de haut et 25 mm maxi d'épaisseur. La structure est conçue en acier S460. La totalité des assemblages des éléments sont soudés hormis les

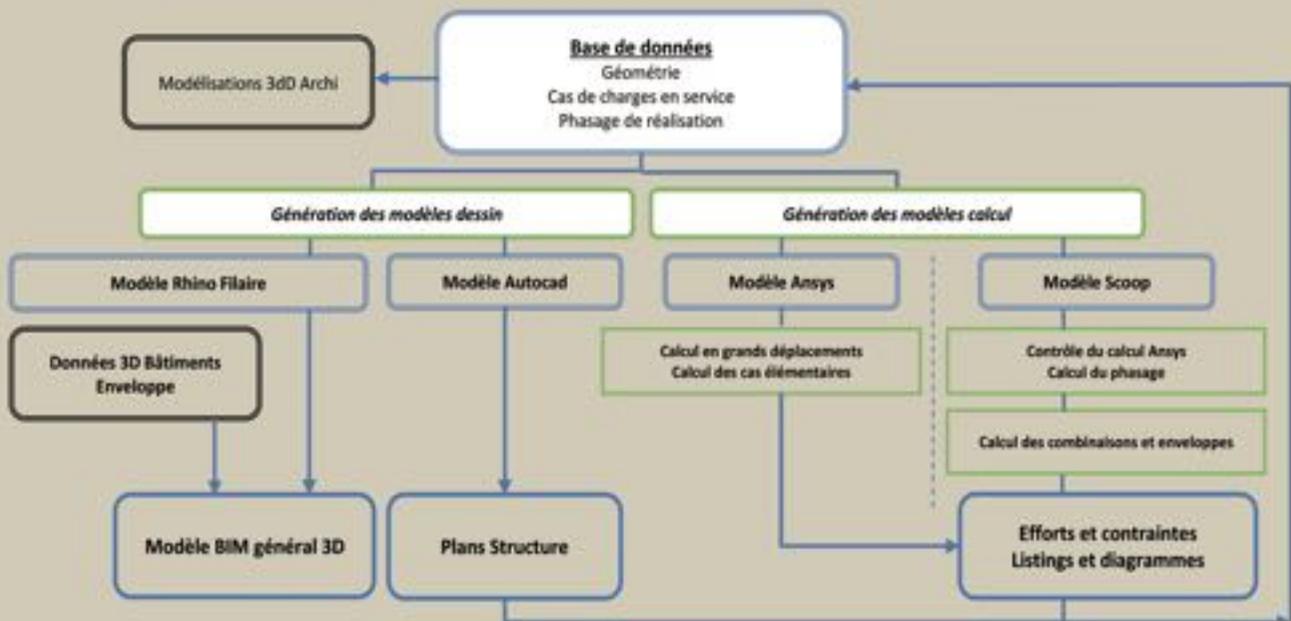
assemblages méridiens - nervures (figures 10 & 11).

Le concept de la couverture architecturée de la Canopée patio permet un fonctionnement structurel simple, lisible où la fonction de chaque élément est identifiable et facilement maîtrisable. Le recours à une redondance généralisée des cheminements de ces efforts et les dispositions techniques retenues garantissent robustesse et durabilité (figures 1 & 12).

LA CANOPÉE LESCOT

La porte Lescot (entrée Est) permet l'arrivée sous la Canopée patio. ▷

LOGIGRAMME DES ÉTUDES



14
 © INGEROP

La structure imaginée par les architectes consiste en 8 griffes de 17 m de long accrochées sur la base arrondie de la poutre en U.

Pour accompagner le geste des griffes, la poutre est élargie jusqu'à 4,20 m (figure 13).

LA DÉMARCHE ARCHITECTE-INGÉNIEUR

Sur la base d'intentions et de croquis pensés et élaborés par l'architecte, l'ingénieur se doit de répondre par des propositions techniques cohérentes répondant aux contraintes de site et aux contraintes économiques.

L'organisation mise en place est essentielle pour la réussite du projet. Elle se traduit par de nombreuses séances de travail en commun.

L'objectif de ces séances est de formaliser le geste intuitif de l'architecte, de le compléter, de le concrétiser.

Face à cet enjeu, l'objectif premier d'ingénieur est la réactivité pour répondre en temps réel aux intentions architecturales et aux contraintes techniques évolutives.

Les ingénieurs de conception ont l'obligation d'être en permanence force de propositions techniques.

Le schéma architectural se transforme en croquis technologiques avec des choix de matériaux, de dimensions de pièces, d'une géométrie d'ensemble adaptée et modifiée par rapport au geste architectural esquissé. Ce processus de mise au point riche

en échanges aboutit à un résultat fruit d'un concept architectural et de l'imagination, de l'expérience et des compétences de l'ingénieur.

Pour faciliter la réactivité de cette démarche, un outil créé spécifiquement permet à partir d'une base de données, de bâtir une géométrie visualisable en 3D, de transférer cette géométrie sur les logiciels de calcul (Ansys) pour garantir lors de chaque modification ou adaptation la fiabilité technique de la structure projetée.

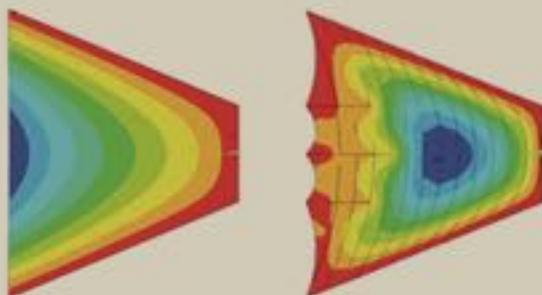
L'outil dans sa première étape a permis à partir d'une base de données, de créer une géométrie visualisable en 3D et de transférer cette géométrie sur le logiciel calcul Ansys qui complété par les caractéristiques sections et matériaux permet d'apprécier le comportement de la structure sous les seules charges permanentes.

L'outil prototype a permis en phase esquisse et APS de tester chaque semaine une géométrie pour aboutir à

15, 16a, 16b & 16c- Étude de solutions.

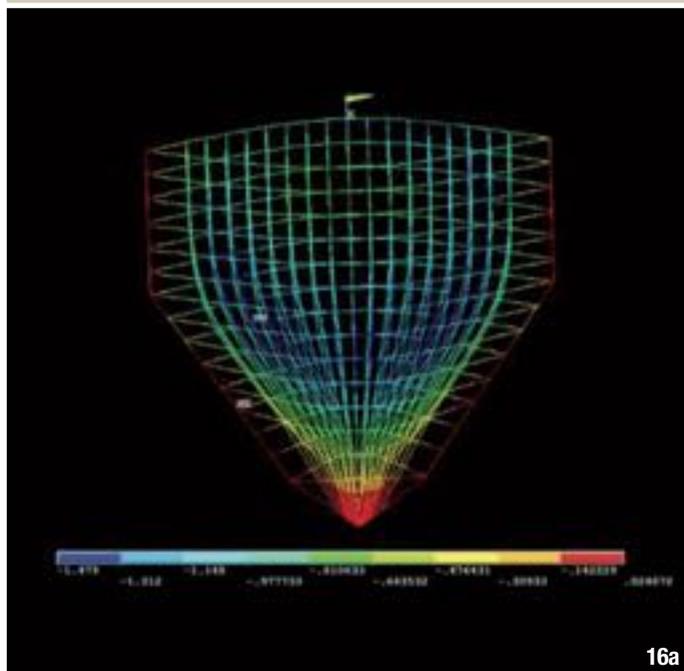
15, 16a, 16b & 16c- Study of solutions.

ÉTUDE DE SOLUTIONS



15

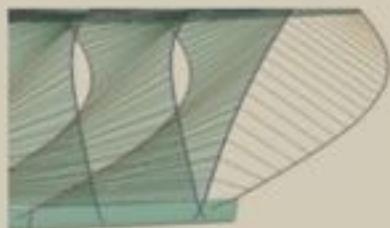
© INGEROP



16a

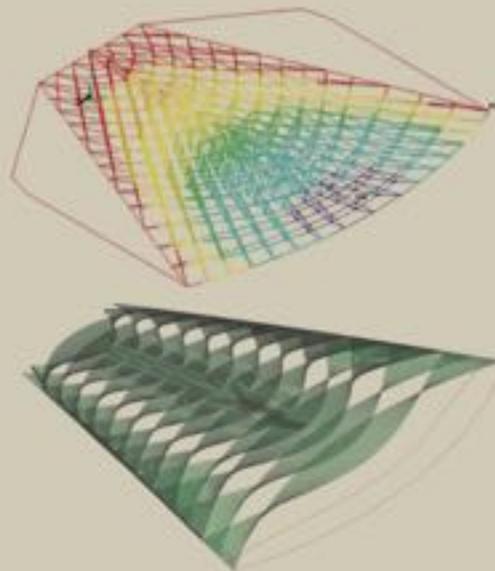
© INGEROP

ÉTUDE DE SOLUTIONS



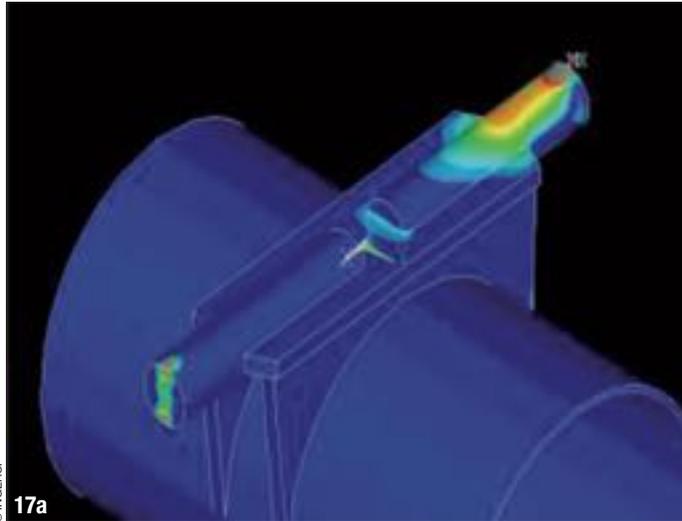
16b

ÉTUDE DE SOLUTIONS

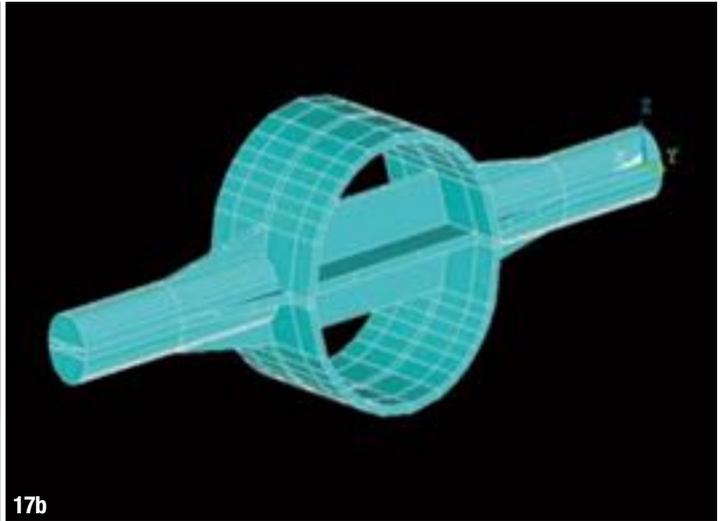


16c

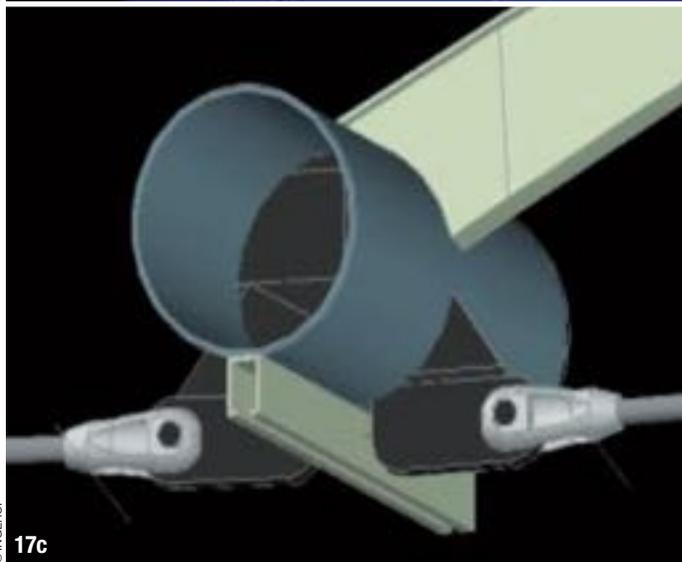
© INGEROP



17a



17b



17c

- Structures en « simple nappe » en étudiant l'influence de paramètres comme les caractéristiques des matériaux, raideurs et appuis périphériques (bâtiments), le bord côté jardin, les éléments associés (lattes-tirants), etc (figure 15).
 - Structures en « double nappe » en étudiant l'impact des dispositions et courbures des ventelles (twist), de la forme de la poutre en U, de la forme et le nombre de montants, de la façade jardin, ...
 - Études de solutions en câbles pour les éléments tendus, en acier à très haute performance ou en carbone, ... Les schémas sont une faible illustration du nombre étendu d'options envisagées pour aboutir à la solution (figures 16 & 17).
 - Divers types d'assemblages de nervures, de montants et de méridiens.
 - Assemblages centrés ou excentrés.
 - Câbles de précontrainte, barres pleines, etc.
- Pour échanger sur les différentes propositions et convaincre de la direction à suivre, toutes ces dispositions font l'objet de calculs spécifiques notamment en éléments finis avec analyse systématique des effets de second ordre, propositions des méthodes de montage, estimation des quantités et par conséquent du coût du projet. □

une conception fiable pour l'ingénieur et l'architecte.

L'outil final utilisé en phase PRO, décrit dans le logigramme ci-dessous a atteint son objectif avec un délai d'une nuit pour l'ensemble du processus incluant dessins, calculs avec les contrôles adéquats (figure 14).

Cela a permis d'étudier de multiples solutions, notamment :

**17a, 17b & 17c-
Étude d'assemblages.**

**17a, 17b & 17c-
Study of assemblies.**

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de paris

MAÎTRE D'ŒUVRE : Patrick Berger, Jacques Anziutti, Ingerop Conseil & Ingénierie

CONSTRUCTEUR : Chantiers Modernes Tpi, Gtm Tp Île-de-France, Castel Fromaget, Viry

ABSTRACT

ARCHITECTURAL AND TECHNICAL GENESIS OF THE LA CANOPEE ROOF - THE STRUCTURE

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

This third article describes the 100-metre-span beam structure supporting the glass scales covering the patio. This roof is the link between the two buildings, creating a shelter in the heart of Les Halles. The structure is designed to allow the play of light to pass through, and to protect passers-by. Lightness, load limiting, and an open structure for smoke control are the technical leitmotiv of the design, in compliance with architectural integration. □

LA GÉNESIS ARQUITECTÓNICA Y TÉCNICA DE LA CUBIERTA DE LA CANOPEA - LA ESTRUCTURA

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

Este tercer artículo presenta la estructura de las vigas de 100 m de luz que soportan las escamas de vidrio que cubren el patio. Esta cubierta está enlazada entre los dos edificios y crea una cubierta en pleno centro del barrio de Les Halles. La construcción ha sido diseñada para dejar pasar juegos de luz y proteger a los transeúntes. La ligereza, la limitación de las cargas, el respeto de una estructura abierta para la extracción de humos son las consignas técnicas del diseño, respetando la integración arquitectónica. □



1

© FRANCK BADAIRE

LES ÉTUDES SPÉCIFIQUES DE LA CANOPÉE - L'ENVELOPPE DE VERRE - LES TRAVAUX ET LE BIM

AUTEURS : MARIE-VÉRONIQUE PÉRON, CHEF DE PROJET STRUCTURES CANOPÉE, INGEROP - ADRIEN LE BRET, CHEF DE PROJET BÂTIMENT, INGEROP - FRANÇOIS SERET, INGÉNIEUR, INGEROP

DERNIER ARTICLE D'UNE SÉRIE DE QUATRE. UNE CANOPÉE SOUMISE AUX PHÉNOMÈNES NATURELS COMME LE VENT, LA PLUIE, LA LUMIÈRE, L'INCENDIE IMPOSE AUX INGÉNIEURS DES MODÉLISATIONS DIVERSES ET SOPHISTIQUÉES SUR DES LOGICIELS SPÉCIALISÉS : ANSYS POUR LES CALCULS DE STRUCTURE, DE PHASAGE ET DE MONITORING ; FLUENT POUR LES ÉTUDES DE DÉSENFUMAGE ; RHINOCEROS ET GRASSHOPPER POUR LE PARAMÉTRAGE BIM.

LES CALCULS SPÉCIFIQUES À LA CANOPÉE

La Canopée, projet emblématique au cœur de Paris, construit au-dessus d'un centre commercial et d'une gare en activité induit des particularités qui se répercutent sur la conception et le type d'études correspondantes.

Des études spécifiques complexes sont nécessaires pour garantir la fiabilité du projet. De nombreux ingénieurs spécialisés dans leur domaine sont mobilisés pour participer à ces études déterminantes dans la conception de l'ouvrage.

INGÉNIEURIE DU FEU

Le site imposant une exigence forte de transparence aéraulique, la conception de l'ouvrage nécessite des études très particulières et appropriées pour ajuster avec précision les volumes de la structure.

Une première étape liée au désenfumage du clos couvert par la Canopée consiste en une étude numérique sous le logiciel Fluent (Ansys) pour apprécier les capacités de désenfumage des différentes dispositions (par exemple l'orientation des ventelles).

1- Chantier.

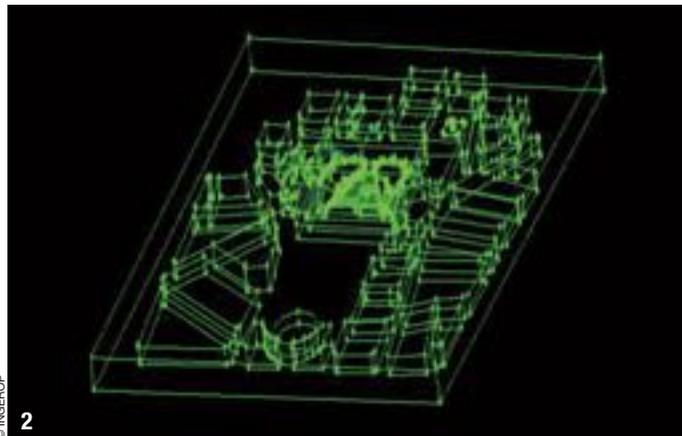
1- Construction site.

Le modèle Fluent comprend l'ensemble des bâtiments avoisinants de la Bourse du Commerce à la place des Innocents. En exemple, les figures 2 & 3 présentent l'impact de l'orientation des ventelles.

En accord avec les services de la préfecture de police et de sécurité de la ville de Paris, Ingerop assisté du Cstb (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) définit 6 scénarii de feux représentatifs (identification des dangers, des foyers potentiels et des débits calorifiques). Ces scénarii sont les données nécessaires pour l'étude de stabilité au feu de la structure (figure 4). Cette dernière étude effectuée en phase PRO consiste, sur la base des scénarii et des caractéristiques géométriques, dimensionnelles et struc-

2- Maquette 3D.
3a, 3b, 4a & 4b-
Ingénierie du feu.
5- Diagramme de température
dans la nervure supérieure 14.

2- 3D model.
3a, 3b, 4a & 4b-
Fire engineering.
5- Temperature
diagram in upper
rib 14.



© INGEROP
2

→ Une maquette au 1/50^e sur banc dynamique des 3 dernières ventelles pour étude de la stabilité aérodynamique (figure 7).

Le Cstb a fourni par les essais sur la première maquette des champs de pression sous différentes configurations et hypothèses.

Par leur connaissance du comportement de la structure, les ingénieurs concepteurs sont les plus qualifiés pour analyser, interpréter et combiner les résultats. Ce travail d'analyse traduit précisément les cas de charges imposés dans les études d'exécution (figure 8).

Sur la base des fréquences et déformées modales données par Ingerop, les essais sur la maquette sur banc dynamique permettent de confirmer la stabilité des ventelles.

Avec la prise en compte d'un amortissement nominal minoré de la structure, les essais montrent la faible sensibilité au détachement tourbillonnaire (figure 9). ▷

turelles (sections, matériaux, efforts) à déterminer les actions thermiques, à vérifier la stabilité au feu et à préconiser les mesures de protection éventuelles. Le schéma de la figure 5 montre l'élévation de température dans un élément de structure. Il permet à l'ingénieur de déterminer les contraintes et de les comparer à la résistance du matériau.

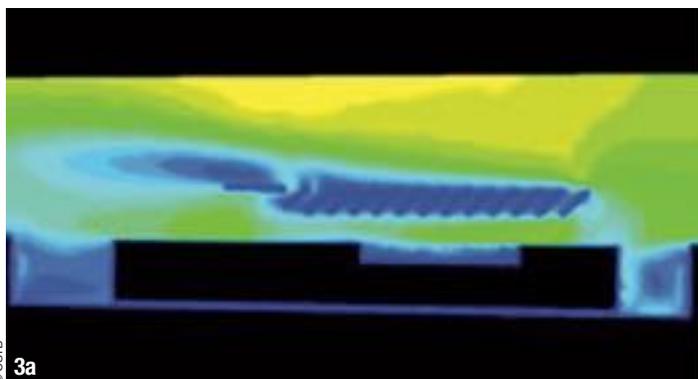
ÉTUDES DE VENT

La structure de la Canopée patio est soumise aux effets du vent. Comme tout ouvrage d'art d'envergure ou tour de grande hauteur, des études et essais adaptés sont réalisés avec la contribution des spécialistes du Cstb. Après l'étude Fluent sous Ansys, des essais en soufflerie sont nécessaires

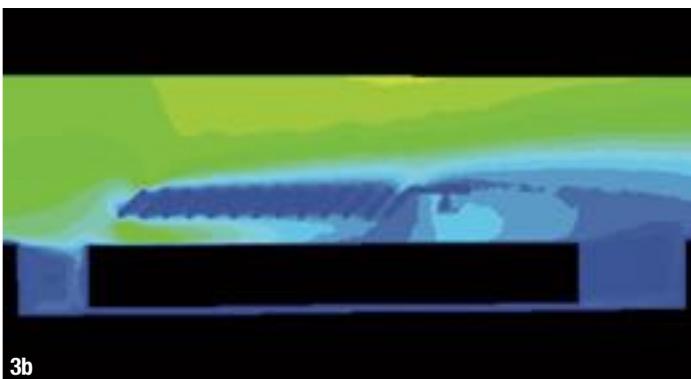
pour estimer les effets aérodynamiques sur la structure (efforts, contraintes et stabilité aérodynamique).

Deux maquettes sont réalisées :

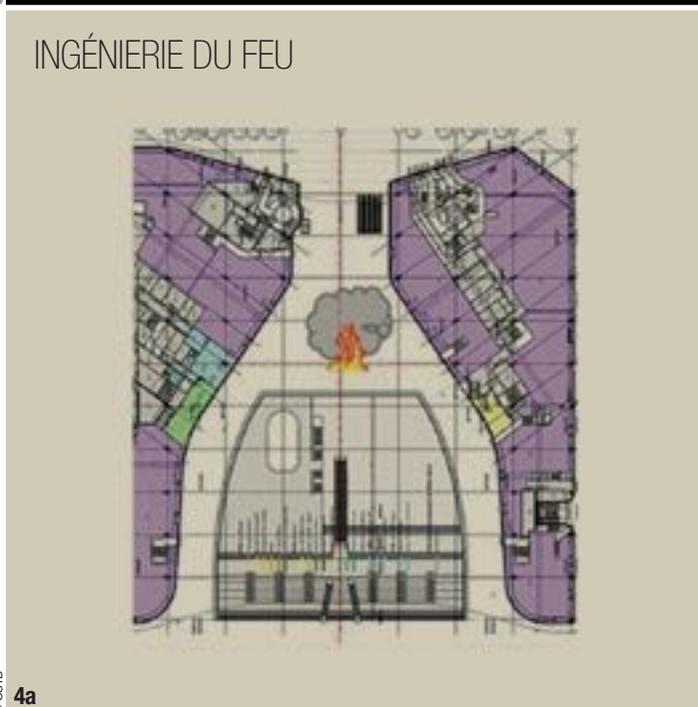
→ Une maquette au 1/200^e avec l'environnement du bâti et du jardin pour relevés des pressions sur les différents capteurs disposés sur la maquette (figure 6) ;



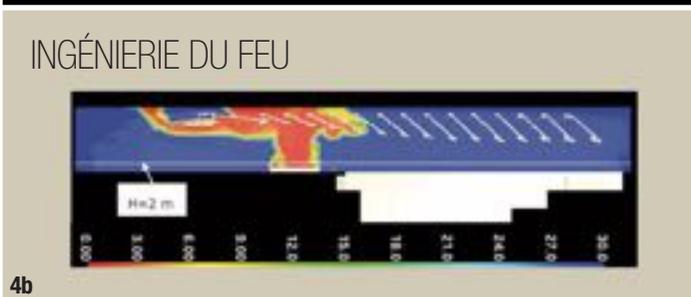
© CSTB
3a



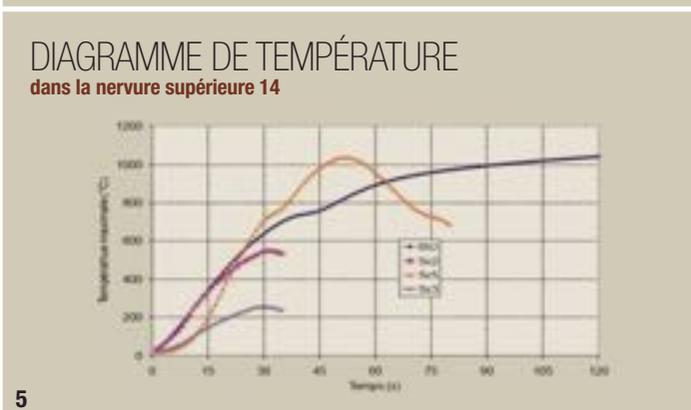
3b



© CSTB
4a



4b



5

ÉTUDES DE CONFORT

L'objectif de l'architecte est de créer un microclimat dans le patio pour assurer une ambiance confortable sans courants d'air pour les piétons. En première approche, l'étude Fluent sous Ansys donne une tendance sur les dispositions des grands volumes de la structure.

Les maquettes réalisées pour les essais de vent sont utilisées sous deux configurations été et hiver pour tenir compte de la différence de végétation.

Les essais effectués par le Cstb permettent de démontrer que le projet ne présente aucun risque d'inconfort avec une ambiance plus calme sous la Canopée qu'à l'extérieur.

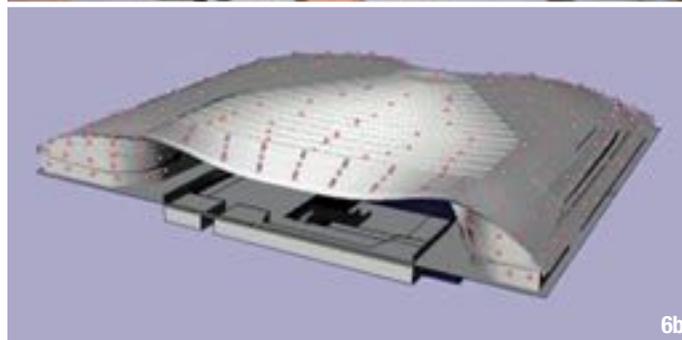
Cela permet également de s'assurer que le risque de mouillage près de la façade jardin soumise aux vents d'ouest est minimal.

À partir des caractéristiques physiques du vitrage, de la structure porteuse et des bâtiments (épaisseur, conductivité thermique, chaleur spécifique, émissivité, porosité, ...) et en fonction des données climatiques et des apports thermiques (luminaires, piétons, ...) il est démontré que le risque de condensation a une probabilité quasi-nulle.

ÉTUDES D'ENDOMMAGEMENT

La situation de cet ouvrage au-dessus d'une gare et d'un centre commercial a conduit le concepteur à le classer au sens du référentiel technique européen (Eurocodes) en classe de conséquence maximale CC3 c'est-à-dire ayant des conséquences très importantes en termes de perte de vie humaine.

La structure conçue pour une durée de 100 ans doit respecter des critères maximaux de fiabilité (qualité des produits, contrôles qualité étendus, ...). La conséquence d'une défaillance étant critique a conduit le concepteur à des



études supplémentaires d'endommagement de différents éléments allant largement au-delà des exigences réglementaires. Il est envisagé des ruptures à probabilité nulle comme les ruptures totales d'une ligne de méridiens, ruptures de nervures ou de montants. Grâce à la redondance structurelle des éléments, les études de ces cas catastrophes montrent une déformation importante de la structure tout en conservant sa stabilité.

L'analyse est faite au second ordre, avec prise en compte des grands déplacements, sous charges permanentes.

6a & 6b- Maquette d'ensemble - Essais en soufflerie.

7a & 7b- Maquette de 3 ventelles - Essais en soufflerie.

6a & 6b- Overall model - Tests in wind tunnel.

7a & 7b- Model of 3 louvers - Tests in wind tunnel.

La loi de comportement de l'acier est une loi de comportement bilinéaire élastique plastique.

Les schémas des figures 10 & 11 sont quelques extraits des nombreux cas accidentels étudiés :

→ Déformée sous rupture totale d'une ligne de méridiens : la déformation est significative de l'ordre de 1 m mais la stabilité de l'ensemble est assurée ;

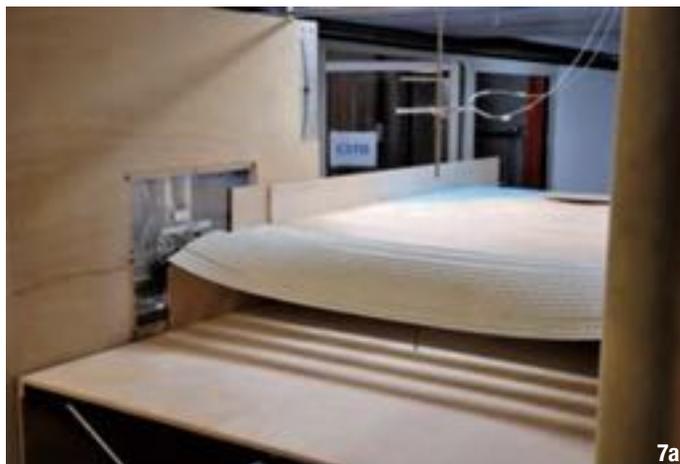
→ Effet dans les nervures supérieures lors de rupture des nervures inférieures 2 - 7 et 14 : la rupture d'une nervure inférieure est pénalisante pour les nervures supérieures. L'augmentation de contraintes varie de 20% en nervure 14 à 90% en nervure 7 tout en restant dans le domaine des contraintes admissibles.

L'ACIER ET LE VERRE

L'ingénieur concepteur de la charpente métallique a pour objectif premier de concevoir une charpente métallique supportant une enveloppe de verre. La conception de la charpente est menée de pair avec la conception de l'enveloppe.

Les formes des nervures et des montants, la géométrie d'ensemble des ventelles sont le fruit d'un travail permanent sur le dimensionnement structurel associé à des dispositions technologiques de support du verre. Sous chaque concept architectural de forme ou dimension des constituants de l'enveloppe de verre, l'ingénieur de structure se doit de vérifier la compatibilité de l'enveloppe et de ses attaches avec les déformations de la structure porteuse en acier.

Cela se traduit par des études fines de déformations sous les cas de charges de température ou de vent en incluant les effets de second ordre.



Par exemple, la figure 12 montre le principe de discrétisation des éléments pour estimer les déformations relatives des plaques élémentaires de verre à partir des déformations globales de l'ouvrage.

Il faut vérifier l'admissibilité des effets de village et de diagonalisation de l'ensemble des plaques ainsi que le dimensionnement des attaches. Cette vérification est effectuée pour chaque phase de montage.

Cette analyse approfondie menée sur la compatibilité du mouvement local des vitrages a permis une prise en feuillure minimale et un jeu suffisant en fond de feuillure sous toutes conditions de déformation.

L'ENVELOPPE

Le verre n'a pas été retenu de prime abord pour réaliser les 22 000 m² de couverture de bâtiment.

Le PMMA (acrylique) a été étudié, mais son emploi sur la Canopée ne s'avérait pas approprié en termes de durabilité et de maintenance.

La recherche de matériaux à la fois éprouvés et disponibles de façon

industrielle, donc pérenne, s'imposait compte tenu de l'ampleur des surfaces à couvrir.

Même si différentes géométries d'enveloppe ont été étudiées (verre bombé, enveloppe en toile, ...), la solution d'écailles de verre a été retenue afin d'offrir une circulation piétonne agréable dans un espace à la fois aéré et à l'abri des intempéries. Cette disposition en écailles assure la circula-

tion d'air à grands volumes entre les ventelles et à petites échelles entre les écailles.

La peau de forme souple issue d'une expression architecturale libérée est constituée d'écailles de verre assemblées sur un ouvrage de serrurerie participant à l'effet texturé de l'enveloppe. Cette ossature est disposée et organisée en continuité de la charpente primaire exprimée notamment au droit de l'ouvrage de franchissement central. Les montants des ventelles supportent les pannes qui reçoivent les couteaux supports des écailles de verre.

Chaque écaille de verre est de forme principalement rectangulaire de dimensions variables d'environ 1 m à 1,50 m. Celles-ci sont disposées en recouvrement suivant un calepinage rayonnant aligné ou en quinconce afin d'épouser au plus juste la forme libre au gauchissement accentué de la partie centrale (figure 1).

Les épaisseurs de verre retenues à l'issue des mises au point avec les industriels ont été vérifiées, dans la configuration normale de mise en œuvre où le vitrage est porté de manière linéaire

sur les deux petits côtés. Un changement des conditions d'appui (verre porté de manière linéaire sur un des petits côté et de manière ponctuelle sur un des deux coins libres) a permis de simuler la rupture d'un couteau et d'appréhender les conséquences de cette rupture sur la tenue des vitrages, par calculs aux éléments finis. L'intégrité du vitrage, dans cette configuration, est assurée sous son propre poids. En complément, des essais mécaniques, statiques et dynamiques, ont été réalisés dans le cadre de la procédure ATEX. Les tests ont notamment permis de vérifier la tenue du vitrage sous un chargement égal à deux fois la charge de calcul 4 ELU.

Le vitrage feuilleté opalescent est constitué :

- En face extrados d'un verre simple de 6 mm imprimé de motifs et d'un émaillage couleur ambre ;
- En face intrados d'un feuilletage de sécurité EVA, d'un verre extra blanc durci de 10 mm et d'une sérigraphie émail mat.

Au droit du patio central, l'eau de pluie est drainée par un réseau de chéneaux relié à un collecteur principal articulé, caréné d'écailles de tôle se terminant côté jardin par une cascade. Ce système d'évacuation des eaux pluviales a rejoint une demande de l'architecte en attendant de sections autres que circulaires en donnant une dimension biomorphologique à l'enveloppe tout en participant à une fonction.

Autre intérêt de la disposition en écailles à recouvrement : elle permet d'obtenir un caractère pare-pluie et poreux, favorisant l'aération des parties en superposition des toitures opaques au droit des bâtiments Nord et Sud, et évitant l'effet de serre pour les parties en verrière.

La géométrie complexe, l'enveloppe en verre et l'accessibilité difficile de l'édifice pour son entretien (25 mètres au-dessus du vide) ont nécessité d'organiser la maintenance. Elle a été programmée de manière bi-annuelle avec un accès facile pour du personnel formé et spécifique (figure 13).

LA RÉALISATION DE LA CANOPEE PATIO

Un des grands enjeux de ce projet est la réalisation de l'ouvrage au-dessus d'un forum en activité. Les mesures de sécurisation, les exigences d'éventuel désenfumage ont été permanentes dans toutes les phases de la conception jusqu'à la fin de pose du verre sur la ventelle 15. Cela s'est traduit par : ▷

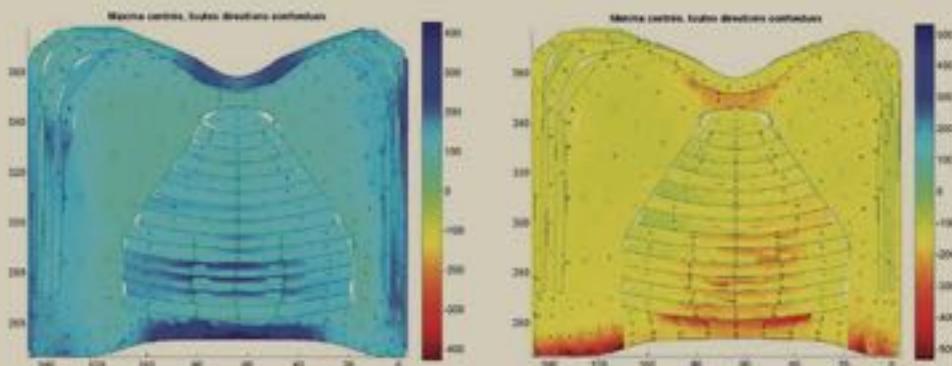
8- Pressions sur les ventelles - Essais en soufflerie.

9- Pressions sur les dernières ventelles - Essais en soufflerie.

8- Pressures on the louvers - Tests in wind tunnel.

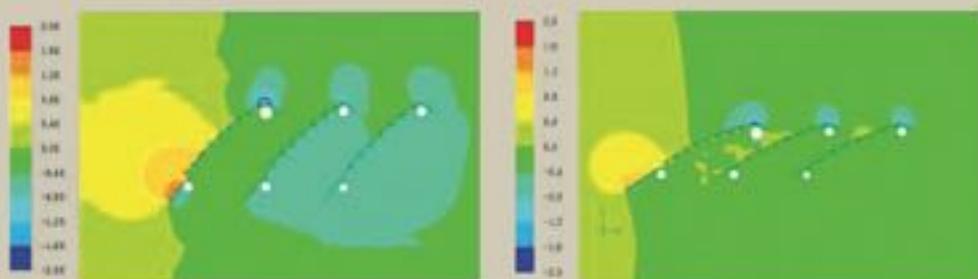
9- Pressures on the last louvers - Tests in wind tunnel.

PRESSIONS SUR LES VENTELLES - ESSAIS EN SOUFFLERIE



8

PRESSIONS SUR LES DERNIÈRES VENTELLES - ESSAIS EN SOUFFLERIE



9

- Le choix du matériau acier permettant une fabrication maximale en usine, une pose d'éléments légers et facilement manipulables ;
- Une structure provisoire minimale au-dessus du cratère garantissant le désenfumage.

Les dimensions et la conception de l'ouvrage exigent une rigueur et des mesures spécifiques pour l'obtention d'une géométrie finale compatible avec les déformations de l'enveloppe de verre.

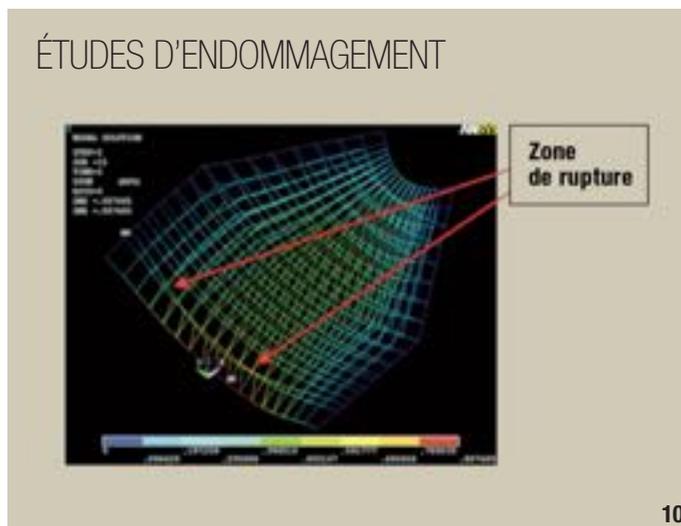
En collaboration avec les architectes, Ingerop a conduit ses réflexions de conception avec le souci quotidien de la fabrication et pose de la structure.

LE PHASAGE

La solution proposée au marché consistait à réaliser la structure en grandes phases de 2 ventelles sur des ateliers fixes situés en extrémité côté jardin :

- Un atelier charpente de soudage et assemblage ;
- Un atelier pose de l'enveloppe de verre.

Une fois 2 ventelles réalisées et assemblées à la partie de poutre en U concernée, la structure est ripée pour



10- Études d'endommagement.

11- Rupture de la nervure supérieure 7.

12- Discretisation des plaques de verre.

13 & 14- Chantier.

10- Damage studies.

11- Breakage of upper rib 7.

12- Discretisation of glass plates.

13 & 14- Construction site.

permettre la réalisation des 2 ventelles suivantes.

Les structures provisoires au-dessus du patio sont limitées au strict minimum des poutres de ripage.

Les entreprises titulaires du marché ont préféré une mise en place des éléments en leur position définitive en ripant les structures provisoires supports et en conservant la réalisation par 2 ventelles (figure 14).

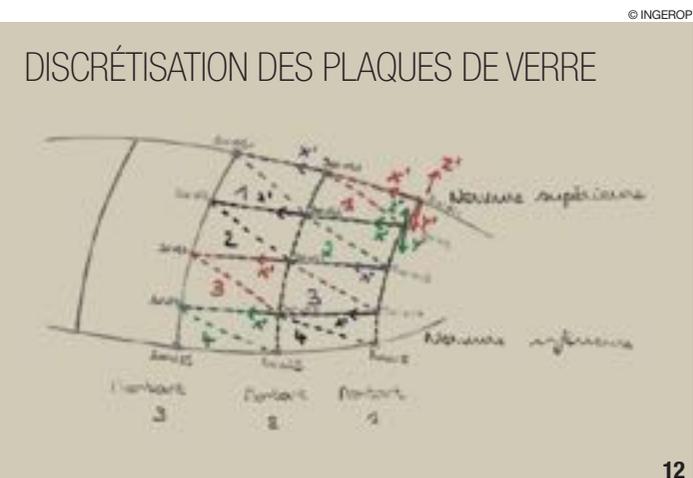
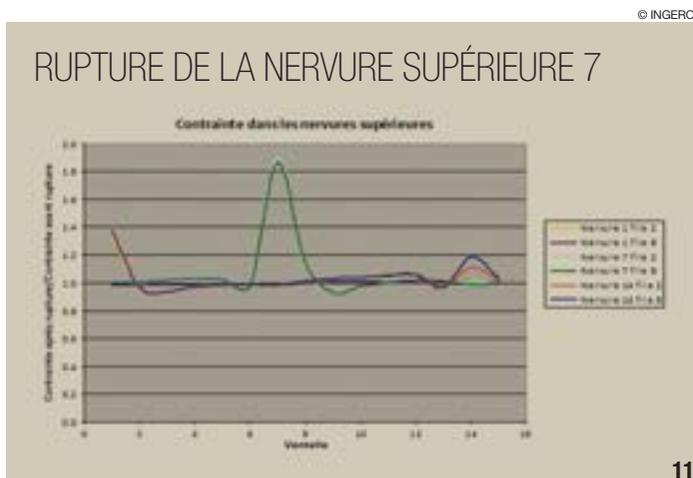
LE MONITORING

La maîtrise de la géométrie d'une structure voulue sans éléments actifs de réglage nécessite des méthodes rigoureuses qu'il a fallu imposer aux entreprises.

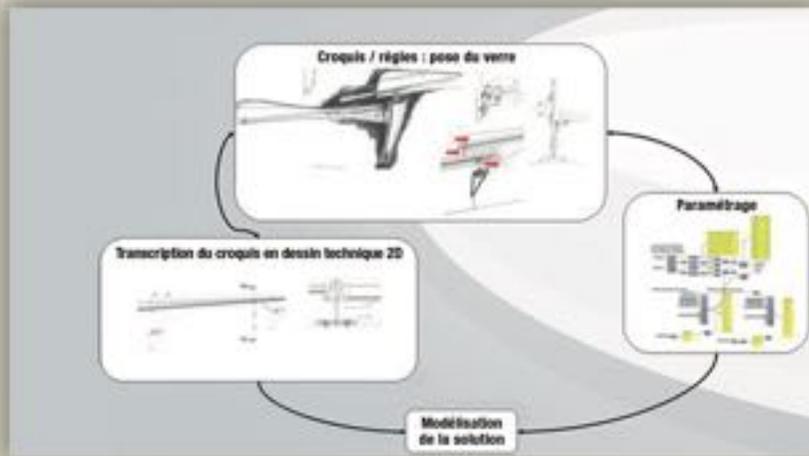
La mise en place d'un monitoring, une exigence forte dans le marché, s'est avérée indispensable lors des travaux. Ce monitoring a consisté à suivre à chaque phase de travaux la géométrie

constatée, à la comparer aux valeurs théoriques et à anticiper la phase suivante de soudage ou pose. La méthode est usuellement employée dans les grands viaducs (ponts en encorbellement, ponts haubanés).

Les éléments métalliques (tubes des nervures, méridiens, caisson de la poutre périphérique) sont fabriqués avec des valeurs de contreflèches théoriques (de l'ordre de 80 cm pour V15)



PROCESSUS DE PARAMÉTRAGE



© INGEROP

15

déterminées par le BE d'exécution. Les calculs nécessaires au bon monitoring ont nécessité la mise en place d'une cellule spécifique composée d'ingénieurs de calcul chantier en communication directe avec les relevés du site. Chaque phase consistait à déterminer la géométrie théorique, en tenant compte des effets du second ordre et

15- Processus de paramétrage.
16- DCE sous forme BIM.

15- Configuration process.
16- Tender documents in BIM form.

des charges réellement en place (pose du verre).

Les analyses des résultats et des divergences de phasage avec le théorique initial, les décisions de réglage des phases suivantes se sont déroulées conjointement entre les équipes travaux et les équipes de conception d'Ingerop.

Ce travail en commun a abouti à une géométrie finale dont la précision est de 1/2000^e par rapport à la géométrie voulue par les architectes.

LE BIM

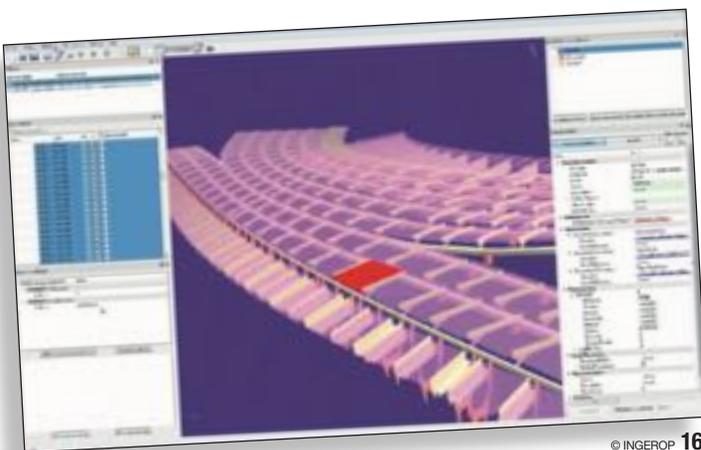
Dès 2008, Ingerop a pris le parti de bâtir une maquette BIM en retenant un système de création de la géométrie en 3D inédit sous forme paramétrique simplifiée et progressive.

Il a permis la clarification du concept, le contrôle géométrique, la fiabilisation du marché et du coût de l'ouvrage. Et, en phase d'exécution, il a constitué un référent géométrique pour la réalisation. Le modèle volumique est bâti sur la base de modèles 3D Rhinoceros associés à des programmations GrassHopper. Ce modèle BIM a été créé sur mesure avec trois grands objectifs :

→ **En phase de conception** : il a permis une vérification immédiate des conflits de synthèse et des faisabilités structurelles sur la base des concepts initiaux architecturaux. Le modèle 3D est documenté et renseigné (figure 15).

→ **En phase de consultation** : le modèle a intégré une base de données interactive. Ainsi, les entreprises consultées ont pu s'appuyer sur une visualisation 3D du projet avec des renvois interactifs vers les plans et les pièces écrites (figure 16).

→ **En phase d'études d'exécution et de chantier** : le modèle sert de valider la synthèse architecturale des éléments et de contrôler la mise en œuvre des éléments. □



© INGEROP 16

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de paris

MAÎTRE D'ŒUVRE : Patrick Berger, Jacques Anziutti, Ingerop Conseil & Ingénierie

CONSTRUCTEUR : Chantiers Modernes Tpi, Gtm Tp Île-de-France, Castel Fromaget, Viry

ABSTRACT

SPECIFIC DESIGN ENGINEERING FOR LA CANOPEE - THE GLASS CASING - WORKS AND BIM

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

This last article describes the specific design engineering required in a building in the heart of Paris. The structure underwent very diverse additional design work, a wind study with tests in wind tunnel, smoke control studies, and comfort and damage studies. The glass casing creates this warm canopy atmosphere. The kinematics of construction of the structure and casing is a real technical challenge, involving work above the forum while complying with deformation properties compatible with the play of the glass scales. The BIM model concludes this spirit of innovation with the creation of an interactive structural model. □

LOS ESTUDIOS ESPECÍFICOS DE LA CANOPEA - LA ENVOLTURA DE VIDRIO - LAS OBRAS Y EL BIM

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

Este último artículo presenta los estudios específicos que deben realizarse en un edificio en el centro París. La estructura ha sido objeto de estudios complementarios muy diversos: ensayos eólicos en túneles de viento y estudios de extracción de humos, de confort y de daños. La envoltura de vidrio crea este ambiente cálido de canopea. La cinética de construcción de la estructura y de la envoltura constituye un gran desafío técnico, ya que requiere la realización de obras encima del foro, respetando las deformaciones compatibles con el juego de las escamas de vidrio. La maqueta BIM confirma este espíritu de innovación con la creación de una maqueta estructural interactiva. □



1 - Tête Sud du tunnel du Siaix existant.

1 - South portal of the existing Siaix Tunnel.

© ARCADIS - J. CHAUBEAU

ANALYSE DU CYCLE DE VIE COMPLÈTE D'UN OUVRAGE SOUTERRAIN - TUNNEL DU SIAIX

AUTEURS : JULIETTE CHEL-SAGNOL, INGÉNIEUR D'ÉTUDES GÉNIE CIVIL SOUTERRAIN, ARCADIS - MARIE VUAILLAT, CHEF DE PROJET ACV, EVEA

DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION DE LA GALERIE DE SÉCURITÉ DU TUNNEL DU SIAIX, UNE DES MISSIONS D'ARCADIS, EN TANT QUE MEMBRE DU GROUPEMENT DU MAÎTRE D'ŒUVRE, A CONSISTÉ À CONDUIRE UNE ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU PROJET ET À PROPOSER DES MESURES PROPRES À EN RÉDUIRE LES IMPACTS. CE TYPE DE MISSION A POUR BUT D'APPRÉHENDER LES ÉTAPES OU PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION LES PLUS NOCIFS ENVERS L'ENVIRONNEMENT ET D'ORIENTER L'ENTREPRISE TRAVAUX DANS SES CHOIX AFIN DE RENDRE LE PROJET PLUS RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT.

L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

L'analyse du cycle de vie d'un ouvrage est un moyen systémique d'évaluation des impacts environnementaux globaux de cet ouvrage. Son but est de connaître et de pouvoir comparer la pression de l'ouvrage sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie (figure 2), de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (démantèlement, mise en décharge, recyclage...). L'ACV repose sur 3 approches simultanées :

- L'approche multi-étapes (toutes les étapes du cycle de vie sont l'objet de l'étude) ;
- L'approche multi-composants (l'ensemble des produits (matériaux, processus...) associés au cycle de vie de l'ouvrage sont l'objet de l'étude) ;
- L'approche multicritères (un panel d'impacts environnementaux potentiels est étudié).

En pratique, il s'agit :

- 1- D'inventorier les flux de matière et d'énergie entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie de l'ouvrage.
- 2- D'évaluer les impacts environnementaux à partir de ces données grâce à des coefficients préétablis permettant de calculer la contribution de chaque flux aux divers impacts environnementaux étudiés.



2- Cycle de vie d'un ouvrage.

2- Life cycle of a structure.

L'enjeu majeur de l'ACV est d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux et d'éviter ou d'arbitrer les déplacements de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées.

CONTEXTE

LE PROJET

Les travaux s'inscrivent dans le cadre de la réalisation d'une galerie de sécurité parallèle au tunnel routier du Siaix. Le projet comprend, outre la galerie qui fera office de galerie « mode doux » cyclable, le prolongement de la piste cyclable de part et d'autre du tunnel et les aménagements associés, un bassin de rétention de 200 m³, un réservoir incendie de 80 m³ ainsi que tous les réseaux nécessaires à leur fonctionnement.

LES INTERVENANTS

Le maître d'ouvrage, la DIR-Centre Est a souhaité que le maître d'œuvre, groupement BG-Arcadis, réalise une mission d'évaluation environnementale du projet conduisant à des propositions de mesures propres à réduire les impacts environnementaux.

C'est dans cette optique qu'Arcadis a sollicité Evea, afin de réaliser, dans un premier lieu un cadrage de l'ACV du projet (ACV screening), puis l'ACV complète en parallèle des travaux.

Le Cetu, Assistant au Maître d'Ouvrage, a fourni le modèle de grille de collecte des données en phase travaux et donne son avis sur la collecte des données et les études ACV.

OBJECTIFS ET DÉMARCHÉ DE LA MISSION

Les objectifs des études d'ACV étaient les suivants :

- Orienter la conception et l'exécution de telle sorte que les impacts environnementaux liés à la construction et à la vie de l'ouvrage soient optimisés et maîtrisés ;
- Estimer l'incidence des matériaux et équipements devant être mis en œuvre ;
- Évaluer les impacts sur l'environnement de la réalisation complète de l'ouvrage.

Ces objectifs ont été recherchés par la mise en œuvre de l'ACV de l'ouvrage et les principes de l'éco-conception via un travail en 2 phases, « études » et « travaux », détaillées ci-après.

En outre, le recueil d'informations en cours de chantier permettra d'alimenter des bases de données. En compilant

les données de différents chantiers, il pourrait être possible de comparer de multiples processus ou matériaux en termes d'impact environnemental. Ces informations pourraient donc à terme être utilisées dès la phase de conception afin de maîtriser les répercussions du projet sur l'environnement.

PHASE « ÉTUDES »

L'objectif était de définir les critères importants à intégrer dans les cahiers des charges pour anticiper une réalisation de l'ouvrage minimisant les impacts sur l'environnement.

Pour cela Eeva a réalisé une ACV screening de l'ouvrage : évaluation environnementale simplifiée, reposant

en partie sur des hypothèses, permettant d'évaluer en première approche les contributions respectives des étapes et procédés du produit à l'étude.

L'ACV screening a suivi les deux étapes suivantes :

Collecte de données

Les données collectées ont concerné :

3- Structure du système étudié au stade de l'ACV screening.

3- Structure of the system studied at the screening LCA stage.

- Les matériaux : estimation des masses, type et provenance ;
- Les engins et équipements provisoires : estimation des consommations énergétiques ;
- Les équipements de l'ouvrage : estimation des consommations énergétiques ;
- Les trajets du personnel : estimation des consommations en carburant ;
- La fin de vie : estimation des scénarios de traitements de déchets solides et liquides.

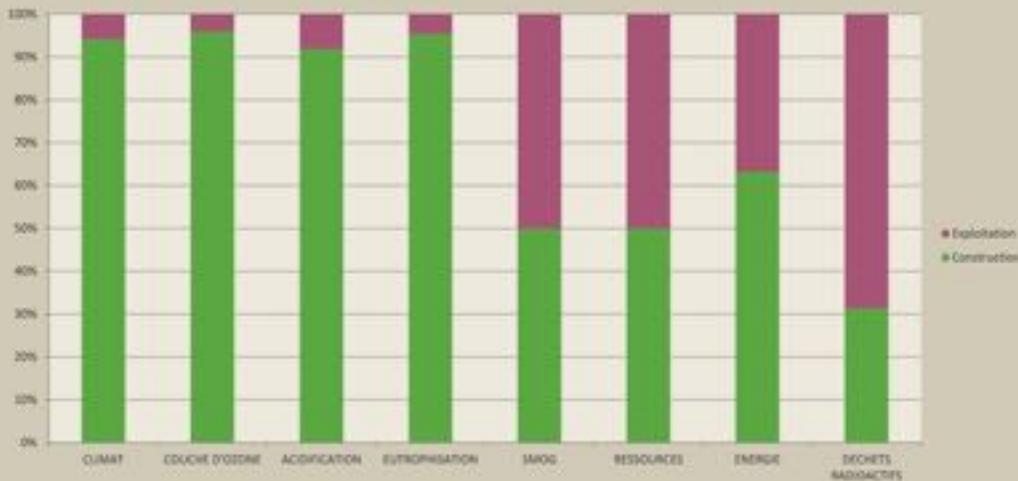
Évaluation des impacts sur indicateurs d'impacts potentiels

L'incidence de matériaux et équipements mis en œuvre sont estimés sur des indicateurs définis dans la méthode NF EN 15804 :

STRUCTURE DU SYSTÈME ÉTUDIÉ AU STADE DE L'ACV SCREENING

Construction	Génie civil Excavation/soutènement	Matériaux	Déton Aper Poutrelles Câbles Autres (plâtre, membranes, chemin de câbles...)
		Processus	Forçage des trous Affûtage des engins Pompage des consommables (carburant, eau, coffrage, plots, grillage...) Traitement des déchets Régets dans l'air et l'eau
	Génie civil Revêtement définitif	Matériaux	---
		Processus	---
	Génie civil bassins	Matériaux	---
		Processus	---
	Génie civil traitement des têtes	Matériaux	---
		Processus	---
	Génie civil pistes cyclable extérieures	Matériaux	---
		Processus	---
	Global chantier	Transport des employés	Utilisation de voitures
		Fonctionnement des installations	Consommation d'électricité
	Premiers Equipements	Fabrication des équipements de la galerie	LED
			Caméras
Fabrication des équipement du tunnel routier		Ventilateurs	
Exploitation	Renouvellement des équipements de la galerie	Alumina à mouler	
	Consommation électrique de l'ouvrage sur 100 ans	Santisation	
		Fabrication	LED, Caméras, Ventilateurs
	Fin de vie	LED, Caméras, Ventilateurs	
	Utilisation	LED, Caméras, Ventilateurs	
Fin de vie	Non applicable		

CONTRIBUTION RELATIVE EN CYCLE DE VIE DE LA CONSTRUCTION ET DE L'EXPLOITATION



4
© DR

- CLIMAT : réchauffement climatique : concerne les émissions dans l'air contribuant à l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre - kg équivalent CO₂ ;
- COUCHE D'OZONE : appauvrissement de la couche d'ozone : concerne les substances jouant un rôle dans la destruction de la couche d'ozone - kg équivalent CFC-11 ;
- ACIDIFICATION : acidification des sols et de l'eau : concerne les substances responsables des pluies acides - kg équivalent SO₂ ;
- EUTROPHISATION : concerne les substances favorisant l'eutrophisation aquatique tels que les phosphates, les nitrates... - kg équivalent (PO₄)³⁻ ;

4- Contribution relative en cycle de vie de la construction et de l'exploitation.

5- Contribution relative des éléments de l'exploitation.

4- Relative contributions of construction and operation in the life cycle.

5- Relative contributions of operating factors.

- SMOG : formation d'ozone photochimique : concerne les polluants favorisant la formation de l'ozone troposphérique - kg équivalent éthylène ;
- RESSOURCES : épuisement des ressources abiotiques (éléments) - kg équivalent antimoine ;
- ÉNERGIE : épuisement des ressources abiotiques (combustibles fossiles) : concerne notamment le pétrole et le gaz naturel - MJ ;
- DÉCHETS RADIOACTIFS : concerne notamment les déchets engendrés par la production d'électricité via les centrales nucléaires - kg.

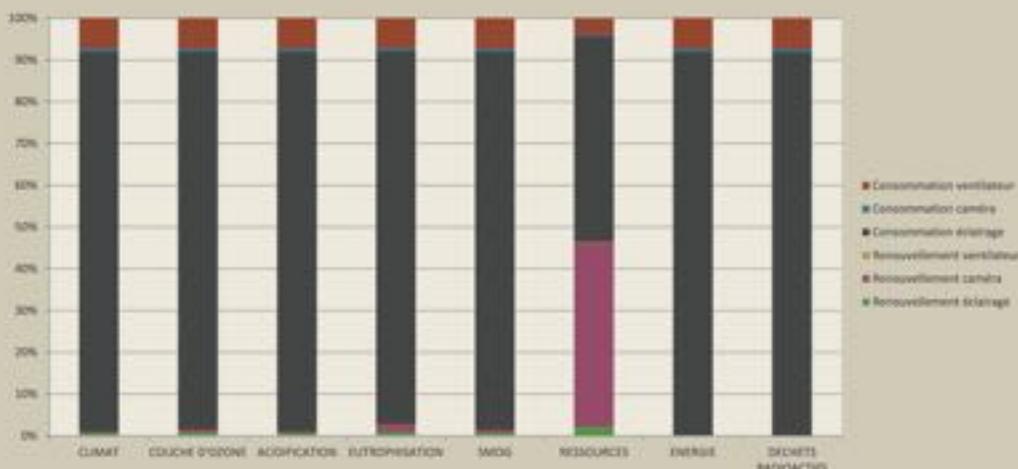
Les impacts ont été évalués à l'aide du logiciel d'ACV SimaPro et des données collectées.

Interprétation et rédaction des recommandations

Sur la base de l'évaluation des impacts, les contributions respectives des matériaux, équipements, engins, traitements ont été identifiées. Les axes prioritaires pour minimiser les impacts de l'ouvrage et estimer l'incidence de choix de conception différents ont été déduits de cette évaluation. En complément, la recherche bibliographique a permis d'identifier les pistes d'éco-construction pertinentes. Des recommandations ont été rédigées et intégrées au CCTP pour minimiser les impacts environnementaux de l'ouvrage, en voici quelques-unes :

- Modes de traitement des déchets : chercher la valorisation matière (réutilisation, recyclage), mettre en place des installations de traitement des eaux, positionner les activités polluantes en dehors des zones sensibles, récupérer les eaux du massif...
- Choix des matériaux selon leur composition, leur approvisionnement : utilisation de laitiers de hauts-fourneaux pour le ciment ou d'acier recyclé pour les armatures, réutilisation des roches issues de déblai en granulat pour béton, privilégier les productions locales...
- Choix des équipements énergétiques et engins : comparer leur efficacité énergétique, vérifier leur bon entretien, privilégier des appareils ayant une durée de vie importante...
- Mode d'utilisation des équipements énergétiques et engins : sensibiliser les ouvriers, limiter l'utilisation des phares de travail, limiter l'emploi de chaînes ou chenilles, vérifier régulièrement le bon état des circuits d'alimentation de carburant, éviter de laisser tourner le moteur au ralenti...

CONTRIBUTION RELATIVE DES ÉLÉMENTS DE L'EXPLOITATION



5
© DR

PHASE « TRAVAUX »

L'objectif est de réaliser l'évaluation environnementale complète de l'ouvrage en respectant les exigences normatives de l'ACV (ISO 14040 et ISO 14044).

À la différence de l'ACV screening, cette évaluation se base sur les choix réels effectués pour la construction de l'ouvrage et les pratiques durant la phase de travaux.

La démarche d'ensemble reste similaire, mais les données de base sont plus fiables car spécifiques au chantier étudié et l'analyse plus approfondie. La démarche se déroule selon les étapes suivantes :

Collecte de données

La grille de collecte du Cetu a été adaptée pour correspondre aux caractéristiques du chantier.

Le niveau de détail des données collectées est bien supérieur à celui de l'ACV screening.

La collecte se base cette fois-ci en grande partie sur des mesures et non plus sur des estimations.

Les informations demandées à l'entreprise sont de ce type :

- Transport pour l'approvisionnement des matières : PTAC du camion, norme EURO, taux de remplissage ;
- Matériaux utilisés : composition détaillée, lieu de fabrication ;
- Équipements provisoires : puissance, temps d'utilisation, mode de traitement en fin de chantier ;
- Gestion des eaux usées : mesure de la qualité des eaux résiduaires ;
- ...

Évaluation des impacts

L'outil et la méthode utilisés seront les mêmes que pour l'ACV screening mais des analyses plus détaillées seront réalisées :

- Analyses de contribution permettant de connaître la part d'impact d'une étape, d'un matériau ou d'un processus sur l'impact global ;
- Analyses de sensibilité permettant d'évaluer la sensibilité des résultats à un paramètre ou à une hypothèse.

Interprétation et rédaction du rapport d'étude

Une analyse détaillée des contributeurs par étapes et postes sera réalisée, la performance environnementale globale de l'ouvrage sera calculée et un rapport d'étude, rédigé.

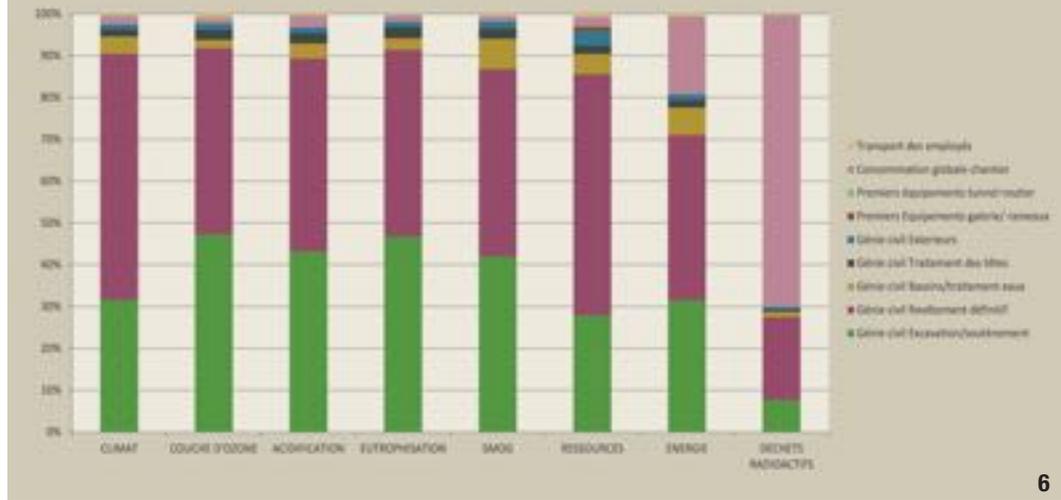
Ce rapport rassemblera les informations suivantes :

- Définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- Listing des données collectées et des hypothèses réalisées, analyse de la qualité des données ;
- Évaluation des impacts par indicateur et par poste ;
- Analyses de contribution et de sensibilité ;
- Interprétation des résultats et conclusions.

RÉSULTATS DE L'ACV SCREENING SYSTÈME ÉTUDIÉ

En dépit de quelques lacunes dans la collecte de données théoriques qui ont réduit les frontières du système, le système étudié au stade de l'ACV screening était tel que décrit dans le tableau figure 3.

CONTRIBUTION RELATIVE DES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION



6

© DR

LIMITES

L'ACV screening contient un certain nombre de limites. Ces limites ont comme origine :

- Les frontières du système définies, réduites en raison de données non disponibles (installations de chantier et consommations associées, étapes de transport des matériaux et équipements, quantité d'eau polluée en cours de chantier) ;
- Les données utilisées : un certain nombre de d'hypothèses ont été formulées pour modéliser les processus unitaires principaux (hypothèses dans le choix des données et dans l'estimation de quantités) ;

6- Contribution relative des éléments de construction.

7- Contribution relative des éléments de l'étape d'excavation/soutènement.

6- Relative contributions of construction factors.

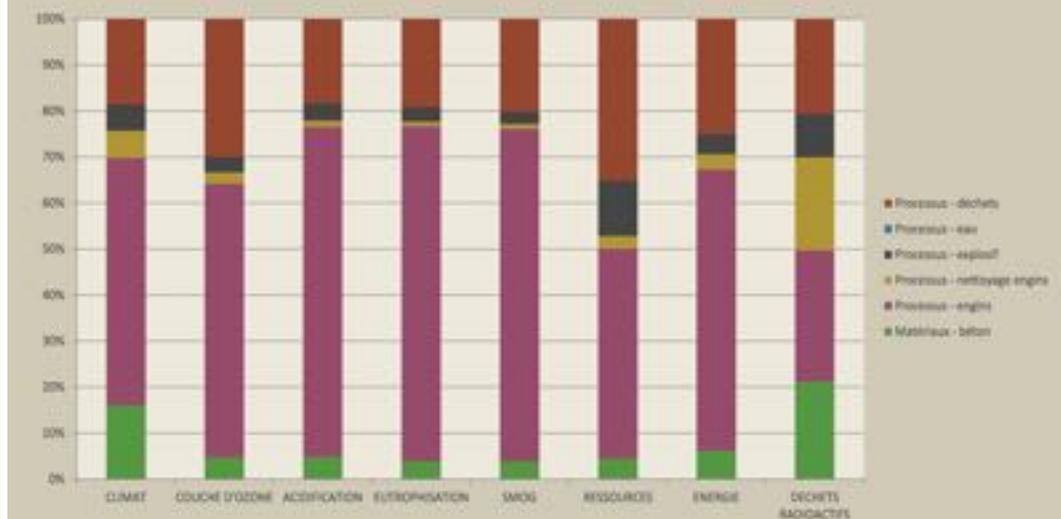
7- Relative contributions of excavation/retaining stage factors.

→ La méthodologie intrinsèque de l'ACV screening : les valeurs numériques concernant les impacts sont des valeurs d'impacts potentiels et non des valeurs réelles. Elles permettent de comparer l'impact potentiel relatif des différentes techniques entre elles mais ne permettent pas de traduire des dépassements de seuils, des marges de sécurité, des risques, ou des expositions accidentelles.

RÉSULTAT EN CYCLE DE VIE

Les résultats en cycle de vie de l'ouvrage ont tout d'abord été présentés sur les 2 grandes étapes du cycle de vie (figure 4) :

CONTRIBUTION RELATIVE DES ÉLÉMENTS DE L'ÉTAPE D'EXCAVATION/SOUTÈNEMENT



7

© DR

- Construction,
- Exploitation (100 ans).

L'analyse a montré que la construction contribuait à plus de 50% des impacts sur 7 indicateurs.

L'exploitation de la galerie, elle, contribue à plus de 40% des impacts sur la création d'ozone photochimique, l'épuisement des ressources minérales et la production de déchets radioactifs et à environ 35% des impacts sur la consommation d'énergie.

IMPACTS DE L'EXPLOITATION

La figure 5 illustre l'origine des impacts de l'étape d'exploitation.

La consommation de l'éclairage lors de la vie de l'ouvrage est le principal contributeur (impacts > à 80% sur 6 indicateurs).

Le renouvellement des caméras a un impact significatif sur l'épuisement des ressources minérales. Ceci est dû à l'utilisation de minerais précieux pour fabriquer ces équipements électroniques (or, argent, ...).

IMPACTS DE LA CONSTRUCTION

Il ressort de la figure 6 que les impacts de la construction sont très nettement générés par le génie civil qui contribue

sur l'ensemble des étapes à plus de 80% des impacts sur 7 indicateurs.

La consommation globale du chantier a des impacts importants (>70%) sur la consommation d'énergie.

La fabrication des premiers équipements et le transport des employés n'ont pas d'impacts significatifs.

Les étapes du génie civil qui ont le plus d'impacts sont l'excavation/soutènement et le revêtement définitif.

La répartition des impacts dus à la phase excavation/soutènement est détaillée dans la figure 7.

UN MARCHÉ ORIENTÉ DÉVELOPPEMENT DURABLE CRITÈRES D'ATTRIBUTION

L'enjeu environnemental a été pris en considération dans le critère de notation des offres, les performances en matière de protection de l'environnement constituant 10% de la note finale.

CONDITIONS DU MARCHÉ ORIENTÉES DÉVELOPPEMENT DURABLE

Suite à l'analyse des impacts environnementaux du projet, des pistes d'éco-construction ont été recherchées en phases études.

Des conditions d'exécution à caractère environnemental et des obligations en matière de protection de l'environnement ont ainsi été introduites dans le marché (rédaction et suivi d'un Plan de Respect de l'Environnement (PRE), désignation d'un responsable environnement, interdiction d'émettre des poussières, des fumées épaisses, des suies dans l'atmosphère, interdiction de tout brûlage à l'air libre...).

Les pistes ne faisant l'objet d'aucune obligation contractuelles ont été évoquées dans le CCTP afin d'orienter les choix de l'Entreprise, étant entendu que leur prise en compte dans l'offre aurait un impact dans la notation de celle-ci.

ACV EN PHASE CHANTIER

Les travaux n'étant pas terminés (220 m excavés au 30 juin 2016), cette analyse est en cours de réalisation et suit l'avancement du chantier.

Pour permettre l'analyse en phase chantier, les données environnementales doivent être mises à disposition par l'entreprise Eiffage Tp au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

À ce titre, une grille de collecte des données a été fournie en Annexe du CCTP.

La grille de collecte comporte 2 volets :

→ Le premier a pour but de répertorier tous les matériels prévus au chantier et leurs caractéristiques (par exemple les consommations des engins et leur durée de vie). Il traite des engins, des installations standard et spécifiques et des matériaux et composants. Il comporte des données communes à toutes les phases du chantier (distance de transport des engins), voire réutilisables de chantier en chantier (puissance et durée de vie des machines).

→ Le second volet traite des données spécifiques au déroulement du chantier et à son phasage tels que creusement, drainage, assainissement, revêtement, etc. Il est complété au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Les consommations d'eau, d'électricité et de carburant sont tracées.

Un système de contrôle de la qualité de l'eau a été instauré afin de vérifier que les rejets dans le milieu sont conformes aux limites réglementaires. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 1 459 m de galerie de 22 m² de section excavée moyenne
- 1 bassin de rétention fermé de 200 m³ de volume utile
- 1 réservoir incendie de 80 m³ de volume utile
- 16 200 m³ de béton en souterrain (dont 2 200 m³ de béton projeté)
- 34 000 m³ de déblai en souterrain et 4 000 m³ à l'air libre

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : DIR Centre Est

ASSISTANCE MAÎTRISE D'OUVRAGE : Cetu

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Groupement Arcadis et Bg (mandataire)

SOUS-TRAITANT EN CHARGE DES ACV : Evea

ENTREPRISE : Eiffage Tp

ABSTRACT

COMPLETE LIFE CYCLE ANALYSIS OF AN UNDERGROUND STRUCTURE - SIAIX TUNNEL

JULIETTE CHEL-SAGNOL, ARCADIS - MARIE VUAILLAT, EVEA

Sustainable development is featured in the Siaux gallery construction project and accessory civil engineering works. A complete life cycle analysis is performed for these works. It began in the final design phase in order to identify the major impact items and define the area to be studied (framework definition phase). Then, the system was analysed to estimate the impact of each method or material on the environment and propose measures making it possible to limit those impacts. The life cycle analysis (LCA) is currently being continued in the works phase in close cooperation with contractor Eiffage TP which regularly provides the necessary data. This will make it possible to conclude regarding the project impacts but also to build up the databases relating to civil works LCA. □

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA COMPLETO DE UNA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA – EL TÚNEL DEL SIAIX

JULIETTE CHEL-SAGNOL, ARCADIS - MARIE VUAILLAT, EVEA

El proyecto de construcción de la galería del Siaux y los trabajos de obra civil anexos constituyen una apuesta por el desarrollo sostenible. Se ha realizado un análisis completo del ciclo de vida de estas obras, que comenzó en la fase final de diseño para identificar los principales puntos de impacto y definir el perímetro a estudiar (fase de evaluación de alcance). Seguidamente, el sistema fue analizado para evaluar el impacto de cada método o material sobre el medio ambiente, y plantear medidas que permitan limitar esos impactos. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se aplica actualmente a la fase de realización en estrecha colaboración con la empresa Eiffage TP, que facilita periódicamente los datos necesarios. Permitirá determinar los impactos del proyecto, así como ampliar las bases de datos relativas a los ACV de ingeniería civil. □

GESTION DE DÉBLAIS URBAINS, UN ENJEU INCONTOURNABLE

AUTEUR : JULIEN TOUTAIN, CHEF DE PROJETS - ENVIRONNEMENT, ARCADIS

L'ESPACE URBAIN CONSTITUE AUJOURD'HUI UN MILIEU À TRÈS FORTES CONTRAINTES POUR LES PROJETS D'AMÉNAGEMENT, ET NOTAMMENT VIS-À-VIS DE LA GESTION DES DÉBLAIS EXCÉDENTAIRES. EN EFFET, QUE CE SOIT POUR DES CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES, RÉGLEMENTAIRES, ENVIRONNEMENTALES ET/OU ÉCONOMIQUES, CETTE THÉMATIQUE REQUIERT DORÉNAVANT UNE ATTENTION TOUTE PARTICULIÈRE AFIN D'ÊTRE RATIONALISÉE ET OPTIMISÉE.



© 2016 STOCKLIB-EPICTURA

UN SUJET COMPLEXE DENSITÉ DU TISSU URBAIN ET CONTRAINTES D'AMÉNAGEMENT

La pression immobilière exercée sur les territoires urbains oblige les acteurs de l'aménagement à investir continuellement de nouveaux espaces (figure 1). Ainsi, les Métropoles engagent un peu partout en France (Paris, Nantes,

Lyon, ...) des projets de reconversion urbaine d'ampleur pour créer de nouveaux espaces urbains, où sont principalement concentrés des bâtiments à usage d'habitats, de commerces et autres services.

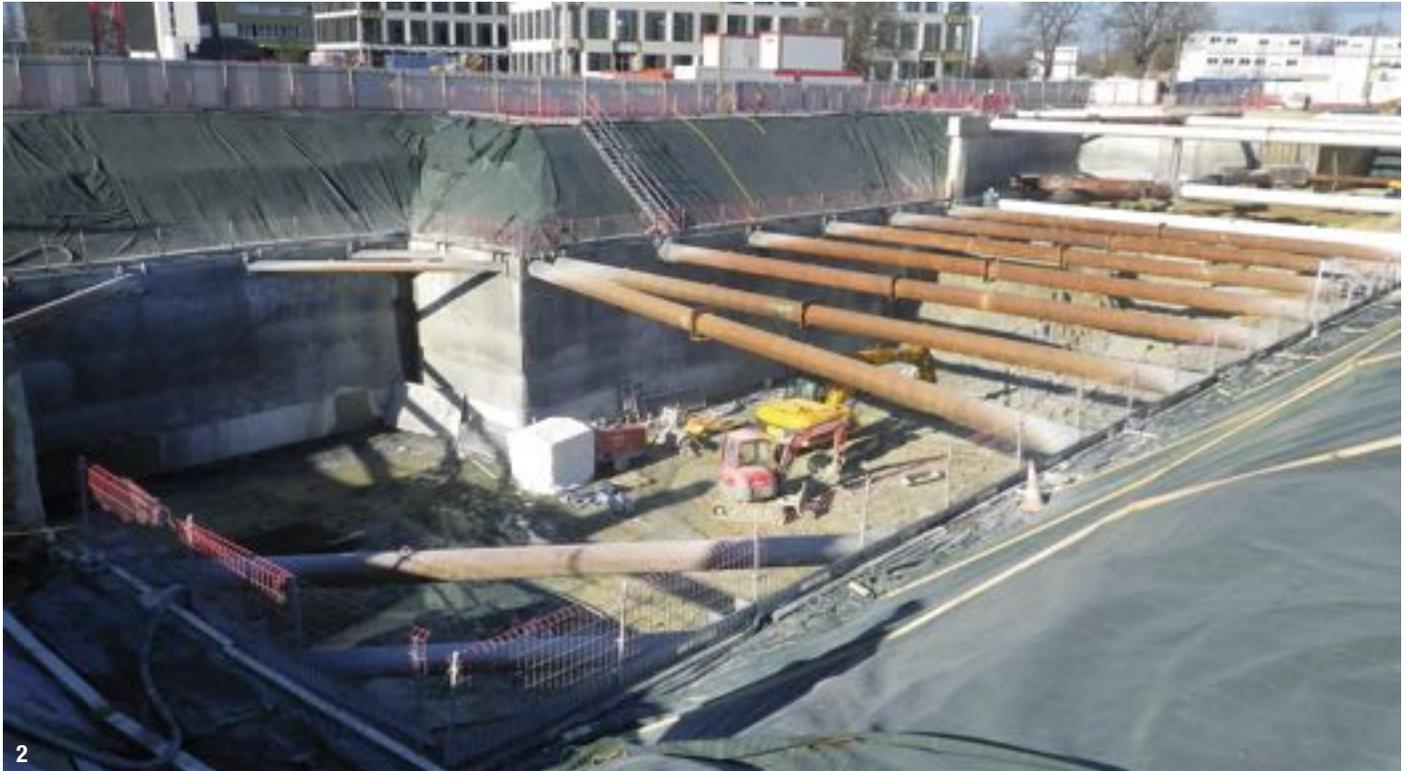
Dans une optique de rationalisation de l'espace urbain, ces aménagements (figure 2) obéissent à des règles

1- Gestion de déblais excé- dentaires.

1- Managing excess excava- ted material.

d'aménagement locales qui induisent fréquemment :

- Une densification du tissu urbain ;
- La création d'aménagements souterrains (fondations, stationnements, etc.) ;
- Des créations paysagères nécessaires à l'amélioration du cadre de vie des usagers.



© 2015 ARCADIS

2

2- Projet d'aménagement en milieu urbain.

3- Contrainte de chantier de terrassement, les eaux souterraines.

2- Development project in urban environment.

3- Constraint of earthworks project, ground-water.

Dans ce contexte, cette stratégie provoque généralement la production de volumes importants de déblais excédentaires qui doivent être gérés et confrontent les acteurs du secteur à de nouvelles interrogations concernant :

- Les modes de gestion de ces matériaux (sur site ou hors site) ;
- Le choix des filières d'évacuation (installation de stockage conventionnelle, réutilisation sur site, exhaussement de terrain, ...)
- La valorisation des matériaux et la réduction des gaz à effet de serre ;
- Les conditions de réutilisation (respect des contraintes réglementaires, environnementales, sanitaires et géotechniques).

UNE RÉGLEMENTATION DENSE

En France, ces notions d'abandon de matériaux et/ou de sortie de leur site de production conduisent à considérer les déblais excédentaires comme des « déchets ». La notion de déchets est en effet définie par le Code de l'Environnement (article L541-1-1) comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'in-

tention ou l'obligation de se défaire ». Elle est également présente dans d'autres Codes (urbanisme, rural, marchés publics, ...), arrêtés ministériels, ordonnances, décrets... Cette multiplicité réglementaire liée au principe d'indépendance des législations oblige dès lors à considérer l'ensemble des textes faisant intervenir cette notion. À cette multiplicité réglementaire, viennent s'ajouter plusieurs normes

(dont la norme AFNOR NF-ISO-15176 d'avril 2003 concernant la caractérisation de la terre excavée et d'autres matériaux du sol destinés à la réutilisation) et divers guides méthodologiques notamment rédigés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), l'ancien Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (SETRA, aujourd'hui CEREMA).



3

© 2015 ARCADIS



4
 © 2012 ARCADIS

Ces normes et guides, s'ils ne sont pas opposables, encadrent les pratiques liées à la gestion des déblais.

Ainsi, les projets d'aménagement générant des déblais excédentaires doivent s'adapter à ce contexte réglementaire et normatif, et justifier de la caractérisation préalable des matériaux, du choix de leur mode de gestion et de la traçabilité des flux.

Ce constat est renforcé par l'existence de règlements européens qui viennent s'ajouter à la réglementation nationale.

UN VOLET ENVIRONNEMENTAL INCONTOURNABLE

Les pressions réglementaires et normatives, présentées précédemment, sont directement liées à des considérations environnementales aujourd'hui incontournables pour les aménageurs du territoire.

Depuis maintenant près d'une décennie, et notamment les Grenelle de l'Environnement, ce volet est un élément central de la vie des projets que ce soit pour des considérations liées à la gestion des ressources, à l'Émission de Gaz à Effet de Serre (GES) et à la protection faunistique et floristique.

Ainsi, les projets d'aménagement doivent veiller à la prise en compte des milieux et des ressources, et notamment les eaux souterraines qui sont fréquemment rencontrées dans le cadre de travaux induisant des terrassements (figure 3). Cette thématique peut dès lors être corrélée aux études géotechniques de conception qui intègrent cette contrainte pour définir des principes constructifs (étude du Niveau des Plus Hautes Eaux, NPHE).

Ce volet environnemental concerne également la gestion des contaminations potentiellement présentes au droit des parcelles aménagées, des contaminations (figure 4) qui peuvent être de plusieurs ordres :

- Chimique (pollution par d'anciennes activités industrielles par exemple) ;
- Physique (problématique de l'amiante) ;
- Radiologique (naturelle ou anthropique) ;
- Pyrotechnique.

Quoi qu'il en soit, cette thématique doit être appréhendée de façon anticipée et adaptée à chaque projet afin de ne pas générer de situations bloquantes pouvant remettre en question un aménagement.

4- Excavation sélective de matériaux sur site pollué.

4- Selective excavation of materials on contaminated site.

UN ENJEU ÉCONOMIQUE MAJEUR

De façon très concrète, la gestion de déblais représente un poste à dépenses importantes qui nécessite des besoins d'optimisations :

- Coûts d'excavations ;
- Coûts de transport ;
- Coûts de prise en charge.

Cette réalité est d'autant plus importante depuis une vingtaine d'années dans un contexte d'augmentation croissante des coûts de gestion des déblais excédentaires. Augmentation principalement liée à l'évolution des prix du carburant, des taxes de transport de matériaux (TGAP notamment) et des coûts d'acceptation en Installation de Stockage de Déchets (saturation de certaines filières).

DES SOLUTIONS EXISTENT CARACTÉRISATION DES DÉBLAIS ET FILIÈRES DE GESTION

Dans ce contexte contraint et complexe, des solutions existent pour gérer les déblais excédentaires. Il est alors nécessaire d'engager des études préalables dans le but d'identifier les situations à risques qui définiront les actions à entreprendre sur le terrain pour caractériser efficacement les matériaux. Cette caractérisation doit à la fois considérer les volets environnementaux et géotechniques qui sont tous deux de nature à contraindre la gestion. Sur la base des éléments obtenus, les matériaux sont caractérisés et des recommandations sont formalisées quant à leur gestion et la nécessité ou non de traitements préalables.

Des solutions de gestion opérationnelles sont dès lors définies. Elles peuvent notamment consister en :

- Une évacuation en Installation de Stockage de Déchets (**I** : Inerte, **ND** : Non Dangereux, **D** : Dangereux) ;
- Une évacuation en filière de traitement (biocentre, désorption thermique, ...) ;
- Un comblement de carrière ;
- Un exhaussement de terrains ;

- Une valorisation en produit ;
- Une réutilisation dans le cadre d'un autre projet d'aménagement déficitaire en matériaux. À ce sujet, le BRGM a déployé une application « TERRASS », qui a pour objet l'enregistrement et le suivi de chaque opération de valorisation hors site de terres excavées. Cette base de données constitue une banque d'échange de terre opérationnelle et librement accessible pour les acteurs du milieu.

Chaque solution préconisée dans le cadre d'un projet d'aménagement doit être justifiée et faire l'objet d'un plan de gestion des déblais.

AXE D'OPTIMISATIONS : LA RÉUTILISATION HORS SITE

L'une des solutions de gestion optimales pour les déblais excédentaires est la réutilisation hors site de production dans le cadre d'un autre projet d'aménagement. Les contraintes principales alors identifiées sont les suivantes :

- La qualité intrinsèque des matériaux qui ne doivent pas présenter de contamination anthropique. Il est alors fondamental de caractériser le fond géochimique local en parallèle des opérations de caractérisation menées sur le site de production ;
- L'identification d'un site receveur localisé dans un contexte géologique équivalent (conformité des fonds géochimiques) et proche (un rayon maximal de 30 km est recommandé) ;
- Le respect de la ressource en eaux souterraines.

Pour aller plus loin dans cette thématique, le guide BRGM intitulé « Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement » (BRGM/RP-60013-FR de février 2012) peut être consulté.



© 2014 ARCADIS

5- Projet immobilier en milieu urbain.

5- Real estate project in urban environment.

Arcadis met fréquemment en œuvre ce type de solution auprès de ses clients. Cette opportunité a notamment été préconisée et mise en œuvre pour l'un de ses clients dans la région des Hauts de France.

Dans ce cas précis, la réalisation de bassins de rétention générant plus de 20 000 m³ de déblais s'est trouvée contrainte par une contamination non anticipée au stade avant-projet par du sélénium.

Cette contamination a interdit une évacuation directe en ISDI du fait du dépassement du critère d'acceptation réglementaire concernant ce paramètre défini dans l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014 fixant les conditions d'admission dans ce type d'installation. Devant ce constat, qui générerait un surcoût de plus de 2 M€ par rapport à

la programmation initiale, une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage a été commandée auprès d'Arcadis. Après étude, le caractère « naturel » de ces concentrations significatives a été mis en évidence autorisant une réutilisation sur un site au contexte géologique équivalent dans la région. Ayant une opération déficitaire en matériaux à proximité, le maître d'ouvrage a pu gérer ces matériaux de façon optimisée et ainsi valoriser ses deux opérations immobilières.

DES FINANCEMENTS EXTERNES À SOLLICITER

Dans le cadre de l'optimisation des coûts liés à la gestion des déblais excédentaires, il convient d'étudier les options de subvention ou de demande de crédits.

En effet, que ce soit à l'échelle nationale ou européenne, des subventions externes peuvent être sollicitées, parmi lesquelles :

- Le Crédit d'Impôts Recherche, en démontrant l'intérêt du projet de gestion en termes de recherche et de développement ;
- La subvention ADEME sur les anciennes friches urbaines ;

- Le Fond Européen de Développement Régional (FEDER).

Arcadis assiste ainsi ses clients maîtres d'ouvrage dans ce type de procédure. Elle a notamment été conduite dans le cadre d'un projet réalisé en région PACA pour un partenaire qui souhaitait reconvertir une friche industrielle polluée (figure 5).

En proposant des solutions alternatives à la simple évacuation en filière de stockage, une subvention ADEME correspondant à 34% du montant total des travaux de dépollution (environ 1,6 M€) a été obtenue.

Il est important d'indiquer que ces aides sont plafonnées.

PERSPECTIVES ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIVES, VERS UN ENCADREMENT DES PRATIQUES

Depuis plus de deux ans, des évolutions réglementaires et normatives se succèdent régulièrement concernant cette thématique.

Ces révisions ont pour objectif de mettre en cohérence les différentes références réglementaires évoquées précédemment pour simplifier les démarches et l'encadrement des pratiques.

Ces révisions sont suivies par différents intervenants (BRGM, ADEME, etc.) et groupes de travail (Union des Professionnels de la Dépollution des Sols - UPDS, etc.).

Les dernières en date ont principalement concerné la modification des conditions d'admissions relatives aux ISDND et aux installations de stockage de déchets de sédiments (arrêtés du 15 février 2016).

Actuellement, une révision modifiant l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières est en cours. □

ABSTRACT

MANAGING URBAN EXCAVATED MATERIAL, A KEY CHALLENGE

JULIEN TOUTAIN, ARCADIS

Public and private development actors are now frequently restricted in management of their excess excavated material from both an operational and a regulatory viewpoint. In a context of densification of the urban fabric, this issue represents a major economic challenge in development projects. The actors in the sector are faced with new questions related to a complex regulatory context mainly due to environmental considerations. However, solutions for rationalisation and optimisation exist and can be applied after performing specific preliminary studies appropriate for each project. □

GESTIÓN DE LOS ESCOMBROS URBANOS, UN RETO INSOSLAYABLE

JULIEN TOUTAIN, ARCADIS

Actualmente, los agentes públicos y privados de la ordenación urbana se encuentran con frecuencia limitados en la gestión de sus escombros desde el punto de vista operativo y reglamentario. En un contexto de densificación del tejido urbano, este problema constituye un importante desafío económico en el marco de proyectos de ordenación. Los actores del sector se enfrentan a nuevos interrogantes derivados de un contexto normativo complejo, en especial en sus exigencias medioambientales. No obstante, existen soluciones de racionalización y optimización adaptadas a cada proyecto que pueden aplicarse tras la realización de estudios previos específicos. □

LE FPJP OU QUAND LE GIGANTISME RENCONTRE LA TECHNIQUE

AUTEUR : JEAN MALAUZAT, RESPONSABLE DU GROS ŒUVRE, BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE

DANS LE CADRE D'UN PPP (PARTENARIAT PUBLIC PRIVÉ), BOUYGUES CONSTRUIT ET LIVRERA CLÉ EN MAIN LE FUTUR PALAIS DE JUSTICE DE PARIS (FPJP). CET ÉDIFICE EST LA PIÈCE PRINCIPALE DE LA NOUVELLE CITÉE JUDICIAIRE QUI SERA COMPLÉTÉE PAR LA DIRECTION RÉGIONALE DE LA POLICE JUDICIAIRE ET PAR LA MAISON DES AVOCATS. LES DIMENSIONS HORS NORMES DE CET OUVRAGE ET SA COMPLEXITÉ TECHNIQUE ONT NÉCESSITÉ UNE MOBILISATION COMPLÈTE DES RESSOURCES ET DU SAVOIR-FAIRE DE BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE.



© LAURENT BLOSSIER 1

La structure du Futur Palais de Justice de Paris domine désormais le nord de la capitale du haut de ses 160 m.

Situé à la Porte de Clichy le long du périphérique, le chantier s'apparente aujourd'hui à une immense ruche où s'activent 1 500 personnes, ouvriers, maîtrise et encadrement.

Le sprint final est lancé, qui s'achèvera en juin 2017 par une livraison clé en main du bâtiment (figure 1).

DESCRIPTION DU BÂTIMENT

Le bâtiment se décompose de la manière suivante : 3 niveaux d'infrastructure sur lesquels est construit un « Socle » de 6 niveaux le tout surmonté

1- Vue d'ensemble du chantier à la fin du gros-œuvre.

1- General view of the site at the end of structural work.

d'un IGH (Immeuble de Grande Hauteur) de 38 étages.

L'IGH est consacré aux espaces tertiaires, bureaux des juridictions (magistrats et greffes) et ne recevra pas de public.

Le Socle accueille les 92 salles d'audience de tailles variables allant de 50 m² à 450 m².



© LAURENT BLOSSIER
2

Le flux de personnes est organisé autour de la « Salle des pas perdus » de 5 000 m² ponctuée de 3 atriums de 25 m de haut.

Une des complexités du Socle en conception et en exécution réside dans la coexistence de 3 réseaux de circulation indépendants (pour le public, les magistrats et les détenus) qui, sans jamais se croiser, convergent vers les différentes salles d'audience.

La partie le plus à l'ouest du Socle est appelée le Bastion. Il regroupe les services généraux, la sécurité et le parquet.

2- Vue du chantier en cours de gros-œuvre.

3- Terrassement et paroi moulée.

2- View of the site during structural work.
3- Earthworks and diaphragm wall.

Enfin, dans les sous-sols, mis à part quelques parkings pour les magistrats et la police, l'espace est principalement occupé par les locaux techniques et 8 000 m² d'espace sécurisé regroupant 205 cellules de garde à vue. La rampe monumentale permettra notamment aux bus pénitentiaires de descendre au second sous-sol pour effectuer leurs chargements et déchargements en toute sécurité.

« Gigantesque, immense, hors-normes » tels sont les qualificatifs le plus souvent entendus pour qualifier l'œuvre de Renzo Piano.

Maintenant que la structure, achevée mi-juillet, disparaît à grande vitesse derrière les façades de verre, tout le monde peut réaliser la taille de ce bâtiment hors du commun. Les chiffres parlent d'eux-mêmes :

- 160 m de haut (le 3^e ouvrage le plus haut de Paris après la Tour Eiffel et la Tour Montparnasse) ;
- 17 000 m² d'emprise au sol ;
- 170 000 m² de surface construite ;
- 9 000 personnes quotidiennement sur site.

DESCRIPTION DES TRAVAUX ET DE LEURS ENJEUX

Du point de vue des travaux, ce genre d'ouvrage ne se construit en France qu'une fois ou deux par décennie.

Chez Bouygues Construction, il vient dans la lignée des géants que sont La grande Arche de la Défense, La Bibliothèque François Mitterrand, Cœur Défense ou plus récemment le Ministère de la Défense à Balard.

Les proportions des chiffres du gros œuvre sont à l'image du bâtiment final (figure 2) :

- 92 000 m³ de béton dont la majorité en BHP (Béton Haute Performance) ;
- 12 000 t d'aciers ;
- 2 500 t de charpente métallique ;
- 400 compagnons et 35 chefs de chantier ;
- 12 grues à tour dont 6 grues à flèche relevable ;
- 10 lifts de chantier ;
- 2 pompes à béton stationnaires ;
- Jusqu'à 6 pompes à béton automatisées en renfort.

Du démarrage des fondations profondes jusqu'à la fin du dernier plancher de l'IGH, le gros œuvre aura duré un peu plus de 2 ans.

Ces deux années auront été le lieu de rencontre du gigantisme et de la technique.

L'enjeu de la taille est principalement lié à la gestion des flux physiques mais aussi et surtout à la gestion des flux d'information qui nécessite une organisation sans faille.

À ceci, il a fallu associer les sujets techniques suivants :

- La présence d'une nappe phréatique (le radier est 5 m sous le niveau de l'eau) avec un radier découpé par des joints de construction.
- Une structure du Socle aux proportions dédoublées (6,4 m entre 2 étages et des poutres de 16 m de portée) afin d'accueillir les salles d'audience.



© LAURENT BLOSSIER
3



© LAURENT BLOSSIER 4

- Un IGH qui se déforme sous les 3 contraintes que sont le tassement du sol sous sa charge exceptionnelle, le rétrécissement du béton (fluage et retrait) et les effets du vent.
- Un design architectural tout en longueur et très « effilé » qui a conduit à prévoir des joints de dilatation sur un IGH (première nationale).
- La présence de niveaux « Tailles de guêpe » voulus par Renzo Piano : suppression des poteaux de façade sur 3 niveaux (N9, N19 et N29) qui a amené à créer 3 niveaux de reprise en béton précontraint par post-tension.

CONSTRUCTION DES INFRA STRUCTURES

Pour construire dans la nappe phréatique, la « boîte » est constituée d'une paroi moulée de 60 cm d'épaisseur ancrée par des tirants précontraints (figure 3). Pour le terrassement et la construction de l'ouvrage, un système de rabattement de nappe a été mis en place. Ce rabattement a été conservé jusqu'à la fin du niveau 5 pour que le bâtiment ne remonte pas comme un bouchon sous l'effet de la poussée d'Archimède.

En parallèle du terrassement, les fondations profondes ont été réalisées. Ce sont 350 pieux forés en tarière creuse sur une quinzaine de mètres de profondeur qui assureront l'assise des bâtiments de hauteur courante tandis que 72 barrettes de 25 m de profondeur reprendront les charges de l'IGH. L'ensemble de ces fondations est couvert d'un radier faisant en moyenne 1,2 m d'épaisseur, qui assure à la fois la répartition des efforts et l'étanchéité par le bas de la « boîte ». Premier gros morceau d'ingénierie à réaliser, le radier, armé de 400 kg d'acier par m³, doit être découpé en plots pour limiter les impacts du retrait du béton. Mais la présence de l'IGH, ouvrage massif très concentré, crée une cuvette de tassement de plusieurs cm, ce qui devrait provoquer un « pianotage » des plots entre eux. Pour empêcher ce phénomène, une rotule en béton sera créée entre les plots pour qu'ils s'entraînent entre eux. Place alors au coulage du radier d'un volume de béton total de 14 000 m³. Rappelons que nous sommes dans un milieu urbain dense. Pour le premier coulage de 3 400 m³, 5 centrales seront ouvertes un samedi à partir de 4 h du matin. 60 toupies tourneront

non-stop pendant 16 h pour effectuer les 462 rotations nécessaires à la livraison du béton qui sera mis en œuvre par 6 pompes automotrices et 3 grues. Le SNBPE lui-même ne se souvient pas qu'un tel coulage ait eu lieu dans les dernières décennies en France et encore moins dans Paris.

LA STRUCTURE DE L'IGH
 Comme évoqué précédemment, la partie IGH du bâtiment concentre sur elle la majorité des enjeux techniques. Là où le quidam voit 3 blocs horizontaux posés les uns sur les autres pour former un escalier, l'ingénieur structure conçoit 3 tours de hauteurs variables posées côte à côte et séparées par des joints de dilatation. Ce sont donc 3 IGH de 160, 120 et 80 m de haut et constitués chacun de leur propre noyau qui vont vivre presque indépendamment.

4- Matériel spécifique pour réaliser l'IGH.

4- Specific equipment for high-rise building.

« Presque » en effet, car pour éviter que, sous l'effet du vent, les 3 tours « pianotent » entre elles, des « clés de transfert » avec des appuis néoprène verticaux dignes d'ouvrages d'art ont été ménagées sur 3 niveaux répartis. Pour tous les sujets de déformation du béton, des tests en laboratoire ont été effectués de façon anticipée. Des éprouvettes de 1 m de haut ont été comprimées et suivies pendant un an pour bâtir les formules de fluage (déformation irréversible sous contrainte) et de retrait (réduction lors du séchage) de chacun des BHP (Béton Haute Performance) utilisés. La maîtrise de ces formules, réinjectées dans les différents modèles de calcul du bâtiment, a permis notamment de compenser les niveaux de coulage et de calculer les déformations imposées aux différents ouvrages secondaires tels que les façades. En termes de matériel, l'IGH qui doit être réalisé à raison d'une semaine par niveau, nécessite la mise en place d'outils spécifiques (figure 4). Les deux noyaux les plus hauts seront faits à l'aide de coffrages glissants qui permettent de s'adapter facilement aux nombreux changements de géométrie (11 sections différentes pour le noyau



© LAURENT BLOSSIER
5

le plus haut). Le cycle de plancher sera réalisé à l'abri de protections de façade guidées sur des rails et ceinturant l'ensemble du plancher sur 3 niveaux afin d'assurer la sécurité maximale des compagnons mais aussi de les protéger du vent.

Le béton sera mis en œuvre classiquement à l'aide de 2 pompes stationnaires.

En pointe de vitesse, le noyau est monté au rythme de 2 jours par niveau tandis que les planchers ont atteint la cadence de 4 jours par niveau.

5- Braconnage des grues de l'IGH.

6- Précontrainte des tailles de guêpe.

5- Bracing of high-rise building cranes.

6- Prestressing of tapered sections.

Les 3 grues à flèche relevable prévues pour l'IGH ont suivi l'élévation du bâtiment.

Les 12 opérations de télescopage et les 9 opérations de braconnage (ancrages sur le bâtiment via des profilés métalliques) sur les noyaux ont eu lieu le week-end pour ne pas impacter les cycles en semaine (figure 5).

LES « TAILLES DE GUÊPE »

La structure des « tailles de guêpe » est constituée de consoles fixées sur les noyaux et d'une poutre de

rive reliant les consoles entre elles et supportant les poteaux de façade des étages suivants. Les consoles qui marchent par paires de part et d'autre des noyaux sont toutes renforcées par post-tension. Il en est de même pour la poutre de rive. La mise en tension des câbles de précontrainte s'est faite en 3 phases. La première mise en tension a lieu à la fin de la construction du niveau taille de guêpe. La seconde a lieu à la fin du coulage des 3 niveaux supérieurs (figure 6). Et la dernière mise en tension a lieu à la fin du coulage des 6 niveaux supérieurs. Pour l'ensemble des 3 niveaux l'entreprise VSL a tringlé et mis en tension une centaine de tonnes de câbles.

Placés tous les 10 niveaux, ces étages atypiques sont venus casser le rythme de croisière de 4 jours par niveau. On s'est fixé comme objectif de les réaliser en 20 jours en incluant la substitution de tout le matériel de coffrage et d'étaie nécessaire pour réaliser ces niveaux double hauteur.

Vu la complexité de coffrage et de ferrailage des extrémités des gaines de précontrainte, il a été décidé de réaliser sur site des pièces en béton préfabriquées.

Par ailleurs, les phasages et l'organisation de tous les postes de travail du niveau ont été dessinés en 3D, jour par jour, afin d'identifier tous les interfaces. Enfin, le dernier sujet auquel le constructeur a été confronté est le poids de ces niveaux. Même en multipliant les sous-étaisements, la structure construite sous chaque taille de guêpe n'est pas capable de récupérer le poids de tels ouvrages (les plus grosses poutres pèsent 80 t).

La solution trouvée a été de concevoir chaque élément (poutre, console) auto-stable en phase provisoire afin de tous les décoffrer au fur et à mesure de leur réalisation et éviter ainsi de cumuler les charges.

LES POTEAUX ET LES POUTRES DU SOCLE

Le Socle a la particularité que les salles d'audience doivent être hautes de plafond et qu'aucun poteau ne doit les traverser.

La structure est donc constituée de poutres de 16 m de portée posées sur des poteaux de 6,4 m de haut. Ces poutres pesant plus de 20 t, elles ont été toutes coulées en place (figure 7). De telles poutres présentent des déformations importantes sous chargement, notamment à cause du fluage du béton sous son poids propre.



© LAURENT BLOSSIER
6

Pour éviter d'avoir à concevoir une façade avec des joints de panneaux extra larges capables de reprendre toutes les déformations de la structure, la solution a été d'attendre 4 mois après la fin du gros œuvre du socle avant de commencer la pose des murs rideaux. À cette date, une part non négligeable de la déformation a déjà eu lieu. Pour finir, Renzo Piano a voulu des poteaux métalliques très élancés en façade. Pour rester dans l'épure de l'architecte sans faire grossir les nœuds, ces poteaux ont été rotulés en pied et en tête. Par ailleurs, leur stabilité au feu est assurée par leur remplissage en béton. Pour les plus grand poteaux, en raison de leur poids, ce remplissage a dû se faire après la pose et en plusieurs fois, les soudures ne pouvant pas reprendre le poids du béton liquide sur toute la hauteur. □

**7- Poteaux -
poutres du Socle.**

**7- Columns and
beams of the base.**



© LAURENT BLOSSIER

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE CONSTRUITE : 170 000 m²
SURFACE UTILE : 105 000 m²
HAUTEUR : 160 m
QUANTITÉ DE BÉTON : 92 000 m³ dont une majorité de BHP (max C80/95)
QUANTITÉ D'ACIER POUR LE BÉTON : 12 000 t
QUANTITÉ DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 2 500 t
QUANTITÉ DE CÂBLES DE PRÉCONTRAINTÉ PAR POST TENSION : 100 t
EFFECTIF DE COMPAGNONS EN POINTE : 1 500 personnes
EFFECTIF DE L'AGENCE EN POINTE : 150 personnes
TERRASSES VÉGÉTALISÉES : 10 000 m² dont 355 arbres

PRINCIPAUX INTERVENANTS

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bouygues Bâtiment IDF
BUREAUX D'ÉTUDE BÉTON ARMÉ : BET internes Bouygues
FOURNISSEUR DE BPE : Eqiom
PAROI MOULÉE ET FONDATIONS PROFONDES : Soletanche Bachy
TERRASSEMENT : Cosson
ARMATURIER : Sendin
ÉTAIEMENT ET COFFRAGE DE PLANCHERS : Ctp et Brand
POMPAGE DU BÉTON : Gca pompage
CHARPENTE MÉTALLIQUE : Baudin Châteauneuf, Blocothela et Framatec
PRÉCONTRAINTÉ : Vsl
COFFRAGES GLISSANTS : Gleitbau
PROTECTIONS DE FAÇADE : Doka
FOURNISSEURS DE GRUE À TOUR : Liebherr et Potain

ABSTRACT

THE FPJP PROJECT, OR WHEN GIGANTIC SCALE COMBINES WITH TECHNOLOGY

JEAN MALAUZAT, BOUYGUES

The future Paris court-house (FPJP) designed by Renzo Piano is a building with more than 100,000 m² of useful floor space which will receive 9,000 people every day. This monumental project is now one of the flagship projects of Bouygues Bâtiment Île-de-France. It is a real showcase capable of expressing both the technical and organisational capacity and expertise of the firm. Apart from the complexity due to the gigantic scale of the project, the structural works had to cope with numerous technical challenges, notably the challenge of a high-rise building structure punctuated by expansion joints and cantilever levels executed in post-tensioning prestressed concrete. □

EL FPJP O LA TÉCNICA APLICADA AL GIGANTISMO

JEAN MALAUZAT, BOUYGUES

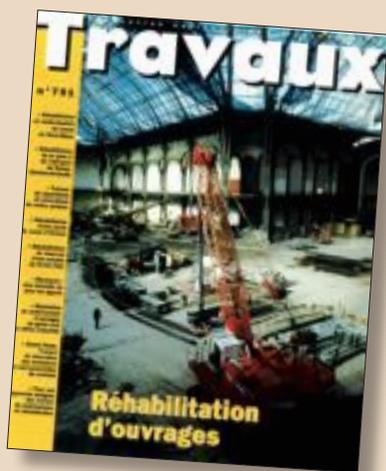
El Futuro Palacio de Justicia de París (FPJP) diseñado por Renzo Piano es un edificio de más de 100.000 m² de superficie útil que acogerá 9.000 personas cada día. Esta obra monumental es actualmente uno de los proyectos de referencia de Bouygues Bâtiment Île-de-France. Constituye un auténtico aparador que permite expresar a la vez la capacidad y la competencia técnica y organizativa de la empresa. Además de la complejidad derivada del gigantismo de la operación, la obra mayor ha tenido que superar numerosos desafíos técnicos, como la estructura de un edificio de gran altura reforzada con juntas de dilatación y niveles en voladizo realizados en hormigón pretensado post-tensión. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE GRAND PALAIS - TRAVAUX DE RÉNOVATION DES FONDATIONS ET INSTRUMENTATION DE CONTRÔLE

VALÉRIE DORÉ, INGÉNIEUR DE PROJET, SOLETANCHE BACHY - YANN AMICEL, INGÉNIEUR DE PROJET, SOLETANCHE BACHY - GILBERT SALVI, DIRECTEUR COMMUNICATION GROUPE, SOLETANCHE BACHY

TRAVAUX N°791 - NOVEMBRE 2002

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTP



L'effet papillon est bien connu : cause infime, grands effets. Dans le cas du Grand Palais, c'est un rivet tombé de la voûte en juin 1993 pendant l'exposition *Design, miroir du siècle*, aux pieds d'un visiteur, sur une tabatière de Jean-Paul Gaultier, qui a déclenché de très grands travaux de confortement et de réhabilitation. C'est incontestablement la magnifique verrière qui est l'élément le plus visible de la rénovation. Dans cet article, il est question des fondations, art ingrat puisque le résultat est invisible.

L'article extrait de nos archives commence par une excellente rétrospective historique qu'il n'est pas utile de paraphraser. Rappelons seulement que d'importants travaux de consolidation avaient été réalisés de 1940 à 1943 mais, à cause de l'abaissement de la

nappe phréatique de Paris, les fondations restaient dans un état alarmant. À la Libération, un incendie avait détruit des combles métalliques et tordu des poteaux de la Nef. Dans les années 60, Le Corbusier avait proposé de le raser pour le remplacer. Grâce à Dieu, le grand architecte visionnaire est décédé entre temps et son dessein n'a pas eu de suite.

En 2000, après des études techniques, la décision de commencer des travaux est prise. La classification du Grand Palais comme monument historique, au mois de novembre, permet à l'État de financer un vaste projet de restructuration de la Nef, sous la conduite de l'ÉMOC (Établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels), mandataire de la maîtrise d'ouvrage. Les travaux sont lancés sous la direction d'Alain-Charles Perrot, architecte

en chef des monuments historiques, et de Jean-Loup Roubert, architecte-conservateur du Grand Palais. Le chantier se déroule en deux phases :

- De 2001 à 2004 : confortation des fondations, réparation de la charpente métallique de la Nef et des verrières, réparation de la toiture, restauration des quadriges de Récipon.
- De 2005 à 2008 : restauration des façades.

L'édifice, réalisé pour l'exposition universelle de 1900, avait été bien construit mais pas pour l'éternité. Du point de vue des fondations, c'est un superbe cas d'école : terrains compressibles d'un seul côté du bâtiment, pieux en bois et abaissement de la nappe phréatique, rénovation couvrant l'éventail des procédés géotechniques modernes, auscultation sophistiquée. Au final, une très belle réussite.

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: LE GRAND PALAIS - FOUNDATION RENOVATION WORKS AND CONTROL INSTRUMENTATION TRAVAUX N°791 - NOVEMBER 2002

The butterfly effect is well known: a tiny cause produces large effects. In the case of the Grand Palais, it was a rivet falling from the roof in June 1993 during the "Design exhibition, a mirror of the century", at the feet of a visitor, on a snuffbox by Jean-Paul Gaultier, which sparked very substantial consolidation and renovation works. It is undoubtedly the magnificent glass roof which is the most visible aspect of the renovation. This article discusses the foundations, a thankless art because the result is invisible. The article extracted from our archives starts with an excellent historical retrospective which it is unnecessary to paraphrase. Bear in mind simply that major consolidation works had been carried out from 1940 to 1943 but, because of the lowering of the Paris aquifer, the foundations remained in an alarming state. At the Liberation, a fire had destroyed steel attics and twisted columns of the nave. In the 1960s, Le Corbusier had proposed pulling it down and replacing it. Thank God, the great visionary architect died in the meantime and his purpose was left in the drawers. In 2000, following technical studies, the decision was taken to start works. The Grand Palais was classified as an historic monument in November, so the government was able to finance a vast project for restructuring of the nave, managed by cultural works manager ÉMOC (Établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels), acting for the contracting authority. The works were started under the management of Alain-Charles Perrot, chief architect of historic monuments, and Jean-Loup Roubert, architect-curator of the Grand Palais. The project took place in two phases:

- From 2001 to 2004: consolidation of the foundations, repair of the steel structure of the nave and the glass roofs, repair of the roof, and restoration of Récipon's quadrigas.
- From 2005 to 2008: restoration of the facades.

The building, constructed for the Universal Exhibition of 1900, had been well built but not for eternity. From a foundation viewpoint, it is a superb textbook case: compressible ground on a single side of the building, wooden piles and lowering of the aquifer, renovation covering the range of modern geotechnical processes, and sophisticated monitoring. Ultimately, a very fine success. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: EL GRAND PALAIS - OBRAS DE RENOVACIÓN DE LOS CIMENTOS E INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL TRAVAUX N°791 - NOVIEMBRE DE 2002

El efecto mariposa es bien conocido: causa ínfima, grandes efectos. En el caso del Grand Palais, en junio de 1993, durante la exposición "Design, miroir du siècle", un remache de la bóveda que cayó a los pies de un visitante, sobre un tragaluz de Jean-Paul Gaultier, desencadenó el inicio de grandes obras de refuerzo y rehabilitación. Sin lugar a dudas, la magnífica vidriera es el elemento más visible de la renovación. En este artículo abordamos la cuestión de la cimentación, arte ingrato en tanto que su resultado es invisible. El artículo extraído de nuestros archivos comienza con una excelente retrospectiva histórica que no reproduciremos aquí. Cabe únicamente recordar que de 1940 a 1943 se realizaron importantes obras de consolidación, pero a causa del descenso de la capa freática de París los cimientos quedaron en un estado alarmante. En el momento de la Liberación, un incendio había destruido la estructura metálica y torcido postes de la nave. En los años 60, Le Corbusier propuso arrasarlo y sustituirlo. Afortunadamente, el gran arquitecto visionario falleció antes de la ejecución de su plan, que no tuvo continuidad. En 2000, tras unos estudios técnicos, se tomó la decisión de iniciar las obras. La clasificación del Grand Palais como monumento histórico en el mes de noviembre permitió al Estado financiar un amplio proyecto de reestructuración de la nave, gestionado por la entidad pública promotora de obras culturales EMOC (Établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels). Las obras se iniciaron bajo la dirección de Alain-Charles Perrot, arquitecto jefe de monumentos históricos, y Jean-Loup Roubert, arquitecto-conservador del Grand Palais. La obra se llevó a cabo en dos fases:

- De 2001 a 2004: refuerzo de los cimientos, reparación de la estructura metálica de la nave y las vidrieras, reparación del tejado, restauración de los quadrigas de Récipon.
- De 2005 a 2008: restauración de las fachadas.

El edificio, erigido para la exposición universal de 1900, se había construido bien pero no para ser eterno. Desde el punto de vista de los cimientos, constituye un perfecto caso de libro: terrenos compresibles únicamente en un lado del edificio, pilotes de madera y descenso de la capa freática, renovación utilizando todos los procedimientos geotécnicos modernos, auscultación sofisticada. Al final, un éxito maravilloso. □

RÉHABILITATION D'OUVRAGES

Le Grand Palais

Travaux de rénovation des fondations et instrumentation de contrôle

Les travaux de rénovation du Grand Palais, lot 1, "Gros œuvre Fondations", sont réalisés par le groupement Soletanche Bachy (mandataire), Spie SCGPM, Spie Fondations et SMET TS. Ces travaux concernent la confortation des fondations de la partie sud (essentiellement sur pieux bois) et des fondations de la nef.

Les travaux comprennent :

- ◆ les travaux préparatoires (désamiantage) et de gros œuvre (semelles, reprises en sous-œuvre) ;
- ◆ une paroi moulée en nef sud, dôme et paddock qui servira d'appui et de fondation profonde aux fermes de la nef, et ultérieurement de soutènement aux sous-sols envisagés ;
- ◆ des colonnes de jet grouting, diamètres 1 m et 1,40 m destinées à reprendre les fondations de la nef nord, du palais d'Antin et des galeries latérales sud ;
- ◆ des injections de régénération de maçonnerie ;
- ◆ la mise en place d'une instrumentation et un suivi des tassements en temps réel par le système de surveillance Cyclops mis au point et développé par SolData (filiale de Soletanche Bachy).

Valérie Dore
 INGÉNIEUR DE PROJET
 Soletanche Bachy

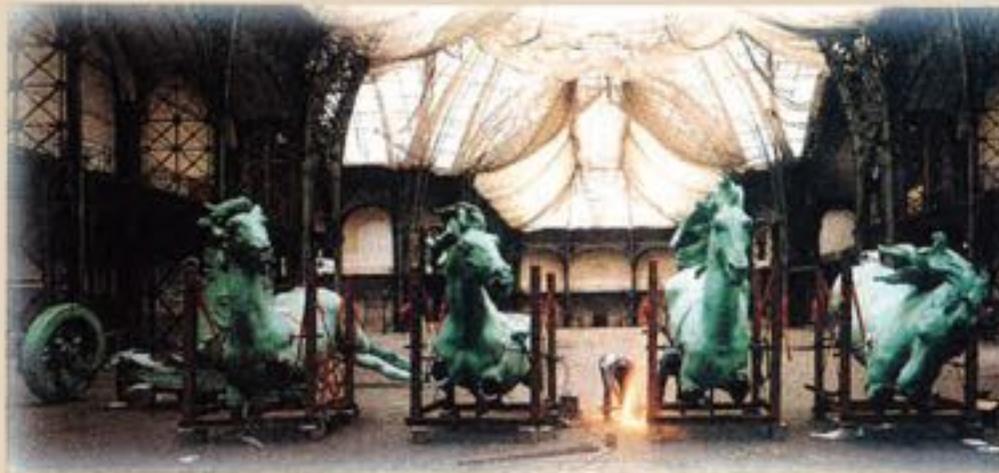
Yann Amicel
 INGÉNIEUR DE PROJET
 Soletanche Bachy

Gilbert Salvi
 DIRECTEUR COMMUNICATION
 GROUPE
 Soletanche Bachy

■ UNE PAGE D'HISTOIRE

En prévision de l'Exposition Universelle de 1900, qui consacrera l'apogée de la III^e République, sous la présidence d'Émile Loubet, un concours est lancé en 1896, pour la réalisation d'un projet d'urbanisme d'envergure : il s'agit de créer une perspective entre les Champs Élysées et les Invalides. Pour ce faire, il faut donc élaborer un ensemble architectural cohérent, qui comprendra le futur pont Alexandre III, le Grand et le Petit Palais. Les travaux débuteront en 1897 et s'achèveront à l'orée de 1900. Entre temps, en 1898, il est décidé que ces bâtiments deviendront pérennes. Le Petit Palais étant affecté à la Ville de Paris tandis que le Grand Palais le sera à l'État qui le destine à accueillir des salons et des concours hippiques.

Dès l'abord, les architectes du Grand Palais rencontrent un obstacle de taille : la différence de nature et donc de qualité, des sols. Dans sa longueur, le futur édifice est orienté nord-sud, et il est prévu d'asseoir la nef nord sur des alluvions modernes et anciennes de bonne qualité ; elle sera donc fondée sur des semelles superficielles. En revanche la nef sud ainsi que le dôme central doivent reposer sur des terrains argileux, proches de la Seine, qu'il va falloir remblayer. A l'issue d'impressionnants travaux de terrassement, ce ne sont pas moins de 3 000 pieux en bois qui seront utilisés, pour fonder et stabiliser la charpente métallique. Pourtant, malgré ces précautions, que détaille Al-



Vue intérieure du Grand Palais.
 Dépose des chevaux
 Interior view of the Grand Palais.
 Removing the horses

fred Picard, commissaire général de l'Exposition universelle, dans son rapport de 1903, des désordres structurels apparaissent très tôt, sans doute consécutifs pour une part à la crue de 1910, mais également aux variations de la nappe phréatique.

Dès lors, au fil des décennies, les rapports des architectes en chef soulignent l'apparition d'importants tassements de plusieurs centimètres par endroit ainsi que des mouvements du bâtiment qui s'enfoncent dans le sol en raison du pourrissement des pieux en bois assurant les fondations profondes de la moitié sud du Palais. Corollaire, la charpente métallique qui supporte les verrières et la coupole, se dégrade en raison des facteurs conjugués

Géologie dissymétrique des terrains de fondation (alluvions argileuses de portance médiocre conjuguées à la présence de la Seine côté sud)
 Asymmetric geology of the foundation ground (clayey alluvia of mediocre bearing capacity combined with the presence of the Seine on the South side)

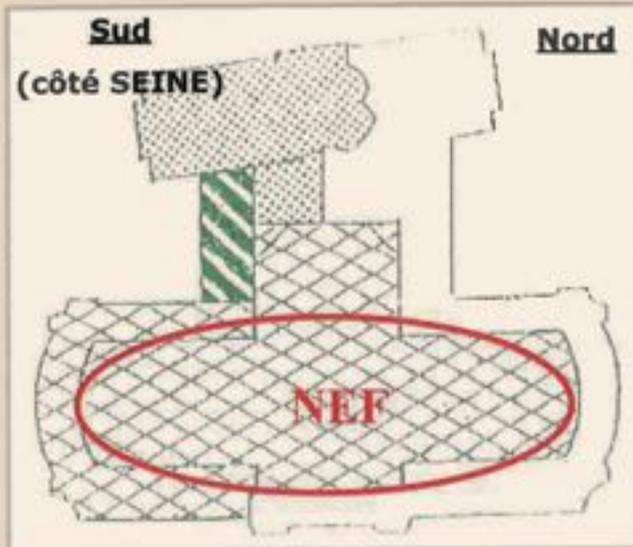


Tableau I
 Données pressiométriques
 Pressuremeter data

Soil	Area	Structure coefficient α	limit pressure P_l - MPa	Pressuremeter modulus E_p - MPa
Am *	South	2/3	0,5	2,5
	North	1/2	1,5	13,5
Aa *	South	1/2	2,4	17,5
	North	1/3	5,2	46
CGa *	All	1/3	2,7	21
CG *	All	1/3	7	95

Tableau II
 Données géotechniques
 Geotechnical data

soil	area	C_u kPa	ϕ_u °	C' kPa	ϕ' °	γ kN/m ³
Am *	South	80	0	10	25	20
	North	75	20	10	25	20
Aa *	South	0	35	0	35	18
	North	0	35	0	35	18
CGa *	All	450	0	0	40	22
CG *	All	1000	0	1000	0	22

* Am = recent alluvium
 Aa = ancient alluvium
 CGa = weathered limestone
 CG = sound limestone

Travaux préalables de désamiantage
 Preliminary asbestos removal work



Une verrière, dôme en verre et structure métallique, de dimension impressionnante

A glass roof, glass dome and metallic structure of impressive size

des tassements différentiels, de fuites de toitures, de phénomènes non appréhendés lors de la conception de l'édifice.

C'est alors qu'en juin 1993, la chute d'un rivet dans la nef, se détachant de la charpente située à 35 m de hauteur, entraîne en novembre suivant, la fermeture du Grand Palais.

A l'issue d'une campagne d'un mois de travaux, destinés à assurer la sécurité de leurs visiteurs, le Palais de la Découverte et les Galeries Nationales du Grand Palais rouvrent leurs portes tandis que la nef demeure close. L'Etat décide alors de la restaurer. Il s'agira d'une part, de conforter les fondations et les charpentes, puis de procéder à la réfection des verrières et de la toiture. Ensuite, interviendra la restauration des façades en pierre de taille, des statues et des fresques ornant le monument. Pour ce faire, la Direction de l'Architecture et du Patrimoine, émanation du ministère de la Culture et de la Communication, maître d'ouvrage, confie le mandat de maîtrise d'ouvrage à l'EMOC, établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels. Celui-ci s'adjoint le bureau de contrôle Sootec, tandis que la maîtrise d'œuvre est confiée à l'architecte mandataire Alain-Charles Perrot, architecte en chef des monuments historiques.

RÉHABILITATION D'OUVRAGES

■ GÉOLOGIE DU SITE

La topographie du site est horizontale au niveau + 32 m NVP (Paris).

La géologie générale sous le site est composée de la séquence simplifiée suivante :

- ◆ remblais;
- ◆ dépôts d'alluvions récents (limons et sables fins);
- ◆ calcaire;
- ◆ marnes et argile.

Cependant, une hétérogénéité existe due à la présence d'un ancien bras de rivière dans la partie sud du site, créant une zone à faible capacité portante (limons; sables lâches; calcaire fissuré). La partie des sols en zone nord présente par contre de bonnes caractéristiques géotechniques.

Les tableaux I et II indiquent les données pressiométriques des terrains en place dans les deux zones, ainsi que les données géotechniques qui ont été considérées dans le dimensionnement des solutions retenues.

Le niveau d'eau se trouve à + 23/24 m NVP (Paris) et varie très faiblement, même en phase de crue, le lit de la rivière étant colmaté. Néanmoins, les critères de dimensionnement utilisés pour les fondations et parois moulées ont été les suivants :

- ◆ phase construction : 29,00 NVP;
- ◆ période de retour décennale : 30,00 NVP;
- ◆ période de retour centennale : 30,60 NVP.

■ TYPE DE FONDATIONS EXISTANTES ET PATHOLOGIE

Dans la partie nord, les poteaux de la structure sont supportés par des semelles filantes de maçonnerie, fondations directes, fondées sur le toit des couches de sables, alors que dans la partie sud, ces maçonneries sont fondées sur des pieux battus en bois.

Juste après la fin de la construction du Grand Palais (à partir de 1910), des désordres structurels et des tassements différentiels ont commencé à apparaître et n'ont jamais cessé de croître depuis. Les variations de la nappe phréatique et son rabattement ont exposé les pieux en bois, provoquant ainsi leur affaiblissement et pourrissement. Des tassements totaux entre 100 à 150 mm ont été mesurés, et plus de 50 mm ont été observés entre 1972 et 2001 (et 14 cm en un siècle). Les structures métalliques ont subi des dommages structurels, torsions provoquées par le poids de la verrière.

■ LES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE (figures 1 et 2)

Le renforcement des fondations supportant la structure métallique en partie sud, est réalisé au travers d'une paroi moulée périmétrale suivant l'aligne-



Vue intérieure du Grand Palais. Ensemble aire de fabrication et stockage cages d'acier paroi
Interior view of the Grand Palais. Manufacturing area and storage area for wall reinforcing steel cages



Opération de désamiantage
Asbestos removal operations

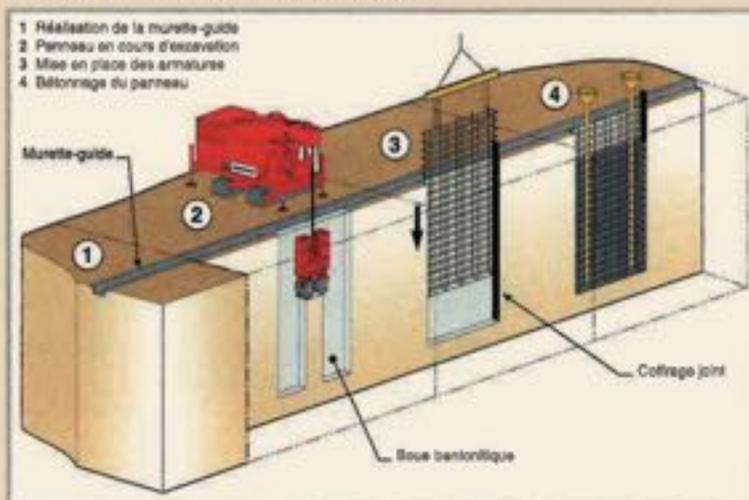


Figure 1
La technique paroi moulée
The diaphragm wall technique

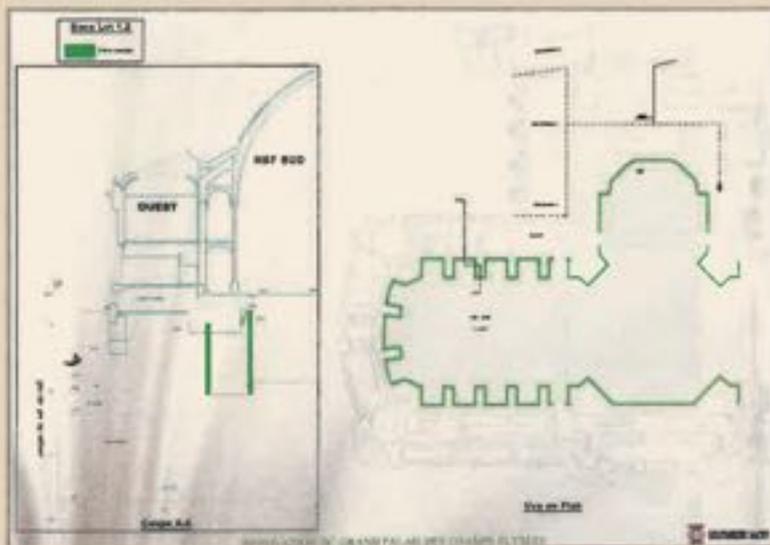
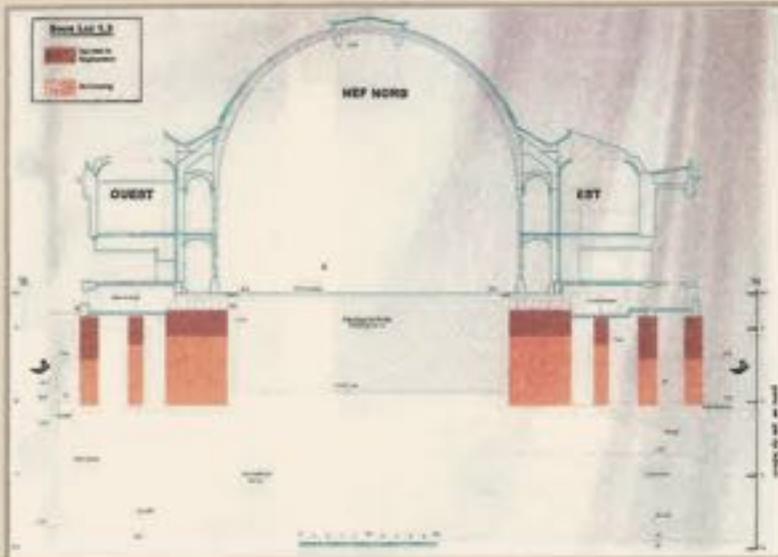


Figure 2
Sous-lot 1.2 : travaux de paroi moulée
Work sub-section 1.2 : diaphragm wall work

Figure 3
Sous-lot 1.3 ;
travaux
de jet grouting
Work
sub-section 1.3 ;
jet grouting work



ment des fondations en maçonnerie actuelles reposant sur pilotis en bois. Les charges seront transférées de la structure à la paroi moulée par la mise en place d'une précontrainte horizontale entre les deux poutres de chaînage de la paroi moulée qui enserrant l'ancienne fondation en maçonnerie. Cette paroi moulée a été dimensionnée pour les sous-sols qui pourraient être aménagés dans le futur et pourra donc servir ultérieurement à réaliser une fouille à l'intérieur du Grand Palais.

La construction de la paroi moulée est réalisée grâce à l'hydrofraise® latine, machine compacte montée sur grue, permettant de travailler sous hauteur limitée, à l'intérieur de la nef, et le long des structures et piliers métalliques.

La perforation des panneaux successifs est réalisée sous protection d'un fluide bentonitique, en circuit inverse, minimisant les vibrations et le bruit grâce à un système entièrement hydraulique utilisant deux moteurs fond de trou.

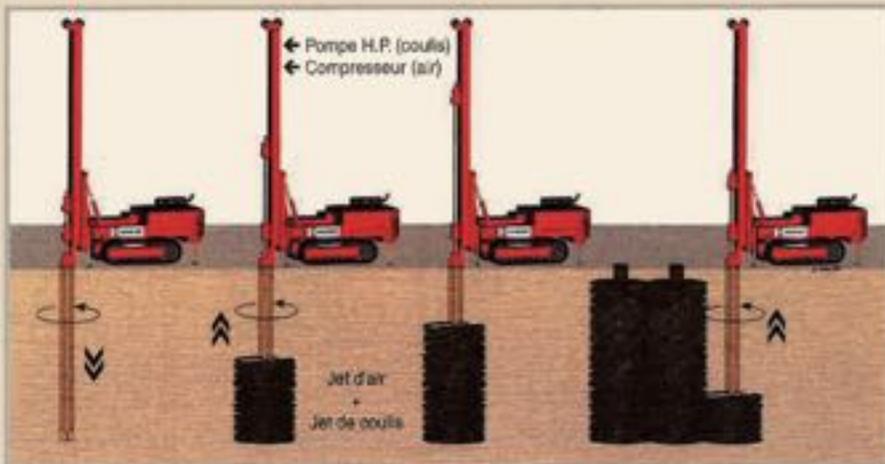


Figure 4
La technique du jet grouting
The jet grouting technique

LES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE

Les objectifs

- Fondation des appuis en nef sud, dôme et paddock, et soutènement des sous-sols à venir
- Paroi réalisée sous hauteur réduite (7 m)
- 9500 m³ de paroi ép. 0,82 m
- Profondeur de 15 à 19 m dans les alluvions modernes et anciennes avec un ancrage dans le calcaire grossier
- Délai : 5 mois (mars - juillet 2002)

Perforation pour colonnes de jet grouting
Drilling for jet grouted columns



LES TRAVAUX DE JET GROUTING (figure 3)

Le renforcement de la structure métallique de l'aile nord ainsi que la partie sud du bâtiment en maçonnerie est réalisé par l'installation de 2100 colonnes de jet grouting, sous les semelles existantes et descendant jusqu'au toit du calcaire.

Ces colonnes de jet grouting réalisées par injection d'un coulis de ciment dans le sol à très haute pression (supérieure à 300 kg/cm²), augmente la portance des fondations dans les zones les moins soumises aux tassements (figure 4).

Le procédé de jet grouting consiste à déstructurer un sol en profondeur à l'aide d'un jet de haute pression dans un forage et à mélanger le sol érodé avec un coulis autodurcissant pour former des colonnes, panneaux et autres structures dans le terrain.

Le choix du système à employer et les paramètres à utiliser s'effectue en fonction :

RÉHABILITATION D'OUVRAGES

- ◆ de la nature du sol et des caractéristiques géotechniques du sol à traiter;
- ◆ du rayon d'action du jet nécessaire pour atteindre la dimension des éléments à réaliser;
- ◆ des caractéristiques mécaniques demandées pour le sol traité;
- ◆ des contraintes du site.

La conception d'une structure de jet grouting comprend plusieurs phases qui peuvent être itératives pour une meilleure optimisation :

- ◆ définition de la géométrie et de la résistance globale de la structure;
- ◆ définition des éléments de jet constituant la structure en tenant compte des caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques du terrain, des performances des systèmes de jet et de leurs contraintes;
- ◆ réalisation d'essais préliminaires pour vérifier que la méthode et les paramètres de jet choisis répondent aux exigences de la conception.

La sélection du système de jet et de ses paramètres s'opère en évaluant :

- ◆ l'énergie du jet à mettre en œuvre suivant le rayon d'action souhaité avec le système de jet prévu;
- ◆ le dosage du coulis nécessaire pour atteindre la résistance demandée pour le sol traité.

Les objectifs techniques à atteindre et les travaux réalisés sont reportés sur l'encadré en dernière page.

La séquence des opérations nécessaires à la réalisation des colonnes de jet est la suivante :

- ◆ préperforation par carottage des fondations existantes pour pouvoir passer au travers les tiges de jet grouting;
- ◆ perforation à l'aide d'une perforatrice longue course, permettant d'atteindre la profondeur requise des colonnes de jet;
- ◆ injection à haute pression du coulis de ciment, qui vient désagréger le sol avoisinant pour former en remontant des colonnes de sol-ciment de diamètre moyen variable entre 1,00 et 1,40 m.

■ SYSTÈME DE CONTRÔLE - INSTRUMENTATION «CYCLOPS»

La complexité et la sensibilité des travaux sur la structure existante ont nécessité l'installation d'un système de contrôle automatique permettant le suivi en temps réel des déformations et des températures, et de mesurer leur variation avec le temps. Les conditions contractuelles et techniques du chantier autorisaient un tassement de 5 mm seulement durant la durée des travaux.

Le système Cyclops

Il a été ainsi décidé d'installer un système automatique de mesure et de contrôle utilisant un théodolite motorisé. Soldata et IGN, l'Institut géographique



Travaux de terrassements et reprise en sous-œuvre des fondations anciennes

Earthworks and ground improvement work on the old foundations



Préparation de la perforation pour les injections de régénération

Preparation of drilling for regeneration injection



Hydrofraise compacte en cours d'opération
 Compact hydro-cutter in operation



Mise en place du système de surveillance Cyclops
 Setting up the Cyclops monitoring system

Figure 5
Déplacement vertical des poteaux en fonction de la température
Vertical target values in function of temperature

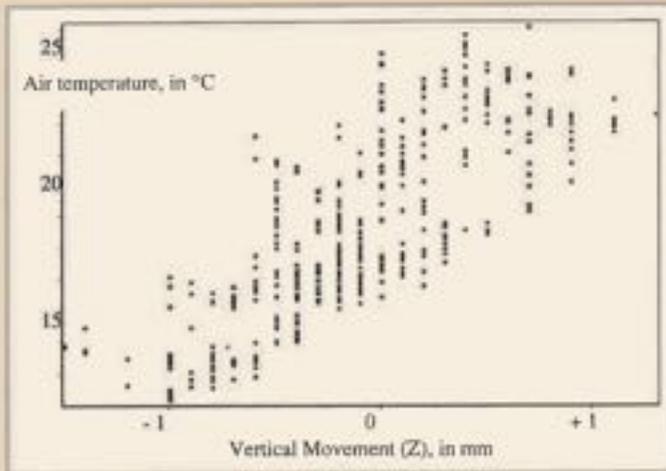


Figure 6
Comparaison des mouvements verticaux des deux poteaux au nord et au sud, en fonction de l'avancement des travaux de paroi au sud
Comparison of vertical targets movements, for 2 pillars in North and South areas, as diaphragm wall excavation work proceeds

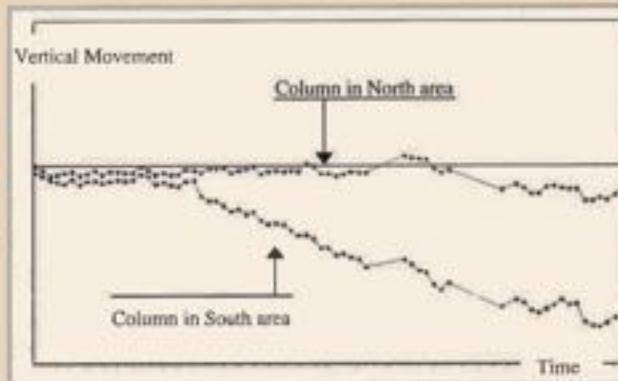
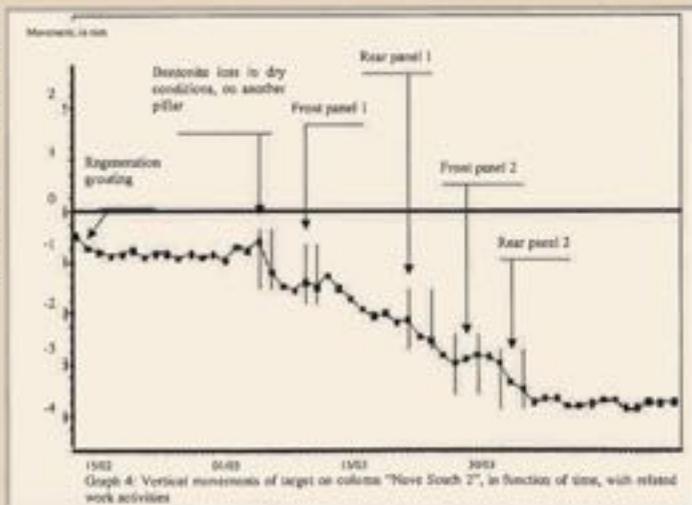


Figure 7
Mouvements verticaux du poteau Nef-sud n°2 en fonction du temps et des diverses phases d'exécution
Vertical movements of target on column "Nave South 2", in function of time with related work activities



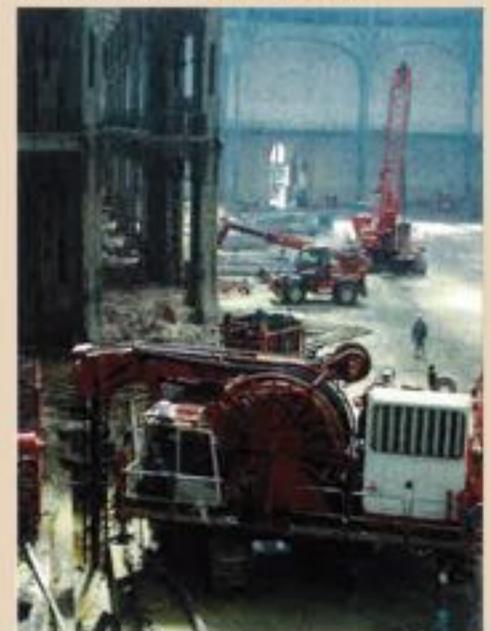
national, ont codéveloppé ce concept en 1997, et l'opèrent conjointement sur de nombreux projets de part le monde.

Cyclops est un système global de surveillance automatique comprenant une station théodolite motorisée équipée d'un enregistreur vidéo de paramètres sous contrôle informatique. Le système inclut de plus un logiciel permettant d'obtenir un contrôle global totalement versatile et convivial. Equipé de séquences de calculs correctifs compensant pour tout mouvement du théodolite et tout changement de températures ou tout autre élément externe, Cyclops permet la mesure en continu de tous mouvements. Sur ce chantier du Grand Palais, le Cyclops a été installé au centre de la structure, sur un mat de 2 m de hauteur, assurant ainsi une optimisation des lignes de visée. Les cibles sont implantées sur chaque pilier métallique. Des cibles additionnelles ont été installées sur l'arrière de ces piliers, pour permettre d'obtenir des informations sur les tassements différentiels pouvant survenir.

Capteurs de température

Des questions se posaient quant à la réaction de la structure métallique aux variations de température durant les travaux. Bien qu'il fût clair que le point d'intérêt concernait la base inférieure des poteaux métalliques (tassement ou mouvement possibles durant les travaux), il était envisageable que l'impact de tout changement de température sur la structure métallique induise un changement "naturel" des contraintes, et provoque un mouvement qui ne serait pas dû aux travaux en cours.

Hydrotraise HC03 compacte en opération Compact hydro-cutter HC03 in operation



Vue générale, derrière et ensemble du chantier
General view, glass roof and overall project



RÉHABILITATION D'OUVRAGES

Il a donc été décidé d'installer deux capteurs de température, un au niveau du sol, l'autre au sommet d'un poteau, sous le dôme. Les capteurs sont lus automatiquement et enregistrés en temps réel sur la même base de données de celle du Cyclops, permettant ainsi une corrélation aussi précise que possible (figure 5).

Enregistrement des données et traitement en temps réel

Un ordinateur installé dans les bureaux du chantier contrôle le Cyclops, réalise tous les calculs nécessaires, enregistre, emmagasine et présente les rapports de données et d'enregistrements, gère les alarmes.

Les interfaces entre le Cyclops et les capteurs de température sur site d'un côté et l'ordinateur du bureau de l'autre, sont réalisées par liaisons radio. Le résultat final qui apparaît sur l'écran de l'ordi-

nateur est une image représentant en temps réel l'état actuel de la structure en fonction de l'avancement des travaux, sans aucun câble de connexion à l'instrumentation installée : ceci facilitant bien sûr son installation et minimisant toute nuisance aux activités du chantier.

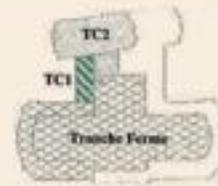
La paroi moulée a été dimensionnée et construite pour protéger les fouilles futures mais également pour réduire les tassements autour des excavations nécessaires au pied des fondations actuelles pour réaliser ces travaux de reprise en sous-œuvre. Il est donc montré qu'un dimensionnement adéquat permet de contrôler et limiter tous mouvements pendant la phase d'excavation à l'intérieur de la paroi moulée. Mais des tassements différentiels pendant la construction même de la paroi moulée peuvent survenir et c'est ceux-ci qu'il fallait contrôler.

Les mesures faites ont indiqué que ces déformations étaient tout à fait acceptables (figures 6 et 7).

LA RÉPARTITION DES TRAVAUX

La figure 8 illustre la répartition des travaux avec pour le lot 1 – travaux de confortation des fondations et instrumentation – les sous-lots suivants :

- ◆ sous-lot 1.1 : travaux préparatoires + gros œuvre : Soletanche Bachy (mandataire) + SCGPM (figure 9);
- ◆ sous-lot 1.2 : paroi moulée - Soletanche Bachy (mandataire);
- ◆ sous-lot 1.3 : jet grouting + injection + micropieux : Soletanche Bachy mandataire de la S.E.P Soletanche Bachy/Sple Fondations/SMET.



Fondations
Gros Œuvre

Charpentes
& verrières

Couverture
pierre

Lot 1

Lot 2

Lots 3 & 4

SOLETANCHE BACHY
SCOPE
SPLÉ FONDATIONS
SMET

EFFEL

GALLOZZI
QUELIN

21,2 M €

22,8 M €

7 M €

Figure 9
Sous-lot 1.1.
Travaux préparatoires et gros œuvre
Work sub-section 1.1. Preparatory works and structural work

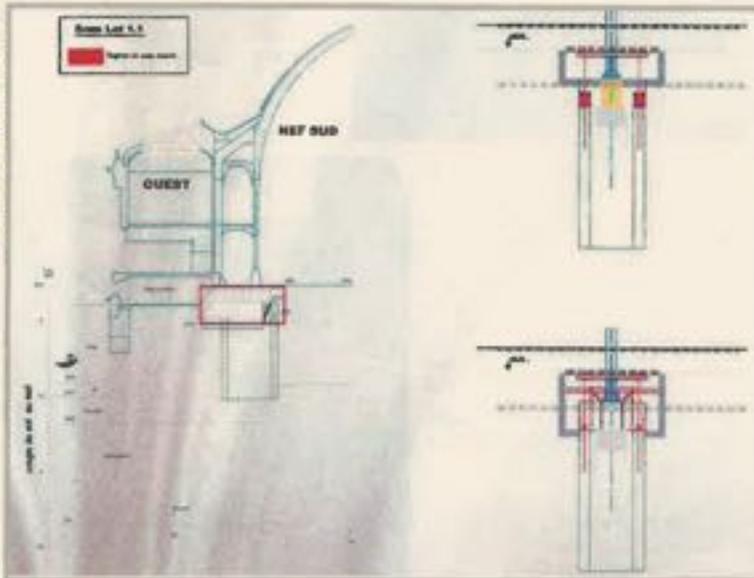


Figure 8
La répartition des travaux
Work breakdown



Vue de la centrale à boue pour la paroi moulée
View of the slurry plant for the diaphragm wall

OBJECTIFS DES TRAVAUX DE JET GROUTING

- Reprendre les fondations de la nef nord (TF) ainsi que celles du Palais d'Antin (TC) et galeries latérales sud

- Quantités : 2100 colonnes (représentant 27 000 ml de perforation et 17 000 ml de jet grouting)

- Diamètres : 1,00 et 1,40 m

- Moyens : 3 ateliers sur 1 poste quotidien

- Délai d'exécution : 12 mois



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'architecture et du patrimoine

Mandat de maîtrise d'ouvrage

ÉMOC, Etablissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels

Assistance à la maîtrise d'ouvrage

- Bureau de contrôle : Socotec
- Coordination sécurité et protection de la santé : Jacobs Sereta
- Ordonnancement pilotage coordination : Planitec BTP

Maitrise d'œuvre

- Architecte mandataire : Alain-Charles Perrot, architecte en Chef des Monuments Historiques
- Architecte : Jean-Loup Roubert, architecte en Chef des Bâtiments civils et Palais nationaux
- Concepteur technique : Setec
- Economiste : Fernand Tomasina, vérificateur des Monuments historiques

Les entreprises

Lot 1 : gros œuvre fondations

- Mandataire : Soletanche Bachy
- Spie SCGPM
- Spie Fondations
- SMET TS

Lot 2 : charpente métallique verrières

- Eiffel

Lot 3 : couverture métallerie

- Mandataire : Galozzi entreprises
- SA Toitures Petit & Fils
- Miege et Piollet Entreprise SA
- Van Mullem

Lot 4 : pierre de taille

- Quelin



Unité de dessablage
Sotres 450 m³/h

Sotres degritting unit,
450 cu. m/h

Excavation à l'hydrofraise compacte dans la nef sud
Excavation by compact hydro-cutter
in the South nave



LES MOYENS LOGISTIQUES UTILISÉS

Les moyens en matériel

- Excavation à l'hydrofraise compacte
- Grue de service Liebherr 841
- Centrale de criblage : Sotres 450 m³/h
- Fabrication boue : centrale Melk
- Stockage boue : cuves et bacs (500 m³ de stockage)
- Organisation en deux postes quotidiens

RÉHABILITATION D'OUVRAGES

CONCLUSION

Cette première tranche des travaux (paroi moulée, génie civil et poutres de chaînage, jet grouting), commencée début 2002, s'est achevée en septembre 2002, dans les délais impartis. L'investissement total pour cette phase représente un montant de 125 M€.

A partir de 2003, démarrera la phase de restauration des façades et toitures qui devrait s'achever en 2005, tandis que début 2004, on procédera à la remise en place des quadriges. La livraison de la suite des ouvrages et des charpentes de la nef est prévue pour 2005.

Le Grand Palais que les visiteurs retrouveront en 2007 sera sensiblement différent de celui qu'ils ont quitté en 1993, plus lumineux et moins chaud. Il retrouvera ainsi sa vocation originelle, celle de "place publique" accueillant manifestations artistiques, salons, défilés de mode, conférences...

LES DÉLAIS

- Août 2001 : dépose du quadrigé côté Champs Élysées
- Octobre 2001 : dépose du quadrigé côté Seine
- 2002 - 2005 : confortation des fondations et des charpentes de la nef
- Début 2004 : remise en place des quadriges
- 2003 - 2005 : restauration des façades et toitures

ABSTRACT

The Grand Palais. Foundation renovation works and control instrumentation

V. Dore, Y. Amicef, G. Sahí

The renovation works on the Grand Palais, work section 1, "Foundation Structural Work", are performed by the consortium formed of Soletanche Bachy (representative), Spie SCGPM, Spie Foundations and SMET TS. These works involve consolidation of the foundations in the South section (mainly on wooden piles) and the foundations of the nave.

This article describes the renovation and instrumentation works carried out in the Grand Palais. The works include the construction of a perimeter diaphragm wall, concrete foundations and wall-tie girders for absorbing forces and for linking with the present structure, and ground improvement by jet grouted columns around and below the current foundations. An automatic monitoring system was set up, due to the sensitivity of the metallic and glass structure.

RESUMEN ESPAÑOL

El Grand Palais de París. Obras de renovación de los cimientos e instrumentación de control

V. Dore, Y. Amicef y G. Sahí

Las obras de renovación del Grand Palais, lote 1, "Obra estructural de los cimientos", se han llevado a cabo por el Grupo Soletanche Bachy (empresa encabezadora), Spie SCGPM, Spie Foundations y SMET TS.

Estas obras se refieren a la consolidación de los cimientos de la parte Sur (principalmente sobre pilotes de madera) y los cimientos de la nave principal. Se presentan en este artículo las obras de renovaciones y de instrumentación que se han implantado en el Grand Palais. Las obras incluyen la construcción de una pantalla continua perimetral, de apoyos de hormigón y de vigas de concatenación para transmitir los esfuerzos y el enlace con la estructura actual, así como de recalce de cimientos por columnas "jet grouting" en torno y por debajo de los cimientos

actuales. Se ha instalado un sistema de control automático, debido a la sensibilidad de la estructura metálica y de vidrio.



PRÉSERVONS L'AVENIR



Végétalisation des toitures
terrasses de la Cité de la Musique
sur l'île Seguin à Boulogne-
Billancourt.

Dans une volonté de concevoir des solutions végétalisées durables et écoresponsables, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation en créant des infrastructures vertes en milieu urbain. Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

Cité de la musique, île Seguin
Matelas de gabions – 4000 m²
Macmat® renforcé acier – 5700 m²

MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr