

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**VILLE ET PATRIMOINE.** AMELIORATION DE LA BIFURCATION A9-A61. TRAMWAY DE CAEN. METRO DE TOULOUSE - DOUBLEMENT DE LA CAPACITE STATION JEAN JAURES. SUPRAWAYS. UTILISER LES RESEAUX DE COLLECTE POUR LA RETENTION DES EAUX PLUVIALES. NAUSICAA - CENTRE NATIONAL DE LA MER A BOULOGNE SUR MER. LE PARKING DU COLONEL JEANPIERRE A AIX-EN-PROVENCE. NOUVELLE VIE POUR LE PONT DU RAY PIC EN ARDECHE. TRESORS DE NOS ARCHIVES : PARC ZOOLOGIQUE DE VINCENNES

N° 952 JUILLET-AOÛT 2019



TRAMWAY  
DE CAEN  
© ASyAS/ATTICA

LES TRAVAUX  
PUBLICS  
FÉDÉRATION  
NATIONALE

1859  
2019



L'assureur  
**SMA** 160 ans  
au service  
du **BTP**



Retrouvez tous nos produits  
d'assurance sur [groupe-sma.fr](http://groupe-sma.fr)



Conception - direction de la communication : Crédits photos : © Didier Morel / © Marc Kraver / © goodie / Fotolia - SMA avril 2019

  
**SMABTP**  
BÂTI L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**SMA** **VIE**

**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**

Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fnpt), Florent Imberty (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Léon Grosse), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Solène Sapin (Bouygues Construction) Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnpt)

**Ont collaboré à ce numéro****Rédaction**

Monique Trancart (actualités),

Marc Montagnon

**Service Abonnement et Vente****Com et Com****Service Abonnement 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

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

**Directeur de clientèle**

Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04

b.cosson@rive-media.fr

**Site internet : www.revue-travaux.com****Édition déléguée****Com'1 évidence**

2, chemin dit du Pressoir

Le Plessis

28350 Dampierre-sur-Avre

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).

Éditions Science et Industrie SAS

9, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n°0218 T 80259

ISSN 0041-1906

## LES OUVRAGES OLYMPIQUES ET PARALYMPIQUES : PATRIMOINE DE LA VILLE DE DEMAIN



Si la SOLIDEO a pour mission première de garantir la livraison des ouvrages olympiques et paralympiques afin de proposer une expérience parfaite aux athlètes qui participeront aux Jeux de Paris en 2024, elle a aussi le dessein de démontrer au monde les savoir-faire français (et européen) en matière de construction de la ville de demain.

La diversité de ces ouvrages, procédant de la rénovation, de la construction ou de l'aménagement d'espaces publics, d'infrastructures, d'équipements sportifs ou publics, et de logements (Villages des athlètes et Cluster des médias), offre une possibilité unique de façonner durablement les territoires qui vont les accueillir.

Mais comment dessiner cette ville ? Comment l'imaginer pour qu'elle relève les cinq grands défis des trente-six prochaines années : neutralité carbone, confort dans un climat plus rude, tensions sur les matériaux de construction, réintroduction de la biodiversité en ville, vieillissement de la population ?

Résolument, il faut la repenser. L'offrir en renouvelant les méthodes qui permettent de la fabriquer. Définitivement innovante, résiliente, durable, inclusive et accessible, la ville de demain doit incarner

la conception d'un patrimoine urbain entièrement dévolu aux territoires, à leurs habitants et aux générations futures. Elle doit imposer créativité, exigence, partage. Il est là le secret : engageons les mutations urbaines nécessaires, valorisons l'existant, transformons les friches, réemployons les matériaux, construisons bas carbone, prescrivons une mobilité verte et motivons la participation active des futurs usagers !

Pour répondre à cette immense ambition, distinguons-nous, singularisons-nous pour que tous les aspects de la vie sociale, économique et environnementale soient pris en compte. C'est pour à cette fin que la SOLIDEO s'est dotée d'une stratégie d'excellence environnementale, d'une stratégie d'accessibilité universelle, mais aussi d'une charte en faveur de l'emploi et du développement territorial, qu'elle entend faire appliquer à l'ensemble des maîtres d'ouvrage, publics comme privés, engagés dans la réalisation des ouvrages olympiques et paralympiques.

Pour réaliser cet exploit et donner envie aux autres villes de s'en inspirer, nous disposons de leaders internationaux dans tous les domaines : de la conception à la construction, en passant par le génie et le mobilier urbain. Les Jeux de Paris seront l'évènement sportif le plus important jamais organisé en France, et l'occasion indéniable d'illustrer et de présenter au monde la vision française de la ville de demain, vitrine de nos filières stratégiques.

Nos aînés nous ont appris à bâtir des villes, apprenons maintenant à les métamorphoser, en tirant parti du potentiel des innovations déclinées dans ces ouvrages, héritage patrimonial de la ville de demain.

Voilà notre vision ! Voilà notre défi collectif !  
Et nous le relèverons !

**NICOLAS FERRAND**

DIRECTEUR GÉNÉRAL EXÉCUTIF DE LA SOLIDEO

# VILLE



# PATRIMOINE

SUPRAWAYS © SUPRAWAYS





04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC PASCALE DUMEZ**  
SIXENSE : CYCLE DE VIE DES INFRASTRUCTURES, INGENIERIE DE L'EXISTANT ET GESTION PATRIMONIALE

22 AIR D'ECO-DRONE : DRONE + LiDAR, METTRE AU JOUR LES TRACES DU PASSÉ



32

**AMÉLIORATION DE LA BIFURCATION A9-A61**  
Ouvrages d'art



39

**TRAMWAY DE CAEN**  
Le défi réussi de la transformation d'un tramway sur pneus en un tramway sur rail



46

**MÉTRO DE TOULOUSE**  
Doublement capacité Ligne A station Jean Jaurès - Lot n°2 et 7



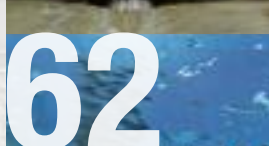
51

**SUPRAWAYS**  
Le transport au service des usagers et du territoire



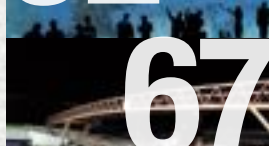
56

**UTILISER LES RÉSEAUX DE COLLECTE POUR LA RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES**



62

**PLANÈTE NAUSICAA**  
Centre national de la mer à Boulogne-sur-mer



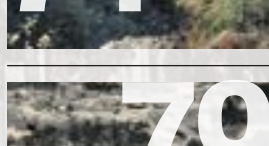
67

**LE PARKING DU COLONEL JEANPIERRE**  
à Aix-en-Provence



74

**UNE NOUVELLE VIE POUR LE PONT DU RAY PIC**  
en Ardèche



79

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE NOUVEAU PARC ZOOLOGIQUE DE VINCENNES**  
Numéro 18 - Juin 1934



## LE PONT DU RAY PIC FAIT L'OBJET DES SOINS ATTENTIFS DUS AU PATRIMOINE EN PÉRIL

**DEMATHIEU BARD** s'emploie à rénover le pont du Ray Pic en Ardèche, sur la rivière éponyme qui présente des chutes spectaculaires. C'est un ouvrage en béton armé de 35 m de portée, construit en 1934, dont la vétusté est avérée. Il est implanté en zone montagneuse difficile. Son importance est stratégique pour assurer le lien avec des zones isolées. Les travaux doivent être réalisés hors des périodes touristiques et en tenant compte des conditions climatiques souvent rudes en hiver. Sur son réseau routier de 3 800 km, le département de l'Ardèche compte 2 224 ouvrages de génie civil gérés par le service Réhabilitation et Patrimoine.

(Voir article page 74).



## RÉALITÉ AUGMENTÉE SUR CHANTIER : PREMIERS PAS EN GRANDEUR NATURE

**Amener la maquette numérique en 3D (Bim) sur le terrain n'est pas aisé, vu son poids numérique et sa visualisation sur de petits écrans. Vinci Construction et NGE expérimentent des dispositifs qui superposent projet et réalité.**



Près de 4 000 réservations dans le bâti ont été contrôlées sur le nouveau court central de Roland Garros.

La modernisation du stade Roland Garros à Paris 16<sup>e</sup> est entrée dans sa 4<sup>e</sup> phase, la dernière (achèvement en 2021). Vinci Construction, qui a remporté le marché, a déployé en grandeur nature un outil de réalité augmentée sur chantier.

Avant le tournoi de tennis 2019, entre janvier et avril, le bon positionnement de près de 4 000 réservations pour réseaux a ainsi été vérifié lors de la reconstruction du court central Philippe-Châtrier. Cet

outil valorise la maquette Bim sur le chantier.

### → Visualisation grâce à un casque

L'opérateur-contrôleur porte un casque grâce auquel il visualise la maquette numérique qui apparaît alors sur un écran virtuel (pseudo projection holographique) dans le vide devant lui. Son casque comporte plusieurs caméras qui calculent sa position. Maquette et réel peuvent alors se superposer révélant les écarts. « Lors du chantier du court central de

Roland Garros, nous avons fait remonter des non conformités qui ont pu être résolues plus efficacement et avant le passage des réseaux, explique Raphaël Gueulet, ingénieur R&D chez Dodin Campenon Bernard (filiale Vinci Construction), pilote du projet<sup>(1)</sup>. La prochaine étape sera d'utiliser cet outil au stade des mannequins de réservation. L'installation de la solution sur chantier, avec les marqueurs (repères géographiques), prend du temps. Il faut l'intégrer plus en amont dans les procédures. »

Les marqueurs servent à faire correspondre maquette numérique et construction en cours. Pour les contrôles de réservations, ils sont appliqués physiquement sur une paroi du chantier puis géoréférencés.

### → Employée sur Iter

Le dispositif sert aussi à contrôler des cages d'armature en préfabrication, montées et en place avant coulage du béton. Le calage entre maquette de ferrailage et ferrailage réel peut s'effectuer de manière relative, en positionnant un marqueur physique sur le ferrailage et en évaluant sa distance à l'objet à contrôler.

La solution avait été expérimentée en 2017 et 2018, notamment sur le chantier d'Iter<sup>(2)</sup>. Parallèlement à un géomètre, elle a permis de vérifier la position d'une partie des inserts sur le support de la cuve du réacteur, avant coulage.

Les inserts sont des plaques métalliques présentes dans les armatures du béton et sur lesquelles seront soudés des équipements. Cela évite de percer le béton (confinement radiologique).

Les premières études de faisabilité du procédé ont démarré en 2017. Né d'une collaboration entre Dodin Campenon Bernard et Clarte, centre de recherche appliquée spécialisé, le procédé a abouti à un produit commercial porté par Discern, entreprise issue du projet R&D collaboratif mené par Clarte, Vinci Construction et Chantiers de l'Atlantique.

### → Luminosité extérieure

L'équipe n'a pas retenu un dispositif sur smart phone à cause de dérives de mesure en 2017 mais il sera étudié de nouveau.

L'outil continue de se perfectionner. Le clic sur l'hologramme (dans le vide) n'est pas très pratique. Une télécommande à plusieurs boutons est à l'étude. « Le principal problème est la visualisation en extérieur avec forte luminosité, remarque Raphaël Gueulet. Nous avons utilisé un film teinté pour la diminuer et avons choisi des couleurs criardes pour la maquette. »

[www.afgc-asso.fr](http://www.afgc-asso.fr) ■

<sup>(1)</sup> Intervenu aux journées techniques de l'AFGC, le 20 mars.

<sup>(2)</sup> Réacteur à fission nucléaire : cf. Travaux n°935, septembre 2017, page 6.

## CASQUE ET TÉLÉPHONE PORTABLE SUR LE TERRAIN

« C'est trop tôt pour utiliser un casque de réalité augmentée sur chantier, affirme Paul Sancey, directeur innovation de NGE<sup>(1)</sup>. Il entame le champ de vision. Il est lourd. Il donne la nausée, à cause du décalage d'image, quand on tourne la tête, on perd ses repères. Il est peu propice au partage sur le terrain. C'est plus facile de montrer quelque chose à un collègue sur un smart phone, et d'en discuter. Mais le plus gênant, c'est de tendre le bras vers un clavier virtuel, geste "ridicule". La pression sociale est forte autour de ça. »

La réalité augmentée a toutefois sa place sur chantier. Grâce à elle, projet et réalisation (récolement) convergent au fur et à mesure de l'avancement d'une cons-

truction. NGE, en testant des outils, en particulier sur les travaux du Grand Paris depuis 2018, prépare la mise en place du Bim 3, c'est-à-dire une maquette numérique fidèle à la réalité, complète, et valable sur la durée de vie d'une réalisation.

### → Personnaliser l'application

Actuellement, le transfert de la maquette numérique sur chantier est lourd, long et fastidieux. En l'absence de lien entre maquette numérique et terrain, les mises au point font l'objet d'allers et retours peu formalisés entre projeteur et chef de chantier.

NGE opte pour une solution sur smart phone à grand écran qu'on met dans la poche. « La personnalisation d'une appli-

cation pour l'utilisation sur chantier est au moins aussi importante que l'ergonomie de l'appareil, observe Paul Sancey. Le personnel de chantier a besoin de renommer facilement les boutons selon son vocabulaire. »

### → Quels repères en VRD et tunnel ?

Enfin, autre point à résoudre : quels repères physiques choisir sur un chantier de voirie et réseaux dans une rue ? En l'absence de paroi ou de sol sur lesquels se caler par 3 points dans l'espace, peut-on utiliser les regards, les abribus, etc. ? Même interrogation en tunnel circulaire. ■

<sup>(1)</sup> Intervenu aux journées techniques de l'AFGC, le 20 mars.



Rapprochement d'une réservation sur maquette numérique avec celle réalisée.



## ACCÉLÉRER LA TRANSFORMATION DES FRICHES



© EPFL SAVOIE

L'état de la papeterie à Entre-Deux-Guiers (Savoie) a été étudié par l'EPFL de Savoie afin d'aider les collectivités locales à décider de son avenir.

Début juin, un groupe de travail a été monté par le ministère de la Transition écologique et solidaire pour accélérer la réhabilitation des friches. Cette mesure répond à une préoccupation des

élus locaux exprimée lors du grand débat national (15 janvier - 15 mars) décidé par le Président de la République suite au mouvement des gilets jaunes. Une quarantaine d'acteurs réfléchit à

comment lever les freins à la transformation d'anciens sites industriels, militaires, etc., pour un certain nombre situés près des centres-villes.

### → Un inventaire par département

Un inventaire par département doit être dressé, conformément à la demande d'Emmanuel Macron à l'issue de la 1<sup>re</sup> réunion du Conseil de défense écologique, le 23 mai. À noter que l'Établissement public foncier local de Savoie a bien avancé sur le sien<sup>(1)</sup>.

### → Premières conclusions en septembre

Quatre sous-groupes vont plancher sur la simplification des procédures administratives, la mobilisation des capitaux, l'implantation d'énergies renouvelables sur ces terrains ou leur retour à la nature, et comment prévenir de nouveaux abandons de sites.

Les participants devaient se rencontrer plusieurs fois et remettre leurs premières conclusions en septembre. ■

<sup>(1)</sup> Cf. *Travaux* n°947, décembre 2018, page 10.

## PARTENARIAT POUR LA PRÉSERVATION DU PATRIMOINE

Le Cerema et l'association Sites et cités remarquables de France ont signé un partenariat pour la préservation du patrimoine, le 16 mai, à Figeac (Lozère).

Leur programme commun comprend trois axes.

Les deux structures continuent de soutenir le Centre de ressources pour la réhabilitation du bâti ancien (Creba) qu'elles ont créé sur internet. Le portail centralise les ressources techniques, les bonnes pratiques et propose un outil d'aide à la décision. Elles mettront en place des coopérations nationale et internationale pour promouvoir les matériaux bio-sourcés (bois, liège, paille, etc.) et l'amélioration énergétique. Enfin, elles vont contribuer aux programmes du Commissariat général à l'égalité des territoires comme "Action cœur de ville" et d'autres en cours sur l'espace public et la valorisation du patrimoine.

## L'ÉNERGIE DES TRAINS DE DEMAIN

Le train autonome est au programme du contrat stratégique de la filière ferroviaire, signé début avril par les ministres des transports, de l'Économie et des finances, et les représentants du comité stratégique de cette filière.

Dans un premier temps, il s'agit d'équiper les locomotives d'une aide à la conduite. À terme, des conducteurs pourraient être à la tête de plusieurs trains en télé conduite. Cela réduit l'installation d'équipements à la voie. Des prototypes pour le fret et le RER sont envisagés pour 2023. La SNCF travaille dans ce domaine avec l'Institut de recherche technologique Railenium (UTC Compiègne).

### → À hydrogène et à batteries

Ces innovations s'inscrivent dans l'axe recherche et innovation du contrat stratégique.

En matière d'alimentation énergétique des trains, condition d'une mobilité durable, il est aussi question de sortir la 1<sup>re</sup> flotte à hydrogène en 2020 sur des lignes non électrifiées (48 % du réseau). La conversion d'un train diesel à l'électricité 100% par batteries va être expérimentée. Autre mesure en faveur de la filière fer-



© ARNAUD FÉVRIER/SNCF RESEAU

Contrôle de l'alimentation électrique en gare de Marseille (2017).

roviaire : un centre d'essais commun (CEPCIE) sera créé à Valenciennes (Nord). Pour démarrer, le centre opéré par les industriels et Railenium bénéficiera de subventions et de fonds privés.

L'industrie ferroviaire française est bien placée sur les innovations énergétiques et la digitalisation du réseau. Comptant 1 300 entreprises (2017) à 90 % des PME, elle manque toutefois d'établis-

sements de taille intermédiaire et de grosses PME, selon le comité stratégique.

### → Sans oublier emplois et compétences

Le contrat comporte deux axes sur l'emploi, l'un généralisant l'expérience des Hauts-de-France (compétitivité accompagnement rail emploi), l'autre portant sur la gestion prévisionnelle des emplois et compétences. ■



© GILLES TORDJEMAN/VILLE DE FIGEAC

Place des écritures à Figeac (Lozère) bien mise en valeur.

## RECONVERTIR LES FRICHES

L'Agence de la maîtrise de l'énergie et de l'environnement (Ademe) organise des journées techniques nationales sur le thème "Reconvertir les friches polluées", les 24 et 25 mars 2020, à Paris (Porte Maillot).

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

## PARTAGER L'EAU SUR UN TERRITOIRE

Un réservoir d'eau de pluie en façade est en cours d'installation sur un immeuble du 10<sup>e</sup> arrondissement de Paris (Paris Habitat). Faltazi a conçu un réservoir métallique qui se substitue à la gouttière. En pied, un robinet. L'eau stockée peut servir à l'arrosage ou à un autre usage\*. Le trop-plein part à l'égout.

Cette solution est une réponse urbaine à la volonté du gouvernement de partager la ressource en eau sans recourir aux rivières et nappes.

Le 7 mai, les ministres de la Transition écologique et solidaire et de l'Agriculture, ont signé une instruction aux préfets afin de généraliser les projets de territoires pour la gestion de l'eau (PTGE). Ces projets garantissent une démarche concertée entre usagers de l'eau.

La démarche comprend un diagnostic des ressources et des besoins, des actions d'économie d'eau, un accompagnement des agriculteurs, la réduction des surfaces imperméables pour favoriser l'infiltration, une priorité donnée aux utilisations pour la santé, la sécurité civile et l'eau potable, des ouvrages de stockage quand il pleut.

\* Concours 2017-2019 Faire de l'Atelier parisien d'urbanisme ([www.apur.org](http://www.apur.org)).



Réservoir d'eau de pluie en façade pouvant servir à l'arrosage.

## DÉMONTAGE DE BÂTIMENTS DES ANNÉES 1980



© UNICEM

Le travail des cinq pelles d'abattage du bâti et de tri sur place doit être bien coordonné.

Cinq pelles travaillent de concert à démolir le siège de Thalès (1985) à Colombes (Hauts-de-Seine).

La plus grosse, de 130 tonnes, équipée d'une pince, abat planchers et poteaux. À ses côtés, une autre pelle dégage ce qui tombe et le dirige vers 3 autres engins qui fractionnent, broient, séparent béton, fers à béton, métal.

La poussière est rabattue par un gros brumisateuse.

Un ouvrier dirige sa lance à eau au plus près des machines.

### → Site racheté par la Ville

Les déchets triés forment des tas qui partiront dans différentes filières de recyclage : béton (63 000 tonnes), ferraille (300 tonnes), profilés métalliques, métal plat, isolants, etc.

Auparavant, l'intérieur de l'immeuble en étoile de 3 ou 4 étages a été curé et désamianté. La déconstruction se termine cet automne. Le site a été racheté par la Ville. Les 4 bâtiments Thalès lais-



© UNICEM

Cet immeuble de 3-4 étages a été curé et désamianté avant d'être déconstruit.

seront place à un nouveau quartier, l'Arc sportif, situé près d'une piscine, d'une patinoire et d'un stade. Y seront construits un gymnase, 2 000 logements (5 000 habitants), deux écoles, une crèche et 3 parcs.

La déconstruction est réalisée par Cardem (filiale d'Eurovia). Les déchets béton et ferraille partent chez SPL, autre filiale d'Eurovia implantée à Gennevilliers, à quelques kilomètres au nord.

### → Revente de matériaux élaborés

Le béton issu de la déconstruction sera débarrassé des derniers morceaux de métal si nécessaire, par un aimant, et sa granulométrie, divisée par dix, environ. Bois et plastiques encore présents dans les lots de déchets, sont extraits par immersion dans un bassin. Ils se mettent à flotter et sont retirés à la brosse.

SPL revend les matériaux une fois triés et élaborés, principalement des sables et granulats. « La revente compte pour 80 % de notre chiffre d'affaires et les entrants (déchets) pour 20 %, » précise Blandine Revest, chef de cette agence SPL. ■

## 90% DES DÉCHETS INERTES RECYCLÉS EN 2025

Le BTP recycle ou valorise plus de 70 % de ses déchets inertes (non dangereux), conformément à la demande de l'Union européenne : 148 millions de tonnes repartent ainsi dans le circuit sur les 211 millions de tonnes inertes.

Au total, le bâtiment et les travaux publics produisent 227 millions de tonnes de déchets dont une fraction inutilisable.

### → Centre de ressources

Ces chiffres émanent d'une mise en commun de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de

construction (Unicem) et du Service de la donnée et des études statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire. Ils sont développés sur la plateforme internet Materrio<sup>(1)</sup>, centre de ressources décidé dans l'engagement pour la croissance verte (ECV).

Les industriels estiment qu'il est possible d'atteindre 90 % de recyclage des déchets inertes en 2025, ce qui couvrirait 30 % des besoins en granulats dans la construction (28 % actuellement des 435 millions de tonnes de granulats par an).

### → Engagement 2019-2022

Un second ECV est en préparation pour la période 2019-2022. Il est, cette fois, conçu avec l'Assemblée des régions de France.

« Les objectifs seront déclinés par région, les Dreal seront impliquées, de façon à être plus efficaces et plus opérationnels, » a précisé Nicolas Vuillier, président de l'Unicem.

<http://materrio.construction> ■

<sup>(1)</sup> Partenaires : Unicem, FNTP, Ademe, ECV Green Deal (ministère).



**Comment  
protéger  
une trémie  
d'escalier ?**

**PréventionBTP**

**En direct**

**Une réponse immédiate** à vos questions sécurité  
et prévention grâce à nos experts OPPBTP



**preventionbtpdirect.fr**



**PASSEZ SIMPLEMENT À LA PRÉVENTION**

**OPPBTP**  
La prévention BTP

## SMART CITIES À L'ÉPREUVE DU BRÉSIL

L'Agence française de développement a choisi Egis pour accompagner quatre villes brésiliennes dans la numérisation de leurs services urbains. Il s'agit d'adapter l'expérience française en villes intelligentes aux besoins brésiliens et de la marier aux initiatives déjà en place. Les représentants de Sao Paulo, Recife, Curitiba et Belo Horizonte bénéficieront de voyages d'études en France et de différentes prestations, notamment dans le domaine des déplacements.

## PLATEFORME DIGITALE INFRASTRUCTURES

Sixense a signé un accord de cinq ans avec IBM pour déployer une plateforme internet dédiée à la construction et à la gestion d'infrastructures. Beyond, hébergée dans l'environnement web d'IBM, donnera accès à de nombreuses catégories de données infrastructures et bâtiment. Elle couvre toutes les phases de la conception à l'exploitation.

Rappelons que Sixense est spécialisée dans la transformation numérique des processus, les bases de données et le suivi d'ouvrages.

## CO-ENTREPRISE EN ÉOLIEN EN MER

Engie et Energias de Portugal (EDP) vont créer une entreprise d'éolien en mer, en apportant chacun 50 % du capital. Le projet devait encore être approuvé par différentes instances, à la mi-juin.

Les partenaires mettent en commun leurs parcs d'éoliennes en mer actuels, soit un total de 1,5 GW en chantier et 4 en projet. Ils visent pour 2025, 5-7 GW au total de parcs effectifs ou en construction, et 5-10 GW en "développement avancé", selon leurs propres termes. Engie et EDP collaborent depuis 2013 sur plusieurs projets de ce type.

## TERRES RÉEMPLOYÉES DANS L'ÉCOQUARTIER FLAUBERT DE ROUEN



Sur la presqu'île Rollet, près du pont Flaubert à Rouen, la butte de terre créée avec les déblais, à droite de la voie en bitume, va devenir une forêt.

L'écoquartier Flaubert de Rouen (Seine-Maritime) sera terminé en 2035. L'idée de la communauté d'agglomération Rouen-Elbeuf de développer les rives de la Seine dans le centre de Rouen, remonte à 2001. En 2008, est retenu le groupement de concepteurs avec Jacqueline Osty, paysagiste-urbaniste, mandataire. À ses côtés : Attica, Egis (bureau d'études techniques) et Burgeat (sols pollués).

Le pont levant Flaubert (2008) est une des étapes du désenclavement des 90 hectares. Une partie des terrains était occupé par l'usine Solachar (charbon) et des activités pétrochimiques. Les déblais les plus pollués ont été dirigés vers des installations de déchets spécifiques.

En mai, la butte de la presqu'île Rollet s'est achevée en bord de Seine, au pied

du pont. Elle a été créée artificiellement par apport de 20 000 m<sup>3</sup> de terres impactées par les anciennes industries mais acceptables pour cet usage. Leur confinement consiste à déposer au centre et au plus profond, les plus impactées puis à épandre des couches de plus en plus "propres" jusqu'à celle de terre végétale. La butte, plantée de chênes, hêtres, frênes, acacias, etc., deviendra une forêt de 4 ha à l'image de celles qui entourent Rouen.

→ **Wagons-conteneurs spécifiques**  
Par ailleurs, les déblais de la déviation de Dieppe sont utilisés sur l'écoquartier pour remonter le sol entre la Seine et le Petit-Quévilly, jusqu'ici mal reliés, en particulier pour les piétons. Ces terres ont été transportées par train dans des wagons-conteneurs conçus pour l'occasion, jusqu'à

1 km du chantier. Un tracto benne les a acheminés à pied d'œuvre.

### → Canal créé de toutes pièces

Autre particularité des aménagements extérieurs de l'écoquartier : la création d'un canal, actuellement au stade des études. À cette occasion, 80 000 m<sup>3</sup> seront décaissés et valorisés dans le périmètre de l'opération.

Le bassin vient dans le prolongement d'une coulée verte en provenance du Petit-Quévilly vers la Seine. Il mesure 250 m de long par 60 de large et entre 1,50 et 2 m de profondeur.

Outre sa vocation à animer le quartier, il en recueille les eaux de pluie. En cas d'orage, son niveau monte de 50 cm puis revient à la normale en quarante-huit heures par une surverse vers le fleuve. ■



Le canal prolonge une coulée verte entre Petit-Quévilly et la Seine.

## LAURÉATS 2019 DU CONCOURS TRIENNAL AGA KHAN



Salles des manuscrits anciens de la Bibliothèque nationale Beyazıt à Istanbul après restauration.

Vingt projets sont entrés en compétition fin avril pour le prix d'architecture Aga Khan. Le lauréat sera désigné à l'automne et le prix, remis à Kazan en République de Tarastan (Fédération de Russie). Le concours Aga Khan se tient tous les trois ans. Il récompense des innovations en architecture, en préservation historique et en paysage, qui répondent aux besoins de communautés où les Musulmans « ont une présence significative ». Pour cette édition, elles doivent avoir été réalisées entre 2012 et 2017.

Notons que nombre de projets se situent au Moyen-Orient : Émirats arabes unis,

Qatar, Oman, Bahrain, Liban, Palestine, Iran. Parmi les candidats au prix 2019, citons les musées Mscheireb à Doha (Qatar), ensemble abrité par des maisons du début du 20<sup>e</sup> siècle autour de cours.

### → Galerie souterraine

Une galerie souterraine a été créée. Les salles des manuscrits anciens de la Bibliothèque nationale Beyazıt d'Istanbul (Turquie) ont été restaurées. Elles avaient été logées en 1884 à l'intérieur de la bibliothèque nationale qui remonte au 16<sup>e</sup> siècle. Le public peut dorénavant traverser les lieux, voir des manuscrits et apercevoir les salles de lecture. Le toit en

béton de la cour a été remplacé par une structure qui laisse passer la lumière et contribue à la climatisation.

### → Ventiler au lieu de climatiser

Au Bangladesh, un atelier de tissage a été construit de façon traditionnelle sur un terrain inondable cinq mois de l'année, grâce à une structure amphibie, sur pilotis semble-t-il, ancrée dans le site (le communiqué n'en dit pas plus). Les lieux avaient été achetés par la fondation Maleka Welfare pour en faire un centre social mais elle a dû y renoncer faute de solution technique. De hauts plafonds, des écrans en bambou et l'espace ouvert laissent entrer la lumière naturelle et assurent une ventilation suffisante pour se passer de climatisation.

### → Modules branchés sur le bâti

En Éthiopie, Arturo Vittori, architecte, a conçu une tour pour récolter l'eau de condensation : Warka Water. De forme triangulaire, de 9,5 m de haut, elle porte un textile qui capte la condensation, soit 100 litres d'eau potable par jour. Enfin, citons une bizarrerie esthétique : des modules qui se branchent sur du bâti dense qui ne sera pas rénové, à Pékin (Chine). Incorporés dans une cour, ils apportent le confort sans modifier l'architecture locale.



Un atelier de tissage est installé dans un bâtiment sur terrain inondable au Bangladesh.

## LE CONDUCTEUR, AUXILIAIRE DE L'ENTRETIEN DE LA ROUTE

Colas met à disposition du département d'Eure-et-Loir un service digital détectant le comportement des automobilistes et en déduisant la qualité de la route.

Grâce à un dispositif de Michelin Driving Date Intelligence, des personnes volontaires acceptent d'avoir leur conduite enregistrée dans la solution Anaïs de Colas. Les anomalies de comportement ainsi mises en évidence signalent des problèmes. A posteriori, après travaux, le système témoigne de leur résolution.

### → L'A10 à deux fois 3 voies

Par ailleurs, Cofiroute a confié des travaux d'élargissement de l'autoroute A10 à Colas projects (mandataire) avec Colas Centre Ouest, Aximum, Bouygues travaux publics régions France.

Le chantier du passage à deux fois 3 voies entre Veigné et Sainte-Maure-de-Touraine (Indre-et-Loire) a démarré en juillet. Mise en service : 2022.

Les 25 km se transforment en deux temps : 10 km puis 15. Ces travaux comprennent les terrassements, les modifications d'ouvrages d'art, les chaussées, l'assainissement, l'hydraulique, les équipements et la signalisation.



25 km de l'A10 en Indre-et-Loire auront 6 voies en 2022.

Tous les projets candidats sur [www.akdn.org/architecture/](http://www.akdn.org/architecture/) ■

### SALLE DE CINÉMA CIRCULAIRE

Le directeur du Mémorial de Caen (1988, Calvados) a conçu une salle de cinéma à 360°. Il l'a voulue noire, entre deux bâtiments en pierre claire, le premier dédié aux guerres mondiales, le second à la guerre froide.

La salle de 20 m de diamètre est en béton, isolé par l'extérieur et recouvert d'un bardage en métal.

Jacques Millet, architecte, a concrétisé le bâtiment achevé fin mars.

Les tôles du bardage ont été conçues, fabriquées et posées, en quelques mois par CCS Ouest, soit 93 pièces uniques dont 53 cintrées de 1 m de large par 4 de haut. Un géomètre de Geodis avait fait au préalable un relevé précis de l'extérieur du bâtiment circulaire.

À l'intérieur du "silo", CCS Ouest a également installé une charpente métallique en plafond pour accrocher projecteurs et matériel de sonorisation.



© CCS OUEST

Un bardage métallique noir recouvre maintenant le béton.

## HAUTE-SAVOIE : UNE ROUTE PROTÉGÉE D'UN VERSANT TRÈS INSTABLE



© CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE HAUTE-SAVOIE

Étape des ancrages de la galerie dans le versant.

Les travaux de protection de la RD328 (Haute-Savoie) ont repris en avril. C'est leur 4<sup>e</sup> année. En hiver, la route rouvre car c'est le seul accès à la station de ski du Praz de Lys<sup>(1)</sup>. À chaque fois, il faut la mettre à l'abri des chutes de blocs, temporairement, en attendant que la galerie qui la couvrira soit terminée. Le terrain dans le secteur de Taninges (La Ravine) est constitué de schistes, dur en profondeur mais altéré en surface, avec une zone de rupture au milieu. Les éboulements sont fréquents et menacent la circulation.

Géolithe a réalisé le diagnostic du glissement sur ce versant et le suit par capteurs extensométriques, drone et inclinomètres. Un dispositif spécifique comprenant ouvrages provisoires et instrumentation, protège le personnel de chantier.

La protection d'hiver se compose de palplanches, d'un mur en blocs armés (blocs liaisonnés par armatures internes) en partie basse du mur et d'une paroi berlinoise. En cas de chute de pierres, un système de détection automatique déclenche un feu rouge et alerte le service départemental des routes.

→ **Barres d'ancrage de 63,5 mm de diamètre**

« Le site est en évolution constante et forte, ce qui nous amène à adapter le renforcement pendant le chantier, » explique Christian Peljak, chef de projet au service des routes de Haute-Savoie.

La galerie pare-blocs est bien avancée. Les fondations profondes étaient en passe d'être terminées en juin. Grâce à 77 pieux de 22 à 35 m de long, diamètre 1000 mm, elle résistera aux sollicitations verticales (chute de pierres sur le toit de la galerie). Des barres d'ancrage de 20-30 m de long et de 63,5 mm de diamètre scellées dans des forages de 150-185 mm, retiendront l'ouvrage contre les poussées horizontales des terres. Une fosse récupère pierres et troncs d'arbre au-dessus de la route. En 2017, avait été réalisée une paroi clouée pour supporter la route sous la future galerie pare-blocs.

Cette année, démarre la construction des murs et poteaux de la galerie. La dalle de couverture suivra en 2020 et, si les glissements de terrain ne perturbent pas trop le chantier, la protection de la RD328 devrait être achevée en 2021.

→ **18 millions d'euros**

Coût prévu de l'opération : 18 millions d'euros à la charge du département. Maître ouvrage : conseil départemental de Savoie ; maîtrise d'œuvre et suivi et instrumentation du site : Géolithe avec BG ; entreprise : Léon Grosse. ■

<sup>(1)</sup> La RD 308 a été aménagée en alternative si besoin.



© GÉOLITHE

77 pieux aident la galerie à résister aux sollicitations verticales des éboulements.

## DÉCONSTRUCTION D'UN FOUR VERRIER

La déconstruction du bâtiment du four n°2 de la verrerie de Masnières, près de Cambrai (Nord), a commencé et se terminera à la fin de l'hiver.

Le four avait été arrêté en 2005 et le bâti remonte probablement au début du 20<sup>e</sup> siècle avec des modifications par la suite.

La friche était très dégradée. La raser coûte 1,8 million d'euros HT.

Le terrain de 6 000 m<sup>2</sup> a été racheté début 2018 par l'Établissement foncier public Nord Pas-de-Calais (État) au bénéfice des collectivités qui en pren-

nent possession au terme des travaux. Valétudes est maître d'œuvre de l'opération.

### → Grande variété de matériaux

La déconstruction a débuté par le désamiantage dont la toiture, et l'enlèvement des fibres céramiques réfractaires du four, phase confiée à Alisa-D. Celle-ci s'occupe également des matières premières de fabrication du verre restées sur le site : silice, arsenic, teintures, nettoyeurs, lubrifiants, etc.

L'entreprise Renard prend en charge les autres matériaux - charpente métallique,

béton armé, ferraille, bois, et autres déchets industriels -, les trie sur une dalle de ciment dégagée par démolition d'un vieux bâtiment, avant évacuation vers des centres spécialisés ou des plateformes de traitement.

### → Réimplanter des activités

Ce four appartenait à Stoelzle qui continue de produire de flacons de parfum sur une partie de ses 24 000 m<sup>2</sup>, avec d'autres fours.

À l'avenir, le terrain dégagé peut accueillir une nouvelle extension du verrier et d'autres activités, créatrices d'emplois. ■



© EPF NORD/PAS-DE-CALAIS

Complexité de l'intérieur du bâtiment du four n°2 de la verrerie de Masnières (Nord) à déconstruire.

## CENTRALES À BÉTON PLUS VERTUEUSES



© PAUL KOZLOWSKI/UNIBÉTON

Bassin aérien agité pour traiter les eaux chargées qui repartent dans la centrale mobile.

La centrale mobile implantée à Villejuif (Val-de-Marne) recycle ses eaux et le béton qui revient sans avoir été utilisé. L'installation comprend une vis à recycler et une laveuse pour traiter les eaux de lavage de la centrale, des camions et les rebuts. Les granulats sont lavés puis réemployés comme graves ou dans la fabrication du béton.

Les eaux sales dont celles de ruissellement sont nettoyées dans des bassins aériens agités et peuvent resservir au lavage des camions ou à la production, ceci après contrôle des matières en suspension. Cette centrale à béton mobile occupe 1 500 m<sup>2</sup> au sol contre 4 000 pour une fixe. Elle produit 400 m<sup>3</sup>/jour.

Unibéton l'a développée avec Sako. Elle est opérationnelle depuis 2018. Elle alimente par camions les travaux de la station de tramway "Institut Gustave Roussy" (T3C) dans le même département.

### → Boues réintégrées dans le ciment

À la centrale fixe d'Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine), les retours de béton sont également valorisés par deux vis à recycler. Les eaux chargées sont filtrées dans une presse. Les galettes de fines intègrent ensuite la fabrication de ciment à l'usine Ciments Calcia de Gargenville (Yvelines).

La plupart des matières premières, soit 450 000 tonnes/an arrivent par la Seine, soit 15 000 camions évités. ■

## SOUS-STATION ÉLECTRIQUE EN MER

Ideol a conçu avec Atlantique Offshore Energy (AOE) et ABB une sous-station électrique pour éoliennes en mer, flottante et modulaire. L'équipement est prêt à s'intégrer aux appels d'offres en cours avec cette énergie renouvelable.

AOE émane de Chantiers de l'Atlantique à l'origine de sous-stations électriques en mer, plus traditionnelles. L'installation de la sous-station sur son flotteur ainsi que les phases d'essais et de pré-mise en service industrielle ont lieu à quai. La sous-station regroupe les câbles des éoliennes d'un parc offshore et envoie sur un seul câble vers le continent, l'électricité produite.



© IDEOL-AOE

Vue simulée de la sous-station électrique en mer.

## MOOC ACCEPTABILITÉ DES CHANTIERS

Acquérir les méthodes et pratiques de l'acceptabilité des chantiers urbains, c'est le but de la formation en ligne ouverte à tous (Flot), Mooc en anglais (Massive Open Online Course). Cet apprentissage par internet - 1<sup>re</sup> édition de mai à juillet - prend la relève du programme de recherche Furtivité urbaine, réseaux et travaux (Furet), mené par les acteurs concernés. Il est piloté par l'École des ingénieurs de la ville de Paris, avec la FNTP, l'Association des ingénieurs territoriaux de France et le Centre national de la fonction publique territoriale.

Ce cours s'adresse aux professionnels de l'aménagement et de l'urbanisme, aux étudiants et aux chercheurs. [www.fun-mooc.fr](http://www.fun-mooc.fr), rechercher "Furet".

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

937

SPÉCIAL GRAND PARIS

938

TRAVAUX SOUTERRAINS

939

OUVRAGES D'ART

940

SPÉCIAL INNOVATION

941

SOLS ET FONDATIONS

942

ÉNERGIE

943

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

944

INTERNATIONAL

945

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

946

TRAVAUX SOUTERRAINS

947

OUVRAGES D'ART

948

SPÉCIAL GARES ET STATIONS

949

SOLS ET FONDATIONS

950

ÉNERGIE

951

**BON DE COMMANDE** ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements 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 - 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"/> 937 x | <input type="checkbox"/> 942 x | <input type="checkbox"/> 947 x |
| <input type="checkbox"/> 938 x | <input type="checkbox"/> 943 x | <input type="checkbox"/> 948 x |
| <input type="checkbox"/> 939 x | <input type="checkbox"/> 944 x | <input type="checkbox"/> 949 x |
| <input type="checkbox"/> 940 x | <input type="checkbox"/> 945 x | <input type="checkbox"/> 950 x |
| <input type="checkbox"/> 941 x | <input type="checkbox"/> 946 x | <input type="checkbox"/> 951 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 31/12/19 et hors frais portaux (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 10,00€ d'envoi Europe et 12,50€ 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 COM1 ÉVIDENCE

**ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM1 ÉVIDENCE**

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



## AGENDA

## ÉVÉNEMENTS

• 1<sup>er</sup> AU 6 SEPTEMBRE

**17<sup>e</sup> conférence ECSMGE (mécanique des sols)**

Lieu : Reykjavik (Islande)  
www.ecsmge-2019.com

## • 4 ET 5 SEPTEMBRE

**Smart buildings for smart cities**

Lieu : Bruxelles (Belgique)  
www.univ-sb4sc.org

## • 4 AU 6 SEPTEMBRE

**La métropole en évolution**

Lieu : New-York (États-Unis)  
www.iabse.org

## • 9 SEPTEMBRE

**Conférence amiante**

Lieu : Marseille  
www.salonamiante.fr

## • 12 ET 13 SEPTEMBRE

**Cities to be, congrès international bâtiment durable**

Lieu : Angers (Maine-et-Loire)  
www.citiestobe.eu

## • 17 ET 18 SEPTEMBRE

**Impact de la mobilité intelligente sur l'environnement**

Lieu : Bordeaux  
www.its4climate.eu

## • 23 ET 24 SEPTEMBRE

**1<sup>re</sup> conférence méditerranéenne des jeunes ingénieurs**

Lieu : Mugla (Turquie)  
http://Mygec2019.org

## • 25 SEPTEMBRE

**Stockage d'énergie, vecteur de flexibilité**

Lieu : Berlin (Allemagne)  
https://energie-fr-de.eu/fr/

## • 24 ET 25 SEPTEMBRE

**9<sup>e</sup> assises Port du futur**

Lieu : Lille  
www.portdufutur.fr

## • 30 SEPTEMBRE AU 3 OCTOBRE

**Smart Rivers (AIPC)**

Lieu : Lyon  
www.cerema.fr

## • 30 SEPTEMBRE AU 4 OCTOBRE

**Congrès mondial immeubles en bois de moyenne et grande hauteur**

Lieu : Québec (Canada)  
http://woodrise2019.ca

• 1<sup>er</sup> AU 3 OCTOBRE

**Rencontres nationales du transport public**

Lieu : Nantes  
www.rencontres-transport-public.fr

• 1<sup>er</sup> AU 4 OCTOBRE

**68<sup>e</sup> congrès de l'industrie minérale**

Lieu : Montpellier  
www.lasim.org

## • 2 OCTOBRE

**Bim et infrastructures**

Lieu : Metz (Moselle)  
www.afgc.asso.fr

## • 2 AU 4 OCTOBRE

**9<sup>e</sup> conférence internationale sur les ponts en arc**

Lieu : Lisbonne (Portugal)  
https://web.fe.up.pt/~arch19/

## • 6 AU 9 OCTOBRE

**Congrès mondial de la route**

Lieu : Abu Dhabi  
www.cerema.fr

## • 15 ET 16 OCTOBRE

**Colloque Le Pont : retour d'expérience sur défaillances d'ouvrages**

Lieu : Toulouse  
www.afgc.asso.fr

## • 23 AU 26 OCTOBRE

**Conférences internationales sur les énergies renouvelables**

Lieu : Séoul (Corée du sud)  
www.ren21.net/irecs/

## • 4 AU 7 NOVEMBRE

**Congrès mondial du solaire**

Lieu : Santiago (Chili)  
http://swc2019.org

## • 4 AU 8 NOVEMBRE

**Bâtimat**

Lieu : Paris-Nord-Villepinte  
www.batimat.com

## • 10 AU 14 NOVEMBRE

**Infrastructures de transport durables**

Lieu : Le Caire (Égypte)  
www.geomeast.org

## • 19 AU 21 NOVEMBRE

**Salon des maires**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.salondesmaires.com

## • 26 ET 27 NOVEMBRE

**4<sup>e</sup> rencontres recherche sites et sols pollués**

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)  
www.ademe.fr

## FORMATIONS

## • 16 ET 17 SEPTEMBRE

**Gestion des sols et sites pollués**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

## • 17 AU 19 SEPTEMBRE

**Évaluer et diagnostiquer l'état d'une aire aéronautique**

Lieu : Châteauroux (Indre)  
http://formation-continue.enpc.fr

## • 18 ET 19 SEPTEMBRE

**Chantiers furtifs : améliorer l'acceptabilité de projets interurbains**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

## • 24 AU 26 SEPTEMBRE

**Barrages de navigation en rivière et écluses : conception-réhabilitation**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

## • 25 AU 27 SEPTEMBRE

**Risques naturels et pollution des sols en ouvrages géotechniques**

Lieu : Paris  
http://formation-continue.enpc.fr

• 1<sup>er</sup> ET 2 OCTOBRE

**Accessibilité des ERP existants et neufs**

Lieu : Nantes  
http://evenements.irfopro-digital.com

## • 7 AU 9 OCTOBRE

**Le Bim en maîtrise d'œuvre**

Lieu : Paris  
http://evenements.infopro-digital.com

## • 15 ET 16 OCTOBRE

**Entreprendre un projet de réseau intelligent**

Lieu : Paris  
http://evenements.infopro-digital.com

## NOMINATIONS

## COLAS :

Désormais, chez Colas, les fonctions de président et de directeur général sont dissociées. Frédéric Gardès, qui était directeur général international, devient directeur général aux côtés d'Hervé Le Bouc qui reste président du conseil d'administration.

## EDF :

Cédric Lewandowski a été nommé directeur exécutif du groupe chargé du parc nucléaire et thermique, après le départ en retraite de Philippe Sasseigne. Marc Benayoun devient directeur exécutif chargé du pôle clients, services et action régionale, où il succède à Henri Lafontaine appelé à d'autres fonctions en tant que directeur de la présidence.

## EFCA :

Benoît Clocheret (Syntec Ingénierie) a été élu président de la Fédération européenne des associations de conseil en ingénierie, l'European Federation of Engineering Consultancy Associations. Il remplacera Kevin Rudden (Irlande) à partir de l'assemblée générale de 2020.

## SPIE BATIGNOLLES :

Marine d'Anterrosches a été nommée directrice de la communication. Elle rejoint le comité exécutif comme l'a fait Aude Maury, directrice de la performance des achats à l'automne 2018.

# SIXENSE CYCLE DE VIE DES INFRASTRUCTURES, INGÉNIERIE DE L'EXISTANT ET GESTION PATRIMONIALE : UNE APPROCHE GLOBALE DIGITALE

Sixense est une société du groupe Vinci qui regroupe différentes sociétés de spécialités dans le domaine de l'ingénierie, du monitoring, de la numérisation des infrastructures et des solutions digitales. Cette société a pour vocation d'accompagner les acteurs de la construction (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises) dans leur transformation numérique en combinant expertises métiers et compétences digitales en France et à l'international. **Pascale Dumez, directrice générale adjointe de Sixense, responsable du pôle "Engineering", nous présente cette nouvelle entité du groupe Vinci.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1

## Quelles sont les raisons de la création de Sixense et pour quels objectifs ?

Le monde de demain devra faire face à des enjeux environnementaux de plus en plus prégnants (bruit, vibration, qualité de l'air, résilience des infrastructures), des enjeux croissants de vieillissement des infrastructures dans un contexte budgétaire contraint, des enjeux liés à une densité d'occupation des sols de plus en plus forte et à la nécessité de maîtriser les risques associés.

Dans ce contexte et alors que le monde du BTP est en pleine transition numérique, Sixense a été créée en 2016 pour aider ses clients à faire face à ces

enjeux en combinant expertises métiers et compétences digitales.

L'ensemble de nos expertises métiers étaient auparavant intégrées au sein de différentes entités du groupe Soletanche Freyssinet depuis de nombreuses années, elles sont venues rejoindre Sixense avec l'ambition de répondre de manière globale aux enjeux des constructeurs et gestionnaires d'infrastructures autour de la sécurité et l'optimisation de leurs opérations en leur proposant des solutions innovantes. La création du pôle Platform Solutions et l'intégration d'une équipe d'ingénieurs/développeurs software au sein de Sixense a permis de développer des solutions digitales dédiées à l'univers

FIGURE 1, 2 ET 3 © PHILIPPE BEUF



2



3

de la construction et de la gestion des infrastructures afin d'en accélérer la digitalisation.

Ce pôle entièrement dédié aux offres digitales s'appuie sur le savoir-faire de nos ingénieurs et sur leur connaissance experte de la construction et des infrastructures. Cette spécificité fait de Sixense un acteur unique dans le monde de la construction.

### Quels sont les chiffres-clés de l'entité Sixense ?

Sixense a réalisé en 2018 un chiffre d'affaires de 80 M€, dont 30% à l'international, Sixense emploie plus de 700 collaborateurs dont 400 ingénieurs et 80 ingénieurs/développeurs de software. Elle est implantée dans 20 pays sur 5 continents et dispose de deux laboratoires spécialisés en matériaux. En France, elle dispose d'un réseau national de proximité organisé en sept régions : Nord, Île-de-France, Rhône-Alpes, Est, Sud-Est, Ouest et Sud-Ouest.

### Quelle est l'offre de Sixense et quels sont ses métiers ?

Comme évoqué précédemment, nous offrons des solutions digitales et des services destinés aux constructeurs et gestionnaires d'infrastructures.

Nos solutions s'appuient sur une forte expertise métier pour gérer, suivre et maîtriser les investissements de nos clients, tant dans les services à la construction que dans la gestion du patrimoine. Nos sociétés de spécialités (Engineering et Monitoring) ont plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'ingénierie de l'existant (inspection, diagnostic, recalcul, préconisations, conseil en stratégie de maintenance) et de la maîtrise des risques (suivi et monitoring, études d'impact).

## PASCALE DUMEZ : PARCOURS

**Pascale dumez est diplômée de l'ESTP (École Spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie, option TP - 1989) ainsi que du CHEBAP (Centre des Hautes Études du Béton Armé et Précontraint) - 1990 - l'une des quatre spécialités du CHEC (Centre des Hautes Études de la Construction). Elle commence sa carrière en 1990 comme ingénieur au bureau d'études PX Consultant, spécialisé en ouvrages d'art.**

**À partir de 1996, elle participe au sein de la société Concrete, laboratoire de diagnostic "matériaux" au développement de la partie calcul de structures, avant d'être nommée, en 2004, directrice générale de Concrete lors de son rachat par le groupe Vinci. En 2013, elle devient directrice de Continuum, marque Vinci de l'ingénierie de l'Existant.**

**Pascale Dumez est directrice générale adjointe de Sixense, responsable du pôle "Engineering" depuis juin 2016. Le pôle "Engineering" regroupe les sociétés Sixense Concrete, Sixense Environnement, Sixense Geophysics, Sixence in-situ et Sixence IPRS, soit de l'ordre de 250 ingénieurs.**

**Elle est également présidente de l'IMGC. L'IMGC (Ingénierie de Maintenance du Génie Civil) regroupe les différents acteurs de l'ingénierie de la maintenance dans le domaine des ouvrages d'art, soit une quarantaine de bureaux d'ingénierie, mais aussi des maîtres d'ouvrage et des organismes scientifiques. Elle est membre associé de Syntec-Ingénierie et adhérente de l'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures).**

**1- Pascale Dumez, directrice générale adjointe de Sixense, responsable du pôle "Engineering".**

**2- LiDAR et photogrammétrie héliportés.**

**3- Le drone fait partie des nouveaux moyens d'inspection numérisés des ouvrages.**

**4- "Sissterra®" permet de visualiser le sous-sol pour en maîtriser les risques.**

**5- "Sissterra®" est basé sur le principe de l'interférométrie sismique.**

Elles combinent leurs expertises et s'appuient sur les compétences des pôles Platform et Solutions et Mapping pour aider les maîtres d'ouvrage et constructeurs à maîtriser leurs risques et optimiser leurs budgets à travers des solutions digitales et innovantes.

### Quels sont les domaines d'activité du Pôle Engineering et quelles sont les solutions innovantes proposées ?

Le pôle Engineering intervient dans trois domaines d'activité : le domaine des Bâtiments et Infrastructures, celui de la Géophysique et celui de l'Environnement.

Le pôle Bâtiments et Infrastructures a une double mission.

Il évalue le niveau de service d'un ouvrage ou d'un patrimoine et définit les actions à engager pour répondre à des obligations réglementaires ou contractuelles.

Il évalue et maîtrise les risques liés au vieillissement des infrastructures et au changement climatique.

Pour ce faire, il dispose d'un portefeuille d'outils d'auscultation permettant de définir l'ampleur des dégradations susceptibles d'affecter un ouvrage, d'outils de modélisation adaptés au recalcul d'ouvrages existants, de plus de 25 ans d'expérience dans le domaine de la pathologie des matériaux et de l'évaluation des ouvrages existants.

Il propose des missions de conseil en stratégie de maintenance, expertise en ingénierie de l'existant (inspection, diagnostic, recalcul, préconisations), d'étude de durabilité des matériaux ou de résilience des infrastructures.

Au sein de Sixense, il participe à l'accompagnement de ses clients dans leur transformation digitale par le conseil et la mise en œuvre de solutions innovantes permettant de sécuriser et d'optimiser la gestion d'un ouvrage ou d'un patrimoine durant tout son cycle de vie. Ces solutions sont multiples : inspections numérisées des ouvrages à l'aide de drones, mise en place de logiciel d'asset management, capteurs IOT, digitalisation du patrimoine, logiciel d'optimisation des budgets d'investissement...

### Quelques exemples dans le domaine de l'ingénierie ?

À Brest, afin de pouvoir exploiter les silos pendant encore 20 à 30 ans, la CCI de Brest a choisi Sixense pour réaliser un diagnostic et des recommandations permettant de garantir leur solidité et leur durabilité. ▶

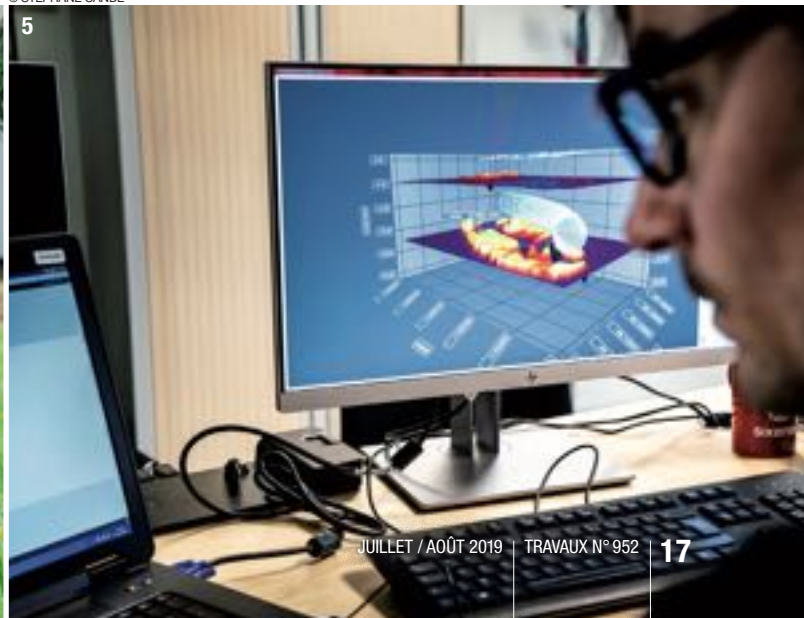
© SIXENSE

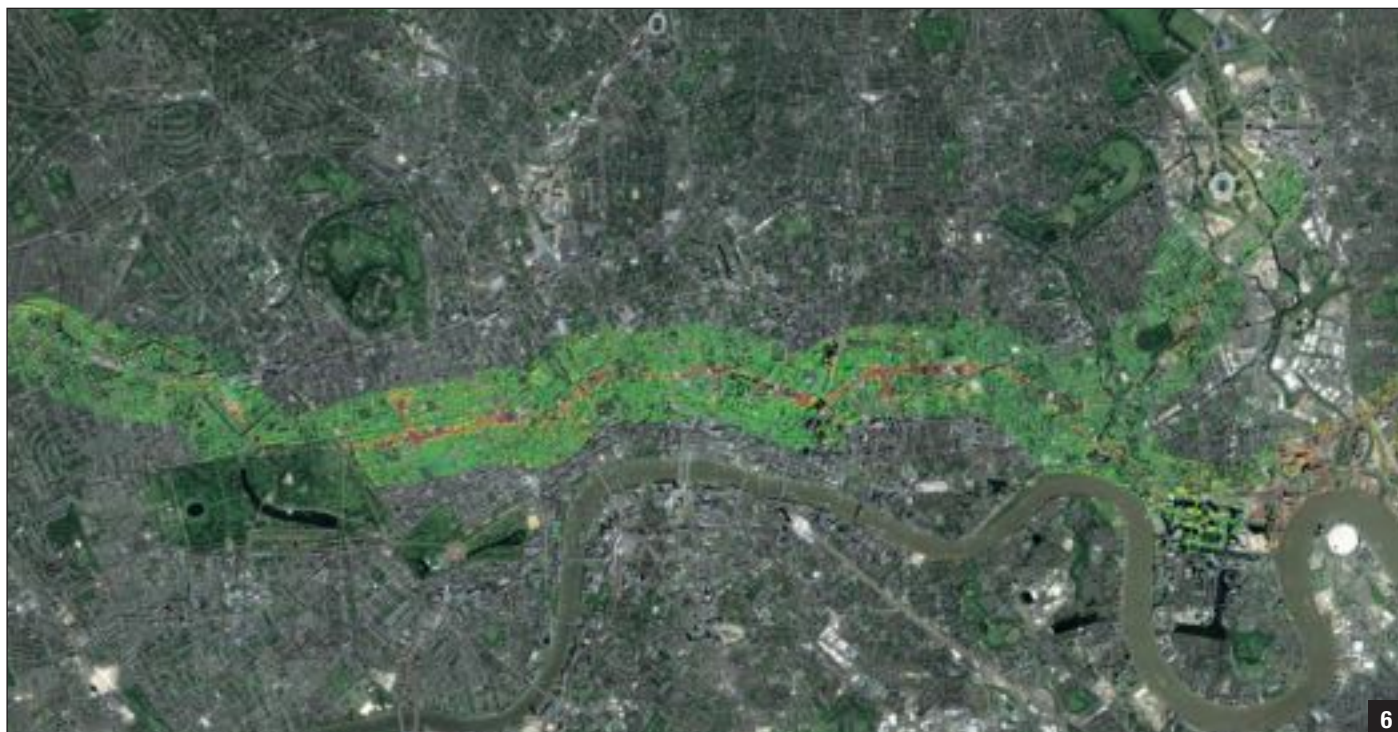
4



© STÉPHANE CANDÉ

5





© SIXENSE

Ces 8 silos, construits en 1982, sont des ouvrages exceptionnels d'une hauteur de 51 m et d'un diamètre intérieur de 13 m. Sixense a donc réalisé des opérations d'inspection visuelle très particulières. Pour les parties extérieures des silos, ses équipes ont mené leur analyse à pied, en nacelle ou par drone. À l'intérieur, des cordistes ont exploré les structures. Sixense a effectué un diagnostic du béton armé et une étude de la précontrainte. Afin de réaliser une modélisation 3D, la filiale locale a mis en place un suivi géométrique et mécanique d'un silo à partir d'une station robotisée lors d'un remplissage et d'une vidange. Enfin, elle a réalisé un scanner 3D des silos pour les géoréférencer et vérifier leur verticalité.

À Montréal, le Stade Olympique, surplombé par sa tour inclinée de 45 degrés, conçu en 1976 par l'architecte Roger Taillibert, est un ouvrage emblématique de la ville. En charge de la gestion de cet ouvrage exceptionnel, la Régie des Installations Olympiques (RIO) a missionné Sixense pour réaliser l'auscultation des câbles de précontrainte assurant la résistance des poteaux et consoles supportant la couverture du stade. L'enjeu étant d'avoir une évaluation représentative de l'état de conservation des câbles et de leur niveau de tension résiduel (précontrainte par post-tension STUP 12T06 injectée au coulis de ciment). Une première phase d'investigations a été réalisée sur un nombre réduit de zones afin

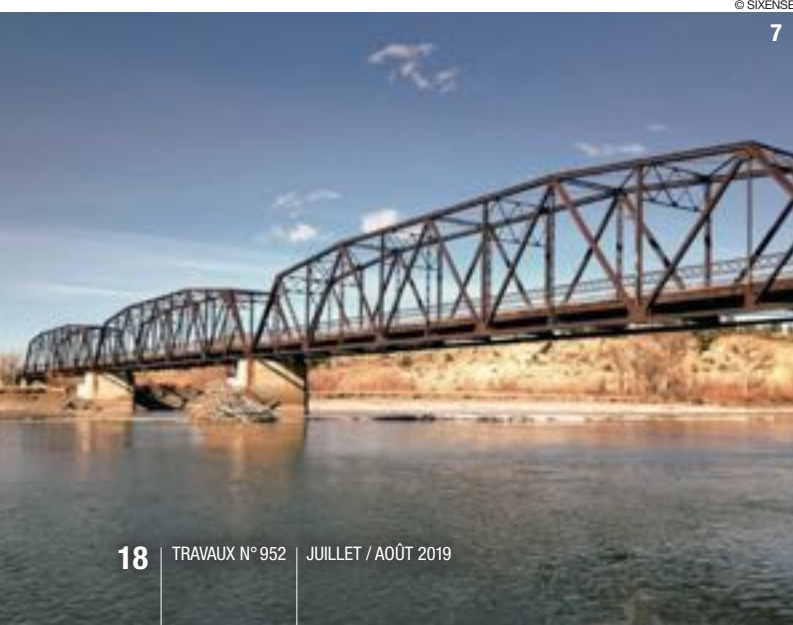
de choisir les techniques d'auscultation les mieux adaptées à la configuration de la précontrainte et valider la pertinence des méthodes (gammagraphie, tomographie, fenêtres de reconnaissance, essais à l'arbalète). Sur la base des résultats obtenus, une campagne de mesures a ensuite été engagée sur un échantillon élargi, permettant de contrôler l'état de 137 câbles répartis sur 18 consoles et 21 poteaux. En 2018, la précontrainte verticale des poteaux a été auscultée.

À Marseille, le MuCEM, véritable prouesse architecturale due à Rudy Ricciotti, est déjà un des 50 musées les plus visités du monde. La structure de ce cube minéral est notamment ourlée d'une fine résille de béton et

de poteaux arborescents qui doivent être préservés. Les équipes de Sixense ont travaillé en synergie pour remporter l'inspection et la surveillance des ouvrages en Béton Fibré à Ultra-haute Performance (BFUP) pour 6 années. Les contrôles visuels, associés à l'usage d'un drone, s'accompagnent de relevés topométriques, d'instrumentation et de mesures d'amortisseurs dynamiques. L'inspection des passerelles d'accès a nécessité la conception d'une nacelle de visite mobile dédiée.

**Dans le domaine de la Géophysique ?**

Dans le pôle géophysique, Sixense dispose également de procédés permettant de réaliser des expertises



© SIXENSE

7



© STÉPHANE CANDÉ

8

de subsurface visant à rendre visible le sous-sol, connaître et maîtriser les risques et sécuriser les projets.

Parmi ces procédés de géophysique, "Sissterra®" constitue une démarche réellement innovante issue de la recherche académique. Il est basé sur le principe de l'interférométrie sismique, combinant la tomographie 3D et le monitoring. Cette méthode éprouvée dans les domaines de l'Oil & Gas et de la recherche académique a été transposée au Génie Civil et a abouti à une solution co-développée avec Sisprobe, regroupant des experts mondialement

**6- L'outil Atlas a été utilisé pour le projet "Crossrail" de creusement de tunnels urbains sous Londres.**

**7- Beyond Asset est devenu un outil incontournable dans la gestion des ponts de l'état du Montana, aux États-Unis.**

**8- Beyond Digital-site digitalise les processus chantier.**

**9- La gare du CNIT-La Défense de la Ligne E du RER sera un ouvrage dit "cathédrale" implanté directement sous le CNIT.**

**10- Beyond Monitoring surveille les infrastructures en phase de construction et d'exploitation.**

**11- Maintenance du Pont Neuf à Toulouse.**

© MARC MONTAGNON



## LA DÉFENSE SOUS HAUTE SURVEILLANCE

La nouvelle Ligne E du RER traversera la région parisienne d'est en ouest en 2024. La partie la plus sensible du projet se situe sous le quartier de la Défense avec la réalisation de tunnels et d'une gare sous le CNIT, avec de nombreux couloirs permettant la connexion avec le RER A, les lignes du Transilien et le Tramway T2.

La gare CNIT-La Défense sera une gare dite "cathédrale" de par ses volumes impressionnants : 15 m de haut, 108 m de long et 33 m de large. Elle est implantée directement sous l'emprise du CNIT qui est mis en lévitation avec la reprise en sous-œuvre de ses 124 pieux.

Le Groupement E-DEF, composé de plusieurs entreprises des groupes Vinci Construction (mandataire) et Spie Batignolles, a un contrat de 496 M€ pour réaliser les fondations et les travaux de génie civil de ce chantier souterrain de haute technicité.

Pour suivre le creusement des tunnels et contrôler la stabilité du CNIT pendant la reprise en sous-œuvre délicate et complexe, Sixense a déployé un système de monitoring automatique de haute précision. 4000 capteurs sont ainsi répartis dans les bâtiments et en extérieur pour permettre de maîtriser les risques 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.

Toute la boucle de Seine est aussi surveillée par satellite InSAR avec une précision millimétrique par la technologie Atlas de Sixense.

Enfin, en raison des fortes contraintes environnementales dans cette zone très dense, Sixense assure un suivi continu des nuisances liées au bruit et aux vibrations à raison de 7 millions de calculs par semaine et de 500 millions de données brutes collectées. Commencé en 2018, le chantier doit durer 51 mois pour une mise en service prévue fin 2022.

reconnus. Sissterra® permet une visualisation du sous-sol qui complète les essais classiques de géotechnique. Elle présente trois avantages : il s'agit d'une méthode passive, non-intrusive et facile à déployer, elle permet la consolidation du modèle géologique ainsi que l'optimisation de l'avancement de travaux souterrains.

Sissterra® est mise en œuvre sur la Ligne 14 Nord du chantier du Grand Paris Express (attribué au groupement Bouygues/Soletanche Bachy), pour évaluer l'impact du passage du tunnelier et optimiser les travaux d'amélioration du sol.

En effet, suite à son passage, des tassements ont été mesurés au niveau de la surface au niveau de certains bâtiments.

Le groupement a fait appel à Sixense pour localiser les zones de faiblesse qui nécessiteront des travaux de remédiation via une image du sous-sol avant travaux, s'assurer que le phénomène est arrêté en contrôlant l'évolution du sous-sol et évaluer l'impact des travaux d'amélioration du sol via une imagerie du sous-sol après travaux.

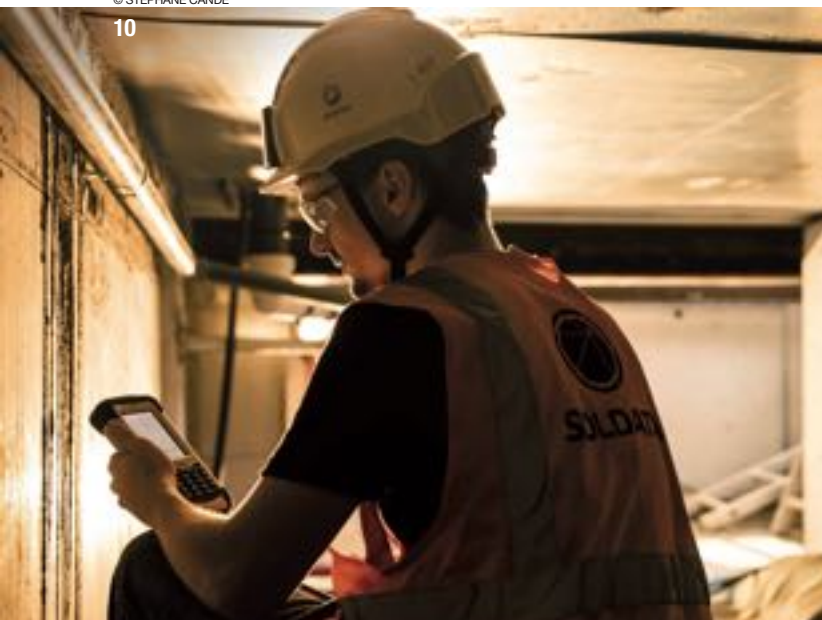
La solution proposée a consisté à mettre en place un dispositif de 75 géophones autonomes et géolocalisés, à "écouter" les bruits et les vibrations urbains et à réaliser un processing avancé des données.

Cet outil d'aide à la décision a permis d'optimiser les travaux d'injection et d'en évaluer l'impact aussi bien quantitativement à travers l'accroissement des vitesses sismiques que spatialement grâce à la visualisation 3D.

In fine, Sissterra® a offert une plus grande maîtrise sur la sécurité des biens et des personnes ainsi que sur la gestion budgétaire de ce genre de situation. ▶

© STÉPHANE CANDÉ

10



© PHILIPPE BEUF

11



## Dans le domaine de l'environnement ?

Dans ce domaine, le pôle Environnement de Sixense anticipe et évalue l'impact environnemental des projets, maîtrise ces impacts et optimise les investissements. Il propose des missions de conseil en management environnemental et de communication aux parties prenantes, et dispose de compétences en monitoring (bruit, vibration, qualité de l'air) et simulation numérique. Ce pôle de Sixense est lui aussi fortement orienté innovation et métiers de demain. Une expérimentation est actuellement menée en matière d'intelligence artificielle sur le chantier du lot 2 de la Ligne 14 Sud du Grand Paris Express au service de la surveillance des chantiers. Novia® constitue ainsi une technologie pour faciliter la gestion du bruit des chantiers. Elle assure une reconnaissance automatique de l'origine des bruits et facilite l'expertise de l'acousticien au plus près du chantier. Novia® exploite les sons du chantier pour stopper les nuisances et améliorer la productivité.

## Quid de l'avenir de l'ingénierie de l'existant en regard de la transformation du secteur du BTP ?

Face à la constatation du développement des enjeux liés au vieillissement des structures et aux enjeux environnementaux et en regard de notre expertise métier et de la transformation numérique en cours dans le secteur du BTP, nous avons décidé d'utiliser ces transformations pour nous ouvrir à de nouveaux métiers et être plus performants dans la gestion patrimoniale et dans le suivi des ouvrages. L'évaluation structurale et l'expertise de la durabilité sont désormais des enjeux

**PERAZIO ENGINEERING EN BREF**

**En rejoignant le pôle Mapping de Sixense en mai 2018, la société Perazio Engineering, spécialisée en métrologie et digitalisation 3D/4D, vient renforcer l'offre de digitalisation lui permettant d'offrir une solution complète de digitalisation aérienne, terrestre, souterraine et sous-marine à travers des technologies de lasergrammétrie, photogrammétrie et bathymétrie.**

**Le pôle Mapping de Sixense vient par ailleurs de gagner, avec Campenon Bernard (Vinci Construction), un important marché de digitalisation des 2000 km du réseau d'égouts visitables de la ville de Paris.**

forts pour les maîtres d'ouvrage. Elles constituent la base des réflexions qui guident leur démarche et orientent leur prise de décision.

L'évaluation structurale permet de s'assurer que l'ouvrage, dans son état de conservation actuel ou suite à différents incidents tels qu'incendie, explosion, séisme, est apte à supporter les charges d'exploitation.

L'intervention sur un ouvrage existant est une opération délicate nécessitant une expertise et des savoir-faire particuliers. Il s'agit de valider la pertinence des travaux, de les adapter à la nature des pathologies diagnostiquées en veillant au respect de la structure dégradée. Les travaux projetés doivent répondre désormais aux exigences de maintien de l'exploitation, aux contraintes du site et être exécutés dans des conditions de sécurité optimales, dans le respect des règles environnementales.

L'ensemble de ces prestations d'ingénierie de l'existant nécessitent de combiner des savoir-faire issus de plus de dix métiers spécialisés, dans des domaines complexes et très diversifiés tels que le sol, la structure, les pathologies des matériaux, la géophysique, la modélisation avancée...

**12- Le MuCEM, un cube minéral, constitue une véritable prouesse architecturale due à Rudy Ricciotti.**

**13- Le MuCEM est ourlé d'une fine résille de béton et de poteaux arborescents qui doivent être préservés.**

**14- La tour inclinée de 45° du stade olympique de Montréal est un ouvrage emblématique de la capitale du Québec.**

**15- Le stade olympique de Montréal, conçu par Roger Taillibert, a fait l'objet par Sixense d'une auscultation approfondie.**

**16- Beyond Monitoring permet la surveillance des infrastructures tant en phase de construction que d'exploitation.**

Avec l'arrivée du monde du digital, ces métiers déjà fortement orientés vers l'innovation puisqu'issus de technologies en constante évolution, notamment dans le domaine de l'auscultation in situ et des matériaux de réparation, doivent faire face à une réelle transformation numérique.

Cette ingénierie de maintenance est donc en pleine mutation et de nouveaux métiers vont venir compléter les savoir-faire existants en s'assurant les services de BIM managers, d'opérateurs de drone, de numériciens, de *data scientists*.

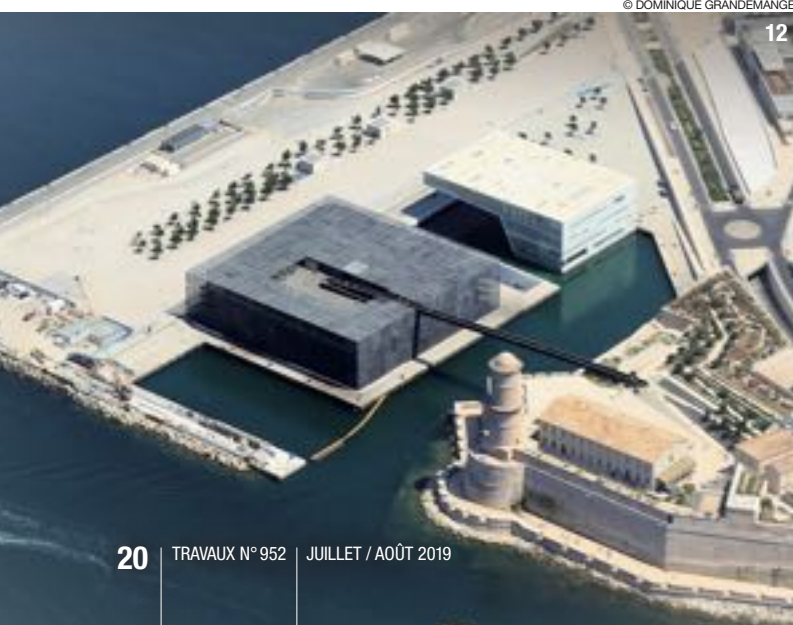
Ces nouvelles approches et technologies vont améliorer notre connaissance des ouvrages et de leur comportement et ouvrir le champ de la maintenance prédictive. Ce à quoi s'emploient les équipes de Sixense depuis sa création.

## Quels sont les domaines d'activité du Pôle Monitoring et quelles sont les solutions innovantes proposées ?

Le cœur de métier du Pôle Monitoring est d'anticiper les risques avec des solutions de monitoring dans les domaines du sol, des structures et de l'environnement. Cela s'applique particulièrement aux grands projets d'infrastructures souterraines, construits en site urbain dans un environnement complexe.

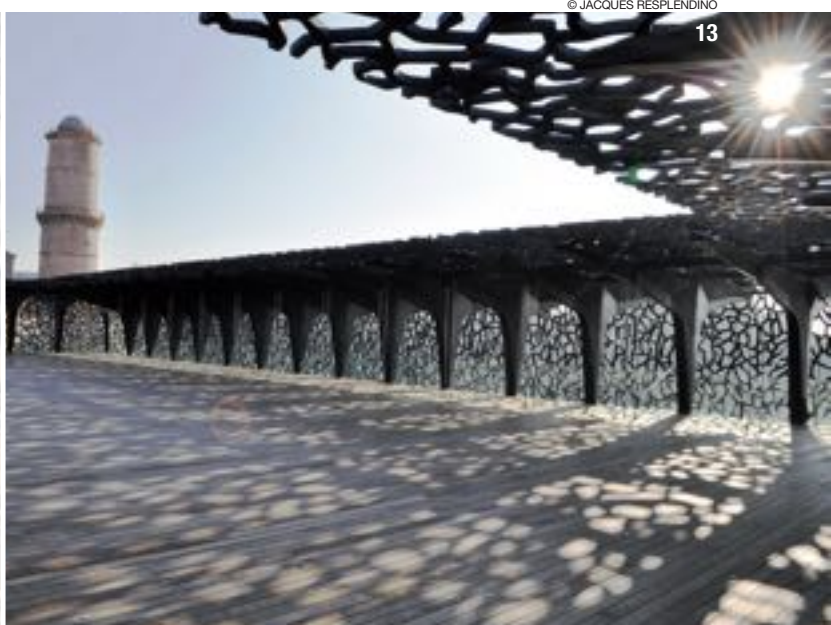
Nos systèmes de mesure surveillent aussi l'état des infrastructures afin de préserver la sécurité et prolonger la durée de vie des ponts, tunnels, immeubles et autres structures existantes

Une des techniques de Sixense, appelée InSAR, permet de mesurer par satellite les mouvements de sol et des structures avec une précision de 2-3 mm, sur des étendues de plusieurs km<sup>2</sup>, avec une fréquence bi-mensuelle.



12

© DOMINIQUE GRANDÉMANGE



13

© JACQUES RESPLENDINO

## Qu'en est-il de "Platform solutions" ?

Ce pôle propose une plateforme dédiée aux gestionnaires d'infrastructures, de la phase de conception à la phase d'exploitation, appelée Beyond. Cette plateforme inclut aujourd'hui quatre solutions métiers développées par Sixense.

La solution Beyond Reality permet un géoréférencement des données constituant un point d'accès unique à un ensemble de données sur les sols, la surface et les infrastructures, géo-référencées et à une précision labélisée.

La solution Beyond Monitoring, est une solution d'IOT d'aide à la décision qui transforme toutes les données géotechniques, structurelles et environnementales en information.

Très polyvalente, elle s'applique aux infrastructures de transport (ponts, rails, routes...), aux infrastructures hydrauliques (barrages, digues, quais...), aux bâtiments et monuments historiques, aux mines.

La solution Beyond Digitalsite permet de digitaliser les processus chantier des infrastructures. Cette solution est utilisée par exemple avec succès sur le projet de la tour Saint-Gobain à La Défense (attribué à Vinci Construction) où elle fournit un outil collaboratif afin de partager et suivre les documents (GED) ainsi que la levée de réserve en 3D tout au long de la construction de l'ouvrage.

La solution Beyond Asset est une solution de gestion de patrimoine et d'infrastructures telles que les routes, rails, ouvrages d'art en un seul outil. Cette solution est devenue, par exemple, un outil incontournable dans la gestion des ponts de l'état du Montana, aux États-Unis.

## ORGANISATION ET CHIFFRES-CLÉS

- **Pascal Berger, directeur général**
- **Jean-Ghislain La Fonta, directeur général adjoint**
- **Pascale Dumez, directrice générale adjointe**
- **Fabrice Del Aguila, Platform Solutions**
- **Gilles Hovhanessian, Mapping**
- **Chiffre d'affaires 2018 : 80 M€**
- **30 % à l'international**
- **700 collaborateurs**
- **400 ingénieurs**
- **80 ingénieurs / développeurs software**
- **20 implantations dans 20 pays sur 5 continents**



14  
© SIXENSE

## Pour en terminer avec les différents métiers de Sixense, quelques mots sur le pôle "Mapping".

Le pôle Mapping dispose de solutions de numérisation et d'exploitation de la donnée 3D par méthodes lasergrammétrique, photogrammétrique ou bathymétrique depuis des vecteurs aériens, terrestres, souterrains ou sous eau. Pour répondre au besoin grandissant de numérisation du patrimoine, nous avons en particulier développé des systèmes de cartographie par moyen hélicoptère. La polyvalence du vecteur hélicoptère et sa rapidité couplée à notre savoir-faire LiDAR et images de dernières générations permettent d'obtenir des nuages de points 3D à très haute intensité et des images nadirales et obliques dans les quatre directions de très haute densité. En traitant les données "haute précision" collectées, nous pouvons fournir des plans topographiques, des données images, et des modèles numériques 3D sur mesure. La digitalisation des données a amené Sixense à développer des systèmes innovants de recueil des images. Par exemple, le système hélicoptère v3 comprend 5 caméras + 1 caméra proche IR 600 Mpixels, un LiDAR 666 000 points par seconde et une centrale inertielle de précision. Pour la mise en place d'un clone numérique des égouts parisiens, dont Perazio Engineering a obtenu le marché avec Campenon Bernard Régions, nous avons développé le CamTree, un outil permettant de numériser à la volée les quelque 2000 kilomètres de galeries visitables qui constituent le réseau. Les images sont également digitalisées dans les logiciels spécifiques : logiciel de visite virtuelle avec fonctionnalités sur mesure, outils de simulation, orthoimage haute résolution intégrée dans Beyond Asset, visite virtuelle avec avatar et gestion des collisions. □

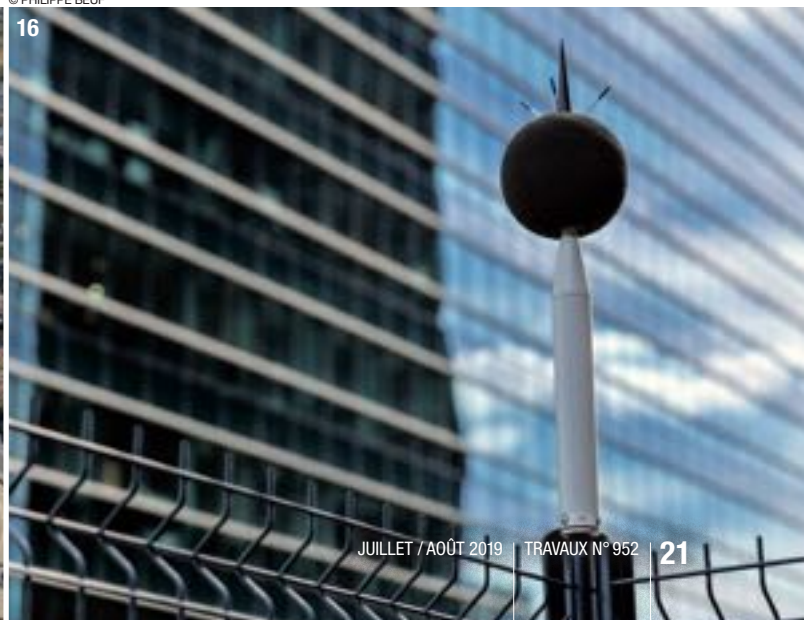
© SIXENSE

15



© PHILIPPE BEUF

16





1- L'hexacoptère  
DPS6 en survol  
des flèches d'une  
cathédrale.

© AirD'Eco-Drone



# AirD'Eco-Drone

# DRONE + LiDAR : METTRE AU JOUR LES TRACES DU PASSÉ DANS LE SOL

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LES OBJECTIFS DE LA PROSPECTION LIDAR POUR DES MISSIONS ARCHÉOLOGIQUES EST, EN PREMIER LIEU, D'OBTENIR UN PLAN TOPOGRAPHIQUE DU SITE, VOIRE MICROTOPOGRAPHIQUE LORSQU'ON PEUT MULTIPLIER LA DENSITÉ DES POINTS AU SOL. ELLE PERMET AUSSI D'OBSERVER SI DES MICRO-RELIEFS PEUVENT CORRESPONDRE À DES ARTÉFACTS (COMME DES MURETS, DES ANCIENS CHEMINS, DES TUMULUS...). CELA PEUT ABOUTIR À PRÉCISER DES ÉLÉMENTS MORPHOLOGIQUES, TELS QUE DES CHENAUX, MAIS AUSSI MENER À MODÉLISER UN ENSEMBLE D'ÉLÉMENTS DU BÂTI OU UN SITE DANS SON ENSEMBLE. C'EST L'ACTIVITÉ POUR LAQUELLE ISABELLE LE TELLIER-HEITZ, GÉOLOGUE ET GÉOPHYSICIENNE DE FORMATION, A CRÉÉ AirD'Eco-Drone EN 2015, ET DONT ELLE NOUS PRÉSENTE LA TECHNIQUE, LA DÉMARCHÉ ET QUELQUES RÉALISATIONS REMARQUABLES.

**D**epuis que les capteurs LiDAR (Light Detection And Ranging) ont été miniaturisés et adaptés à leur emport par drone (2010-2012), un large champ d'application s'est ouvert, complétant la gamme des mesures LiDAR obtenues à partir d'autres aéronefs (avions, hélicoptères).

Grâce à la maniabilité et au domaine de vol des drones, en particulier des multicoptères à énergie électrique, des mesures plus denses peuvent être effectuées, mais sur des zones plus réduites (quelques dizaines d'hectares par jour) du fait de leur autonomie énergétique (limite d'emport des batteries LiPo liée à leur poids).

Le capteur fixé sous l'engin volant comprend un scanner laser, une centrale inertielle enregistrant les paramètres géométriques du vol et il est relié à une antenne GPS. Le système nécessite aussi une station RTK au sol.

**2- Survol de la pointe du Hoc en Normandie, théâtre d'une action héroïque des Rangers américains en 1944, en vue d'une exploration du site par drone-Lidar.**



© AirD'Eco-Drone  
2

## LIDAR : LE PRINCIPE

Le principe du LiDAR est l'émission d'une onde laser, qu'il faut imaginer "rebondir" sur tous les obstacles rencontrés (arbres, bâti, blocs rocheux...) jusqu'à atteindre le sol et remonter vers le capteur. Celui-ci effectue une mesure de distance, corrigée de la position et de l'altitude du drone, qui lui permet de calculer avec précision les positions des différents échos.

« À la différence de la photogrammétrie qui enregistre le rayonnement lumineux du soleil réfléchi par la couche de surface visible, indique Isabelle Le Tellier-Heitz, le LiDAR émet des ondes qu'il enregistre en retour. Ces ondes vont ainsi pouvoir s'immiscer entre les branches des arbres mais elles ne traversent pas la matière ».

« Pour vous donner une idée du taux de pénétration, imaginez-vous un faisceau lumineux qui viendrait du haut et regardez s'il toucherait le sol. Si le soleil passe, les ondes LiDAR vont traverser ». Par rapport à la photogrammétrie, le LiDAR présente donc plusieurs avantages. Il n'est pas sensible à la luminosité et n'engendre donc pas d'ombre portée ni au contraste au sol. Il permet de cartographier le sol sous couvert végétal. Il est peu sensible à la météo. En fait, c'est l'électronique du drone qui imposera la limite admissible "d'humidité" de l'air. ▷

Le nuage de points est visualisable immédiatement, voire pendant la durée de vol du drone. Il n'est pas nécessaire d'installer des cibles au sol, ce qui dispense de relevé topographique pour géoréférencer.

En revanche, le LiDAR présente quelques inconvénients. Le premier est le coût du capteur. À ceci s'ajoute la mise en œuvre qui nécessite un mouvement continu de la centrale inertielle ainsi que l'installation d'une balise topographique RTK pendant environ trois heures.

### LIDAR ET PHOTOGRAMMÉTRIE

Plutôt qu'opposer ces deux techniques, Isabelle Le Tellier-Heitz les considère comme complémentaires : « Pour des sites qui ne comportent pas uniquement des zones boisées, il est intéressant de coloriser le nuage de points LiDAR avec une ortho-photo qui peut être constituée avec des photos prises en même temps que le vol LiDAR ou, d'ailleurs, indépendamment. On ne colorise évidemment que la surface car, en coupe, les couleurs n'ont aucune signification. La colorisation apporte un confort visuel et permet, dans certains cas, de mieux se repérer ».

Une autre complémentarité à signaler est celle des relevés LiDAR par drone et par avion. Sur un même site enregistré avec les deux types d'appareils, le nombre de points au sol, c'est-à-dire la définition, est différent mais la surface journalière prospectée est également différente : de 200 à 2000 pts/m<sup>2</sup> avec un drone, de 10 à 100 pts/m<sup>2</sup> avec un avion. Donc, précision, temps d'acquisition, mise en œuvre et prix peuvent varier énormément d'une technique à l'autre et c'est le besoin des archéologues qui doit trancher.

### L'ÉQUIPEMENT

Le processus à mettre en œuvre pour arriver au nuage de points et tous les éléments graphiques qui peuvent en découler est élaboré.

Il faut d'abord un drone "porteur". Dans le cas d'AirD'Eco-Drone, il s'agit d'un hexacoptère ayant tous les équipements lui permettant d'être homologué dans les trois scénarios S1, S2 et, en particulier S3, c'est-à-dire ayant la possibilité de voler en milieu urbain : c'est ainsi qu'il comporte, entre autres, un parachute et pèse moins de 8 kg en charge. Son autonomie de vol, facteur limitant de ce type de machine, est de l'ordre de 15 à 20 minutes.

Le capteur est un Surveyor de marque YellowScan. Cet instrument intègre un scanner Velodyne VLP16, qui émet

© MARC MONTAGNON



## ISABELLE LE TELLIER-HEITZ : UN PARCOURS ATYPIQUE

Après une formation en géologie et géophysique à l'université de Paris-Orsay, dans les années 80, Isabelle Le Tellier-Heitz s'expatrie immédiatement aux États-Unis dans une société d'ingénierie de barrages - Harza Engineering Company - en tant que géologue où elle accompagne des chantiers de construction de barrages et de forage aux États-Unis mais aussi, par le hasard des circonstances, en Algérie. Elle y effectue des relevés géologiques de terrain, des forages, des tunnels de reconnaissance. Puis elle revient en France en 1990 pour intégrer le bureau d'études géophysiques Horizon, refondu depuis dans Safege (filiale ingénierie pluridisciplinaire de Suez). Elle y assure des missions de géotechnique et de la géophysique appliquées à la recherche d'eau ainsi que des missions de caractérisation de sites de déchets.

En 1995, Isabelle Le Tellier-Heitz intègre le bureau d'études de l'actuel Veolia - CGEA à l'époque - où elle passe une dizaine d'années notamment en tant qu'assistante aux exploitants pour les aspects techniques de classement et d'exploitation des sites. Elle participe pendant cette période à la création d'un centre de stockage-test à Bar-sur-Aube où étaient expérimentées des techniques d'étanchéité, de traitement d'eau et de gaz en vraie grandeur. Puis elle occupe un poste de direction technique de sites de stockage de déchets pendant quatre ans dans la région Centre.

Après un séjour de quelques années en Allemagne, elle revient en France en 2000 et rejoint le centre de formation de Veolia à Cergy-Pontoise où elle est notamment amenée à créer un logiciel d'apprentissage à distance des techniques de compostage de déchets (e-learning). Elle participe ainsi à la formation de près de 600 collaborateurs, du conducteur d'engins à l'ingénieur agronome.

À l'issue d'un break personnel de quelques années, elle reprend du service en 2015 en créant AirD'Eco-drone, société de géophysique aéroportée par drone, en s'associant à Hervé Galley, lui-même directeur de production audiovisuelle et fondateur d'Armeo Média.

Cela lui permet de se rapprocher de la communauté des archéologues afin d'effectuer des opérations de prospection par LiDAR, mettant à profit la toute récente miniaturisation de ces appareils autrefois très volumineux.

Elle partage désormais son activité entre le LiDAR avec AirD'Eco-Drone et la caractérisation par drone des nids de frelons asiatiques dans les arbres au travers de la start-up "Bees for Life" (voir encadré).

Isabelle Le Tellier-Heitz fait partie de la Fédération Professionnelle du Drone Civil<sup>(1)</sup>.

À noter qu'elle a fondé AirD'Eco-Drone pour allier à sa formation de géologue-géophysicienne sa qualification de télépilote (DGAC ED 550) depuis 2015, de pilote vol libre qu'elle a pratiqué pendant 15 ans, de pilote vol à voile et de pilote d'ULM pendulaire.

<sup>(1)</sup> La Fédération Professionnelle du Drone Civil (FPDC), créée en 2013, a pour but de supporter et coordonner les efforts de promotion nationale et internationale relatifs aux potentialités des aéronefs sans pilote dans le domaine civil. La FPDC est devenue un interlocuteur de référence pour la filière du drone civil en France grâce à ses liens forts avec l'autorité de tutelle, les ministères, les tiers privés, les industriels et les médias.

**3- Isabelle Le Tellier-Heitz, directrice et fondatrice d'AirD'Eco-Drone.**

des ondes laser de classe 1 300 000 impulsions/seconde dans un faisceau de balayage de 360° x 30°. La précision théorique de sa mesure est de 5 cm moyen. Cette caractéristique a pu être vérifiée ponctuellement sur des surfaces planes et dégagées (routes, tampons) en comparant les mesures d'un Surveyor à des mesures topographiques de calage (jusqu'à 3 à 4 cm en x, y et z). Il peut fonctionner jusqu'à 80 mètres de hauteur par rapport au sol.

Le capteur intègre également une centrale inertielle Applinix 15 IH qui enregistre les trajectoires de vol et fonctionne en entière autonomie par rapport au drone qui le véhicule.

Il est porté sous un drone hexacoptère DPS6 spécialement conçu pour porter des masses "importantes", puisqu'il embarque :

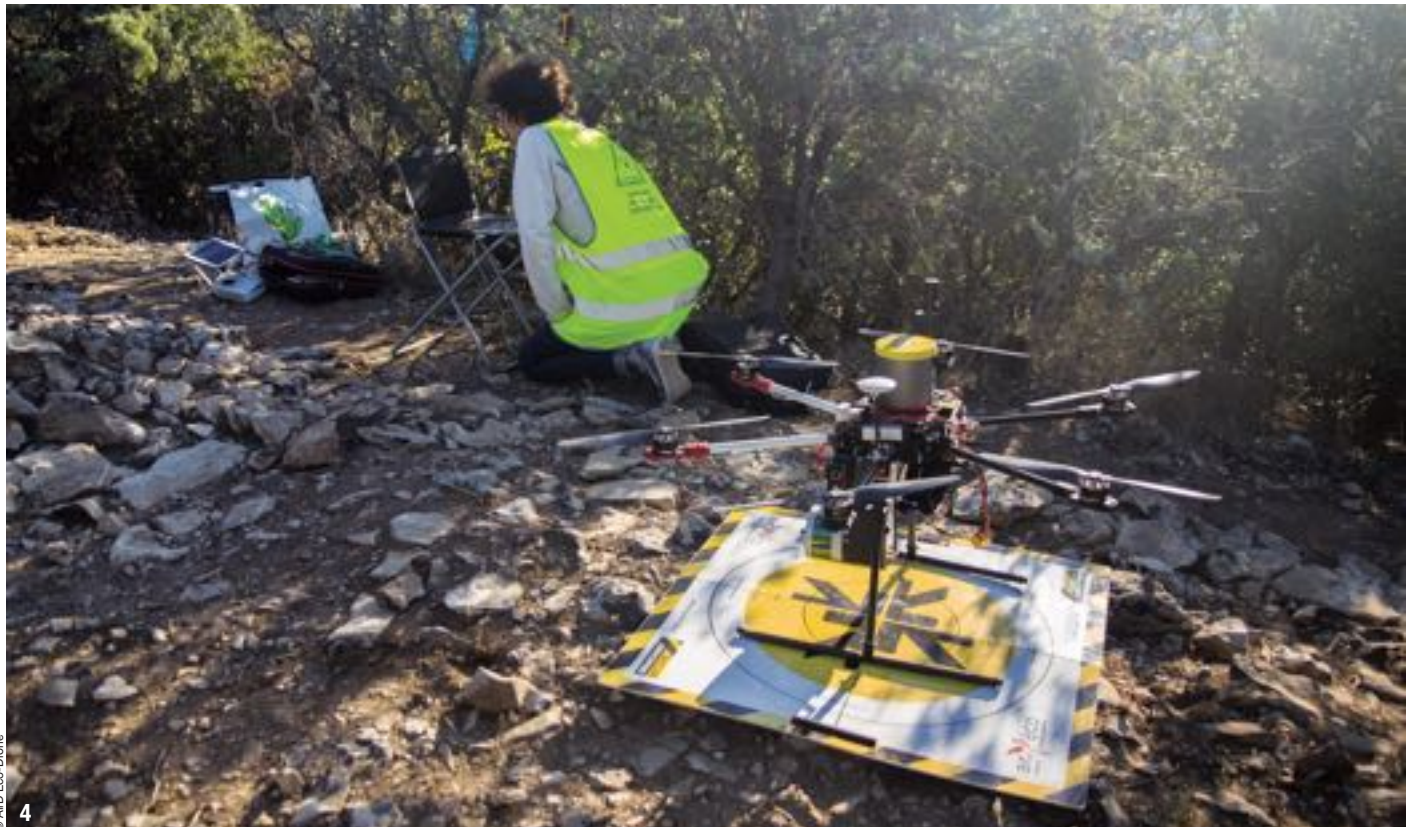
- Les batteries pour une autonomie de 15-20 minutes ;
- Le capteur lui-même, d'un poids de 1,2 kg ;
- Une antenne GPS pour le pilotage du drone et une antenne GPS pour la centrale inertielle.
- Les équipements annexes requis (en particulier un parachute à extracteur pyrotechnique) pour voler en "scénario S3", c'est-à-dire en zones urbaines ou "peuplées" au sens réglementaire français<sup>1</sup> (arrêté du 18 mai 2018).

Ce drone équipé du capteur LiDAR affiche un poids de 7,6 kg maximum au décollage. Il peut également emporter un appareil photographique qui, couplé au Surveyor, permet de texturiser les nuages de points ou de produire des ortho-photos, à l'instar de la photogrammétrie.

### LE PROCESSUS ET LE POST-TRAITEMENT

Dès que l'enregistrement est déclenché, le capteur enregistre un identifiant x,y,z dont le traitement constitue l'un des éléments essentiels du processus. Il est réalisé à l'aide de plusieurs logiciels utilisés successivement.

« Le vol sur terrain fournit le nuage de points brut, poursuit Isabelle Le Tellier-Heitz. Les données de la base topographique au sol permettent de géoréférencer le nuage brut qui est traité pour aboutir à un nuage de points calé et



© AirD'Eco-Drone  
4



© AirD'Eco-Drone  
5



6

classifié. On en extrait le MNT (Modèle Numérique de Terrain) qui ne conserve que le sol. Des logiciels de 3D permettant alors de mailler le nuage et d'en extraire un objet 3D ».

« Le nuage de points brut peut être visualisé immédiatement après chaque vol ; il est aussi possible de le visualiser en direct pendant le vol du drone ("YS LiveStation") sur demande. Cette instantanéité permet de corriger le plan de vol pour atteindre plus efficacement

**4- Préparation du plan de vol du drone/LiDAR.**

**5- L'antenne GPS (RTK) pour le pilotage du drone.**

**6- Isabelle Le Tellier-Heitz pilote le drone à proximité d'un château à explorer.**

*l'objectif recherché et surtout, permet de partager, faire comprendre l'avancée de la prospection à des tiers sur site ». Cette application peut également traiter les données enregistrées sur une clef USB afin de "rejouer" le vol.*

La visualisation du nuage de points sur le terrain permet à l'opérateur de s'assurer de la pertinence des données obtenues mais aussi de montrer à des tierces personnes (partenaires du projet, clients...) en quoi consiste la

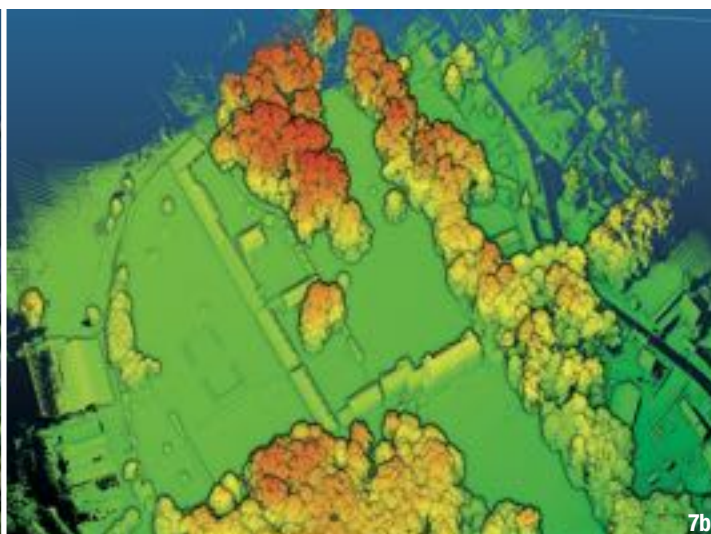
prospection LiDAR : une coupe dans le nuage de points faisant apparaître le sol, les arbres, le bâti... La colorisation selon z par exemple est très didactique et facilite l'explication du principe du calcul du modèle numérique de terrain (MNT).

Le post-traitement comporte plusieurs étapes :

- Le recalcul des trajectoires avec les données inertielles et GPS ;
- Le calcul des fichiers. LAS grâce au logiciel "YS Cloud Station" utilisant les données du capteur LiDAR et des trajectoires précédemment géoréférencées ;
- L'ajustement des lignes de vol entre elles, un filtrage et l'obtention du nuage de points assemblé.

Ce nuage de points est ensuite exploité classiquement :

- Classification : détaillée, en distinguant plusieurs classes en fonction de leur hauteur (végétation haute, basse, bâti, véhicules...), ou plus simple, en distinguant le sol et ce qui est au-dessus ;
- Calcul du MNT, du modèle numérique de surface (MNS), des courbes de niveau... ;
- Traitement du MNT par ombrage, pente, rugosité... afin de faire apparaître d'éventuels artefacts ;
- Calcul du modèle 3D, impression de maquette...



© AirD'Eco-Drone

**PREMIÈRE RÉFÉRENCE :  
UN OPPIDUM ROMAIN**

La première prospection LiDAR pour l'archéologie réalisée par AirD'Eco-Drone est la redécouverte d'un oppidum

romain d'environ 6 hectares, dit "le camp de César de Changé", à Saint-Piat en Eure-et-Loire, barré d'un rempart de 250 mètres de long et 7 mètres de hauteur, boisé de feuillus et de buis

**7a, 7b et 7c- Complémentarité LiDAR / photogrammétrie : nuage de points colorisé avec une ortho-photo, (en partenariat avec le cabinet Foncier-Experts).**

**8a- Microphotographie de l'oppidum boisé dit du "Camp de César" en Eure et Loire.**

**8b- Visuel ombré du "Camp de César" dissimulé sous l'oppidum boisé.**

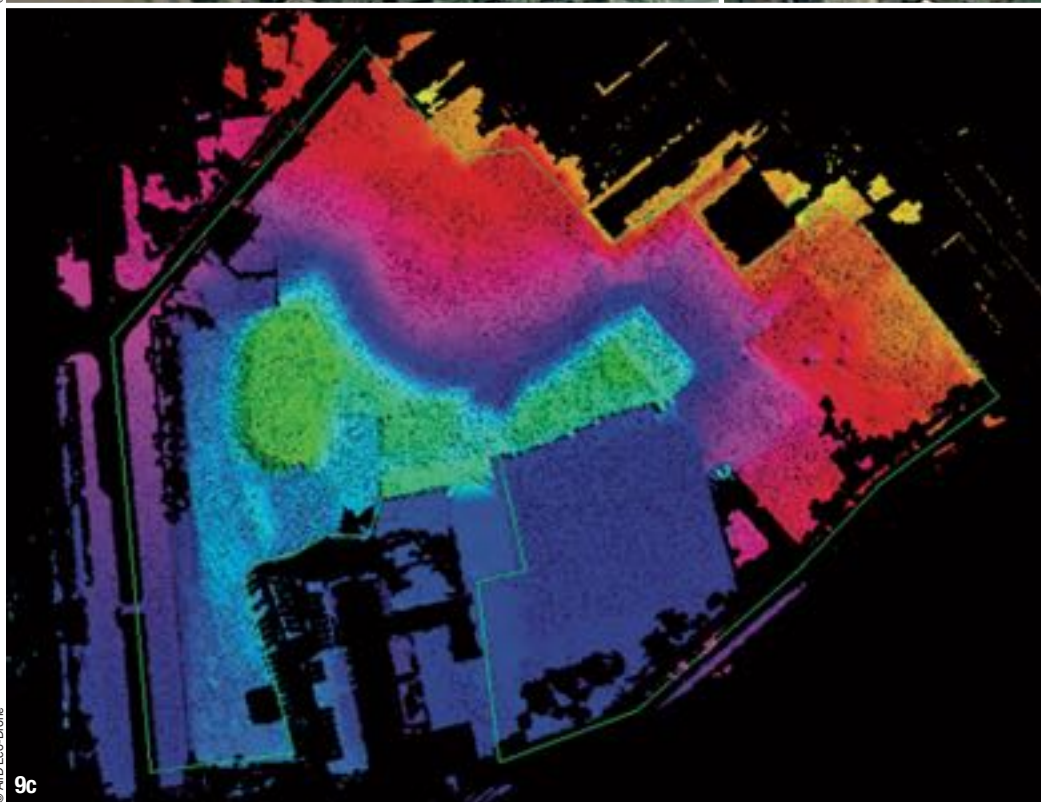
parfois impénétrables. Les acteurs locaux souhaitent avancer sur la connaissance de ce site en surplomb des berges de l'Eure.

« *Un plan topographique traditionnel aurait été trop coûteux, indique Isabelle Le Tellier-Heitz. Donc, nous avons effectué une journée de prospection et obtenu le nuage de points, le nuage débarrassé de la végétation, le MNT, le MNT ombré, les courbes de niveau, le modèle 3D et, pour ce site, nous avons imprimé une maquette en résine.* ».

Le MNT ombré a permis de découvrir ou de préciser plusieurs éléments soit cachés sous la végétation, soit non détectables au sol. Principalement, c'est la localisation de deux entrées de l'oppidum qu'il a mise en évidence ainsi que de nombreux murets et des terrasses oubliées, probables traces



© AirD'Eco-Drone



d'occupation et de mise en culture séculaire. Enfin, un rectangle, non détectable sur le terrain, s'est avéré se corréler avec un plan de 1850 mais les archéologues pensent qu'il s'agit d'un bâti encore plus ancien.

« *Au bout du rempart, ajoute Isabelle Le Tellier-Heitz, celui-ci est tronqué sur le dessus et fait apparaître un petit muret, complètement envahi par les buis. Il se trouve qu'il était peu ou pas visible sur le MNT et, pourtant, lorsqu'on observe la maquette 3D, le muret apparaît très distinctement.* »

« *Nous avons alors été convaincus de l'apport de cette visualisation 3D qui ne*

**9a- Le site du théâtre antique de Soissons, dissimulé sous un bois.**

**9b et 9c- À partir du nuage de points obtenus à l'issue du vol, le MNT ombré (Modèle Numérique de Terrain) fait ressortir des micro-reliefs, en l'occurrence l'arc de cercle du théâtre antique.**

*sert pas seulement le volet communication du projet ».*

De plus, l'opération a permis de mettre en place une animation touristique beaucoup plus complète qu'elle ne l'était précédemment.

#### À SOISSONS : UN THÉÂTRE ANTIQUE

Une autre prospection LiDAR assez spectaculaire pour l'archéologie effectuée par AirD'Eco-Drone concernait un espace situé en plein centre-ville de Soissons.

Le théâtre antique de Soissons fait l'objet d'un projet de recherche archéolo-

gique (AuguSThA). Il inclut une nouvelle étude documentaire ainsi que l'acquisition de données inédites sur le site même au moyen des récentes technologies disponibles notamment des relevés à l'aide d'un scanner terrestre 3D et d'un capteur LiDAR sur drone.

La demande était de réaliser un plan micro-topographique d'une zone de 7 hectares dont une partie boisée, en arc de cercle.

À partir du nuage de points obtenu à l'issue du vol, MNT ombré fait ressortir des micro-reliefs, en l'occurrence l'arc de cercle d'un théâtre antique d'environ 110 mètres de diamètre avec différents éléments comme des remblais des chemins et des artefacts pouvant être étudiés par les archéologues.

Cette découverte a été valorisée par l'association de relevés LiDAR et du scanner sol dont Isabelle Le Tellier-Heitz est convaincue de la complémentarité.

« *Nous avons pu tester ce travail avec un relevé scanner d'une galerie sous le théâtre antique de Soissons qui a pu être inséré dans le nuage de points LiDAR et a permis d'effectuer des observations complémentaires.* »

#### À MEUNG-SUR-LOIRE : DES JARDINS À LA FRANÇAISE

Autre exemple de capacité de l'exploration par LiDAR de mettre en évidence des "chefs d'œuvre" dissimulés : le propriétaire du château de Meung-sur-Loire, près d'Orléans, souhaitait obtenir un plan topographique d'ensemble du parc du château, qui pourrait servir de support aux prospections géophysiques envisagées, et permettre de découvrir des traces du passé non visibles au sol. ▶



10a

© AirD'Eco-Drone

En effet, une gravure de 1771 montrait l'extension des jardins à la française, enfouis à l'époque de la Révolution française. La mission a été programmée début avril 2018, juste avant la poussée des feuilles, afin de s'assurer de la meilleure pénétration des ondes LIDAR à travers le massif boisé. Le parc étant petit (6 ha), pour obtenir le plus possible de détails, celui-ci a été quadrillé par quatre vols, effectués à une hauteur de 40 mètres par rapport au sol. Les lignes de vol ont été écartées de 35 mètres pour un recouvrement supérieur à 50%. Le drone se dépla-

çait à 5 m/s. Une station au sol RTK, implantée dans une zone dégagée du parc, a enregistré les données satellitaires pendant plus de 3 heures pour post-traitement.

« *Et là, ce que nous espérions est apparu clairement*, ajoute Isabelle Le Tellier-Heitz : *la trace des anciens jardins à la française avec leurs allées, leurs pièces d'eau. On a aussi pu localiser des traces linéaires à plusieurs endroits que la géophysique terrestre viendra préciser. Le relevé 3D du château fait par la même occasion, a aidé à la réalisation d'une maquette en résine*

**10a- L'hexacoptère DPS6 équipé du Surveyor devant le château de Meung-sur-Loire.**

**10b- Plan de vol du drone/LiDAR au-dessus de la parcelle aujourd'hui boisée sur laquelle se trouvaient les jardins à la française.**

**10c- Le MNT du château de Meung-sur-Loire.**

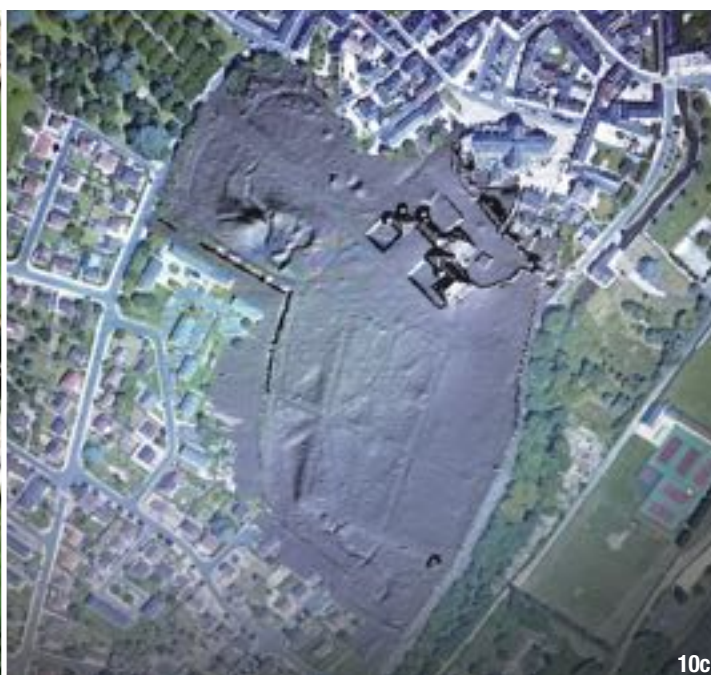
*qui agrémentera le parcours de visite du château des personnes malvoyantes* ». À noter que la prospection a été réalisée en une demi-journée, en dépit de mauvaises conditions météorologiques.

### LA RÉVÉLATION DE SITES INACCESSIBLES

Dans un tout autre univers, AirD'Eco-Drone est intervenue au niveau de la Caverne du Dragon, sur le Chemin des Dames, dans l'Aisne. La zone prospectée comporte une crête qui abrite les anciennes carrières de calcaire aménagées en véritables casernes, siège



10b



10c

© AirD'Eco-Drone

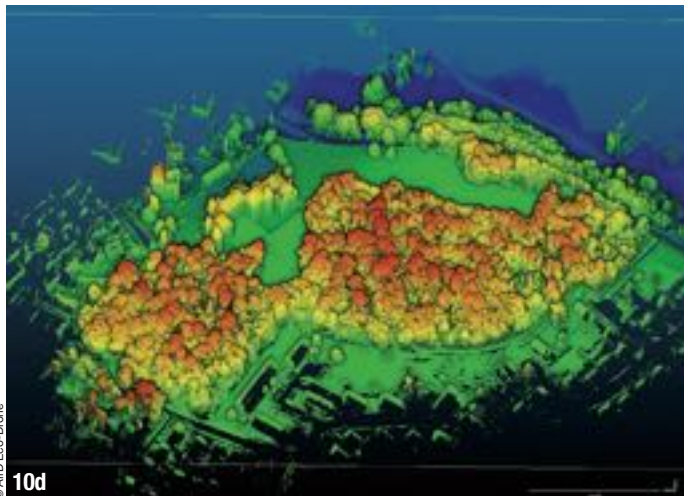
**10d-** Nuage de points colorisé selon z où l'on reconnaît le château de Meung-sur-Loire, les zones boisées et la prairie.

**10e-** Ombrage du MNT et mise en évidence topographique du schéma des jardins à la française

**10f-** Le MNT ombré donne une vue 3D des jardins avec leurs allées, leurs pièces d'eau...

**10g-** Le plan des jardins d'après une gravure de 1771.

**10h-** Maquette 3D du château de Meung-sur-Loire réalisée d'après le survol par drone / LiDAR.



© AirD'Eco-Drone

d'affrontement entre les Français et les Allemands. Ces infrastructures souterraines débouchent de chaque côté de la crête sur des versants boisés plongeant d'une quarantaine de mètres ;

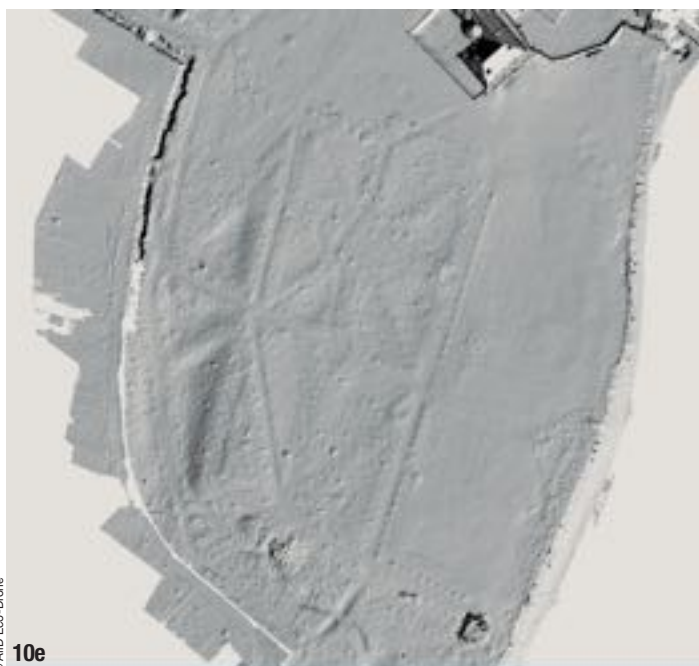
non déminés ils restent inaccessibles à pied puisque classés zone rouge. « Le MNT ombré réalisé à partir du vol du drone, ajoute Isabelle Le Tellier-Heitz, a permis de retrouver les tran-

chées telles qu'elles figuraient à l'époque, au lendemain de la guerre, avec leurs impacts de bombes, leurs accès, une voie ferrée proche... y compris un boyau d'observation descendant jusqu'à la vallée du Foulon, invisible aujourd'hui depuis le sol ».

### INTERVENTIONS RÉCENTE ET PROJETS EN COURS

De la même manière, les structures de l'enceinte celtique dite "Le Camp d'Attila", datant de 80 avant J.C. ont pu être reconstituées avec beaucoup de précision à la suite d'une recherche micro-topographique par drone LiDAR dans la vallée de la Noblette, dans la Marne.

D'autres interventions sont en cours. L'une d'entre elle concerne un site à Berchères-la-Maingot, dans l'Eure-et-Loire, sur une partie du tracé du canal Louis XIV, projet dirigé par Vauban qui devait couvrir une distance de 80 km ▷



© AirD'Eco-Drone



© AirD'Eco-Drone





11 © AirD'Eco-Drone

pour amener l'eau de l'Eure, en amont de Chartres, jusqu'aux fontaines du château de Versailles. Ce canal inachevé a imprimé au sol des traces encore visibles dans le paysage.

AirD'Eco-Drone a un projet de modélisation du début du passage sur remblai de cet aqueduc. Il s'agit d'un secteur boisé d'environ 40 hectares où le canal est posé sur un remblai de terre (d'une hauteur pouvant atteindre 80 mètres) avec des fouilles de part et d'autre d'où l'on excavait les matériaux nécessaires à la réalisation de l'ouvrage. Installé sur ces remblais de terre, le canal poursuivait son chemin sur un peu plus d'un kilomètre jusqu'en bordure de la vallée des Larris qu'il devait franchir en utilisant le principe des siphons. Deux ouvrages maçonnés ont été réalisés à cet endroit : le siphon amont et une grande arche maçonnée de 160 mètres de long pour permettre l'écoulement des Larris sous les ouvrages qui devaient être réalisés.

Pendant l'été 2018, AirD'Eco-Drone a commencé à scanner l'un des siphons et sa grande galerie en arche de 160 mètres de longueur. L'objectif est de modéliser tous ces éléments mor-

## BEES FOR LIFE : LE DRONE CONTRE LES FRELONS ASIATIQUES

**Les performances d'un drone ne se limitent pas à l'archéologie ou à la topographie.**

**C'est ainsi qu'AirD'Eco-Drone, L'Abeille Olivétaine et DronePerf se sont associés, en collaboration de recherche avec IRBI Université de Tours, pour mener à bien le projet "Bees For Life".**

**L'objectif est de diagnostiquer la présence de nids de frelons asiatiques, le plus tôt possible en saison, afin de réduire la pression du nuisible *Vespa Velutina Nigrithorax* (frelon asiatique), sur les colonies d'abeilles d'une part, et de traiter le risque sanitaire pour la population, d'autre part. La solution drone testée aujourd'hui, est basée sur une méthode innovante d'emport de caméra thermique haut de gamme et géoréférencement permettant de cartographier des zones boisées, peu accessibles, rapidement. Le LiDAR sera également envisagé en 2019.**

**Le volet complémentaire à cette solution drone, est le traitement des données (Big Data).**

**Un projet en plusieurs étapes :**

- **2018 : survol et capture des informations Infrarouge des nids pré-identifiés grâce à des contributeurs (particuliers, communes, agglomérations, apiculteurs, destructeurs de nids, associations, des organismes territoriaux), sous différents angles et hauteurs ; Survol à l'aveugle de zones propices (proximité de ruches par exemple).**
- **2019 : Instrumentation en continu d'un nid ; poursuite de la méthodologie de cartographie aérienne des nids ; élaboration d'une application de gestion de la localisation et destruction des nids à l'attention des gestionnaires (collectivités, entrepreneurs...).**

### 11- Isabelle Le Tellier-Heitz et son associé Hervé Gallepy.

phologiques au-dessus et en-dessous du sol. Leur modélisation permettrait de mieux comprendre ce paysage et aussi de le mettre en valeur par un circuit touristique.

« Ainsi, quels que soient le site et la nature des ouvrages explorés, conclut Isabelle Le Tellier-Heitz, les relevés LiDAR ont permis à chaque fois d'établir un plan topographique de 5 à 20 cm de précision sur un large secteur autour du point d'intérêt archéologique, rapidement puisque toutes les missions présentées ont nécessité une journée de levée et de l'ordre d'une semaine de traitement avant de remettre les résultats - à un coût raisonnable ».

Cela permet une lecture du sol qui garde des marques du passé même si l'on ne détecte rien de visible lorsque l'on s'y promène à pied. Ces micro-reliefs invisibles à l'œil ont toujours mis en évidence des artefacts venant nourrir le travail d'interprétation des archéologues. □





**PRO BTP,  
LE MEILLEUR DE LA  
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ

PRÉVOYANCE

RETRAITE

ÉPARGNE

ASSURANCES

ACTION SOCIALE

VACANCES

 **PRO BTP**  
GROUPE

# AMÉLIORATION DE LA BIFURCATION A9-A61 - OUVRAGES D'ART

AUTEUR : NICOLAS DURIN, CHEF DE PROJET INFRASTRUCTURES, ARCADIS

LE NŒUD AUTOROUTIER A9-A61 SITUÉ AU SUD DE NARBONNE RELIE L'AUTOROUTE A9 ORANGE - PERPIGNAN À L'AUTOROUTE A61 TOULOUSE - NARBONNE, TOUTES DEUX CONCÉDÉES À VINCI AUTOROUTES. CE NŒUD AUTOROUTIER, QUI SUPPORTE DES TRAFICS TRÈS IMPORTANTS A FAIT L'OBJET DE TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT ENTRE 2016 ET 2018 AFIN D'AMÉLIORER LES CONDITIONS D'EXPLOITATION EN AUGMENTANT SA CAPACITÉ ET LA SÉCURITÉ DES USAGERS.



© PHOTO THÈQUE VINCI AUTOROUTES / PRODUCT AIR / LE DOARE

## CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET

La bifurcation autoroutière A9-A61 à Narbonne (figures 1 et 2) a été construite dans la deuxième moitié des années 1970.

L'évolution des trafics lors des cinquante dernières années conduit à revoir l'infrastructure de manière à continuer d'assurer une circulation fluide dans de bonnes conditions de sécurité pour les usagers.

Le projet prévoit la création d'une bretelle sur l'autoroute A9 permettant de contourner le nœud autoroutier par l'est.

L'amélioration des échanges implique également des réaffectations de voies et des travaux d'élargissement de l'autoroute A9.

Ces aménagements ont des impacts notables sur les ouvrages d'art existants (problème de géométrie conduisant à supprimer une pile d'un passage supérieur, durcissement du niveau de sécurité des dispositifs de retenue en rives d'ouvrage, modifications des coupes fonctionnelles, etc.).

Ce sont ces aspects spécifiques d'aménagements d'ouvrages d'art existants qui sont ici développés.

### 1- Vue d'ensemble du nœud autoroutier A9-A61 à Narbonne.

### 1- General view of the A9-A61 motorway interchange at Narbonne.

## DÉMOLITION ET RECONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE LA NAUTIQUE

L'ouvrage de la Nautique, dénommé PS 1925, franchit l'autoroute A9 en

passage supérieur, il comporte 3 piles intermédiaires et son tablier est constitué d'une dalle en béton précontraint. Dans le cadre du projet d'élargissement de l'autoroute, une pile de l'ouvrage existant se trouvait au droit d'une future voie de l'autoroute. Diverses solutions ont été étudiées au stade des études AVP, et notamment :

→ La conservation de l'ouvrage existant avec suppression de l'appui intermédiaire et reprise de charges par des haubans fixés à un mât situé au niveau de la pile intermédiaire en terre-plein central ;



2

© PHOTOTHÈQUE VINCI AUTOROUTES / PRODUCT AIR / LE DOARE



3

© PHOTOTHÈQUE VINCI AUTOROUTES / PRODUCT AIR / LE DOARE



4

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

→ La reconstruction d'un ouvrage neuf en parallèle de l'ouvrage existant et la démolition de l'ouvrage existant de manière à ne pas interrompre la circulation sur cette voie.

La solution visant à conserver l'ouvrage existant en remplaçant la pile à supprimer par un chevêtre haubané était compétitive d'un point de vue économique mais n'était pas adaptée à l'ensemble des contraintes techniques du projet (ouvrage courbe, problème de gabarit au droit des renforcements transversaux du tablier) et présentait de ce fait d'importants risques techniques. C'est la solution de démolition et reconstruction de l'ouvrage qui a été retenue par le maître d'ouvrage (figure 3). ▷

**2- Vue d'ensemble du nœud autoroutier A9-A61 à Narbonne.**

**3- PS 1925 - reconstruit.**

**4- Démolition de l'ancien PS 1925.**

**2- General view of the A9-A61 motorway interchange at Narbonne.**

**3- Overpass 1925 - rebuilt.**

**4- Demolition of old overpass 1925.**



5



6

© PHOTO THÉQUE ARCADIS

© PHOTO THÉQUE ARCADIS

5- PI 3771 -  
Renforts carbone en TPC.

6- PI 3771 -  
Consoles de  
vérinage sur  
pile.

7- PS 1920 -  
Coupe transversale du projet.

8- PS 1920 -  
Détail renforts  
carbone du  
tablier.

5- Underpass  
3771 - Carbon  
reinforcements  
on central  
reserve.

6- Underpass  
3771 - Brackets  
for jacking on  
pier.

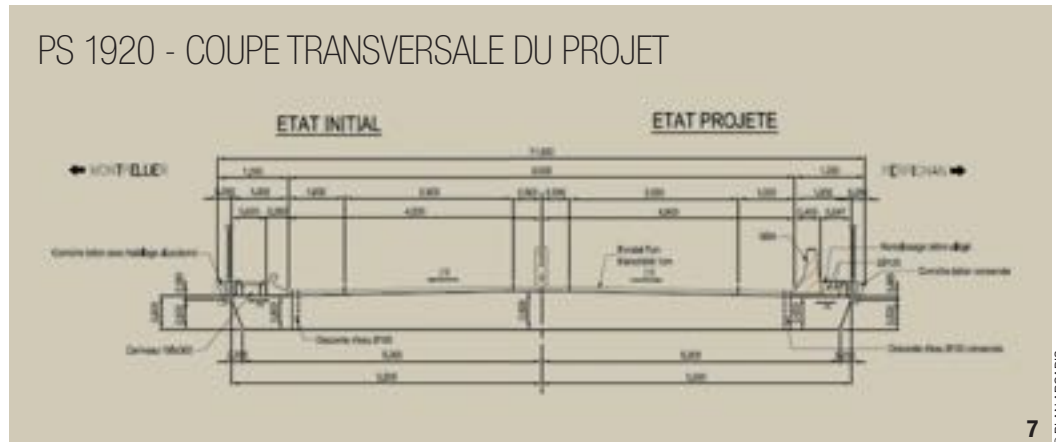
7- Overpass  
1920 - Cross  
section of the  
project.

8- Overpass  
1920 - Detail  
of deck carbon  
reinforcements.

Afin de minimiser les contraintes sur l'exploitation autoroutière de l'A9, les solutions suivantes ont été retenues :

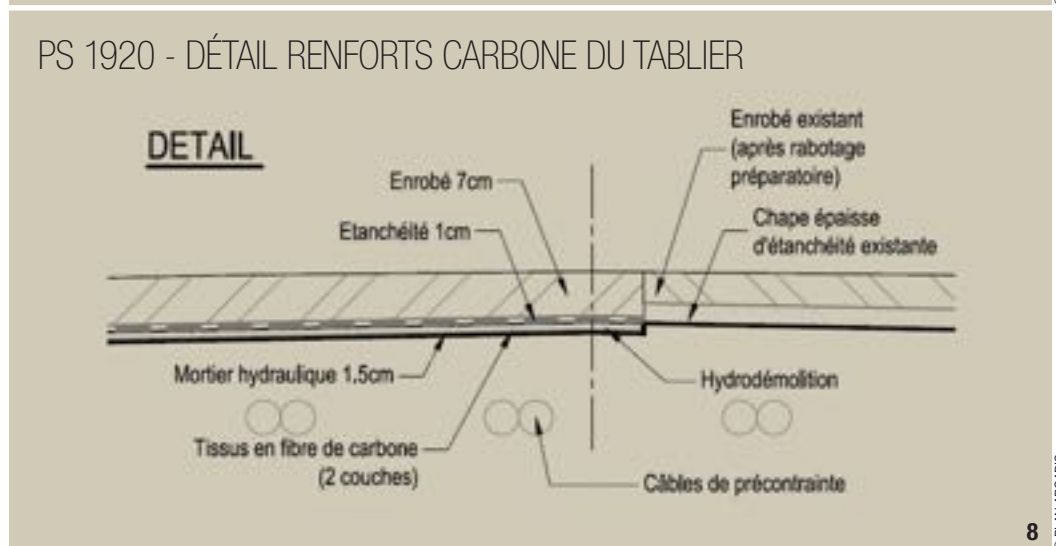
- Le tablier de l'ouvrage neuf est constitué de poutres préfabriquées de type PRAD (pont à poutres précontraintes par adhérence) posées à la grue de nuit, sous basculement de la circulation d'un sens sur l'autre ;
- L'ouvrage existant a été totalement démolé en une nuit (entre 21h et 7h30 le lendemain), sous fermeture complète de l'autoroute A9.

Pour faire l'opération dans des délais très courts et particulièrement maîtrisés,



7

© PLAN ARCADIS



8

© PLAN ARCADIS

d'importants moyens humains et matériels de démolition et de terrassements ont été mobilisés (10 pelles, 4 cisailles à béton, 4 BRH, 8 tombereaux, 1 bull, 3 chargeuses, 4 balayeuses, 2 nacelles ciseaux, ...). Une couche de sable de 50 cm d'épaisseur environ a été mise en œuvre sur la chaussée pour ne pas l'endommager lors des travaux de démolition (figure 4).

### CHANGEMENT DES DISPOSITIFS DE RETENUE SUR LES OUVRAGES D'ART

**Les dispositifs de retenue du passage inférieur PI 3771** permettant le franchissement de la RD6009 par l'autoroute A61 comportant deux tabliers accolés de type PSDP ont été remplacés par des dispositifs homologués CE. Les études ont montré qu'un niveau de retenue H2 est requis en TPC. Compte

tenu des contraintes de conserver le profil en travers sur ouvrage, la solution de remplacer les glissières de sécurité par des barrières béton de type GBA a été retenue.

Cette solution a été rendue possible par la présence d'un caillebotis métallique fixé entre les deux tabliers et permettant de sécuriser l'éventuel franchissement de la GBA par un usager sur l'ouvrage.



© PLAN ARCADIS

9

Le tablier existant a été recalculé en intégrant le surpoids de la GBA et les efforts transmis au tablier lors d'un choc de poids lourds sur la GBA. Ces calculs ont conduit aux besoins suivants :

- Renforcer l'extrados de l'ouvrage côté TPC par des matériaux composites carbone collés ;
- Décharger les enrobés sur l'ouvrage pour revenir à l'épaisseur initiale, afin de compenser la surcharge apportée par la GBA en TPC ;
- Démolir et réhausser l'ensemble des bossages en béton des appuis pour relever l'ouvrage afin de conserver le profil en long de l'auto-route A61.

**9- PS 1920 - Renforts carbone du tablier.**

**10- PS 1920 - Plateforme tête de pile pour vérinage du tablier.**

**11- PS 1920 - Console de vérinage sur pile.**

**9- Overpass 1920 - Deck carbon reinforcements.**

**10- Overpass 1920 - Platform on the pier cap for deck jacking.**

**11- Overpass 1920 - Bracket for jacking on pier.**

Les travaux de renforcement des tabliers en TPC ont été réalisés sous neutralisation de la voie de gauche sur l'A61 et protection par des blocs SMV. Un platelage a par ailleurs été fixé entre les deux tabliers pour isoler la zone de travaux de la RD6009 maintenue en exploitation sous l'ouvrage.

Les plats en carbone mis en œuvre sur une largeur de 2,85 m en TPC ont été recouvert d'un mortier de protection afin que l'élévation de température produite par la mise en œuvre de l'étanchéité du tablier ne vienne pas altérer le collage des plats carbone. Des essais de convenance réalisés au préalable ont permis de valider l'épaisseur de mortier de protection mis en œuvre

de manière à s'assurer que la température atteinte au niveau des plats carbone et de la colle restait dans le domaine d'efficacité des produits lors de la mise en œuvre de l'étanchéité au chalumeau. L'épaisseur de mortier retenue est de 1,5 cm (figure 5).

Les vérinages des tabliers ont été réalisés par mise en place de consoles métalliques en tête de piles intermédiaires afin de ne pas modifier la répartition transversale des appuis du tablier en phase provisoire. Au niveau des culées, les vérifications du tablier ont permis de disposer les vérins sur le sommier des culées, sur la ligne d'appui des appareils d'appui à reconstruire (figure 6).



10

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



11

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

En rive des tabliers, les barrières BN4 sur l'ouvrage ont été conservées. Afin de s'assurer de leur efficacité, un diagnostic complet et des essais de poussée normalisés ont été réalisés et ont permis d'attester de leur bon état ainsi que de confirmer leur efficacité. Seuls les raccordements hors ouvrage ne permettaient pas d'assurer un niveau de retenue H2 à l'entrée de l'ouvrage car les barrières étaient directement raccordées sur des glissières de sécurité hors ouvrage.

Il a été retenu de prolonger les barrières BN4 hors ouvrage sur des dalles de frottement, raccordées ensuite sur des barrières béton GBA en section courante.

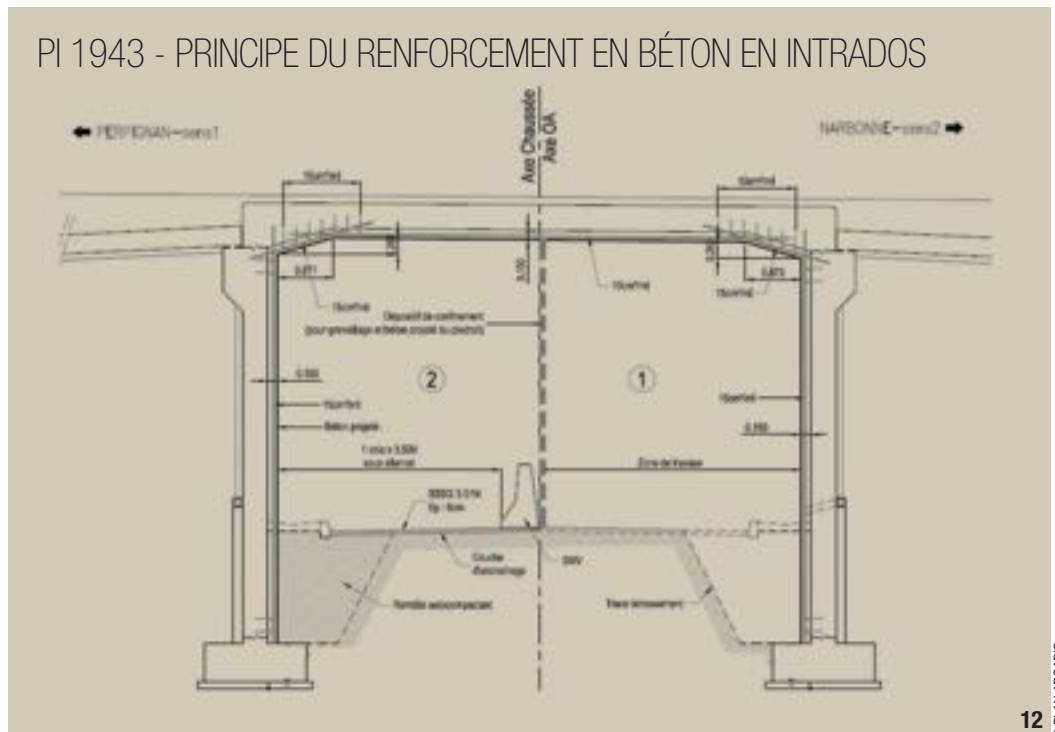
**Le passage supérieur PS 1920**, diffuseur de Narbonne Sud, est constitué d'un tablier de type PSDP. Les trottoirs sur l'ouvrage étaient protégés de la chaussée par des bordures GST3 et des garde-corps en rive d'ouvrage.

Les études ont montré qu'un niveau de retenue H2 est requis en rive d'ouvrage, que les bordures GST3 combinées au garde-corps ne permettent pas de satisfaire. Le choix du nouveau dispositif de retenue a été réalisé en intégrant les contraintes suivantes :

- Maintien de la largeur roulable sur le tablier ;
- Conservation des trottoirs de service sur l'ouvrage ;
- Limitation des travaux en encorbellement de l'ouvrage vis-à-vis des contraintes d'exploitation de l'A9.

La solution retenue a été de remplacer les bordures existantes par des glissières en béton GBA en bords de chaussée, permettant de conserver des trottoirs de service réduits entre la GBA et le garde-corps.

La justification de la portance du tablier après travaux a conduit à prévoir :



- Le renforcement de la totalité du tablier par des plats carbone en extrados du tablier protégés par un mortier de protection suivant le même principe que sur le PI 3771 présenté précédemment ;
- Le déchargement du tablier en enrobés afin de retrouver l'épaisseur initiale d'enrobés d'origine et l'allègement des trottoirs, combiné à un rehaussement des bossages afin de conserver le profil en long du diffuseur (figures 7 et 8).

Le phasage des travaux a été défini en concertation avec l'exploitant de manière à limiter la gêne aux usagers tout en assurant la protection des travaux sur le tablier. Les travaux se sont déroulés en 2 phases de 3 semaines,

**12- PI 1943 - Principe du renforcement en béton en intrados.**

**13- PI 1943 - Paroi clouée provisoire.**

**14- PI 1943 - Élargissement de l'ouvrage.**

**12- Underpass 1943 - Schematic of concrete strengthening on intrados.**

**13- Underpass 1943 - Temporary soil-nailed wall.**

**14- Underpass 1943 - Structure enlargement.**

par demi-chaussée, en conservant un seul sens de circulation sur le tablier pendant les travaux (figure 9).

Le vérinage du tablier a été réalisé de manière analogue au vérinage du PI 3771, par mise en place de consoles métalliques en tête de piles intermédiaires (figures 10 et 11).

**Le passage inférieur PI 1943** permettant le franchissement de la RD105 sous l'autoroute A9 est un ouvrage de type Portique Ouvert de 10 m d'ouverture, équipé en TPC de glissières de sécurité et d'un caillebotis entre les deux traverses et en rive de barrières BN4.

L'étude a démontré que le niveau de retenue requis en TPC était un niveau N. Cependant, de manière à



13



14



15

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



16

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

assurer la continuité de la glissière béton GBA en TPC prévue dans le cadre de la minéralisation du TPC, il a été choisi de remplacer les glissières de sécurité par une barrière béton GBA.

Le calcul aux éléments finis a montré la nécessité de renforcer la traverse. Alors qu'il était prévu à la conception de renforcer celle-ci par rajout d'aciers passifs en extrados après démolition de la longrine de rive, l'entreprise a proposé d'obturer le TPC en élargissant la traverse en TPC.

En rive d'ouvrage, la barrière BN4 a été déposée car le diagnostic structurel réalisé pendant les études a mis en évidence que l'entraxe des poteaux n'était pas celui des documents d'exécution de l'époque et de la norme sur les barrières BN4.

Après la mise en place d'un plâtrage en encorbellement de la traverse permettant de conserver la circulation sous l'ouvrage, puis le sciage de la longrine existante, la nouvelle barrière H2 norme CE et la longrine reconstruite ont été ancrées à la traverse par des ancrages traversants de type P.

**15- PI 1943 - Renforcement des piédroits par béton banché.**

**16- PI 1943 - Renforcement de la traverse en béton projeté.**

**17- Renforcement de la double buse 1932 par chemisage PRV.**

**18- Renforcement de la buse PI 1944 par radier béton connecté.**

**15- Underpass 1943 - Side wall strengthening by shuttered concrete.**

**16- Underpass 1943 - Shotcrete cross-member strengthening.**

**17- Strengthening double culvert 1932 with GRP lining.**

**18- Strengthening underpass 1944 culvert by connected concrete invert.**

## ÉLARGISSEMENT ET RENFORCEMENT D'UN PASSAGE INFÉRIEUR DE TYPE PORTIQUE

Dans le cadre du réaménagement de la bretelle de sortie vers Narbonne Sud en amont de la bifurcation A9-A61, le passage inférieur PI 1943, de type Portique Ouvert sur semelles superficielles, permettant le rétablissement de la RD105 sous l'autoroute A9 vers les étangs de Bages a été rallongé dans le sens Perpignan vers Montpellier.

### Conception

Conformément aux exigences du maître d'ouvrage, l'ensemble de l'ouvrage (partie existante et partie neuve en élargissement) a été recalculé suivant les Eurocodes en considérant le nouveau profil en travers de l'autoroute élargie.

Les calculs ont démontré la nécessité de renforcer l'ouvrage en milieu de traverse en intrados et au niveau des encastrement piédroits/traverse en extrados. Pour ce faire et compte tenu de l'impossibilité d'accéder en extrados à l'arrière des piédroits et sur la traverse circulée par l'A9, le choix d'un renforcement en béton projeté en

intrados a été retenu, sur une épaisseur de 15 cm, le gabarit de la RD le permettant.

Le renforcement en intrados vise à améliorer le bras de levier des armatures situées en extrados (figure 12).

### Travaux

Les travaux d'élargissement ont nécessité la démolition des murs en aile existants et le soutènement provisoire du remblai autoroutier sur une hauteur de 6 m environ, réalisé par une paroi clouée en béton projeté et 4 rangées de clous (figure 13).

La partie d'ouvrage en élargissement a été connectée à l'ouvrage existant au niveau des piédroits et de la traverse. L'ensemble de ces travaux s'est déroulée sous alternat de circulation sur la RD105 (figure 14).

Le renforcement en intrados a été réalisé, après grenailage du support, par ajouts d'aciers passifs scellés à la structure existante et deux passes de béton projeté de 8 et 7 cm chacune. Les phases de projection, prévues initialement de nuit sous basculement de l'A9, ont finalement été exécutées de jour sans basculement de l'autoroute, ▷



17

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



18

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



19

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



20

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

sur la base d'épreuves de convenance ayant permis de démontrer que les vibrations liées à la circulation sur la traverse n'avaient aucun impact sur l'adhérence du béton projeté sur le béton à jeune âge (figures 15 et 16).

**ALLONGEMENT ET RENFORCEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES**

Plusieurs ouvrages hydrauliques sont présents au niveau du nœud autoroutier, ils sont constitués de buses métal-

liques de type Armco. Outre le besoin d'allonger ces ouvrages, un diagnostic structurel établi au démarrage des études a conclu au besoin de les renforcer.

L'étude du renforcement des buses a été réalisée avec l'appui d'une étude hydraulique permettant d'évaluer l'impact hydraulique pour les différentes solutions de renforcement étudiées : chemisage béton, chemisage PRV (Polyester Renforcé de fibres de

**19 & 20- Allongement de la buse métallique PI 1942.**

**19 & 20- Lengthening the steel culvert of underpass 1942.**

par l'intermédiaire d'un treuil disposé à une extrémité.

Le remplissage du vide annulaire entre les coques PRV et la buse métallique a été réalisé en plusieurs phases d'injection d'un coulis de ciment après réalisation d'un masque en béton aux extrémités.

Des trous à travers les coques PRV permettent de servir de témoin de la bonne injection du coulis à plusieurs niveaux (figure 17).

Les allongements des buses métalliques ont été réalisés, soit par prolongation du chemisage PRV des buses renforcées, soit par prolongement de tôles métalliques de section identique aux buses existantes, raccordées par boulonnage aux tôles conservées (figures 19 et 20). □

Verre...), radier béton connecté à la buse. Deux buses ont été renforcées par un chemisage PRV et une buse a été renforcée avec un radier en béton connecté à la buse (figures 17 et 18). Les coques préfabriquées en PRV ont été ripées à l'intérieur de la buse, sur des rails soudés à l'intérieur de celle-ci,

**PRINCIPALES QUANTITÉS RÉPARTIES SUR LES OUVRAGES**

- BÉTON : 1 400 m<sup>3</sup>**
- ACIER : 220 t**
- POUTRES PRAD : 32 unités (longueur moyenne : 20 m)**
- PLATS COMPOSITE CARBONE COLLÉS : 550 m<sup>2</sup>**
- PIEUX : 100 m (diamètre 1 m et 1,2 m)**
- BÉTON PROJETÉ (renforcement en intrados de traverse) : 60 m<sup>3</sup>**
- CHEMISAGE PRV : 365 m**
- COULIS DE REMPLISSAGE DU VIDE ANNULAIRE (chemisage PRV) : 815 m<sup>3</sup>**
- ÉTANCHÉITÉ DE TABLIER : 1 900 m<sup>2</sup>**

**PRINCIPAUX INTERVENANTS**

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes**
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis**
- ENTREPRISE : Groupement Guintoli / Ehtp / NGE GC / Siorat**

**ABSTRACT**

**IMPROVEMENT OF THE A9-A61 JUNCTION - ENGINEERING STRUCTURES**

NICOLAS DURIN, ARCADIS

The A9-A61 motorway junction at Narbonne underwent improvement work between 2016 and 2018 in order to respond to the growth in traffic by increasing its capacity and user safety. The improvements made to this motorway interchange required works for strengthening and lengthening all the engineering structures. There were various challenges on all the structures concerned (replacement of retention systems, consolidation, enlargement, demolition/reconstruction). Nearly all these works were carried out with the motorway in service, so that heightened vigilance was needed every day to ensure compliance with the safety conditions for these works and have the smallest possible impact on the users. □

**MEJORA DE LA BIFURCACIÓN A9-A61 - OBRAS DE FÁBRICA**

NICOLAS DURIN, ARCADIS

La bifurcación de la autopista A9-A61 en Narbona fue objeto de obras de mejora entre 2016 y 2018 para responder a la evolución del tráfico y aumentar su capacidad y la seguridad de los usuarios. Las mejoras operadas en este nodo de la red de autopistas han exigido obras de refuerzo y de prolongación en el conjunto de las obras de fábrica. Han surgido problemas diversos en todos los trabajos realizados (sustitución de dispositivos de retención, refuerzos, ensanchamientos, demolición/reconstrucción). Casi la totalidad de estas obras se han llevado a cabo con la autopista abierta, con una vigilancia diario reforzada en términos de respeto de las condiciones de seguridad de las obras y con el mínimo impacto posible para los usuarios. □





1

© ARTELIA

# TRAMWAY DE CAEN : LE DÉFI RÉUSSI DE LA TRANSFORMATION D'UN TRAMWAY SUR PNEUS EN UN TRAMWAY SUR RAIL

AUTEURS : CHRISTOPHE VERDIN, CHEF DE PROJET, ARTELIA - DANIEL ARSLANIAN, RESPONSABLE DIRECTEUR DES TRAVAUX, SETEC - YVES COULOUME, ARCHITECTE, ATTICA - ROMAIN VALLENGELIER, PAYSAGISTE, SIGNES

LE PROJET DU TRAMWAY DE CAEN CONSISTE À DÉMOLIR L'ANCIEN TRAMWAY SUR PNEUS, APPELÉ TVR, ET À RECONSTRUIRE UN NOUVEAU TRAMWAY SUR FER SUR PLUS DE 16 km EN MOINS DE 18 MOIS, TOUT EN RÉUTILISANT UNE PARTIE DES ÉQUIPEMENTS ET INFRASTRUCTURES DE L'ANCIEN TRACÉ. C'EST UN VÉRITABLE DÉFI TECHNIQUE DE CONCEPTION ET DE RÉALISATION, QUI S'EST DÉROULÉ ENTRE JUILLET 2015 ET JUILLET 2019.

## LE PROJET

Construit en 2002, le TVR de Caen est un tramway sur pneu à guidage par rail unique central. Ses rames Bombardier sont tri-caisses et alimentées en énergie électrique par un fil de contact aérien. Malheureusement, les fréquents dysfonctionnements de ce matériel roulant ont dégradé la qualité

**1- Ouverture de voie à Quatrans.**

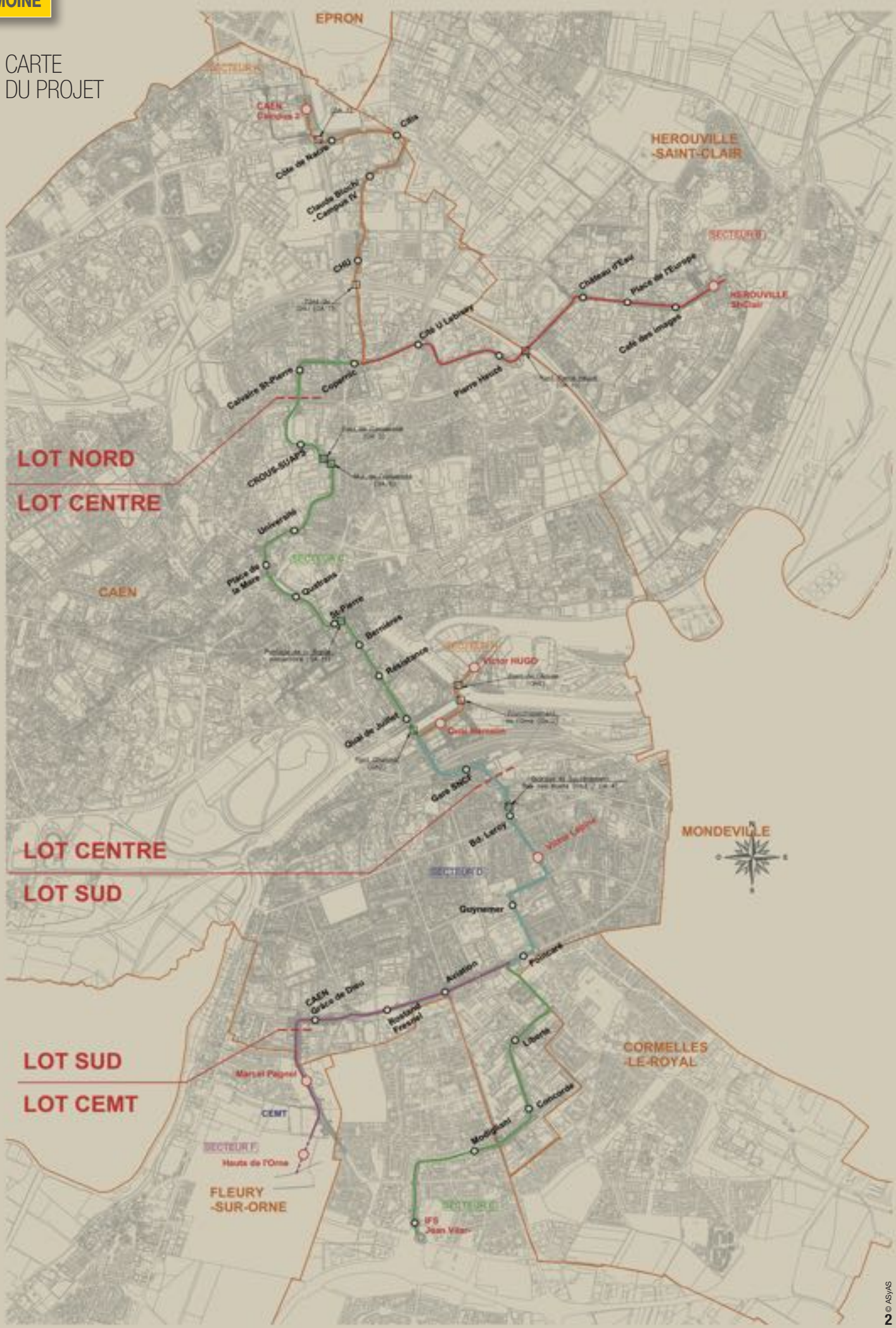
**1- Track opening in Quatrans.**

du service et l'attractivité de la ligne de transport. L'arrêt de la production de nouvelles rames par Bombardier rendait impossible tout renouvellement ou augmentation de capacité du réseau. Le choix de l'agglomération de Caen la mer s'est définitivement porté fin 2014 sur la reconstruction complète en un tramway sur rails.

En juillet 2015, le marché de maîtrise d'œuvre est notifié au groupement ASyAS, constitué des ingénieries Artelia et Setec, ainsi que des cabinets d'architecture et paysagistes Attica et Signes.

Les échéances sont fixées : 1<sup>er</sup> janvier 2018 pour l'arrêt du TVR et juin 2019 pour la mise en service. ▶

CARTE DU PROJET



- 2- Carte du projet.
- 3- Abaissement du niveau de plateforme sur la rue des Muets.
- 4- Abaissement du niveau de plateforme à l'université - En travaux.
- 5- Abaissement du niveau de plateforme à l'université - Après travaux.

- 2- Map of the project.
- 3- Lowering the track level on Rue des Muets street.
- 4- Lowering the track level at the university - Work in progress.
- 5- Lowering the track level at the university - After the works.

Les études AVP et PRO sont réalisées jusqu'en fin 2016 et bouclent un programme de travaux de 16 km, en 3 lignes, 36 stations et trois nouveaux ouvrages d'art.

En 2017, les passations des marchés de travaux ainsi que les déviements de réseaux se déroulent.

Le projet du tramway de Caen regroupe plusieurs caractéristiques qui le différencient de tout autre projet d'infrastructure linéaire : il s'agit de la démolition complète d'une infrastructure de transport et la construction d'un tramway tout en réutilisant une partie des équipements, dans un délai très court de 18 mois de travaux (figure 2).

## LA CONCEPTION

La conception de la nouvelle infrastructure a commencé en juillet 2015 lors de la notification du marché de maîtrise d'œuvre. Dans un objectif de coûts réduits et de gain de temps, le cahier des charges demandait de réutiliser au maximum des infrastructures existantes, afin de minimiser les travaux sur la plateforme existante. Conséquence directe de cette consigne, la largeur d'intervention devait être réduite au plus proche du GLO (Gabarit Limite d'Obstacle), limite physique de l'emprise des circulations du tramway.



Appliquant le principe de réutilisation "au maximum", la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont mené diagnostics, sondages, études préliminaires et études d'avant-projet, jusqu'à aboutir à une conception mêlant remise à neuf, réutilisation, construction nouvelle et embellissement.

## VOIE FERRÉE

Les règles d'insertion d'un tramway étant plus contraignantes que celles du TVR, l'ensemble du tracé a été repris pour rectifier les courbes de trop faible rayon ou diminuer les pentes trop élevées. Deux secteurs du tracé présentent désormais des pentes de 8,5%, admissibles pour les tramways de nouvelle génération (figures 3, 4 et 5). De l'infrastructure de voie, pratiquement rien ne put être préservé, le système TVR présentant un rail unique central de guidage sur une plateforme béton armé ou enrobé, incompatible avec la circulation d'un tramway fer. Seuls la multitubulaire du TVR et les câbles s'y logeant pouvaient être maintenus en place, dans les sections en enrobés, les sections en béton armé étant complètement démolies y compris les fourreaux inclus à l'intérieur.

## OUVRAGES D'ART

Le tracé du TVR comptait cinq ouvrages d'art courants et une passerelle récente de 120 m à 9 travées. Tous les ouvrages ont pu être réutilisés sans modification majeure :

- Pont Churchill ;
- Pont Heuzé ;
- Pont de l'Université ;
- Passerelle du CHU, sur laquelle un élargissement de trottoir a été réalisé dans le cadre de l'opération (figure 6).

Cette réutilisation a été rendue possible par le comparatif des charges TVR aux charges tramway fer, ainsi qu'à la modélisation complète du tablier pour les ouvrages plus anciens nécessitant un recalcul de vérification. Selon les résultats obtenus, un allègement des charges de superstructure était nécessaire, ce qui a été permis par une pose de voie collée associée à un revêtement par platelage en bois.

Un ouvrage situé dans la rue des Muets devait être particulièrement impacté par les travaux : le profil en long de la voie, à cet endroit, étant abaissé de plus d'un mètre. Pour cet ouvrage, l'entreprise devait procéder à une déconstruction du tablier, un recépage des pieux existants, puis à la reconstruction d'un tablier.



6

© ARTELIA

Deux nouveaux ouvrages, l'un sur l'Orme, l'autre servant de pontement d'un ovoïde d'assainissement, faisaient également partie du programme des travaux.

#### LIGNE AÉRIENNE ET ÉNERGIE

Les équipements des sous-stations existantes ont été conservés car compatibles avec le besoin de production de la puissance nécessaire à l'exploitation. Un recalibrage des équipements de protection des tableaux HT était cependant nécessaire pour permettre l'augmentation de la puissance consommée en ligne.

La ligne aérienne a pu être conservée moyennant des adaptations minimales qui sont liées aux modifications de tracé (figure 7), à l'élargissement des girations d'un rayon de 20 m impossible pour un tramway fer, aux nouvelles positions d'injection électrique. Lorsqu'il n'était

pas trop usé, le fil de contact lui-même pouvait rester en place sur les portions non modifiées. Cette solution n'a toutefois pas été retenue, pour permettre aux entreprises et aux concessionnaires de ne pas être gênés lors des travaux.

#### SIGNALISATION LUMINEUSE DE TRAFIC

La mise aux normes du projet, ainsi que l'application des recommandations du STRMTG qui n'étaient pas en vigueur à la construction du TVR en 2002, ont modifié sensiblement la signalisation lumineuse. Sur l'ensemble du tracé, ce ne sont pas moins de 100 carrefours qui ont été modifiés ou équipés à neuf. Les équipements de signalisation lumineuse ont fait l'objet d'un diagnostic pour identifier ce qui pouvait être réutilisé, ou ce qui devait être changé pour des considérations de normes ou d'état général.

**6- Vue du tram sur la passerelle du CHU.**

**7- Plateforme en préparation avec réutilisation des poteaux de ligne aérienne.**

**8- Station Bernières construite autour des arbres.**

**6- View of the tram on the CHU hospital foot bridge.**

**7- Track foundation in preparation, recycling overhead-line poles.**

**8- Bernières Station built around trees.**

#### ALLOTISSEMENT ET FRONTS DE TRAVAUX

L'allotissement des principaux travaux d'infrastructure s'est faite de manière géographique, en trois marchés regroupant la voie, la ligne aérienne et les aménagements urbains :

→ **Groupe Etf / Eurovia / Mastelloto.**

Attributaire des lots Nord et du dépôt, le groupement Etf a réalisé une variante en pose de voie sur longrine coulée en place.

→ **Groupe Colas Project / Colas Rail / Colas Normandie Île-de-France.**

Attributaire du lot Centre, le groupement Colas Rail a mis en œuvre sa variante en pose de voie sur augets préfabriqués.

→ **Groupe Tso / Eiffage Rail / Eiffage Route.**

Attributaire du lot Sud, le groupe-

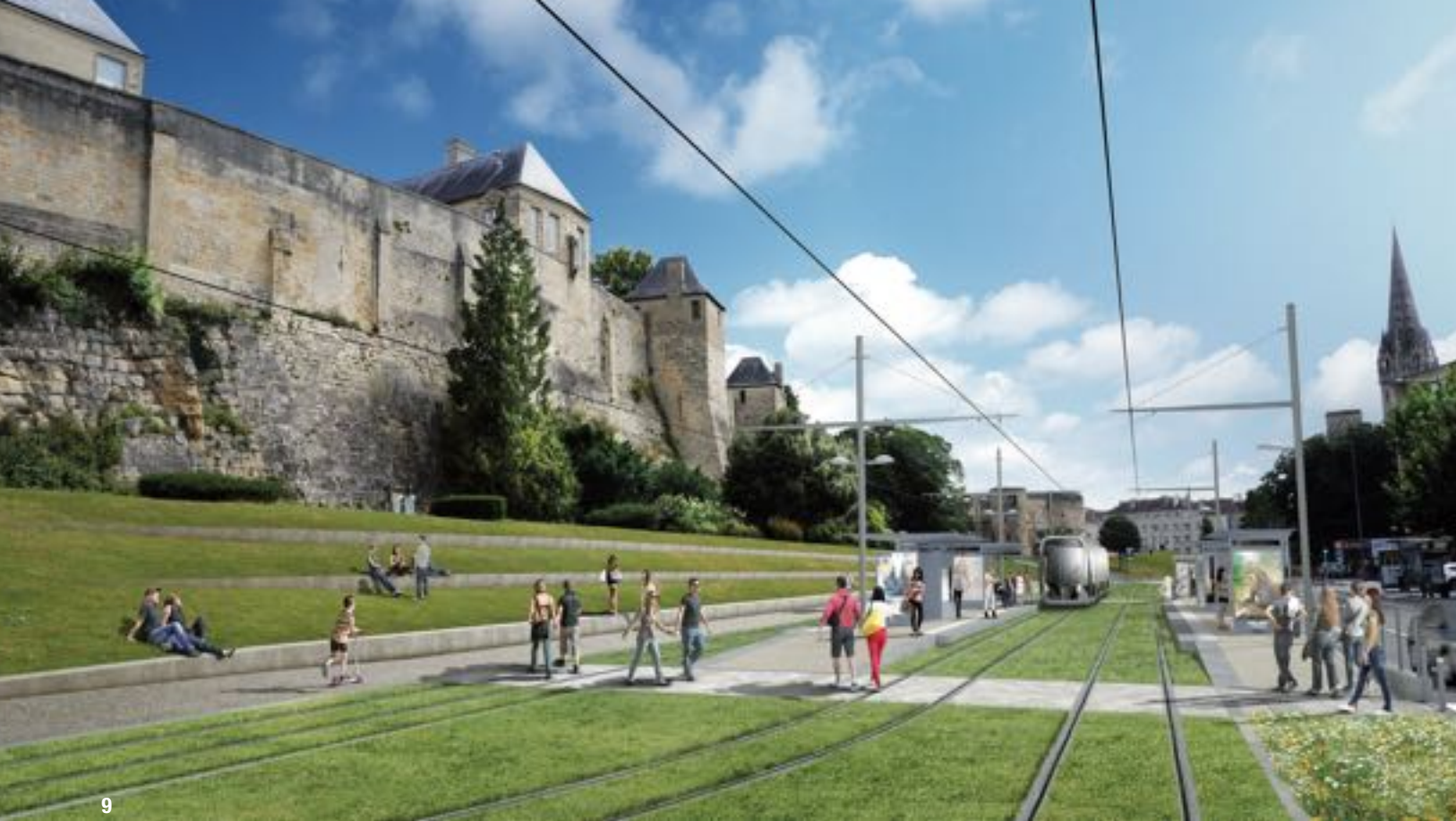


7



8

© ARTELIA



9

© ASyAS/ATTICA

ment Tso a réalisé une pose de voie en poutres de 18 m préfabriquées en usine avec rail encapsulé en jaquette, fournies par Préfarail.

Pour ces lots d'infrastructure, les procédures de consultation se sont déroulées à partir d'avril 2017 pour une notification en octobre 2017.

## LES TRAVAUX... ET LES SURPRISES

### ARRÊT DU TVR

L'arrêt de l'ancien TVR a été effectif au 1<sup>er</sup> janvier 2018. Cette date marque le démarrage réel des gros travaux de démolition, des travaux de concessionnaires sous la plate-forme, ainsi que la mise en service des bus de substitution.

42 bus dédiés ont donc eu pour objectif de pallier l'absence du TVR, en conservant le maillage du réseau en deux lignes et passant au plus près des arrêts du TVR.

Au cours des 18 mois de la durée du chantier, en l'absence d'un réseau de transport en site propre qui transportait plus de 40 000 personnes par jour, l'agglomération caennaise aura donc dû subir en plus les contraintes de barriérage des chantiers, les réductions de files ou sens de circulation, ainsi que la circulation additionnelle de 42 bus de substitution.

### DÉCONSTRUCTION

La dépose complète du fil de contact et la déconstruction de la plateforme ont été engagées sitôt l'arrêt du TVR. Les portions en enrobés ont été rabotées, les portions en béton armé ont été sciées puis déposées par morceaux. Cette phase de démolition a permis

**9- Perspective du tram à Quatrans.**

**10- Perspective du tram rue de Geôle.**

**9- Perspective view of the tram in Quatrans.**

**10- Perspective view of the tram on Rue de Geôle street.**

de constater ce qui n'était jusque-là non observable : les épaisseurs réelles des structures, les profondeurs de la multitubulaire existante censée être réutilisée, la corrosion de fixations enterrées... De nombreuses évolutions techniques ont ainsi dû être trouvées pour s'adapter aux aléas rencontrés :



10

© ASyAS/ATTICA

→ La multitubulaire du TVR, plus haute que sur les plans de recolement, n'a pas pu être maintenue. L'insuffisance de profondeur, contrairement aux indications des plans de recolement, provoquait la présence de câbles cuivre de gros diamètre dans les épaisseurs devant être rabotées. Les dégâts causés sur les engins et les câbles ont rendu impossible la réutilisation de ces derniers. Les multitubulaires projetées ont dû être complétées de fourreaux supplémentaires pour compenser cette perte, et les câbles d'énergie ont donc dû être intégralement remplacés.

→ Des réseaux concessionnaires ont également été constatés moins profonds qu'annoncé par les concessionnaires ou évalué par géodétection. Ceci a engendré de nombreux dévoiements supplémentaires à

organiser en urgence, ainsi qu'une adaptation assez fine des nouvelles infrastructures à la position de ces réseaux (approfondissement ou épanouissement de multitubulaires, adaptations de massifs des lignes aériennes).

→ Les tabliers des ouvrages existants réutilisés ont été mis à nu après déconstruction de la plateforme, en prévision d'une reprise d'étanchéité ainsi que la mise en œuvre de la pose de voie collée. Outre l'état de surface qui a nécessité un ragréage général, les différences de nivellement ont conduit à des reprises de profil en long de la voie et à des adaptations de la pose collée, dont la hauteur maximale des plots n'était plus compatible avec les écarts de nivellement à reprendre.

→ Les pieux du pont de la rue des Muets, qui devaient être recépés pour abaisser le profil en long de la voie, se sont avérés être écartés longitudinalement de plus d'un mètre supplémentaire. Ce constat a entraîné la reprise des études et la fabrication en usine de nouvelles poutres, augmentant leur portée à 22 m.

Cette liste des "surprises" est loin d'être exhaustive, peuvent être cités également : les armements de la ligne aérienne non-conformes aux plans de recolement, la portée insuffisante sous la plate-forme TVR déconstruite, la découverte d'une ancienne décharge sous les voies du nouveau dépôt, une corrosion avancée de câbles ou de platines de poteaux de ligne aérienne, ...



11

© ASyAS/ATTICA

## CONSTRUCTION DU NOUVEAU TRAMWAY

Malgré les aléas rencontrés et adaptations nécessaires, le chantier s'est poursuivi à un rythme élevé pour respecter les échéances du calendrier. Passées les découvertes et surprises liées à la démolition, on dénombrait ainsi plus de douze fronts de pose de voie simultanés sur tout le tracé au pic de production. Cette exigence de productivité, rendue indispensable par le planning serré du projet, n'a pas été sans générer des tensions sur toute la chaîne de production : saturation des capacités des concessionnaires à dévoyer leurs réseaux, saturation des usines de fabrication de bordures, délais de fournitures des armements de ligne aérienne ou des bordures béton, multiplication des points d'arrêt avant bétonnage, disponibilité des soudeurs, disponibilité des rames d'essais...

Ultime rebondissement d'un chantier déjà hors normes, de lourds dommages ont été subis en janvier 2019 à l'occasion des manifestations des "gilets jaunes" : poteaux LAC incendiés, dalle en béton précontraint incendiée, fourreaux et engins de chantier détruits... Outre les réparations, les mois de janvier et février 2019 ont été marqués par une baisse significative des cadences au centre-ville, en lien avec les rangements et nettoyages subséquents. Engagée dans une véritable course contre-la-montre, tous les acteurs du

projet ont dû redoubler d'efforts pour compenser le temps perdu et les aléas subis : renforcements des équipes de chantier, mise en place de bâches sur les tabliers d'ouvrages pour permettre le travail malgré les conditions hivernales normandes, contraintes additionnelles sur la circulation et les bus, assistance entre marchés de travaux... Afin d'anticiper au maximum et de permettre à l'exploitant de former ses conducteurs, les zones pratiquement achevées ont été ouvertes au fur et à mesure à la circulation et aux essais. Seulement onze mois après l'arrêt du TVR, un premier tronçon de plus de 2 km a ainsi pu être ouvert (figure 1). À seize mois, ce sont 10 km, sur les

**11- Perspective du tram place Saint-Pierre.**

**12- Perspective du tram chevet Saint-Pierre.**

**11- Perspective view of the tram on Saint-Pierre square.**

**12- Perspective view of the tram at "chevet Saint-Pierre".**

17 km que compte le projet complet, qui ont été circulés, y compris le franchissement de la rue des Muets et du nouvel ouvrage de pontage sur l'ovoïde

d'assainissement. Début juin 2019, la totalité de la voie aura été circulée et ouverte aux essais d'ensemble, pour un démarrage de la marche à blanc de l'exploitant en juillet 2019.

## BILAN ET RETOUR D'EXPÉRIENCE

Sur la réutilisation des infrastructures existantes, alors que le programme prévoyait de les réutiliser au maximum, seuls les ouvrages d'art, les sous-stations électriques et environ 50 % des poteaux de ligne aérienne ont pu être maintenus. Les câbles, fourreaux de multitubulaires, stations et mobiliers ont dû être complètement renouvelés. Les aménagements urbains, initialement réduits au plus strict raccordement à l'existant, se sont sensiblement élargis afin d'améliorer les conditions de ces raccordements, améliorer le traitement des abords (figure 8) et de l'existant proche avec l'ajout par exemple de pistes cyclables, réparer les dégâts occasionnés par les travaux ou la circulation modifiée, améliorer qualitativement certains secteurs à forte valeur ajoutée, notamment la place Saint-Pierre au centre de la ville de Caen et Hérouville-Saint-Clair (figures 9, 10, 11, 12, 13).

Projet d'envergure et véritable défi technique par l'ampleur de la tâche à accomplir et l'exigence des délais tendus, par l'importance des aléas rencontrés, par l'amélioration de l'existant, le



12

© ASyAS/ATTICA



© ASyAS/ATTICA

13

tramway de Caen aura fait l'objet d'évolutions permanentes jusqu'à sa mise en service. Initialement perçu comme une "simple" dépose/repose de pose de voie à grande échelle, le projet s'est considérablement complexifié avec l'accroissement de la précision des études et les aléas majeurs rencontrés. □

**13- Perspective du tram à Hérouville-Saint-Clair.**

**13- Perspective view of the tram in Hérouville-Saint-Clair.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### LONGUEUR DE VOIES CRÉÉES :

16 km, dont environ 55 % en voie végétalisée

### NOMBRE DE LIGNES :

3 OUVRAGES D'ART DE FRANCHISSEMENT :  
7 dont 4 existants maintenus

### SURFACE TOTALE D'AMÉNAGEMENT :

300 000 m<sup>2</sup> dont environ 100 000 m<sup>2</sup> d'espaces végétalisés

### DURÉE DU CHANTIER :

18 mois

### COÛT GLOBAL DU PROJET :

260 M€

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Caen la mer

**MAÎTRE D'OUVRAGE MANDATÉ :**

Tramcités (groupement Egis - Normandie Aménagement)

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :**

ASyAS (groupement Artelia - Setec - Attica - Signes)

ENTREPRISES DE TRAVAUX (liste non exhaustive)

**INFRASTRUCTURES DE VOIE, LIGNE AÉRIENNE ET AMÉNAGEMENTS URBAINS :**

- Groupement Etf / Eurovia / Mastellotto
- Groupement Colas Project / Colas Rail / Colas Idfn
- Groupement Tso / Eiffage Rail / Eiffage Route / Guintoli

**OUVRAGES D'ART :**

- Groupement Nge
- Entreprises Marc SA (ouvrages existants)

**SIGNALISATION LUMINEUSE DE TRAFIC :** Eiffage Energie

**COURANTS FORTS :** Ineo

**COURANTS FAIBLES :** Groupement Roiret - Cegelec

**SIGNALISATION TRAMWAY :** Cegelec Mobility

## ABSTRACT

### CAEN TRAMWAY: SUCCEEDING WITH THE CHALLENGE OF CONVERTING A TYRED TRAMWAY INTO A RAILED TRAMWAY

CHRISTOPHE VERDIN, ARTELIA - DANIEL ARSLANIAN, RESPONSABLE, SETEC - YVES COULOUME, ATTICA - ROMAIN VALLENGELIER, SIGNES

The Caen tyred tramway, called TVR, built in 2002, with two lines 16 km long, was demolished as of January 2018 to allow the construction of a new railed tramway. Re-using the existing equipment insofar as possible, this project, unprecedented on such a scale, the challenge for local government, public stakeholders and associations, and the project manager and contractors was to put the tramway back into operation after only 18 months of works. The demolition phase, which was full of surprises, took place in the first half of 2018. Added to the predictable unforeseen events were nonconformities in the existing structure not detectable in the design stage, and peripheral improvements, so the project had to be revised progressively as discoveries and new requests arose. The already exceptional intensity of the construction phase was therefore stepped up to meet the overall deadline for the project. Faced with repeated damage as a result of the social unrest in January 2019, the project deployed up to 12 track laying crews simultaneously, testing the production capacity of contractors, suppliers and subcontractors. □

### TRANVÍA DE CAEN: EL DESAFÍO SUPERADO DE LA TRANSFORMACIÓN DE UN TRANVÍA SOBRE RUEDAS EN UN TRANVÍA SOBRE VÍAS

CHRISTOPHE VERDIN, ARTELIA - DANIEL ARSLANIAN, RESPONSABLE, SETEC - YVES COULOUME, ATTICA - ROMAIN VALLENGELIER, SIGNES

Construido en 2002, con una longitud de 16 km para 2 líneas, el tranvía sobre ruedas de Caen, conocido como TVR, empezó a ser demolido en enero de 2018 para permitir la construcción de un nuevo tranvía sobre vías. Reutilizando al máximo lo existente, este proyecto, inédito a tal escala, ha movilizado a municipios, entes públicos y asociaciones, contratistas y empresas en torno al reto de volver a poner el tranvía en servicio tras tan solo 18 meses de obras. La fase de demolición, llena de sorpresas, se desarrolló durante el primer semestre de 2018. A las contingencias previsibles se añadieron las disconformidades de las instalaciones existentes indetectables durante el diseño, así como las mejoras periféricas, que han precisado una revisión del proyecto al ritmo de los descubrimientos y las demandas. Ello ha incrementado la intensidad ya excepcional de la fase de construcción para respetar el plazo global de la operación. Frente a los múltiples deterioros derivados de los movimientos sociales de enero de 2019, la obra ha movilizado simultáneamente hasta 12 equipos de tendido de vía, poniendo a prueba la capacidad de producción de las empresas, los proveedores y los subcontratistas. □

# MÉTRO DE TOULOUSE - DOUBLEMENT CAPACITÉ LIGNE A STATION JEAN JAURÈS - LOT N°2 ET 7

AUTEURS : YANNICK PALACIN, DIRECTEUR DE PROJET, BYTPRF/VSL FRANCE - MATHIEU AUCLAIR, INGÉNIEUR TRAVAUX PRINCIPAL, BOUYGUES BÂTIMENT CSO - ANTHONY CHABANON, INGÉNIEUR TRAVAUX PRINCIPAL, BYTPRF - VALENTIN GENESTE, INGÉNIEUR TRAVAUX, BYTPRF

DANS LE CADRE DU PROJET "MA LIGNE A EN XXL" À TOULOUSE, LES ÉQUIPES DU GROUPEMENT BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE & BOUYGUES BÂTIMENT CENTRE SUD-OUEST RÉALISENT ACTUELLEMENT LA FIN DES TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT ET DE MODERNISATION DE LA STATION DE MÉTRO JEAN-JAURÈS POUR LE COMPTE DE TISSEO INGÉNIERIE, MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ DE TISSEO COLLECTIVITÉS. AFIN DE RÉPONDRE À UNE AFFLUENCE DE VOYAGEURS DE PLUS EN PLUS IMPORTANTE, CES TRAVAUX PERMETTRONT À LA STATION JEAN JAURÈS D'ACCUEILLIR DES RAMES DE 52 m EN ALLONGEANT LES QUAIS ET EN RÉORGANISANT LES FLUX VOYAGEURS POUR UNE MEILLEURE CIRCULATION ET CONNEXION AVEC LA LIGNE B DE MÉTRO.

VUE GÉNÉRALE 3D - OBJECTIF 1



1

© TISSEO

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

### UN PROJET GLOBAL POUR LA MOBILITÉ DES TOULOUSAINS

Le chantier de la station Jean-Jaurès s'inscrit dans le projet "Ma ligne A en XXL", qui consiste à apporter aux infrastructures des stations et au système de transport les modifications

requis pour permettre une exploitation de la ligne A avec des rames de longueur double ; ces modifications permettront d'augmenter la capacité de la ligne A en vue de faire face à sa fréquentation en hausse continue depuis sa mise en service il y a plus de 25 ans. Sur les stations de la ligne qui étaient déjà pré-adaptées, c'est-à-dire conçues

1- Vue  
 générale 3D -  
 objectif 1.

1- General 3D  
 view -  
 Objective 1.

dès la création de la ligne à 52 m, les travaux sont achevés et les passages des commissions de sécurité se terminent. Les parties nouvelles des quais sont progressivement ouvertes aux usagers.

En surface, les emprises de chantier ont donc été démontées et l'espace public rendu à la population. Deux stations,





© BYTFRF

© BYTFRF

Bellefontaine et Mirail-Université ont fait l'objet d'agrandissement de leur emprise du fait de l'ajout d'une sortie de secours supplémentaire rendue réglementairement nécessaire par l'allongement des quais.

Les stations souterraines dites courtes, Fontaine-Lestang, Mermoz et Patte-d'Oie, sont également en cours de finition. Ces trois stations ont fait l'objet en 2018 de travaux très importants pour créer un volume supplémentaire, nécessaire à la réalisation de l'extension des quais. Cet agrandissement de station, qui s'est fait en gardant le métro en exploitation, a été une première mondiale dans le domaine des travaux publics.

Désormais, le chantier se termine avec le second œuvre, qui est en voie d'achèvement. En surface, les voiries condamnées ou réduites pendant les travaux ont été rouvertes à la circulation : l'avenue de Lombez pour la station Patte-d'Oie, la rue Vestrepain pour la station Fontaine-Lestang, l'avenue Desbals pour la station Mermoz. Les emprises actuelles, très réduites, n'abritent plus désormais que les bases vie des chantiers.

**2- Assemblage des PRS en sous-œuvre.**

**3- Mise en tension des suspentes.**

**4- Cage d'ascenseur mezzanine.**

**5- Prolongement des quais en tunnel.**

**2- Assembly of welded plate girders by underpinning.**

**3- Hanger tensioning.**

**4- Mezzanine lift shaft.**

**5- Tunnel extension of the quays.**

La station Esquirol a également fait l'objet de travaux importants pour le projet, l'extension des quais ayant nécessité la création d'une sortie de secours intégralement créée dans un espace contraint. Depuis le quai, on accède ainsi à un nouvel escalier en colimaçon dédié à

l'évacuation des usagers, par un tunnel creusé selon une méthode traditionnelle. Les quais de la station sont désormais accessibles au public, l'emprise de chantier de la place Esquirol a été entièrement démontée et l'accès de la station est de nouveau effectif.

C'est donc désormais la seule station Jean-Jaurès qui fait l'objet d'importants travaux de gros œuvre, avec plusieurs opérations (3 objectifs) menées de front :

→ **Objectif 1** : allongement des quais de la station pour permettre l'accueil de la double rame de 52 m.

Cet allongement du quai s'accompagne, dans la partie supérieure, du percement de la dalle afin de créer le prolongement de la mezzanine existante pour apporter du volume et du confort aux voyageurs. Grâce à la pose de tirants qui permettent la mise en suspension de la dalle de mezzanine, cet espace sera réalisé sans poteaux porteurs afin de délivrer un espace dégagé, sans obstacles, au niveau des quais.

→ **Objectif 2** : création d'une nouvelle liaison entre la ligne A et la ligne B. Il permettra d'éviter les croise-

ments entre les flux de voyageurs en transit entre la ligne A et la ligne B. Cette opération a nécessité d'importants travaux de terrassement afin de rajouter un nouveau volume sur le côté de la station existante. Ce nouvel accès viendra se raccorder au prolongement de la mezzanine en cours de création au-dessus du quai.

→ **Objectif 3** : Construction d'un nouvel accès à la station, dans le cadre de la création des ramblas sur les allées Jean Jaurès. La grande charpente métallique a été posée de nuit, et fait l'objet depuis de travaux d'aménagement afin de permettre d'accueillir l'ascenseur, et des escaliers fixes et mécaniques, qui formeront un accès à l'image de celui existant place Wilson.

En parallèle de ces derniers travaux de structure, les travaux du système de transport sont également en voie d'achèvement avec notamment la modification de toutes les positions d'arrêt des rames en stations afin de rendre possible le fonctionnement dudit système de transport à des rames de 52 m. ▷

## VUE 3D PHASAGE TRAVAUX - OBJECTIF 2



6

© BYTPRF

Enfin, une signalétique fixe et dynamique nouvelle est également en cours d'installation afin de permettre aux voyageurs de comprendre les modifications apportées. Ainsi, en décembre 2019, après une période de test, c'est donc sur toute la longueur des quais des stations qu'il sera possible d'accéder aux rames de 52 m de long : la capacité de chaque rame entrant en station sera alors de 320 voyageurs, au lieu de 160 aujourd'hui.

### OBJECTIF 1

Les travaux de cet objectif nécessitent un phasage particulier car ils doivent être réalisés dans un environnement en exploitation (figure 1).

La première phase a consisté à bâtir l'ensemble des nouveaux locaux techniques électriques en vue de leur migration.

Cette migration est nécessaire pour la deuxième phase de travaux qui consiste

à démolir les anciens locaux pour bâtir des locaux spécifiques (local désenfumage, local ménage...) et également pour pouvoir réaliser la troisième phase de travaux. Cette dernière consiste en l'ouverture d'une deuxième trémie (120 m<sup>2</sup>) afin de donner du volume à l'environnement situé au-dessus du nouveau prolongement des quais. Il faut en parallèle démolir et évacuer toutes les anciennes structures porteuses de cette dalle (démolie par sciage en petits éléments).

Les structures porteuses étant supprimées, cette dalle est reprise en suspension (figure 3) via des tirants ancrés sur une charpente métallique constituée de poutres PRS d'un poids total de 32 t, protégées au feu par un flocage pâteux (figure 2).

Cette mezzanine sera équipée d'un ascenseur pour les PMR, dont les voiles sont en béton coulé en place avec banches manu-portables et

**6- Vue 3D phasage travaux - Objectif 2.**

**7- Terrassement - Objectif 2.**

**8- Dalle niveau commerces - Objectif 2.**

**6- 3D view of work sequencing - Objective 2.**

**7- Earthworks - Objective 2.**

**8- Shop level slab - Objective 2.**

Les garde-corps vitrés sont en serrurerie fine avec habillage des poteaux en inox.

Les locaux techniques sont revêtus de peinture au sol et sur les murs.

La signalétique informative et directionnelle est prévue pour assurer le bon cheminement du flux passager.

Une phase complémentaire de travaux consiste à réaliser le prolongement des quais existants en gros œuvre (figure 5).

Cette phase comprend également l'installation des équipements en serrurerie (passerelle et escalier d'évacuation en tunnel) et la signalétique d'évacuation. Ces travaux sont réalisés pendant la coupure d'été, afin de pouvoir travailler sur les voies, de jour, sans AO (Autorisation d'Occupation délivrée par Tisseo).

Ces travaux sont les prérequis pour la mise en place des futures façades de quais réalisées par Siemens.

d'un escalier fixe en béton (figure 4). Tous ces ensembles seront parachevés en second œuvre avec la mise en œuvre de carrelage au sol et de faïence au mur.



7



8

© BYTPRF



© TISSECO  
9

## OBJECTIF 2

L'objectif 2 (figure 6) assure la séparation des flux de correspondance entre la ligne A et la ligne B. L'accès historique de la station (accès Varini - interface Objectif 1) est modifié comme suit :

- Libération des emprises travaux avec gestion des circulations routières et piétonnières ;
- Réalisation de soutènements provisoires constitués de parois moulées forées dans un environnement urbain dense (immeubles mitoyens) et à proximité des structures existantes de la station et du tunnel. Terrassements généraux dans l'encombrement de plusieurs lits de butons. Ceux-ci sont de type butons hydrauliques actifs et sont posés au fur et à mesure du déblai avec pompage des eaux de la nappe phréatique (figure 7). Une instrumentation du bâti est mise en place pour suivi des déplacements et des vibrations.

**9- Vue 3D accès ramblas.**

**10- Étaieiment débord accès ramblas.**

**11- Étaieiment poutres d'appui accès ramblas.**

**9- 3D view of access to esplanade.**

**10- Esplanade access overhang strutting.**

**11- Esplanade access support-beam strutting.**

- Réalisation d'un puits pour intégration d'un nouvel ascenseur de liaison entre les niveaux Salle d'échange (N-2) et Mezzanine (N-3).

Cet ouvrage est construit l'abri d'une paroi de jet-grouting armée exécutée en sous-œuvre.

- Réalisation d'une ouverture dans la paroi moulée (par sciage) pour mise en communication des surfaces créées avec la station existante.
- Création et reprise des structures définitives de tous les niveaux impactés : chaque niveau est liaisonné aux parois par des scellements d'aciers passifs. Les dalles en béton armé sont coulées en place sur des étaieiments traditionnels (figure 8).
- Aménagement des surfaces créés et modifiées pour le fonctionnement de la station comprenant les revêtements de sols et muraux, des garde-corps en verre, des cloisons vitrées, la peinture.

## OBJECTIF 3

Le lot 7 du projet DOCA Jean Jaurès vient s'inscrire dans la continuité de

la création des ramblas sur les allées Jean Jaurès. Il permettra en effet d'accéder directement à la station via un ascenseur, deux escalators et deux escaliers fixes. Ces accès reposent sur une dalle mezzanine constituée d'une structure mixte appuyée de part et d'autre de la trémie (figure 9). Les principales opérations sont les suivantes :

- Démolition par sciage des GBA en périphérie de la trémie.
- Démolition par sciage de la dalle mezzanine au niveau N-1 : Ces travaux ayant une incidence sur la stabilité générale du parking mitoyen, ils ont nécessité la mise au point d'un phasage et d'une méthodologie particulière ainsi qu'un recalcul de certaines structures existantes. Des renforts ont été incorporés dans la dalle restant en place, un butonnage provisoire a été pris en compte dans le séquentiel de démolition.
- Création des débords Est et Ouest : Ces structures en béton armé ont été coulées en place sur un étaieiment avec un phasage permettant de respecter la continuité de l'exploitation. La liaison avec la dalle existante a été assurée par des scellements d'armatures passives (figure 10).
- Création des poutres d'appui en béton armé pour la charpente. Ces poutres ont été créées afin de venir supporter le poids de la dalle mezzanine via les profilés principaux métalliques et les appareils d'appuis. Cette tâche a demandé une logistique particulière notamment pour la mise en place de l'étaieiment et le coffrage vis-à-vis des contraintes d'exploitation (figure 11). ▷



© BYTRFF  
10



11



12

© BYTPRF



13

© TISSEO

→ Réalisation du débord Nord selon le même principe que les débords Est et Ouest.

→ Pose de la charpente métallique : Cette charpente est constituée d'HEA 1000, 650 et 500 et d'IPE 400, 200 et 100. La pose des différents éléments s'est effectuée de nuit pendant la fermeture de la station, à l'aide d'une grue mobile de capacité 80 t (figure 12). Une étude préalable avait été conduite pour valider le positionnement de ces moyens de levage au droit des structures existantes.

→ Pose de prédalles sur la charpente, ferrailage et bétonnage de la dalle de compression. Cette structure intègre également une fosse d'ascenseur en béton armé.

→ Mise en place du pylône d'ascenseur et de la passerelle : Le pylône d'ascenseur est livré par camion puis posé à la grue sur la dalle mezzanine. La charpente métallique de la passerelle permettant d'accéder à l'ascenseur est ensuite montée

**12- Pose de la charpente accès ramblas.**

**13- Vue 3D accès ramblas de nuit.**

**12- Placing the esplanade access structure.**

**13- 3D view of esplanade access at night.**

avant de recevoir des prédalles et les élévations béton formant le tablier.

Pose des éléments de serrurerie : Cette tâche consiste en la mise en œuvre d'un revêtement en inox sur l'ensemble des surfaces en béton de la passerelle. Le pylône d'ascenseur sera habillé en verre, une paroi vitrée avec garde-corps sera mise en place en bas des escaliers. Des ouvrants motorisés viendront fermer la station de nuit (figure 13). □

## PROJET EN CHIFFRES

**NOTIFICATION** : 1<sup>er</sup> septembre 2017 sur le lot 2 et 5 février 2018 sur le lot 7

**MONTANTS DES MARCHÉS** : 10 M€ HT dont 8 M€ HT pour le lot 2 et 2 M€ pour le lot 7

**DÉLAI** : 27 mois pour le lot 2 et 21 mois pour le lot 7

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE / EXPLOITANT** : Tisseo

**MAÎTRISE D'ŒUVRE** : Egis Rail

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR** : Socotec

**GROUPEMENTS TITULAIRES DES LOTS** :

- Bouygues TP RF (mandataire) / Bouygues Bâtiment CSO sur le lot 2
- Bouygues TP RF (mandataire) / Ineo sur le lot 7

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS** :

- Bureau d'études Aia
- Paroi moulée : Profond
- Reprise en sous-œuvre : Soperco
- Armatures : Sendin
- Parements : Techniceram
- Serrurerie : Artel
- Charpente métallique : Cabrol et Sati
- Maçonnerie : Robichon

## ABSTRACT

### TOULOUSE METRO - DOUBLING THE LINE CAPACITY AT JEAN JAURÈS STATION - WORK SECTIONS 2 AND 7

YANNICK PALACIN, BYTPRF/VSL FRANCE - MATHIEU AUCLAIR, BOUYGUES BÂTIMENT CSO - ANTHONY CHABANON, BYTPRF - VALENTIN GENESTE, BYTPRF

**For the project to double the capacity of Toulouse Metro Line A, Tisseo awarded to Bouygues Travaux Publics Régions France and Bouygues Bâtiment CSO a contract for improvement works on Jean Jaurès Station and for the creation of entrances to the esplanade. These works, in three phases (objectives 1, 2 and 3), are being carried out in the city centre and take into account the following constraints: road traffic, nearby adjoining buildings, the operation of the metro and user traffic flows. The project was therefore executed mainly by underpinning and very often at night. □**

### METRO DE TOULOUSE - DUPLICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA LÍNEA EN LA ESTACIÓN JEAN JAURÈS - LOTES N°2 Y 7

YANNICK PALACIN, BYTPRF/VSL FRANCE - MATHIEU AUCLAIR, BOUYGUES BÂTIMENT CSO - ANTHONY CHABANON, BYTPRF - VALENTIN GENESTE, BYTPRF

**En el marco de la duplicación de la capacidad de la línea A del metro de Toulouse, Tisseo ha encargado a los equipos de Bouygues Travaux Publics Régions France y Bouygues Bâtiment CSO las obras de rehabilitación de la estación Jean Jaurès y de creación de los accesos a las ramblas. Divididas en 3 fases (objetivos 1, 2 y 3), estas obras se realizan en el centro de la ciudad con numerosas restricciones: circulación vial, edificios contiguos, operativa con el metro y flujos de circulación de los usuarios. En consecuencia, las obras se han llevado a cabo principalmente bajo tierra y con frecuencia de noche. □**



1

© SUPRAWAYS

# SUPRAWAYS : LE TRANSPORT AU SERVICE DES USAGERS ET DU TERRITOIRE

AUTEUR : CLAUDE ESCALA, PRÉSIDENT FONDATEUR, SUPRAWAYS

LES DÉPLACEMENTS CONSTITUENT UN MOMENT INCONTOURNABLE DE NOS JOURNÉES. LES TRANSPORTS EN COMMUN DOIVENT SE TRANSFORMER POUR ACCOMPAGNER LES BESOINS ET ATTENTES DES USAGERS DU 21<sup>e</sup> SIÈCLE. EN RÉPONSE À CES NOUVEAUX ENJEUX, LA SOCIÉTÉ SUPRAWAYS DÉVELOPPE UNE RÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE ET URBANISTIQUE : UN TRANSPORT EN COMMUN AUTONOME AÉRIEN, ÉLECTRIQUE, À LA DEMANDE, SANS ARRÊT INTERMÉDIAIRE ET SANS CORRESPONDANCE. LE MODÈLE ÉCONOMIQUE PROPOSÉ PAR LA START-UP SÉDUIT PAR SA COMPÉTITIVITÉ.

## DE QUOI PARLE-T-ON ?

Les Supras sont des cabines autonomes de 7 à 9 places (figure 2) circulant à l'énergie électrique sous une infrastructure discrète composée d'un rail de guidage supporté par des piliers (figure 1). Se déplaçant en toute sécurité au-dessus de l'espace urbain, les Supras sont libérés du trafic et de la congestion. Ils peuvent entrer et sortir du réseau sans gêner les autres véhicules grâce à la construction de stations en dérivation. Cette spécifi-

**1- L'insertion urbaine d'un réseau Supraways.**

**1- Urban integration of a Supraways network.**

cité permet aux passagers d'aller d'un point A à un point B sans arrêt intermédiaire. Le réseau Supraways vient en complément des lignes de transports en commun existantes. Maillant le territoire, il offre un moyen de rabattement et de connexion très efficace vers les transports en commun lourds (métro, tramway, etc.), les aéroports ou les gares. La vitesse de déplacement des Supras leur confère une compétitivité certaine par rapport à la voiture. Supraways propose donc aux métro-

poles de construire des parcs relais aux abords de la ville et de les connecter au réseau Supraways pour former un vrai rempart à la voiture.

Par ailleurs, l'optimisation du foncier offerte par le caractère aérien de cette innovation permet de créer des zones d'intermodalité concentrées en dessous de chaque station : des bornes de vélos, des trottinettes en libre-service, une gare routière ou encore des navettes autonomes pourront être accueillies (figure 3). ▷

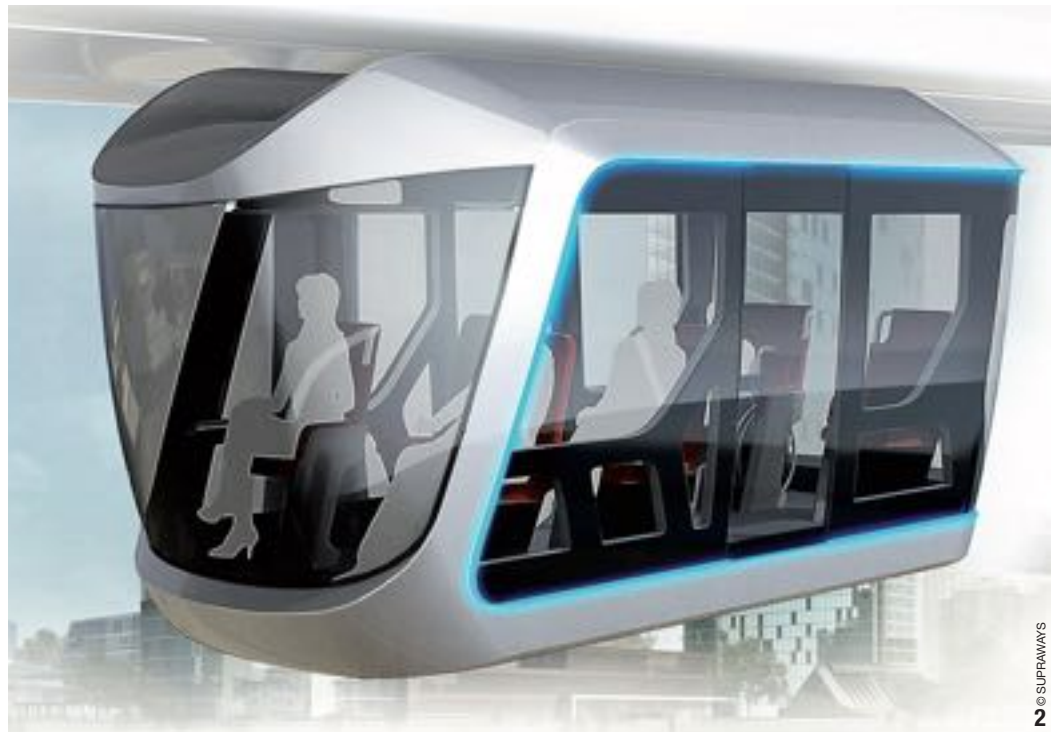
La solution Supraways est plus capacitaire qu'un bus, un téléphérique ou un tramway. Cette capacité s'explique par l'espace inter-véhiculaire très court entre les cabines (quelques secondes) et par la vitesse moyenne de déplacement de 50 km/h. Ces performances reposent en partie sur le développement d'un système de mobilité spécifique, breveté par Supraways dans de nombreux pays, qui comprend une suspension intelligente et un système de guidage embarqué.

Enfin, en proposant un transport aérien, Supraways va redonner l'espace au sol au public pour le bien-être des citoyens, des cyclistes et des commerçants (figure 4).

### REMETTRE L'USAGER AU CENTRE DES TRANSPORTS

Supraways travaille sur le design de service afin de proposer une offre correspondant aux attentes des usagers du 21<sup>e</sup> siècle en termes de confort, de sécurité, d'ergonomie et d'expérience. Pour pouvoir voyager dans le réseau, l'usager doit détenir un titre de transport virtuel. Via l'application Supraways et depuis son smartphone, il reste connecté en temps réel au système et bénéficie d'informations, d'aide et de services divers.

Dans la station de départ, le voyageur informe le système de sa destination via des écrans ou sur son application. Il est alors dirigé vers un quai où l'attend une cabine en partance pour la station de son choix. Il doit alors monter à bord, prendre place, s'asseoir et s'attacher. Pour des raisons de sécurité et de lutte contre la fraude, le véhicule ne partira que si



2 © SUPRAWAYS

chaque voyageur est assis, attaché et avec un titre de transport valide.

Par ailleurs, il sera possible de privatiser un véhicule, pour soi ou pour un groupe.

Cette possibilité rapproche la solution Supraways du fonctionnement d'un taxi, elle implique un coût majoré du service afin de garantir la rentabilité économique du voyage.

Enfin, une attention particulière a été portée à l'accessibilité des personnes à mobilité réduite, chaque Supras disposant d'une place dédiée pour les fauteuils roulants. Celle-ci peut par ailleurs être utilisée pour y placer un landau.

**2- Le Supras, le véhicule autonome électrique de Supraways.**

**3- Un exemple de station à Saint-Quentin-en-Yvelines.**

**2- Supraways' autonomous electric vehicle, the Supras.**

**3- Example of a station in Saint-Quentin-en-Yvelines.**

### UN MODÈLE ÉCONOMIQUE COMPÉTITIF

Malgré l'augmentation de la fréquentation, le coût des transports en commun est de moins en moins supporté par les usagers. Cette tendance oblige les collectivités à accroître leur participation afin d'assurer l'équilibre financier des opérateurs de transport collectif urbain (CGDD, 2018).

Avec des coûts d'investissement inférieurs à ceux d'un tramway ou d'un téléphérique, de l'ordre de 10 à 15 millions €/km, le système Supraways s'inscrit dans ce contexte de raréfaction des financements.



3 © SUPRAWAYS, AGGLOMÉRATION DE SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES, PIERRE-LOUIS CARLIER



© SUPRAWAYS 4

**4- L'intégration de l'infrastructure Supraways sur la voirie.**

**5- Un véhicule logistique Supraways.**

**6- L'insertion d'un réseau Supraways sur l'A12 à proximité du Vélodrome de Saint-Quentin-en-Yvelines.**

**4- Integration of the Supraways infrastructure into road systems.**

**5- A Supraways logistic vehicle.**

**6- Integration of a Supraways network on the A12 near the Saint-Quentin-en-Yvelines cycling stadium.**



© SUPRAWAYS 5

Par ailleurs, Supraways envisage d'atteindre la rentabilité financière de son système, notamment par la réduction des coûts d'exploitation et la diversification de son modèle de revenus. En effet, cette solution ne nécessite pas de conducteurs, lesquels constituent plus de 55% des coûts d'exploitation des transports collectifs (2/3 pour les bus). De plus, il est prévu de ne pas limiter

le modèle d'affaires aux seuls usagers : l'infrastructure pourra être mise à disposition d'entreprises ou de collectivités utilisant des véhicules adaptés pour le transport logistique (figure 5). Il suffira alors de relier le réseau à des hubs ou plateformes logistiques, des zones cargos ou autres pôles de transit de marchandises comme les ports, les gares et les aéroports. Cet élargissement du

réseau au transport de fret réduira le nombre de véhicules légers urbains, source de congestion et de pollution.

### UNE 1<sup>re</sup> EXPÉRIMENTATION EN 2024 À SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES

La solution Supraways a déjà séduit plusieurs territoires, et de nombreux autres contactent la start-up pour étudier le concept. Des études ont déjà été menées sur l'axe franco-luxembourgeois, en région parisienne, en Suisse ou encore à la Réunion et des discussions sont en cours avec d'autres métropoles françaises et étrangères. Par ailleurs, Supraways participe, aux côtés des Départements des Pyrénées-Atlantiques et des Hautes-Pyrénées, de l'agglomération de Pau et de grands groupes, à l'appel à projet "Territoires d'Innovation" de la Caisse des Dépôts dans le cadre de la desserte des vallées et stations touristiques pyrénéennes. La revitalisation des vallées par une offre de transport propre, flexible et rapide intéresse de plus en plus de monde et Supraways commence à se tourner vers la montagne. Mais c'est surtout dans le département des Yvelines (78) que Supraways a fait une percée. Portée par une forte volonté d'innover et de poursuivre son développement économique, handicapée par une congestion croissante et très anxiogène, l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines (SQY) souhaite accueillir la première expérimentation mondiale d'un système Supraways. L'objectif est de construire un démonstrateur d'environ 10 km pour les Jeux Olympiques 2024, le projet SupraSQY. Pour des raisons identiques, l'agglomération voisine, Versailles Grand Parc, vient d'ailleurs de confier à Supraways une étude d'implantation sur son territoire. ▷



© SUPRAWAYS, GOOGLE STREET VIEW 6

En parallèle, la start-up essaie de convaincre l'agglomération de Paris-Saclay afin de proposer une couverture de l'Opération d'Intérêt National (OIN) Paris-Saclay, en complémentarité du réseau de trains, de métros et de RER.

**SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES : PRÉSENTATION DU TERRITOIRE**

Deuxième pôle économique de l'ouest parisien et première agglomération en PIB par habitant de France, cette ville à la campagne au plus de 60% d'espaces verts qu'est SQY exerce un magnétisme dans tous les domaines. Économique, tout d'abord, car avec plus de 17 000 entreprises en son sein, l'agglomération, portée par des fleurons de l'économie française et internationale, s'impose comme le cœur économique de l'OIN Paris-Saclay. Pôle d'excellence scientifique et technologique d'envergure mondiale, SQY est également un creuset dans le domaine de la recherche. Elle s'appuie sur de nombreux centres de recherche privés ainsi que sur une pluralité d'établissements scolaires et d'enseignements supérieurs. Enfin, la désormais ex-ville nouvelle a également démontré sa capacité à accueillir les plus grands événements internationaux. Ryder-Cup 2018, Jeux Olympiques 2024, SQY assume ainsi sa capacité à devenir le centre du monde le temps des plus grands événements sportifs.

**UN PREMIER RÉSEAU À L'HORIZON DES JEUX OLYMPIQUES 2024**

Saint-Quentin-en-Yvelines étudie depuis 2018 la faisabilité d'implantation d'un démonstrateur Supraways de 9,5 km avec 7 stations dans l'objectif d'une ouverture en 2023. D'un caractère hautement stratégique pour l'agglomération, il desservira 3 sites olympiques en 2024 : le vélodrome (figure 6), le stade de BMX dans l'Île de Loisirs et la colline d'Élanecourt. Il reliera la gare de SQY-Montigny aux zones de la Clef Saint-Pierre et de Pissaloup où sont regroupées de nombreuses entreprises d'envergure internationale et de nombreux emplois. Cette zone accueille également le Parc Oméga, parc d'activités tertiaires, qui proposera 50 000 m<sup>2</sup> de bureaux à terme. Il desservira enfin l'Île de Loisirs de Saint-Quentin-en-Yvelines, l'un des plus grands pôles de loisirs de l'ouest parisien avec ses plus de 500 000 visiteurs annuels (figure 9). Les premières études menées sur ce démonstrateur ont permis de valider la faisabilité technique du système. L'étude a notamment mis en évidence

**INTERVIEW**

Jean-Michel Fourgous (figure 7) et Véronique Coté-Millard (figure 8) s'expriment sur le projet SupraSQY.

**SupraSQY est devenu un des projets phares de votre agglomération, pourquoi ?**

Jean-Michel Fourgous : J'ai été très marqué par sa modernité, sa fluidité et sa personnalisation. C'est un système qualitatif et connecté où il n'y a pas la notion d'attendre et dont la rapidité d'exécution se fera dans des délais raisonnables.

Alors que l'agglomération sera traversée par la Ligne 18 du métro du Grand-Paris à l'horizon 2027, la mobilité représente un enjeu majeur pour le territoire. L'innovation étant fermement inscrite dans son ADN, SQY souhaite offrir à ses habitants et aux usagers du territoire des solutions de mobilité de pointe. C'est à cette fin que l'agglomération souhaite développer le SupraSQY. Un projet qui promet d'ancrer encore un peu plus Saint-Quentin-en-Yvelines dans le "gotha" de ces villes visionnaires et futuristes.

**Qu'attendez-vous de ce projet pour l'agglomération et ses habitants ?**

Véronique Coté-Millard : Ce système possède de nombreux avantages. Hors du trafic routier et fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, il permet de réduire les temps de déplacement pour un impact environnemental réduit au maximum. Pour les voyageurs, les bénéfices sont prometteurs : l'utilisateur n'a qu'à se rendre à une station, faire une demande de trajet, monter à bord et se rendre à sa destination directement sans arrêt intermédiaire avec une vitesse commerciale élevée (trois fois plus rapide que le bus). Pour l'agglomération, là encore, les bénéfices paraissent importants, laissant présager des réductions de coûts de fonctionnement et une diminution du trafic routier et de ses impacts négatifs : moins d'embouteillages, de pollutions et d'accidents, etc.

**Quel rôle stratégique joue le démonstrateur SupraSQY ?**

JMF : SQY est le cœur économique de Paris-Saclay, l'un des leaders mondiaux de l'innovation. Ce projet exemplaire de grande envergure va attirer les capitaux et les investisseurs. Cela va faire croître les emplois de haute valeur ajoutée et les services utilisant les nouvelles technologies. Il nous faut en outre mailler la proximité entre les chercheurs des écoles, laboratoires et universités et les entreprises avec des transports opérationnels. C'est donc un projet très structurant pour nos 140 000 emplois. Ce démonstrateur pourrait finalement ouvrir la voie à long terme au développement d'un réseau complet sur SQY, voire sur l'OIN Paris-Saclay et serait un vecteur d'attractivité renforcée du territoire.

**Quelles sont les prochaines étapes de développement pour ce projet à SQY ?**

JMF : Le projet n'est qu'à ses prémices, je souhaite donc rester prudent quant à son aboutissement. Le Conseil Communautaire a voté fin 2018, l'approbation d'une "convention opérationnelle" avec le département des Yvelines pour l'étude de mise en œuvre de ce démonstrateur. SQY et l'instance départementale débloquent ainsi chacune au maximum 250 000 € afin qu'un cabinet spécialisé étudie la faisabilité sur le plan des infrastructures, de l'urbanisme, des impacts environnementaux ou encore du financement.

En parallèle, Supraways doit développer et tester sa technologie. Nous lui proposons d'ailleurs de construire son centre d'essais, dont l'ouverture est prévue pour 2021, à SQY. Ce centre permettra de développer et de valider la technologie Supraways et pour SQY ce sont des emplois et des compétences qui seront créés à long terme.

De belles perspectives donc, et aussi beaucoup de partenaires à mobiliser, pour régler les questions juridiques, techniques et de financement. Nous nous organisons pour tout cela et mobilisons tous les parties prenantes possibles, l'objectif restant avant tout d'être prêt pour les Jeux Olympiques 2024.



7



8

7- Jean-Michel Fourgous, Président de l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines.

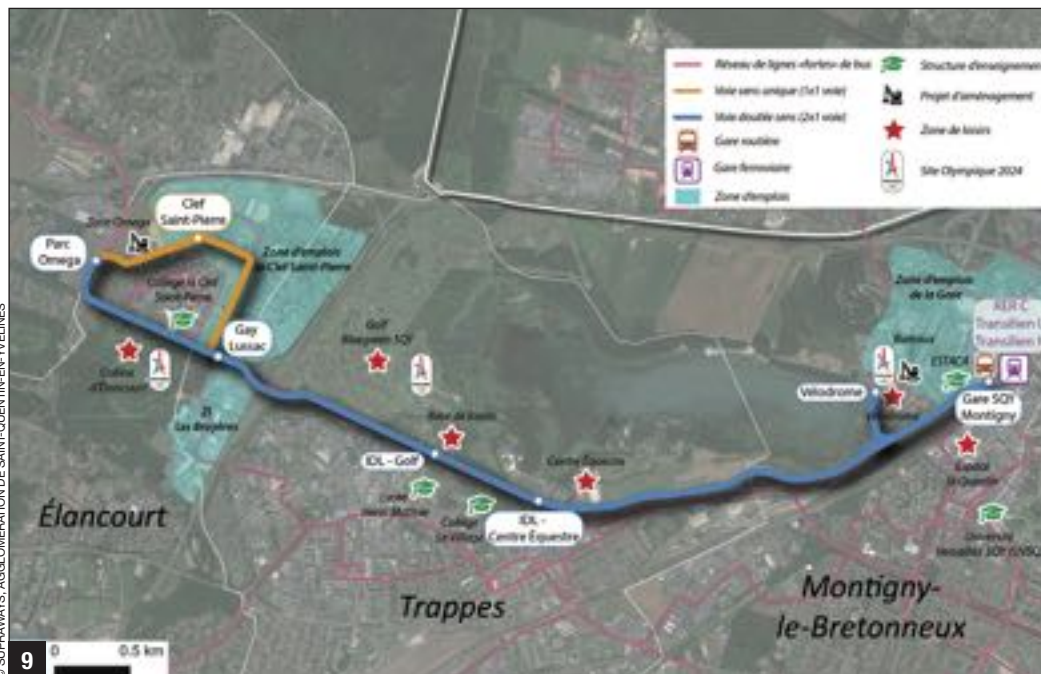
8- Véronique Coté-Millard, Vice-présidente de l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines en charge des mobilités et des transports.

7- Jean-Michel Fourgous, President of the Saint-Quentin-en-Yvelines urban area.

8- Véronique Coté-Millard, Vice-President of the Saint-Quentin-en-Yvelines urban area in charge of mobility and transport.

© AGGLOMÉRATION DE SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES





l'intérêt économique d'une liaison entre la gare de SQY - Montigny et la Cléf Saint-Pierre, les gains de temps colossaux représentant un atout majeur pour l'attractivité du territoire. La fréquentation a été estimée à près de 6 millions d'utilisateurs par an. Dynamisant l'ensemble des transports collectifs, ce démonstrateur supprimera 1,4 million de voyages en voiture chaque année.

**9- Le tracé du démonstrateur SupraSQY à Saint-Quentin-en-Yvelines.**

**9- Route of the SupraSQY demonstrator in Saint-Quentin-en-Yvelines.**

Cela représente des centaines de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées et des places de parking en moins ainsi qu'une baisse de l'accidentalité et des nuisances sonores.

## LES PROCHAINES ÉTAPES

Supraways prévoit, entre 2019 et 2021, des levées de fonds conséquentes pour assurer l'intégration de compétences internes et externes. Cela représente des dizaines d'emplois dans les domaines de l'ingénierie et des études pour accompagner le développement commercial de la société.

Afin de bénéficier des meilleures expertises, la société Supraways noue des relations partenariales avec différents acteurs de premier rang.

La construction d'un centre d'essais est une étape essentielle dans le développement de la solution Supraways. D'un point de vue pratique, le centre sera doté d'infrastructures techniques (anneaux d'essais, atelier, bancs d'essais, centre de maintenance, centre de R&D), de stations et d'un pôle d'accueil et de formation pour les clients, les délégations ou les journalistes.

Il permettra de réaliser des tests d'endurance, de résistance et de comportement des matériels et de l'infrastructure.

Les premiers véhicules devraient circuler sur la piste d'essais à partir de 2021. □

## ÉLÉMENTS CLÉS

La solution de transport Supraways en quelques mots :

- L'infrastructure aérienne libère les espaces urbains et supprime le danger.
- Les stations en dérivation, sur le même principe qu'une aire d'autoroute, ne gênent pas la course des véhicules. Ceux-ci se rendent à la destination choisie par les groupes d'utilisateurs sans arrêt intermédiaire, à une vitesse moyenne de circulation de 50 km/h.
- Des véhicules autonomes confortables de 7 à 9 places assises.
- Un système de transport intelligent avec un management de flotte centralisé et une communication inter-véhiculaire type V2X.
- Un transport à la demande, donc sans horaires, et disponible 24h/24 et 7j/7.
- Une accessibilité totale pour les PMR (accès station, cabine, place...).
- Une solution écologique, non polluante, sans nuisance sonore, avec des véhicules électriques et des auvents solaires.
- Une grande compétitivité économique avec des coûts d'investissements deux fois moins chers qu'un tramway et des coûts de fonctionnement faibles (pas de conducteur).
- Des externalités positives exceptionnelles, pulsées par les gains de temps, la qualité de l'air et la diminution des accidents routiers.
- Une capacité de transport importante, liée à la fréquence des véhicules intelligents.

## ABSTRACT

### SUPRAWAYS: TRANSPORT TO SERVE THE USERS AND THE REGION

CLAUDE ESCALA, SUPRAWAYS

**Faced with the challenges of mobility, public transport systems must reinvent themselves to remain attractive and convince users to give up their car. In response to these requirements, Supraways is developing an autonomous, above-ground, electric public transport system, operating on demand, without stops on the way and without connecting links. Based on several technological innovations and a revenue model combining passenger transport with logistic transport, the Supraways solution has a competitive business model. Attracted by this proposal, several regions are now interested in this system. Saint-Quentin-en-Yvelines will host the first experiment on this innovation in the world, with a view to the 2024 Olympic Games.** □

### SUPRAWAYS: EL TRANSPORTE AL SERVICIO DE LOS USUARIOS Y EL TERRITORIO

CLAUDE ESCALA, SUPRAWAYS

**Frente a los desafíos de la movilidad, el transporte público debe reinventarse para seguir siendo atractivo y convencer a los usuarios de abandonar el coche. En respuesta a estas expectativas, Supraways desarrolla un transporte colectivo autónomo aéreo, eléctrico, a demanda, sin paradas intermedias y sin enlaces. Basado en varias innovaciones tecnológicas y en un modelo de ingresos que combina el transporte de pasajeros y el transporte logístico, la solución Supraways presenta un modelo económico competitivo. Seducidos por esta propuesta, actualmente varios territorios se interesan por este sistema. Saint-Quentin-en-Yvelines acogerá el primer experimento de esta innovación, con los Juegos Olímpicos de 2024 como horizonte.** □

# UTILISER LES RÉSEAUX DE COLLECTE POUR LA RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES

AUTEUR : EMMANUEL CURINIER, PRÉSIDENT ET DIRECTEUR GÉNÉRAL, F-REG

DANS LE CADRE D'UN AMÉNAGEMENT NEUF, LES POUVOIRS PUBLICS IMPOSENT UN DISPOSITIF DE STOCKAGE OU D'INFILTRATION D'EAU DE PLUIE POUR COMPENSER LES SURFACES IMPERMÉABILISÉES. EN GÉNÉRAL SITUÉ SUR UNE PARTIE DE LA PARCELLE DÉDIÉE EXCLUSIVEMENT À CE DISPOSITIF, L'OUVRAGE RÉALISÉ MOBILISE DU FONCIER PRÉCIEUX. POUR RÉPONDRE À CETTE PROBLÉMATIQUE, LA SOCIÉTÉ F-REG A DÉVELOPPÉ UN SYSTÈME QUI PERMET DE DONNER UNE DOUBLE FONCTION DE STOCKAGE ET D'ÉVACUATION AUX CANALISATIONS DE COLLECTE QUELLE QUE SOIT LEUR PENTE. AINSI, DES ÉCONOMIES LIÉES À LA MISE EN ŒUVRE DU DISPOSITIF DE RÉTENTION SONT RÉALISÉES ET DU FONCIER EST LIBÉRÉ POUR UNE VALORISATION AUTRE.

## LE CONCEPT : DONNER UNE FONCTION DE RÉGULATION AUX RÉSEAUX DE COLLECTE

**CONTEXTE**  
La gestion des eaux pluviales et usées constitue un enjeu de taille pour les communes : réseaux d'assainissement saturés qui débordent lors des pluies, ruissellements des zones urbaines, pollutions engendrées par les débordements de réseaux d'eaux usées... Chaque année, en France, les inondations causent d'importants dégâts :  
→ 870 millions € de dégâts chaque année en moyenne (voitures emportées, habitations dévastées, voiries et réseaux dégradés) ;  
→ 18,5 millions d'habitants exposés au risque inondation ;  
→ 9 millions d'emplois concernés.

(source : rapport de l'Évaluation Préliminaire des Risques d'Inondations réalisé par le ministère de l'environnement en 2014).

Au-delà du changement climatique, dont certains scientifiques pensent qu'il peut avoir un impact sur l'intensification des pluies, la raison majeure apparaît être l'imperméabilisation des sols qui empêche l'infiltration des eaux pluviales dans les sols. Tandis qu'une forêt ne génère que 10% de ruissellement grâce à l'infiltration (50%) et à l'évapotranspiration (40%), une surface commerciale ou une voirie entraîne quant à elle 75% de ruissellement (figure 1) !



1- Ruissellement des sols.

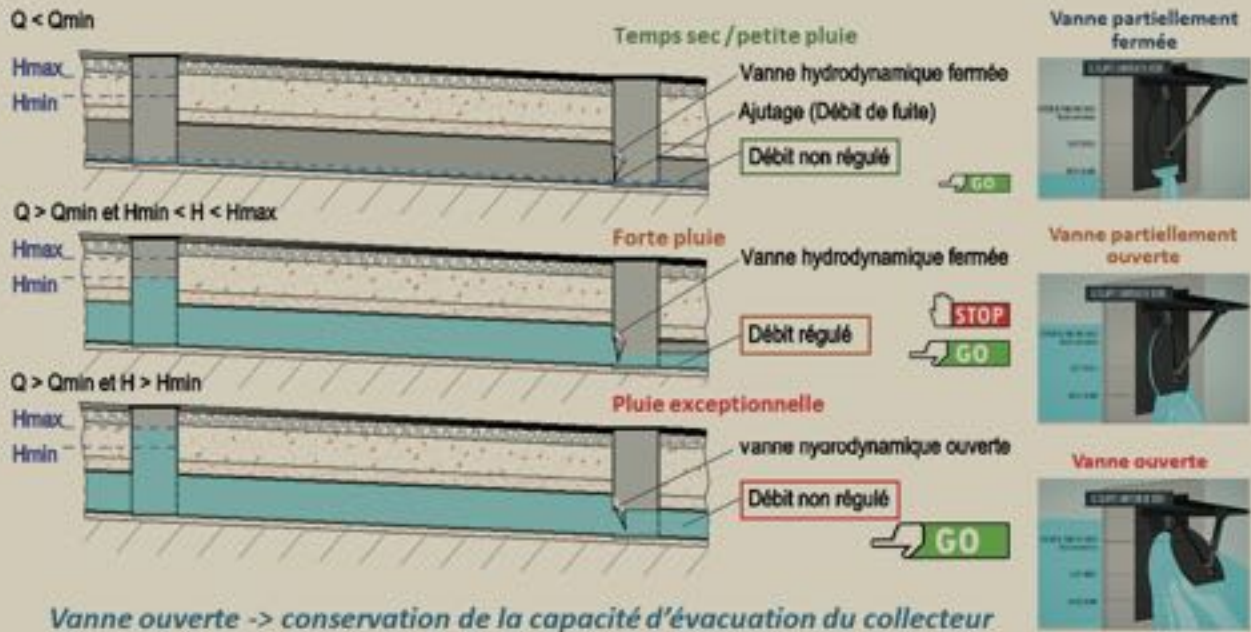
1- Soil runoff.

- Face à cette situation, les collectivités, maîtres d'ouvrage des systèmes d'assainissement, services publics d'assainissement doivent agir et notamment :
- Réaliser le zonage pluvial (L.2224-10 du CGCT) et prendre en compte le temps de pluie dans les projets d'assainissement ;
  - Prendre en compte le ruissellement dans l'élaboration des documents d'urbanisme ;
  - Réaliser un système de collecte, de traitement et d'évacuation adapté à l'infrastructure routière (art. R.131-1 et R.141-2 du code de la voirie routière) ;
  - Pour les systèmes de collecte des eaux usées, elles doivent respecter l'arrêté du 21 juillet 2015 qui impose de contrôler mieux les rejets polluants au milieu ;
  - Mettre en place des solutions d'autosurveillance du système.

## LE PANORAMA DES SOLUTIONS EXISTANTES

Sensibilisés aux risques d'inondation et de pollution, communes et exploitants

## PRINCIPE DU DISPOSITIF



© FREG 2

cherchent comment allier sécurité des populations et des biens, hyper-urbanisation des territoires et contrôle des coûts.

Des solutions existent mais elles se montrent souvent coûteuses et/ou lourdes à mettre en place. Il s'agit notamment :

- De la création de bassins de rétention (onéreuse et nécessitant des terrains tandis que les réserves foncières manquent).
- De la mise en œuvre de techniques dites "alternatives" qui permettent de gérer les eaux pluviales au plus près de leur point de chute (stockage tampon/infiltration). Ces techniques nécessitent cependant généralement beaucoup de foncier et/ou des perméabilités de sol importantes pour l'infiltration des eaux de pluies.
- De l'aménagement résilient des habitats des particuliers, de la création de zones tampons comme des parcs, de la verdure ou des zones humides.

Certaines technologies innovantes ont même été récemment saluées (notamment Centaur en Europe), ou encore des dispositifs de gestion dynamique des réseaux qui s'appuient sur des vannes motorisées (Ondeo, Gediflu). Leur coût d'accès reste très élevé pour les collectivités, elles sont complexes à mettre en œuvre et ces solutions restent énergie-dépendantes.

### 2- Principe du dispositif.

### 2- Schematic of the system.

## UN NOUVEAU VENU SUR CE MARCHÉ DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

Dans ce panorama, F-Reg se positionne en technologie alternative, à la fois économique et fiable, qui offre une réponse adaptée à ces différents besoins de gestion des eaux et de stockage. Le parti pris est que les réseaux de collecte eux même peuvent être utilisés pour maîtriser les écoulements

de temps de pluie grâce à leurs capacités de stockage potentiel.

L'installation de vannes de régulations dans les regards de visite permet ainsi de leur donner une double fonction de stockage et d'évacuation sans modifier leur débit capable. À la manière de feux de signalisation sur un réseau routier, ils transforment les conduites en organe de régulation mobilisant à moindre coût des milliers de m<sup>3</sup> de stockage inutilisés dans les réseaux existants : environ 100 m<sup>3</sup> de stockage par kilomètre de canalisation sont ainsi mobilisables dans les réseaux existants.

Pour des projets nouveaux, associés à des conduites surdimensionnées, ces dispositifs permettent de mettre en

œuvre un stockage simple et économique, particulièrement lorsque le foncier est cher ou peu disponible.

Le concept permet également, en association avec drains et matériaux poreux, de créer des chaussées drainantes très facilement, qui vont infiltrer tout le long de la voirie et donc au plus proche de la zone d'apport. Il est ainsi possible de profiter des réseaux d'assainissement préexistants afin de créer autant de stockages tampons pour optimiser leur fonctionnement et réduire leurs débordements.

### PRINCIPE DU STOCKAGE SOUS VOIRIE

La rétention des eaux pluviales sous voirie existe depuis longtemps. Il consiste à utiliser le linéaire des chaussées pour effectuer le stockage de l'eau de pluie directement dans la structure. Avantage : la collecte et le stockage sont réalisés tout au long de l'ouvrage libérant ainsi de l'emprise foncière pour réaliser d'autres aménagements. Inconvénient majeur : cette technique est difficile à mettre en œuvre et nécessite un entretien rigoureux et coûteux des filtres d'injection et des ajutages.

Pour répondre à ces contraintes, F-Reg a développé un dispositif qui utilise directement la canalisation d'évacuation pour réaliser le stockage nécessaire ce qui facilite son entretien et réduit l'entretien de l'ouvrage à l'exploitation classique d'un collecteur d'eaux pluviales. ▷

## QUARTIER SMARTSEILLE

### LES CHIFFRES CLÉS

- 480 ha d'aménagement global, dont 170 ha d'extension au nord,
- À terme 30 000 nouveaux habitants et 20 000 nouveaux emplois
- Une trame viaire et des réseaux à créer
- Une première ZAC de 56 ha réalisée (la ZAC Littorale)

### REPÈRES CHRONOLOGIQUES POUR LE QUARTIER SMARTSEILLE

- 2014 : Début des travaux
- 2015 : Quartier labellisé "Démonstrateur industriel pour la ville durable"
- 2016 : Arrivée des premiers usagers des bureaux
- 2017 : Arrivée des premiers habitants : plus d'une centaine de familles à ce jour
- 2019 : Livraison totale du quartier



L'aménagement de la voirie est classique, la canalisation d'eaux pluviales sera surdimensionnée pour obtenir le volume nécessaire, c'est la vanne F-Reg implantée dans un regard classique qui est chargée de contrôler sa mise en charge et régule le débit d'évacuation selon la pluie (figure 2).

### LA ZAC LITTORALE À MARSEILLE

F-REG peut compter sur une clientèle variée :

→ Un tiers de collectivités publiques (Antibes, Nice Côte d'Azur, Dax, Mulhouse, Métropole de Marseille) ;

→ Un tiers d'aménageurs privés (euroméditerranéens, promoteurs privés) ;  
→ Un tiers d'exploitants de réseau privés (Véolia, Suez).

Parmi ses récentes réalisations, F-Reg a été choisi pour compenser les nouvelles imperméabilisations du quartier "Smartseille" portée par l'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée, dont ils ont été lauréats du prix d'innovation "Med'Innovant" en 2015 (voir encadré, figures 3, 4 et 5). Avec près de 480 ha, Euroméditerranée est aujourd'hui considérée comme la plus grande opération de rénovation urbaine d'Europe.

**3- Programme d'aménagement Euro-méditerranée.**

**4- Îlot Smartseille.**

**3- Euro-Mediterranean Development Programme.**

**4- Smartseille islet.**

Avec l'extension de 170 ha au nord des 310 hectares initiaux, Euroméditerranée aborde une nouvelle étape. Labellisé ÉcoCité et accompagné par le Programme Investissements d'Avenir, ce nouveau périmètre a vocation à être un territoire d'expérimentation de l'aménagement urbain pour tester, déployer et valoriser les services et technologies innovantes. L'ambition est de créer la ville méditerranéenne et littorale de demain, durable et innovante offrant une dimension internationale à Marseille avec 30 000 habitants supplémentaires et 20 000 nouveaux emplois.





**5- Plan de situation de l'aménagement.**

**5- Location drawing of the project.**

Le besoin de stockage des eaux pluviales est en rapport avec les chiffres conséquents de ce projet. C'est dans cet environnement résolument innovant et moderne que le choix de la société F-Reg pour compenser l'effet des imperméabilisations de voiries s'est

avéré pertinent. Il réunissait en particulier des avantages économiques, mais également des avantages en termes d'emprise foncière.

### REPLACER LES BASSINS DE RÉTENTION PAR DU STOCKAGE DANS LES RÉSEAUX

Les bassins de rétention sont souvent mis en œuvre comme dispositifs de stockage dans les projets, principalement pour deux avantages : ils sont faciles à concevoir et faciles à mettre en œuvre. Leurs inconvénients majeurs sont leurs prix élevés, une emprise fon-

cière exclusive et un entretien fréquent pour garantir un fonctionnement dans le temps.

Le stockage des eaux de pluie en réseau offre un avantage direct lié à l'économie d'installation du dispositif de rétention, le réseau que l'on doit poser pour évacuer les eaux de ruissellements du projet à une double fonction ce qui optimise les terrassements et les coûts de mise en œuvre. Par ailleurs, le stockage étant situé sous la voirie le foncier prévu initialement pour le dispositif de stockage peut changer de destination. Les surfaces ainsi libérées permettent de réaliser d'autres aména-

gements et optimiser ainsi les espaces. La conception de ce type de gestion des eaux pluviales nécessite un linéaire de collecteurs pluviaux suffisant et une approche différente du concepteur, elle est par conséquent moins fréquente. De fait, cette solution de gestion des eaux de pluie, est très souvent retenue dans le cadre de d'aménagement où :  
 → L'emprise foncière est contraignante ;  
 → Le linéaire de voirie est conséquent ;  
 → Le sol ne permet pas l'infiltration.  
 La rétention pluviale constitue une composante importante de l'opération ZAC Littoral, les volumes nécessaires pour répondre aux critères réglementaires représentent un volume total de 4000 m<sup>3</sup> à terme, et elle se heurte aux contraintes de maîtrise foncière et de phasage de travaux.

Le projet initial réservait 5450 m<sup>2</sup> de superficie foncière pour la construction de bassins de rétention nécessaires (figure 6). Le choix du maître d'ouvrage s'est donc tout naturellement porté vers le stockage des eaux de pluie sous la voirie qui offrait l'avantage de réduire l'emprise foncière tout en baissant les coûts de mise en œuvre du dispositif de collecte et de régulation des eaux pluviales.

### PROJET ACTUEL

Par rapport au projet initial, ce sont plus de 5000 m<sup>2</sup> de foncier réservé pour la construction de bassins de rétention qui ont été économisés (figure 7).

### MISE EN ŒUVRE, DÉROULEMENT DU CHANTIER

La mise en œuvre de 6 vannes F-Reg a permis, sur cette première phase d'aménagement (îlot Allar) de réaliser le stockage de 1064 m<sup>3</sup> sous la voirie sur une longueur de 600 m.

La conception a prévu la construction de chambres d'installation pour la fixation des vannes sur un profil en long, dont une représentation de la ligne de mise en charge contrôlée par les vannes de régulation hydrodynamiques F-Reg est visualisée (figure 8).

Une fois que le collecteur d'eaux pluviales est posé, l'installation des vannes F-Reg est rapide. Elles ne nécessitent aucune énergie, sont installées par un opérateur directement en applique dans le regard de visite ou une chambre de forme carré ou rectangulaire. Toutes les vannes sont livrées avec un capteur de position qui donne une information en temps réel de son fonctionnement, ainsi qu'un système de déverrouillage du système permettant les opérations d'entretien du réseau (figures 9 et 10). ▷

Les vannes peuvent également être équipées d'un déverrouillage depuis le haut du regard, de différents points de mesure de débit, d'inclinaison, le tout compatible avec les différents systèmes de supervision ou télégestion.

Dans un souci de conception durable des produits, les vannes sont évolutives. C'est à dire que leurs paramètres de débit et de régulation peuvent être modifiés sans remplacer la vanne, pour suivre les évolutions des aménagements : extension nécessitant une modification des volumes de rétention et des débits.

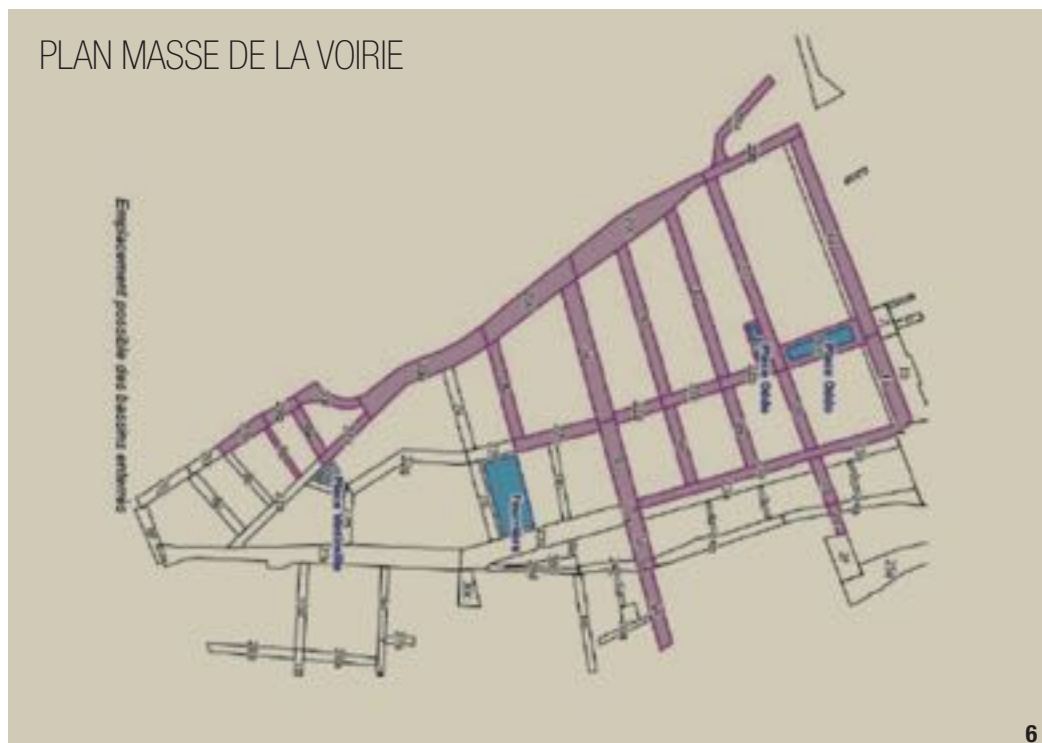
### CONCLUSION

La mise en œuvre d'un dispositif de stockage sous chaussée en lieu et place des bassins de rétention initialement prévus dans le cadre de l'aménagement de cet éco-quartier a permis de faciliter la mise en œuvre des compensations demandées par les pouvoirs publics, tout en libérant, à terme, une superficie de plus de 5000 m<sup>2</sup> initialement réservée à la construction de bassins de rétention. Si la conception nécessite des études moins habituelles que celles qui per-

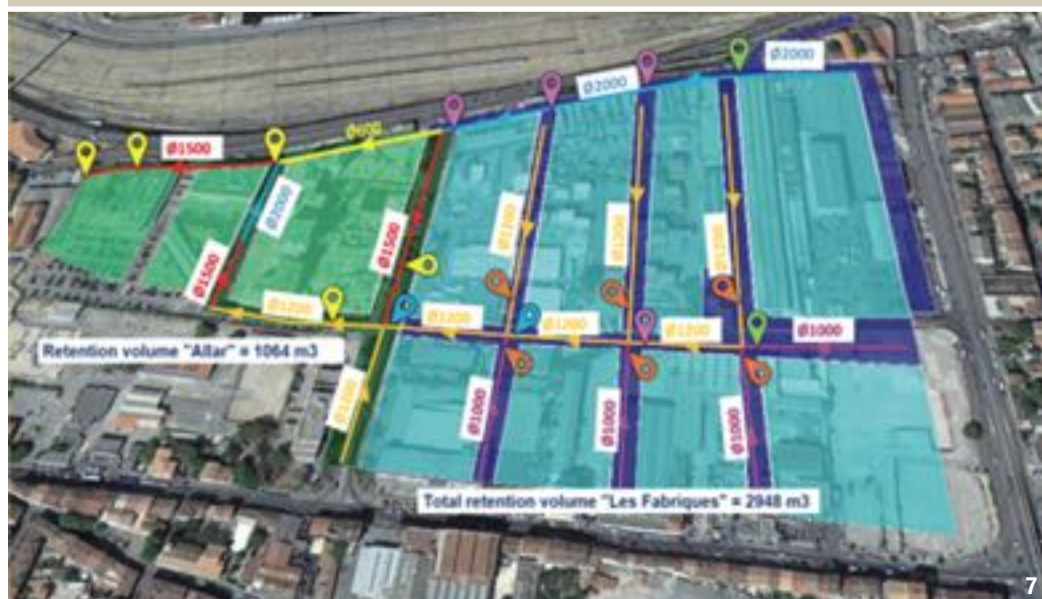
- 6- Plan masse de la voirie.
- 7- Positionnement des vannes.
- 8- Profil en long canalisation EP.

- 6- Layout plan of the road system.
- 7- Valve positioning.
- 8- Longitudinal profile of rain-water pipe.

## PLAN MASSE DE LA VOIRIE

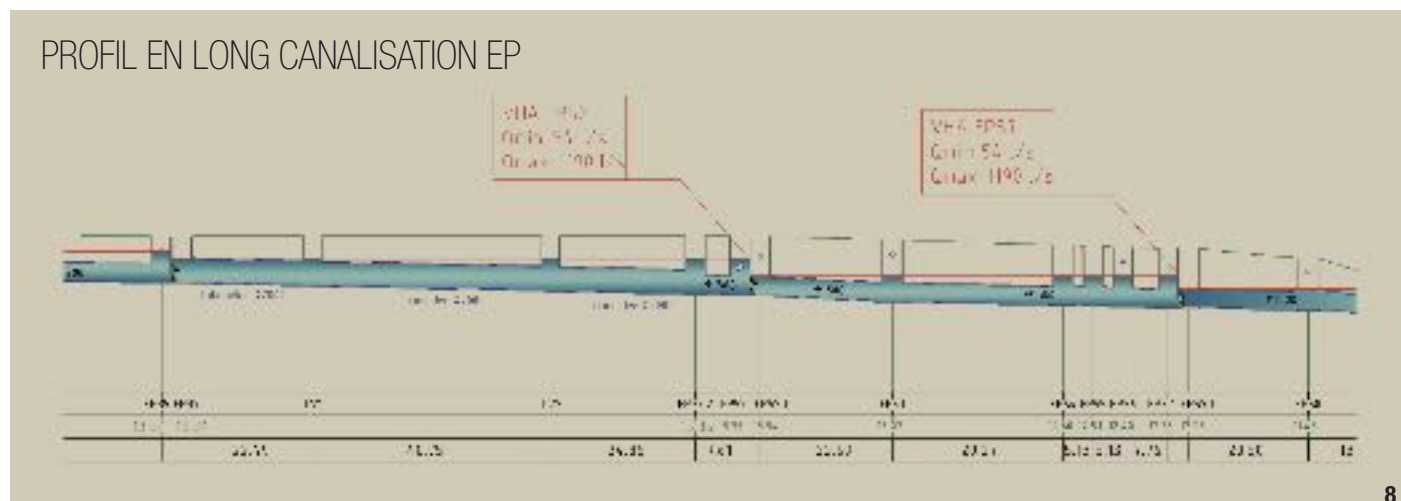


6



7

## PROFIL EN LONG CANALISATION EP



8



9

© FREG



10

© FREG

**9- Vanne de régulation F-Reg située à l'aval du projet.**

**10- Vanne de régulation F-Reg située à l'amont du projet.**

**9- F-Reg control valve located downstream of the project.**

**10- F-Reg control valve located upstream of the project.**

## EN TERMES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES, LA ZAC LITTORALE À MARSEILLE, C'EST :

- Stockage de 1 064 m<sup>3</sup> sur 600 m dans des réseaux pluviaux de Ø 1200 à 2000 pour la ZAC réalisée (îlot Allar) + plus de 2 900 m<sup>3</sup> supplémentaires à termes pour l'extension " Les Fabriques ".
- Aucun foncier requis (5450 m<sup>2</sup> d'emprise foncière économisée à terme).
- Fonctionnement optimal de la rétention grâce à une combinaison de plusieurs vannes agissant ensemble et en interaction.
- Environ 70 k€ pour la fourniture et la mise en œuvre des dispositifs de régulation, pour un volume de rétention de 1 080 m<sup>3</sup> (soit un ratio de moins de 70 €/m<sup>3</sup> stocké pour cette régulation).
- Un suivi en temps réel du fonctionnement du système grâce à des vannes connectées via IoT.

mettent de dimensionner les habituels bassins de rétention et que le système de collecte a dû être quelque peu surdimensionné, la pose des vannes hydrodynamiques autonomes a pu se faire en quelques jours seulement, pour un coût global inférieur à celui de l'ensemble initialement envisagé.

La réception définitive du concept de stockage en réseau F-Reg a eu lieu en juin 2019.

À noter que ce concept peut également permettre, en association avec drains et matériaux poreux, de créer très facilement des chaussées drainantes qui vont infiltrer tout le long de la voirie et donc au plus proche de la zone d'apport. □

### ABSTRACT

## USING COLLECTION NETWORKS FOR RAINWATER RETENTION

EMMANUEL CURINIER, F-REG

**For new development works, the French authorities require a rainwater storage or infiltration system to offset the sealed surface area. Generally located on a part of the plot dedicated exclusively to this system, the structure uses precious land. To cope with this problem, F-Reg has developed a system which performs a twofold function of storage and discharge to the rainwater collection pipes. In this way, savings are achieved on implementation of the retention system, and land is freed to be exploited otherwise. An illustration is the development of the "ZAC" mixed development zone on the coast in Marseille. □**

## UTILIZAR LAS REDES DE ALCANTARILLADO PARA RETENER LAS AGUAS PLUVIALES

EMMANUEL CURINIER, F-REG

**En el marco de una nueva ordenación, los poderes públicos franceses imponen un dispositivo de almacenamiento o infiltración de agua de lluvia para compensar las superficies impermeabilizadas. En general situado en una parte de la parcela dedicada exclusivamente a este dispositivo, la obra moviliza un dominio público. Para responder a esta problemática, F-Reg ha desarrollado un sistema que ofrece una doble función de almacenamiento y evacuación de las canalizaciones de recogida. Ello genera ahorros derivados de la utilización del dispositivo de retención, y se libera terreno que puede ser aprovechado de otro modo. La reordenación de la ZAC del Litoral de Marsella constituye un buen ejemplo. □**



1

© AGENCE JACQUES ROUGERIE

# PLANÈTE NAUSICAÁ, CENTRE NATIONAL DE LA MER À BOULOGNE SUR MER

AUTEURS : BRUNO LOISELEUX, DIRECTEUR DE PROJET, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE - DANIEL TRUFFIN, CHEF DE SERVICE FLUIDES, EGIS BÂTIMENTS NORD

EN MAI 2018, NAUSICAÁ A OUVERT SA 2<sup>e</sup> GRANDE EXTENSION PERMETTANT AU CENTRE NATIONAL DE LA MER DE DEVENIR LE PLUS GRAND AQUARIUM D'EUROPE, PORTÉE PAR L'AGGLOMÉRATION ET SON PRÉSIDENT FRÉDÉRIC CUVILLIER, MAIRE DE BOULOGNE-SUR-MER, ET DONNANT AINSI NAISSANCE À PLANÈTE NAUSICAÁ. POUR CETTE CONCEPTION RÉALISATION HORS NORMES, LES BUREAUX D'ÉTUDES EGIS ET INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE SE SONT VUS DÉCERNER LE GRAND PRIX NATIONAL DE L'INGÉNIERIE 2018 POUR LA GESTION DE L'ÉNERGIE ET LE TRAITEMENT DE L'EAU.

**DE LA GENÈSE À L'ABOUTISSEMENT DU PROJET** (figures 1 et 2)  
 1977 - Élu Maire de Boulogne-sur-Mer, Guy Lengagne décide de doter sa ville d'un aquarium digne du premier port de pêche de France.

**NAUSICAÁ I**  
 Nausicaá I a été livré le 18 mai 1991 - On l'appellera plus tard : "Nausicaá

1<sup>re</sup> tranche". À l'origine, le Centre National de la Mer a été construit à partir des structures existantes du Casino de Boulogne-sur-Mer datant de 1960, correspondant globalement à la piscine, la cafétéria, la médiathèque, le hall d'accueil, le bassin d'essai Ifremer. Les espaces d'exposition avaient été construits en extension de cette partie existante.

1- Perspective.

1- Perspective view.

## NAUSICAÁ II

En 1998, le Centre National de la Mer a fait l'objet d'une extension et double sa surface passant ainsi à 4500 m<sup>2</sup> d'exposition et comprenant :

- Des locaux et espaces accessibles au public :
- Un hall d'entrée avec les services aux visiteurs et une boutique,
  - Des espaces d'exposition permanente,
  - Un espace d'exposition temporaire
  - Deux bars,
  - Un restaurant,
  - Des salles pédagogiques pour l'accueil des classes scolaires.





- Des locaux non accessibles au public :
- Bureaux administratifs,
  - Salles de réunion,
  - Locaux techniques,
  - Locaux de stockage.

**NAUSICAA III**

Cette phase de transformation a consisté en la transformation d'espaces d'expositions existants sans changement d'affectation.

**NAUSICAA IV (nouvelle extension)**

Janvier 2012 - Rendu du concours international en Conception Réalisa-

**2- Vue aérienne du chantier.**  
**3- Plan de phasage.**

**2- Aerial view of the site.**  
**3- Work sequencing drawing.**

tion pour "Planète Nausicaá", attribué après une procédure négociée au groupement Sogea Caroni/Rougerie/Egis/Ingérop.

Mai 2018 - Nausicaá ouvre sa 2<sup>e</sup> grande extension permettant au Centre National de la Mer de devenir le plus grand aquarium d'Europe, portée par l'Agglomération et son Président Frédéric Cuvillier, maire de Boulogne-sur-Mer.

Cette extension vise 1 million de visiteurs par an, elle a été envisagée en deux tranches phasées (figure 3) :

- Une tranche ferme livrée mai 2018 (14500 m<sup>2</sup> de SU) qui comprend :
- La création d'une zone d'exposition relatant le voyage en haute mer avec son bassin de 10000 m<sup>3</sup> / 1300 m<sup>2</sup> et son parcours de visite (2380 m<sup>2</sup>),

- Le réaménagement de l'entrée et du hall des services associés à l'accueil, de la boutique et des zones de restauration,
- L'extension et la restructuration de l'administration (aménagements dans existant).

- Une tranche conditionnelle dite "Les Aurores Polaires" (7300 m<sup>2</sup> de SU dont l'ordre de service travaux devrait être établi en 2019), qui comprendra :
- Les bassins extérieurs des morses et des manchots du Cap et leur circuit de visite,
  - Une salle d'exposition temporaire,
  - Une salle 4D (non équipée dans le cadre du marché).

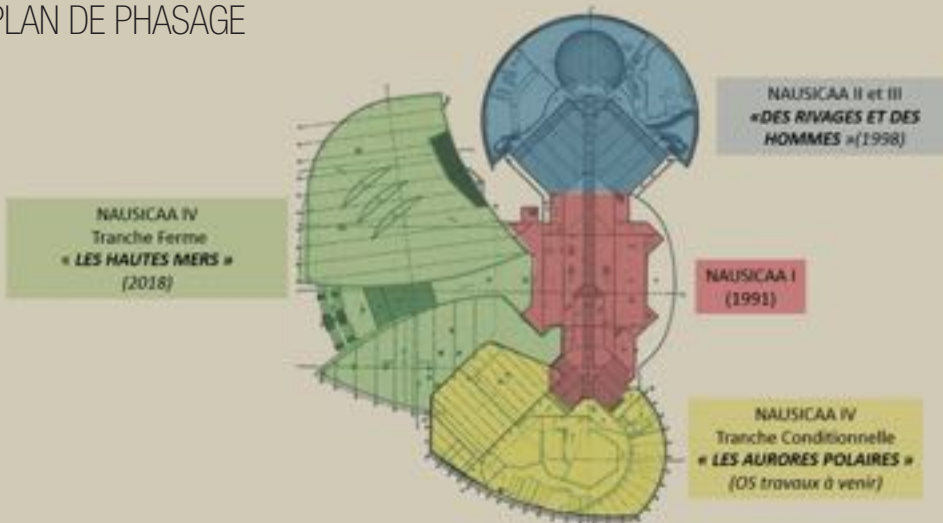
Le projet du bâtiment a été imaginé par les architectes Jacques et Sophie Rougerie, lauréats avec Sogea Caroni, filiale de Vinci Construction France, en 2014, du concours international lancé pour la création du nouveau Nausicaá, Centre National de la Mer, dans le cadre d'un groupement en Conception-Réalisation.

C'est une architecture bionique que l'agence Rougerie a imaginée, empruntant au monde marin son vocabulaire de formes vivantes.

Jacques et Sophie Rougerie, architectes, passionnés par la mer et par l'espace, s'inspirent de la nature pour dessiner et concevoir des habitations sous-marines, des navires et des bâtiments uniques au monde.

Henri Rouvière, scénographe, assure la scénographie et la muséographie. ▷

PLAN DE PHASAGE



Ingérop Conseil et Ingénierie a assuré l'ingénierie générale en aquariologie incluant :

- Le process de traitement d'eau,
- Le dimensionnement des baies et tunnel en poly-méthacrylate de méthyle,
- Les décors et éclairages des aquariums et bassins.

Egis Bâtiments Nord a assuré l'ingénierie générale bâtiment, incluant :

- La structure, y compris la charpente complexe de la toiture,
- Les courants forts,
- Les courants faibles,
- Le développement durable,
- La gestion du respect des règles de sécurité dans cet ERP de 1<sup>re</sup> Catégorie,
- Le chauffage ventilation désenfumage.

Sogea Caroni, mandataire du groupement, a réalisé la construction du projet.

### LES ENJEUX ET LES RÉPONSES APPORTÉES. LES DÉLAIS

L'objectif délai est primordial. De sa tenue dépendait la capacité de lancer la pré-exploitation du bâtiment afin de laisser le temps aux animaux de s'adapter à ce nouvel environnement, mais également de laisser le temps à l'équipe d'exploitation de prendre en main ce nouvel outil technique.

La volonté d'une ouverture dès le mois de mai 2018 s'entend au regard du "rodage" nécessaire avec les périodes de forte affluence estivale.

Le pari a été tenu, avec une livraison rendue possible par l'action du groupement de conception réalisation et la maîtrise de l'entreprise mandataire, en avance d'un mois et demi sur le planning contractuel.

### LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Les objectifs à atteindre sont élevés et l'ensemble des techniques mises en œuvre se doit d'y contribuer.

#### Climatisation - Ventilation - Chauffage

Les besoins énergétiques de l'extension de Nausicaá sont importants, ils concernent à la fois :

- Le chauffage de l'ouvrage et notamment du hall du bassin des hautes mers maintenues à 27°C, ainsi que le réchauffage des bassins à 25°C et des appoints en eau de mer.
- Le rafraîchissement, même en hiver, des locaux pour combattre les apports liés à l'occupation, aux dissipations calorifiques des équipements numériques de la muséo-



© INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE

graphie, de la bureautique et des locaux techniques (aquariologie, électriques, informatiques, etc.).

Dans une démarche à la fois écologique et économique, il fallait envisager un ouvrage thermiquement performant et des installations économes en énergie primaire.

Au niveau de la production, la concomitance des besoins chauds et froids permet d'optimiser l'utilisation de pompes à chaleur, en réduisant très sensiblement les besoins en énergie primaire. Aux conditions extrêmes, il fallait cependant envisager un appoint thermique en hiver et un rejet de l'énergie excédentaire issue de la production de froid en été.

La proximité du chenal a conduit à envisager, dans un premier temps, l'utilisation de l'eau de mer. Le chenal étant en communication directe avec la pleine mer, le pompage était soumis aux variations importantes de niveau liées au marage. Les installations d'aquariologie ne pouvant supporter

#### 4- Installations dénitrification.

#### 5- Localisation des baies en PMMA du grand bassin (vue BIM).

#### 4- Denitrification facilities.

#### 5- Location of the PMMA windows of the large tank (BIM view).

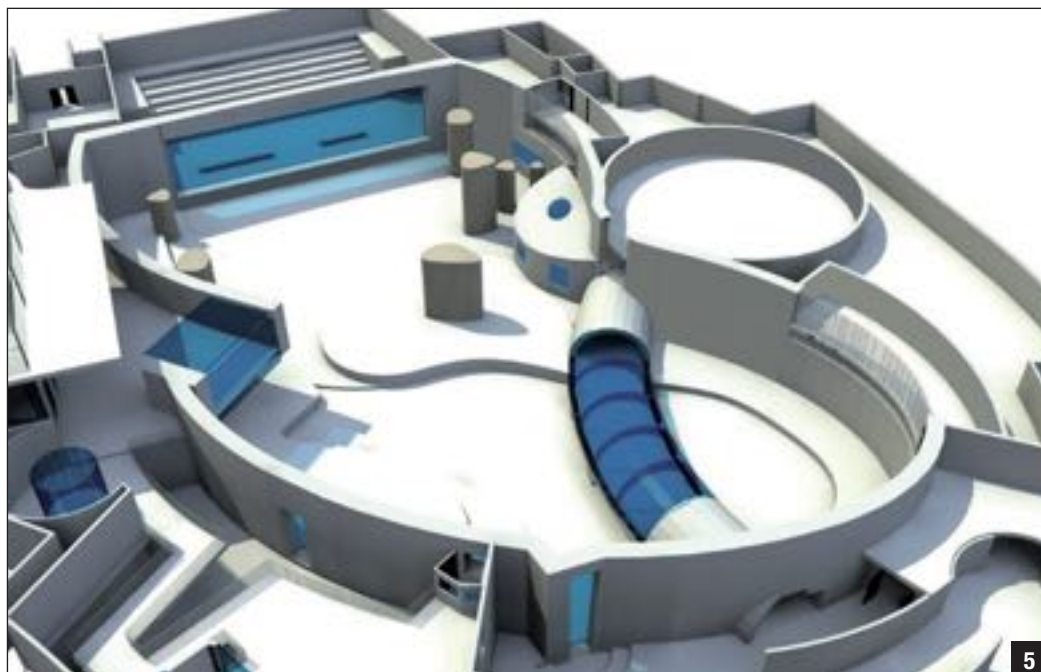
aucune coupure de traitement thermique, les installations devaient être conçues pour assurer un service permanent. Il s'est d'autre part avéré que les besoins d'appoint d'hiver étaient extrêmement faibles et que les rejets thermiques étaient prédominants. Une étude de risque a amené à se tourner vers un raccordement au chauffage urbain de Boulogne-sur-Mer qui tire une grande partie de son énergie de

dispositifs de récupérations par PAC sur les eaux usées de la ville et sur le rejet de boues industrielles. D'autre part celui-ci était en mesure de récupérer une part importante de l'énergie fatale issues des PAC de Nausicaá. Cette récupération pour abonder les besoins en puissance du chauffage urbain, était donc en parfaite adéquation avec les objectifs du concours de limiter au maximum l'impact énergétique de la nouvelle installation.

#### L'économie d'eau

L'eau de mer utilisée est pompée via un réseau de drains situés sous la plage de Boulogne-sur-Mer. Ce captage d'eau sert au renouvellement continu de l'eau des circuits, jusqu'à 3% par jour du volume total. Ce débit est supérieur au débit nécessaire au lavage des filtres à sable : il a donc paru intéressant d'optimiser le process de lavage des filtres en proposant l'utilisation de cette eau de mer dont on dispose et qu'il faut de toute façon retraiter plutôt que d'utiliser une eau douce spécifique qui présente un coût (tant économique qu'écologique). Utiliser cette eau de mer, déjà pompée, avant de la restituer au milieu naturel, représente le circuit le plus court possible et le recyclage d'une ressource présente sur site. Ceci évite le pompage, le traitement et le retraitement d'une eau de ville.

L'eau de mer usée est déversée gravitairement dans la bêche de décantation enterrée, les particules les plus denses sédimentent en fond de cuve vers un regard aveugle. Il sera pompé périodi-



© INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE



6

© INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE

quement vers des filtres à poche avant de retourner dans la bache de décanation. À l'extrémité opposée, l'eau est reprise en continu (20 m<sup>3</sup>/h) vers un filtre à sable, puis une cuve de dénaturation à l'ozone résiduel par irradiation forte aux Uvc. Elle est utilisée pour le contre-lavage des filtres et le surplus est rejeté par un émissaire dans l'embouchure de la Liane. Étant donné l'excellente qualité de cette eau, elle pourra, le cas échéant, être envoyée vers la bache eau de mer neuve pour être utilisée en cas de pénurie temporaire d'eau de pompage (pollution côtière).

Le filtre à sable terminal avant rejet au milieu naturel est contre-lavé régulièrement par de l'eau de pluie récupérée en toiture ce qui permet de rejeter ces boues aux Eaux Usées urbaines (taux de sel inférieur à la limite autorisée), et de réduire fortement la consommation d'eau potable pour le fonctionnement de l'aquariologie.

**6- Grande baie mise en place.**  
**7- Opération de levage de la grande baie.**

**6- Large window placed in position.**

**7- Large window lifting operation.**

**LIFE SYSTEM SUPPORT**  
**Dénitrification à grande échelle**

Dans les aquariums fonctionnant en circuit fermé, l'accumulation de nitrates, produits de dégradation des composés azotés, est inéluctable. Ils présentent deux inconvénients majeurs : leur toxicité directe vis-à-vis des animaux, notamment envers les invertébrés, et un danger potentiel en cas d'apparition d'un milieu réducteur.

Actuellement, dans le domaine de l'aquariologie, la dénitrification sur les bassins de grande taille se fait exclusivement par renouvellement d'eau dans les bassins. Pour ce faire, il faut disposer d'eau de mer en grande quantité et à la bonne température, c'est-à-dire qu'il est nécessaire de la réchauffer pour les bassins principaux. Ce processus reste difficile à réaliser et il est très coûteux en énergie.

L'objectif de ce projet consiste à développer une technique de dénitrification adaptée aux dimensions des grands bassins, et de réduire les consommations énergétiques liées à l'apport d'eau de mer neuve.

Au-delà de la technique de déconcentration consistant à faire des compléments en eau pauvre en nitrates, la technique la plus employée est la dénitrification hétérotrophe. C'est la méthode la plus employée en aquariologie. Il faut faire circuler l'eau sur de gros volumes de supports bactériens

en milieu confiné, ce qui implique, dans la pratique, que les vitesses d'approche soient faibles. Cela nécessite des filtres largement dimensionnés qui représentent un encombrement conséquent au regard des volumes à traiter.

On a donc choisi la dénitrification autotrophe qui utilise le soufre comme source d'énergie (figure 4). En parallèle de la réduction de l'ion nitrate en azote moléculaire, il se produit une oxydation du soufre en sulfates. Dans ce cas, le nitrate est l'accepteur final des électrons provenant de l'oxydation du soufre.

Le choix a été fait d'industrialiser une technique expérimentale qui rendait compatible les objectifs de dénitrification avec nos contraintes d'encombrement et de coût. La méthode mise en place a conduit à réaliser 3 prototypes avant d'arrêter la solution aujourd'hui en service.

**Poly-Méthacrylate de Méthyle**

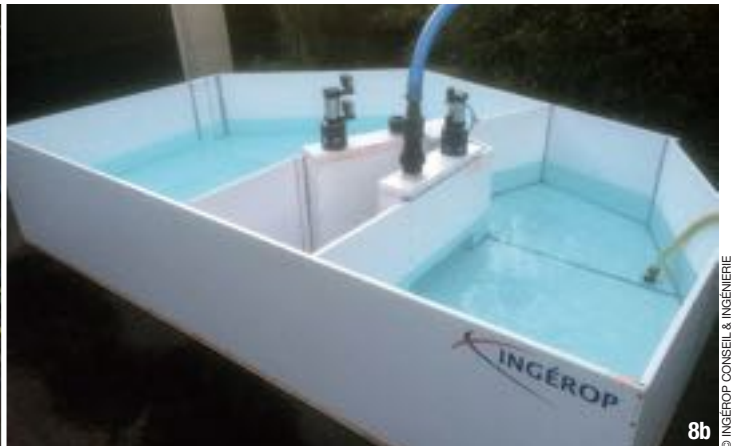
Les panneaux en Poly-Méthacrylate (PMMA) permettent la réalisation de volumes transparents de formes complexes (cintrés, cylindriques, hémisphériques, ...) et de grandes dimensions (figure 5).

Ils présentent des caractéristiques intéressantes telles qu'une faible densité, une bonne transmission lumineuse, une excellente durabilité, une simplicité de mise en œuvre et une possibilité de traitement des rayures a posteriori. La possibilité de les assembler par soudure permet de ne pas avoir de limite géométrique. Ainsi la grande baie (figures 6 et 7) a été réalisée par soudure de 7 panneaux de 3 m x 6 m, soit une surface assemblée de 21 m de long par 6 m de haut. S'agissant d'une technicité non courante, les panneaux, les plus grands d'Europe, ont fait l'objet d'un Atex.



7

© INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE



### Machine à vagues

Pour des raisons scénographiques et pour le bien-être des morses, les bassins "Les Aurores Polaires" sont équipés de machines à vagues (figures 8). Aucun équipement ne doit être en contact avec les morses qui ont une capacité de détérioration importante. Aussi, faute de solution préexistante, les recherches se sont orientées vers un équipement qui serait déporté, sans contact avec les animaux. De plus, il fallait minimiser les consommations énergétiques d'un équipement fonctionnant en continu et les frais de maintenance souvent liés à l'usure mécanique des pièces en mouvement. On donc opté pour une machine à vagues mettant en jeu les principes de mise en résonance du plan d'eau par une excitation faible mais répétée. L'action menée

consiste à déplacer une faible masse d'eau en comprimant un volume d'air dans un caisson en contact avec la surface du plan d'eau par le biais d'une soufflante à canal latéral fonctionnant à 1,4 bars. Un caisson mitoyen du bassin et en communication lui, transmet les impulsions données par la surpression cadencée exercée en surface.

Un premier prototype (figure 8) a été réalisé afin de tester la faisabilité du concept, puis une maquette au 1/10<sup>e</sup> a été construite pour analyser les performances et les interférences avec la géométrie du bassin.

Les essais concluants ont conduit à la mise en œuvre de ce dispositif dans la tranche conditionnelle, avec la réalisation de caissons en béton noyés dans le décor, assurant le rôle de machine à vagues.

8a & 8b- Machine à vagues.

8a & 8b- Wave machine.

une approche systématique considérant Nausicaá comme un écosystème en lien avec son environnement.

### STRUCTURE DE COUVERTURE

La structure à double courbure, rappelant le vol des raies, a nécessité une modélisation en 3 dimensions.

Il s'agit de structures complexes, composée de différentes typologies de poutres, dont certaines présentent des porte-à-faux importants. □

### HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE

Le groupement a intégré tout au long de la conception les problématiques du développement durable, s'appuyant sur l'inspiration bionique du projet et

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**SURFACES UTILES : 14 500 m<sup>2</sup> et 7 300 m<sup>2</sup>**

**BASSIN : 10 000 m<sup>3</sup>/1 300 m<sup>2</sup>**

**GRANDE BAIE : largeur libre 20 m - hauteur libre 5 m - épaisseur 38 cm - poids 54 t**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### MAÎTRE D'OUVRAGE :

**CAB (Communauté d'agglomération du Boulonnais)**

#### ENTREPRISE, MANDATAIRE DU GROUPEMENT :

**Sogea Caroni, filiale de Vinci Construction France**

#### ARCHITECTES : Jacques et Sophie Rougerie

**SCÉNOGRAPHE ET MUSÉOGRAPHE : Henri Rouvière**

#### ARCHITECTE : L'atelier d'architecture Delannoy

**BET LOT PLOMBERIE : Cth bureau d'étude**

**BET LOT VRD : Berim**

**ACOUSTIQUE : Cabinet conseil Vincent Hedont**

**INGÉNIERIE BÂTIMENT : Egis**

**INGÉNIERIE AQUARILOGIQUE : Ingérop Conseil Ingénierie**

### ABSTRACT

## PLANET NAUSICÁÁ, CENTRE NATIONAL DE LA MER IN BOULOGNE SUR MER

BRUNO LOISELEUX, INGÉROP - DANIEL TRUFFIN, EGIS

**Nausicaá is a project for which countless technical and regulatory challenges had to be overcome. And yet this was no exploit, all that was needed was to be always on the cutting edge of technology that already exists. This was made possible by a team of men and women who have been on this project from the outset. Nausicaá is not only a technical challenge, but also a wonderful human adventure. This project, both recreational and educational, will constantly raise public awareness of improved management of the oceans and their resources.** □

## PLANETA NAUSICÁÁ, CENTRO NACIONAL DEL MAR EN BOULOGNE SUR MER

BRUNO LOISELEUX, INGÉROP - DANIEL TRUFFIN, EGIS

**Nausicaá es un proyecto para el cual ha habido que superar incontables desafíos técnicos y reglamentarios. El único secreto para lograrlo ha sido estar sistemáticamente a la vanguardia de la tecnología existente. Un equipo de mujeres y hombres que trabajan en este proyecto desde su génesis lo ha hecho posible. Nausicaá constituye tanto un desafío técnico como una fantástica aventura humana. Se trata de un proyecto a la vez lúdico y educativo que pretende sensibilizar al público sobre una mejor gestión de los océanos y sus recursos.** □



1

© EIFFAGE CONSTRUCTION - GUILHEM GAYRAUD

# LE PARKING DU COLONEL JEANPIERRE À AIX-EN-PROVENCE : UN PARKING QUI PREND PLACE

AUTEURS : LUDOVIC GAUTIER, DIRECTEUR INFRASTRUCTURES, INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE - SÉBASTIEN RESPAUD, CHEF DU SERVICE OUVRAGES D'ART / GÉNIE CIVIL, INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE - SAÏD DEBOUSSE, DIRECTEUR TRAVAUX, INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE - PHILIPPE DALLEMAGNE, DIRECTEUR DU PROJET DE LA LIGNE B DE L'AIX-PRESS, INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE - STÉPHANIE HUGUES, INGÉNIEURE VRD, INGEROP CONSEIL & INGÉNIERIE

**LA COMMUNAUTÉ DU PAYS D'AIX A CONFIE À LA SOCIÉTÉ PUBLIQUE LOCALE D'AMÉNAGEMENT (SPLA), LA CRÉATION D'UN PARC RELAIS DE 600 PLACES, SUR TROIS NIVEAUX, SOUS L'ACTUEL GIRATOIRE DU LIEUTENANT-COLONEL JEANPIERRE, DANS LE SECTEUR DU JAS DE BOUFFAN À AIX-EN-PROVENCE, ACCOMPAGNÉ DE SON AMÉNAGEMENT PAYSAGER EN SURFACE, COMPATIBLE AVEC L'ARRIVÉE DE LA LIGNE B DU BHNS DIT L'AIXPRESS SUR CES MÊMES EMPRISES. CETTE OPÉRATION COMPLEXE FAISANT INTERVENIR DIVERS MÉTIERS DES TRAVAUX PUBLICS S'INSCRIT DANS UN CONTEXTE URBAIN COMPLEXE ET UNE PHILOSOPHIE DE DÉVELOPPEMENT DE LA MULTIMODALITÉ AU SEIN DE LA VILLE.**

## CONTEXTE

La ville d'Aix-en-Provence et la Métropole Aix-Marseille Provence ont entrepris de grands travaux de réaménagement du territoire en favorisant les transports en commun.

L'Aixpress, ligne de BHNS 100 % électrique, sera l'épine dorsale du réseau de transport sur Aix-en-Provence. Il traverse la ville d'ouest en est sur un linéaire de 7,2 km. Il dessert les points d'intérêt majeurs de la ville (figure 2) : Hypercentre ; gare routière ; gare ferroviaire ; université ; quartiers d'habitations. Avec une fréquence soutenue de

7 minutes en heure de pointe, le bus traversera la ville à vitesse commerciale de 18 km/h grâce à un système de priorité aux feux.

Sa mise en service est prévue pour septembre 2019.

Afin de favoriser le report multimodal et les échanges entre les lignes de bus et le BHNS deux Pôles multimodaux comprenant des parcs relais sont implantés aux points d'entrée de la ville d'Aix-en-Provence. Le premier est situé sur l'autoroute A8 (le Krypton) au sud-est de la ville ; et le second est localisé au niveau du rond-point du Colonel Jeanpierre, à

**1- Enceinte en parois berlinoises.**

**1- Berlin-type retaining wall enclosure.**

l'intersection des axes routiers venant du nord, de l'ouest et de l'autoroute A8. Le pôle d'échange comprend une station de BHNS, des arrêts de bus en connexion avec le BHNS ; un bâtiment d'exploitation transport et surtout un

imposant parking relais de 600 places. Un billet intégré permet aux usagers de laisser leur voiture en entrée de ville pour prendre le BHNS et ainsi rejoindre en transport en commun le centre-ville. L'enveloppe financière des travaux est de 18 M€. Les travaux sont décomposés en 7 lots différents.

Sa livraison est prévue pour début septembre 2019, en même temps que la mise en service de l'Aixpress.

Le parc relais se situe au cœur du quartier du Jas-de-Bouffan, fruit de l'extension d'Aix-en-Provence vers l'ouest, à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. ▷

Ce quartier concentre aujourd'hui plus de 20 000 habitants.

Le rond-point du Colonel Jeanpierre aux caractéristiques hors normes avec ses 120 m de diamètre, a longtemps été identifié comme le noyau routier distributeur de ce quartier, avec un développement urbain qui se dessine de manière symétrique selon une logique cardinale nord/sud et est/ouest. À l'échelle locale, le Parc Relais Ouest doit s'intégrer dans un ensemble cohérent d'espaces de stationnement. Il a vocation à accueillir :

- Le stationnement de rabattement des usagers du BHNS ;
- Le stationnement des usagers du stade Maurice David lors d'événements sportifs.

Le giratoire actuel est un point de passage important des usagers des autoroutes A8 et A51 puisque les bretelles de raccordements manquantes n'existent pas à ce jour. Néanmoins, les travaux de ces bretelles sont, soit en cours de construction, soit programmées dans un avenir proche, venant ainsi confirmer la nécessité d'apaisement de la circulation routière dans le secteur.

**CONTRAINTES TECHNIQUES HYDRAULIQUE**

La réalisation du parking a nécessité de tenir compte de différentes contraintes hydrauliques.

Le projet se situe sur un axe d'écoulement cartographié dans le PLU d'Aix en Provence.

Une étude spécifique basée sur la construction et l'exploitation d'un modèle du réseau pluvial couplé avec un modèle 2D de surface a permis de définir précisément les caractéristiques de la zone inondable liée au ruissellement sur la zone de projet. Les accès piétons et véhicules au parking souterrain ont pu ainsi être calés et positionnés de telle manière à ne pas inonder celui-ci en cas de crue exceptionnelle. Par ailleurs, le modèle mis en place a permis de démontrer avec précision l'absence d'impact significatif du projet sur la dynamique des écoulements. Par ailleurs, le projet entraîne une imperméabilisation des sols par rapport à l'état actuel. Aussi, le surplus d'imperméabilisation a été compensé par la réalisation d'un ouvrage de rétention enterré.

Cet ouvrage permet également un traitement qualitatif des eaux par décantation et un rejet de bonne qualité.

Enfin, ce projet nécessite, aussi bien en phase provisoire travaux qu'en phase



2 © KEOLIS

définitive, de rabattre la nappe au droit de celui-ci. Les études géotechniques ont permis de caractériser la nature géologique du secteur et d'estimer les débits d'exhaure nécessaires en phase chantier (épuisement de la fouille) et exploitation (empêcher toute mise en pression de l'eau sous la dalle). Les eaux pompées seront rejetées dans le réseau pluvial, en aval des déviements nécessaires à l'implantation du parking souterrain.

2- Plan de la ligne BHNS Aixpress.  
3- Schéma fonctionnel d'un niveau du parking.

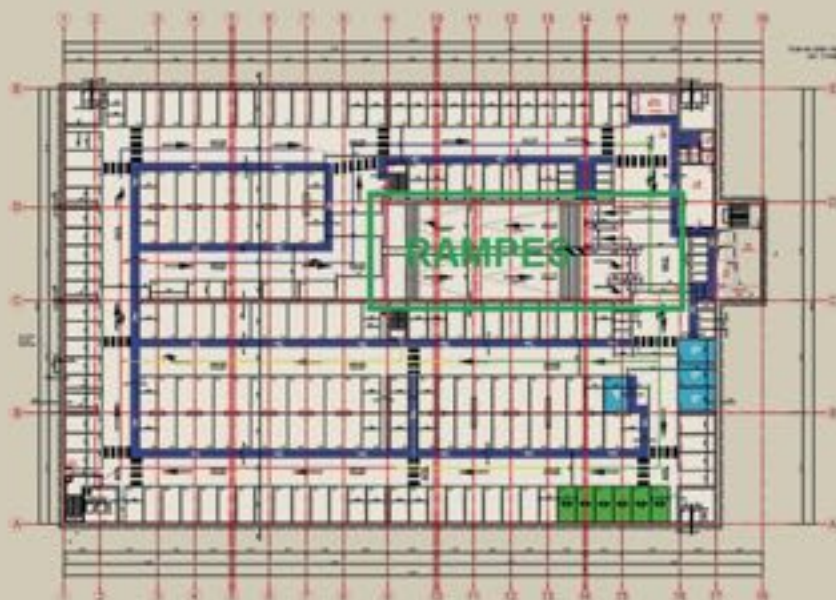
2- Layout of the Aixpress BHNS line.  
3- Block diagram of a parking lot level.

**OPTIMISATION DE L'ESPACE**

L'implantation du parking est conditionnée par plusieurs contraintes géométriques :

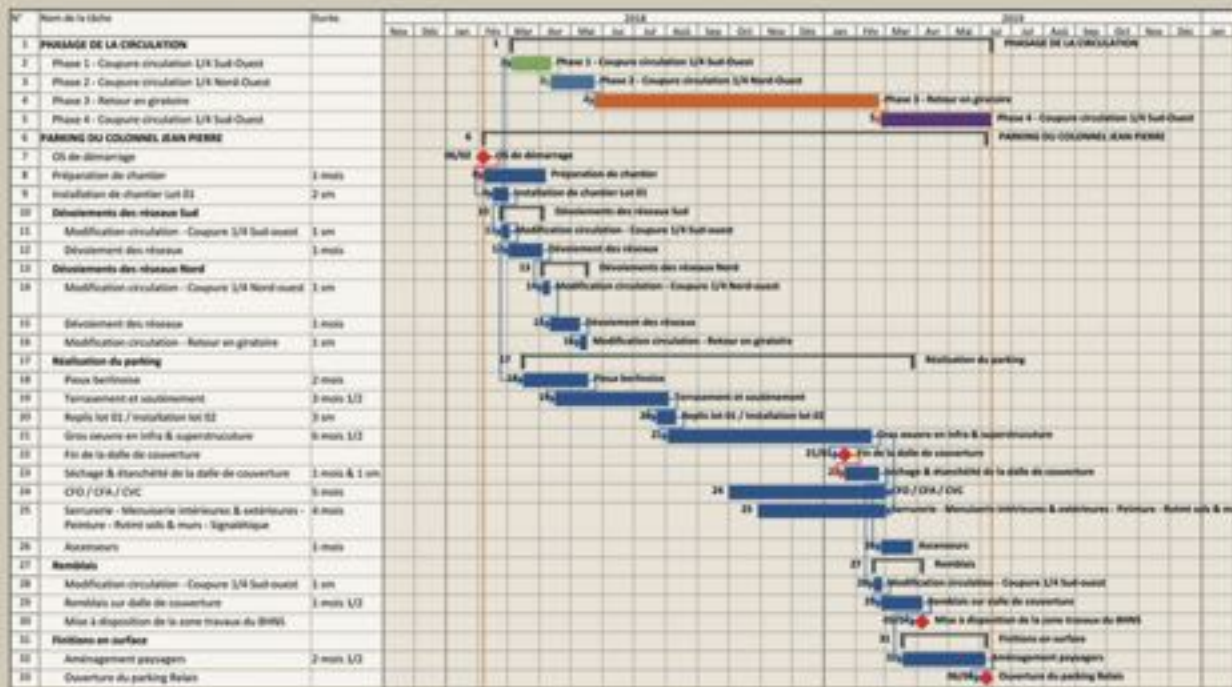
- Circonscription de l'enveloppe du parking dans le noyau végétal central du giratoire du Colonel Jeanpierre ;
- Conception de l'espace en plan conditionnée par l'implantation des rampes d'accès qui se raccordent au giratoire réduit de l'aménagement futur.

SCHÉMA FONCTIONNEL D'UN NIVEAU DU PARKING



3 © INGÉROP

## PLANNING DE L'OPÉRATION



© PRM 4

Plus précisément, l'axe des rampes ne correspond pas à l'axe longitudinal du parking (figure 3). L'organisation spatiale interne du parking a donc dû être conçue de manière asymétrique, avec le souci de prévoir le maximum de places possibles, tout en observant certaines règles de conception intangibles. En effet, aucune place ne doit se situer à plus de 25 m d'une issue de secours si elle se trouve en cul de

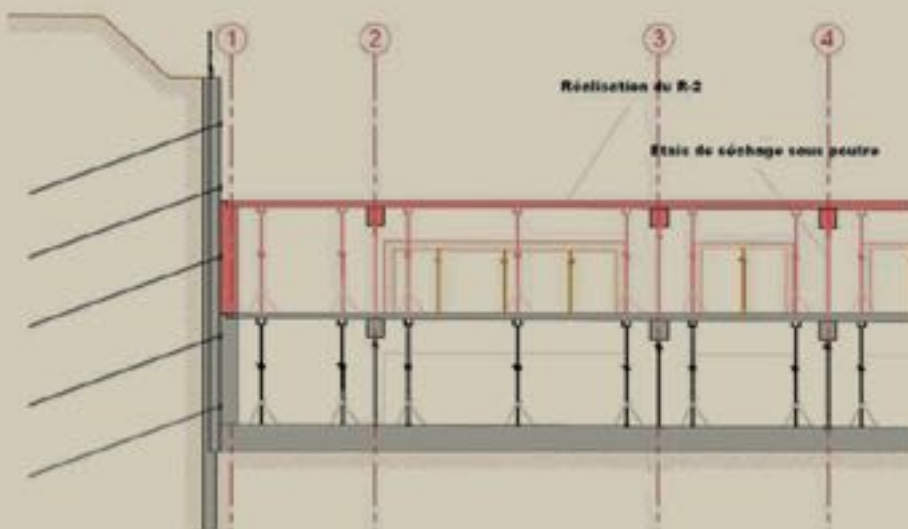
**4- Planning de l'opération.**  
**5- Construction des planchers.**

**4- Project scheduling.**  
**5- Construction of the floors.**

sac ou à plus de 40 m si le choix est possible entre deux issues. Il n'y a cependant pas de cul de sac dans notre conception spatiale. Le parking doit prévoir un minimum de 12 places PMR (2% selon la réglementation), concentrées à moins de 25 m de la porte d'accès à la circulation verticale principale. Le positionnement des gaines d'insufflation et d'extraction doit tenir compte des émergences générées en surface

et de leur insertion dans l'aménagement urbain du dessus. Il est également primordial de rechercher une visibilité fonctionnelle du parking avec un schéma de circulation cohérent et répétitif entre les niveaux pour éviter les manœuvres internes au parking. Le souci de la giration doit également être appréhendé en tous points pour caler les places d'extrémité. Par ailleurs, il a été privilégié la mise en place de sens uniques avec des places rangées en bataille de part et d'autre de chaque allée, pour favoriser le ratio surfacique occupé par les places de stationnement dans le parking.

## CONSTRUCTION DES PLANCHERS



© EIFFAGE CONSTRUCTION 5

**PLANNING DE L'OPÉRATION**  
La réalisation du parking doit être compatible avec le planning du BHNS (figure 4).

### PROBLÉMATIQUES / CHOIX TECHNIQUES SOUTÈNEMENTS

La conception du soutènement du parking est déterminante. Enterré sur trois niveaux, il s'agit dans un premier temps de réaliser la fouille de l'enceinte sur environ 10 m de profondeur. Une solution de type paroi parisienne, composée de pieux en béton armé et d'une voile en béton projeté les reliant, s'est avérée être la solution la plus appropriée au regard des caractéristiques des sols en place et des phases d'excavation entreprises.



6

© EIFFAGE INFRASTRUCTURES : CLÉMENT CALISTI

L'implantation du parking au milieu du noyau végétal du grand giratoire actuel n'incitait pas à proposer des solutions d'excavation en taube puisque cette emprise exclusivement paysagère n'avait pas vocation à être utilisée pendant les travaux. À donc été choisi le mode opératoire classique de réalisation à ciel ouvert avec construction des planchers en remontant.

Le génie civil du parking a été scindé en deux lots :

- **Lot 1** : soutènements et terrassements ;
- **Lot 2** : génie civil interne du parking.

Si la cinématique de terrassement n'a jamais été remise en cause, il subsistait un point sur lequel il a été difficile de trancher : les parois de soutènement devaient-elles constituer les parois définitives du parking ?

Cette question était légitime dans le sens où mutualiser les parois de soutènements et les parois définitives du parking pouvaient conduire à l'économie d'un voile béton complémentaire sur le pourtour du parking.

A contrario, pour assurer ce rôle, les pieux de soutènement auraient dû être capables de reprendre la charge verticale du parking et la surcharge de terre végétale définitive sur la dalle de couverture.

Les pieux auraient donc été allongés pour atteindre la portance nécessaire par frottement latéral.

Notre conception n'a pas adopté le principe de la mutualisation et les choix techniques retenus ont été les suivants :

- La berlinoise (réalisée par le lot 1) sert à la reprise seule des phases d'excavation. Le voile en béton projeté (réalisé par le lot 1) a un rôle de soutènement uniquement et ne dépasse que de 15 cm devant les pieux.

- Le contre-voile réalisé par le lot 2 en remontant joue ce rôle de reprise des efforts verticaux. Il est fondé sur le radier, réalisé également par le lot 2.

Ainsi, avec ce choix :

- Les pieux de la berlinoise n'ont pas pour vocation de reprendre les charges définitives du parking ;

- Le parement en béton projeté n'a qu'un rôle provisoire car :

- Nous avons pu constater que l'eau était très présente dans ce secteur et nous avons souhaité étancher davantage le parking par un contre-voile porteur ;

- La liaison entre une dalle de couverture très épaisse et un parement de 30 cm en béton projeté n'était pas du tout recommandée, avec les retournements de moments engendrés ;

- L'ancrage des poutres et planchers dans ce parement en béton projeté risquait d'être mal assuré (peu de largeur disponible puisque les pieux n'interviennent pas) ;

- Ces contres-voiles participent activement au contreventement du parking vis-à-vis du séisme ;

- L'aspect esthétique n'est pas idéal en béton projeté ;

- Le découpage du marché en deux lots séparés (Lot 1 : fondations spéciales et Lot 2 : gros œuvre) complexifie la gestion des responsabilités sur les ouvrages exécutés.

Cela dit, la consultation était ouverte à une variante présentant cette mutualisation mais la combinaison des résultats d'appels d'offres des deux lots plaiderait pour la solution de base (figure 1), aussi bien techniquement que financièrement parlant.

### PLANCHERS

Initialement conçu comme des planchers "poutres-dalles", les planchers intermédiaires ont finalement été réa-

### 6- Passerelle en cours de ripage.

### 6- Foot bridge during skidding.

lisés suivant le principe "prédalles + dalle de compression".

La pose des prédalles a nécessité la mise en place d'une ou plusieurs files d'étaisements à espacements constants et parallèles aux appuis, dimensionnés et mis en place sur un support suffisamment résistant pour supporter la charge drainée (figure 5).

Les planchers intermédiaires ont été réalisés en planchers alvéolaires, permettant de gagner du délai et de la profondeur de parking. La hauteur sous dalle est passée de 3,30 m à 2,95 m.

### NIVELLEMENT

Le nivellement du parking a été une véritable problématique de conception. En effet, si son implantation en plan est relativement aisée, son calage altimétrique en z est complexe, car il doit faire correspondre plusieurs données concomitantes et intangibles :

- Toiture enterrée de plus de 80 cm en tous points dans les zones d'espaces verts ;

- Dans le cas de travaux neufs, la pente du support du système d'étanchéité est conforme au DTU 20.12 (pente comprise entre 2 et 5 %) où il est rappelé que, par suite des tolérances de planéité des supports et des conditions d'exécution des revêtements, les toitures-terrasses à pentes inférieures à 2 % peuvent présenter, en service, des contre-pentes, flaches et retenues d'eau ;

- La pente des rampes (mesurée dans l'axe) d'accès au parking comprise entre 5 et 18 % (NF P 91-120) ;

- Le pompage proportionnel à la profondeur du parking. Une incidence planning en dépend vis-à-vis de la Loi sur l'Eau ;

- Le raccordement du nouveau giratoire aux voies existantes (route de Galice, route de Berre, avenue Pablo Picasso), prenant en compte les normes de conception des chaussées (structures, pentes transversales et longitudinales) et la contrainte de ne pas aggraver les écoulements existants.

### DÉPLACEMENT DE LA PASSERELLE

La restructuration du secteur dans l'optique d'accueillir le BHNS Ligne B ("l'Aixpress") nécessite de rehausser le gabarit disponible sous la passerelle piétonne enjambant la route de Berre, au nord du parking.

L'ouvrage est une passerelle piétonne métallique à treillis comportant un hourdis béton, constitué de dalles préfabriquées. Elle repose actuellement sur deux appuis intermédiaires de type béquille métallique. La portée totale de 47,00 m pour une largeur de 3,00 m entre garde-corps et un poids total de 64 t.

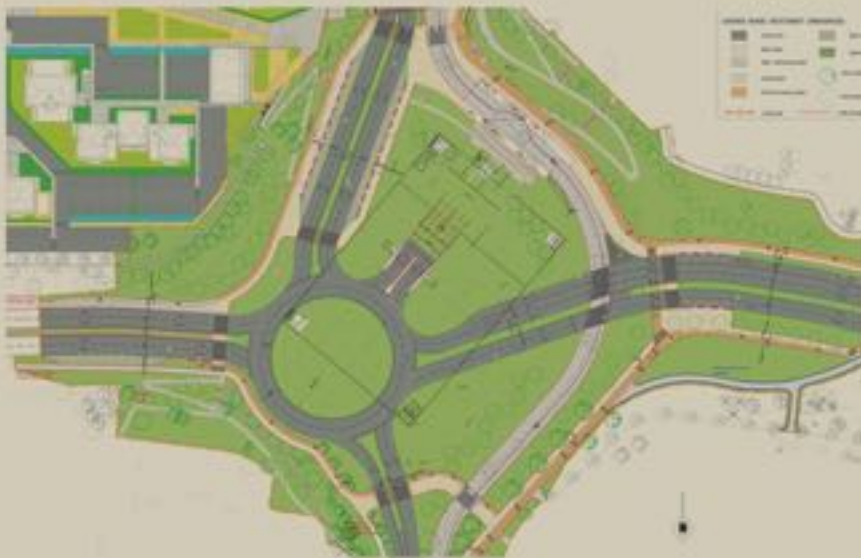
En outre, l'élargissement des voies de circulation généré par l'adjonction d'une voie en site propre, ne permet pas de conserver la passerelle à son emplacement initial, celle-ci se trouvant alors rigoureusement au droit d'une section où la route de Berre et la Voie Bus se séparent en plan.

Pour maintenir la continuité piétonne entre les quartiers situés en contre-haut du giratoire du Colonel Jeanpierre, il a été décidé de déplacer cette passerelle de 7,00 m vers le nord pour sortir de ce divergent.

La technique retenue a été celle d'un ripage. Les opérations de grutage d'un ouvrage de ce poids auraient généré



# VUE GÉNÉRALE DE L'AMÉNAGEMENT SURFACIQUE



- 7- Vue générale de l'aménagement surfacique.
- 8- Carrefour pendant les dévoiements de réseaux au sud.
- 9- Carrefour pendant les dévoiements de réseaux au nord.

7- General view of surface development.

8- Intersection during network rerouting in the South.

9- Intersection during network rerouting in the North.

## CARREFOUR PENDANT LES DÉVOIEMENTS DE RÉSEAUX AU SUD



un élingage très complexe dans une zone très urbaine et des risques liés à la stabilité de la structure avec les mouvements de balan. Le ripage a été exécuté avec succès dans la nuit du 20 mai 2019 (figure 6). Celui-ci s'étant fait sur les points d'appuis actuels de la passerelle, il n'a pas été besoin de contreventer celle-ci. En effet, la partie arrière en console est conçue pour équilibrer le portique et limiter les efforts horizontaux en pied des béquilles. Le comportement de la structure lors de son déplacement n'a donc pas été modifié.

## CARREFOUR PENDANT LES DÉVOIEMENTS DE RÉSEAUX AU NORD



- CONTINUITÉ PIÉTONNE ET AMÉNAGEMENTS DE SURFACE**
- En accompagnement du P+R, il est prévu de traiter dans l'emprise du projet (figure 7) :
- Des voiries de circulation automobile et poids lourds pour le nouveau giratoire ;
  - Des circulations modes doux (piétons et vélos) ;
  - Des arrêts bus route de Berre et route de Galice Est ;
  - Des espaces verts aménagés, prenant en compte une réflexion sur l'usage urbain de ces espaces (création de gradins engazonnés autour de la station du BHNS) ;
  - L'assainissement des chaussées créées et réseaux divers permettant le raccordement du parking (électricité, téléphone, eau potable, ...) ;
  - La défense incendie du parking, l'éclairage public.

## CARREFOUR PENDANT LA FOUILLE DU PARKING

**10- Carrefour pendant la fouille du parking.**

**11- Carrefour pendant le génie civil du parking.**

**12- Carrefour avec raccords sur nouveau giratoire.**

**10- Intersection during excavation of the parking lot.**

**11- Intersection during civil engineering for the parking lot.**

**12- Intersection with connections to new round-about.**

Les connexions routières et modes doux prennent en compte les projets urbains connexes (BHNS Ligne B, programme "Famille et Provence", ...). Les cheminements piétons sont accessibles aux PMR avec un sol prévu en béton.

Ce revêtement présente un contraste visuel et tactile par rapport à son environnement, notamment avec l'enrobé ocre de la piste cyclable. Aux raccordements avec la route de Galice Ouest, les revêtements de trottoir sont en enrobé noir.

### EXÉCUTION DES TRAVAUX ENJEUX DE LA GESTION DE CHANTIER

Le principal enjeu repose sur la bonne coordination des travaux avec ceux du BHNS.

Le parking se trouve en effet sur le chemin critique de l'opération, et doit impérativement libérer la zone de circulation du giratoire existant en basculant sur le nouveau giratoire, afin de permettre la réalisation pour le milieu du mois de juin des essais nécessaires à la mise en service du BHNS.

La zone de travaux du rond-point du Colonel Jeanpierre constitue également un endroit névralgique de la circulation du quartier du Jas de Bouffan et des quartier Nord-Ouest de la ville d'Aix en Provence, il représente en effet le principal accès de ces quartiers vers le centre-ville, mais aussi vers les échangeurs des autoroutes A8 et A51. Il a donc été nécessaire d'équilibrer en permanence les besoins d'emprises pour les travaux avec le maintien d'un débit suffisant du trafic routier.

Enfin, l'allotissement a nécessité une grande rigueur de la gestion contrac-



10

© INGEROP

## CARREFOUR PENDANT LE GÉNIE CIVIL DU PARKING



11

© INGEROP

## CARREFOUR AVEC RACCORDS SUR NOUVEAU GIRATOIRE



12

© INGEROP



© INGEROP

13

tuelle de chaque marché, afin d'éviter des reports d'écart des primo-intervenants vers les intervenants suivants.

### PHASAGE

#### → Déviations de réseaux côté Sud

(figure 8) : Les travaux ont débuté avec la déviation des réseaux Orange en partie sud du projet. Ces réseaux se trouvant dans la future fouille du parking. Il a donc été donc nécessaire, de passer le giratoire à double sens.

#### → Déviation des réseaux côté Nord

(figure 9) : Les travaux ont continué avec la déviation des réseaux humides en partie nord du projet. Ces réseaux se trouvant également dans l'emprise de la future fouille du parking. Le giratoire est resté à double sens.

#### → Fouille du parking (figure 10) :

Une fois les réseaux déviés, les travaux de fouille du parking ont pu commencer dans l'emprise de l'anneau central existant. La circulation a été rétablie sur le giratoire existant.

13- État final.

13- Final state.

### CHIFFRES CLÉS

- Capacité du parking : 600 places sur 3 niveaux
- 6 quais de gare interurbains
- Opération de 18 M€ HT
- 7 lots
- Excavation de l'enceinte : 70 000 m<sup>3</sup>
- Béton : 16 000 m<sup>3</sup>
- Aciers : 24 000 t
- 14 000 m<sup>2</sup> d'espaces verts et 170 arbres
- 10 000 heures d'insertion sociale

→ **Génie civil du parking et préparation à la réalisation du nouveau giratoire** (figure 11) : Le génie civil du parking a été construit en remontant depuis le fond de

fouille. Les 2/3 côté Sud-Ouest ont dû être réalisés en premier jusqu'à la dalle de couverture. En effet, il s'agissait de libérer rapidement cette emprise pour mettre en œuvre le nouveau giratoire et libérer l'emprise de l'ancien giratoire pour permettre la réalisation des essais du BHNS.

→ **Création du nouveau giratoire et raccordement** (figure 12) : Le nouveau giratoire doit être réalisé ainsi que les raccordements aux voiries. Pendant ce temps, les travaux intérieurs du parking peuvent se finaliser. Ces travaux sont en cours.

→ **Finalisation de l'aménagement** (figure 13) : Une fois le parking construit, les voiries sont finalisées et l'aménagement paysager mis en œuvre. □

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### MAÎTRISE D'OUVRAGE :

Société Publique Locale d'Aménagement au service du Pays d'Aix

#### MAÎTRISE D'ŒUVRE :

Ingérop Conseil & Ingénierie (mandataire) / Tangram

OPC : R2M

GÉOTECHNIQUE : Erg

#### ENTREPRISES :

- LOT 1 "Terrassements / parois spéciales / déviations de réseaux" : Guintoli SAS / Allamanno / Dacquain
- LOT 2 "Gros œuvre, plomberie et second œuvre du parking" : Eiffage Construction Provence / Eiffage Génie Civil
- LOT 3 "Ventilation, électricité, automatismes" : Santerne / Atlantique Automatismes Incendie
- LOT 4 "Ascenseurs" : Thyssenkrupp
- LOT 5 "Paysager" : Calviere
- LOT 6 "VRD" : Eiffage Route Méditerranée / Eiffage GC
- LOT 7 "Déplacement de la passerelle Route de Berre" : Eiffage GC

### ABSTRACT

#### COLONEL JEANPIERRE PARKING LOT IN AIX-EN-PROVENCE: THE PARKING LOT TAKES SHAPE

LUDOVIC GAUTIER, INGEROP - SÉBASTIEN RESPAUD, INGEROP - SAÏD DEBOUSSE, INGEROP - PHILIPPE DALLEMAGNE, INGEROP - STÉPHANIE HUGUES, INGEROP

The Colonel Jeanpierre parking lot project is closely linked to the Aix-en-Provence BHNS Bus Line B project. It therefore includes construction of the 600-space park-and-ride facility, road and landscape renovation of the current roundabout area, and adjacent preparatory works facilitating the integration of reserved right-of-way transport (shifting the foot bridge, calming the traffic, separating pedestrian and motorist flows, etc.). This project makes use of all specialist infrastructure activities (geotechnics, civil engineering, roads and main services, appurtenances, hydraulics, transport, architecture, landscaping) and required substantial spatio-temporal organisation to coordinate the various interdependent technical work packages and finally put into operation the BHNS Bus service. □

#### EL PARKING DEL COLONEL JEANPIERRE EN AIX-EN-PROVENCE: UN PARKING QUE TOMA ASIENTO

LUDOVIC GAUTIER, INGEROP - SÉBASTIEN RESPAUD, INGEROP - SAÏD DEBOUSSE, INGEROP - PHILIPPE DALLEMAGNE, INGEROP - STÉPHANIE HUGUES, INGEROP

El proyecto del parking del Colonel Jeanpierre está estrechamente vinculado al proyecto de la Línea B del sistema de autobuses de tránsito rápido de Aix-en-Provence. Por tanto, incorpora la realización del parking periférico de 600 plazas, la reordenación vial y paisajística de la zona de la actual rotonda y las obras de preparación contiguas para facilitar la inserción del transporte en un lugar adecuado (separación de la pasarela, reducción del tráfico, división de los flujos de peatones y vehículos motorizados, etc.). Esta operación ha recurrido a todos los campos de especialidad de las infraestructuras (geotécnica, ingeniería civil, estructuras viales y redes diversas, equipamientos, hidráulica, transporte, arquitectura, diseño paisajístico) y ha exigido una gran organización espacio-temporal para coordinar los distintos lotes técnicos interdependientes, con el objetivo final de poner en servicio el sistema de autobuses de tránsito rápido. □



1

© DEMATHIEU BARD

# UNE NOUVELLE VIE POUR LE PONT DU RAY PIC

AUTEURS : PHILIPPE SABY, CHEF DU SERVICE RÉHABILITATION DU PATRIMOINE DU DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE - ROMAIN GIUNTI, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION AGENCE TRAVAUX SPÉCIAUX MÉDITERRANÉE - PATRICK BLONDELLE, DIRECTEUR D'AGENCE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION AGENCE TRAVAUX SPÉCIAUX MÉDITERRANÉE - FRANÇOIS MARQUET, INGÉNIEUR MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION INFRASTRUCTURE ET GÉNIE CIVIL

**LE DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE POSSÈDE UN RÉSEAU ROUTIER DE 3 800 km SUR LEQUEL SONT RÉPARTIS 2 224 OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL GÉRÉS PAR LE SERVICE RÉHABILITATION ET PATRIMOINE. DANS LE CADRE DU MAINTIEN DE CE PATRIMOINE D'OUVRAGES D'ARTS, LES ÉQUIPES DEMATHIEU BARD INFRA GÉNIE CIVIL TRAVAUX SPÉCIAUX MÉDITERRANÉE MANDATÉES PAR LE DÉPARTEMENT, ONT INVESTI LE PONT DU RAY PIC. LEUR MISSION : RÉNOVER UN OUVRAGE QUI FAIT L'OBJET D'ATTENTIONS PARTICULIÈRES ET QUI EST SITUÉ DANS UN ENVIRONNEMENT DIFFICILE.**

## OBJECTIF

L'ouvrage est ancien et il est stratégique pour l'accès à certaines zones isolées de l'Ardèche. Les travaux doivent être réalisés hors des périodes touristiques et en tenant compte des conditions climatiques qui peuvent parfois être rudes en hiver. Les travaux de réhabilitation sont importants et le délai d'intervention restreint (figure 1).

## L'OUVRAGE

### DESCRIPTION

Le pont du Ray Pic est un ouvrage spécifique des années 30, construit en béton armé, de type arc inférieur, supportant un tablier par l'intermédiaire de 12 voiles verticaux articulés (pillettes). Sa portée est d'environ 35 m (ouverture de l'arc de 34,60 m) et le tirant d'air de plus de 25 m.

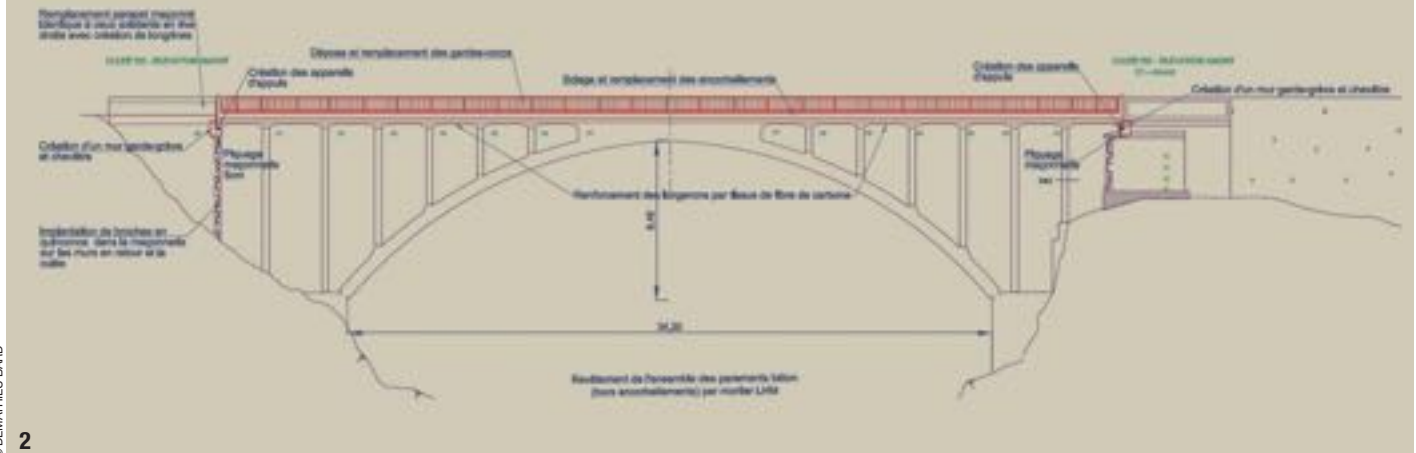
**1 - Pont du Ray Pic avant les travaux.**

**1 - Ray Pic Bridge before the works.**

L'ouvrage ne présente pas de biais. Le hourdis a une largeur de 7,20 m et reçoit 2 voies de circulation sur 5,00 m et 2 trottoirs de 1,10 m.

L'épaisseur du tablier est de 80 cm et sa longueur est de 48,10 m. Les arcs inférieurs font partie du patrimoine industriel français. Ils sont particulièrement sensibles et nécessitent un entretien régulier.

## ÉLÉVATION DU PONT ET DES ZONES À RÉPARER



© DEMATHIEU BARD

2

En 1973, soit 40 ans environ après sa construction, le pont a fait l'objet de travaux (remplacement du système d'étanchéité, injection des fissures, protection du béton à base de résine et ragréage des zones fissurées).

Suite à une inspection détaillée réalisée en 1992, des travaux ont été réalisés en 1996 pour le remplacement du système d'étanchéité, la mise en place de joint à revêtement amélioré, la réfection des trottoirs et des corniches, le rejointoiement des culées et la remise en peinture des garde-corps.

Plus récemment, en 2013, dans le cadre du suivi de l'ouvrage, le département de l'Ardèche a engagé un diagnostic général de l'ouvrage. Celui-ci a mis en lumière des dégradations diverses des bétons et des maçonneries. À la suite de ce diagnostic, le département a engagé un projet

### 2- Élévation du pont et des zones à réparer. 3- Modèle de calcul.

### 2- Elevation view of the bridge and areas to be repaired. 3- Design model.

de réhabilitation, projet le plus complet entrepris sur l'ouvrage depuis sa construction en 1934 (figure 2).

### LES DÉSDORDRES

Les principaux défauts relevés sur l'ensemble de la structure étaient localisés sur les culées, les équipements et, d'une manière générale, sur les matériaux.

Sur les culées, les défauts observés étaient une dislocation de la maçonnerie avec des chutes de pierres au niveau des chaînes d'angle en rive droite et en rive gauche, une désorganisation des maçonneries et une altération des joints.

Sur les équipements, des défaut d'étanchéité à l'interface entre chaussée et trottoir étaient relevés, ainsi qu'une infiltration d'eau au pied des garde-corps. De plus, les garde-corps ne présentaient pas la hauteur réglementaire nécessaire.

Enfin, les désordres sur les matériaux concernaient notamment le mortier des précédentes réparations. Ce mortier présentait de nombreuses pathologies de type faïencage, fissuration et délaminage. Certains aciers étaient apparents au niveau des éclats de béton. Enfin, il a été relevé que le

béton d'origine était de qualité aléatoire avec des résistances variant de 9 MPa à 30 MPa. Ces principaux désordres relevés ont pour origine des venues d'eau depuis la chaussée et un mauvais fonctionnement du système d'assainissement de l'ouvrage, des mouvements horizontaux du tablier désorganisant les maçonneries, et une formulation inadéquate du mortier de réparation mis en œuvre en 1973.

### LES TRAVAUX LES ÉTUDES

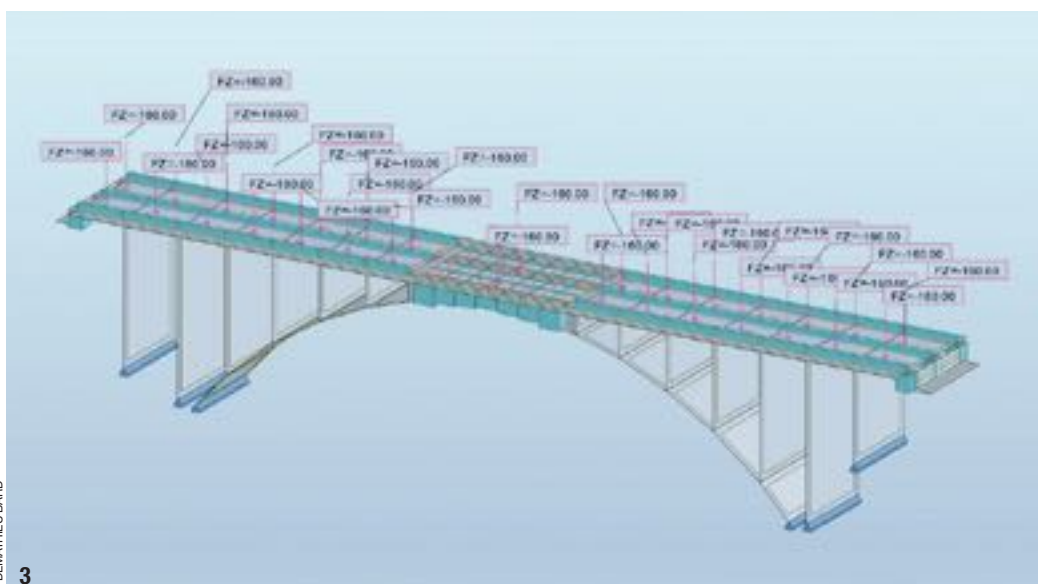
Il s'agit de définir précisément les besoins en renforcement de l'ouvrage. Étant très ancien, les hypothèses de calcul se basent principalement sur des relevés et des repérages faits sur site.

Le bureau d'études doit s'adapter à des règles de calcul anciennes, afin de justifier de la tenue des ouvrages et du type de renforcement à mettre en œuvre.

Demathieu Bard, par son expérience, assiste le bureau d'études dans les choix techniques à apporter afin d'assurer la qualité et l'intégrité architecturale de l'ouvrage. La structure du pont a été modélisée à l'aide du logiciel Robot. Cette modélisation a mis en évidence certaines carences structurelles notamment par manque de section d'acier (figure 3).

### LES ACCÈS

La localisation et les contraintes liées aux accès sont des aspects spécifiques à ce type de travaux. Les équipes de Demathieu Bard ont mis au point, avec leurs sous-traitants, des moyens d'accès répondant aux contraintes suivantes (figure 4) :



© DEMATHIEU BARD

3



4

© DEMATHIEU BARD

- La possibilité de circuler sur l'ensemble de l'ouvrage ;
- Le maintien de la sécurité des compagnons en toutes circonstances ;
- La protection de l'environnement ;
- Le montage sous circulation ;
- La possibilité d'accès en tout point de l'ouvrage y compris en sous-face de la voûte ;
- Le faible chargement de la structure existante ;
- La modularité suivant les phases de travaux (encorbellement).

#### LA RÉHABILITATION

L'intégralité de l'ouvrage est traitée dans le cadre de l'opération.

Pour les culées, l'objectif est de créer un sommier d'appui qui n'existe pas à l'état actuel. Cette opération nécessite de découper et de démolir toute la zone sur laquelle le tablier s'appuie.

L'about du tablier doit être maintenu provisoirement durant cette phase dite de vérinage.

Un système de profilés métalliques fixés au tablier et en appui au-delà de la culée a permis de s'assurer que le tablier ne se fissure pas. Une fois les appuis définitifs réalisés, ces profilés ont été vérinés pour reprendre les légers déplacements dus au tassement des appuis provisoires.



5

© DEMATHIEU BARD

**4- Échafaudage d'accès.**

**5- Découverte pour réparation.**

**4- Access scaffolding.**

**5- Stripping of degraded structure for repair.**

Les maçonneries des culées sont également reprises ponctuellement et les angles sont cloués par des broches métalliques (figure 5).

La seconde phase concerne le tablier. Il s'agit de démolir les encorbellements servant de trottoir afin de les reconstruire. Un procédé permettant de découper par tronçon de 2 m les éléments en place a été créé. À 25 m au-dessus du vide et surplombant l'échafaudage, cette phase critique de l'opération a nécessité une vigilance particulière des équipes lors de la phase de découpage et d'élingage des blocs bétons (figure 6).

Une fois les éléments d'encorbellement enlevés, la phase de reconstruction peut démarrer. Les trois contraintes principales peuvent être résumées par une période de travaux très courte,

un coffrage devant s'adapter à un ouvrage ancien et des travaux présentant des risques spécifiques pour le personnel. Pour pallier ces contraintes, des méthodes rapides et adaptables ont été mises en œuvre. Ainsi, un coffrage en encorbellement a été mis au point. La suspension de ce coffrage au-dessus du vide se fait par un système de fixation à l'arrière rendant l'outil stable. Étant donné la circulation du personnel sur celui-ci, des systèmes de protection collective ont été intégrés dès la phase de conception. Le travail est ainsi rendu fiable, efficace et avec un haut niveau de sécurité (figures 7 et 8).

**6- Sciage des encorbellements.**

**7- Équipage mobile pour bétonnage des encorbellements.**

**6- Cantilever sawing.**

**7- Mobile rig for cantilever concreting.**



6  
© DEMATHIEU BARD

La dernière phase de réhabilitation du tablier consiste à le renforcer. Ce renforcement est réalisé par collage de lamelles de carbone qui permet de compenser un sous-dimensionnement des aciers par rapport aux réglementations actuellement en vigueur.

En effet, les études ont mis en évidence un déficit d'armatures dans les poutres longitudinales. Ce renforcement est calculé en équivalence de section d'acier à partir des sections résistantes et des caractéristiques des matériaux.

Une section équivalente de matériau composite est alors déterminée.

Pour ce projet, le choix a été fait de mettre en place des lamelles de carbone dont la limite élastique est d'environ 1 700 MPa (soit plus de trois fois la résistance d'un acier de construction moderne).

Les zones impactées par ce déficit sont localisées à partir de la modélisation des poutres et l'implantation des lamelles de carbone est faite selon les courbes des moments.

Pour les parties en travées avec moments positifs, les lamelles sont collées en sous-face.



7  
© DEMATHIEU BARD

Il a aussi été nécessaire de renforcer en surface les poutres dans leur zone tendue sur appui.

L'utilisation de lamelles de carbone en surface peut paraître peu judicieuse économiquement par rapport à une reprise classique en béton armé.

Néanmoins, ce choix a été fait par considération du très faible encombrement de la solution par collage de plat en fibre de carbone, pour sa rapidité d'exécution et pour son faible risque de corrosion dans le temps. Ainsi des lamelles de 10 mm de large et 2,8 mm d'épaisseur ont été collées dans des rainures spécifiquement réalisées en surface du tablier.

### PROTECTION ET REPRISE DES SUPERSTRUCTURES

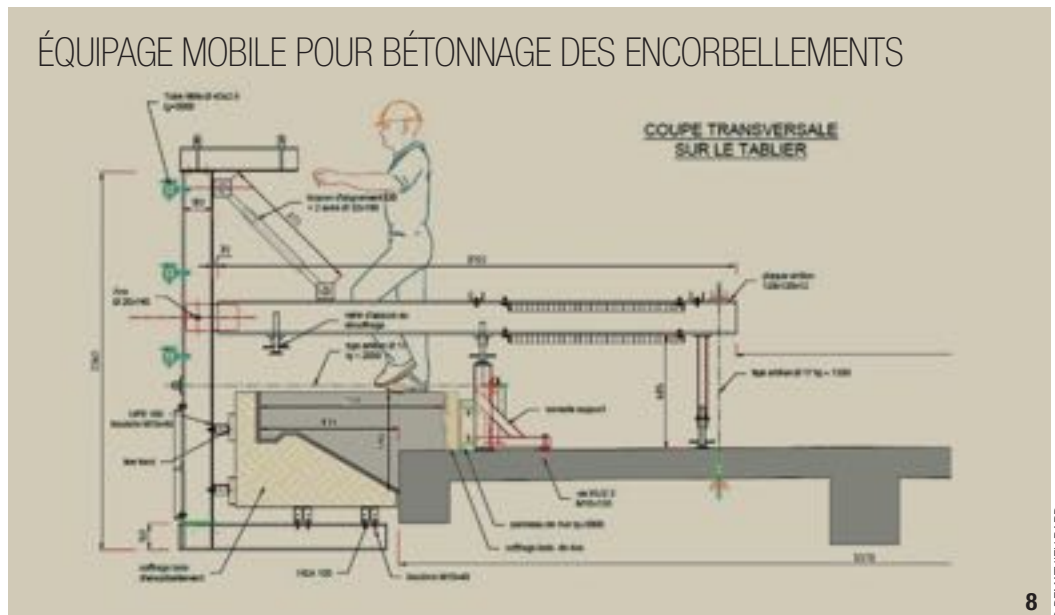
Cette dernière phase consiste à protéger l'ouvrage ainsi qu'à remettre aux normes les différents équipements de sécurité.

L'étanchéité du tablier est intégralement refaite par l'application de feuilles de bitume thermocolées.

Les évacuations d'eau sur l'ouvrage sont reprises afin d'éviter les écoulements non contrôlés qui s'avèrent destructeurs dans le temps. Les eaux sont canalisées et évacuées dans des réseaux spécifiques.

Sur cette étanchéité, une couche de roulement composée d'un Béton Bitumineux Semi Grenu (BSBG) 0/10 Formule Continue est appliquée. Cette formulation a le double avantage d'être étanche et très maniable, rendant l'application facile.

Depuis l'échafaudage, la totalité des surfaces en béton est protégée par l'application d'un mortier dit LHM (Liant Hydraulique Mince). Ce mortier, constitué de ciment et de résine, a la spécificité d'être applicable au rouleau.



8 © DEMATHIEU BARD

Il crée ainsi une couche protectrice sur les bétons évitant la pénétration de chlorures nocifs pour les aciers. La durée de vie des ouvrages est ainsi prolongée.

Enfin, les garde-corps sont remplacés par des éléments architecturaux aux normes actuelles (hauteur de 1,00 m

**8- Équipage mobile pour bétonnage des encorbellements.**

**8- Mobile rig for cantilever concreting.**

au lieu de 0,80 m) et les parapets d'accès sont construits sur longrines. La rénovation complète de l'ouvrage telle que décrite ci-dessus aura duré 4 mois. □

### CHIFFRÉS CLÉS

- MISE EN SERVICE : 1934**
- PORTÉE DE L'OUVRAGE : 42 m**
- OUVERTURE DE LA VOÛTE : 35 m**
- TIRANT D'AIR : 25 m**
- LONGUEUR DE RENFORCEMENT EN CARBONE : 150 m**
- MONTANT DES TRAVAUX : 580 000 M€**
- DURÉE DE L'OPÉRATION : 4 mois**
- LIVRAISON DU CHANTIER : été 2018**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MOA :**  
Département de l'Ardèche
- MOE :**  
Département de l'Ardèche/Sites
- ENTREPRISES :**  
Demathieu Bard Construction
- PRINCIPAUX SOUS-TRAITANT :**
  - Structure échafaudage : Gsd
  - Sciage : Fora
  - Étanchéité : Btps

### ABSTRACT

#### NEW LIFE FOR RAY PIC BRIDGE

PHILIPPE SABY, RÉHABILITATION DU PATRIMOINE DU DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE - ROMAIN GIUNTI, DEMATHIEU BARD - PATRICK BLONDELLE, DEMATHIEU BARD - FRANÇOIS MARQUET, DEMATHIEU BARD

**The French road network has numerous old structures built at the start of the last century. Some of them must be renovated due to obsolescence or for functional reasons. In this context, the French departments have initiated major engineering structure renovation projects. The Ardèche department is especially concerned by this issue and has entrusted to Demathieu Bard the maintenance of these structures. This article describes the method used by the personnel of Demathieu Bard Infra Génie Civil Travaux Spéciaux Méditerranée, in Ardèche, in order to renovate a reinforced concrete structure built in 1934 and located in the heart of a mountainous region. □**

#### UNA NUEVA VIDA PARA EL PUENTE DE RAY PIC

PHILIPPE SABY, RÉHABILITATION DU PATRIMOINE DU DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE - ROMAIN GIUNTI, DEMATHIEU BARD - PATRICK BLONDELLE, DEMATHIEU BARD - FRANÇOIS MARQUET, DEMATHIEU BARD

**La red vial francesa posee numerosas construcciones antiguas, erigidas a principios del siglo pasado. Algunas de ellas precisan ser renovadas por su antigüedad o por motivos funcionales. En este contexto, los departamentos franceses han lanzado importantes proyectos de rehabilitación de obras de ingeniería. El departamento de Ardèche, especialmente afectado por esta problemática, ha encargado a Demathieu Bard los trabajos de conservación de estas construcciones. Este artículo presenta el método utilizado por los equipos de Demathieu Bard Infra Génie Civil Travaux Spéciaux Méditerranée en Ardèche para renovar una construcción de hormigón armado situada en plena zona montañosa y que data de 1934. □**



# TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE NOUVEAU PARC ZOOLOGIQUE DE VINCENNES

DESCRIPTION GÉNÉRALE PAR L. FAUCHEUR

LA CHARPENTE EN BÉTON ARMÉ DU GRAND ROCHER PAR H. DURNERIN

TRAVAUX N°18 - JUIN 1934

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



Le parc zoologique de Vincennes a été inauguré le 2 juin 1934 par le président de la République Albert Lebrun, sur un terrain de 14,5 hectares dans l'ouest du bois de Vincennes. Il a été fermé en 2008 pour cause de vétusté. Après une profonde rénovation portant sur la muséologie, les structures et la mise aux normes modernes de confort des animaux et de sécurité du public, il a été à nouveau ouvert au public en avril 2014 sous le nom de parc zoologique de Paris. C'est le "grand rocher", haut de 67 m, qui en est la pièce maîtresse

et spectaculaire. Il constitue, avant la lettre, un IGH (Immeuble de Grande Hauteur).

Le "grand rocher" ainsi que les autres "rochers" du parc, sont des structures complexes qui reproduisent un milieu naturel adapté aux animaux présentés. On imagine aisément que le rocher destiné aux bouquetins et celui destiné aux hippopotames ne sont pas de forme identique. Les rochers contiennent des loges pour les animaux, des locaux techniques, des châteaux d'eau, des chaufferies, des circulations, etc. Toutes ces installations sont ainsi invisibles du public.

Dès l'origine, un forage de 200 m assure l'alimentation en eau.

La charpente est en béton armé, avec de grandes portées et des porte-à-faux.

La résistance au vent et les dilatactions thermiques sont soigneusement prises en compte.

La forme extérieure imitant un rocher naturel ne se prête pas au coffrage. C'est un gobetage sur treillis métallique à maille fine qui est choisi, recouvert d'enduits successifs.

Le béton projeté n'est pas encore entré dans les mœurs.

On est bien en présence de constructions de haute technicité.

## ABSTRACT

### TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE NEW PARIS ZOOLOGICAL GARDEN

TRAVAUX N°18 - JUNE 1934

L. FAUCHEUR - H. DURNERIN

The Vincennes zoological garden was inaugurated on 2 June 1934 by the President of the Republic Albert Lebrun, on 14.5 hectares of land in the western part of Bois de Vincennes woods. It was closed in 2008 due to obsolescence. After a thorough renovation covering museology and the structures, and retrofitting to comply with modern new standards of comfort for the animals and safety for the public, it was re-opened to the public in April 2014 as the Paris zoological garden. It is the "big rock", 67 metres high, which is the zoo's spectacular highlight. It is a precursor of the high-rise building. The "big rock" and the other "rocks" in the garden are complex structures which replicate a natural environment suitable for the animals presented. Understandably, the rock intended for the Alpine ibex and that for the hippopotamus are not the same shape. The rocks contain lodges for the animals, equipment rooms, water towers, boiler rooms, passageways, etc. All these facilities are thus invisible to the public. From the outset, water has been supplied by a 200-metre borehole. The structure is in reinforced concrete, with large spans and cantilevers. Wind resistance and thermal expansion are carefully allowed for. The exterior shape imitating a natural rock is not suitable for shuttering. Roughcasting on fine metallic wire mesh was chosen, coated with several renderings. Shotcrete had not yet become a standard practice. These are high-tech construction works. □

### TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: EL NUEVO PARQUE ZOOLOGICO DE VINCENNES

TRAVAUX N°18 - JUNIO DE 1934

L. FAUCHEUR - H. DURNERIN

El parque zoológico de Vincennes fue inaugurado el 2 de junio de 1934 por el presidente de la República Albert Lebrun, en un terreno de 14,5 hectáreas al oeste del Bosque de Vincennes. Se cerró en 2008 a causa del deterioro por el paso del tiempo. Tras una profunda renovación de la museología, las estructuras y la adecuación a las normas actuales de confort de los animales y seguridad del público, volvió a abrir sus puertas en abril de 2014 con el nombre de Parc Zoologique de Paris. El "grand rocher" (la gran roca), de 67 m de altura, es su espectacular pieza maestra. Fue el precursor de lo que hoy denominamos un "inmueble de gran altura". El "grand rocher", y los demás "rochers" (rocas) del zoológico, son estructuras complejas que reproducen un medio natural adaptado a los animales presentes. Es fácil imaginar que la roca dedicada a las cabras montesas y la de los hipopótamos no tienen la misma forma. Las rocas contienen cavidades para los animales, locales técnicos, depósitos de agua, salas de calderas, conductos, etc., instalaciones invisibles para el público. Desde su origen, un pozo de 200 m garantiza la alimentación de agua. La estructura es de hormigón armado, con grandes luces y voladizos. La resistencia al viento y las dilataciones térmicas se tuvieron meticolosamente en cuenta. La forma exterior, que imita una roca natural, no se presta al encofrado. Se trata de un enrejado metálico de malla fina recubierto de capas sucesivas. El hormigón proyectado todavía no era de uso común. Nos encontramos ante unas construcciones de alta technicidad. □



Fig. 1. — Parc zoologique de Vincennes. Vue partielle du chantier.  
Au premier plan, l'extrémité nord du rocher des ours sur laquelle on distingue la profonde cuvette destinée à contenir la terre qui permettra à la végétation de prendre possession du rocher. Au second plan, les rochers des bovidés et des tapirs ; puis, au fond, la fauveris et le grand rocher en cours de construction.

## Le nouveau parc zoologique de Vincennes

*Le nouveau Parc Zoologique de Vincennes, édifié par le Muséum National d'Histoire naturelle, n'est pas le plus vaste des parcs européens ; il n'en constitue pas moins la plus moderne et la plus remarquable réalisation du genre, tant au point de vue artistique qu'au point de vue technique.*

*Ces deux aspects, si habilement combinés, nous les mettrons en évidence dans cet article, cela grâce à la documentation que nous devons à l'amabilité de M. le professeur Urbain, directeur du nouveau Zoo, de l'architecte M. Charles Letrosne, de M. Daniel Letrosne, et des Entreprises de constructions citées ci-après.*

*En outre, M. H. Durnerin, ingénieur chargé par M. Ch. Letrosne de contrôler le projet et l'exécution de l'édifice dominant : le grand rocher de 67 mètres de hauteur, exposera dans notre Revue les principales questions techniques soulevées par certains des travaux en béton armé du nouveau Parc Zoologique. On trouvera à la suite du présent article, l'étude de notre collaborateur sur la charpente du grand rocher ; puis, dans nos prochains numéros, sa discussion de la théorie et des conditions d'établissement des réservoirs et des escaliers hélicoïdaux.*

### I. — Description générale

Par M. L. FAUCHEUR.

#### Conception.

C'est d'un voyage d'études dans les principaux « Zoo » d'Europe, d'une étroite collaboration entre l'Architecte et les Directeurs et Professeurs du Muséum National d'Histoire naturelle que sont nés le parti et les différentes dispositions adoptées pour ce nouveau Parc zoologique qui complète si utilement les nombreux établissements scientifiques, instructifs et spectaculaires de Paris.

Son aspect artistique, ce Zoo le doit à l'heureuse répartition parmi les boqueteaux et les arbres isolés, de parcs limités par des fossés aux contours sinueux, de pièces d'eau, de rochers et de pics harmonieusement diversifiés dans leurs coloris, leurs masses et leurs contours ; il le devra aussi à la possibilité judicieusement ménagée à la nature de prendre progressivement possession du rocher factice (fig. 1) pour compléter ainsi de façon parfaite l'illusion d'un chaos rocheux jailli des profondeurs du sol, parmi

lequel les animaux évoluent dans une liberté qui semble totale, bien que très relative.

En ce qui concerne le problème technique, il a fallu tout d'abord prévoir sous ces façades rocheuses les installations répondant aux buts ci-après : circulation aisée du public, sécurité absolue du personnel, confort des bêtes ; ce qui, pour chaque groupe a été résolu, dans les grandes lignes, de la façon suivante :

L'intérieur des rochers est, en général, composé d'un grand vaisseau central éclairé et ventilé par le haut et bordé d'un côté par une galerie spacieuse réservée au public et longeant les cages ou écuries, où les animaux se tiennent, soit au gré de leur fantaisie soit obligatoirement à certaines heures ou certaines époques.

De l'autre côté des loges, un couloir de service, ingénieusement étudié dans ses dispositifs de sécurité, permet la manœuvre à distance des portes des loges, l'approvisionnement des man-

geoirs. Il renferme toutes les canalisations, eau, électricité, vidange, chauffage et donne accès au parc et aux services annexes : pièce réservée au gardien, loges d'isolement, etc., de telle sorte que tout le service puisse se faire hors la vue du public. Les mangeoires et les auges à cheval sur les loges des animaux et les couloirs de service sont fermées par des volets à bascule.

Pour ce qui est du confort des pensionnaires, les aménagements ont été établis, bien entendu, en fonction des habitudes de ceux-ci.

Ensuite, se sont posés les problèmes touchant à l'étude de la construction proprement dite, c'est-à-dire :

— Réalisation même de la paroi des rochers, de la charpente et des portiques destinés, soit à la maintenir normalement ou en porte-à-faux, soit à ménager des accès sous des portées dépassant 14 mètres. Les rochers sont constitués de charpentes en béton armé reliées par un treillis d'armatures recouvert d'une toile métallique à laquelle on a donné la forme que l'on désire pour recouvrir le tout extérieurement et intérieurement d'un enduit de ciment :

— Edification du grand rocher, avec ascenseur, escaliers, réservoirs, abris surélevés ;  
— Création d'un réseau de canalisations d'eau et d'électricité et d'un réseau de routes et d'égouts ; plantations, etc.

Nous allons indiquer succinctement la méthode qui fut adoptée par l'Architecte pour étudier simultanément les côtés artistique et technique ; puis, après avoir situé le nouveau parc, nous exposerons quels furent pour chacune des constructions les points particuliers à envisager et les solutions adoptées.

### Étude.

Pour étudier la disposition du rocher, des abris, parcs et allées publiques et leur tracé sur le terrain concédé, l'Architecte établit tout d'abord une maquette de cire à l'échelle de 0,0025. S'inspirant de cette première ébauche, des plans à l'échelle de

0,02, ainsi que des maquettes de même échelle, furent établis et étudiés pour la recherche des meilleures dispositions à adopter en vue de la répartition à l'intérieur des rochers, des aménagements énoncés ci-dessus : loges, écuries, galeries de circulation, services divers ; le tout présentant parfois un ensemble très complexe.

### Situation et plan.

Le terrain du nouveau Parc zoologique est d'une superficie de 14 hectares, soit un peu plus de quatre fois le zoo de l'Exposition coloniale ; il a la forme d'un triangle, dont le plus grand côté longe la route circulaire du lac Daumesnil et dont les trois sommets, côté Paris, Saint-Mandé, et Charenton, constituent les accès du public (fig. 2).

### Description.

La porte de Paris, porte principale, comprend, indépendamment de deux logements réservés au personnel de l'établissement, le poste de couplage où aboutit le câble électrique de la C. P. D. E. distribuant le courant de 12 000 volts, des kiosques à journaux, à cartes postales, etc., et de nombreux distributeurs automatiques de tickets permettant l'écoulement rapide de la foule.

Passé la porte, la nature reprend ses droits ; des arbres poussent où bon leur semble au milieu des allées et laissent apercevoir les premiers parcs et leurs rochers.

Le premier est le rocher des caméliens (lamas et autres variétés) qui n'a rien de particulier, si ce n'est qu'il ne possède pas d'installation de chauffage, mais renferme par contre un poste de transformation. Dans l'abri des kangourous, une douce température est, au contraire, assurée par le chauffage central ; les parcs, séparés des précédents par des fossés remplis d'eau, sont étroits, sinueux et allongés pour permettre leurs ébats à ces animaux coureurs et sauteurs. Destinées à certaines espèces qui craignent l'eau, les îles des singes, dotées du même confort que l'abrides

Fig. 2. — Plan d'ensemble et situation.

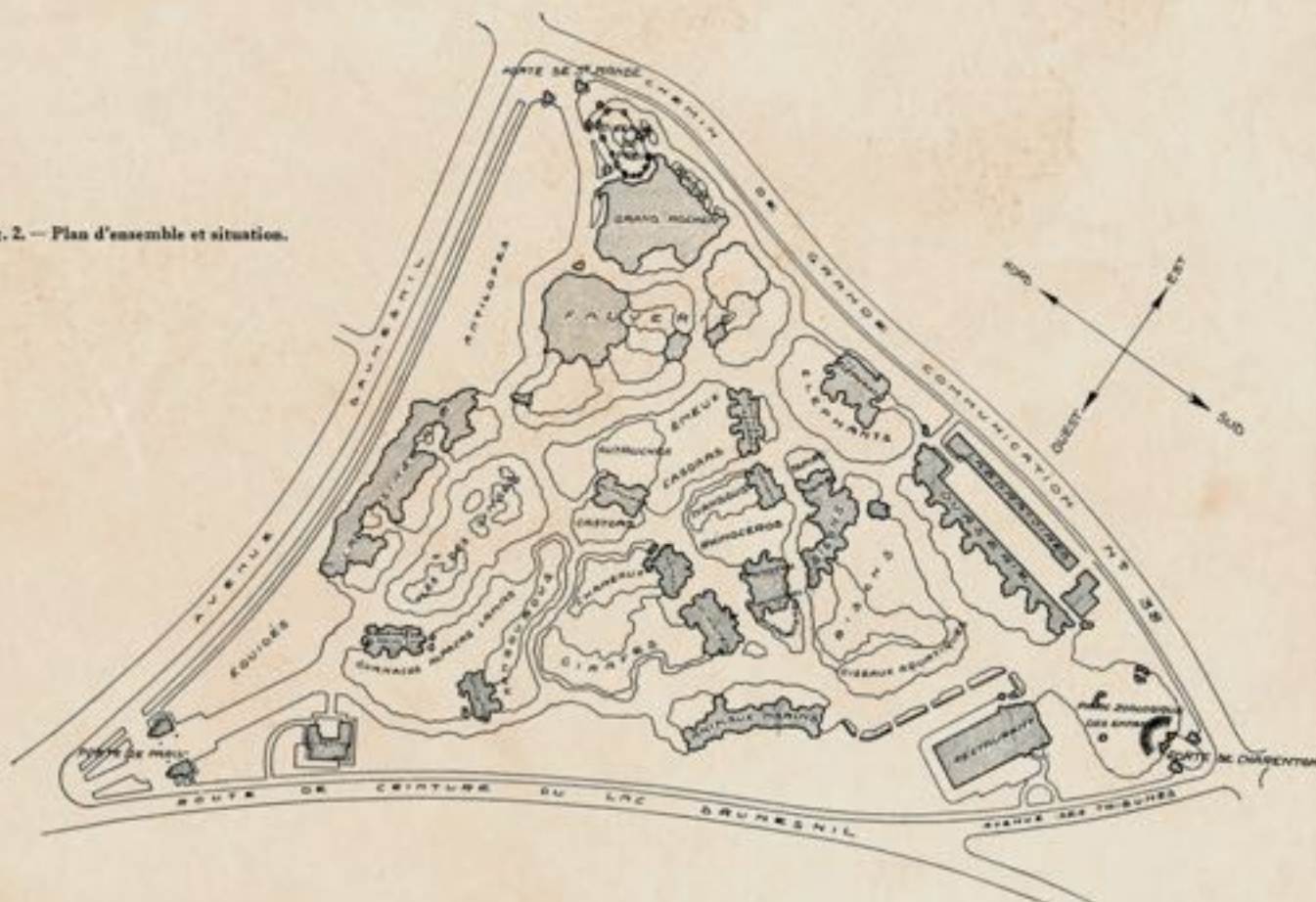




Fig. 3. — Ensemble du bâtiment en cours de construction. On remarquera d'une part la charpente extérieure destinée à maintenir les parois du rocher et, d'autre part, l'abri constitué par le couloir central et les loges des animaux.



Fig. 4. — Ce cliché montre parfaitement la construction de la charpente et des chevalets, de même que la pose du treillis d'armatures devant constituer le support de la paroi du rocher.

kangourous, sont isolées au milieu d'un bassin artificiel. Tout à côté, un autre bassin est réservé aux castors, animaux singuliers et méfiants, qui ne regagnent leurs abris que par des accès situés au-dessus du niveau de l'eau et remontant en siphon dans une zone de la berge.

L'abri des nandous est également confortablement chauffé en hiver ; il est voisin de l'abri des caoars qui ne possède pas de chauffage central. Pour rompre la monotonie qui naît de l'alignement d'un aussi grand nombre d'écuries, ces abris ont été groupés sous deux rochers qui réunissent un pont surplombant une route.

Le rocher à allure trapue, qui voisine avec celui-ci, abrite les hippopotames et les rhinocéros (fig. 3 et 4) ; il se compose d'un vaste hall intérieur avec galerie centrale publique, bordée à droite et à gauche par les loges des animaux (fig. 5). Chaque loge comporte un bassin alimenté par un débit constant d'eau chaude de température déterminée, assurée par une installation spéciale

doublant celle du chauffage central. Les couloirs de service sont barrés de place en place par des demi-portes blindées, n'ouvrant que dans un seul sens et ne permettant ainsi, dans une direction déterminée, accès qu'au gardien seulement, cela en cas d'attaque inopinée d'un animal.

Les deux rochers des chameaux et girafes (fig. 6 et 7) sont reliés par un ciel de carrière et se reflètent dans un bassin réservé à certaines espèces d'oiseaux aquatiques. L'abri des girafes comprend, indépendamment

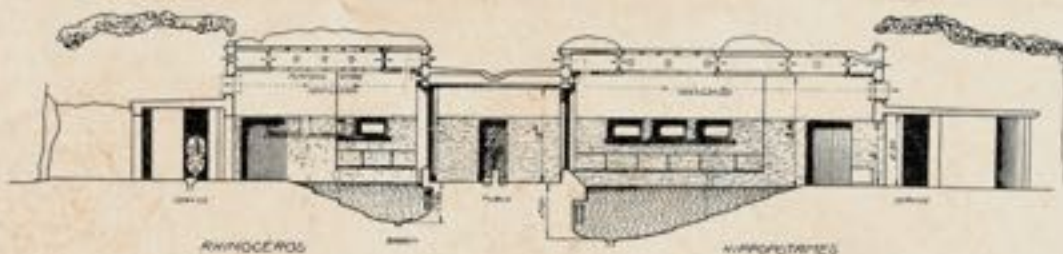


Fig. 5. — Abris des hippopotames et rhinocéros. Coupe de l'abri au niveau de deux des bassins.

d'une loge principale, une loge d'isolement et une loge de repos, qui toutes sont équipées de râteliers et d'abreuvoirs mobiles verticalement, ce qui facilite le remplissage et permet d'élever la nourriture à une hauteur correspondant à celle de l'animal.

Le rocher des animaux marins et son bassin (fig. 8) ne peuvent manquer de constituer l'une des attractions principales, puisque prévus de telle sorte que le public puisse voir les évolutions en plongée des phoques, morses et pingouins. A cet effet, l'ensemble



Fig. 6. — Vue partielle du bâtiment au 12 mars 1934.



Fig. 7. — Même vue le 12 juin 1934.



Fig 8. — Le bassin des animaux marins.  
Le bassin est compris entre la plage d'accès à l'abri en construction et le couloir souterrain destiné au public.

comporte, sur le côté extérieur du bassin et au-dessous du niveau de l'eau : une galerie souterraine de 110 mètres de longueur, munie

dioramique destinée aux conférences et manifestations officielles, pour nous étendre davantage sur les réalisations plus importantes que sont les abris des ours et des éléphants, le grand rocher, la fauverie et le bâtiment des services généraux.

Le rocher des ours évoque une falaise sombre et sauvage, destinée à mettre en valeur des races différentes de toutes contrées. L'intérieur contient de nombreuses loges (fig. 10). La force et la ruse des occupants de ces abris ont obligé à des précautions de toutes sortes, notamment communication directe des loges avec les parcs extérieurs, sols cimentés sur toute leur surface pour éviter des affouillements toujours à craindre.

Cette construction comporte sur toute sa surface, au-dessus des loges et du couloir de circulation commun au public et au service, un étage destiné, tout en entretenant une température suffisamment fraîche, à servir de réserve de litière et de fourrage à l'ensemble des besoins du Zoo.

Il est à signaler que les cavernes que comporte ce rocher ont conduit à la construction de porte-à-faux d'assez grandes portées. La voûte en est supportée par des consoles en treillis qui sont équilibrées par le poids du bâtiment (fig. 11).

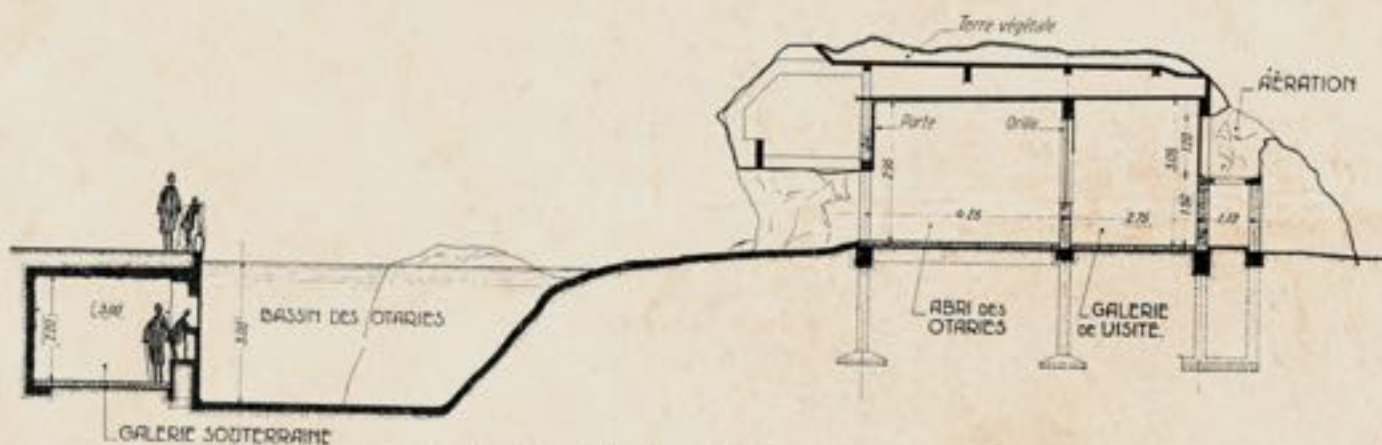


Fig. 9. — Coupe du bassin et de l'abri des animaux marins.

de verres-dalles dans le genre de vastes hublots rectangulaires (fig. 8). Le problème des pressions d'eau fut résolu grâce à un certain nombre d'expériences. Le seul couloir existant dans le bâtiment proprement dit est ici réservé au service (fig. 9).

Nous ne pouvons que citer le grand rocher des singes à l'aspect en gradins, le parc des bovidés, le rocher des tapirs, les parcs réservés aux antilopes, zèbres, etc., et enfin, la vaste salle

Ces parcs, dont les fossés sont bordés de piquants, c'est le quartier des éléphants ; ces animaux à l'aspect bonasse sont pourtant des plus redoutables. Aussi, rencontre-t-on, dès l'accès, des portes blindées



Fig 11. — Rocher des ours, détail de la charpente.

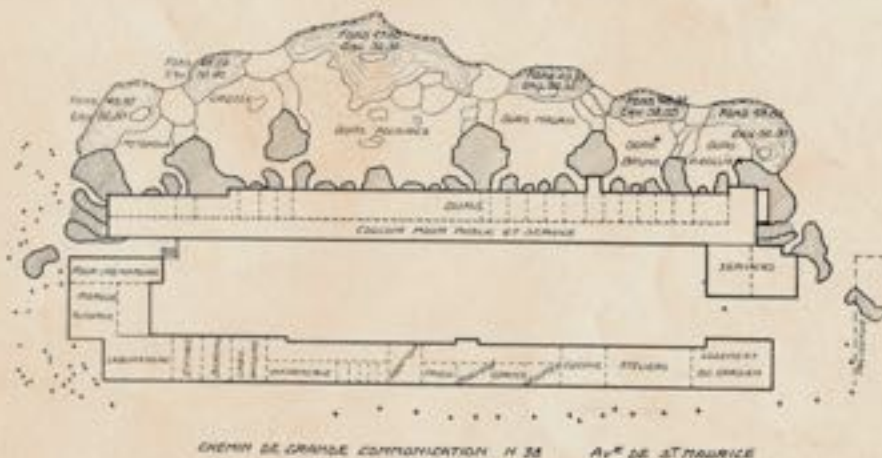


Fig 10. — Plan schématique du bâtiment des services généraux et du rocher des ours.



Fig. 12. — Rocher des bovidés et grand rocher.

rect, par faisceaux venant de l'extérieur et frappant le plafond. La ventilation est assurée par communication en chicane avec l'extérieur, et le chauffage par des batteries en cave dont les bouches donnent dans un fossé séparant les loges de la galerie du public.

L'accès des parcs est défendu par une solide poutre armée de pointes acérées, et la disposition des rochers dans les parcs comporte également des chicanes par où les cornacs peuvent échapper à leurs redoutables prisonniers. Pour le cas où un animal viendrait à tomber dans les fossés de séparation, ceux-ci se terminent en pente douce vers les parcs et sont fermés, soit par des portes, soit par des barrières garnies de piquants.

aux dimensions inusitées, glissant mécaniquement à l'intérieur de murs de forteresse. Dans la galerie de service, les portes, toujours de même épaisseur, et qui devraient être normalement à deux vantaux, n'ont qu'un vantail pour que le gardien en cas d'alerte puisse toujours fuir et éviter la poursuite.

Les murs des loges sont rigoureusement unis; les commandes, canalisations, appareillages, sont centralisés dans la galerie de service. Le remplissage des auges s'effectue par le principe des vases communicants à travers la muraille. L'éclairage est indi-

Fig. 14. — Coupe de la partie terminale du grand rocher.

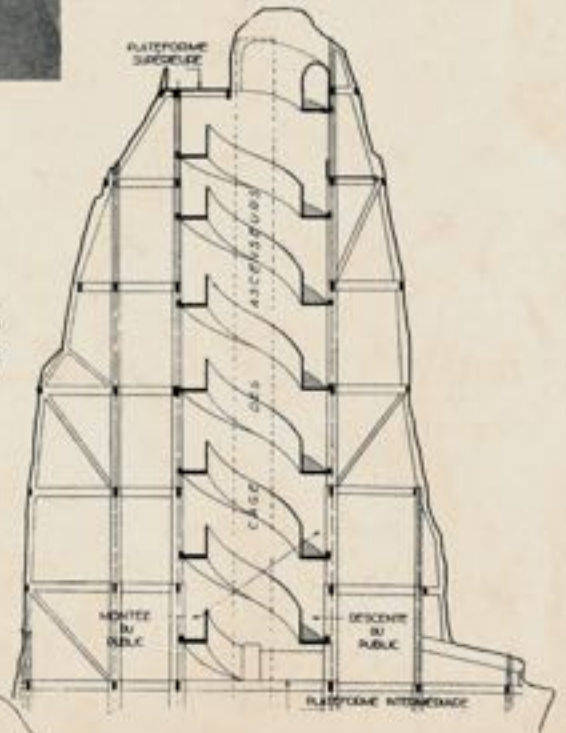


Fig. 13. — Coupe schématique du grand rocher suivant la ligne Est-Ouest.

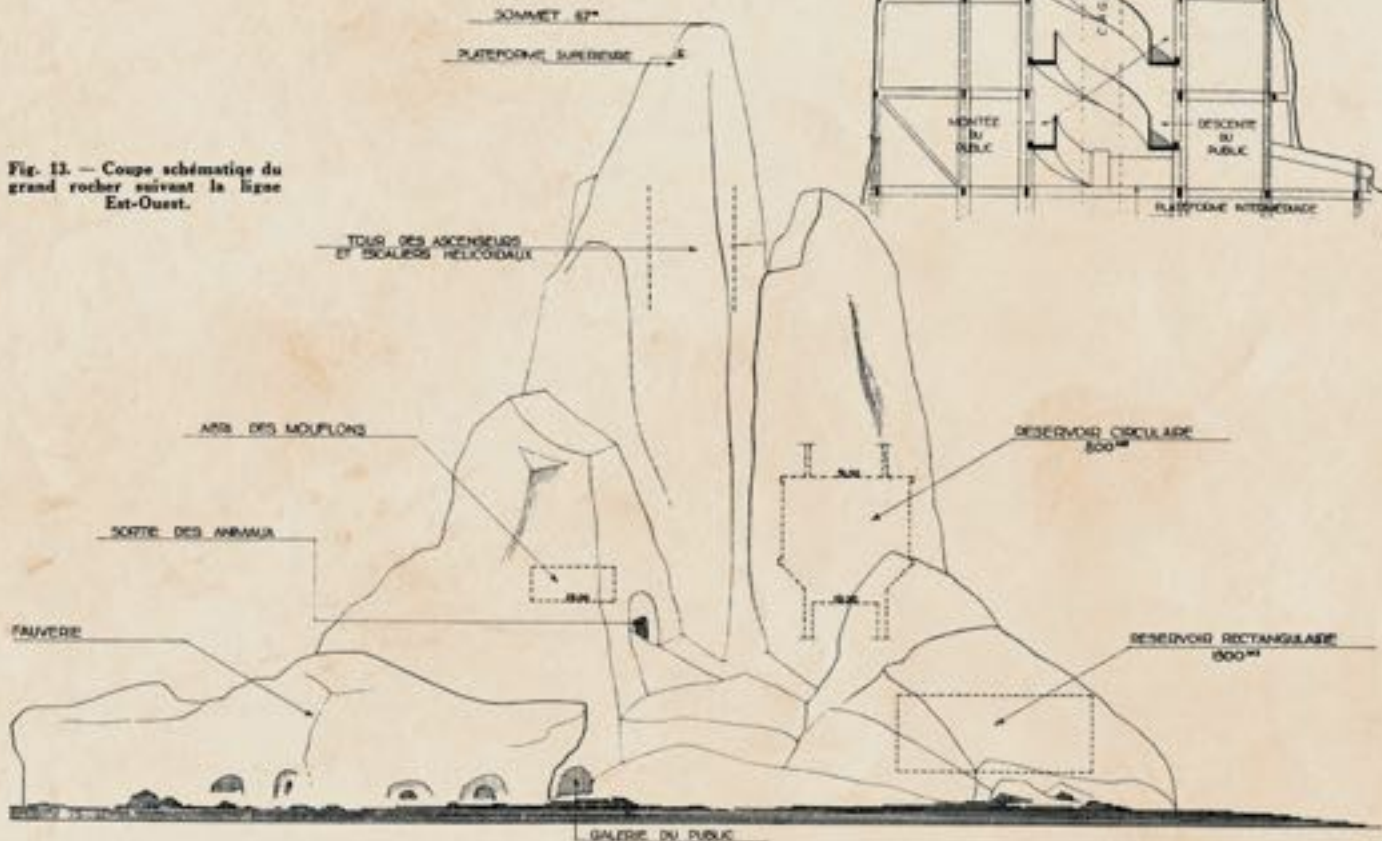




Fig. 15. — La charpente du grand rocher (début mars 1934, hauteur atteinte : 50 mètres). Remarquer le réservoir circulaire enfermé dans la charpente à mi-hauteur et à droite.

Le grand rocher, ou rocher des fauves, d'un effet monumental incontestable, est destiné à abriter les animaux de montagne, moufflons et chamois, qui peuvent gravir des flancs abrupts, puis aussi, autour de sa base, les porcins, les oiseaux de proie, les tigres et les lions (fig. 12 à 15).

Il permet en outre, au public, grâce à une série d'escaliers et de galeries, de suivre les ébats des rapaces dans la grande volière, puis par des ascenseurs, ou, en continuant la visite, par deux escaliers hélicoïdaux tournant au-dessus l'un de l'autre, en encerclant la cage de l'ascenseur (fig. 14), d'atteindre une première plateforme, puis, à 65 mètres au-dessus du sol, la plateforme supérieure d'où le panorama sur le Parc Zoologique, Paris et sa Banlieue ne manque pas de grandeur.

Le rocher central, dont le sommet le plus élevé est à 67 mètres, présentait intérieurement, lors de sa construction, un aspect étrange, par suite de ses dimensions, de la hauteur des piliers, du nombre de poutres et chevalets, des escaliers et aménagements divers. Il renferme (fig. 13), en plus de l'ascenseur et des escaliers, deux abris d'animaux à mi-hauteur desservi, par un escalier spécial, un transformateur, une chaufferie, une chambre des vannes reliant toutes les canalisations, deux réservoirs d'emplacement et de forme imposés, l'un circulaire de 800 mètres cubes avec une hauteur d'eau de 9 mètres, l'autre rectangulaire à trois alvéoles d'une contenance de 1 300 mètres cubes, avec une hauteur d'eau de 6 mètres. Les réservoirs ont été prévus pour servir de secours en cas de sécheresse, l'alimentation en eau pure des bassins et des services du Parc zoologique étant normalement assurée par un forage descendant à près de 200 mètres, à l'aplomb du grand rocher.

La construction comporte une ossature dont le calcul a donné lieu à des études minutieuses, faisant l'objet des articles annoncés dans notre introduction, et notamment de l'article ci-après de M. Durnerin.

La fauverie, qui est attenante, est abritée dans un rocher gigantesque. Elle affecte la forme d'un cirque, ainsi que le montre la figure 16. Là encore, tous les problèmes de sécurité furent étudiés avec un soin tout particulier, qu'il s'agisse de la commande à distance des vomitoires, des couloirs et portes d'accès aux loges, de la forme des mangeoires d'alimentation, des dimensions données aux fossés sur le pourtour des plateaux extérieurs ou parcs, etc.

Il est à noter que cette fauverie a été réalisée avec le souci particulier de placer les artistes, peintres et sculpteurs, dans d'excellentes conditions de travail. Un emplacement a été réservé à cet effet dans la galerie du public entre les loges et le couloir de circulation, et de plus, des ateliers, auxquels on



Fig. 16. — Demi-plan de la fauverie.

accède par le couloir de service surélevé et grillagé, ont été aménagés entre les loges et les parois extérieures du rocher pour avoir vue directement sur les parcs.

Il semble inutile de souligner combien la question orientation joue son rôle dans la situation de chaque groupe de rocher, et cela pour satisfaire aux habitudes climatiques de leurs habitants et au rôle spectaculaire qu'ils sont appelés à jouer dans ce décor réalisé pour le plaisir des yeux.

Le rocher des ours, dont la longueur approximative est de 130 mètres et qui, comme nous l'avons dit ci-dessus, est d'une hauteur relativement importante, puisqu'il comporte un premier étage, sert en quelque sorte de paravent pour masquer aux visiteurs le bâtiment des services généraux qui s'étend en bordure de l'avenue de Saint-Maurice.

Ce bâtiment, composé d'une chaufferie en sous-sol et d'un seul rez-de-chaussée, abrite, outre le logement du gardien chef et les ateliers de menuiserie, serrurerie, peinture, tous les services de cuisine, laverie, garde-manger, infirmerie, laboratoires, salles d'autopsie, four crématoire fonctionnant au gaz, etc.

Ce court exposé — et davantage encore les articles techniques qui suivront — permet de se faire une idée de la complexité des problèmes qu'il a fallu étudier, de l'importance et du nombre de

difficultés qui furent vaincues pour doter Paris d'une œuvre aussi remarquable.

Il convient de féliciter très vivement ceux qui furent les artisans de cette œuvre, c'est-à-dire les Directeurs des principaux services du Muséum National d'Histoire naturelle, M. Charles Letrosne, architecte en chef, et son fils, M. Daniel Letrosne architecte diplômé par le Gouvernement, ainsi que les entrepreneurs adjudicataires, au premier rang desquels il convient de citer les entreprises de construction que nous mentionnons ci-après en indiquant quels furent les lots exécutés par chacune d'elles.

*Compagnie Française d'Entreprises générales* : le grand rocher (caprins et chamois, volière des oiseaux de proie, porcins) la fauverie (lions, tigres et panthères) l'abri des chameaux, et girafes, le quartier des éléphants, le grand rocher des singes.

*Société de construction Baffrey-Hennebique* : les portes de Paris et de Saint-Mandé, le rocher et le bassin des animaux marins ;

*Entreprise Lajoinie* : abri des caméliens, abri des kangourous, abri des castors et autruches, abri des nandous, abri des émeus et castors, abri des hippopotames et rhinocéros ;

*Entreprise Meaume* : le bâtiment des services généraux, le rocher des ours, les rochers des bovidés et des tapirs.

*Société le Béton Armé* : l'île des singes.

## II. — La charpente en béton armé du Grand Rocher

Par M. Henri DURNERIN,

*Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur chargé du Contrôle Technique.*

### 1<sup>o</sup> Introduction. Plan.

M. CH. LETROSNE avait fourni à l'entrepreneur les principales données du problème sous la forme de plans d'ensemble et d'une maquette exécutée par M. Garnier, sculpteur. C'est d'après ces indications que M. Michel, directeur de la Compagnie française d'Entreprises générales, et le chef de son bureau d'études M. Besseyre, ingénieurs des Arts et Manufactures, ont étudié en collaboration constante avec nous les moyens de réaliser une charpente en béton, simple, économique, et capable de supporter les charges imposées.

Les principales de ces charges étaient constituées par un château d'eau de 800 mètres cubes, à l'altitude de 25 mètres, un réservoir rectangulaire à compartiments de 1300 mètres cubes, à quelques mètres du sol, des escaliers hélicoïdaux, un ascenseur, les abris des animaux, etc., et la carapace de béton qui devait dissimuler le tout sous les apparences d'un rocher naturel des plus pittoresques.

L'ossature intérieure ne se compose que de pièces horizontales et de poteaux verticaux, à l'exclusion de béquilles inclinées dont la présence aurait entravé le service du chantier pendant la construction, et gêné l'établissement facile des coffrages des parties supérieures. Des chainages horizontaux, distants d'environ 5,50 m les uns des autres, ont permis d'élever l'ossature sans aucun échafaudage de pied, chaque nouvel étage prenant appui sur les deux derniers étages coulés.

La difficulté du problème était de concilier les conditions d'économie, de résistance, de rapidité d'exécution et d'esthétique, ces dernières se traduisant principalement par l'impossibilité de réaliser des joints de dilatation non apparents dans certaines parties très étendue du Grand Rocher.

Nous allons d'abord examiner les sujétions imposées à la construction par le retrait, les dilatations, le vent et les charges à

supporter, et les dispositions que celles-ci ont conduit à adopter. Nous donnerons ensuite quelques renseignements généraux sur l'exécution du voile extérieur, sur le service du chantier et sur l'organisation intérieure du Grand Rocher.

### 2<sup>o</sup> Conditions imposées par le retrait, les dilatations, le vent et les charges appliquées.

*A. Les dilatations et le retrait.* — Les dimensions horizontales très importantes de l'ensemble du Grand Rocher et des parties adjacentes devaient évidemment nécessiter des joints de dilatation. Il en avait été prévu dès l'origine entre le rocher principal, le rocher des lions et le rocher primitivement envisagé pour les panthères : une modification aux plans a permis, par l'introduction d'un joint entre les deux réservoirs, de réduire de 65 à 54 mètres la plus grande dimension du monolithe. Mais celle-ci était encore considérable relativement aux effets à redouter des dilatations et du retrait. Aussi, des précautions spéciales étaient-elles nécessaires pour y parer. A cet effet :

1<sup>o</sup> En raison d'observations antérieures que nous avons faites sur les effets nuisibles d'un retrait trop rapide du béton au superciment dans la période de prise et des premières heures du durcissement de longues poutres horizontales, nous avons complètement écarté l'emploi de ce ciment spécial dans la charpente en élévation ;

2<sup>o</sup> Nous avons reconnu la nécessité de rendre les poteaux du monolithe les plus éloignés de sa partie centrale aussi souples que possible, afin d'atténuer la résistance aux mouvements de dilatation des poutres horizontales. Dans ce but, les armatures de ces poteaux ont été disposées d'une manière analogue à celle de piliers articulés à chaque étage près de leur tête et de leur pied (fig. 2 et 3) : dans deux sections, à 50 centimètres environ de l'axe des poutres horizontales, les armatures situées près des faces ont



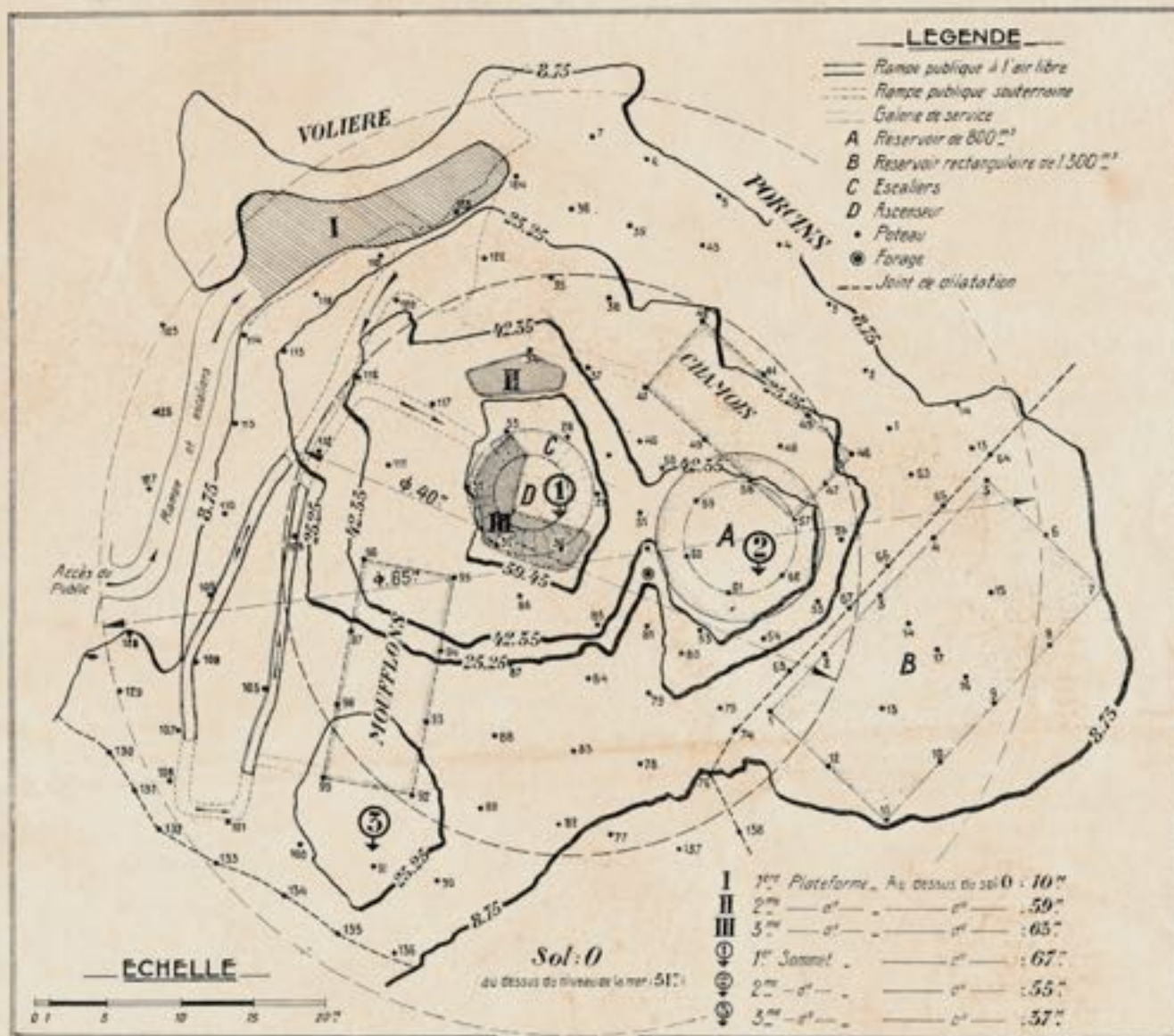


Fig. 1.

été extrêmement réduites et remplacées par des armatures dans l'axe.

B. Le vent. — Pour évaluer la poussée du vent sur une surface plane normale à sa direction, le constructeur avait proposé la formule suivante, qui a été acceptée :

$$p = \frac{250 H - 3 750}{H + 8,33}$$

(H représentant la hauteur en mètres au-dessus du sol).

Cette formule a pour objet de tenir compte de la protection

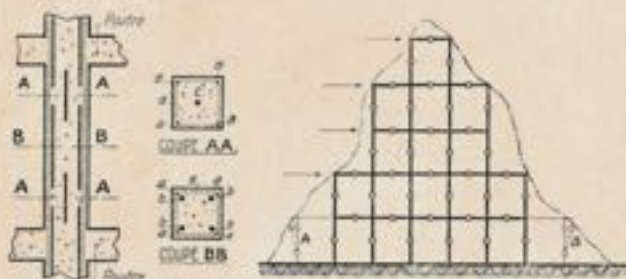


Fig. 2. — Schéma des armatures des poteaux les plus éloignés du centre du monolithe. Disposition destinée à donner à la tête de ces poteaux une mobilité relative.

Fig. 3. — Schéma du mode de calcul de la charpente pour résister à la poussée du vent.

qu'assurent aux parties inférieures du Grand Rocher les arbres du bois et les rochers adjacents : elle ne s'applique d'ailleurs qu'à partir de 15 mètres, altitude jusqu'à laquelle la poussée est supposée nulle. Elle donne, à 50 mètres, une poussée de 150 kg : m<sup>2</sup>, valeur qui concorde avec les données récentes de l'aérodynamique.

Pour calculer l'effet du vent sur le profil vertical le plus étendu qu'il puisse rencontrer, les valeurs de p données par la formule ont été multipliées par le coefficient 0,60 destiné à tenir compte de l'obliquité des parois par rapport à la direction du vent. La valeur de ce coefficient se justifie par la forme générale du Grand Rocher analogue à celle d'un cône de révolution, pour lequel le coefficient devait évidemment être plus faible que pour un cylindre. Le calcul a été effectué par tranches horizontales d'une hauteur équivalente à celle d'un étage (5 à 6 mètres), mais dont le centre de gravité était à l'altitude des poutres horizontales.

Pour le profil maximum, dont l'aire est d'environ 1 500 mètres carrés, la poussée calculée est de 89 tonnes, et sa résultante est appliquée à la hauteur de 37,50 m.

La charpente a été calculée à la flexion pour résister au vent à la manière d'une poutre-échelle à montants multiples, en supposant chaque élément vertical ou horizontal articulé au milieu de toutes ses travées. La figure 3 donne le schéma de cette hypothèse, mais avec 4 étages seulement au lieu de 11. Les

cloisons intérieures, les escaliers et la carapace de béton, ou voile extérieur, contribuent à donner à l'ensemble une sécurité supplémentaire dont il ne pouvait pas être tenu compte dans les calculs.

**C. Les charges appliquées.** — En mettant à part le réservoir rectangulaire (qui, nous l'avons vu, ne fait pas partie du monolithe central, et dont certains poteaux sont prévus pour 262 tonnes chacun), les piliers les plus chargés sont ceux qui portent le réservoir circulaire (de 233 à 245 tonnes), et ceux qui forment la tour hexagonale des escaliers, de l'ascenseur et du belvédère (de 168 à 220 tonnes). En dehors de ces appuis, il y en a six dont la charge est comprise entre 100 et 120 tonnes, et un seul qui porte davantage (167 tonnes). Les poteaux lourdement chargés sont presque tous situés à l'intérieur d'un cercle de 40 mètres de diamètre : cette circonstance a rendu possible la disposition indiquée plus haut pour donner aux poteaux excentriques une mobilité relative en vue d'atténuer les inconvénients des dilatations.

La bonne qualité du sol a permis, après essai, d'admettre pour l'ensemble des travaux le taux de compression 3 kg : cm<sup>2</sup>, réduit pour le Grand Rocher à 2,5.

**3° Carapace de béton ou voile extérieur.** — Le rocher devait présenter extérieurement l'aspect irrégulier d'un rocher naturel, et ses formes étaient imposées par une maquette à l'échelle 0,02.

La surface extérieure fut divisée en panneaux irréguliers par les chaînages horizontaux indiqués ci-dessus et par des fermes suivant des lignes de plus grande pente. Les plans remis au chef de chantier donnaient très exactement les profils de ces chaînages et de ces fermes.

Il fallait alors reconstituer, dans chacun de ces panneaux, les formes de la maquette. A cet effet, un élément de celle-ci était confié à chaque équipe de spécialistes.

Le coffrage en bois suivant les procédés ordinaires aurait été d'un prix inacceptable et d'ailleurs difficile à établir. La première forme du rocher était réalisée au moyen d'une cage légère en grillage très fin monté sur des armatures en aciers ronds. Un gobetage en ciment achevait de lui donner de la raideur. Pour éviter des pertes exagérées de mortier au gobetage, le grillage

fut fabriqué spécialement en fils très robustes avec des mailles très fines. Des enduits successifs donnaient l'épaisseur et les formes convenables. La souplesse de ce procédé a permis d'obtenir les aspects irréguliers du rocher avec les fissures et les crevasses demandées.

**4° Service du chantier.** — Les moyens de montage étaient constitués par trois grues fixes :

La première montait à 35 mètres ;

La deuxième fut d'abord établie jusqu'à 35 mètres, puis arrimée à l'ossature et prolongée jusqu'à 50 mètres ;

La troisième fut également établie jusqu'à 35 mètres et arrimée ; mais elle fut prolongée jusqu'à 70 mètres, afin d'atteindre la pointe extrême.

La grande distance entre le pied de l'appareil et le point de déchargement a nécessité l'établissement d'un téléphone.

**5° Aménagements intérieurs et accès au sommet.** — Le double escalier hélicoïdal partant de la côte + 25 m. repose sur un ossature de 6 poteaux constituant une tour centrale placée dans l'axe de la partie culminante du Grand Rocher.

A peu de distance de cette cage, le réservoir cylindrique de 800 mètres cubes forme le noyau correspondant au deuxième sommet.

Les voies d'accès du public aux terrasses comprennent :

1° Une rampe extérieure partant du sol et conduisant à une plate-forme, située 10 mètres plus haut, qui offre une vue d'ensemble sur la volière des oiseaux de proie qu'elle domine ;

2° Un passage en rampe alternativement à l'air libre et en galerie, ayant son point de départ à la plate-forme, conduit le public au pied des escaliers à 25 mètres au-dessus du sol.

Deux galeries sont réservées à la circulation de service : l'une partant de la plate-forme précédente, dessert l'abri des mouffons, et l'autre, celui des chamois.

Malgré les difficultés inhérentes à un travail aussi original et les retards dus aux gelées et aux intempéries, l'entreprise chargée de la construction a réussi à terminer en 8 mois les fondations et la charpente, et à réaliser en moins de 10 mois l'œuvre grandiose imaginée par l'architecte.

## SCIENCE ET INDUSTRIE

PRÉPARE ACTUELLEMENT TROIS IMPORTANTS NUMÉROS HORS SÉRIE

### 1° — LA ROUTE (9<sup>e</sup> édition)

(Revêtements et Matériel routier.)

### 2° — SERVICES DE LA DIRECTION GÉNÉRALE DES TRAVAUX DE PARIS

(Rédaction assurée par la Direction Générale des Travaux de Paris.)

Services techniques de la voie publique, de l'éclairage et du nettoyage. — Service technique des eaux et de l'assainissement. — Chemin de fer métropolitain. — Service technique du port de Paris. — Travaux de protection de la Région Parisienne contre les inondations et les services de navigation. — Inspection générale des carrières de la Seine. — Laboratoires d'essais des matériaux, contrôle des ciments, etc.

### 3° — LES VOIES NAVIGABLES FRANÇAISES

(Rédaction assurée par la Direction des Voies navigables au Ministère des Travaux Publics.)

Le Réseau navigable français, le régime administratif des voies navigables. — Le matériel flottant et ses moyens de traction. — L'évolution des ports de navigation intérieure. — Les canaux de la Ville de Paris — et pour chacun des services des rivières et canaux : historique, description de la voie courante et des ports maritimes (travaux d'amélioration effectués, travaux projetés), rôle économique, etc.



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)

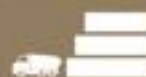
# Engineering a Better Solution

Depuis 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

## MACCAFERRI

[www.maccaferri.com/fr](http://www.maccaferri.com/fr)



Base nautique olympique  
Ile de loisirs de Vaires-sur-Marne (77)

Construction du stade d'eau vive sur lequel se dérouleront les épreuves de slalom de canoë et de kayak des JO 2024. Il s'agit du plus grand site de canoë-kayak au monde.

Ouvrages de soutènement : Terramesh® Vert  
Ouvrages hydrauliques : Matelas Reno®  
Aménagements paysagers : Gabions électrosoudés

