

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SOLS ET FONDATIONS. PROTECTION PAR GEOGRILLE DE RENFORCEMENT. MAITRISE DU CYCLE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SUCRIERE. LE PROJET SEMAPA M10VP PARIS. GARE PONT-DE-SEVRES. SECURISATION D'ANCIENNES CARRIERES A ROMAINVILLE. CHEMIN DES BIATRES A AIX-LES-BAINS. GARE DE KREMLIN-BICETRE HOPITAL. PARIS 15-BLOMET, SOUTÈNEMENT DE PIEUX SECANTS. GARE SAINT-DENIS-PLYEL. CREATION D'OUVRAGES CONTRE LES INONDATIONS ET STATION ANTI-CRUE A RIS-ORANGIS

N° 958 MARS 2020



RIS-ORANGIS -
BASSIN GAGNEUX
© GRAND PARIS SUD
SEINE ESSONNE
SÉNART

LES TRAVAUX
PUBLICS
FÉDÉRATION
NATIONALE



SEFI-INTRAFOR

NOS FONDATIONS AUJOURD'HUI, CE SONT EUX

**NOS FONDATIONS
DE DEMAIN,
C'EST PEUT-ÊTRE
VOUS !**

REJOIGNEZ-NOUS POUR LE GRAND PARIS

FONDATIONS.FAYAT.COM



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), Olivier de Vriendt
(Spie Batignolles), Philippe Gotteland
(Fntp), Florent Imbert (Razel-Bec),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis), Véronique
Mauvissau (Ingerop), Stéphane Monleau
(Soletanche Bachy), Jacques Robert
(Arcadis), Solène Sapin (Bouygues
Construction), Claude Servant (Eiffage tp),
Philippe Vion (Vinci Construction Grands
Projets), Nastaran Vivian (Artelia), Michel
Morgenthaler (Fntp)

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. Edouard 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
10, rue du progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr
Directeur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31

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

RETOUR SUR 40 ANS DANS LES FONDATIONS



© DR

À la veille de quitter les fondations et les travaux
spéciaux où j'ai travaillé depuis maintenant
40 ans, il me semble pertinent de faire le point
sur l'évolution de notre profession.

Lorsque j'ai commencé à travailler à la toute fin des
années 70, l'entreprise de fondations intervenait
principalement en tant que sous-traitante de l'entre-
prise générale. J'ai ainsi travaillé au cours des
années 80 sur de nombreux grands projets : fonda-
tions de stades, métro de Lyon, métro de Lille, cou-
verture de la gare Montparnasse, ...

Puis, au cours des années 90, sur des projets pari-
siens d'infrastructures ferroviaires (Eole première
étape, Meteor future Ligne 14), sur des parkings pour
le compte de GTM ou sur des chantiers d'immobilier.

Nous nous sommes alors rendu compte que,
en particulier sur ces gros projets d'infrastructures,
les travaux spéciaux étaient primordiaux pour le
maître d'ouvrage. Les risques majeurs étant sou-
vent liés aux risques du sol, il nous semblait logique
que le maître d'ouvrage puisse traiter directement
avec nous, sans l'écran de l'entrepreneur général.
Nous avons donc proposé de prendre en charge la
réalisation complète d'un ouvrage.

C'est ainsi que je suis intervenu sur les tranchées
couvertes du TGV Méditerranée par exemple.

Ces ouvrages, que nous avons appelés "ouvrages
intégrés dans le sol" se sont alors multipliés :
parkings, bassins d'orage, murs de quais ...

Et puis sont arrivés des projets d'infrastructures
encore plus gros : de nouvelles lignes de métro,
avec des tunnels et de nombreuses stations souter-
raines toujours plus profondes et dans des terrains
toujours plus difficiles. Je pense d'abord au CEVA
(jonction d'Annemasse à Genève), au tramway de
Nice, au prolongement de la Ligne 14 au nord, et
surtout au Grand Paris Express.

Nous nous trouvons face à des projets demandant
de gros moyens humains et matériels, ainsi qu'un
bureau d'études performant pour dimensionner les
ouvrages et proposer des solutions variantes.

Il devenait donc fondamental pour une entreprise de
génie civil de s'associer le plus tôt possible avec une
entreprise de fondations, afin de travailler ensemble
en amont, de partager les risques et les opportunités
et proposer ainsi les meilleures solutions à nos clients.

J'ai ainsi pu participer à plusieurs magnifiques projets
sur la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Avec des
parois toujours plus épaisses (de 1,50 à 1,80 m), des
parois toujours plus profondes et avec toujours plus
d'exigence de verticalité. Sur la gare de Vert-de-
Maisons, par exemple, nous avons réalisé des joints
de parois moulées avec mise en place des coffrages
waterstop à 75 m de profondeur grâce à notre maî-
trise des tolérances de verticalité : 0,1 à 0,2 % !

Nous sommes bien loin de ce que nous savions faire
il y a 40 ans... Que de progrès techniques sur la
période ! Avec toujours cette volonté qui nous a
guidés : innover !

De nouvelles Hydrofraises ont d'ailleurs vu le jour sur
ces chantiers, dont l'Hydrofraise à grippers qui vient
s'ancrer dans le terrain pour faciliter sa pénétration.
Nous sommes loin des bennes à câbles et grues
mécaniques d'il y a 40 ans...

Les nouveaux projets, pour la Ligne 15 à l'ouest
et à l'est, vont sortir prochainement, en conception/
réalisation, avec des lots toujours plus gros. Nul
doute que nos entreprises de fondations et travaux
spéciaux, au sein de leur groupement, sauront
apporter tout leur savoir-faire, afin de proposer les
meilleures solutions au Grand Paris.

DANIEL VIARGUES

PRÉSIDENT DE SOLETANCHE BACHY FRANCE

SOLS & FON DATIONS

LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS - LA GARE PONT DE SEVRES © GÉBRICHEL.SLY



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ

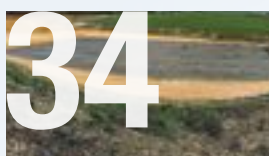


18

**ENTRETIEN AVEC
MARIE COUTOS-THÉVENOT**

ARTELIA -
INFRASTRUCTURES MARITIMES :
ANTICIPER DÈS AUJOURD'HUI
LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

26 ALIOS :
GÉOTECHNIQUE DE PROXIMITÉ
MULTI-HORIZONS



34

**PROTECTION CONTRE
LE RISQUE DE REMONTÉE
DE CAVITÉS**

par géogridde de renforcement



40

**MAÎTRISE DU CYCLE DE
L'EAU DANS L'INDUSTRIE
SUCRIÈRE FRANÇAISE**

Retour d'expérience récent



48

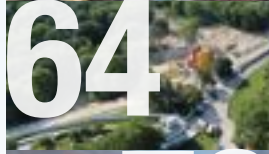
**FONDATEMENTS DU PROJET
SEMAPA M10VP
PARIS RIVE GAUCHE**



57

**LIGNE 15 SUD
DU GRAND PARIS**

La gare Pont-de-Sèvres
à la conquête de l'espace urbain



64

**SÉCURISATION DES
ANCIENNES CARRIÈRES
DE LA CORNICHE
DES FORTS**

à Romainville



70

**CHEMIN DES BIÂTRES
À AIX-LES-BAINS**

Un bassin les pieds dans l'eau



76

**FONDATEMENTS DE
LA GARE DE KREMLIN-
BICÈTRE HÔPITAL (KBH)**

Ligne 14 Sud du Grand Paris
Express



84

PARIS 15-BLOMET

Un soutènement de pieux sécants
en milieu urbain, sous le niveau
de la nappe



90

SAINT-DENIS-PLEYEL

Des fondations hors norme
pour la plus grande gare
du Grand Paris Express



98

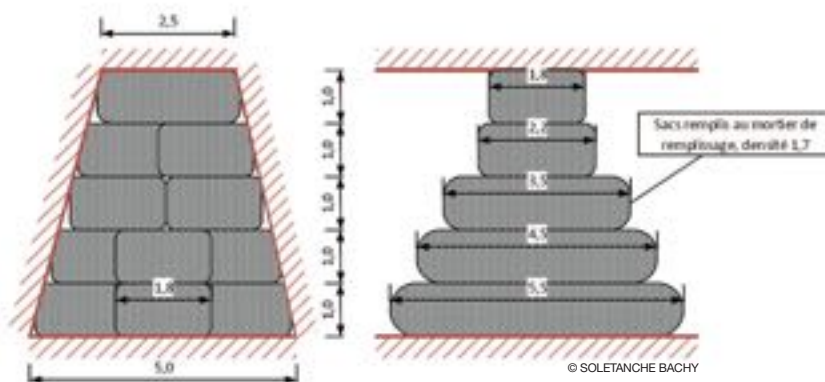
RIS-ORANGIS

Création d'ouvrages de protection
contre les inondations et d'une
station anti-crue en bord de Seine



BARRAGES EN GÉOTUBES DANS LES CARRIÈRES DE ROMAINVILLE

SOLETANCHE BACHY, pilote d'un groupement comprenant Guintoli, Sefi-Intrafor, Nge Fondations et Razel-Bec, a réalisé la sécurisation par comblement des carrières de gypse de la Corniche des Forts à Romainville. L'injection de mortier de comblement par des forages nécessite de constituer préalablement des barrages dans les galeries de section 5x5 m pour confiner la zone à traiter. Un procédé innovant de barrages en Geotubes® fournis par TenCate Geosynthetics (voir reportage dans *Travaux* n°957), remplis de mortier, a été utilisé dans les galeries visitables. (Voir article page 64).





PALLIER DE MANIÈRE ÉCONOMIQUE LES REMONTÉES DE CAVITÉS

MACCAFERRI, sur plusieurs chantiers présentant des risques de remontées de cavités comme on en trouve beaucoup en France, a mis en œuvre avec succès une solution par géogrilles. Ces géosynthétiques brevetés, à très forte résistance à la traction, installés à la base des remblais, sont dimensionnés pour supporter le poids du remblai et des charges roulantes. C'est une solution moins coûteuse que le comblement et qui est bien adaptée aux chantiers de terrassement d'infrastructures linéaires et de zones de parking ou de stockage.

(Voir article page 34).



© LA GAZETTE DU VAL D'OISE

EUROPAN

UN CONCOURS QUI AIDE LES TERRITOIRES À SE RÉGÉNÉRER



À Auby (Nord), la passerelle, mise en service en mai 2020, reliera les deux rives du canal de la Haute-Deûle, agrandissant le centre-ville.

La 15^e édition d'Europan a suscité des réflexions sur la transformation de neuf territoires en lien avec le climat et l'environnement, des domaines que les jeunes architectes, urbanistes et paysagistes abordent avec aisance.

La 15^e édition d'Europan est arrivée à son terme. Démarré en 2018, ce concours d'idées sur la régénération d'un territoire a distingué 29 projets d'urbanisme appliqués à 9 sites situés à Auby (Nord), Champigny (Val-de-Marne), Floirac (Gironde), Marseille (Bouches-du-Rhône), Pays de Dreux (Eure-et-Loir), Port-Jérôme-sur-Seine (Seine-Maritime), Rochefort Océan (Charente-Maritime),

Romainville (Seine-Saint-Denis) et Saint-Omer (Pas-de-Calais).

Le thème de réflexion d'Europan 15 était "villes productives" comme Europen 14, mais moins centré sur l'opposition périphérie/centre. Il s'agit d'aborder ces territoires sous l'angle du climat ou de l'environnement, avec ce qui est productif en ville : ressources locales naturelles et humaines, interaction de la mobilité

sur le territoire, en recherchant l'équité sociale et spatiale.

Rochefort Océan, par exemple, veut développer son port de commerce coincé entre la Charente dont le niveau monte avec les marées, et une route départementale.

Les équipes retenues s'efforcent de réintroduire la rivière en ville, pointent les bénéfices mutuels de l'eau et des activités, ou encore élaborent une méthodologie pour répondre à la situation écologique et climatique de l'estuaire.

→ **Corridor routier libéré**

Les 2 villes de la région parisienne, Romainville et Champigny-sur-Marne, ont

du foncier disponible. Dans les années 1960, des bandes de terrain ont été gelées pour des routes qui n'ont pas vu le jour. Ainsi, à Champigny, le corridor de la voie de desserte orientale de l'A87 est-il devenu une friche naturelle.

De plus, il se situe à proximité du futur Grand Paris Express. Faut-il tout construire, laisser la nature telle quelle, ou combiner les deux en densifiant les secteurs d'habitat existants ?

« Les réponses ont été très fouillées et les équipes, très impliquées, observe Isabelle Moulin, secrétaire générale d'Europan France. Alors que nous avons 500 réponses à Europen 12, nous n'en avons eu que 160 pour Europen 15 mais de plus grande qualité. Les jeunes générations ont une conscience écologique marquée, elles pensent à recycler, réemployer, transformer. »

→ **Étendre le centre-ville**

Ainsi, Auby (Nord) répare-t-elle l'habitat dégradé au lieu de démolir et de construire du neuf. « Nous n'arrivons pas à faire baisser le taux de chômage (20%), expliquait en 2019 le maire, Freddy Kaczmarek. Il faut partir de l'urbanisme et du logement pour que la ville intègre les ressources d'emploi et de développement futures. Grâce à la passerelle sur le canal, la ville est moins coupée en deux, le centre-ville glisse vers ce secteur. » Les lauréats d'Europen 15 proposent de favoriser les échanges entre générations et de développer la solidarité à travers le territoire. ■

EUROPAN 16 : LA VILLE, ORGANISME VIVANT

Le prochain concours d'idées Europen recherche des sites sur lesquels faire réfléchir des équipes d'architectes, urbanistes et paysagistes de moins de 40 ans. À l'automne 2020, seront connues les collectivités territoriales qui veulent faire évoluer leur territoire en s'appuyant sur des professionnels européens⁽¹⁾. Les idées des candidats seront remises en juin 2021 et les résultats, connus, à la fin de la même année. Europen retient 3 équipes par site et les assistent pour rencontrer maîtres d'ouvrage et acteurs locaux (agences d'urba-

nisme, propriétaires fonciers, CAUE, etc.). Libre aux collectivités de poursuivre la réflexion dans un appel d'offres avec ces équipes ou non.

→ **Évolution, interactions, changement**

La 16^e édition d'Europen a pour thème "villes vivantes". « Il s'agit de réfléchir à la place de la biodiversité dans la ville, indique Isabelle Moulin, secrétaire générale d'Europen France. Nous arrêtons de séparer ville et pas ville. La ville est un milieu où la biodiversité peut être plus présente qu'en milieu rural. Il existe une

biodiversité urbaine en synergie avec le social, l'économique, le culturel et le politique. »

→ **1^{re} édition en 1988**

Les candidats répondront en alliant deux thématiques : la vitalité métabolique qui considère la ville comme un organisme vivant qui génère du vivant et la vitalité inclusive, qui associe tous les êtres vivants et toutes les classes sociales. Ces approches conduisent à penser l'espace sous l'angle de la coévolution et des interactions, ouvert à l'adaptation. En France, le concours est porté par l'as-

sociation Europen France et le groupe-ment d'intérêt public "Atelier international du Grand Paris" : Plan urbanisme construction architecture de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, et le ministère de la Culture et de la Communication. Sa 1^{re} édition remonte à 1988.

www.europen-europe.eu ■

⁽¹⁾ Cf. *Travaux*, n°951, juin 2019, page 9 ; n°943, juillet-août 2018, page 7 ; n°923, avril-mai 2016, page 9 ; n°909, octobre 2014, page 8.



L'assurance
de l'activité
professionnelle
des entreprises
de BTP

Retrouvez toutes
nos solutions
d'assurance sur
www.auxiliaire.fr

Contrat élaboré par la SGAM BTP
pour le compte des Mutuelles affiliées.



GLOBAL CONSTRUCTEUR

Notre contrat **GLOBAL CONSTRUCTEUR**
couvre votre entreprise, vos chantiers et
vos clients en **un seul et unique contrat.**

Pour plus de renseignements,
04 72 74 52 52
ou auxiliaire@auxiliaire.fr

l'Auxiliaire
Entreprendre avec assurance

50, cours Franklin Roosevelt - BP 6402 - 69413 Lyon cedex 06
Tél : 04 72 74 52 52

Siret 77564905600014 - Code APE 6512 Z

Entreprise régie par le code des assurances - Société d'assurance mutuelle à cotisations variables

80 CONTRATS DE TRANSITION ÉCOLOGIQUE

À début février, 80 territoires avaient signé un contrat de transition écologique (CTE) avec l'État. Un CTE mobilise des établissements publics intercommunaux, des entreprises et des associations autour de projets comme la mobilité verte, les énergies renouvelables, la réhabilitation de friches, la biodiversité, l'eau, le tout stimulant l'économie locale.

Dix millions de Français vivent dans 180 intercommunalités ayant signé un CTE de 3-4 ans, dispositif créé en 2018 par le gouvernement.

RE2020 EN 2021

Les bâtiments neufs devront être conformes à la réglementation environnementale RE2020 au 1^{er} janvier 2021. Elle exigera des isolants thermiques plus performants. Le texte final paraît cet automne après une période de simulation. La RE2020 cherche à limiter les émissions de gaz à effet de serre dont le bâtiment représente un quart. Elle découle de la loi Évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (Elan, n°2018-1021).

ÉLECTRICITÉ : PART DES ÉNERGIES RENOUVELABLES STABLE



© FRANCE HYDRO ELECTRICITE

La centrale hydroélectrique du Ramier à Auterive (500 kW, Ariège) date de 1920 et a été rénovée en 2018.

En 2019, les énergies renouvelables (ER) ont assuré 23% de la consommation électrique en France avec une puissance totale installée de 53 600 MW. Leur part s'apparente à celle de 2018 : 22,9%. La consommation totale s'élève à 478 TWh.

Ces données émanent du *Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre*, document d'une cinquantaine de pages élaboré par RTE, le Syndicat des énergies renouvelables, Enedis, l'Association des distributeurs d'électricité en France et l'agence Opérateurs de réseaux d'énergie.

L'énergie hydraulique arrive en tête avec 55,5 TWh injectés dans le réseau, en baisse de 12% par rapport à 2018. Elle couvre 11,7% de la consommation. La puissance installée a gagné 21 MW pour s'élever à 25 557 MW au total.

→ 7% par l'éolien

En deuxième, le parc éolien a produit 34 TWh (+21%/2018), ce qui représente plus de 7% de la consommation électrique totale. Il dispose d'une puissance de 16 500 MW. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) vise entre 21 800 et 26 000 MW fin 2023, ce qui l'approcherait de la capacité hydroélectrique. Les capteurs solaires photovoltaïques ont fourni 11,6 TWh (+7,8%), soit 2,5% de la consommation. Sa puissance, actuellement à 9 436 MW, pourrait atteindre 18 000 à 21 000 en 2023 si la PPE se réalise.

Les bioénergies électriques (bois, déchets, biogaz) ont mis sur le réseau 7,7 TWh (+3,4%), soit 1,6% de l'électricité utilisée, avec une puissance de 2 122 MW.

Télécharger le panorama :
<https://rte-france.com/fr/article/panorama-de-l-electricite-renouvelable> ■

UN AIR DE QUALITÉ GRÂCE AUX NOUVELLES ÉNERGIES

Tirer 100% de son électricité des énergies renouvelables (ER), c'est l'objectif de nombreuses villes à travers le monde, selon le rapport que le réseau Ren21 leur consacre. Elles visent des échéances plus ou moins proches et des moyens plus ou moins novateurs. Burlington (Vermont, États-Unis) déclarait 100% d'électricité renouvelable en 2014 en partie grâce à l'achat de certificats d'ER. Eilat (Israël) table sur le solaire photovoltaïque et l'hydroélectricité (stockage) pour atteindre 100% en 2025. Sydney (Australie) avait promis 100% pour janvier 2020. Selon Ren21, les villes voient dans les énergies renouvelables un moyen d'améliorer la qualité de l'air en se passant des hydrocarbures. Certaines reprennent en main les sociétés d'énergie. Par exemple, Barcelone

(Espagne) a créé Barcelona Energia en soutien à la production d'ER. La ville exige depuis 2000 que les nouveaux bâtiments ou ceux en rénovation tirent leurs besoins en eau chaude à 60% de capteurs solaires. De plus, elle prévoyait d'implanter un réseau de refroidissement solaire fin 2019.

→ Moins sensible aux catastrophes

Autre intérêt de l'électricité d'origine renouvelable en zone très peuplée : elle résiste mieux aux catastrophes naturelles quand elle est produite localement et sur de petites boucles d'énergie. Les hôpitaux, les systèmes d'information et les équipes de secours resteront opérationnels.

En savoir plus :
www.ren21.net/reports/cities-global-status-report ■



© MT

Les isolants thermiques devront être plus performants.



© MT

Barcelone (Espagne) a créé sa propre société d'énergies renouvelables : Barcelona Energia.

VENTES DE MATÉRIELS DE CONSTRUCTION : ANNÉE RECORD



Le guidage de machines prend une telle importance qu'il est désormais représenté par le groupe "sécurité, guidage, pesage" au sein du Syndicat des entreprises internationales de matériel de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage (Seimat). Topcon, Leica et Sitech en font partie.

« Le guidage en 3D est devenu incontournable, affirme Pascal Guillemain, président du Seimat. Il est de plus en plus intégré en 2^e monte. La totalité des niveleuses (1^{re} et 2^e montes) en sont équipées, la moitié des bulldozers le sont et 20% des pelles de plus de 20 tonnes. Les minipelles employées en travaux sur réseau en sont souvent dotées. Le guidage réduit le temps d'intervention sur les chantiers de 20% environ et donc les coûts. »

→ Groupe forage

Un groupe sur le forage a également été créé récemment, avec Eurofor, nouvel adhérent, Epiroc et Sandvik. Hydrokit, spécialisée dans l'adaptation et la modification de machines, a aussi rejoint le Seimat, préfigurant la création d'un groupe Equipements des matériels. D'autres industriels comme Liebherr, Sany et Liugong adhèrent désormais au Syndicat.

« Nous n'avions pas vu que l'année 2019 serait aussi bonne avec 2,8 milliards d'euros de chiffre d'affaires et 60 000 unités vendues en France (estimations), reconnaît le président. À rapprocher de 2015, avec 1,5 milliard d'euros et 34 000 unités. »

2020 devrait être stable : « Nous serons tous contents si nous écoulons 58 000 unités, » confie Pascal Guillemain.

Des éléments sont favorables comme le chantier du Grand Paris Express mais

l'ambiance est à la prudence tant que les financements ne sont pas mis en face des projets annoncés.

Le décret qui reconduit le sur-amortissement, à paraître, sera effectif dans certaines conditions et ne devrait pas avoir d'effet sur le marché avant 2021-2022.

Cette mesure est perçue comme une compensation à la hausse des taxes sur le gasoil non routier.

→ Engins de terrassement : +11%

Les pelles sur chenilles ou à pneus et les chargeuses sur pneus ont toujours du succès.

Le groupe des engins de terrassement a augmenté de 11% en 2019 et sera en léger recul à -2% cette année.

Les machines compactes progressent aussi avec +11% en 2019 et stabilité en 2020 (-1%).

Le matériel routier progresse de 9% (2019), en particulier les plaques et pilonneuses utilisées pour les réseaux. Recul possible de 5% en 2020.

→ Béton : matériel en recul

Les équipements pour le béton régressent en 2019 (-11%) après une bonne année 2018. Ils perdront 10% en 2020. Le lavage-manutention est resté stable et pourrait baisser de 10% cette année (point haut en 2017). ■



Les pelles sur chenilles ou sur pneus ont du succès. Ici, modèle Titebild R938.

FUSION CISMA-PROFLUID

Le Cisma, syndicat des équipements pour la construction, les infrastructures, la sidérurgie et la manutention, a fusionné avec Profluid, association française des fabricants de pompes et agitateurs, de compresseurs et de robinetterie, pour former Evolis, en juillet 2019.

HAUTE QUALITÉ HUMAINE

Patrick Bouchain a reçu le grand prix de l'urbanisme du ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités locales qui récompense ainsi la "haute qualité humaine" de son travail.

L'architecte, urbaniste et scénographe s'intéresse à la valorisation des espaces urbains délaissés et des friches industrielles. Il se préoccupe de concevoir avec les habitants et de vulgariser sa pratique auprès du grand public.

LA VOIE D'EAU CONCOURT AUX JO

Des tapis roulants transporteront les déblais du futur village olympique situé en Seine-Saint-Denis jusqu'aux bords de Seine. C'est une des mesures pour rendre la manifestation sportive de 2024 plus écologique. L'État a signé une convention pour utiliser au maximum le transport de matériaux par voie d'eau, avec Voies navigables de France, Haropa-Ports de Paris et la Société de livraison des ouvrages olympiques (Solideo), établissement public d'aménagement (État, collectivités territoriales, organisateurs des JO).



Port de Saint-Denis-l'Étoile sur la Seine en Seine-Saint-Denis.

PLUS DE TRAVAUX À L'INTERNATIONAL

En 2018, les entreprises de travaux publics ont réalisé 32 milliards d'euros à l'international, en hausse de 6,7% par rapport à 2017, et 41 en France. Voici le détail par zone géographique puis par spécialité.

- Europe : 15,9 milliards d'euros, 49,6%.
- Amérique du nord : 5,5 Mds, 17,2%.
- Afrique : 3,9 Mds, 12,3%.
- Asie : 2,3 Mds, 7,3%.
- Océanie : 2 Mds, 6,3%.
- Amérique latine : 1,4 Md, 4,4%.
- Proche-Moyen-Orient : 1 Md, 2,9%.
- **Électricité : 26,4%**
- Travaux routiers et terrassements généraux : 12,2 Mds, 38,3%.
- Travaux électriques : 8,5 Mds, 26,4%.
- Fondations spéciales, sondages, forages, travaux souterrains : 3,5 Mds, 10,9%.
- Ouvrages d'art et d'équipement industriels : 3,1 Mds, 9,9%.
- Filière eau et environnement : 2,3 Mds, 7,1%.
- Voies ferrées : 1,4 Md, 4,4%.
- Travaux maritimes et fluviaux : 0,9 Md, 2,8%.
- Transport et distribution gaz et fluides : 0,1 Md, 0,2%.

TRAITEMENT D'EAUX PLUVIALES

Stradal, spécialisé dans les produits préfabriqués en béton pour travaux publics, va fabriquer et commercialiser First Defense, le traitement d'eaux pluviales d'Hydro International. Les deux industriels ont signé un partenariat en ce sens au Carrefour des gestions locales de l'eau à Rennes, le 29 janvier. Le dispositif sépare et capte les matières en suspension (jusqu'à 80%) et les polluants (métaux, hydrocarbures, etc.), par décantation et rotation. Le mouvement est généré par l'introduction tangentielle des effluents dans la chambre circulaire.

TRAMWAY SUR BATTERIES À BIRMINGHAM



© MIDLAND METRO ALLIANCE

Pas de câbles aériens pour le nouveau tronçon du tramway de Birmingham qui traverse le centre historique.

L'agglomération de Birmingham (Angleterre) a mis en service 2 km supplémentaires de son tramway, à la mi-décembre. Cette section part de la gare de Grand Central et se dirige vers

l'ouest jusqu'à Centenary Square. Elle dessert une grande bibliothèque et un centre de conférences international. Traversant le centre historique, elle fonctionne uniquement sur batteries élec-

triques sans câbles aériens. Ce type d'alimentation lui a valu le prix de la meilleure réalisation technique de l'année aux Global Light Rail Awards à Londres, en octobre.

Ce tronçon sera prolongé de 1,35 km pour atteindre Edgbaston, en 2021.

→ **Partage des risques**

Le projet est entre les mains du consortium Midland Metro Alliance réunissant propriétaire, concepteurs et entreprises, un partenariat qui définit le budget annuel et se partage les risques et les opportunités. Dans le groupement de conception, Egis a travaillé aux côtés de Tony Gee et Pell Frischmann, avec Colas Ltd, Bouygues UK, Barhale et Auctus Management Group.

Le consortium a été formé en juillet 2016. Le chantier a duré de juin 2017 à novembre 2019, suivi d'une période d'essais avec l'exploitant, Midland Metro Ltd.

→ **Un réseau de vingt ans**

À noter que l'agglomération de Birmingham (4 millions d'habitants) s'est dotée d'une 1^{re} ligne de tramway de 20 km en 1999 dont 18 installés sur une voie ferrée existante. ■

58 % DES FRANÇAIS N'ONT PAS ACCÈS À L'INTERNET TRÈS HAUT DÉBIT

La région Grand-Est met les bouchées doubles pour offrir l'internet à très haut débit (>30 mégabits/sec). Début 2019, 32% des habitants étaient éligibles à la fibre optique, soit moins que la moyenne nationale de 42%.

En 2017, la Région a confié à Losange, une délégation de service public pour déployer la fibre optique dans les départements les moins bien lotis : Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Vosges. D'ici février 2023, 900 000 prises seront installées dans 3600 communes, hors investissement des opérateurs privés sur leurs fonds propres. Coût : 1,48 milliard d'euros.

→ **Tous équipés en 2025 ?**

À mi-2019, seulement 42% des Français avaient accès à une liaison très haut débit. Le plan France très haut débit, lancé en 2013, prévoit que 80% soient desservis en 2022 et tout le monde, en 2025. Ce qui suppose l'installation de

4,3 millions de prises par an et 2,6 milliards d'euros d'investissement public au total, selon la Fédération nationale des travaux publics.

→ **Relayer les opérateurs**

Les opérateurs privés ne s'intéressent pas aux régions les moins denses comme

celles de montagne, en milieu rural ou en périphérie de grandes villes car ces travaux sont moins rentables en nombre d'abonnés. C'est pourquoi les collectivités territoriales comme les régions, les départements et les communes prennent le relais aux côtés de l'aide de l'État. ■



© STADLER/REGION GRAND-EST

Pose d'un nœud de raccordement optique, fin 2017, dans le Grand-Est.

Vivre le progrès.

Liebherr
sur le  Grand
Paris



Chargeuses sur pneus Liebherr L 550 XPower® - L 586 XPower®

- Réduction de la consommation de carburant jusqu'à 30 % grâce à la nouvelle transmission de la génération Liebherr-XPower avec système Liebherr-Power-Efficiency (LPE).
- Maximum de robustesse et de fiabilité grâce à la répartition des forces entre l'hydrostatique et la transmission mécanique.
- Confort et contrôles en toute sécurité sur les points de maintenance les plus importants. Gain de temps et d'argent grâce à l'accessibilité.

Liebherr-France SAS
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287
68005 Colmar Cedex
Tel. : +33 3 89 21 30 30
E-mail : info.fr@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.com

LIEBHERR

AQUAVIA, FILIALE DE TENCATE

Tencate a créé une filiale pour ses activités de dépollution d'eaux pluviales, au 1^{er} janvier. Aquavia propose des solutions avec des aquatextiles oléo-dépolluants dont le Geoclean.

Les eaux de pluie traversent le géotextile qui retient au passage les hydrocarbures. L'infiltration évite que les réseaux d'assainissement soient engorgés lors de fortes précipitations.



© TENCATE AQUAVIA

Le géotextile filtre les eaux de pluie sur de grandes surfaces.

GRANDS PARCS ÉOLIENS

De grands projets éoliens voient le jour, à l'étranger, notamment avec du matériel Vestas (Danemark).

Citons le contrat signé avec Luxcara, investisseur en énergies renouvelables, et ABO Wind, développeur. Vestas va fournir 38 machines de 4,2 MW/unité à implanter sur trois projets en Finlande, près de la côte, à Välikangas, Pihtipudas et Sievi. Le contrat s'accompagne d'une maintenance de vingt-cinq ans. Mise en service : 2021.

Vestas a commencé à installer 46 éoliennes de 3,45 MW/unité à Taïba Ndiaye, sur la côte au nord-est de Dakar (Sénégal). Lekela vend l'électricité ainsi produite à la Société nationale d'électricité. Fin des travaux : mi-2020 (Le Monde, 9 janvier 2020, Matteo Maillard).

TROPHÉES BÉTON À DES ÉTUDIANTS EN ARCHITECTURE



© ALEXANDRA KIENLEN ET TOM HIRTZLIN

La télécabine est abritée dans un bâtiment à structure béton et remplissage de briques en béton de mâchefer produites sur place.

Un téléphérique pour des déchets, c'est ce qu'ont imaginé deux jeunes architectes qui ont remporté le 1^{er} prix des trophées béton Écoles.

Pour leur projet de fin d'études, Alexandra Kienlen et Tom Hirtzlin de l'École

nationale supérieure d'architecture (Ensa) de Strasbourg ont pensé à cette solution pour le quartier des chiffonniers et des éboueurs du Caire (Égypte). Ce secteur pauvre et enclavé est menacé par les autorités, selon les étudiants

supervisés par Dominique Coulon. Une télécabine acheminerait les déchets par les airs et serait l'occasion de réaménager l'ancienne carrière de pierre où elle aurait un ancrage. La "gare" serait faite de murs en briques en béton de mâchefer produites sur place en remplissage d'une structure en poteaux et poutres en béton préfabriqué.

Autre thème de fin d'études distingué par les trophées Écoles (2^e prix) : les murs de soutènement comme partie prenante du paysage. Ophélie Dozat de l'Ensa Versailles s'est inspirée de murs dans les monts du Cantal pour observer leurs usages et comment les développer.

→ Maquette en béton

Cette année, pour la 1^{re} fois, les trophées comportaient une catégorie Studio ouvert aux étudiants de 1^{er} et 2^e cycles d'architecture. La catégorie récompense la réinterprétation graphique d'une œuvre en béton. Frédéric Livar a réalisé une maquette en béton au 1/200^e de la chapelle Saint-Pierre de Sao Paulo (Brésil) de l'architecte Paulo Mendes Da Rocha. L'édifice de 1989 s'organise autour d'un pilier central sur lequel se greffent le toit, la nef et l'autel, et le balcon du chœur. C'était la 8^e édition des trophées Écoles organisés par Bétocib, Cimbéton et la Fondation école française du béton. Sur 140 inscrits, onze ont été en finale. ■

ENGIE AMASSE DANS L'ÉOLIEN

Un parc éolien de 262,5 MW a été inauguré en Égypte, à Ras Ghareb, sur la côte Ouest du canal de Suez. Ce très grand parc a démarré en octobre, un mois et demi avant la date de mise en service prévue.

Les éoliennes sont fournies par Siemens Gamesa.

L'opération a été menée dans le cadre d'une sorte de partenariat public privé (Build-Own-Operate) de 380 millions de dollars (350 millions d'euros environ). La société de projet, Ras Ghareb Wind Energy, est détenue par Engie (40%), Toyota Tsusho Corporation/Eurus Energy Holdings Corporation (40%) et Orascom Construction (20%).

La participation d'Engie témoigne de son appétit pour l'éolien dans le monde. Le groupe entend y consacrer 2,5 mil-

liards d'euros d'ici 2021, pour ajouter 9 GW à son portefeuille.

→ Acquisition de Renvico

Il a annoncé début décembre l'acquisition de Renvico qui exploite 329 MW d'éolien en Italie et en France, et a 300 MW

sous le coude. Renvico est aux mains de Macquarie European Infrastructure Fund 4 et de KKR.

La transaction devait obtenir l'aval des autorités de la concurrence et du contrôle des investissements étrangers. ■



© IULIO/ENGIE

Le parc d'éoliennes, d'une puissance de 262,5 MW, est installé le long du canal de Suez.

LA PROTECTION AU BRUIT SE RÉINVENTE



Écrans acoustiques bas à l'essai à Nice (Alpes-Maritimes).

Les écrans acoustiques ne font pas de bruit mais ils continuent leur bonhomme de chemin. Deux dispositifs ont été distingués aux décibels d'or du Conseil national du bruit, remis début décembre à Paris.

Nice Côte-d'Azur (Alpes-Maritimes) teste des murs bas en protection d'un jardin d'enfants. Le boulevard de Cessole est longé de parois un peu plus hautes qu'un dossier de banc qui réduisent la propagation du bruit. Les matériaux des écrans, du béton de bois ou de la laine minérale haute densité, selon les modèles, absorbent l'énergie sonore. Un autre module, transparent et courbé, réfléchit les ondes sonores vers le sol qui les absorbe. Les écrans eux-mêmes, de par leur masse, affaiblissent la transmission du bruit. Les prototypes Urbasoft avaient été expérimentés sur le site de leur fabricant, PBM à Heyrieux (Rhône) avec Mice et Idetec Environnement. À l'origine de l'essai à Nice qui lui vaut un décibel d'or dans la catégorie "matériaux acoustiques et systèmes constructifs" : l'Association professionnelle des réalisateurs d'écrans acoustiques et le Centre scientifique et technique du bâtiment.

→ Mur écran habité

Le mur habité a, lui, obtenu un décibel d'argent "villes et territoires". L'écran protège le quartier Claude Bernard-Alexandre Duval, bâti en bordure de la voie ferrée Paris-Brest sur une friche industrielle au sud-ouest de Rennes (Ille-et-Vilaine).

Le mur de 110 m de long se compose de 24 portiques en bois. Il porte des écrans acoustiques pleins ou transparents fixés sur une structure métallique secondaire sur laquelle sont greffés des

modules en bois habitables. Les mesures attestent d'une baisse de 18 dB(A), soit 57-67 dB(A) au passage des trains. Le dispositif a été conçu par Nicolas Lebunetel, architecte-urbaniste, avec Territoires et développement qui aménage le quartier.

→ Capteur multitéte

Toujours dans la catégorie "villes et territoires", le décibel d'or est allé au livre

blanc *Silence chantier* de la Société du Grand Paris (SGP). Ses 470 pages sur le web développent des pistes d'atténuation du bruit à proximité des chantiers.

Par ailleurs, la SGP utilise la Méduse, capteur de bruit à 4 micros, qui a remporté un décibel d'or "produits, outils et méthodes". Ainsi connaît-elle mieux l'origine du bruit sur les chantiers du Grand Paris Express. Le capteur a été développé par Bruitparif (Île-de-France). Les petits décalages de l'arrivée du son suffisent à reconstituer la direction du bruit dominant et son intensité. Ses capteurs optiques en localisent l'origine.

→ Diagnostic de perception du bruit

Dans la catégorie "recherche", un décibel d'or est décerné à Diagpart, diagnostic croisé de la perception du bruit par différents acteurs d'un projet.

Les décibels d'or et d'argent, créés en 1982, sont aussi attribués en "santé et environnement".

En savoir plus :

[www.bruit.fr/bruit-et-politique/decibels-d-or-le-palmares-2019-devoile](http://www.bruit.fr/bruit-et-politique/) ■



Cette paroi contre le bruit du train cache des locaux habités.

BIBLE SUR LA GÉOTHERMIE

En France, la géothermie profonde, à plus de 200 m de profondeur, fournit 1 882 GWh de chaleur ou d'électricité par an à travers 76 installations dont 59 reliées à un réseau (1 650 GWh), 15 agricoles (130 GWh) et 2 purement électriques (102 GWh). La géothermie dite de surface produit 3,4 TWh de chaud ou de froid, à travers 175 000 installations.

Cette source d'énergie renouvelable et disponible jour et nuit, en toute saison, est amenée à se développer. Pour aider les collectivités, le grand public et les entreprises à se lancer, le Bureau de recherches géologiques et minières et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ont créé le site internet Geothermies.fr. Ce support scientifique, pratique, réglementaire, inclut une rubrique d'informations par région, un espace cartographique (rubrique Outils et passer par le mode d'emploi), etc. Pour se tenir informé, une newsletter.



Mât de forage d'un puits géothermique profond.

TROPHÉE EIFFEL INGÉNIERIE

En 2020, les trophées Eiffel de Construiracier s'ouvrent aux bureaux d'études avec un prix spécifique Ingénierie. Résultats de la 1^{re} édition : 7 octobre.

VÉLOS À HYDROGÈNE

Le département de la Manche a mis en service dix vélos électriques alimentés par des stations d'hydrogène à Saint-Lô en 2016 et dix à Cherbourg en 2018.

Un 1^{er} bilan auprès des usagers n'a pas révélé de défaillance de la station. En revanche, le vélo est si lourd que le besoin d'assistance électrique est permanent. L'autonomie et le confort laissaient à désirer. Il s'agit maintenant de produire des modèles moins chers en plus grande série.

Latitude Manche qui pilote l'opération, aimerait recourir à de l'eau de pluie et à des capteurs solaires pour fabriquer l'hydrogène. Actuellement, l'électricité est "verte" par abonnement.

Par ailleurs, une station de production d'hydrogène pour camions, véhicules et vélos sera alimentée en électricité par les trackers solaires photovoltaïques posés sur un bâtiment du Conseil départemental à Saint-Lô. Ces vélos à hydrogène ont remporté un des trophées de l'ingénierie territoriale, fin 2019. Le projet de départ résulte d'un appel d'offres de l'Ademe de 2015. Estimé à 723 048 euros, il avait droit à 581 729 euros de subventions.



Vélo à hydrogène en charge en station.

ÉLECTRICITÉ MOINS CHÈRE SUR CHANTIER

L'électricité sur chantier coûte cher et ce n'est pas qu'une question d'énergie : l'acheminement (puissance souscrite et frais) compte pour 30 % du coût, la consommation de kilowattheures, pour 40 %, et les taxes, 30 %. Le chantier absorbe 20 % des dépenses énergétiques des entreprises de construction. Demathieu Bard Construction a décidé de s'y attaquer et vise une baisse de 10 %. Elle entend ainsi chiffrer au plus juste les projets auxquels elle répond. Sa solution lui a valu le trophée FNTP de la performance environnementale et énergétique⁽¹⁾.

→ Souscription trop basse

L'entreprise s'est adressée à Green Alternative Digital Solution qui a adapté aux chantiers sa plateforme Citron. Ont été identifiées comme alourdissant la dépense : la non-utilisation des contrats cadres énergie du groupe, par exemple, quand il est fait appel à un prestataire

différent, ce qui fait passer à côté des tarifs avantageux ; une adresse de chantier imprécise ; une souscription de puissance trop haute ou trop basse. Des anomalies ont été repérées comme des talons de consommation trop hauts - estimation de l'électricité utilisée sans activité (hors-gel, séchage de vêtements, etc.) ou des pointes non expliquées. Demathieu Bard Construction figurait aussi parmi les 4 finalistes de la catégorie Matériels et usages des trophées de la FNTP. Elle a présenté une simplification de l'utilisation de vérins lors de travaux sur un pont.

→ Supports de vérin

Les vérins sont fixés sur des supports en sous-face de l'ouvrage à lever. Chaque levée est suivie d'un calage puis le vérin remonte tout seul et est à son tour, calé par en dessous. Les cales, modulables, font 2 cm d'épaisseur. Sans cette solution, de nombreuses manœuvres manuelles

doivent être réalisées et sont pénibles pour le personnel : « Deux opérations étaient répétées 24 fois pour 16 vérins de 80 kg et pour 12 vérins de 40 kg, auxquelles s'ajoutait la manipulation des cales provisoires et du système d'écroutage de sécurité, pesant près de 15 tonnes, » écrit l'entreprise⁽²⁾.

Le dispositif a été utilisé pour l'élargissement et la surélévation de l'ouvrage d'art qui franchit le canal du Rhône entre Lunel et la Grande-Motte (Hérault). La structure du pont a été renforcée par du carbone, les bétons ont été réparés, une paroi cloutée a été posée à la reprise des corniches, les garde-corps ont été repris et l'étanchéité du tablier et de l'enrobé, restaurée. ■

⁽¹⁾ Sur les trophées FNTP, voir aussi *Travaux* n°957, janvier-février 2020.

⁽²⁾ Cf. supplément du *Moniteur* : www.lemoniteur.fr/article/la-route-100-recyclee-grand-prix-des-trophees-tp-2019.2065119.

VOIR LES RÉSEAUX SOUTERRAINS DANS DES LUNETTES

Territoire d'énergie Mayenne met au point des lunettes sur lesquelles s'affiche le tracé d'un réseau souterrain. Ainsi, lors de travaux de terrassement, l'opérateur, avant de creuser, voit s'il est susceptible de rencontrer des canalisations ou des câbles.

Le dispositif, baptisé Opair, a été conçu avec Scalian, développeur informatique. Un démonstrateur a été présenté en 2018. Sa précision a été testée en comparant l'affichage sur les verres avec un tracé au sol par un géomètre. L'écart, entre 0 et 20 cm, est conforme à la réglementation qui exige moins de 40 cm.

→ Transfert entre plans et lunettes

« Nous n'avons pas trouvé de solution sur le marché en 2018, indique Julien Hinault, responsable activités opérationnelles et missions numériques chez le propriétaire des réseaux de distribution d'électricité et de gaz de la Mayenne. Nous voulions repérer les réseaux existants en partant des plans numériques remis par les concessionnaires et en les superposant à la réalité vue à travers les lunettes. »

La solution pourrait être commercialisée à la fin de l'année. Il faut encore con-



Test de précision entre le tracé d'un réseau au sol par un géomètre et la réalité virtuelle projetée dans les lunettes.

cevoir le logiciel de transfert entre les plans et l'affichage dans les lunettes. Actuellement, l'opération est manuelle et longue.

Opair a été primé à la 3^e édition des trophées de l'ingénierie territoriale organisés par les revues *Technicités* et la *Gazette des communes*, fin 2019. ■

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 9 AVRIL

Plateformes d'essais échangeurs thermiques

Lieu : Grenoble (Isère)
<https://greth.fr/journee-technique-greth-cerg-2020/>

• 26 AU 29 AVRIL

4^e conférence panaméricaine des géosynthétiques

Lieu : Rio de Janeiro (Brésil)
www.cfg.asso.fr

• 27 AVRIL AU 1^{er} MAI

Conférence géothermie

Lieu : Reykjavik (Islande)
www.geothermal-energy.org

• 20 AU 22 MAI

Culture et génie civil

Lieu : Wroclaw (Pologne)
www.iabse.org

• 26 ET 27 MAI

Bim World

Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.bim-w.com

FORMATIONS

• 11 MAI 2020 - 11 MAI 2021

Certificat Bim pour l'ingénierie

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

• 11 AU 13 MAI

Suivi et contrôle des travaux géotechniques

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

• 12 MAI

Aciers autopatinables dans les ouvrages d'art

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

• 12 AU 14 MAI

Pratiquer l'interaction sol-structure

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

• 13 AU 15 MAI

Système ferroviaire : acteurs, organisation, évolutions

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

• 18 AU 20 MAI

Reconnaitances des sols : essais in situ

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

• 26 ET 27 MAI

Pilotage général du projet de tunnel et éléments de conception

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

NOMINATIONS

CONSEIL NATIONAL DU BRUIT :

Laurianne Rossi, députée des Hauts-de-Seine, remplace Christophe Bouillon, député de Seine-Maritime, à la présidence du CNB, depuis octobre dernier.

EPA PARIS-SACLAY :

Frédéric Huglo, en tant que directeur innovation et développement économique, reprend les missions d'Antoine de Souich.

OPPBTP :

Giovanni Verrecchia devient président de l'Organisme

professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics. Il est remplacé à la vice-présidence par Jean-Marie Kerherno. L'OPPBTP était présidé par Frédéric Reynier.

SER :

Le Syndicat des énergies renouvelables a complété le renouvellement de son conseil d'administration en nommant 4 présidents de commission : Florence Lambert, commission industrie/emplois/innovation ; Damien Mathon, énergies renouvelables et bâtiment ; Frédéric Moyne, régions ultramarines ; Éric Scotto, international.

SFIC :

François Petry a remplacé Raoul de Parisot à la présidence du Syndicat français de l'industrie cimentière, le 1^{er} février.

SNCF RÉSEAU :

Depuis le 1^{er} mars, Luc Lallemand est PDG à la suite de Patrick Jeantet.



CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe plus de **8 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **270 000 salariés**.

Nos coordonnées :

• Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

• Par Internet : www.cnetp.fr

• Par mail : sur www.cnetp.fr, lien *écrire un e-mail*

• Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.09.00



ARTELIA

INFRASTRUCTURES MARITIMES : ANTICIPER DÈS AUJOURD'HUI LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Artelia est l'un des tout premiers spécialistes mondiaux du domaine maritime. C'est donc un partenaire de recherche pour l'ingénierie des infrastructures portuaires et côtières et le conseil en environnement littoral et estuarien. Depuis très longtemps, les projets qu'étudie ce groupe de conseil et d'ingénierie prennent en compte le changement climatique, intimement lié à l'évolution de l'univers maritime dans lequel ils sont établis. Marie Coutos-Thévenot, directrice de projet au sein de la division maritime d'Artelia nous l'explique au travers de réalisations récentes ou en cours dans ce domaine. **Entretien avec Marie Coutos-Thévenot, directrice de projet de l'activité Maritime & Ports au sein d'Artelia.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1

Parmi les projets récents auxquels vous avez participé pour la division " maritime " d'Artelia, quels sont ceux que vous pourriez mettre en évidence, en France ou à l'international, en commençant par ceux relatifs au littoral proprement dit ?

En France, au large de l'anse de Cavalière, au Lavandou, dans le Var, Artelia a réalisé une digue sous-marine en géotextile de 218 mètres de longueur et 1,40 mètres de hauteur en quatre tronçons, implantée par des fonds de 2,20 mètres à 40 mètres du pied de plage, en aval d'herbiers situés entre 60 et 70 mètres de la plage. Le but de

cette digue est de réduire la hauteur des houles et, donc, leur énergie avant qu'elles n'atteignent le rivage et de limiter ainsi leur pouvoir érosif.

Elle est constituée de sacs remplis de sable dont l'impact visuel est mineur, puisque l'ouvrage est sous l'eau. Le choix de sacs en géotextiles plutôt que les enrochements classiques a été dicté par la présence à proximité d'herbiers de posidonies. Les sacs étaient remplis sur la plage et mis en place à l'aide d'une barge ce qui réduisait les éventuels impacts (remises en suspension de sédiments) qui auraient été provoqués par le déversement d'enrochement dans la mer. Le choix de cette

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © ARTELIA



2



3

technique a été guidé par le contexte environnemental mais aussi par le fait que du sable était disponible à proximité immédiate au niveau du port. Un autre aménagement réalisé récemment en totalité par Artelia est celui de la protection du Lido de Frontignan, dans l'Hérault, et plus particulièrement des secteurs de la Dent Creuse et des Aresquiers qui s'étendent sur un linéaire cumulé d'environ 2 km.

1- Marie Coutos-Thévenot, directrice de projet au sein de la division "Maritime" d'Artelia.

2- Équipements de protection du Lido de Frontignan dans l'Hérault.

3- À Foumel-Oued, au Maroc, la mer "grignote" la falaise.

4- Modélisation physique de la prise d'eau pour la centrale thermique de Safi dans le laboratoire d'hydraulique de Pont-de-Claix.

5- Perspective du futur musée Guggenheim d'Abu Dhabi imaginé par l'architecte Frank Gehry, entouré sur trois côtés par les eaux du golfe persique.

MARIE COUTOS-THÉVENOT : PARCOURS

Originaire de Grenoble, Marie Coutos-Thévenot, après une classe préparatoire au lycée Champollion, intègre l'ISITV (Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var) en option "marine" dont elle sort en 2005 avec un Master of Engineering (MEng) Coastal Engineering, Hydrodynamic, Geotechnic, Breakwater design, obtained with distinction.

L'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var était une école publique d'ingénieurs française interne à l'université de Toulon, créée en 1991, maintenant devenue SeaTech. L'école a fusionné avec Supméca Toulon en janvier 2014, pour former une nouvelle école d'ingénieur du nom de SeaTech.

Dans le cadre de cette école, elle fait trois stages en entreprise : le premier dans une cimenterie au Maroc, « une belle découverte d'entreprise, précise-t-elle », le deuxième, au Danemark, orienté sur les recherches des mouvements de navires et de leur impact sur l'environnement au DTU (Technical University of Denmark).

Le troisième se déroule au laboratoire de modèles réduits physiques de ce qui était à l'époque Sogreah : Artelia est né de l'union de Coteba et de Sogreah concrétisée le 30 mars 2010.

Au cours de ce stage, lui est confiée l'étude de l'aménagement de "la langue de Barbarie" au Sénégal. La "langue de Barbarie" est un modèle physique sédimentologique qui sépare l'océan Atlantique du fleuve Sénégal, reproduit dans le laboratoire pour reconstituer son évolution dans le temps. Elle présente plusieurs problématiques liées aux mouvements de la houle, des marées, des vents, du débit du fleuve. Tous ces phénomènes sont reproduits dans le laboratoire et étudiés pendant une période de plusieurs années afin d'étudier non seulement ce qui est intervenu par le passé mais ce que la création d'un aménagement pourrait engendrer comme effet pour les années à venir.

Ce stage lui confirme son appétence pour le domaine maritime et va décider de son avenir. Marie Coutos-Thévenot intègre Sogreah, d'abord avec deux CDD successifs dans l'équipe du laboratoire puis avec un CDI qui lui permet d'intégrer la division maritime de l'entreprise.

En 2020, elle est directrice de projet dans cette activité. À cette fonction, elle est appelée aussi bien à gérer en totalité certains projets en tant que directrice de projet, ingénieur-projet et chef de projet, qu'à en assurer la direction en collaboration avec des chefs de projets opérationnels en fonction des domaines concernés.

Tout ceci sur des projets maritimes très diversifiés : protection et aménagement du littoral, aménagements portuaires de commerce, de plaisance, industriel, plus généralement tous les types de projets reliés à l'eau salée.

Ce lido sépare la mer d'un système lagunaire important (étang des Mouettes, une partie de l'étang d'Ingril et la partie ouest de l'étang de Vic).

Sur le site, la zone urbanisée de Frontignan qui s'étend sur 5,4 km de part et d'autre du port de plaisance, soit depuis le port de pêche jusqu'au camping des Tamaris inclus, était équipée de nombreux ouvrages maritimes (épis, épis en T, épis en L).

La zone de la Dent Creuse située à l'est du camping des Tamaris, longue d'environ 0,5 km, présente des aménagements terrestres plus diffus (route, parkings, zone de lagunage...) et ne comporte pas d'ouvrage de protection. Enfin, la plage des Aresquiers, longue d'environ 1,3 km, est constituée d'une plage sèche en sable très étroite, de quelques mètres de large, appuyée contre un cordon de galets présent sur le haut de plage. Hormis ce cordon et les vestiges d'un ancien épi à peine émergeant, il n'y a pas d'autres ouvrages de défense contre la mer sur ce tronçon du littoral.

La première tranche de travaux réalisée en 2015 concernait deux secteurs : l'un en extrémité Ouest (port de pêche) sur environ 500 m, l'autre côté Est (Dent Creuse et Aresquiers) sur environ 1700 m.

Dans ce secteur, le littoral est exposé aux agitations provenant du secteur Est à Sud-Ouest et a subi plusieurs tempêtes majeures au cours des 30 dernières années avec des hauteurs significatives de houles fortes (Hs de 5,5 à 7 m mesurées par les bouées du réseau CANDHIS du CETMEF). Les niveaux de mer exceptionnels pendant ces événements de tempête atteignent de l'ordre de +1 m IGN69 compte tenu de la surélévation du niveau moyen du fait des facteurs météorologiques et hydrodynamiques. ▷

© MARC MONTAGNON



© GEHRY PARTNERS



Le littoral de la Dent Creuse et des Aresquiers est particulièrement vulnérable face à de tels événements hydrauliques exceptionnels en raison de la faible altitude de l'estran et de la zone arrière littoral comprise entre +1 et +2 m IGN69 (l'aléa de référence pour la submersion marine étant estimée à +2 m IGN69), ainsi que de la faible largeur du cordon dans ce secteur.

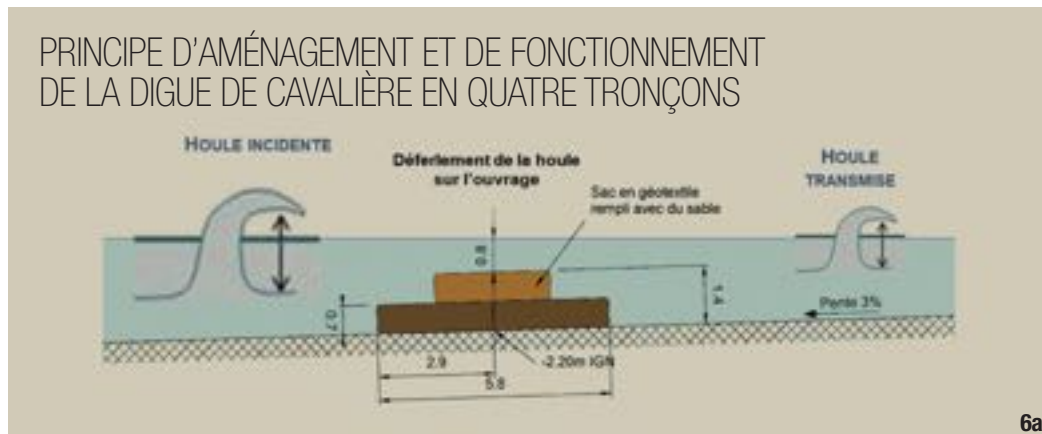
Du fait des franchissements, le cordon se trouve généralement fortement dégradé après la période hivernale et il est régulièrement restauré par la commune. Cette protection permet de limiter les franchissements, mais reste toutefois insuffisante pour protéger l'arrière-plage lors de tempêtes exceptionnelles

Le phénomène d'érosion du cordon lors des tempêtes ne fait que renforcer cette fragilité au cours du temps.

Les évolutions passées montrent qu'en l'absence de toute intervention sur le littoral une brèche pourrait s'ouvrir entre la mer et l'étang d'Ingril, permettant à la mer de pénétrer facilement à l'intérieur des terres (horizon > 20 ans).

**6a, 6b et 7-
Principe d'aménagement et de fonctionnement de la digue de Cavalière en quatre tronçons.**

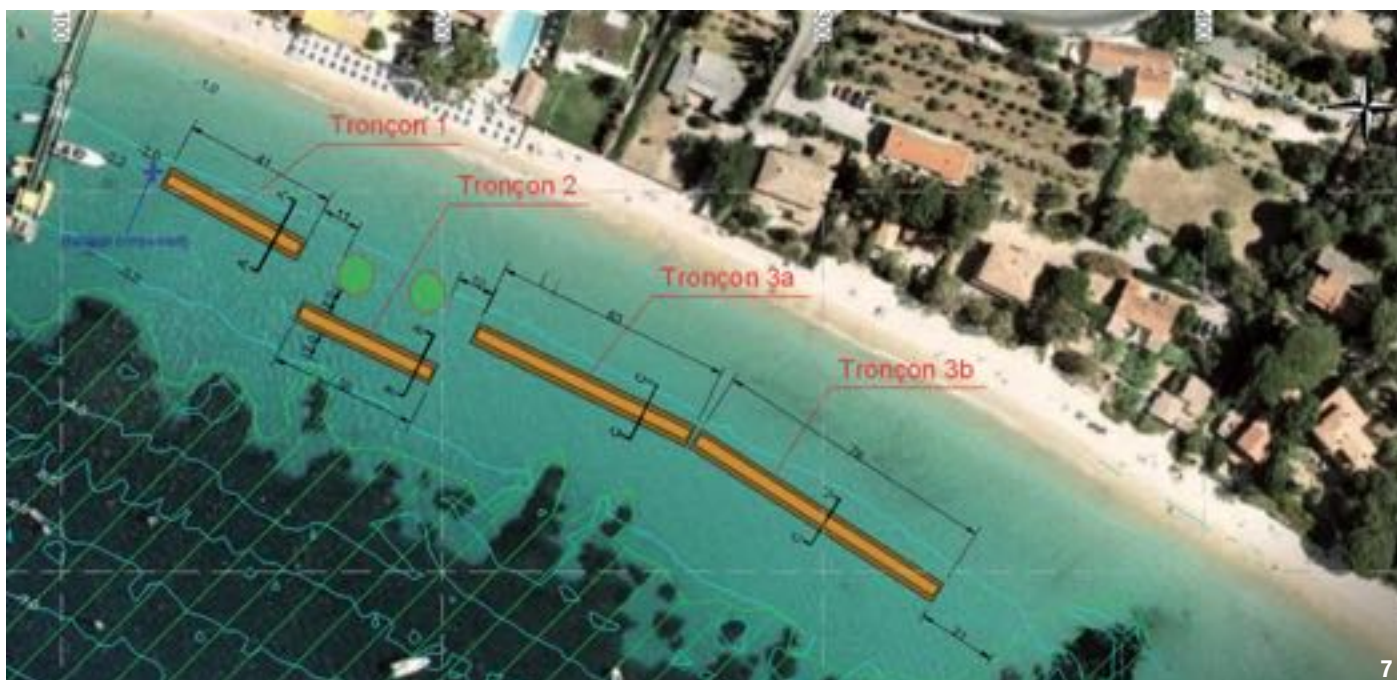
PRINCIPE D'AMÉNAGEMENT ET DE FONCTIONNEMENT DE LA DIGUE DE CAVALIÈRE EN QUATRE TRONÇONS



6a



6b



7

LE PORT ACTUEL D'AGADIR IMBRIQUE TOUTES SES ACTIVITÉS DANS UN SITE UNIQUE



© ARTELIA

8

Face à ces analyses, les travaux de protection du lido de Frontignan au niveau des secteurs de la Dent Creuse et des Aresquiers ont consisté notamment à reconditionner les épis existants de manière à obtenir des épis de longueur dégressive pour favoriser la transition sédimentaire entre la zone protégée et la zone naturelle, construire trois nouveaux épis de longueur dégressive, renforcer le cordon dunaire en galets pour préserver la route littorale des intrusions marines, réalimenter les plages et petits fonds en sable d'un volume de 200 500 m³ et favoriser le déferlement anticipé des vagues.

Compte-tenu de la présence d'herbiers de posidonies au droit du site à recharger, le refoulement sur la plage s'est effectué selon un protocole spécifique, de manière à limiter au maximum l'augmentation de la turbidité pendant les travaux.

Quelques exemples à l'international ?

À Foug-el-Oued, à l'ouest de Laâyoune, une des villes les plus importantes du Sud marocain, (environ 250 000 habi-

8- Le port actuel d'Agadir imbrique toutes ses activités dans un site unique.

tants), située au bord de l'Atlantique à 500 km au sud d'Agadir, la mer "grignote" la falaise au bord de laquelle est construit le village mais aussi la plage qui se développe au nord. L'objectif était à la fois de comprendre

la cause de l'érosion et de proposer des solutions pour enrayer le phénomène. Artelia s'est vu confier l'ensemble des études et une partie des travaux prévus a déjà été réalisée.

Au Maroc, de très nombreux projets auxquels participe la division maritime d'Artelia sont d'ailleurs en cours de travaux dans les ports proprement dits de Laâyoune, Safi, Kenitra, Tanger, Dakhla, Agadir, ou à leur abord.

Artelia a d'ailleurs réalisé pour la BERD⁽¹⁾ une étude concernant l'impact du changement climatique sur les ports marocains. Il s'agissait de définir les solutions et les actions à mettre en œuvre pour limiter leur vulnérabilité face à ce changement. Le problème est important car le Maroc a une façade maritime de plus de 2 000 kilomètres côté Atlantique et de plus de 500 kilomètres côté Méditerranée.

Le Maroc, bien qu'étant un faible émetteur de GES (0,2% du total des émissions GES), fait partie des contributeurs les plus engagés dans les stratégies et consensus mondiaux en matière de réduction des impacts des changements climatiques.

LE LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE MARITIME

Artelia dispose d'un laboratoire d'hydraulique de plus de 11 000 m² doté d'une longue expérience internationale. Des canaux à houle et des bassins de diverses dimensions équipés de systèmes de pilotage et de mesure sophistiqués, permettent d'étudier la dynamique hydro-sédimentaire du littoral et des estuaires (modèles à fonds mobiles), la stabilité des ouvrages maritimes (digues, quais) et les interactions dynamiques fluide-structures, les chenaux d'accès aux ports, les manœuvres et la tenue à poste des navires.

Le modèle réduit physique hydraulique est un outil incomparable d'analyse et de concertation au service des projets d'aménagement les plus complexes.

Il constitue un outil moderne, complémentaire du modèle numérique, irremplaçable à tous les stades d'un projet : capable d'apporter et de valider des solutions techniques dans des configurations complexes, source d'économie, garantie de sécurité, outil de communication et d'accompagnement de la concertation.

Il est situé à proximité de Grenoble, à Pont-de-Claix (38).

Pour les ports à proprement parler en général, le changement climatique peut avoir un grand impact au niveau maritime. Pour les ports existants, il nécessite de prendre en compte l'augmentation du niveau de l'eau en réalisant par anticipation des renforcements ou des surélévations de la cote des ouvrages. Pour les ports en construction, il impose de prendre en considération la résilience climatique en concevant dès aujourd'hui des ouvrages pouvant être adaptables demain à l'augmentation prévisible du niveau de l'eau qui doit être prise en compte pour le choix de la cote des quais et des terre-pleins. Par ailleurs, cette augmentation étant appelée à générer des hauteurs de houle et des tempêtes plus agressives, il faut prévoir des ouvrages capables d'absorber leurs impacts. Tout ceci pouvant être associé à un réseau de mesures et de surveillance de la houle et du niveau d'eau.

Les nombreuses études que nous avons réalisées ces dernières années nous ont permis de franchir une étape importante dans la représentation des phénomènes très complexes d'ondes de submersion.

Finalisés en 2018, ces nouveaux outils de modélisation s'appliquent aussi bien aux événements maritimes extrêmes (tsunami, onde de tempête) qu'aux vagues issues de glissements de terrain en zones côtières ou dans des lacs de retenues.

Quelques références dans le domaine portuaire ?

Au Qatar, le port de Ras Laffan, situé au centre du golfe d'Arabie, est le grand port exportateur de gaz naturel liquéfié (GNL). En moins de 15 ans il est devenu le "coffre" du Qatar et une



9 © ARTELIA

des plus grandes zones industrielles du monde. Avec une superficie d'eau close d'environ 4500 hectares, soit à peu près la superficie de Paris, il est le plus grand port artificiel au monde et contient la plus grande installation d'exportation de gaz liquide dans le monde.

Artelia a réalisé pour ce projet les études de près de 20 kilomètres de digues sur la base de 15 modèles physiques dans le laboratoire de Pont-de-Claix.

Au Maroc, nous avons travaillé à toutes les études amont pour développer l'offre portuaire dans la région d'Agadir à l'horizon 2030, après avoir fait le constat du fonctionnement du port actuel et des prévisions de trafic, et sillonné la région pour découvrir des sites susceptibles de recevoir de nouvelles installations portuaires : port de pêche côtière et hauturière, port de plaisance, port militaire (Marine Royale). Aujourd'hui, toutes ces activités sont imbriquées dans un site unique à telle enseigne que le débarquement des ferries s'effectue sur les quais du terminal à conteneurs. Cela pose un réel pro-

9- Extension de la digue de protection du port de la Cotinière (17), un des principaux ports de pêche français.

10- La piste de l'aéroport de La Réunion avec l'aire de sécurité RESA en bordure immédiate du port de plaisance de Sainte-Marie.

blème car la priorité est toujours donnée aux ferries, même si un navire est en train de débarquer des conteneurs, Agadir constituant notamment l'accès maritime à Marrakech. C'est donc un vrai enjeu à la fois touristique et économique pour le Maroc de développer ce port qui alimente une grande partie du Sud marocain.

L'étude réalisée par Artelia pour le compte de la BEI et la DPDPM⁽²⁾ a donné lieu à une "esquisse" de plan-



10 © ARTELIA

ARTELIA : CHIFFRES CLÉS

- **632 M€ de chiffre d'affaires** (chiffre d'affaires 2018 Artelia et MOE cumulés).
- **5 900 collaborateurs.**
- **100 % du capital détenus par les managers et les salariés.**
- **Répartition géographique du chiffre d'affaires :**
 - 73 % en France.
 - 37 % à l'international dont 47 % en Europe (hors France), 19 % en Afrique, 15 % au Moyen Orient, 15 % en Asie, 4 % en Amériques.
- **9 domaines d'activité : bâtiment, industrie, eau, maritime, environnement, énergie, transport, ville, multi-sites (optimisation des investissements).**

11- Les maquettes en essai dans le lac de 5 ha de Port-Revel.

parties prenantes. Elle prévoit le développement et/ou la création d'un port de commerce avec accueil croisière, d'un port de pêche côtière et hauturière, d'un port de plaisance, d'un pôle de construction et réparation naval et d'une base pour la Marine Royale. Cette étude comprenait également des réflexions sur l'accessibilité terrestre - routière et ferroviaire - car actuellement, le port est coïncé entre l'océan et la montagne.

Un autre exemple au Maroc peut être le port de Safi sur lequel l'entreprise Daewoo a construit une centrale thermique. Pour ce projet qui comporte une prise d'eau et un rejet en mer, Artelia a été chargée de l'ensemble des études des ouvrages maritimes liés à ces deux ouvrages et en particulier de la qualité des recirculations d'eau afin d'éviter notamment tout réchauffement qui aurait pu être préjudiciable à la faune et à la flore marines. Des modèles physiques ont ainsi été expérimentés dans le laboratoire d'hydraulique de l'entreprise à Grenoble afin de définir la nature et la qualité de tous les ouvrages maritimes.

Les émissaires doivent être conçus de façon à assurer la dispersion et la dilution des effluents sans compromettre la qualité des eaux littorales et du milieu. Artelia a ainsi réalisé de nombreuses études et maîtrises d'œuvre de rejets en mer et dispose d'outils de modélisation éprouvés ainsi que d'une importante expérience dans le dimensionnement et l'implantation de ces émissaires.

Dans un autre domaine que celui des ports, tout en restant évidemment dans le secteur maritime, quelle réalisation pouvez-vous mettre en évidence ?

La mise aux normes de l'aéroport de La Réunion constitue un très bon exemple du développement d'une solution qui soit à la fois originale, économique et répondant parfaitement à ces contraintes d'exploitation strictes.

En effet, afin d'être en conformité avec la législation internationale, Aéroport Réunion Roland Garros (ARRG), a dû procéder à l'allongement de ses pistes



© ERIC ROBERT

11

PORT REVEL : L'EXPERTISE HYDRAULIQUE AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ MARITIME

Créé en 1967 à partir du Laboratoire d'Hydraulique situé en région grenobloise, Port Revel est le fruit d'un savoir-faire hydraulique mondialement reconnu, et d'essais de navigation sur modèle réduit réalisés pour le compte de la compagnie Esso dans les années 60. En 50 ans, le principe de la maquette avec pilote embarqué n'a jamais cessé de démontrer son efficacité pour assurer la sécurité du trafic maritime.

Depuis sa création, 7 000 capitaines de navires et pilotes des ports les plus prestigieux sont venus se former à toutes les manœuvres possibles, amarage, appareillage, croisement ou dépassement en canal, dans toutes les conditions imaginables, courants contraires, vent, perte de gouvernail...

Port Revel est un lieu exceptionnel à plusieurs titres : un lac de 5 ha à proximité de Grenoble, une reproduction physique des sites les plus périlleux à parcourir (Cap Horn, etc.), 11 maquettes de navires toutes construites au 1/25^e, 5 remorqueurs, des pilotes instructeurs et pilotes de remorqueurs d'un niveau sans égal, un cadre de formation privilégié. Par sa technicité et sa taille, Port Revel est unique au monde.

À cela s'ajoute une capacité de réaliser des simulations numériques de navigation, dans l'objectif de confirmer les plans masses de nouveaux ports et extensions portuaires conçus par les équipes d'Artelia.

Le lac de Port Revel est le plus vaste et le plus technique au monde parmi les écoles existantes. Il est doté d'une machine à houle produisant différents types de vagues, d'une quarantaine de générateurs de courants puissants (jusqu'à 3 nœuds) et de générateurs de vents (jusqu'à 30 nœuds). Des équipements électroniques de pointe peuvent enregistrer avec une grande précision les trajectoires des maquettes pendant les formations.

UNE DYNAMIQUE D'INNOVATION PERMANENTE

Afin de s'adapter aux attentes de ses clients, le Centre de Port Revel fait évoluer son offre de services en privilégiant le partenariat : des sessions et équipements spéciaux sont conçus en étroite collaboration avec les stagiaires, comme ce fut le cas pour les remorqueurs d'escorte destinés aux pilotes de San Francisco.

Les équipes de Port Revel sont ainsi en prise directe avec le monde maritime dont elles suivent les évolutions techniques. Elles bénéficient notamment des travaux du Laboratoire d'Hydraulique qui modélise physiquement le comportement des navires amarrés sous les efforts hydrodynamiques dans des conditions qui viennent fiabiliser les modèles numériques.

et à l'équiper d'une "RESA" (Runway End Safety Areas), en l'occurrence une aire de sécurité en bout de piste. Elle a confié à notre agence à La Réunion la maîtrise d'œuvre de cette opération. Le problème était de prolonger la piste en empiétant le moins possible sur le port de plaisance de Sainte-Marie construit à son extrémité.

Travaillant de concert avec les spécialistes Transport et Maritime du groupe Artelia, nos équipes sur place ont mis en œuvre un système original de lit de freinage d'urgence, qui a permis de limiter l'allongement nécessaire et l'empiètement sur le port de plaisance. Cette réalisation s'inscrit dans le cadre plus global de la création des RESA, imposée par la nouvelle réglementation européenne afin de limiter les risques de sortie de piste des avions à l'atterrissage. Des aires de sécurité aux extrémités de la piste dite "courte" sont d'ores et déjà opérationnelles, tout comme celle située au bout de la piste "longue", côté rivière des Pluies. Les travaux viennent d'être réalisés à l'autre extrémité, côté port de Sainte-Marie.

La création de cette quatrième aire de sécurité a nécessité l'édification d'un mur de soutènement et l'apport de 8 000 m³ de remblais afin de créer la plate-forme qui supporte le lit d'arrêt. Long de 71 mètres et large de 50, l'EMAS (Engineered Materials Arresting System) a une épaisseur variable, allant de 7 cm au point d'impact potentiel avec un train d'atterrissage, à 47 cm à l'autre extrémité. 1 500 m³ de granulats en mousse de verre ont été mis en œuvre.

Le matériau repose sur un support en enrobé, une géo grille et un profilé métallique formant des rangs de 70 cm de large sur toute la longueur de l'EMAS. Un coulis de béton de 5 cm d'épaisseur vient ensuite recouvrir la totalité de la surface du lit d'arrêt, afin de maintenir les granulats en place. Le béton utilisé, très friable, est également conçu pour s'écraser sous le poids d'un avion.

Parmi les projets en cours ?

Parmi les plus emblématiques, la réalisation du futur musée Guggenheim est déjà très avancée. Le bâtiment qui l'accueillera a été imaginé par l'architecte Frank Gehry, également le concepteur du Guggenheim de Bilbao.

Le musée, qui s'appellera le Guggenheim Abu Dhabi, sera établi sur l'île naturelle de Saadiyat, ou l'île du Bonheur, d'une surface de 27 km² située à 500 mètres au large d'Abu Dhabi. ▷



12a



12b

DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL AVEC MOE

Le 5 décembre 2019 le groupe Artelia a fait l'acquisition de MOE, un acteur majeur de l'ingénierie au Danemark. Ce rapprochement offre à Artelia des perspectives de croissance prometteuses en Europe du Nord dans les domaines des transports, de l'ingénierie maritime, de l'hydro-électricité et plus largement, des énergies renouvelables.

MOE figure parmi les premières ingénieries danoises, et bénéficie d'un solide ancrage sur son marché domestique. Basée à Copenhague et dotée d'un réseau d'agences régionales, MOE dispose également de deux filiales, situées respectivement en Norvège et aux Philippines.

Son chiffre d'affaires consolidé atteint 82 M€ en 2018. Ses 900 collaborateurs apportent une expertise de haut niveau dans trois domaines complémentaires, le bâtiment, l'énergie & l'industrie, et les infrastructures.

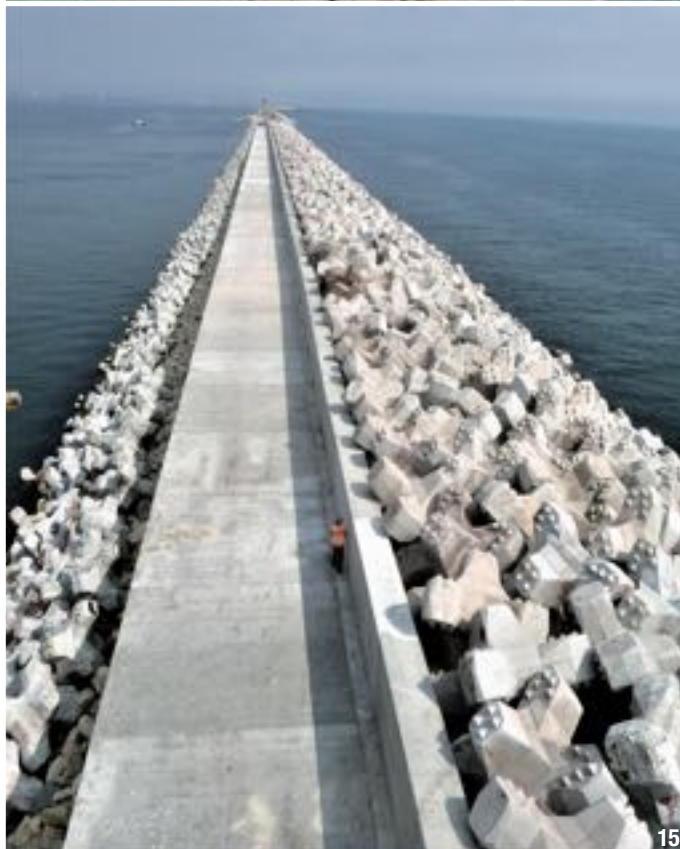
Cette opération de croissance externe s'inscrit pleinement dans la trajectoire affichée d'Artelia de se développer de manière tout à la fois soutenue et maîtrisée, et de devenir un leader sur le marché européen.



13



14



15

Un projet en trois phases prévoit de convertir l'île d'ici 2022 de site de recherches agricoles en "district culturel" comprenant, notamment, un musée national, un musée d'art classique, des centres artistiques et des zones résidentielles.

En fait, le Guggenheim d'Abu Dhabi est entouré sur trois côtés par les eaux claires du golfe persique, servant de protection artificielle pour la partie Nord de l'île.

Une première étude prévoyait la protection du site par trois digues en mer détachées de l'île. Après réalisation de la plateforme artificielle gagnée sur la mer destinée à supporter le bâtiment, le maître d'ouvrage - l'Autorité du Tourisme d'Abu Dhabi (ADTA) - étudie des ajustements afin de mieux intégrer le musée au milieu maritime sur lequel il est bâti.

Son ouverture est prévue pour 2022. Il sera une des composantes du vaste district culturel envisagé sur l'île naturelle de Saadiyat, avec le Louvre-Abu Dhabi de Jean Nouvel, la Cité des arts (Performing Art and Conference Center) de Zaha Hadid, le Musée maritime de Tadao Andô et le musée national Cheikh Zayed de Norman Foster.

12a et 12b- "Réinventer Ganvié" : dynamisation de la cité lacustre sur le lac Nokoué au Bénin.

13- Extension du port de commerce de Port-la-Nouvelle dans l'Aude.

14- Le nouveau port de Tema au Ghana.

15- Extension de la digue Nord du port de Constanta en Roumanie.

Ce projet est piloté par la filiale d'Artelia basée à Dubai et chargée de l'ensemble des projets dans les Emirats Arabes Unis. □

- 1- **BERD** : Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement. L'objectif de la BERD est d'apporter aux banques, aux différents secteurs d'activité et aux entreprises des financements de projets lorsqu'ils favorisent la transition des économies dirigées vers l'économie de marché et l'instauration de sociétés régies par les principes de la démocratie pluraliste.
- 2- **DPDPM** : Direction des Ports et du Domaine Public Maritime.

IL Y A MIEUX POUR SE PROTÉGER DU BRUIT !



CONTRE LE BRUIT, PROFITEZ D'OFFRES EXCEPTIONNELLES



DE CONSEILS pour limiter le risque bruit et sensibiliser vos équipes.

DE SOLUTIONS DE PRÉVENTION à mettre en place sur vos chantiers et vos locaux : réduire le bruit à la source, agir sur l'organisation du travail...

D'OFFRES EXCLUSIVES* pour acheter des EPI contre le bruit : coquilles, casques, bouchons personnalisés.

www.contrelebruitjagis.com

* Offres du 1/03/2020 au 30/11/2020 chez : Auditech-innovation, Cotral, Deltaplus, Earsonic, Groupe RG, Interson, MSA, 3M et Uvex.



1
© ALIOS

ALIOS GÉOTECHNIQUE DE PROXIMITÉ MULTI-HORIZONS

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

ALIOS EST UNE ENTREPRISE À TAILLE HUMAINE - UNE CENTAINE DE PERSONNES - FONDÉE EN 1995 PAR PASCAL CHASSAGNE ET QUI EST DEVENUE AU FIL DES ANNÉES UN SPÉCIALISTE RECONNU DE L'INGÉNIERIE DU SOL ET DU SOUS-SOL AINSI QUE DES CAMPAGNES DE RECONNAISSANCE DANS LE DOMAINE DE L'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE, DE L'HYDROGÉOLOGIE ET DES ÉNERGIES RENOUVELABLES (ÉOLIENNE, PHOTOVOLTAÏQUE). PASCAL CHASSAGNE, FONDATEUR ET PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL, NOUS RACONTE SON PARCOURS AU TRAVERS DE QUELQUES-UNES DES RÉFÉRENCES QUI, RÉTROSPECTIVEMENT, FURENT DÉTERMINANTES POUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'AFFIRMATION TECHNIQUE DE L'ENTREPRISE ET DE CHANTIERS RÉCENTS QUI CONFIRMENT SON ENGAGEMENT DANS L'UNIVERS GÉOTECHNIQUE CONTEMPORAIN SOUS TOUTES SES FORMES.

Le siège social d'Alios qui fêtera cette année ses 25 ans d'existence est implanté à Urrugne, au pied de la Rhune, montagne mythique du Pays Basque, que l'on gravit à pied ou en petit train historique pour atteindre le sommet. Tout un symbole pour cet amoureux de la région.

Pour cet ingénieur titulaire d'un DEA de géologie appliquée, tout commence dans un garage de la périphérie bordelaise par des petites missions d'expertises et d'études géotechniques à caractère local. Mais, assez rapidement, Alios Ingénierie acquiert la confiance de clients plus représentatifs - Dassault,

**1 - Pénétré-
mètre statique
Pagani sur
chenilles
caoutchouc.**

les ASF, les DDE et DDA notamment - et se lance même en 1997, avec l'appui de Michel Bustamante, figure emblématique du LCPC, dans le chantier de la Bourse de Moscou. Ce projet lui permet d'effectuer ses premiers forages et essais pressiométriques de grande profondeur, avec



© MARC MONTAGNON

2

Pascal Chassagne est titulaire d'un DEA de géologie appliquée obtenu en 1984 à l'Université de Bordeaux 1.

Très vite, il rejoint le CEBTP où il y exerce des fonctions d'ingénieur d'études dans les établissements de Limoges, Pau-Bayonne et Bordeaux jusqu'en 1992.

En 1992, il est contacté par l'entreprise AIS pour créer son bureau d'études qu'il dirige jusqu'en 1995.

En 1995, il crée "Alios Ingénierie", devenue depuis "Alios", dans un garage de la banlieue bordelaise avec un unique collaborateur. Cela ne s'invente pas.

« Je voulais un nom court et qui ait, de préférence, une connotation régionale forte, précise-t-il. Pour la petite histoire, l'Alios (du gascon aliòs) est un grès typique des Landes de Gascogne, qui s'est formé par concrétion dans les dépôts sédimentaires, ou les sables amenés par le vent. C'est une roche résultant de la cimentation des grains de sable et graviers par des hydroxydes de fer, d'aluminium et de manganèse, ainsi que de la matière organique. »

L'activité d'Alios Ingénierie démarre de façon modeste avec des dossiers d'expertise notamment de maisons individuelles mais elle obtient rapidement la confiance de clients dont les projets sont plus importants tels que Dassault Aviation, les DDE locales et les DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt).

Cela permet à Alios Ingénierie de travailler sur des projets de bâtiments de logements, routes, digues, diagnostics de glissements de terrain. Elle réalise également des expertises pour les ASF (Autoroutes du Sud de la France).

« Les premiers chantiers me permettent d'entrer en contact avec de grands noms de la géotechnique en France, tout particulièrement Michel Bustamante, ingénieur au Laboratoire des Ponts et Chaussées, devenu le Cerema. »

Une complicité s'établit entre ces deux amoureux du Pays Basque et Michel Bustamante propose à Pascal Chassagne de l'accompagner sur des chantiers à l'étranger, en l'occurrence celui de la future Bourse de Moscou.

En 1997, Alios réalise ainsi l'étude de sols de cette tour dont il était prévu qu'elle atteigne plus de 100 mètres de hauteur mais qui sera construite sans jamais atteindre cette hauteur.

Ce projet lui permet d'effectuer ses premiers forages et essais pressiométriques de grande profondeur avec des paliers de grande durée, à Moscou avec l'ensemble du matériel dont elle disposait en France. Sur ce chantier aventureux, Alios réalise les investigations géotechniques tandis que l'ingénierie des fondations des pieux est assurée par Michel Bustamante. Ce chantier va constituer un facteur déclenchant montrant à ses clients sa crédibilité.

Par la suite, l'entreprise connaît un développement régulier avec des chantiers de référence : viaducs à hauteur de Liège sur la LGV Bruxelles-Cologne en Belgique, viaduc sur la Mira en Croatie.

Les premières filiales sont alors créées au début des années 2000 : Alios Pyrénées à Urrugne et à Toulouse tandis que des implantations suivent à Niort, Héricourt, Valence, Dijon, Paris...

En 2020, l'entreprise emploie une centaine de personnes dont un tiers d'ingénieurs et une trentaine d'équipes de sondages et a réalisé en 2019 un chiffre d'affaires de 12,5 M€ (hors Espagne).

Pascal Chassagne est également président de l'USG (Union Syndicale Géotechnique) depuis 2015 et membre du bureau géotechnique de Syntec-Ingénierie⁽¹⁾.

Dans le cadre de l'USG, il a contribué à la création du titre de sondeur en géotechnique.

1 - Voir Travaux n°955 - novembre 2019.

des paliers de grande durée, à Moscou avec l'ensemble du peu de matériel dont il dispose à Bordeaux. Sur ce chantier aventureux, Alios Ingénierie réalise les investigations géotechniques. Parallèlement, d'autres chantiers sont réalisés en France, évidemment, mais aussi en Belgique et en Croatie.

Un nouveau pas est franchi en 2002 avec le chantier du deuxième pont sur l'Orénoque à Puerto Ordas, au

2- Pascal Chassagne, président-directeur général du groupe Alios.

3- En 1997, le chantier de la Bourse de Moscou.

4- Le deuxième pont sur l'Orénoque à Puerto Ordas, au Venezuela.

Venezuela, pour le compte de l'entreprise de Travaux Publics brésilienne Odebrecht. L'Orénoque est le troisième plus grand fleuve au monde après l'Amazone et le Congo avec un débit de 36 000 m³ par seconde.

« Sur ce chantier, indique Pascal Chassagne, nous réalisons des sondages pressiométriques au droit des futurs appuis dont certains quasiment au milieu du fleuve qui fait plus de 3 kilomètres de

large, dans des conditions absolument dantesques, avec une hauteur d'eau d'une trentaine de mètres et un très fort courant, à partir d'une barge ».

Le chantier de l'Orénoque sera très formateur à la fois pour Pascal Chassagne et son premier foreur, qui faisait partie de l'aventure moscovite et qui est d'ailleurs toujours dans l'entreprise. En dehors de ces deux chantiers d'exception des tout débuts de l'entreprise, ▷



3

© ALIOS



4

© ISTOCKPHOTO



© MARC MONTIGNON

choisis pour leur exemplarité et qui ont été suivis depuis par plusieurs autres que nous évoquons par ailleurs, Alios réalise ce que Pascal Chassagne appelle de la "géotechnique de proximité" pour tous types de construction dans le secteur du bâtiment (logements collectifs, bureaux, commerces, locaux industriels, maisons individuelles)... Elle opère également dans le domaine du génie civil et des travaux publics pour la réalisation de ponts, de stations d'épuration, de réseaux, de voiries, de lignes LGB, de tramways, jusqu'aux remontées mécaniques en stations de ski, avec des collectivités locales et des entreprises privées.

Alios se positionne avant tout comme un bureau d'ingénierie géotechnique. « Dès la création de l'entreprise, précise Pascal Chassagne, je l'ai positionnée et organisée avec le souci de maîtriser les investigations par sondages et essais en laboratoire. À l'inverse de ce qui s'est passé en France mais aussi en Europe où de nombreux bureaux d'études se sont défaits de leurs outils d'investigation, j'ai toujours eu la volonté de maîtriser l'ensemble de la chaîne et donc de disposer de mon propre parc de matériel. Il est très rare que nous ne vendions que des investigations. Dans la quasi-totalité des cas, nous vendons de l'ingénierie géotechnique. Pour la réaliser, nous nous appuyons sur des investigations que nous maîtrisons pour mieux détecter les risques inhérents à toutes les interventions dans le sol ou le sous-sol. »

Pour mener ces investigations géotechniques - forages, sondages, prélèvements, mesures - Alios dispose d'un parc d'une trentaine de machines pilotées par autant d'équipes de sondeurs : → 30 unités mobiles de sondage composées de camions classiques



© ALIOS

6

ALIOS EN BREF

- 12,5 M€ de chiffres d'affaires en 2019.
- 100 collaborateurs.
- 13 implantations régionales : Biarritz (Urrugne), Bordeaux, Dijon, Héricourt, Limoges, Lyon, Niort, Paris, Périgueux, Saintes, Tarbes, Toulouse, Valence.
- 2 filiales à l'étranger : Ikerlur en Espagne (Saint Sébastien et Bilbao) et Alios Polska en Pologne.

et d'engins tout terrain 4X4, exclusivement des sondeuses Socomafor 10, 35, 50, 50/65, 65 sur chenilles caoutchouc permettant l'accès par des cheminements étroits, difficiles ou sur de fortes pentes. Ces machines permettent le forage à la tarière, le carottage, le tubage et la réalisation d'essais pressiométriques, la pose de tubes inclinométriques, les essais de pénétration dynamiques...

→ Un pénétromètre stato-dynamique 18 t Socomafor sur camion 6X6.

5- Dans les bureaux d'Urrugne, réunion de travail de quelques-uns des ingénieurs d'Alios avec, de gauche à droite : Frédéric Guibert, Hervé Lartigue, Christophe Meunier, Claire Kauffmann, Gilles Bourne et Pascal Chassagne.

6- L'agence d'Urrugne, au pied de la Rhune.

→ Deux pénétromètres statiques Pagani 15 t et 20 t, sur chenilles caoutchouc, avec foreuses tarières. Dans ce parc, figurent notamment les premières foreuses dotées d'une cage de protection physique en acier et désormais d'une cage immatérielle par rayons laser pour répondre à la législation afin de limiter les risques d'accident.

À ce parc de matériel sont associés plusieurs laboratoires - quasiment un par agence - avec un laboratoire principal à Bordeaux pour collecter et analyser les résultats, équipés pour des essais d'identification, de mesure des caractéristiques mécaniques, physiques, d'essais routiers.

« Le fait de maîtriser nos équipes de sondage, précise Pascal Chassagne, nous permet d'être très réactifs et de contrôler parfaitement la qualité du travail de nos sondeurs. À ce sujet, je m'inscris en faux contre une certaine idée de la profession qui considère que nous ne sommes que des "sondeurs". Notre travail est évidemment loin de se limiter à cette activité qui, au demeurant, nécessite un grand professionnalisme ».

Abordant le sujet de l'ingénierie géotechnique proprement dite, Pascal Chassagne insiste sur la volonté de son entreprise de suivre dans leur ensemble l'enchaînement des missions géotechniques, définies par la norme NF P 94-500 : G1 (études préalables), G2 (études de conception avec ses trois phases AVP, Pro et DCE/ACT), G4 (supervision géotechnique d'exécution). La mission G3 (études géotechniques d'exécution) est quant à elle commandée par la ou les entreprises titulaires du marché.

La mission G5 consiste en un diagnostic sur un ouvrage ou une partie d'ouvrage.



7

© ALIOS

Les investigations géotechniques se font en très grande partie dans la phase AVP (d'avant-projet). Lorsque le projet est figé, le travail s'effectue alors dans le cadre de la G2 Pro qui a pour but d'amener la consultation des entreprises puis de la DCE/ACT à l'issue de laquelle est fait l'appel d'offre.

« Alors que les géotechniciens sont très présents sur la phase G2 AVP et de plus en plus fréquemment sur la PRO, ils sont malheureusement trop souvent absents, regrette Pascal Chassagne, de la phase DCE/ACT au cours de laquelle sont figés les documents techniques pour consultation des entreprises, l'assistance à l'équipe de conception pour le choix de l'entreprise retenu et des variantes qu'elle peut proposer. En l'absence de phase DCE/ACT, le

7- L'un des massifs de fondations du parc éolien de Salles-de-Villefagnan en Charente.

8- Chantier éolien en Corse.

9- Chantier du parc de 40 éoliennes de Khalladi, au Maroc, à 50 km à l'est de Tanger sur les flancs de Jbel Soundouk.

géotechnicien se trouve alors directement impliqué dans la supervision de l'exécution géotechnique (G4), sans avoir pu donner son avis sur les choix

techniques retenus. Certains contentieux, discussions, retards de chantiers pourraient ainsi être évités. »

ÉNERGIES RENOUVELABLES : PRÈS DE 4 000 RÉFÉRENCES

Alios est aussi l'un des spécialistes français du secteur des énergies renouvelables pour l'étude des fondations d'éoliennes et des fermes photovoltaïques.

Aujourd'hui, la Division Énergies Renouvelables (EnR) du groupe - Alios Ingénierie - constituée dès 2003, est un acteur majeur de la filière éolienne avec des études géotechniques pour environ 40% du parc éolien français, mais également de nombreuses réalisations à l'étranger. Cette division a déjà à son actif près de 4 000 fonda-

tions d'éoliennes, ainsi que plus d'une centaine de centrales photovoltaïques au sol, dont la plus grande et la plus puissante d'Europe lors de sa construction (260 ha - 300 MW).

La division EnR réalise un chiffre d'affaires de 2,2 M€, soit 16% du chiffre d'affaires total du groupe (chiffres 2019).

Alios Ingénierie regroupe, dans un même service, ingénieurs et techniciens dédiés à l'étude, la préconisation et le suivi d'exécution des ouvrages, quelles que soient leurs implantations.

« Nous réalisons, indique Pascal Chassagne, les études de sols permettant un dimensionnement optimisé des fondations, comprenant des sondages pressiométriques sur sites et des essais en laboratoire ainsi que leur interprétation ▽



8

© ALIOS



9

© ALIOS



10 © ALIOS

par des ingénieurs expérimentés afin de fournir l'ensemble des paramètres géotechniques (statiques et dynamiques) nécessaires à la justification de la stabilité de ces ouvrages. Chaque éolienne d'un parc faisant l'objet d'une étude spécifique, il est ainsi possible d'adapter et d'optimiser le système de fondation au cas par cas.»

Une bonne préconisation doit comporter une exécution stricte et rigoureuse. Dans l'application de la norme NF P 94-500, Alios Ingénierie assure les études d'exécution (G2), un suivi d'exécution (G3 phases 1 et 2) ou

une supervision géotechnique (G4) qui veillera à la bonne exécution de l'ouvrage géotechnique. Depuis plus de 15 ans, elle a pu se forger une solide expérience dans ce domaine, participant à l'étude de près de 4 000 fondations d'éoliennes sur un total d'environ 400 parcs en France, dans les DOM/TOM (Nouvelle Calédonie, Guadeloupe) et à l'étranger (Maroc, Turquie, Belgique, Espagne et Pologne).

Le souci de fidéliser ses clients est même à l'origine de la création de Alios Polska en Pologne pour assurer l'étude, le suivi et l'assistance géotechnique de

10- L'une des machines de sondage Socomafor avec cage de protection immatérielle par rayons laser.

11- Sondages de digues le long de la Garonne.

12- Sondages sur barge sur la Garonne à Langon.

plus d'une dizaine de parcs éoliens dans le pays.

Actuellement, une trentaine de projets sont en cours de réalisation en France dont notamment plusieurs dans le nord de la Corse à Meria (14 éoliennes), Calenzana (8 éoliennes)...

HYDROGÉOLOGIE : UNE APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

La réalisation d'une étude de sols est devenue absolument indispensable, voire obligatoire selon les cas. Considérée longtemps comme une dépense



11

© ALIOS



12

© ALIOS

superflue, elle s'est transformée au fur et à mesure en investissement car elle permet d'identifier les conditions de stabilité des ouvrages et d'en assurer leur pérennité. De même, la prise en compte des eaux souterraines dans les projets d'aménagement et la construction, au travers d'une étude hydrogéologique, est devenue un facteur essentiel de la réussite et du bon déroulement des travaux. Ce type d'expertise nécessite une parfaite connaissance du contexte environnemental et de la réglementation en vigueur, ainsi que la maîtrise d'une discipline particulière : l'hydrogéologie.

En matière d'hydrogéologie, l'approche dépasse le seul problème technique des contraintes de sol pour aborder celui de l'environnement du chantier proprement dit étant entendu que nombre de sinistres sont liés à des problèmes de circulation d'eau en surface ou dans le sous-sol. L'analyse du contexte est essentielle car il est susceptible d'évoluer dans le temps en fonction des conditions météorologiques, des précipitations mais aussi des interactions avec tout ce qui entoure le projet en lui-même (constructions, cours d'eau à proximité, réseaux souterrains...).

Riche d'une expérience de presque 25 ans dans le domaine des études de sol, Alios a mis en place un service hydrogéologie pour compléter ses compétences et répondre à une demande croissante.

Grâce à ses moyens humains - 3 ingénieurs (2 hommes et 1 femme) - et en matériels, elle se positionne comme un acteur important dans le domaine de la géotechnique et de l'hydrogéologie. « Nos domaines de compétences reposent à toutes les demandes,

© ALIOS



13

ALIOS : MOYENS DE CALCULS

- **Éléments finis / Différences finies : Plaxis, Flac 3D.**
- **Fondations : Foxta, Tasplaq, Taspie, Calpress DTU, Pieux DTU.**
- **Hydrogéologie : modélisation d'écoulements souterrains Visual Modflow.**
- **Stabilité : Talren, Rido, Winmur, Geospar, Dénébola, KRéa.**
- **Traitement des données : Espress, Sondage.**
- **Traitement paramètres de forage : Géovision, Limsoft, Socomalog, Exepf-Jean Lutz.**
- **Voirie : Alizée Lcpc, Struct-Urb.**

13- Essai de pompage suivi par Adrien Combaud, responsable du service hydrogéologique de Alios.

14 et 15- Le glissement de terrain à Gazost, dans les Hautes Pyrénées, avant et après les travaux, à l'issue de la reconstruction de la voirie d'accès au village.

indique Pascal Chassagne : *qu'il s'agisse d'études hydrogéologiques associées à des projets de construction, d'assainissement individuel ou collectif, de gestion des eaux pluviales, de diagnostic de pollution des sols et des eaux souterraines, de diagnostic de zones humides ou de dossiers de déclaration et d'autorisation au titre des articles L214-1 et suivant du code de l'environnement (loi sur l'eau), Alios a mis en place l'ensemble des moyens nécessaires pour répondre aux demandes.* »

Les instrumentations et essais communément réalisés consistent en la mise en place de piézomètres ainsi que de dispositifs pour les essais de perméabilité in situ (Porchet, Matsuo, Lefranc, Lugeon, double et simple anneau), la pose de sondes de suivi et d'enregistrement des niveaux d'eau, de pompes immergées pour le prélèvement d'eau et la réalisation d'essais de pompage, tout cela en vue de l'analyse des données et de leur utilisation pour modéliser les écoulements.

RÉALISATIONS : UN CHOIX FORCÉMENT ARBITRAIRE

Compte tenu de l'ancienneté d'Alios et de la diversité des projets sur lesquels elle intervient, il n'était évidemment pas aisé d'extraire de la multitude de ses réalisations quelques-unes d'entre elles particulièrement significatives. Même si ce choix est par essence arbitraire, il rend bien compte, malgré tout, de son implication sur tous les "marchés" géotechniques :

→ La LGV Bordeaux/Tours avec l'instrumentation dans le cadre de remblais sur sols compressibles (profilomètres, tassomètres et inclinomètres) en Gironde et en Charente-Maritime. Le but de l'intervention était de calculer les tassements de remblais compressibles, de les vérifier et de suivre leur évolution jusqu'à l'achèvement de la construction des remblais.

→ Dans le cadre de la rénovation de l'ancienne chambre de l'agriculture de Toulouse, bâtiment en simple RDC sur 3 niveaux de sous-sol reposant sur radier cuvelé et paroi moulée périmétrique, aucun plan ▷



14

© ALIOS



15

© ALIOS



16
© ALIOS



17
© ALIOS

de l'existant n'était disponible, et la nappe présente à -3 m/TN. Malgré ce contexte inconnu, et avec un projet d'élévation de 5 étages, la mission d'Alios consistait à proposer le système de fondations, ce qui a été réalisé dans un délai record d'un mois et demi grâce à des interventions complexes et très ciblées permettant de réutiliser et de renforcer la structure existante.

→ Les diagnostics géotechniques et études géotechniques de conception concernant les digues permettant de lutter contre les inondations fluvio-maritimes en Gironde (notamment sur la commune de Bordeaux) et en Charente-Maritime (en lien avec le changement climatique) : contrôle in situ des problèmes détectés par des diagnostics visuels préalables, mise en évidence des risques éventuels, détermination des travaux à réaliser en priorité pour neutraliser des ruptures éventuelles, intervention auprès des entreprises spécialisées en phase de conception pour dimensionner les ouvrages en cas de reconstruction ou de renforcement de digues existantes...

→ La reconstruction d'une voirie d'accès à une partie du village de Gazost (65) coupée du reste du village, et des accès vers la vallée, suite à un glissement de terrain d'environ 50 000 m³ - missions G2AVP, PRO, DCE pour le Conseil Départemental (65). Par la suite, le réaménagement et la mise en œuvre de mesures de prévention sur plusieurs parcelles impactées. L'objectif du projet de réaménagement étant de limiter les risques pour les constructions situées aux limites de la zone de glissement et pouvant être impactées par une évolution de l'érosion.

→ Le projet recherche et développement de "hyperloop transportation" : Alios Pyrénées a réalisé des études géotechniques concernant les prédimensionnements des fondations du tunnel aérien d'essai d'un kilomètre, et de la piste d'essai de trois cents mètres inaugurée en 2019. Les sondages ont été réalisés

16- Essais pressiométriques sur la LGV Bordeaux-Paris à Ambarès.

17- Expertise de falaise dans la région de Périgueux par Gaëlle Abrachy, responsable Bâtiment et Génie Civil d'Alios.

sur l'ancienne base de Franczal. Ils ont nécessité une détection préalable d'explosif avant et pendant le forage. Les sondages et les études ont été réalisés dans des délais courts permettant aujourd'hui l'inauguration de la piste d'essai.

→ Les diagnostics géotechniques (G2PRO) pour le chantier de la Cité internationale de la gastronomie et du vin à Dijon. Elle se déploiera sur un terrain de 6,5 hectares, sur le site de l'ancien hôpital général, aux portes du centre historique et au 1^{er} kilomètre de la route des grands crus. L'ensemble bâti de 70 000 m², conçu par l'agence d'architecture Anthony Béchu, se composera de bâtiments historiques rénovés des XVI^e, XVII^e et XVIII^e siècle et de constructions résolument contemporaines, faisant entrer le site de plain-pied dans le XXI^e siècle. Le groupe Eiffage a été choisi, au terme d'un appel à manifestation d'intérêt, pour mettre en œuvre cet ambitieux chantier.

→ Le futur pôle tertiaire Viotte à Besançon. Le projet conçu par l'architecte Brigitte Métra met en avant deux bâtiments signaux, symboles de la transformation du quartier et de la mutation de ses usages. Semblant dialoguer avec la ville historique et le Doubs, ils réinterprètent de manière contemporaine le riche patrimoine bisontin composé de la pierre bleue de Chailluz tout en créant un lien entre la mémoire de la ville et son devenir.

Parmi les projets d'avenir immédiat, Alios travaille sur des problématiques de stockage souterrain de CO₂ en réalisant des forages dans des carrières souterraines à Saint-Émilien pour la réalisation de recherches dans ce domaine ainsi que sur des parcs éoliens au Cap Corse. □

IKERLUR : ÉLARGISSEMENT D'HORIZONS

Un partenariat a été signé en décembre 2018 avec la société Ikerlur, bureau d'études géotechniques de Guipúzcoa (Pays Basque), fondé en 1988 par Ioseba Jugo et Iñaki Ibarbia et spécialisé dans les études et les projets liés à la géologie et la géotechnique appliquées à l'ingénierie civile et à la construction.

Cette opération constitue un renforcement très important pour la consolidation d'Ikerlur en tant que société indépendante de référence pour les études géotechniques au Pays basque et pour sa future expansion sur le marché espagnol, s'appuyant sur une compétence technique et une solvabilité financière apportées par son nouveau partenaire stratégique.

Alios et Ikerlur partagent la même philosophie d'entreprise, fondée sur la rigueur technique des services qu'ils fournissent et leur indépendance professionnelle, c'est-à-dire, sans liens avec d'autres sociétés d'ingénierie, d'entreprises de BTP, de laboratoires ou de fabricants de matériel.

Alios estime également que, du fait des liens culturels et historiques entre l'Espagne et les pays latino-américains, ce partenariat pourrait faciliter la pénétration sur ces marchés (en particulier au Mexique) et l'accompagnement de certains de ses clients actifs dans des secteurs dynamiques tels que la construction et la production d'énergie éolienne.

« Afin d'accélérer notre expansion internationale, nous considérons stratégique la signature de cet accord avec Ikerlur dans la mesure où elle nous permettra de consolider notre présence sur le marché basque et de l'étendre au marché espagnol dans son ensemble et, avec effort et persévérance, aux marchés plus dynamiques d'Amérique latine. Nous partageons avec Ikerlur le goût de la rigueur technique de nos rapports, études et projets, ainsi que de l'accompagnement et de la recherche des solutions les plus économiques pour nos clients, mais sans que cela ne mette en danger la sécurité des personnes, travaux et bâtiments, ni sacrifier la valeur et le résultat de notre travail professionnel en érodant le coût de nos services, qui aspirent toujours à la rentabilité. »

Ikerlur réalise un chiffre d'affaires de 1 M€, emploie une quinzaine de personnes à Saint-Sébastien et dispose désormais d'une deuxième implantation à Bilbao.

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

ÉNERGIE

943

OUVRAGES D'ART

948

INTERNATIONAL

953

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

944

SPÉCIAL GARES ET STATIONS

949

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

954

INTERNATIONAL

945

SOLS ET FONDATIONS

950

OUVRAGES D'ART

955

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

946

ÉNERGIE

951

TRAVAUX SOUTERRAINS

956

TRAVAUX SOUTERRAINS

947

VILLE ET PATRIMOINE

952

SPÉCIAL INNOVATION

957



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

JE COMMANDE LES NUMÉROS

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

943 x	1 1 948 x	1 1 953 x
944 x	1 1 949 x	1 1 954 x
945 x	1 1 950 x	1 1 955 x
946 x	1 1 951 x	1 1 956 x
947 x	1 1 952 x	1 1 957 x

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

Pour vos commandes de plus de 20 numéros, le prix passe à 15 € à l'exemplaire.

Cette revue, numéro 943 (2011) est le plus ancien journal technique français de l'industrie des Travaux Publics. Elle est publiée par Eyrolles, un éditeur français de référence. Elle est diffusée gratuitement à tous les abonnés de la revue. Elle est diffusée gratuitement à tous les abonnés de la revue. Elle est diffusée gratuitement à tous les abonnés de la revue.

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer cet adresse mail

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

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

Je régle à réception de la lecture

Je souhaite recevoir une facture accusée

Cote, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



1

© FRANCE MACCAFERRI

PROTECTION CONTRE LE RISQUE DE REMONTÉE DE CAVITÉS PAR GÉOGRILLE DE RENFORCEMENT

AUTEUR : SÉBASTIEN GASTAUD, RESPONSABLE DÉPARTEMENT GÉOSYNTHÉTIQUES, FRANCE MACCAFERRI

LA FRANCE COMPORTE DE NOMBREUSES RÉGIONS SUJETTES AUX RISQUES GÉOLOGIQUES DE REMONTÉE DE CAVITÉS, ENTRAÎNANT AFFAISSEMENTS ET EFFONDEMENTS EN SURFACE. LES GÉOGRILLES DE RENFORCEMENT CONSTITUENT UNE SOLUTION EFFICACE POUR LIMITER CE RISQUE SUR DE GRANDES SURFACES. ELLES SONT EN MESURE DE REPRENDRE LES CHARGES DES STRUCTURES SUS-JACENTES ET AINSI EMPECHER L'EFFONDREMENT BRUTAL. L'UTILISATION DES GÉOGRILLES, LEUR DIMENSIONNEMENT ET LEUR MISE EN ŒUVRE SONT ILLUSTRÉS SUR TROIS CHANTIERS DIFFÉRENTS.

LA PROBLÉMATIQUE DE REMONTÉE DE CAVITÉS

En France, de nombreuses régions présentent des problèmes de remontée de cavité entraînant des affaissements du sol (déformation lente et sans rupture) ou des effondrements (événement soudain avec rupture formant un vide franc) (figure 2). Ces cavités portent de nombreux noms différents : catiche dans le Nord, bétoire en Normandie, marnière dans l'Est, gouffre et scialet dans les zones karstiques, fontis... Elles peuvent être d'origine :

→ Naturelle par dissolution de roches solubles (karst calcaire ou poche d'évaporite) ou par suffusion (entraînement de particules fines par l'écoulement d'eau) ;



2

© LA GAZETTE DU VAL D'OISE

1- RN19 Déviation de Port-sur-Saône.
2- Exemple de cavités.

1- National highway RN19 Port-sur-Saône diversion.
2- Example of cavities.

→ Anthropique comme les carrières souterraines (catacombes) ou minières, dans lesquelles les roches ou les étayages en bois s'altèrent après la fin de l'exploitation des gisements.



© FRANCE MACCAFERRI
3

Différents organismes sont en charge de la gestion du risque de cavité : le Brgm, l'Ineris et le Cerema. Des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) dédiés aux cavités existent, dont l'inventaire départemental des cavités souterraines. Une banque de données nationale répertorie les cavités souterraines abandonnées, hors mines (www.georisques.gouv.fr).

Dans un contexte de dérèglement climatique, une aggravation des risques est à craindre notamment à cause de l'augmentation des battances saisonnières des nappes phréatiques.

En effet, les roches sont très sensibles à la variation de leur saturation en eau (pression interstitielle contrôlant la

3- Mise en œuvre géogrille ParaLink®.

4- Protection d'une chaussée contre l'effondrement avec ancrage en tranchée.

3- Laying ParaLink® geogrid.

4- Protection of a pavement against collapse, with anchoring in trench.

contrainte effective). En été, les pompages des nappes sont de plus en plus intenses, associés à une température supérieure, l'assèchement des sols est accru. À l'inverse, en hiver, la pluviométrie est plus forte et les crues plus régulières, ce qui sature les sols. Il faut aussi ajouter que l'acidification des eaux d'infiltration à cause de la pollution accélère la dégradation des roches. Le risque d'effondrement est donc un phénomène de plus en plus fréquent.

Lorsqu'un site est dans une zone sujette à cavités, il convient de réaliser des investigations géotechniques. Elles reposent sur les bases de données, les PPRN et l'utilisation de techniques

géophysiques, telle que la microgravimétrie, la résistivité électrique, la sismique réflexion ou les méthodes électromagnétiques qui peuvent permettre de cartographier les hétérogénéités. Des sondages permettent ensuite de confirmer et de mieux connaître la taille des cavités ou des décompressions importantes.

TRAITEMENT DES CAVITÉS

Lorsque des cavités importantes sont détectées, il est nécessaire de les sécuriser par des méthodes traditionnelles. Dans les cavités anthropiques visibles, des renforts maçonnés peuvent être mis en œuvre directement dans la cavité. Pour les cavités naturelles ou anthropiques non visibles, plusieurs méthodes sont envisageables :

- Comblement partiel ou total (coulis de béton, déblais, déchets inertes, ...)
- Réalisation d'une dalle en béton armé en tête de la cavité pour la ponter ;
- Terrassements lourds pour abattre les matériaux de couverture dans les cavités sous-jacentes, envisageable lorsque les cavités sont peu profondes.

En tout état de cause, le traitement des cavités existantes ne supprime pas totalement le risque d'effondrement. Les matériaux en profondeur sont évolutifs et de nouvelles cavités peuvent se développer non loin des cavités déjà traitées.

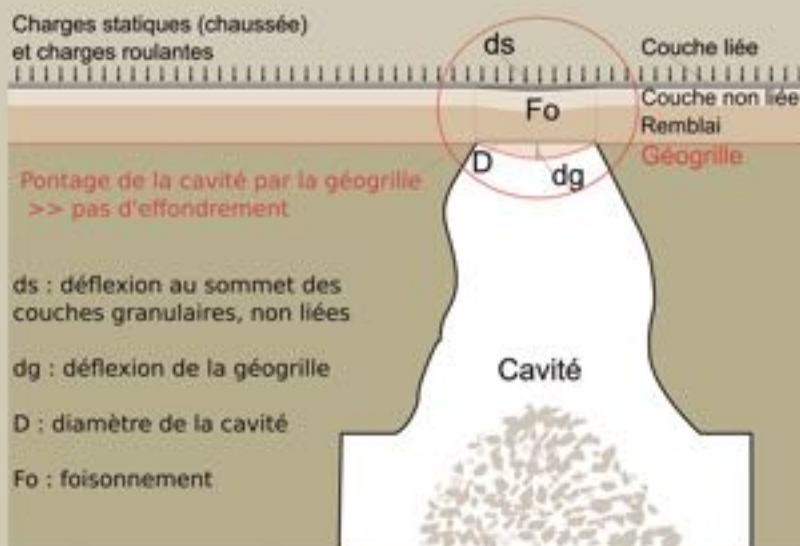
Pour réellement limiter le risque de cavité durant toute la durée de vie de l'ouvrage et sur la totalité de la zone à risque, les géogrilles de renforcement sont une solution particulièrement efficace et pertinente.

Outre ce traitement total de la zone à risque, une bonne gestion des eaux d'infiltration est nécessaire.

LES GÉOGRILLES DE RENFORCEMENT

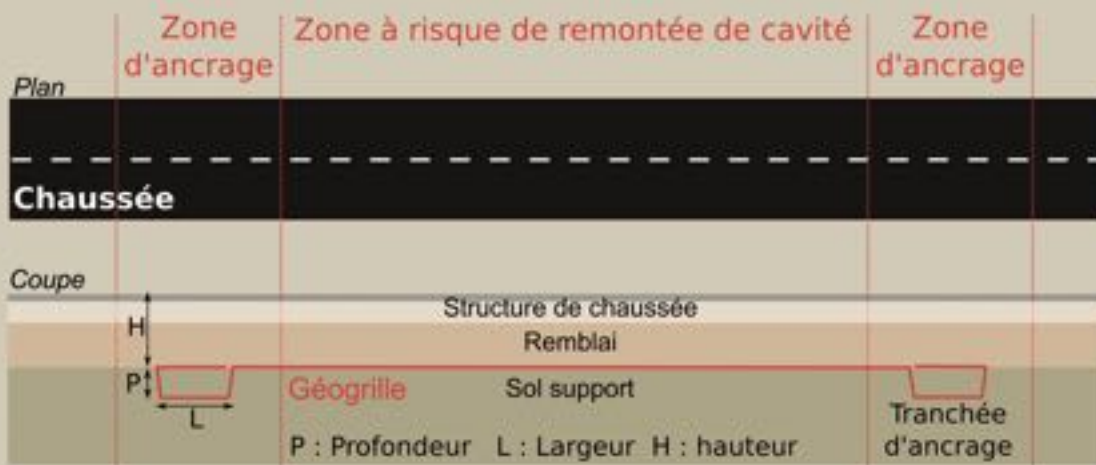
Les géogrilles sont des géosynthétiques de renforcement parfaitement indiqués pour protéger de larges zones du risque d'effondrement. Elles fonctionnent par effet membrane et pontent le sommet des cavités. Grâce à un coût beaucoup moins important que le comblement ou la réalisation de dalles béton (facteur de 3 à 10), elles offrent la possibilité de se prémunir d'un risque important à moindre coût. Leur conditionnement en rouleaux à la dimension de la zone à traiter permet une installation aisée et rapide qui s'intègre au terrassement (figure 3).

PROTECTION D'UNE CHAUSSÉE CONTRE L'EFFONDREMENT AVEC ANCRAGE EN TRANCHÉE



© FRANCE MACCAFERRI
4

DIMENSIONNEMENT D'UNE GÉOGRILLE SUR CAVITÉ : GÉOMÉTRIE CONSIDÉRÉE PAR LA MÉTHODE RAFAEL



5

© FRANCE MACCAFERRI

5- Dimensionnement d'une géogrille sur cavité : géométrie considérée par la méthode Rafael.

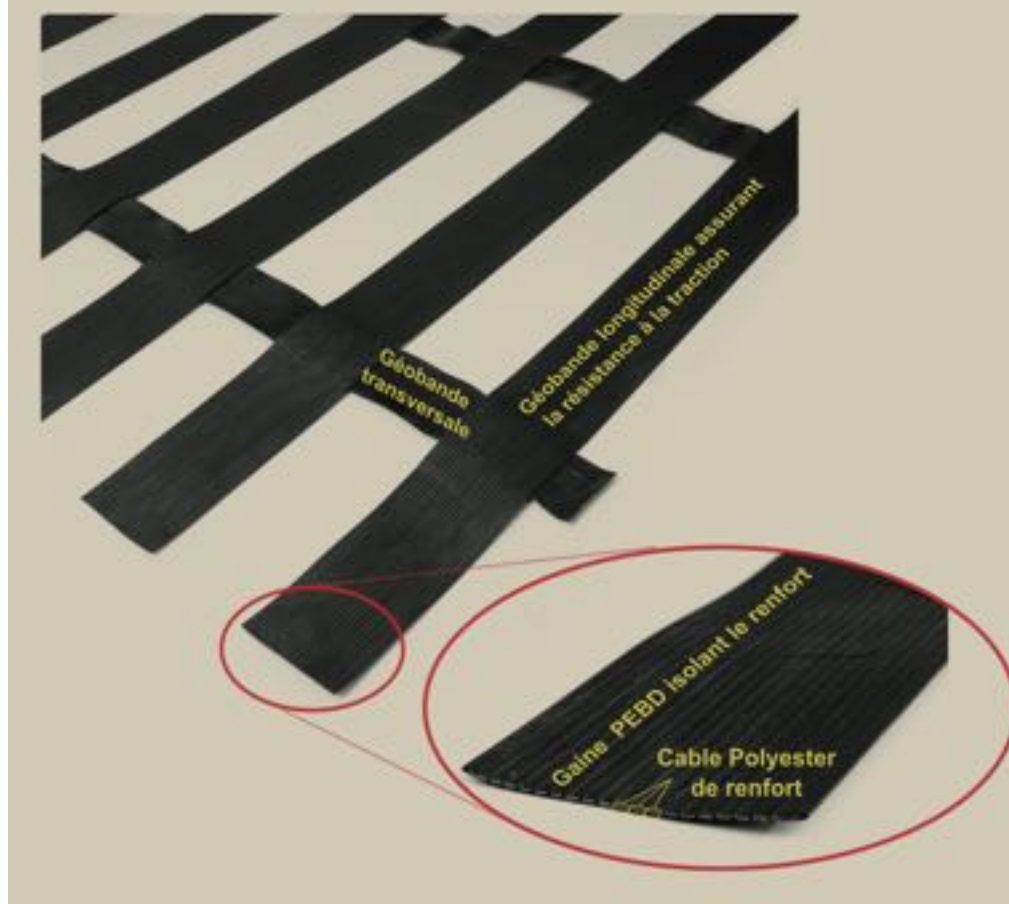
6- Détail composition géogrille ParaLink®.

5- Design of a geogrid over a cavity: geometry determined by the Rafael method.

6- Detail of composition of the ParaLink® geogrid.

Les géogrilles sont caractérisées par une forte résistance à la traction (jusqu'à 2000 kN/m). Elles sont, par définition, constituées de polymère. Elles doivent se déformer d'environ 3 à 6% pour reprendre efficacement des efforts en traction. Ainsi, les géogrilles sont rarement utilisées sous des bâtiments car la déformation nécessaire à la mobilisation de la géogrille est en général trop importante pour qu'elle soit acceptée par le bâtiment. À la différence des géotextiles tissés (utilisés en renforcement provisoire), dans lesquels le polymère de renfort n'est pas protégé de l'environnement, la plupart des géogrilles possèdent une enduction, ou mieux une gaine qui isole le renfort de l'environnement. Par ailleurs, les géogrilles sont des géosynthétiques ouverts, comportant des mailles, dans lesquelles le sol s'imbrique pour ajouter de la butée en plus

DÉTAIL COMPOSITION GÉOGRILLE PARALINK®



6

© FRANCE MACCAFERRI

des frottements et optimiser l'ancrage. Les géogrilles sont principalement utilisées en protection contre les cavités sous les infrastructures linéaires (route, rail), sous les parkings, les zones de dépôt, les installations de stockage de déchets, les bassins, etc.

DIMENSIONNEMENT DES GÉOGRILLES

Dans les chantiers présentés dans cet article, les géogrilles ont été dimensionnées selon la méthode Rafael, issue d'un programme de recherche français et en partie basée sur la méthode bri-

tannique de la BS 8006. Les principales données d'entrée sont : le diamètre de la cavité dont on souhaite se prémunir et la déflexion maximale admissible en surface (figure 4). Le maître d'ouvrage peut aborder le choix de déflexion de surface de deux manières :



7

© FRANCE MACCAFERRI

→ **Une déflexion très faible en surface afin de rendre inaperçue la cavité (0 à 1 %).**

La géogrille doit alors être en mesure de supporter l'ouvrage durant toute sa durée de vie, et le fluage à long terme de la géogrille doit être intégré dans les calculs. Pour les cavités évolutives en diamètre, cette option présente le risque de ne pas voir la cavité à son diamètre de dimensionnement, et de courir le risque d'un effondrement brutal lorsque le diamètre réel deviendra supérieur. Cette approche conduit aussi à des géogrilles beaucoup plus résistantes car elles doivent travailler à des déformations moindres et à des polymères ayant un faible taux de fluage post construction (typiquement moins de 1 % pour le polyester).

→ **Une protection contre tout effondrement brutal et dangereux**

tout en tolérant une déflexion en surface plus importante (5-10 %) : la cavité sera alors détectable et devra être traitée ponctuellement par remblayage ou par la réalisation d'une dalle béton. La géogrille doit donc supporter l'ouvrage durant le temps nécessaire pour intervenir sur la cavité (quelques mois à quelques années). Cette approche visant à être alerté par une déflexion en surface de la remontée d'une cavité est plus sécuritaire avec des cavités évolutives. La déflexion en surface est atteinte quand la cavité atteint le diamètre de dimensionnement, puis la cavité est traitée avant que le diamètre ne s'accroisse.

7- Parking bus Bruay-la-Buissière.

8- Tranchée d'ancrage Bruay-la-Buissière.

7- Bus parking lot at Bruay-la-Buissière.

8- Anchoring trench at Bruay-la-Buissière.



8

© FRANCE MACCAFERRI

Une fois les hypothèses posées, la méthode Rafael permet de définir l'effort dans la géogrille selon sa déformation. Il vient ensuite la phase de justification, qui permet de calculer la résistance de la géogrille à long terme et à la déformation du projet selon la nature du sol (granularité et pH), la température et la durée de service envisagée (fluage, dégradation chimique). Le *British Board of Agreement* certifie en Angleterre les produits utili-

sés sur les autoroutes depuis 1966. Les géogrilles de qualité sont notamment certifiées par le BBA : ses avis techniques détaillés font référence car ils offrent une description complète de la géogrille, de ses caractéristiques géométriques et mécaniques mesurées par des laboratoires tiers (angle de frottement et résistance à la traction) et surtout les coefficients de réduction à appliquer selon le contexte pour déterminer la résistance à long terme de la géogrille. La méthode Rafael permet aussi de définir les longueurs d'ancrage nécessaires de part et d'autre de la zone à risque et les longueurs de recouvrement entre lés (figure 5).

LES GÉOGRILLES MACCAFERRI

Les géogrilles Paragrid® et Paralink® produites en Angleterre par Linear Composites Ltd (groupe Maccaferri) ont un processus de fabrication qui leur confère une très grande durabilité : ces géogrilles ont la particularité de comporter une gaine en PEBD, un polymère extrêmement durable, qui protège le polymère de renforcement (PET haute ténacité) (figure 6). Ainsi, le renfort est isolé de l'environnement contre l'endommagement à la mise en œuvre et la dégradation chimique : ces géogrilles présentent des facteurs de réduction parmi les plus faibles du marché. Elles sont certifiées par le *British Board of Agreement* (BBA/UK) et le *National Transportation Product Evaluation Program* (NTETP/USA), qui garantissent les coefficients de réduction pour une durée de service du produit de 120 ans.

EXEMPLES DE CHANTIERS

Dans le tableau 1, les hypothèses et résultats des dimensionnements selon la méthode Rafael sont présentés pour les différents chantiers. Plus la géogrille est installée en profondeur, plus l'effet voûte est efficace et plus le foisonnement (augmentation du volume du sol sous l'effet de la décompression) permet de limiter la déflexion en surface. Ainsi, bien que contre-intuitif, une géogrille installée plus profond limite plus efficacement la déflexion en surface tout en étant moins sollicitée.

CITÉ DES ÉLECTRICIENS BRUAY-LA-BUISSIÈRE (62)

La Cité des Électriciens est la plus ancienne cité minière du Nord-Pas-de-Calais. Construite vers 1855, elle s'est fortement délabrée depuis l'arrêt de l'activité minière en 1979 pour devenir une friche. À la suite du film "Bienvenue chez les Ch'tis", partiellement tourné dans ce lieu, la ville de Bruay-la-Buissière a souhaité redonner une seconde vie à ce quartier et en faire un lieu culturel. Un projet urbanistique majeur a été mené afin de construire un centre d'interprétation, des jardins partagés, des salles de spectacles et une résidence d'artiste, ouverts au public en mai 2019.

Ce nouveau lieu touristique et culturel de premier plan est intégralement construit sur les vestiges de la fosse n°2 : un grand nombre de cavités minières sont présentes en profondeur et toutes ne sont pas localisées. Elles génèrent un risque d'effondrement en surface important. Au niveau des bâtiments, un comblement généralisé a été effectué. Le coût de ces comblements a dépassé très largement le budget estimé. Afin d'éviter la remontée de cavité et de se prémunir contre les effondrements pouvant survenir en surface au niveau des accès et des parkings, Maccaferri a été contacté par le maître d'œuvre (Verdi Ingénierie) et la société réalisant le terrassement (Pinson Paysage) afin de proposer une solution de renforcement par géogrilles permettant de sécuriser les zones sans avoir recours à de très coûteux com-



9
© FRANCE MACCAFFERRI

blements. Deux types de géogrilles ont été proposés selon les zones affectées :

→ Au niveau du parking des bus, la Paralink® 600 a été posée (figure 7). Cette géogrille a une résistance de 60 t par mètre de largeur : elle limiterait la déflexion à 36 cm si une cavité de 3 m de diamètre venait à remonter. Ce calcul intègre une surcharge générée par 2 demi-essieux tandem de 2 bus qui seraient garés à l'aplomb de la cavité (soit 32 t sur la cavité). Des tranchées d'ancrage de 2,5 m de large et 2 m de profondeur ont été réalisées en dehors de la zone à protéger (figure 8).

9- Rue de la Montat à Saint-Étienne.

9- Montat street in Saint-Étienne.

→ Au niveau des cheminements piétons, la Paragrid® 100 serait en mesure de limiter la déflexion en surface à 40 cm en cas de remontée d'une cavité de 3 m de diamètre.

RUE DE LA MONTAT À SAINT-ÉTIENNE (42)

Le quartier Pont-de-l'Âne - Monthieu constitue l'entrée principale de la ville de Saint-Étienne.

Un ambitieux chantier de transformation vise à créer un quartier plus attractif, plus accessible aux piétons et comportant de nouvelles surfaces commerciales, notamment le pôle commercial Steel. Dans le cadre du réaménagement de la zone, la N488 (2x2 voies) devait être rénovée.

Entre 1854 et 1923, la société des Houillères de Saint-Étienne exploitait une dizaine de puits dans l'est de Saint-Étienne, dont 3 sont situés aux alentours du chantier. Cet héritage minier a laissé de nombreuses galeries génératrices d'affaissements et d'effondrements en surface. Le Plan de Prévention des Risques Miniers classe certaines sections du chantier en bleu foncé, c'est à dire qu'il est nécessaire de prévoir des solutions de lutte contre l'aléa minier pour pouvoir construire. La société Colas, en charge de la réfection de la voirie, devait prévoir un système de sécurisation vis-à-vis du risque d'effondrement. Maccaferri a proposé une solution de renforcement par géogrille permettant de sécuriser la zone tout en respectant les exigences environnementales du projet (figure 9). La Paralink® 400 a une résistance de 40 t par mètre de largeur est en mesure de limiter la déflexion en surface à 27 cm si une cavité de 3 m de diamètre venait à s'ouvrir.

RN19 DÉVIATION DE PORT-SUR SAÔNE (70)

La déviation de Port-sur-Saône par la RN19 fait partie du projet d'aménagement de la liaison Langres (A31) - Delle (frontière suisse) via Vesoul, Lure et Héricourt. Avec ce projet, l'État et la DREAL Bourgogne-Franche-Comté se donnent pour objectifs de rendre plus accessible les territoires traversés pour favoriser leur développement économique, mais aussi pour améliorer les conditions de circulation et la sécurité des usagers et des riverains.

TABLEAU 1 : PRINCIPALES INFORMATIONS SUR LES 3 CHANTIERS PRÉSENTÉS

Chantier	Diamètre de cavité considéré	Déflexion maximale au centre de la cavité	Surcharge routière	Profondeur de la géogrille	Géogrilles installées
Cité des électriciens – Bruay-la-Buissière - 62	3 m	0,36 m (12%)	45 kPa (parking bus)	0,7 m	Paralink® 600 kN/m
		0,40 m (13%)	3,5 kPa (cheminement piéton)	0,4 m	Paragrid® 100 kN/m
Rue de la Montat à Saint-Étienne - 42	3 m	0,27 m (9%)	10 kPa	0,6 m	Paralink® 400 kN/m
Déviations de Port-sur-Saône - 70	2 m	0,02 m (1%)	10 kPa	3,5 à 3 m	Trois niveaux de Paragrid® 120 kN/m



© FRANCE MACCAFERRI

10

Vers le pont assurant le rétablissement de la RD100, la déviation traverse une doline qui est une forme caractéristique d'érosion des calcaires en contexte karstique. Elle résulte de l'infiltration des eaux météoriques qui causent une dissolution de la roche. Cette doline constitue un risque de remontée de cavité sous l'infrastructure. Pour éliminer tout risque d'effondrement au niveau de la chaussée, le maître d'ouvrage souhaitait mettre en œuvre un système de géogrilles. La société Roger

**10- RN 19
Déviation
de Port-sur-
Saône.**

**10- National
highway RN19
Port-sur-Saône
diversion.**

Martin a fait appel à Maccaferri pour dimensionner et établir le plan de calepinage de la géogrille. Afin de limiter les pertes et les recouvrements, les rouleaux de Paragrid® ont été produits en différentes longueurs sur mesure.

Le dimensionnement a été fait pour une durée de service de 120 ans : les trois niveaux de géogrilles sont en mesure de réduire la déflexion à la base des couches liées à seulement 2 cm pour une cavité de 2 m (figure 10). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

CITÉ DES ÉLECTRICIENS BRUAY-LA-BUISSIÈRE (62)

GÉOGRILLES PARALINK® 600 : 6 525 m²

GÉOGRILLES PARAGRID® 100 : 3 120 m²

RUE DE LA MONTAT À SAINT-ÉTIENNE (42)

GÉOGRILLES PARALINK® 400 : 3 375 m²

RN19 DÉVIATION DE PORT-SUR-SAÔNE (70)

GÉOGRILLES PARAGRID® 120 : 23 500 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CITÉ DES ÉLECTRICIENS BRUAY-LA-BUISSIÈRE (62)

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Communauté d'agglomération
Béthune Bruay Artois Lys Romane**

MAÎTRE D'ŒUVRE : Verdi Ingénierie / Forr

ENTREPRISE : Pinson Paysage

RUE DE LA MONTAT À SAINT-ÉTIENNE (42)

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Epase (Établissement public d'aménagement
de Saint-Étienne)**

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sud Architectes

ENTREPRISE : Colas Saint-Étienne

RN19 DÉVIATION DE PORT-SUR-SAÔNE (70)

MAÎTRE D'OUVRAGE : Dreal Bourgogne Franche-Comté

MAÎTRE D'ŒUVRE : Dir Est

ENTREPRISE : Roger Martin

ABSTRACT

PROTECTION AGAINST THE RISK OF RISING CAVITIES BY A REINFORCING GEOGRID

SÉBASTIEN GASTAUD, FRANCE MACCAFERRI

Geogrids are geosynthetic liners with very high tensile strength. Installed at the base of backfills, they are designed to withstand the weight of the backfill and rolling loads in the event of cavity rising, which is a phenomenon occurring in numerous regions in France. Geogrids can prevent a total collapse on the surface. This substitute solution is a less costly alternative than filling. It is perfectly applicable on the sites of earthworks for linear infrastructure and parking and storage areas. Three case studies are described: Bruay-la-Buissière, Saint-Étienne and Port-sur-Saône. □

PROTECCIÓN CONTRA EL RIESGO DE ASCENSO DE CAVIDADES POR GEOMALLA DE REFUERZO

SÉBASTIEN GASTAUD, FRANCE MACCAFERRI

Las geomallas son materiales geosintéticos con una resistencia muy grande a la tracción. Instaladas en la base de los terraplenes, están dimensionadas para soportar el peso del terraplén y las cargas rodantes en caso de ascenso de una cavidad, fenómeno que se produce en numerosas regiones de Francia. Las geomallas permiten evitar el hundimiento total en superficie. Esta solución "paracaídas" constituye una alternativa menos costosa que el relleno. Se aplica perfectamente a las obras de movimiento de tierras en infraestructuras lineales y zonas de aparcamiento o almacenamiento. Se presentan tres estudios de casos: Bruay-la-Buissière (62), Saint-Étienne (42) y Port-sur-Saône (70). □



1

© ARCADIS

MAÎTRISE DU CYCLE DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE SUCRIÈRE FRANÇAISE : RETOUR D'EXPÉRIENCE RÉCENT

AUTEUR : THOMAS WOHLHUTER, CHEF DE PROJET, ARCADIS ESG

L'INDUSTRIE SUCRIÈRE FRANÇAISE S'EST ENGAGÉE À PROMOUVOIR UNE AGRICULTURE DURABLE ET NOTAMMENT À RÉDUIRE SA CONSOMMATION D'EAU EXTÉRIEURE AU STRICT MINIMUM. RARE ACTIVITÉ INDUSTRIELLE PRODUCTRICE D'EAU, CETTE INDUSTRIE MET EN ŒUVRE UN PROGRAMME DE RÉDUCTION DE SES CONSOMMATIONS ET DE RECYCLAGE DE L'EAU DANS SON PROCESSUS DE PRODUCTION. LA MAÎTRISE DU CYCLE DE L'EAU REPOSE EN PARTICULIER SUR LA CAPACITÉ À STOCKER EFFICACEMENT, INTELLIGEMMENT ET DURABLEMENT LES DIFFÉRENTS EFFLUENTS DE SUCRERIE AU SEIN DE BASSINS CONÇUS ET DIMENSIONNÉS POUR RÉPONDRE À CES ENJEUX.

L'EAU DANS L'INDUSTRIE SUCRIÈRE EN FRANCE

En 2018-2019, la France fut le 1^{er} producteur européen de sucre (Métropole + DOM) et le 9^e producteur mondial (moyenne sur 3 ans)⁽¹⁾. Totalisant 25 sucreries sur la campagne 2018-2019, la France métropolitaine a pro-

duit 5,1 millions de tonnes de sucre de betterave. L'industrie sucrière est l'une des rares activités industrielles productrices d'eau. En effet, la betterave contient environ 75% d'eau qui va être libérée lors du processus d'extraction et de cristallisation du sucre. Ainsi, les chiffres du Syndicat National des Fabri-

1- Installation de la géogridle au fond du bassin.

1- Installation of the geogrid at the bottom of the basin.

cants de Sucre (SNFS) indiquent qu'une sucrerie qui traite 20000 t de betteraves par jour durant une campagne de 110 jours produit chaque année environ 1,7 millions de m³ d'eau, ce qui fait de l'eau le premier produit d'une sucrerie, devant le sucre ! Le volume d'eau excédentaire est évalué à environ 1 million

de m³. Cette réalité permet théoriquement aux sucreries d'être complètement autonomes vis-à-vis de leurs besoins en eau et doit leur permettre de réduire drastiquement, voire d'arrêter, toute consommation d'eau de forage, réduisant ainsi leur impact sur la ressource en eau souterraine. La production d'eau n'intervient néanmoins que lorsque la campagne de fabrication du sucre est lancée, généralement au mois de septembre, alors que le besoin en eau de la sucrerie est réparti sur toute l'année, pour les essais techniques et le nettoyage des équipements.

La filière betterave-sucre en France s'est engagée à promouvoir une agriculture durable, qui conjugue à la fois des rendements performants et des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement.

La capacité d'une sucrerie à stocker et valoriser l'eau est déterminante et permet à l'industrie sucrière de contribuer activement au développement de pratiques agronomiques performantes et durables.

Conscient de cet enjeu, un grand producteur de sucre européen a engagé un programme d'amélioration technique de ses outils de production et d'adaptation de la capacité de stockage d'eau et de terres de ses bassins. La société Arcadis a accompagné cet industriel pour la création et la rénovation de ses bassins.

ÉTUDES PRÉALABLES POUR LA CONCEPTION DE BASSINS INDUSTRIELS

PROGRAMME FONCTIONNEL D'UN BASSIN ET PRINCIPES DE CONCEPTION

Souvent résumé à la création d'un trou, la réalisation d'un bassin obéit à certaines règles et nécessite une conception soignée, chaque bassin étant différent en fonction des objectifs qu'il doit remplir.

La définition du programme fonctionnel d'un bassin est donc déterminante pour définir les investigations préalables, pour identifier les études réglementaires éventuellement requises, et enfin pour concevoir l'ouvrage et le réaliser. Ce sont les échanges avec l'exploitant de l'ouvrage, dès le stade des esquisses préliminaires, qui permettront de définir :

2- Coupe type de l'ouvrage au niveau de la digue périphérique.

2- Typical cross section of the structure at the level of the peripheral dyke.

→ L'implantation de l'ouvrage au regard des emprises foncières disponibles et des servitudes existantes, du périmètre de l'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), de la présence d'enjeux écologiques, du voisinage, du contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique, ou encore des contraintes d'accès pour la réalisation et pour l'exploitation de l'ouvrage ;

→ La forme générale de l'ouvrage par rapport aux avoisinants, notamment si d'autres projets sont prévus à proximité immédiate du projet de bassin, pour lesquels des interfaces particulières sont à prendre en considération (largeur des pistes, positionnement des clôtures périphériques par rapport aux tranchées d'ancrage des géosynthétiques, présence de fossés de gestion des eaux, de réseaux divers, présence d'ouvrages en eau à proximité, présence d'infrastructures, etc.) ;

→ Sa profondeur, qui conditionne les moyens de reprise des eaux (pompage sur radeau ou pompe installée sur berge), la cinétique de ressuyage des matériaux humides, le temps de séjour des effluents dans l'ouvrage, l'établissement éventuel de réactions biologiques (dans le cas d'effluents chargés

en matière organique par exemple) susceptibles de modifier la qualité souhaitée des effluents ou de générer des odeurs ;

→ Sa surface, qui conditionne en partie le temps de séjour des effluents, influence le bilan hydrique de l'ouvrage et constitue une donnée d'entrée pour le calcul de la hauteur de revanche et la mise en œuvre éventuelle de dispositifs de protection contre les effets du battillage ;

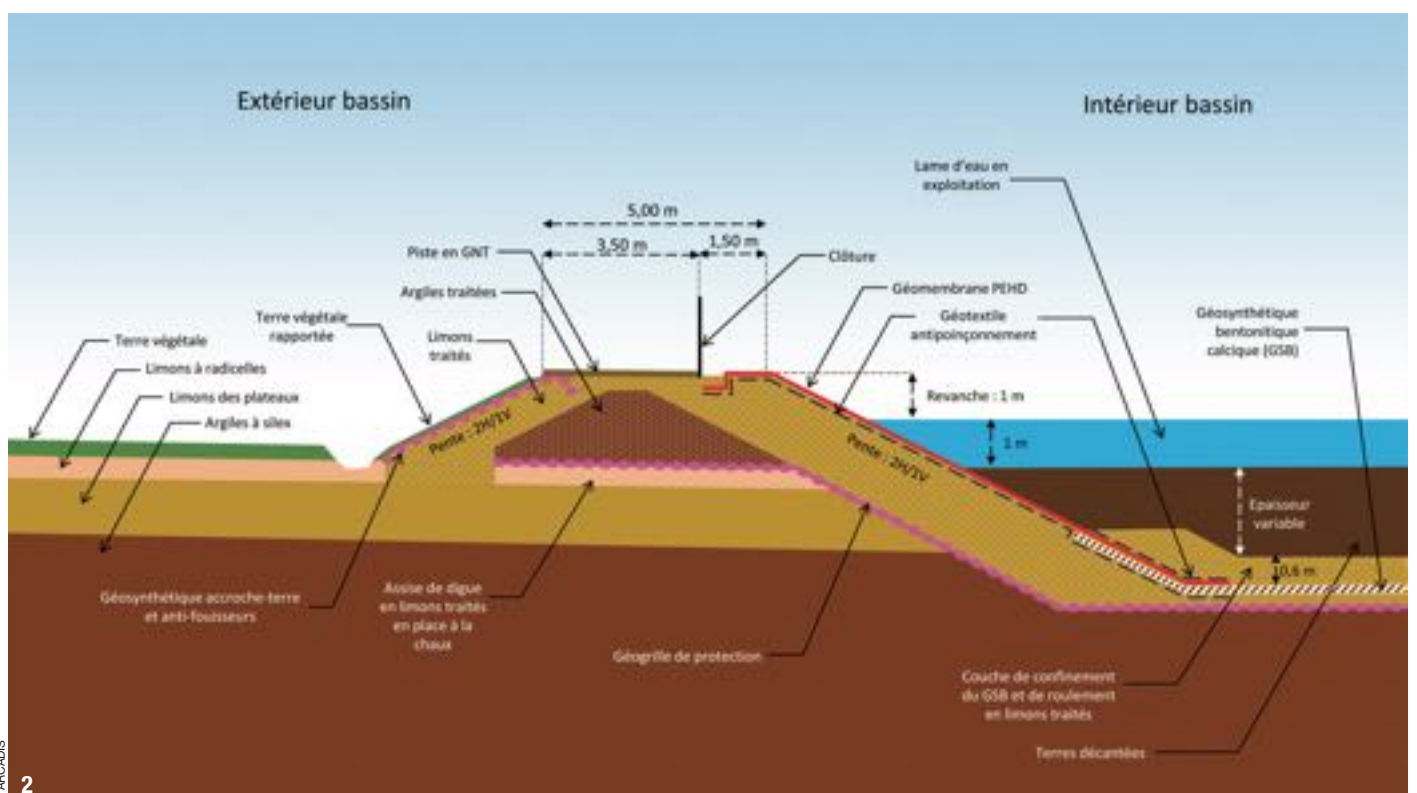
→ La localisation du point bas de l'ouvrage et de la rampe d'accès ;

→ Son volume de stockage utile, qui constitue, avec la hauteur des digues et la présence d'habitations à proximité, les critères de classement prévus par l'article R. 214-112 du Code de l'Environnement relatif aux dispositions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques autorisés, déclarés et concédés ;

→ Sa géométrie et son volume qui déterminent le temps de séjour des effluents ;

→ Le critère de perméabilité recherché au regard des obligations réglementaires applicables à l'ouvrage ;

Ces éléments constituent des données d'entrée des phases de conception de stade avant-projet et projet qui sont à croiser avec les résultats des missions géotechniques dont l'enchaînement répond à la norme NF P 94-500. ▶



ÉTUDES ET SUIVI GÉOTECHNIQUES

Les bassins considérés ici sont des ouvrages en terre en connexion étroite avec le sol. Leur conception doit s'appuyer sur des études géotechniques spécifiques qui ont notamment pour objet, et sans que la liste suivante soit limitative, de :

- Déterminer les principes généraux et les principales sujétions géotechniques des terrassements ;
- Évaluer les possibilités de réemploi des matériaux de déblai dans le cadre de la recherche d'un équilibre déblai/remblai ;

- Évaluer la stabilité des digues et des talus ;
- Déterminer les principes généraux de construction des voiries ;
- Évaluer l'aléa "cavités souterraines" pour définir les hypothèses de dimensionnement d'un éventuel produit de renforcement, le cas échéant.

Ces études requièrent la réalisation de tout ou partie des méthodes d'investigations suivantes :

- Méthodes d'investigations géophysiques non destructives visant à évaluer le degré d'hétérogénéité du sous-sol et permettant d'orienter

les investigations plus ponctuelles (sondages et fouilles) ;

- Sondages carottés, sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de forage, et sondages pressiométriques, par exemple, visant à reconnaître la succession lithologique au droit du site, à éva-

luer la compacité du sous-sol et ses caractéristiques mécaniques ;

- Réalisation de piézomètres, dans le cas où la nappe phréatique est peu profonde ou si des ouvrages en eau non étanchés sont situés à proximité ;
- Fouilles à la pelle mécanique permettant la description des sols de surface et le prélèvement d'échantillons de sols nécessaires pour la caractérisation de base des matériaux en laboratoire et la réalisation des essais mécaniques et de traitement de sol ;
- Essais en laboratoire.

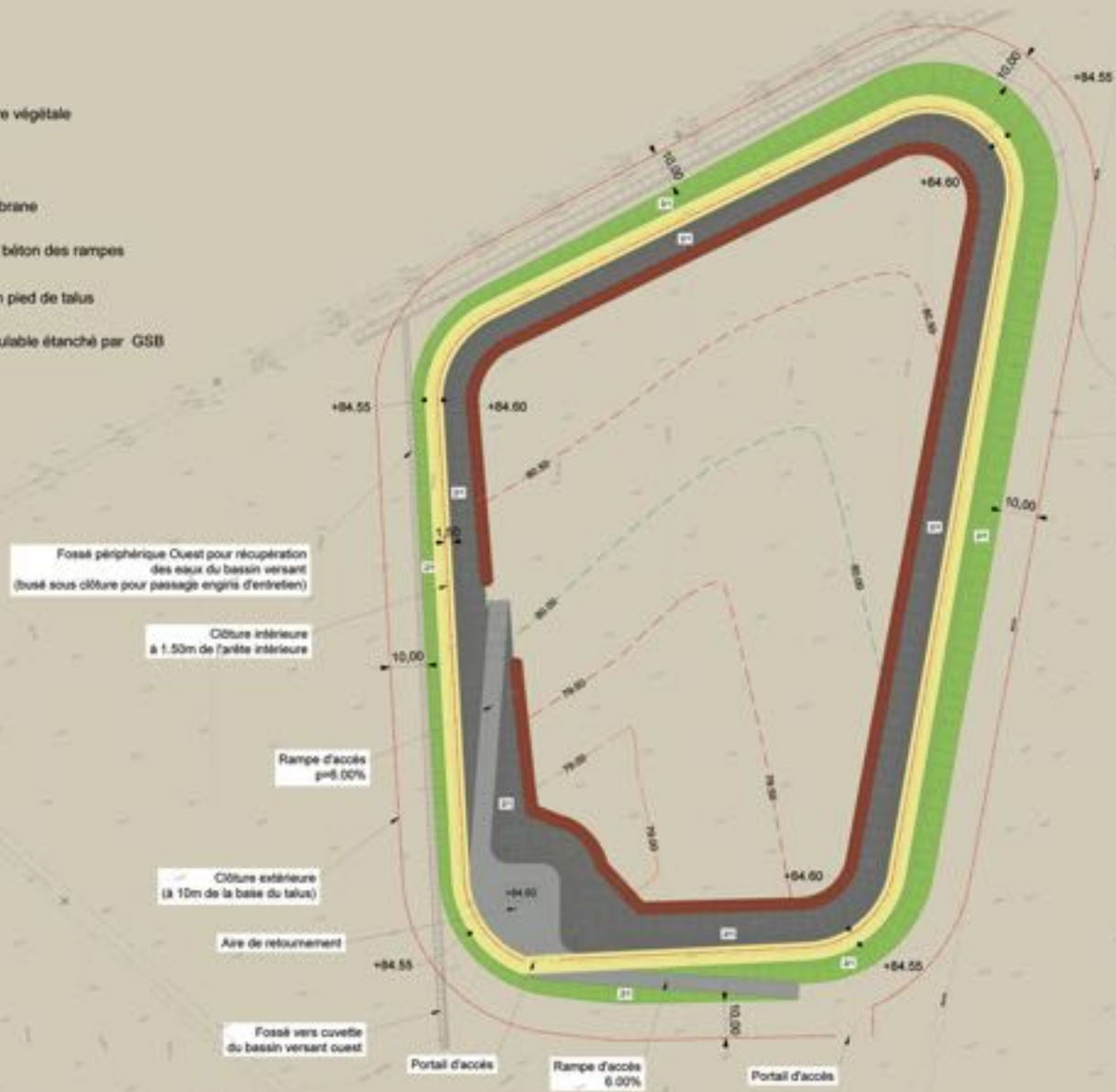
3- Vue en plan du projet.

3- Plan view of the project.

VUE EN PLAN DU PROJET

LEGENDE

- Talus terre végétale
- Piste
- Géomembrane
- Structure béton des rampes
- Merlon en pied de talus
- Fond circulaire étanché par GSB





4

© ARCADIS

Concrètement et à titre d'exemple, les résultats de ces études permettront de déterminer si un produit de renforcement contre les effets d'une remontée de cavité est nécessaire, ce qui peut impacter significativement le coût des travaux (jusqu'à 25-30% du montant des travaux).

Ils permettent également d'orienter les entreprises dans leur prévision des mouvements de terre, en précisant l'aptitude des sols à être tassés et leur adéquation avec l'installation de géosynthétiques.

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR UN CHANTIER RÉCENT DE BASSIN DE DÉCANTATION PROGRAMME FONCTIONNEL ET CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

En 2017, le groupe industriel exprime le besoin de disposer d'un bassin de

4- Travaux de décapage et de terrassement pleine masse.

4- Stripping and mass excavation works.

stockage et de décantation des eaux terreuses en provenance du lavoir à betteraves. Ce bassin a pour vocation de stocker temporairement et de décanter les eaux issues du lavage des betteraves. Les eaux surnageantes sont pompées et envoyées vers un méthaniseur pour subir une première épuration en produisant une partie de

l'énergie nécessaire à la sucrerie. Après assèchement, les terres issues de la décantation sont, quant à elles, curées (pelles mécaniques et tracto-bennes) puis retournées au milieu naturel, permettant ainsi de préserver les qualités des sols agricoles et de gérer durablement la terre.

Afin d'assurer sa fonction de stockage, le fond de ce bassin doit donc être suffisamment imperméable. Par ailleurs, la conception et la réalisation de cet ouvrage doivent être compatibles avec le curage mécanisé régulier des terres décantées afin de vider le bassin et de le rendre opérationnel pour la campagne de production sucrière suivante.

Les échanges avec l'industriel ont permis de définir les principes de conception et de dimensionnement de l'ouvrage récapitulés dans le tableau 1.

CARACTÉRISTIQUES DU SITE ET NATURE DES INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES RÉALISÉES

Une parcelle agricole a été identifiée par le groupe pour accueillir ce futur bassin qui est donc à créer ex-nihilo. Aucune information précise sur la lithologie n'est disponible sur le périmètre d'étude au démarrage de la mission. Par ailleurs, le risque de présence d'anciennes marnières et cailloutières sur la zone d'implantation est précisé dans la bibliographie et des remontées de fontis ont déjà affectées les environs. Des études géotechniques sont entreprises.

Les investigations de terrain débutent par la réalisation de 25 fouilles à la pelle mécanique entre 2,1 et 4,7 m de profondeur. Ces fouilles ont pour objectif de permettre la description des premiers horizons de sols et de pouvoir prélever des matériaux destinés à la réalisation d'essais mécaniques en laboratoire. Elles sont complétées par la réalisation d'investigations géophysiques par mesures électromagnétiques par conductimètre EM31 (profils espacés de 3 m environ, soit 14 km de mesures) et par prospection microgravimétrique (maille de 7 m, soit 1 037 stations de mesure). Ces investigations, conduites dans un contexte régional de karstification du substratum crayeux et de suspicion d'anciennes cailloutières et marnières au droit du projet, ont pour objectif de détecter des anomalies de réponse aux signaux géophysiques attribuables à la présence de cavités, ▷

TABLEAU 1 : PRINCIPES DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Volume de terres décantées à stocker lors d'une campagne	54 000 m ³
Emprise approximative du fond du bassin	2 ha
Pentes talus internes et externes	2H/1V, sous réserve de stabilité
Épaisseur moyenne des terres décantées en fin de campagne	3 m
Épaisseur eau surnageante au-dessus des terres	1 m
Hauteur minimale de revanche	1 m
Largeur en crête de digue	5 m
Hauteur maximale des talus extérieurs par rapport au terrain naturel	5 m
Largeur et pente des rampes d'accès	5,5 m à 6%
Débit d'alimentation en campagne	270 m ³ /h nominal
Temps de séjour moyen des eaux	7 jours
Acidité de l'eau	pH : 5-8



© ARCADIS



© ARCADIS

d'horizons décomprimés, ou d'hétérogénéités du sous-sol.

Leurs résultats permettent d'orienter la campagne d'investigations par sondages.

Les investigations de terrain suivantes comprennent 8 sondages avec essais pressiométriques réalisés jusqu'à des profondeurs comprises entre 15 et 41 m, 14 sondages destructifs avec enregistrement de paramètres réalisés jusqu'à des profondeurs comprises entre 15 et 19 m, et 7 sondages au pénétromètre statique ayant atteint le refus entre 8,5 et 13,9 m de profondeur.

Ces investigations de terrain, réalisées de septembre 2017 à mars 2018, ont mis en évidence la présence en surface, sous les horizons végétalisés, d'une couche de limons sablonneux ou argileux d'épaisseur comprise entre 1 m et 2,5 m, surmontant une couche d'argile à silex d'épaisseur très variable pouvant localement atteindre 27 m, et enfin le substratum composé de craie à silex du Santonien dont le mur n'a pas été atteint mais dont la profondeur du toit varie entre 5,4 m et 35,5 m. Par ailleurs, aucun vide franc n'a été détecté sur la zone d'étude bien que la craie présente localement

5- Recouvrement de la géogrid par des limons traités.

6- Mise en œuvre de la couche de confinement du GSB constituant le fond du bassin.

5- Covering the geogrid with treated silts.

6- Placing the bentonite GCL containment layer forming the bottom of the basin.

des passées très décomprimées. Les surépaisseurs de la couche d'argile et de limons au sud du site sont notables, et sont associées à l'approfondissement important et hétérogène du toit de la craie. Aucune nappe n'a été identifiée lors des sondages.

Des essais en laboratoire, conduits dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception G2 sur les matériaux prélevés, ont permis de classer les sols selon le GTR et d'évaluer notamment leur aptitude au traitement ainsi que les conditions de leur réemploi dans l'ouvrage.





7

© ARCADIS

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES DIGUES ET DE L'ÉTANCHÉITÉ DU BASSIN

L'une des principales difficultés de conception de ce bassin a résidé dans le choix d'un dispositif d'étanchéité :

→ Permettant de maîtriser les flux d'eau à travers l'ouvrage pour limiter les circulations d'eau dans les digues en remblai et vers le substratum crayeux décomprimé et potentiellement karstifié tout en favorisant le ressuyage des terres décaantées ;

→ Compatible avec les conditions d'exploitation (curage régulier par moyens mécanisés, acidité de l'eau) et le contexte géotechnique local (potentielles déformations du sous-sol ou remontée de vides franc).

Par ailleurs, compte-tenu de l'importance de ce bassin pour l'activité de l'usine, et bien qu'aucun vide franc n'ait été détecté lors des études géo-

7- Réalisation de la planche de convenue.

8- Fermeture de la tranchée d'ancrage du géosynthétique et de la géomembrane.

9- Vue d'ensemble de la phase d'application des géosynthétiques en talus et en fond.

7- Execution of the suitability trial area.

8- Closing the GCL and geomembrane anchoring trench.

9- General view of the phase of application of geosynthetic liners on the slope and at the bottom.



8

© ARCADIS

techniques, il a été décidé de renforcer le fond du bassin contre les effets d'une remontée potentielle de cavité qui pourrait affecter la structure de l'ouvrage et dont les conséquences pourraient être multiples et graves, notamment en cas de rupture de digue.

Le parement interne des digues a été revêtu d'une géomembrane en PEHD de 2 mm d'épaisseur. Ce dispositif a pour but de protéger les digues contre les effets des infiltrations d'eau en provenance du bassin (risque de renard et de création d'instabilités) et des effets du battillage.

Il coupe également les transferts d'eau vers le sous-sol et réduit ainsi notamment le risque de développement de circulations d'eau préférentielles dans le sous-sol situé sous les digues.

Ce dispositif, réputé "impermeable" vient donc protéger les digues périphériques qui retiendront les terres en cours de décaantation et l'eau lagunée. S'agissant de l'aménagement du fond du bassin, il a été choisi d'utiliser un géosynthétique bentonitique (GSB) calcique associé à une couche de confinement et de circulation en matériaux naturels traités de 60 cm d'épaisseur. ▷

© ARCADIS

9



Les GSB disposent d'une certaine déformabilité (ils gardent leurs caractéristiques fonctionnelles jusqu'à un allongement de 3% environ) et d'un pouvoir auto-cicatrisant qui sont plus adaptés au contexte géotechnique du site qu'une couche de matériaux traités à la bentonite seulement par exemple. Ce dispositif robuste est également compatible à la fois avec la circulation d'engins de chantier lourds lors des opérations de curage des bassins et avec la maîtrise des eaux s'infiltrant dans les sols. En effet, les argiles rencontrées au droit de la zone d'aménagement comportent de nombreux silex au contact desquels des chemins d'écoulement préférentiels d'eau vers la craie peuvent se développer.

Enfin, le choix d'une bentonite calcique et non sodique a été retenu en raison du contexte calcique et alcalin du projet, et ce afin de prévenir les échanges cationiques susceptibles de dégrader les performances du GSB à long terme.

La protection de l'ouvrage contre les effets d'une remontée de cavité est quant à elle assurée par une géogridde qui est installée sous le GSB, au fond du bassin, et dans le corps des digues.



10

© ARCADIS

En contact avec des matériaux traités, cette géogridde ne doit pas être altérée chimiquement, ce qui implique d'éviter de recourir à des produits de renforcement en polytéréphtalate d'éthylène (PET) en raison du phénomène d'hydrolyse des polyesters en milieu alcalin. Elle a été dimensionnée pour garantir un allongement maximal du GSB de 3% sur toute la durée de vie du projet dans l'hypothèse du développement

10- Talus extérieur revêtu d'un horizon de terre végétale pour favoriser le développement de la végétation.

11- Bassin en cours d'exploitation.

10- External slope covered with a top soil horizon to foster vegetation growth.

11- Basin in operation.



11

© ARCADIS

d'une cavité circulaire de 2 m de diamètre sous le bassin.

Enfin, s'agissant du réemploi des matériaux excavés, les argiles à silex ont préférentiellement été orientées vers le cœur des digues périphériques du bassin afin de limiter la présence d'éléments poinçonnants au niveau de la structure support du Dispositif d'Étanchéité par Géosynthétiques (DEG) tandis que les limons ont été orientés, après traitement à la chaux et au liant hydraulique, vers le fond du bassin et la surface des talus pour disposer d'un matériau plus aisé à lisser

dans le cadre des travaux d'étanchéité. La coupe type de l'ouvrage au niveau de la digue périphérique est représentée en figure 2.

Une vue en plan du projet est représentée en figure 3.

RÉALISATION ET MISE EN EAU

Les travaux ont été attribués à un groupement d'entreprises spécialisées : la société Ebt, groupe Lhotellier, spécialisée dans les terrassements et les VRD et Proterra environnement, entreprise qualifiée pour l'application de produits géosynthétiques.

Les travaux ont débuté en mars 2019. Afin d'assurer le contrôle de l'application des géosynthétiques dans les règles de l'art, le maître d'ouvrage a mandaté la société Ygd Conseil pour une mission de contrôle extérieur indépendante de la mission de maîtrise d'œuvre.

Les travaux ont débuté par le décapage d'une surface de travail de 49 000 m² (emprise bassin, zones de stockage de matériaux et aménagements périphériques) et par l'extraction des matériaux limoneux et argileux (figure 4).

Avant d'être réutilisés, les matériaux extraits ont été traités sur une aire dédiée à l'aide de 1 400 t de chaux et de 2 800 t de liant hydraulique.

Ces matériaux ont été réutilisés pour reprofiler le fond du bassin et constituer le noyau d'argile de la digue périphérique.

La géogrille a ensuite été installée sur l'arase de terrassement, tant au niveau du fond que de la digue périphérique (figure 1).

Les opérations de terrassement ont ensuite pris le relais pour finaliser la digue et recouvrir la géogrille de 20 cm de matériaux traités (figure 5).

Le GSB a ensuite été appliqué au fond du bassin et immédiatement recou-

vert par la couche de confinement de 60 cm de matériaux traités (figure 6). L'absence d'endommagement du GSB par les matériaux mis en œuvre au-dessus a été vérifiée au moyen d'une planche de convenance (figure 7).

Les talus intérieurs du bassin tout comme la rampe d'accès intérieure ont ensuite été équipés d'un géotextile de protection et de la géomembrane en PEHD ancrés en crête de digue (figure 8), les opérations de pose des différents produits géosynthétiques pouvant se faire simultanément à des fins d'optimisation du planning de travaux (figure 9).

Les talus extérieurs ont été protégés par un géocomposite accroche-terre et anti-fouisseurs et recouverts d'un horizon de terre végétale ensemencée par voie hydraulique afin d'améliorer l'intégration paysagère du projet (figure 10).

Au total, le volume de déblais réutilisés en remblais traités est de 81 000 m³. Les travaux se sont achevés en août 2019 et la mise en eau du bassin a été effectuée mi-septembre 2019 (figure 11), au démarrage de la campagne sucrière 2019-2020. □

1- <https://www.lesucre.com>

PRINCIPALES QUANTITÉS

CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN

VOLUME UTILE DE STOCKAGE DE TERRE DU BASSIN : 54 000 m³

SUPERFICIE DU FOND DE BASSIN : 21 150 m²

HAUTEUR MAXIMALE DE DIGUE EXTÉRIEURE : 4,5 m

HAUTEUR MAXIMALE DE TALUS INTÉRIEUR : 5,65 m

PENTES DES TALUS : 2H/1V

INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES

SONDAGES DESTRUCTIFS : 417 m

SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES : 80 m

NOMBRE DE FOUILLES À LA PELLE : 25

PROFILS ÉLECTROMAGNÉTIQUES : 14 km

STATIONS MICROGRAVIMÉTRIQUES : 1 037 u

PROFILS DE STABILITÉ GÉOTECHNIQUE ÉTUDIÉS : 16 u

TRAVAUX

DÉBLAIS RÉUTILISÉS EN REMBLAIS : 81 000 m³

QUANTITÉ DE CHAUX UTILISÉE : 1 400 t

QUANTITÉ DE LIANT HYDRAULIQUE UTILISÉE : 2 800 t

SURFACE DE GÉOGRILLE : 38 800 m²

SURFACE DE GÉOMEMBRANE : 9 900 m²

SURFACE DE GSB : 21 150 m²

SURFACE DE GÉOCOMPOSITE ACCROCHE-TERRE

ET ANTI-FOUISSEUR : 6 000 m²

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRE D'OUVRAGE : Cristal Union

MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis

CONTRÔLE EXTÉRIEUR GÉOSYNTHÉTIQUES : Ygd Conseil

GROUPEMENT D'ENTREPRISES

TERRASSEMENTS ET VRD : Ebt groupe Lhotellier

GÉOSYNTHÉTIQUES : Proterra environnement

ABSTRACT

WATER CYCLE MANAGEMENT IN THE FRENCH SUGAR INDUSTRY: RECENT EXPERIENCE FEEDBACK

THOMAS WOHLHUTER, ARCADIS ESG

France is the leading European sugar producer. With 25 sugar refineries in 2018, the French industry has undertaken a plan to reduce its water consumption. Beetroot contains between 70% and 80% water, so one of the major goals of the industry is to be able to re-use, recycle and store the water produced during the sugar season which lasts from September to January each year. In this context, since 2015 a major producer of beet sugar has undertaken a programme of renovation and creation of earth storage basins. The design and sizing of a basin correspond to a precise functional plan and must take into account, in particular, the local geological and geotechnical context. So each basin is different. □

CONTROL DEL CICLO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA FRANCESA: CONCLUSIONES RECIENTES

THOMAS WOHLHUTER, ARCADIS ESG

Francia es el 1^{er} productor europeo de azúcar. Con 25 empresas azucareras en 2018, el sector francés ha adoptado un plan de reducción del consumo de agua. Dado que la remolacha contiene entre un 70 y un 80% de agua, uno de los principales objetivos del sector es poder reutilizar, reciclar y almacenar el agua producida durante la campaña azucarera, que cada año se desarrolla entre los meses de septiembre y enero. En este marco, un gran productor de azúcar de remolacha aplica desde 2015 un programa de renovación y creación de depósitos de almacenamiento en tierra. El diseño y el dimensionamiento de los depósitos responden a un programa funcional preciso y deben tener en cuenta principalmente el contexto geológico y geotécnico local. Por tanto, cada depósito es diferente. □



© CEDRIC HELSLY

FONDATEURS DU PROJET SEMAPA M10VP PARIS RIVE GAUCHE

AUTEURS : LAURENT PONCIN, RESPONSABLE TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
SABIKA GHEGEDIBAN, INGÉNIEURE ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
DENIS PEYNICHOUT, CHEF DE PROJET PÔLE ATM, SNCF RÉSEAU

SOLETANCHE BACHY FRANCE, EN GROUPEMENT AVEC BOTTE FONDATIONS, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION ET MATIÈRE, S'EST VU CONFIER LE DERNIER TRONÇON DE L'AMBITIEUX PROJET DE LA SEMAPA (SOCIÉTÉ D'ÉTUDE DE MAÎTRISE D'OUVRAGE ET D'AMÉNAGEMENT PARISIENNE) CONSISTANT À RÉALISER LA COUVERTURE DE LA PLATE-FORME FERROVIAIRE DE LA SNCF DANS LE XIII^e ARRONDISSEMENT DE PARIS. CE PROJET, DÉMARRÉ DANS LES ANNÉES 90, PERMET DE RECOUVRIRE 26 HECTARES DE VOIE FERRÉE ET D'AMÉNAGER DE NOUVEAUX QUARTIERS EN PLEIN PARIS.

LE PROJET PARIS RIVE GAUCHE

C'est un projet stratégique pour la capitale, une des plus grandes opérations d'urbanisme qu'elle ait connue ces dernières années. Initiée en 1991, l'opération Paris Rive Gauche (ou Seine Rive Gauche) a pour théâtre une superficie de 130 ha située entre la gare de Paris-

Austerlitz et le boulevard périphérique. Cette opération repose sur une idée phare : couvrir les voies ferrées entre la gare d'Austerlitz et le boulevard périphérique, pour libérer de l'espace à aménager, et ouvrir l'accès à la Seine, sur toute la longueur de cette tranchée couverte de 1350 m (figures 2 et 3). Le projet est piloté par SNCF Réseau.

**1- Réalisation
des barrettes
de la file J1.**

**1- Execution
of the barrettes
for row J1.**

Il consiste à déployer les dalles de couverture de la voie ferrée dans un environnement particulièrement contraint, qui demande un ensemble de compétences ferroviaires pour gérer le dimensionnement des ouvrages et l'interface des travaux au milieu des voies de circulation sans déstabiliser les infrastructures existantes.

6- Mise en place d'une virole pour stabiliser la banquette de ballast.

7- Forage des pieux de la file J1.

8- Passage du premier RER C au petit matin le long des profilés mis en œuvre par SBFS pendant la nuit.

9- Réglage des guides de profilé berlinois par un géomètre.

6- Positioning a shell course to stabilise the ballast bench.

7- Pile drilling for row J1.

8- Passage of first RER C in the early morning along sections placed by SBFS during the night.

9- Adjustment of section guides for the Berlin-type wall by a surveyor.

Ils ont été effectués sous environ 2 heures d'Interruption Temporaire de la Circulation et Coupure Caténaire délimitées seulement 4 nuits par semaine. Le principal challenge de ces travaux consistait à assurer la bonne exécution des pieux dans un délai très réduit, tout en garantissant une remise des voies en temps et en heure chaque matin. Ils ont été réalisés en deux phases distinctes :

→ Pieux de file J1 : les 58 pieux de 7 m de profondeur pour fonder l'écran de protection de la file J1 ont été réalisés d'octobre 2018 à janvier 2019.

Dans un premier temps, une virole était mise en place sur les 2 premiers mètres pour stabiliser la banquette de ballast pendant la mise en œuvre du pieu (figure 6).

Puis, les pieux étaient forés par la méthode Starsol® en tarière continue afin de ne jamais avoir de terrain ouvert le long de la voie. Et, enfin, le profilé était scellé par un coulis de ciment (figure 7).



6

© SERNAVISION



7

© SERNAVISION



8

© SOLETA NCHE BACHY

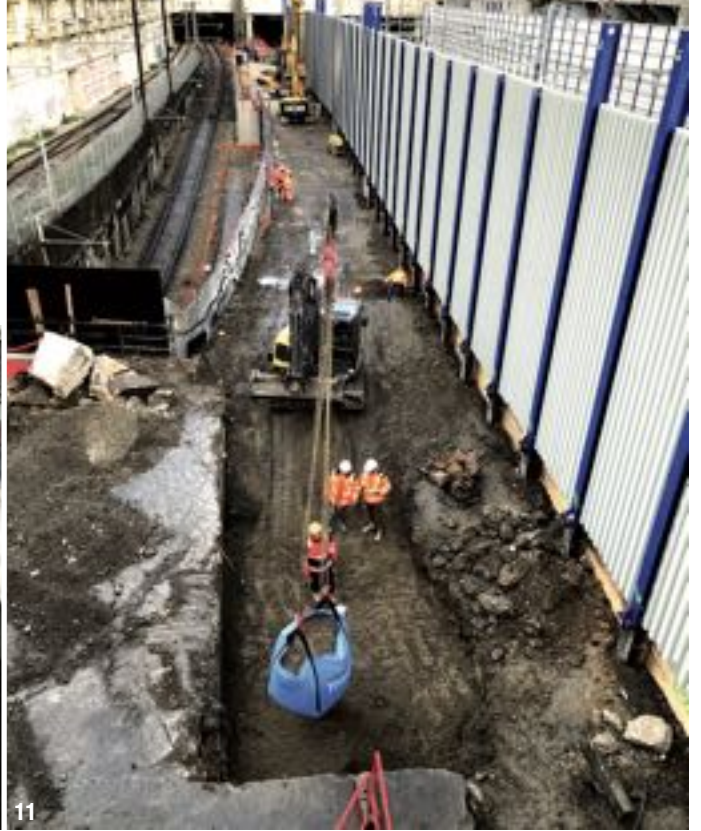


9

© SERNAVISION



10
© SOLETANCHE BACHY



11
© SOLETANCHE BACHY

→ Pieux de file F : les 49 pieux de 6,5 m de profondeur pour fonder l'écran de protection de la file F ont été réalisés entre mars et juin 2019. La méthode de forage a dû être adaptée suite à la découverte d'un vestige s'apparentant à une ancienne trémie en maçonnerie de 4 m de profondeur, traversant les trois quarts des pieux et des futures fondations de la file d'appuis F. Les pieux ont donc finalement été réalisés en forage traditionnel foré boue, préalablement carottés/tubés au droit du vestige. Puis, le profilé a été scellé au coulis de ciment.

Pour les deux écrans de protection, une précision d'implantation centimétrique devait être garantie vis-à-vis de la proximité de l'ouvrage avec les voies ferrées (figure 8).

10- Écran de protection de la file J1.

11- Écran de protection de la file F.

12- Coupe géologique et niveau d'ancrage des barrettes de la file J1.

10- Protective shield for row J1.

11- Protective shield for row F.

12- Geological cross section and anchoring level for the barrettes of row J1.

Les profilés dépassant du sol devaient absolument se situer en dehors des gabarits ferroviaires à la remise des voies. Pour ce faire, un géomètre était en permanence présent lors des nuits de travaux pour régler précisément les profilés berlinois (figure 9). Après ces travaux préparatoires de nuit sous Interruption Temporaire de Circulation et Coupure Caténaire, les deux plates-formes de travail sont isolées des différents risques ferroviaires (figures 10 et 11).

CONCEPTION DES FONDATIONS DES APPUIS

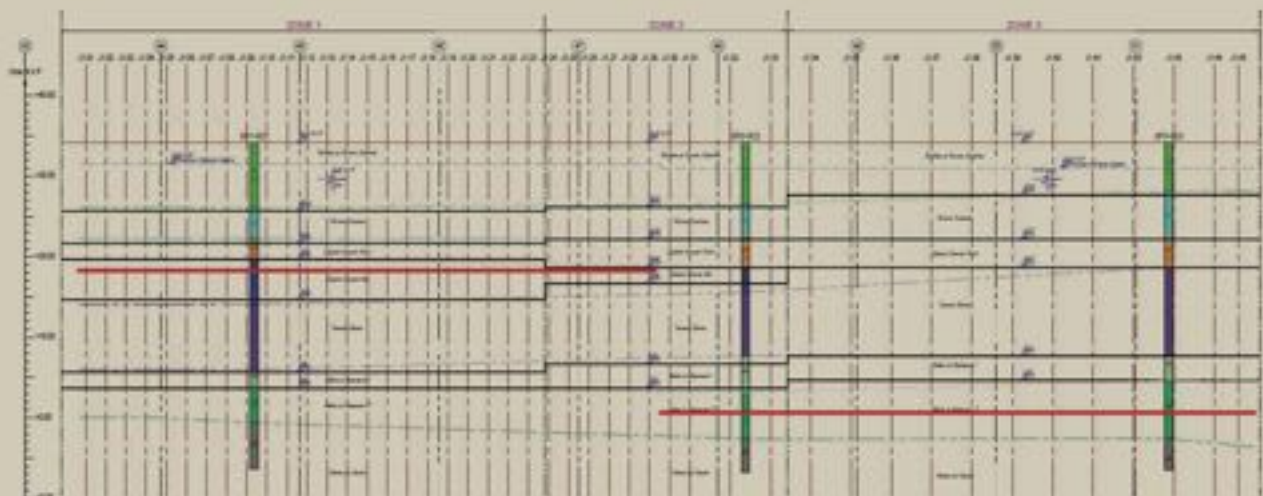
La géologie du site (figure 12) montre sous les terrains superficiels une frange de calcaire sain qui repose sur une couche des Fausses Glaises d'une dizaine de mètres d'épaisseur, suivie

d'une couche de Sables du Sparnacien. La frange de calcaire sain s'amenuise sur le linéaire de chacune des files d'appuis pour disparaître complètement sur le dernier tiers du linéaire.

Ainsi, les fondations des deux nouvelles files d'appuis présentent deux niveaux d'ancrage : soit le banc calcaire lorsqu'il est sain et suffisamment épais (barrettes courtes), soit les Sables du Sparnacien plus en profondeur (barrettes longues qui, pour certaines, sont injectées en pointe).

Ces deux niveaux d'ancrage entraînent une hétérogénéité des raideurs des fondations, accentuée par le tassement de la couche compressible des Fausses Glaises située en sous face des barrettes courtes, qu'il s'agit d'intégrer dans le calcul des raideurs des fondations. ▷

COUPE GÉOLOGIQUE ET NIVEAU D'ANCRAGE DES BARRETTES DE LA FILE J1



© SOLETANCHE BACHY

12

EXTRAIT DU MODÈLE AUX ÉLÉMENTS FINIS PLAXIS 2D EN DÉFORMATIONS PLANES

13- Extrait du modèle aux éléments finis Plaxis 2D en déformations planes.

14- Excavation des Fausses Glaises par la benne hydraulique courte.

13- Extract from the Plaxis 2D finite element model in plane deformation.

14- Excavation of Fausses Glaises by short hydraulic bucket.

Cette disparité conditionne la répartition des descentes de charges entre les appuis. C'est dans ce contexte que s'est opéré un processus d'interaction sol structure entre les équipes des BET structures et fondations, afin de permettre la convergence entre raideurs calculées et descentes de charges résultantes dont l'objectif principal est l'atteinte de l'épure des fondations prévue par le client et établie initialement. La détermination du tassement propre d'une barrette courte et de la couche des Fausses Glaises en sous face s'effectue au moyen d'un modèle aux éléments finis Plaxis 2D en déformations planes (figure 13). En outre, ce modèle permet d'accéder à la cuvette de tassement générée en surface qui est à l'origine de tassements additionnels pour les barrettes situées à proximité, qu'il faut intégrer également dans les calculs de raideurs.

Pour les barrettes longues, leur tassement est évalué classiquement selon la méthode de Frank et Zhao.

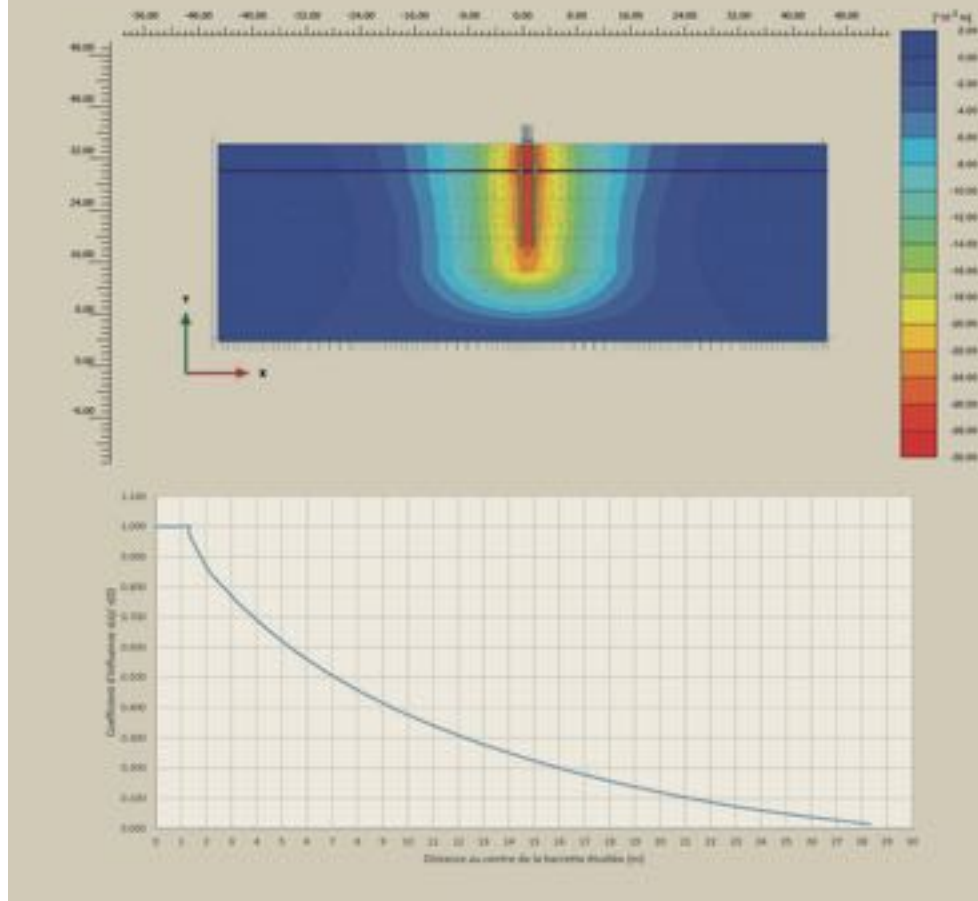
Quant à la modélisation du comportement horizontal, des matrices de rigidité traduisant le comportement horizontal des fondations sont intégrées dans le modèle structure.

La convergence du modèle est alors soumise à la bonne prise en compte du phénomène de plastification des sols en tête de barrette.

À l'issue du processus itératif, les descentes de charges verticales et horizontales étant figées, les calculs d'exécution des barrettes de fondation et de la superstructure ont pu débuter indépendamment.

BARRETTES DE LA FILE J1

Les travaux de barrettes se sont déroulés durant le mois de juin et



13

juillet 2019, pendant 7 semaines de production.

Ils ont permis la réalisation des fondations de la future file d'appui J1, constituées de 30 barrettes courtes de 15 m de profondeur ancrées dans le Calcaire Grossier, excavées avec une mini Hydrofraise HC05 (figure 15) et

15 barrettes longues, de 32 m de profondeur, ancrées dans les Sables du Spamacien, mobilisant, en plus de l'HC05, une benne hydraulique courte pour le passage des Fausses Glaises (figure 14).

Le site se caractérise par ses deux niveaux de plates-formes :

→ La plate-forme haute, un milieu urbain dense où se trouve la centrale de traitement et le stockage de boue, les livraisons et stockage des cages d'armature, le bétonnage à la pompe des 3000 m³ de béton et l'évacuation des 5000 m³ des déblais (figures 16 et 17) ;



14



15



16



17



18

15- Excavation de barrette courte avec la mini Hydrofraise® HC05.

16- Bétonnage en cours - vue de la plateforme haute.

17- Centrale de traitement des boues installée sur l'avenue de France.

18- Équipement d'une cage d'armature dans une barrette excavée.

15- Excavation of short barrette with the mini Hydrofraise® HC05.

16- Concreting in progress - view of the upper platform.

17- Sludge treatment unit set up on Avenue de France.

18- Equipment of a concrete reinforcing cage in an excavated barrette.

→ La plateforme basse, un couloir très étroit, qui accueille la mini Hydrofraise® HC05, la benne courte et une grue de manutention, pour les équipements (figure 18) et les bétonnages des barrettes en paroi moulée.

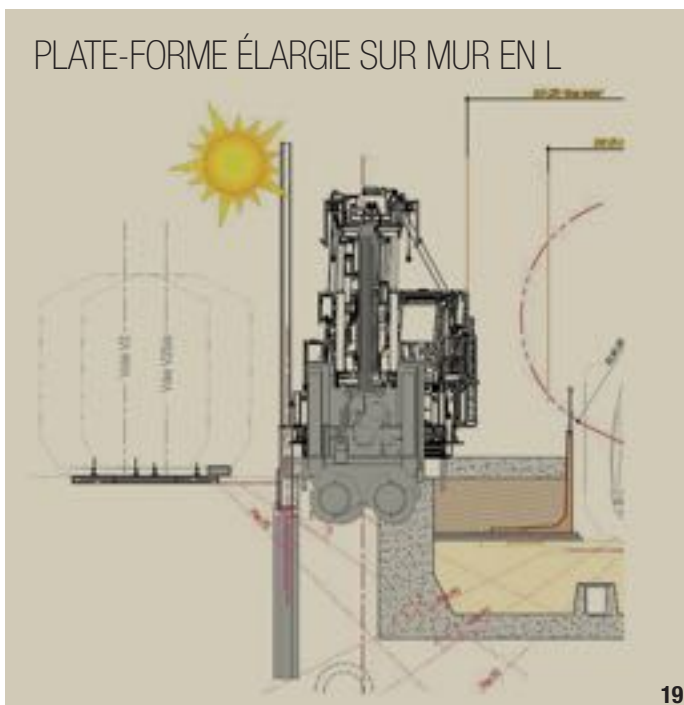
Les équipes travaillent en 2 postes de 8 heures et produisent 7 à 8 barrettes par semaine. Elles équipent ainsi des cages d'armature et bétonnent tous les jours. C'est donc une multitude de grutages complexes et de croisements de machines qui rythme les journées du chantier.

Les fondations de la file J1 s'étant terminées en juillet 2019, les équipes Génie Civil de Chantiers Modernes Construction ont pris le relais pour la réalisation de la suite de l'ouvrage (semelle, voile et chevêtre) et libéreront la plateforme ferroviaire en mai 2020.

CONTRAINTES DE LA FILE F

La plateforme disponible pour la réalisation de la future file d'appui F est située entre l'écran de protection lourd et une trémie, ne dépassant pas 4 m de largeur. La trémie est un ouvrage réalisé vers 1928, qui s'enfonce progressivement sous la plateforme ferroviaire pour relier, via deux voies ferrées, la gare d'Austerlitz au centre technique de maintenance.

PLATE-FORME ÉLARGIE SUR MUR EN L



19

19- Plate-forme élargie sur mur en L.

20- Plate-forme élargie par une dalle portée sur micropieux.

19- Enlarged platform on L-shaped wall.

20- Platform enlarged by a slab supported on micropiles.

L'élargissement s'est fait en deux parties : une première partie sur les hauteurs de trémiées réduites par la pose de mur en L (figure 19), et une seconde par la réalisation d'une dalle portée sur micropieux (figure 20).

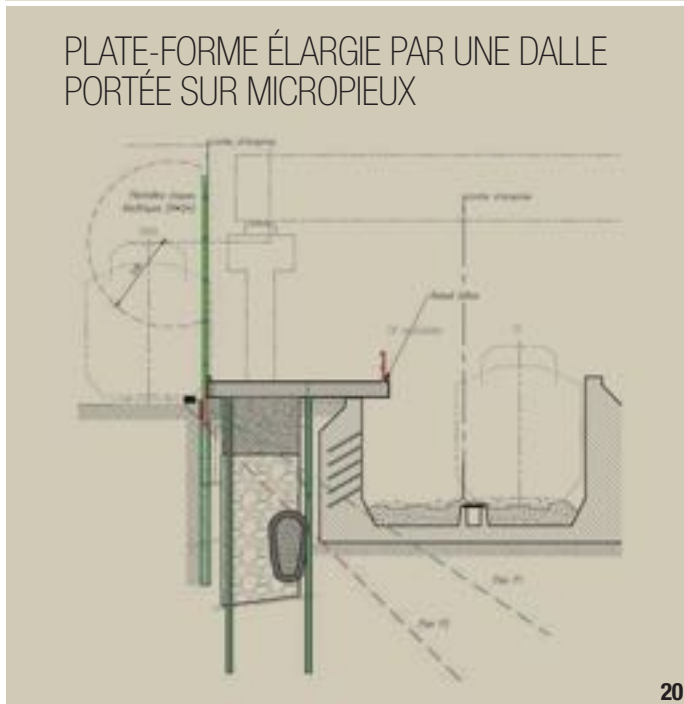
Les 71 micropieux de 15 m de profondeur ont été réalisés de novembre 2019 à janvier 2020. Il s'agit de micropieux de type II, forés à l'outil perdu.

PROCHAINS TRAVAUX DE FONDATIONS À VENIR

Dès la fin de réalisation de la dalle portée sur micropieux, les travaux de fondation reprendront par une phase de carottage du vestige traversant les futures fondations. Les premières équipes de fondations seront remobilisées à partir de fin février pour l'installation des ateliers de paroi moulée et un démarrage de la production des 33 barrettes de la file F mi-mars. □

Les 4 m de largeur disponibles ne permettent pas la mise en œuvre des matériels nécessaires aux travaux de fondation. Ainsi, un élargissement de la plate-forme a été nécessaire, en condamnant provisoirement une des voies s'enfonçant dans la trémie.

PLATE-FORME ÉLARGIE PAR UNE DALLE PORTÉE SUR MICROPIEUX



20

PRINCIPALES QUANTITÉS

PIEUX BERLINOIS : 107 pieux de 6,5 m à 7 m de profondeur

BARRETTES : 77 barrettes (1,2 m x 2,8 m) de 15 m à 32 m de profondeur / 4 760 m²

ARMATURES : 780 t

BÉTON DE FONDATION : 5 500 m³

MICROPIEUX : 71 u

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Semapa (Société d'Étude de Maîtrise d'ouvrage et d'Aménagement Parisienne)

MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE : SNCF Réseau

MAÎTRISE D'ŒUVRE : SNCF Réseau / Terrasol

CSPS : Beccs

ENTREPRISES :

Groupeement Chantiers Modernes Construction (mandataire) /

Soletanche Bachy France / Botte Fondations / Matière

ABSTRACT

FOUNDATIONS FOR THE SEMAPA M10VP PROJECT, PARIS LEFT BANK

LAURENT PONCIN, SOLETANCHE BACHY -SABIKA GHEGEDIBAN, SOLETANCHE BACHY - DENIS PEYNICHOUT, SNCF RÉSEAU

Soletanche Bachy France, in a consortium with Botte Fondations, Chantiers Modernes Construction and Matière, was awarded a contract for the last section of the ambitious project by Semapa (Société d'Étude de Maîtrise d'ouvrage et d'Aménagement Parisienne) to execute the roof covering for the SNCF rail transport platform in the 13th arrondissement of Paris. Supported on diaphragm-wall barrettes, the two new rows of supports in the project will enable the area to be completely enclosed. The complex site environment, part-urban and part-railway, requires major temporary structures, founded on piles and micropiles, to allow execution of the permanent structure. □

LOS CIMIENTOS DEL PROYECTO SEMAPA M10VP, PARÍS ORILLA IZQUIERDA

LAURENT PONCIN, SOLETANCHE BACHY -SABIKA GHEGEDIBAN, SOLETANCHE BACHY - DENIS PEYNICHOUT, SNCF RÉSEAU

Soletanche Bachy France, en consorcio con Botte fondations, Chantiers Modernes Construction y Matière, ha recibido el encargo de construir el último tramo del ambicioso proyecto de la Semapa (Société d'Étude de Maîtrise d'ouvrage et d'Aménagement Parisienne), que consiste en realizar la cobertura de la plataforma ferroviaria de la SNCF en el distrito XIII de París. Sustentadas sobre barras de pantalla de hormigón, las dos nuevas filas de apoyos del proyecto permitirán el cierre completo de la zona. La complejidad del entorno de la obra, entre medio urbano y ferroviario, requiere importantes construcciones provisionales sustentadas por pilotes y micropilotes para permitir la realización de la obra definitiva. □

C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr



1

© YVES CHANOIT

LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS - LA GARE PONT-DE-SÈVRES À LA CONQUÊTE DE L'ESPACE URBAIN

AUTEURS : AYMERIC GELLÉE, MOE CONCEPTION ET TRAVAUX DE LA GARE, INGEROP - PIERRE-BENOIT PASSOT, INGÉNIEUR TRAVAUX SPÉCIAUX, GROUPEMENT HORIZON/SOLETANCHE BACHY FRANCE

LES TRAVAUX DE PAROIS MOULÉES DE LA GARE PONT-DE-SÈVRES S'APPRÊTENT À DÉMARRER AFIN DE PERMETTRE AU TUNNELIER "LAURENCE" DE TRAVERSER LA GARE ALORS MÊME QU'ELLE NE SERA PAS ENCORE EXCAVÉE. CES ÉTAPES-CLÉS DANS LA RÉALISATION D'UNE GARE DU GRAND PARIS EXPRESS NE SONT PLUS QU'UNE QUESTION DE MOIS DANS UN PROCESSUS ENCLENCHÉ DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES, DE LA CONCEPTION À L'ENSEMBLE DES TRAVAUX NÉCESSAIRES À CE PROJET.

CONTEXTE GÉNÉRAL ET IMPLANTATION

La gare Pont-de-Sèvres est située à Boulogne-Billancourt (92) et fait partie du tronçon T3 de la future Ligne 15 Sud (figures 2). Elle est constituée des 3 sous-ouvrages suivants (figure 3) :

- La boîte-gare, ouvrage contenant les quais de la Ligne 15 situés à 29 m de profondeur et traversés par son tunnel ;
- La correspondance vers la station de métro Pont-de-Sèvres, actuel terminus de la Ligne 9 ;
- La passerelle métallique de 260 m de long, assurant un franchissement piéton de la Seine pour relier l'île Seguin.

1- Travaux de paroi moulée provisoire.

1- Temporary diaphragm wall works.

À terme, ce qui n'était qu'une ramification d'échangeur routier en bord de Seine deviendra un espace urbain apaisé, reconquis par des piétons au sein d'un pôle de transports multimodal. Il revient à la maîtrise d'œuvre d'imaginer l'ouvrage souterrain qui intégrera la vision urbanistique. Trouver la juste implantation de la gare au milieu de

contraintes nombreuses, à commencer par la Seine, les bâtis, voiries et réseaux en service, a nécessité de déployer le plus en amont possible des réflexions d'ingénierie approfondies.

La boîte-gare étant située à proximité du puits de lancement du tunnelier du tronçon (environ 600 m), il a été rapidement question de trouver une implantation permettant de mener les travaux nécessaires à la traversée du tunnelier au plus vite. Ajoutez à cela toutes les émergences fonctionnelles à réaliser en extérieur (ventilation, désenfumage, puits de lumière) et peu compatibles avec une zone routière, vous obtenez une nécessité : conquérir un nouvel espace pour créer cette gare, celui de la Seine.

La boîte-gare a ainsi dû empiéter dans le lit de la Seine sur une largeur de 11 m et une longueur de 150 m, pour créer une avancée en Seine (figure 4). L'accord de la Police de l'Eau a nécessité plusieurs années d'échanges, et requis des optimisations conséquentes de géométrie d'ouvrage, dont le moindre volume excédentaire risquait d'entraver l'écoulement des crues de la Seine. La réussite de ce grand pari, qui n'était pas gagné d'avance, a immédiatement porté ses fruits :

- Toutes les émergences fonctionnelles ont été positionnées en bord de la nouvelle berge de la Seine, démultipliant les puits de lumière possibles pour l'ouvrage. ▷

- Un collecteur gravitaire du CD92 (hauteur : 3 m) a été positionné dans le lit mineur de la Seine, en dehors de la dalle de couverture de la boîte. Le gain de hauteur fonctionnelle dans l'ouvrage, ainsi rendu possible, a permis d'aménager tous les locaux techniques dans la boîte-gare.
- Enfin, la place dégagée sur le quai Gorse par la mise en Seine de la gare a été utilisée pour dévier l'ensemble des réseaux non-gravitaires, en dehors de l'emprise de la boîte-gare. Une fois les réseaux déviés en une phase, l'ensemble des travaux de génie civil de la boîte-gare peuvent être entrepris. Le gain en planning, de l'ordre d'un an, à travers ce choix s'est révélé déterminant. L'option de réalisation des travaux de génie civil et des dévoiements successifs des réseaux aurait clairement généré des délais et interfaces supplémentaires.

CONCEPTION DES STRUCTURES

La gare est positionnée dans la vallée de la Seine dans une zone au contexte géotechnique et hydrogéologique très particulier :

- La stratigraphie est constituée successivement de remblais, de terrains alluvionnaires, de craie molle (Ca1) puis altérée (Ca2) et enfin saine à partir d'une profondeur d'environ 39 m ;
À l'exception de la craie saine, les terrains sont globalement de qualité médiocre et particulièrement les couches de craie Ca1 - Ca2, qui représentent à elles seules la moitié des terrains retrouvés dans l'excavation de la boîte-gare ;
- Les nappes alluviales et de la craie étant en communication directe, la poussée hydrostatique potentielle sur les parois moulées est forte (jusqu'à 310 kPa en cas de crue). La présence d'avoisnants sensibles comme un immeuble d'habitation de 15 étages fondé sur pieux flottants est également une contrainte importante à intégrer.
Des parois moulées d'épaisseur 1,50 m ancrées dans la craie saine à 45 m de profondeur, puis prolongées par une jupe injectée pour maîtriser les futurs débits d'exhaure à l'excavation ont été retenues en conception (figure 5).
Un renforcement de la butée de l'encainte en parois moulées par l'ajout



2a

© ARCHITECTE DUTHILLEUL



2b

© ARCHITECTE DUTHILLEUL

de 17 refends en parois moulées non-armées (épaisseur 1,50 m) à l'intérieur de la boîte-gare permet de réduire les déplacements de l'excavation dus à la présence des craies molles.

MÉTHODOLOGIE TRAVAUX - PHASAGE

Le processus de conception a été l'occasion de définir certains choix de méthodologie de travaux suffisamment en amont, pour que les autorisations auprès des tiers puissent être obtenues avant le démarrage du chantier. Ainsi l'avancée en Seine de la gare a requis la conception d'une estacade

2a & 2b- Vues générales projetées.

2a & 2b- General views of the project.

provisoire dès la phase études dont le volume pris dans le lit de la Seine a été validé dès 2015 par la Police de L'Eau. Cette estacade est constituée de 2 files de pieux métalliques battus en Seine et d'une traverse béton de couverture (figure 6). Cet ouvrage

central dans le phasage de la gare a 3 fonctions :

- Il sert de batardeau pour accompagner l'avancée en Seine de la boîte gare, la première file de pieux étant un combiwall pieux/palplanches.
- Il sert d'emprise travaux principale d'excavation de la boîte-gare à l'issue des rétablissements routiers sur sa dalle de couverture.
- Il offre la possibilité de réaliser l'évacuation fluviale des déblais de la gare, des barges pouvant y accoster. Plus de 9000 camions de terrassement pourront être ainsi évités à proximité de la gare, grâce à cette disposition.

Le phasage de réalisation de la gare retenu en phase conception et actuellement mis en œuvre sur site est le suivant :

PHASE 1 (achevée) :

- Coupure de la voirie RD1 sur le quai Gorse et réorganisation des voiries pour dégager les emprises.
- Dévoisement des réseaux par les concessionnaires (12 intervenants).
- En parallèle, via le marché génie civil de réalisation de la gare : construction de l'estacade par voie fluviale et dévoisement du collecteur d'assainissement du CD92 par voie terrestre (figure 6).

Lors de cette phase, un travail de coordination important a dû être mené par le maître d'œuvre entre les emprises des concessionnaires et celles de génie civil gare. Fait rare, aucun dévoisement de réseaux n'a été autorisé avant le démarrage des travaux de génie civil gare, contraignant particulièrement le déroulement d'ensemble des travaux.

PHASE 2 (phase en cours) :

- Une fois l'emprise libérée par les réseaux, les travaux de parois moulées de la boîte-gare peuvent avoir lieu. Compte tenu des délais d'exécution du tronçon, le tunnelier traverse la boîte-gare dès que les parois moulées sont achevées. Des traitements de terrain d'étanchéité de l'enceinte en parois moulées sont ensuite entrepris (jupe injectée).
- La dalle de couverture est réalisée.



- 3- La gare et ses sous-ouvrages.**
- 4- Avancée en Seine de la boîte-gare.**

- 3- The station and its sub-structures.**
- 4- Projection of the station box structure over the Seine.**

- Les réseaux concessionnaires sont déviés sur la dalle, puis la voirie RD1 est remise en service.
- La passerelle est mise en service alors que les travaux de génie civil de la gare ne sont pas achevés.

PHASE 3 (figure 7) :

- La gare est creusée en taube et les planchers coulés au sol à l'avancement du terrassement.
- Les refends en parois moulées sont démolis au terrassement quand ils sont rencontrés, tout comme les voussoirs du tunnel présents en gare.
- L'estacade en Seine supporte les emprises de travaux.

PHASE 4 :

- Une fois les structures achevées, les corps d'état techniques et architecturaux, distincts du lot génie civil, peuvent intervenir jusqu'à la mise en service de la gare.

DES TRAVAUX PRÉPARATOIRES D'ENVERGURE

Les travaux de la gare Pont-de-Sèvres, intégrés au lot de génie civil "T3A" de la Ligne 15 Sud, sont réalisés par le Groupement Horizon (Bouygues TP, Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnels) associé à Sade.

Les opérations préliminaires ont débuté au printemps 2018 par la modification du chenal de navigation en Seine puis la mise en œuvre de l'estacade (139 m x 6 m).

Ses appuis sont composés de tubes métalliques de 28 m, diamètre 1200 mm, poids unitaire 13 t, mis en œuvre par la voie fluviale depuis 2 pontons flottants (en parallèle des travaux des concessionnaires qui se déroulaient sur le terre-plein). Ils sont vibrofonçés sur l'épaisseur des Alluvions et des Craie Altérées puis battus au marteau jusqu'à la cote requise pour justifier la portance.

Des palplanches intercalaires de type AZ18-700 viennent compléter le rideau mixte qui constitue l'appui arrière de l'estacade (figure 6).

Le quai existant a ensuite été démoli, faisant apparaître 41 anciens pieux béton battus qui n'avaient pas été détectés préalablement.

Le groupement et son sous-traitant en charge des travaux fluviaux (groupement Etpo - Bouygues Travaux Publics Régions France) ont dû mettre rapidement au point une méthode d'extraction de ces pieux pour ne pas perturber outre mesure l'avancée des travaux. ▷

AVANCÉE EN SEINE DE LA BOÎTE-GARE



Un système de casque équipé de mors hydrauliques a été construit pour coiffer ces têtes de pieux inclinés et immergés, pour ensuite les extraire au vibrofonçeur. Ce problème étant résolu, les travaux ont repris par la mise en œuvre d'un batardeau en palplanches (depuis la voie terrestre) se refermant sur le rideau mixte. Il permet la construction du nouveau réseau d'assainissement Sevesc (Société des eaux de Versailles et Saint-Cloud), dont le tracé doit épouser le contour de la future gare. Ce collecteur gravitaire de section rectangulaire 2,4x3,5 m possède un radier situé 2,5 m sous le niveau courant de la Seine. La méthodologie retenue par Sade, en charge de ces travaux, a consisté à terrasser le batardeau sous eau puis étancher le fond à l'aide d'un bouchon en béton immergé (épaisseur 2,3 m) résistant aux sous-pressions. Le dalot a ensuite été construit dans le batardeau asséché, à l'aide d'un coffrage glissant.

L'achèvement de ces travaux en juin 2019 a permis le dévoiement du réseau d'assainissement et la démolition de l'ancien, ouvrant la voie au démarrage des travaux spéciaux.

En premier lieu, un soutènement périphérique provisoire en paroi moulée (2700 m²) est réalisé autour de la future gare (figure 1). Celui-ci assure une double fonction : permettre une purge générale de la zone, sur environ 5 m de profondeur, pour retirer les obstacles anthropiques (dont l'ancien collecteur Sevesc maçonné) puis, ultérieurement, permettre la réalisation de la dalle de couverture de la gare, dont le fond de coffrage est situé 5 m sous le niveau existant.

Ce soutènement mixte, d'épaisseur 0,5 m, fiché à 10 m de profondeur dans les Alluvions Modernes comprend un tronçon principal en paroi moulée et un autre en paroi au coulis armée (profilé IPE 360 espacés de 80 cm, noyés dans le coulis). Cette section est localisée au droit d'une future émergence, dont la construction impliquera la démolition du soutènement.

La paroi n'étant pas autostable sous la poussée d'eau et la butée mobilisée dans les Alluvions Modernes médiocre, un niveau d'appui est nécessaire en tête d'ouvrage. Pour éviter la mise en œuvre de butons traversants de grande longueur (25 m), qui encombreraient la fouille, le groupement a proposé une adaptation reposant sur l'exécution d'un lit de tirants actifs en fibres de verre. Le choix de ce matériau se justifie par la nécessité de ne pas laisser

de câbles métalliques dans le tréfonds de la voirie départementale qui jouxte l'ouvrage, en vue des futurs travaux des concessionnaires.

Ces tirants sont forés à 45° depuis une réservation laissée dans la paroi moulée. La méthode de forage est de type Hi'Drill à couronne ouverte, ce qui permet d'équiper le tirant directement dans le tubage. Le scellement des barres puis l'injection répétitive et sélective de coulis de ciment grâce à un tube à manchettes, permettent de mobiliser le frottement latéral nécessaire dans les Alluvions Modernes, pourtant réputées peu frottantes. La mise en tension (précontrainte de 20 t) s'est achevée fin août 2019, permettant d'entamer la purge (12000 m³), réalisée en partie sous le niveau de la nappe. Les matériaux d'apport mis en remblais ont ensuite permis de reconstituer une plateforme de travail pour réaliser la gare proprement dite.

UNE SOLUTION ORIGINALE POUR MAÎTRISER LA DÉFORMABILITÉ DES CRAIES ALTÉRÉES

L'enveloppe de la gare est composée d'une boîte en paroi moulée butonnée tous les 6,28 m (chaque panneau) par des refends transversaux en paroi moulée. Ceux-ci sont bétonnés uniquement de 15 à 35 m de profondeur, sur l'épaisseur des Craies Altérées, de très médiocre qualité géotechnique. Ces refends doivent être excavés par le

tunnelier lors de la traversée de la gare. Afin de limiter le risque de coincement du tunnelier sur un refend, le groupement a proposé une adaptation technique consistant à remplacer une partie de ces refends par un traitement de terrain généralisé, via une technique de soil mixing. Cinq refends sont toutefois conservés devant l'immeuble d'habitation mitoyen, pour garantir une raideur maximale du soutènement dans cette zone sensible.

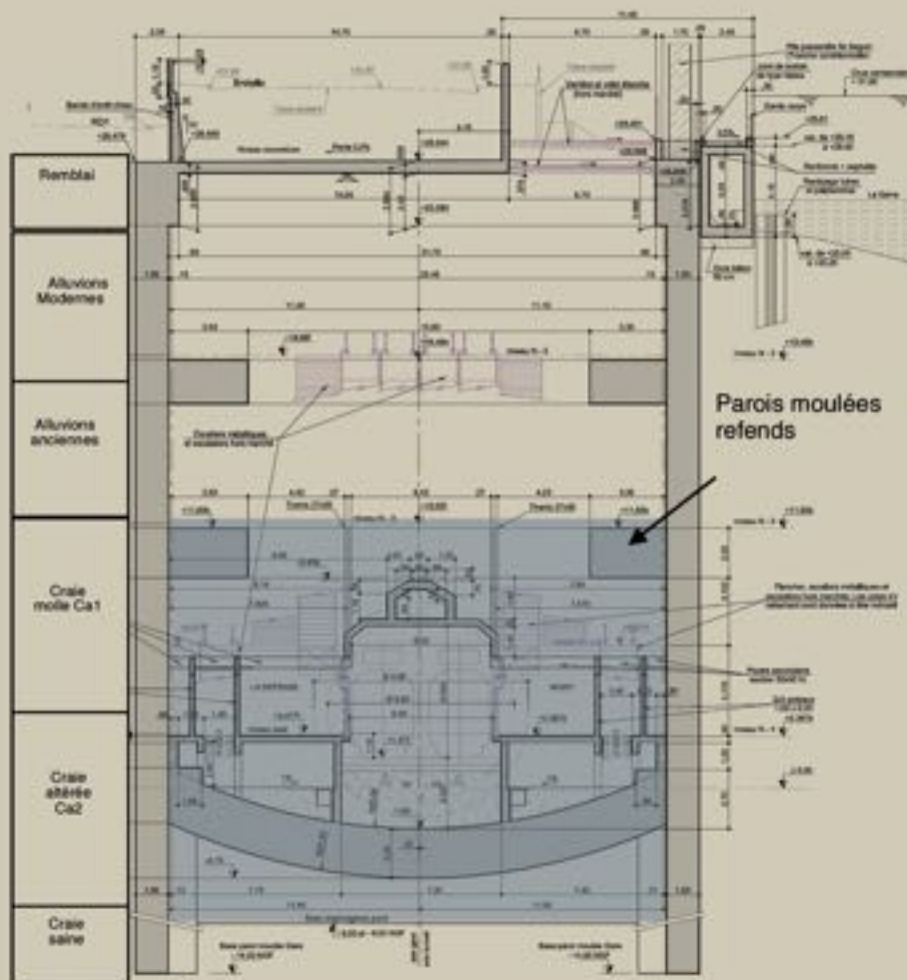
Le traitement consiste à malaxer avec une machine de pieux les Craies Altérées en place, en incorporant du coulis de ciment, pour améliorer leurs caractéristiques géomécaniques.

Le traitement est déployé sur toute la surface de la gare (hormis la zone des 5 refends conservés) et représente environ 40000 m³ de terrain traité, entre 15 et 39 m de profondeur. Le contact entre le traitement en soil mixing et la paroi moulée d'enceinte

5- Coupe-transversale sur la boîte-gare.

5- Cross section of the station box structure.

COUPE-TRANSVERSALE SUR LA BOÎTE-GARE





© YVES CHANOT
6

est assuré par une file de colonnes de jet-grouting, qui permet la transmission directe des efforts au massif de sol-ciment.

Pour valider cette solution et affiner les réglages techniques, un plot d'essai s'est déroulé sur le chantier en mars 2019. Il comprenait la réalisation de 15 colonnes de soil mixing et une large campagne d'essais géotechniques sur des carottes prélevées au cœur du

6- Travaux estacade.
7- Vue en plan phase 3.

6- Construction of the jetty.
7- Plan view of phase 3.

matériau traité. Le mélange sol-ciment ainsi prélevé s'apparente à un béton de sol. La résistance à la compression mesurée sur les échantillons est de l'ordre de 3,5 MPa, le module d'Young de 2800 MPa en moyenne et les caractéristiques intrinsèques dépassent 40° d'angle de frottement et 750 kPa de cohésion.

Les essais étant concluants, la solution a pu être déployée à grande échelle

sur le chantier, à partir de la fin octobre 2019 (figure 8b).

Les travaux, confiés à Soletanche Bachy France sont menés avec la foreuse de grande capacité Fundex F5000 (figure 8a). La machine est équipée d'un outillage spécialement conçu et construit pour le projet. Il est composé d'une double tête de rotation, entraînant deux lignes de tiges équipées de pales de malaxage sur leur partie inférieure (13 m de hauteur). De cette manière, à chaque mise en station, la foreuse réalise deux colonnes de diamètre 1,50 m, légèrement sécantes, sur 39 m de profondeur.

L'injection de coulis de bentonite/ciment est réalisée à la descente, à partir de 15 m de profondeur (entrée dans les Craies Altérées), via l'âme creuse des tiges de forage. La foreuse est alimentée durant toute la réalisation de la colonne par deux pompes à béton, gavées par la centrale à coulis dimensionnée pour fournir 80 m³/h de coulis à la machine.

L'ordinateur de bord de la foreuse permet également de contrôler le bon malaxage des terrains et de vérifier en direct la pénétration dans la Craie Saine via un critère d'ancrage. Ainsi, la profondeur du traitement de terrain est optimisée pour chaque doublet, se limitant à 1 m de pénétration dans la Craie Saine. Les données informatiques de l'enregistreur sont collectées en continue par une application en ligne. La production des diagraphies de forages et la modélisation 3D des déviations des colonnes sont ainsi disponibles quasiment en temps réel. ▷

VUE EN PLAN PHASE 3



7
© INGEROP



8a

© CÉDRIC HELSLY

Au total, 504 doublets légèrement sécants sont réalisés (1 008 colonnes), jusqu'au mois de février 2020.

Les travaux de la gare se poursuivront à forte intensité durant le printemps 2020 avec la réalisation des parois moulées de la gare (trois ateliers benne hydraulique organisés en trois postes), les colonnes de jet-grouting de collage (2 ateliers en 3 postes), le traitement d'entrée-sortie du tunnelier (en jet-grouting lui-aussi) et la jupe injectée destinée à prolonger la fiche hydraulique sous la paroi. Dès lors, la gare sera prête pour permettre le passage du tunnelier qui est attendu à Pont-de-Sèvres courant 2020, après avoir excavé un peu plus de 400 m de craie depuis son lancement au puits d'entrée de l'Île de Monsieur, de l'autre côté de la Seine.

UN COULOIR DE CORRESPONDANCE TRÈS PHASÉ

En parallèle des travaux de la gare, ceux du couloir de correspondance présentent également des enjeux techniques et de phasage important. L'ouvrage est réalisé selon trois grands procédés constructifs, fonction de la charge d'eau au niveau du radier.

Dans sa partie profonde, proche de la boîte-gare, l'optimum technico-économique consiste à ficher la paroi moulée d'épaisseur 800 mm directement dans la Craie Saine, à 38 m de profondeur. Les terrassements sont réalisés en taupe, sous une dalle de couverture et deux lits de butons, avec l'aide d'un pompage d'exhaure.

Dans sa partie centrale, le radier passe de 15 m à 7 m de profondeur. Le sou-

8a- Atelier de traitement de terrain en soil mixing.

8b- Réalisation du traitement de terrain en soil mixing : vue d'ensemble.

8a- Equipment for ground treatment by soil mixing.

8b- Performance of ground treatment by soil mixing: general view.

tènement en paroi moulée est alors raccourci et la fiche est stoppée dans les Alluvions Anciennes, à 17 m de profondeur.

Le terrassement à ciel ouvert, sous deux lits de butons, est réalisé à l'abri d'un fond injecté de 3 m d'épaisseur, positionné à la base des parois. Celui-ci permet de maîtriser le débit d'exhaure durant le terrassement.

Enfin, dans la zone supérieure qui se raccorde sur la gare existante du métro Ligne 9, la charge d'eau au radier est modérée et permet de réaliser l'ouvrage à l'abri d'une berlinoise appuyée en tête avec un lit de butons précontraints (figures 9a et 9b). Un rabattement de nappe avec quelques puits de pompage permet la mise hors d'eau de la fouille. Dans cette zone, le génie civil est réalisé à ciel ouvert : radier, piédroits coffrés une face avec des outils spécifiques, puis dalle de couverture sur étaielement.

Outre la multiplicité des procédés constructifs employés, la complexité réside avant tout dans le phasage des travaux, organisés en 7 grandes phases pour tenir compte des multiples contraintes de déviations de voiries ou de réseaux.

Par ailleurs, ce couloir présente une géométrie singulière qui s'adapte aux contraintes de surface et aux nombreuses fonctionnalités qui lui sont dévolues : transit des voyageurs, espaces commerciaux, jardins et puits de lumière naturelle. Ainsi, sa largeur est variable selon le profil en long : de 8 m dans la zone la plus étroite à près de 40 m dans les zones commerciales.



8b

© HORIZON



© YVES CHANOIT
9a

Les portées sont coupées par des poteaux métalliques. Les bétons des piédroits et dalles n'étant pas revêtus, une attention particulière est portée à la qualité des parements architecturaux. Le calepinage des joints horizontaux et verticaux a fait l'objet d'études approfondies, tout comme la teinte des bétons et la qualité des parements. □

9a & 9b-
Couloir de
correspondance.

9a & 9b-
Connection
passageway.



© HORIZON
9b

PRINCIPALES QUANTITÉS

AMÉLIORATION DE SOL : 35 000 m³
PAROI MOULÉE (ép. 0,5 m, 0,8 m et 1,5 m) : 36 000 m³
TERRASSEMENT : 149 000 m³
BÉTON DE GÉNIE CIVIL : 35 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris
GROUPEMENT D'ENTREPRISES GÉNIE CIVIL : Horizon
 composé de : Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnels
MAÎTRE D'ŒUVRE : groupement : Setec tpi (mandataire) - Ingerop (co-traitant) - Geos (sous-traitant géotechnique) - Agence Duthilleul (architecte PDS et Passerelle) - Brunet Saunier Architecture (architecte ISS)
AMO : Artemis (Artelia - Arcadis - Bg)

ABSTRACT

LINE 15 SOUTH OF THE GRAND PARIS PROJECT - PONT-DE-SÈVRES STATION WINNING BACK URBAN SPACE

AYMERIC GELLÉE, INGEROP - PIERRE-BENOIT PASSOT, GROUPEMENT HORIZON / SOLETANCHE BACHY FRANCE

Two years were needed to perform a great variety of preparatory works, including the construction of a jetty, the diversion of major utilities, soil treatment and work on the connection. The construction of Pont-de-Sèvres Station will take on a new magnitude in 2020, with increasingly intense special works, the passage of the tunnel boring machine and the start of civil works for the station box structure. The design options chosen several years ago by the contracting authority and the project manager, and the optimisations made by the contractor at that time, will then be materialised on this project characterised by a highly urbanised context and a special environment on the edge of the Seine. □

LÍNEA 15 SUR DE LA METRÓPOLIS DEL GRAN PARÍS: LA ESTACIÓN DE PONT-DE-SÈVRES, A LA CONQUISTA DEL ESPACIO URBANO

AYMERIC GELLÉE, INGEROP - PIERRE-BENOIT PASSOT, GROUPEMENT HORIZON / SOLETANCHE BACHY FRANCE

Se han precisado dos años para realizar unas obras preparatorias muy diversas, con la construcción de un muelle, la desviación de grandes redes, los tratamientos del suelo y las obras del enlace. La construcción de la estación de Pont-de-Sèvres tomará otra dimensión en 2020, con la intensificación de las obras especiales, el paso de la tuneladora y el inicio de la ingeniería civil del espacio de la estación. De este modo, las alternativas de diseño elegidas hace varios años por la promotora y la dirección de obra, así como las optimizaciones aplicadas en segunda instancia por la empresa, se verán finalmente concretadas en esta obra, caracterizada por un contexto fuertemente urbanizado y un entorno particular al borde del Sena. □



1

© GUINTOLI

SÉCURISATION DES ANCIENNES CARRIÈRES DE LA CORNICHE DES FORTS À ROMAINVILLE

AUTEURS : MARIANNE AGUIE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
AUDREY DELAUNAY, RESPONSABLE ADJOINTE D'EXPLOITATION FRANCE NORD, SOLETANCHE BACHY FRANCE

UN GROUPEMENT DE CINQ ENTREPRISES MENÉ PAR SOLETANCHE BACHY EST INTERVENU À ROMAINVILLE (93) POUR RÉALISER LES TRAVAUX DE SÉCURISATION DES ANCIENNES CARRIÈRES DE GYPSE DE LA CORNICHE DES FORTS, ENTRE OCTOBRE 2018 ET SEPTEMBRE 2019. DEUX TECHNIQUES ONT ÉTÉ EMPLOYÉES : LE REMPLISSAGE DES GALERIES PAR INJECTION AU MORTIER DE COMPLEMENT ET LA MISE EN ŒUVRE DE GÉOSYNTHÉTIQUES DE RENFORCEMENT EN SURFACE APRÈS REMBLAIEMENT DES FONTIS VENUS À JOUR.

CONTEXTE

La Corniche des Forts est un espace de 62 ha qui chevauche les villes de Romainville, des Lilas, de Noisy-le-Sec et de Pantin. Sa partie centrale, constituée de 28 ha situés sur la commune de Romainville, a été exploitée pour l'extraction du gypse dès le début du XIX^e siècle jusqu'à la fermeture des carrières au début des années 1960 (figure 2).

Les Marnes et Caillasses ont été exploitées sur 3 niveaux cartographiés par l'Inspection Générale des Carrières (figure 3), jusqu'à environ 60 m de profondeur.

Depuis l'arrêt de l'exploitation du gypse, le site est intégralement fermé au public, en raison des multiples galeries non sécurisées qui le sous-minent. La parcelle ayant été laissée à l'abandon, des bois ont poussé à sa surface

et, en l'absence de remblaiement des galeries, plusieurs fontis atteignant des diamètres de plus de 20 m ont vu le jour. La région Île-de-France, propriétaire du terrain, a mené une réflexion à partir des années 1990 pour repenser le site et rouvrir la Corniche des Forts au public. En 2015, le marché de sécurisation des anciennes galeries est attribué au groupement Soletanche Bachy France (mandataire) / Guintoli / Sefi-Intrafor /

1- Vue d'ensemble.

1- General view.

2- Photographie d'archive des anciennes carrières de Romainville.
 3- Cartographie des carrières de gypse réalisée par l'Inspection Générale des Carrières.

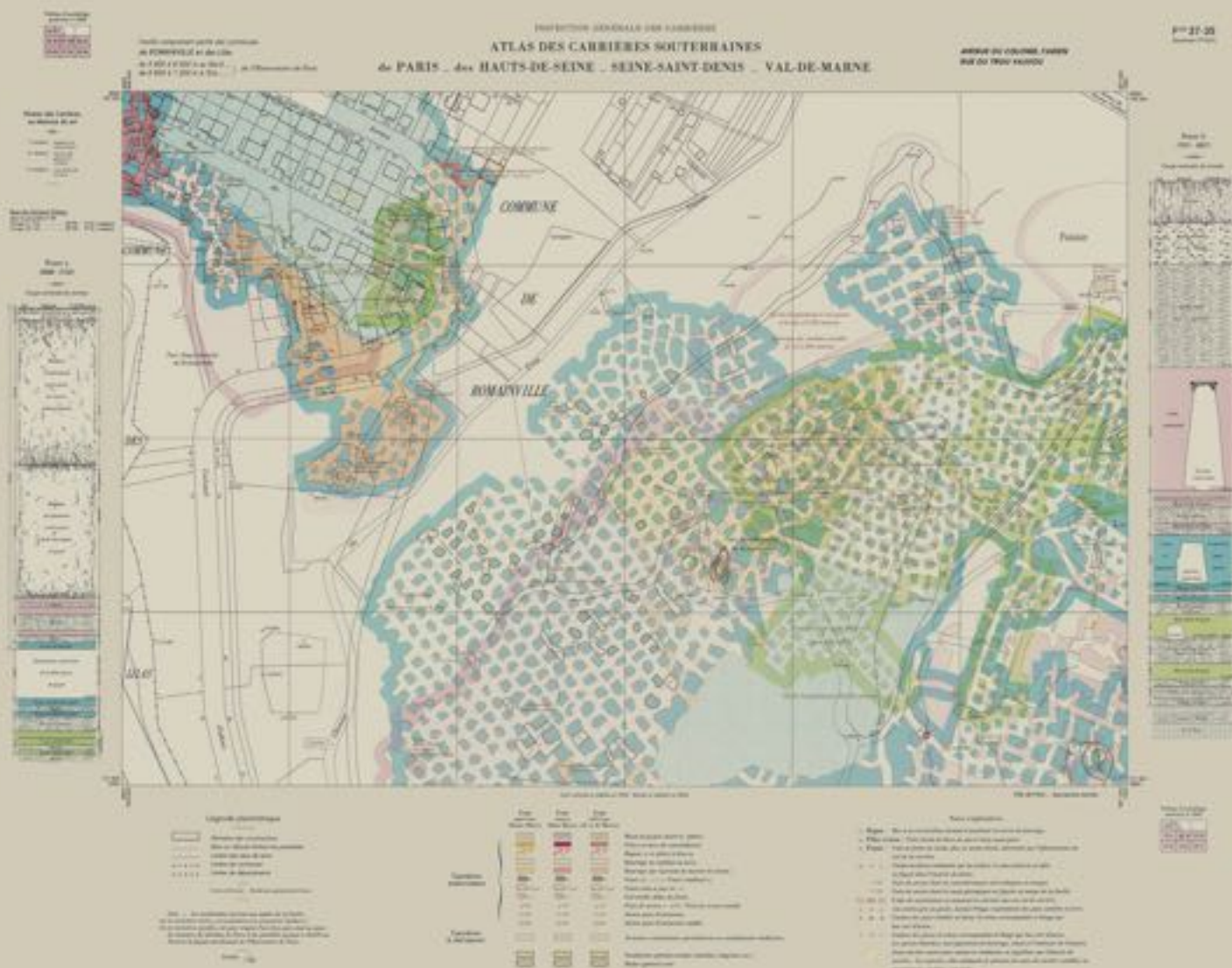
2- Archive photo of the former Romainville quarries.
 3- Map of the gypsum quarries produced by Inspection Générale des Carrières.



© DR 2

Nge Fondations/Razel-Bec. Les travaux consistent en la sécurisation des 4,5 ha qui doivent être accessibles au public en tant qu'espaces verts, le reste du bois étant sanctuarisé.
 Deux méthodes ont été employées pour la sécurisation : la majorité de la surface a été traitée par des forages et du comblement gravitaire classique de carrières et une autre partie par la mise en œuvre de géosynthétiques de renforcement en surface. Les trois entreprises de travaux spéciaux, Soletanche Bachy, Sefi-Intrafor et Nge Fondations ont mis en commun leurs moyens pour réaliser les forages et le comblement des galeries, tandis que les terrassiers Guintoli et Razel-Bec ont fait de même pour les terrassements de surface et la sécurisation par géosynthétiques de renforcement.

CARTOGRAPHIE DES CARRIÈRES DE GYPSE RÉALISÉE PAR L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES



3
 © IGC

Les travaux d'injections ont concerné les deux premières masses de gypses :

- La première, située à environ 20 m de profondeur, et dont les galeries peuvent atteindre 12 m de vide ;
- Ainsi que la deuxième, accessible par un puits préexistant, située à environ 35 m de profondeur, et dont les galeries font environ 5 m de haut.

Le comblement des carrières ne portant pas sur l'ensemble des zones exploitées (figure 4), la première étape des travaux a consisté à réaliser des murs de barrage à travers les galeries vides, afin d'empêcher le mortier de s'épandre hors des zones à sécuriser. Dans les parties inaccessibles, ceux-ci ont été mis en œuvre de façon classique au moyen de grave-ciment injectée à travers des forages depuis la surface, afin de former des cônes à travers les galeries. Dans les parties accessibles, une méthode moins conventionnelle a été imaginée pour les besoins de ce chantier : les barrages étaient constitués de sacs en géotextile, mis en place et remplis au mortier de remplissage directement dans les galeries, formant des murs-poids à travers les galeries vides.

ÉLABORATION DE LA MÉTHODE DE RÉALISATION DES BARRAGES

L'objectif des barrages était de fermer des galeries dont les dimensions en coupe étaient en moyenne de 5 m de hauteur par 5 m de large. Le projet d'aménagement exigeait la réalisation de 67 barrages, quantité importante comparée aux quantités rencontrées classiquement sur les chantiers de comblement de carrières parisiens, sur lesquels le nombre de galeries à barrer dépasse rarement la dizaine. Ce nombre important demandait une réflexion sur la méthode d'exécution, afin de respecter des délais et un budget raisonnables.

Lors de la réponse à l'appel d'offres, partant de l'hypothèse que les barrages ne pouvaient être faits que depuis la surface, la solution proposée par le groupement consistait à réaliser des forages tubés de diamètre 800 mm jusqu'en ciel de carrière - le nombre de forages étant à adapter en fonction de la largeur de la galerie à barrer - puis à déverser des déblais issus des mouvements de terre du site depuis la surface, ceux-ci formant dans les carrières un cône barrant la galerie visée. Cette solution présentait l'avantage de permettre le réemploi d'une partie des déblais du chantier en lieu et place de

EXTRAIT DU PLAN D'IMPLANTATION



4

© SOLETANCHE BACHY



5

© SOLETANCHE BACHY

4- Extrait du plan d'implantation.
5- Prise de vue des galeries pendant l'état des lieux préalable.

4- Excerpt from the layout plan.
5- Shot of the galleries when performing a preliminary review of the existing situation.



© CÉDRIC HELSLY
6



© CÉDRIC HELSLY
7



© CÉDRIC HELSLY
8

6- Colmatage des interstices restant dans un barrage en Geotubes®.

7- Barrage en Geotubes® en cours de réalisation.

8- Barrage en Geotubes® terminé.

9- Schéma de principe d'un barrage en Geotubes®.

6- Stopping up the remaining interstices in a Geotubes® barrier.

7- Geotubes® barrier being executed.

8- Completed Geotubes® barrier.

9- Schematic diagram of a Geotubes® barrier.

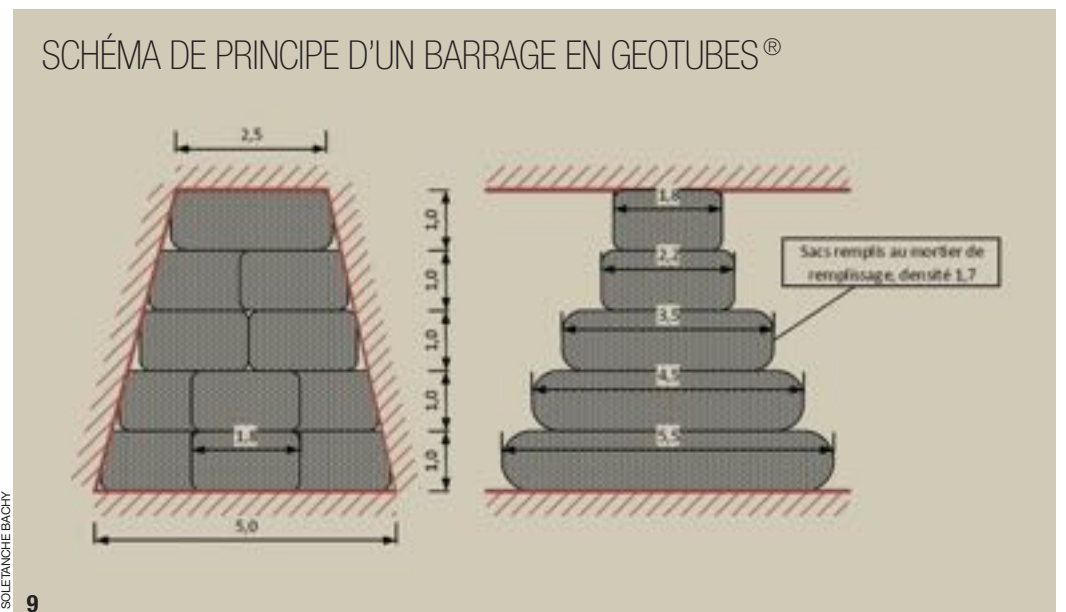
la grave-ciment usuellement utilisée pour les barrages en carrières. Cependant, les travaux étant réalisés "en aveugle" dans la carrière, la méthode rendait le contrôle de la qualité des barrages mis en œuvre difficile et ne permettait pas de fiabiliser leur effica-

cité contre les divagations de mortier dans les galeries.

Pendant la période de préparation des travaux de sécurisation, une descente dans les galeries de la 2^e masse a été organisée pour faire un état des lieux aussi complet que possible des galeries

à barrer. Les conclusions de cet inventaire étaient les suivantes :

→ Une partie des barrages était en zone inaccessible, localisés dans des zones éboulées dont les hauteurs de vide étaient donc inférieures à 5 m ;





10

© CÉDRIC HELSLY

→ La majorité des barrages se situait dans des zones circulables par du personnel, moyennant la délimitation de cheminements piétons définis et sécurisés (figure 5).

Considérant ces nouvelles données, une solution depuis l'intérieur des carrières, permettant de fiabiliser la qualité des barrages accessibles et de les exécuter dans un délai raisonnable, a été recherchée. Après plusieurs essais et un travail de conception avec le fournisseur TenCate Geosynthetics, une solution basée sur l'utilisation de Geotubes® (voir reportage dans *Travaux n°957 Spécial Innovation de janvier-février 2020*) a été proposée et acceptée par les acteurs du projet. Deux contraintes organisationnelles s'ajoutaient aux objectifs techniques :

→ Les seuls accès à la carrière étaient des puits de descente de 1,20 m de diamètre au maximum. Les conséquences étaient l'impossibilité de descendre des engins de levage dans les galeries, et la nécessité de n'employer que du matériel que le personnel pouvait manutentionner sans aide ;

→ La méthode devait être adaptable de façon simple aux différentes géométries rencontrées.

La méthode utilisée consistait à empiler des Geotubes® de même diamètre, mais de longueurs variables, afin qu'ils forment un mur-poids épousant les contours de la galerie à barrer, selon le schéma en figure 9. Six longueurs

de tubes ont été définies, allant de 7 m pour les tubes en base de barrage jusqu'à 2 m pour les tubes utilisés au sommet. Les Geotubes® étaient descendus dans les galeries vides et enroulés, afin que les équipes puissent les déplacer sans difficulté. Pour chaque barrage, le premier niveau de sacs (de longueur 6 m ou 7 m) était déroulé au sol au droit du mur à réaliser, puis rempli de mortier de remplissage fabriqué par la centrale en surface, au moyen de flexibles d'injection

10- Vue d'un fontis avant son remblaiement.

11- Forages au plus près des arbres conservés.

10- View of a subsidence cavity before backfilling.
11- Drill holes very close to protected trees.

descendus en carrière à travers des forages (figure 7).

Le niveau suivant était déroulé et injecté après une période de séchage de 24 h environ ; ainsi de suite jusqu'à atteindre le ciel de carrière. L'adaptation du nombre de sacs sur chaque niveau a permis d'épouser au mieux les formes des piliers, et les quelques interstices restants ont été comblés à la main (figure 6).

Par la suite, lors des injections de remplissage, l'accès aux galeries ayant



11

© CÉDRIC HELSLY



© CÉDRIC HELSLY
12

été rouvert pour les barrages, une surveillance de ces derniers a pu être menée afin de détecter et colmater rapidement les points de fuite du mortier, et ainsi éviter les surconsommations de mortier dans des zones qui n'étaient pas à sécuriser.

INJECTIONS DE REMPLISSAGE

Après la mise en œuvre des barrages, les zones à sécuriser ont été comblées par injection gravitaire de mortier de remplissage.

Dans un premier temps, des forages ont été réalisés selon un maillage 7 m x 7 m sous les futures pistes de chantier, et 12 m x 12 m dans les autres zones (figure 11). Le diamètre des forages était de 250 mm ; ils étaient forés depuis la surface

jusqu'à atteindre le niveau de carrière visé (1^{re} ou 2^e masse), puis poursuivis jusqu'à 1 m dans le sol de carrière, compact. Ils étaient ensuite équipés en tubes PVC de diamètre 140 mm.

Chaque forage a ensuite été injecté au moyen de mortier de remplissage fabriqué par une centrale montée sur le chantier (figure 12). Le mortier

12- Centrale de fabrication de mortier de comblement.

12- Filling mortar production plant.

est composé de sable 0/2 mm en majorité, de liant géotechnique dosé à 125 kg/m³ et d'eau, afin de répondre à un objectif de résistance en compression de 1,5 MPa à 28 jours.

Les cadences d'injection importantes demandées par le contrat (650 m³ de mortier par jour) ont nécessité de monter une centrale de fabrication à haut rendement Skako, et de prendre plusieurs mesures organisationnelles afin d'assurer un approvisionnement suffisant en matières premières. Ainsi, le sable a fait l'objet d'une mise en stock préalable sur le site de l'ensemble de la quantité prévue pour le chantier, soit 32 000 m³. Le débit d'approvisionnement en eau devant être au minimum de 50 m³/h, un puits de pompage de 102 m de profondeur a été réalisé sur le chantier, pour puiser l'eau dans l'Yprésien.

Les injections de remplissage ont duré 4 mois, avec une cadence journalière moyenne de plus de 700 m³/jour. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BARRAGES : 67 unités dont 32 en Geotubes®

FORAGES : 250 unités totalisant 9 300 m

INJECTION DE MORTIER DE COMPLEMENT : 60 574 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Île-de-France

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Grand Paris Aménagement

MAÎTRE D'ŒUVRE :

groupe Ilex (mandataire) / Egis Structures & Environnement / Egis Ville & Transport

ENTREPRISES TRAVAUX :

groupe Soletanche Bachy (mandataire) / Guintoli / Sefi-Intrafor / Razel-Bec / Nge Fondations

ABSTRACT

IMPROVING SAFETY FOR THE FORMER QUARRIES OF CORNICHE DES FORTS AT ROMAINVILLE

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY - AUDREY DELAUNAY, SOLETANCHE BACHY

A consortium of five companies led by Soletanche Bachy performed work at Romainville for the Ile-de-France Region to improve the safety of the former gypsum quarries of Corniche des Forts. Two techniques were used: filling the galleries by grouting with filling mortar and the laying of reinforcing geosynthetic clay liners on the surface after backfilling of subsidence cavities rising to the surface. Barriers of the Geotubes® type, filled with mortar, were installed in the galleries, before filling them by grouting with mortar through the drill holes executed from the surface. □

AFIANZAMIENTO DE LAS ANTIGUAS CANTERAS DE LA CORNICHE DES FORTS, EN ROMAINVILLE

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY - AUDREY DELAUNAY, SOLETANCHE BACHY

Un consorcio de cinco empresas dirigido por Soletanche Bachy ha intervenido en Romainville (departamento francés nº93) para realizar, por encargo de la Región de Île-de-France, las obras de afianzamiento de las antiguas canteras de yeso de la Corniche des Forts. Se han utilizado dos técnicas: el relleno de las galerías por inyección de mortero y la aplicación de geosintéticos de refuerzo en superficie, previo terraplenado de las subsidencias aparecidas. Se han instalado barreras de tipo Geotubes® rellenas de mortero en las galerías, previamente al llenado de las mismas por inyección de mortero desde los orificios perforados desde la superficie. □



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

CHEMIN DES BIÂTRES À AIX-LES-BAINS : UN BASSIN LES PIEDS DANS L'EAU

AUTEURS : MAXIME LAJOIE, INGÉNIEUR D'AFFAIRES AU SERVICE PAROIS MOULÉES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS -
NICOLAS THIERRY, INGÉNIEUR D'AFFAIRES AU SERVICE INJECTIONS, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

LE BASSIN D'ORAGE ENTERRÉ DES BIÂTRES S'INSCRIT DANS UN PROJET GLOBAL D'ASSAINISSEMENT DU LAC DU BOURGET, ENGAGÉ DÉJÀ DEPUIS PLUS DE QUARANTE ANS. C'EST UN CYLINDRE D'UNE CAPACITÉ DE 10 000 m³ SITUÉ SUR LA COMMUNE D'AIX-LES-BAINS. IL COMPREND UNE PAROI MOULÉE DE 35 m DE DIAMÈTRE ET DE 29 m DE PROFONDEUR. SA CONCEPTION A NÉCESSITÉ LA RÉALISATION DE 88 MICROPIEUX D'ANCRAGE DE RADIER AINSI QU'UN BOUCHON INJECTÉ COMPRENANT PLUS DE 460 FORAGES ET 1 500 m³ DE COULIS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Chaque année, 600 000 m³ en moyenne d'eaux chargées de phosphates, nitrates ou de matières organiques ruissellent dans le lac du Bourget sans avoir été traitées au préalable. Lors des épisodes orageux, dans la configuration actuelle, la station d'épuration locale ne peut gérer l'ensemble des eaux de ruissellement. Le bassin de rétention des Biâtres à proximité du Petit Port d'Aix-les-Bains et du ruisseau du Tillet est actuellement en cours de réalisation (figure 1). Il contribuera à assainir près de 80 % des eaux rejetées dans le lac. Il collectera et stockera ainsi temporairement

ces eaux via une conduite Ø 2 500 mm pour les redistribuer progressivement dans le réseau unitaire de la ville.

Le groupement d'entreprises en charge des travaux de ce bassin est composé de Léon Grosse pour le génie civil, Spie Batignolles Fondations pour les fondations spéciales et Saur pour le process. Les fondations spéciales ont consisté en une paroi moulée circulaire associée à un fond injecté de 5 m d'épaisseur à sa base. La stabilité du radier vis-à-vis de la poussée d'Archimède est assurée par un ensemble de 88 micropieux de 17 m de longueur sous le fond de fouille (figure 2).

1- Bassin des Biâtres, dans la vallée du lac du Bourget.

1- Biâtres basin, in the valley of Lake Bourget.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le bassin d'orage des Biâtres se situe dans des alluvions modernes (dépôts en bord du lac du Bourget et de ses affluents) posées sur des formations

glaciaires würmiennes et le substratum mollassique.

Les reconnaissances préalables ont permis de mettre en évidence deux subdivisions principales de caractéristiques géomécaniques différentes : les alluvions superficielles et les alluvions sablo-graveleuses (figure 3).

Au droit de l'ouvrage à réaliser, les couches rencontrées sont hétérogènes, alternant entre des argiles limoneuses, des limons sablo-graveleux, des sables plus ou moins grossiers et des graves sableuses. On y trouve ponctuellement des blocs de dimensions supérieures à 40 cm.

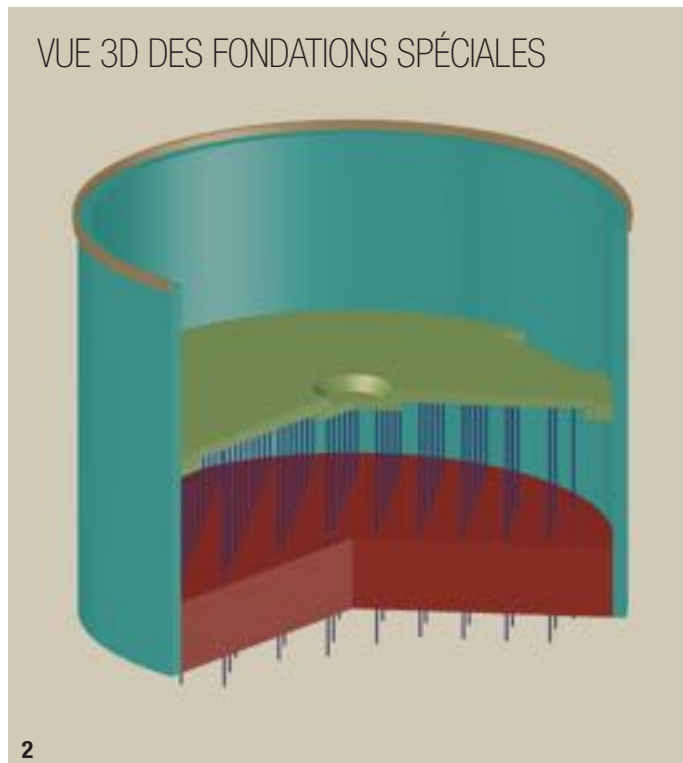
D'un point de vue hydrogéologique, la nappe phréatique est située à faible profondeur, environ 2 m sous le terrain naturel. La présence du cours d'eau du Tillet sur l'emprise des travaux et la relative proximité du lac du Bourget, situé à moins de 500 m, impactent fortement le régime hydrogéologique du site. Les couches d'alluvions sont de perméabilités variables de 10^{-3} m/s dans les passages les plus graveleux très ouverts à 10^{-5} m/s dans les transitions argilo-sableuses plus fermées.

LA PAROI MOULÉE

L'écran de soutènement du bassin est constituée d'une enceinte en paroi moulée autostable (figure 4). Elle se déploie sur un diamètre intérieur de 35 m, a une épaisseur de 82 cm, et une profondeur de 29 m. Cette conception classique a permis de s'affranchir de butons ou de tirants d'ancrages lors du terrassement de la fouille.

La paroi moulée, composée de 16 panneaux, a été excavée avec une benne à câbles montée sur une grue de forage Liebherr HS 8100 de 90 t (figure 5). La nature hétérogène des terrains rencontrés et le niveau d'eau affleurant ont entraîné des difficultés de forage qui se sont traduites par des surconsommations importantes de boue bentonitique et de béton lors de son exécution. Malgré ces difficultés, la verticalité du forage a été respectée.

Lors du forage des panneaux, des prélèvements systématiques d'échantillons

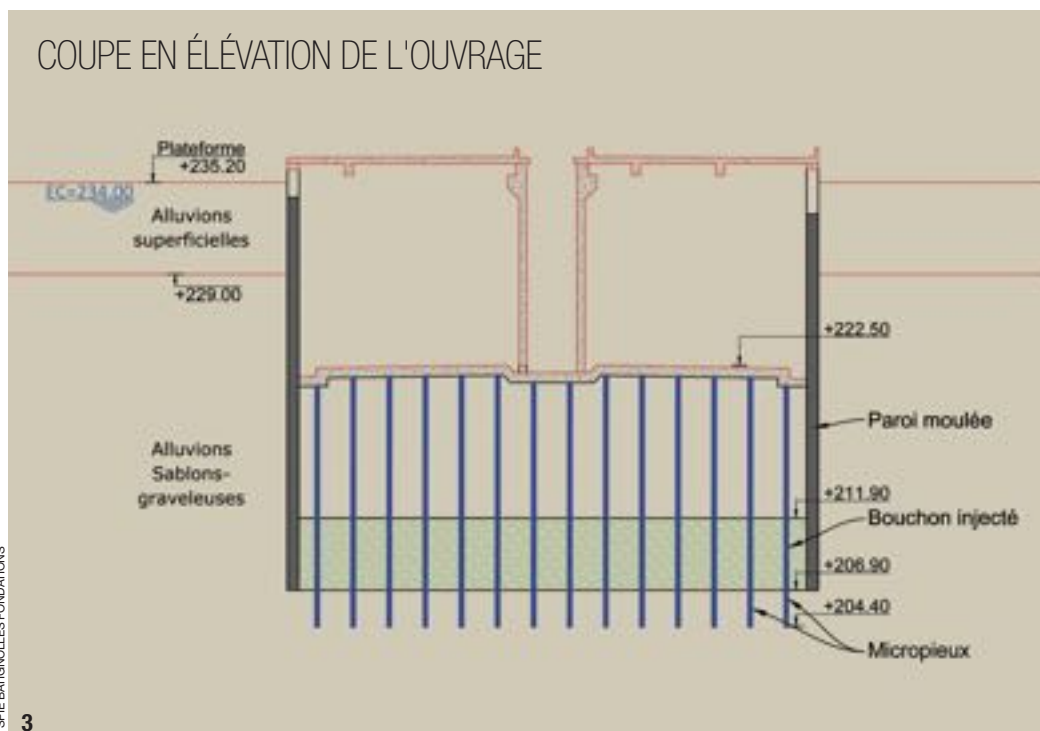


2 © SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

2- Vue 3D des fondations spéciales.
3- Coupe en élévation de l'ouvrage.

2- 3D view of the special foundations.
3- Elevation view of the structure.

ont été effectués. Cette cartographie détaillée a permis de modéliser et d'analyser précisément la nature des terrains en place afin d'adapter par la suite les méthodes de perforation des micropieux et du bouchon injecté. Elle a aussi été décisive dans la conception des injections tant dans le choix des coulis à mettre en œuvre que dans leurs proportions.



3 © SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

LES MICROPIEUX

L'ouvrage en phase définitive est considéré comme une structure étanche et non drainée. Pour compenser la sous-pression s'appliquant au radier, ce dernier a dû être ancré au terrain à l'aide de micropieux.

Une fois la paroi moulée terminée, 88 micropieux de type III répartis suivant une maille carrée de 2,92 m ont donc été réalisés (figure 6). Afin de ne pas traverser un bouchon déjà en place et risquer des cheminements d'eau préférentiels le long des micropieux, ces derniers ont été faits avant tous travaux d'injection.

L'arase inférieure du radier du bassin se situe à 13,6 m de profondeur.

Une phase d'essais préalables a permis l'optimisation des longueurs de micropieux. Ces données d'entrée associées à la vérification du cône d'ancrage mobilisable par micropieu ont conduit à des longueurs unitaires de 17 m sous le radier.

Les micropieux réalisés depuis le terrain naturel étaient équipés en arase basse à 13 m de profondeur.

Les principales contraintes concernaient la bonne exécution du forage et l'équipement des armatures sur une hauteur de plus de 30 m, tout en respectant les tolérances de verticalité. La méthode de forage employée fut celle de la vibro-rotation à l'aide d'une tête Eurodrill RHV1500 haute fréquence montée sur une foreuse Soilmec SM18. Cette technique est particulièrement adaptée aux milieux alluvionnaires. Elle présente l'avantage, outre une vitesse de perforation élevée, de réaliser l'équipement de l'armature à l'abri du train de tige faisant office de tubage provisoire.

Ces tubes de forage de diamètre 150 mm, trop larges pour employer un barillet, étaient mis en place à l'aide d'une pelle mécanique munie d'une pince (figure 7).

La descente des armatures s'est faite à l'aide d'un système de câbles permettant de les suspendre dans le forage et les équiper à la cote.

Une sur-longueur des barres en tête a permis d'intégrer une tolérance sur l'altimétrie de calage.

L'ensemble de ces dispositions a permis de respecter en toutes directions les tolérances de positionnement imposées.

Une fois le terrassement terminé, les têtes d'armatures ont été soigneusement nettoyées puis recépées pour la mise en place des platines métalliques de liaison avec le radier (figure 8).



4

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS

CONCEPTION DU BOUCHON INJECTÉ

Le niveau de nappe élevé et la proximité de nombreuses sources d'eau rendaient impossible le terrassement de l'ouvrage sans un rabattement de nappe continu pendant la durée globale du chantier. Le débit maximal de pompage autorisé était fixé à 50 m³/h. Compte tenu du contexte hydrogéologique et de la profondeur du fond de fouille, un système d'étanchement provisoire par injections était nécessaire pour satisfaire cette exigence.

Un essai de pompage a été fait dans l'enceinte des parois moulées afin de quantifier le débit d'exhaure initial, avant injections. Cet essai aboutissait à un débit de l'ordre de 500 m³/h. La réduction de la perméabilité d'un facteur supérieur à 10 était donc nécessaire pour atteindre le débit contractuel. Dans la conception d'un bouchon, le positionnement, l'épaisseur, le maillage des forages et les coulis employés sont d'une importance capitale pour obtenir les résultats attendus.

La difficulté majeure d'un tel ouvrage est de réaliser un traitement efficace sur l'ensemble de la surface du bassin malgré la nature hétérogène des terrains alluvionnaires.

Le moindre défaut dans un bouchon injecté, même ponctuel, peut entraîner des venues d'eau locales importantes et ainsi nuire à son efficacité.

La profondeur d'un bouchon injecté se calcule en vérifiant la stabilité du fond

de fouille. L'effort de sous-pression qu'exerce la nappe en sous-face du bouchon doit être inférieur au poids du terrain mobilisé au-dessus. L'épaisseur du bouchon est, quant à elle, déterminée par application de la loi de Darcy. Pour le bassin des Biâtres, la conception du maître d'œuvre prévoyait un bouchon d'épaisseur 5 m, calé en pied de paroi moulée. Cette disposition a été conservée en phase d'exécution.

Le maillage des forages est essentiellement fonction de la granulométrie et

**4- Réalisation
des parois
moulées.**

**5- Forage
des parois
moulées.**

**4- Execution
of diaphragm
walls.**

**5- Drilling the
diaphragm
walls.**

de la perméabilité des terrains en place qui ont une influence sur le rayon d'action des matériaux injectés. Conformément aux recommandations de l'Aftes GTR8 R2F1 "pour la conception et la réalisation des travaux d'injection des sols et des roches", la maille adoptée a été de 1,46 m entre forages s'intercalant avec celle des micropieux déjà réalisés (figure 9).

Une ligne circulaire de forages a été ajoutée en périphérie du bassin afin de parfaire la jonction entre le



5

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS

6- Maillage des micropieux en fond de fouille.

7- Forage des micropieux.

6- Grid configuration of micropiles at bottom of excavation.

7- Micropile drilling.



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

bouchon injecté et la paroi moulée. Outre la maille des forages, les caractéristiques du terrain conditionnent aussi le type de matériaux pouvant être injectés. Communément, les matériaux d'injection sont des coulis de liants hydrauliques en suspension comme par exemple les coulis fabriqués à base de ciment, de bentonite et d'eau. Ces coulis sont efficaces pour injecter des terrains de perméabilités moyennes à fortes. Pour des horizons plus fins, la taille des grains du ciment classique n'est plus compatible avec celle des vides interstitiels, rendant toute injection d'imprégnation impossible. Il est alors nécessaire, pour un résultat efficace, d'employer des coulis spécifiques à base de liants ultrafins ou de produits chimiques en solutions.

Sur le bassin des Biâtres, la perméabilité très variable de certaines couches de 10^{-3} m/s à 10^{-5} m/s, ne permet pas l'emploi d'un coulis bentonite/ciment seul. Spie Batignolles Fondations a opté pour une solution de bouchon injecté mixte associant coulis bentonite/ciment et gel de silicate, le premier imprégnant les horizons les plus grossiers du bouchon, le second les horizons plus fins. Le gel retenu est une composition à base de silicate de soude et d'un réactif alumineux. Lors de sa mise en œuvre, une des grandes difficultés est la maîtrise de sa durée pratique d'utilisation en solution. En effet, il se solidifie plus ou moins rapidement lorsqu'il n'est plus en mouvement, sur une plage variant d'une dizaine de minutes à plusieurs heures. Cette plage dépend du dosage en réactif ainsi que de la température des différents composants. L'ajustement de ces deux variables permet de régler le temps de prise et ainsi de contrôler sa mise en œuvre. L'enjeu est d'obtenir un produit avec un temps de prise précis à 10 minutes près, adapté aux cadences d'injections et aux volumes unitaires à injecter dans chaque passe.

Cette mise en œuvre délicate doit cependant s'inscrire dans le cadre d'un chantier de production industrielle avec ses aléas et ses contraintes. Cela a nécessité l'utilisation de matériels garantissant un réglage rigoureux des quantités de chaque composant.

Le chantier s'est déroulé en Savoie durant l'hiver avec des températures extérieures régulièrement négatives. Afin de s'adapter à ces conditions météorologiques et d'assurer le maintien des produits à température constante, un barnum de 300 m² a été monté et chauffé (figure 10). ▷

8- Pose des plaques métalliques.

9- Maillage des forages du bouchon injecté.

8- Placing steel plates.

9- Grid configuration of drill holes for the grout plug.

RÉALISATION DU BOUCHON INJECTÉ

Les 466 forages du bassin ont été faits à la suite des micropieux avec deux foreuses de grand gabarit, une Comacchio MC15P et une Soilmecc SM18. La technique de foration a été la même que pour les micropieux.

Les travaux d'injection ont été scindés en deux étapes successives correspondant aux 2 coulis à mettre en œuvre. Chacune de ces étapes a été réalisée en respectant un phasage de traitement primaire/secondaire présentant un double intérêt. Il limite, d'une part, le risque de diffusion du coulis dans le terrain au-delà des horizons à atteindre et, d'autre part, il permet, à l'avancement, de faire des analyses plus fines du travail effectué et d'adapter les procédures si besoin.

Deux centrales de production ont été installées sur site : une Tecniwell MTW500 destinée à la fabrication du coulis bentonite/ciment et une centrale spécifique à dosage pondéral précis pour le gel de silicate. Le chantier a utilisé 16 points d'injection répartis dans 3 containers de presses pilotées informatiquement sur la base des paramètres d'injections prédéterminés. Les injections ont été menées à des débits de pompage unitaires variant de 400 l/h à 800 l/h en fonction du coulis mis en œuvre et des différentes phases d'injections. Au total 500 m³ de coulis bentonite/ciment et 1 000 m³ de gel de silicate ont été injectés pour la bonne exécution de ce bouchon.

À la suite de ces travaux, un essai de pompage en grand a été réalisé pour vérifier l'efficacité du bouchon. Dans les faits, pendant les phases de terrassement du bassin, les débits de pompage ont été de l'ordre de 10 m³/h et donc significativement inférieurs aux 50 m³/h contractuels. Cela correspond finalement à une réduction de perméabilité d'un facteur 50 dans des terrains compliqués.



8

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS



9

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

CONCLUSION

Les travaux de fondations du bassin des Biâtres se sont achevés en juin 2019 pour faire place aux travaux de génie civil et d'équipements. Une fois terminé, le bassin complètera le réseau d'assainissement d'Aix-les-Bains améliorant ainsi la qualité de vie de tous autour du Lac du Bourget. □

10- Réalisation des injections.

10- Execution of grouting.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU BASSIN

CAPACITÉ DE STOCKAGE : 10 000 m³

PROFONDEUR DU BASSIN : 13 m

PROFONDEUR DE LA PAROI MOULÉE : 28 m

PROFONDEUR DU BOUCHON INJECTÉ : 28 m

PROFONDEUR DES MICROPIEUX : 31 m

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON PAROI MOULÉE : 3 400 m³

ACIER PAROI MOULÉE : 110 t

FORAGE DE MICROPIEUX : 2 700 m

FORAGE D'INJECTIONS : 13 500 m

COULIS BENTONITE/CIMENT INJECTÉ : 500 m³

GEL DE SILICATE INJECTÉ : 1 000 m³

**DÉBIT DE POMPAGE : 50 m³/h attendu
10 m³/h obtenu**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Communauté d'Agglomération du Lac du Bourget

MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION :

Groupement Artelia (mandataire) - Géolithe - Architecture Energie Artelia

CONTRÔLEUR TECHNIQUE : Qualiconsult

ENTREPRISES :

Groupement Léon Grosse (mandataire) - Spie batignolles fondations - Saur

ABSTRACT

CHEMIN DES BIÂTRES IN AIX-LES-BAINS: A WATERSIDE BASIN

MAXIME LAJOIE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS -
NICOLAS THIERRY, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

For construction of the underground stormwater basin in Aix-les-Bains, Spie Batignolles Fondations executed a cylindrical diaphragm wall together with a grout plug and foundation raft anchoring micropiles. The diaphragm wall, 82 cm thick, 35 m in diameter and 29 m deep, was constructed using a cable grab. The 88 micropiles and 460 grouting drill holes up to 30 m deep were executed by vibro-rotation using high-frequency drill heads, and were fitted protected by a casing. The plug, situated in complicated, heterogeneous alluvial ground, was injected with two grouts, having a cement base and a sodium-silicate base. This allowed the basin to be excavated by pumping at a very low flow rate of approximately 10 m³/h. □

CAMINO DE BIATRES A AIX-LES-BAINS: CON EL AGUA POR LOS TOBILLOS

MAXIME LAJOIE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS -
NICOLAS THIERRY, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Spie Batignolles Fondations ha realizado, en el marco del depósito de equilibrio soterrado de Aix-les-Bains, una pantalla de hormigón cilíndrica asociada a un tapón inyectado y a micropilotes de anclaje de la losa de cimentación. La pantalla de hormigón de 82 cm de espesor y 35 m de diámetro por 29 m de profundidad ha sido ejecutada utilizando una cuchara de cable. Los 88 micropilotes y los 460 orificios de inyección de hasta 30 m de profundidad se han llevado a cabo por vibro-rotación, utilizando cabezales de perforación de alta frecuencia protegidos por un tubo. El tapón, situado en terrenos aluviales heterogéneos y complicados, se ha inyectado con dos lechadas a base de cemento y silicato de sodio. Esto ha permitido realizar la excavación del depósito con bombeo, con una caudal muy bajo del orden de 10 m³/h. □



1 - Construction
du châssis de
la Rotoforeuse®.

1 - Construction
of the frame of
the Rotoforeuse®
rotary drill.

© SPIE BATIGNOLLES
FONDACTIONS

FONDATEMENTS DE LA GARE DE KREMLIN-BICÊTRE HÔPITAL (KBH) - LIGNE 14 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS

AUTEURS : STÉPHANE GILBERT, INGÉNIEUR TRAVAUX, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - JULIE MAUCOTEL, INGÉNIEUR ÉTUDES TECHNIQUES PRINCIPAL, BOTTE FONDATIONS - ADRIEN GOUTTE, INGÉNIEUR TRAVAUX INJECTIONS, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - RICHARD LOHIER, RESPONSABLE SERVICE MATÉRIEL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

LA NOUVELLE GARE DE KREMLIN-BICÊTRE-HÔPITAL (KBH), COINCÉE ENTRE L'AUTOROUTE A6B ET L'HÔPITAL DU KREMLIN-BICÊTRE, AU SUD DE PARIS, EST UN OUVRAGE PARTICULIER DANS LE CALCUL ET LA CONSTRUCTION DE SES FONDATIONS. EN EFFET, CETTE GARE CUMULE LES DIFFICULTÉS : SA PROFONDEUR, SON ENVIRONNEMENT (UNE AUTOROUTE ENTERRÉE ET UN HÔPITAL), LA NATURE DES TERRAINS, LES CONTRAINTES DE PLACE, LE MAINTIEN DES ACCÈS DU CHU, UNE EMPRISE EN PENTE, ET DES VOLUMES DE BÉTON IMPORTANTS.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le prolongement de la Ligne 14 vers Orly fait partie du projet du Grand Paris Express : il s'agit de relier la station Olympiades à l'aéroport d'Orly. Cela représente 14 km de tunnel et 7 nouvelles gares. Les travaux de génie civil ont été répartis par la RATP, maître d'ouvrage, en 4 lots. Le lot GC02 comprend pour sa part 4,6 km de tunnel, et deux nouvelles gares : la gare de Villejuif-Institut-Gustave-Roussy, au croisement avec la Ligne 15 Sud, qui est construite en fait par le lot T3C de cette dernière ligne, et la gare de Kremlin-Bicêtre-Hôpital (KBH), construite, quant à elle, par le lot GC02 de la Ligne 14 Sud (figure 2). La gare de Kremlin-Bicêtre-Hôpital est située entre l'avenue Gabriel-Péri qui surplombe l'autoroute A6b souterraine, et l'hôpital du Kremlin-Bicêtre. Elle fait 121 m de long, 19 m de large, et son radier est à 28 m de profondeur.

Elle comprend 3 niveaux de planchers, en plus du radier : la dalle de couverture, le 1^{er} sous-sol et la dalle mezzanine.

La construction de la gare est faite à l'abri d'une paroi moulée, objet de cet article. Cette paroi fait 49 m de profondeur, 1,54 m d'épaisseur, et représente en tout 13821 m².

La paroi moulée traversant des couches de terrains durs (calcaires grossiers puis marno-calcaires de Meudon, voir plus loin), et l'utilisation du trépan étant bien sûr interdite, son forage s'est fait à la benne à câbles et à la Rotoforeuse®, dans une proportion finale de 22%/78% (figure 3).

2- Carte de la Ligne 14 Sud.

2- Map of Line 14 South.

LES CONTRAINTES LIÉES À L'ENVIRONNEMENT

Le chantier est situé dans une emprise au sein de l'hôpital du Kremlin-Bicêtre, dont 3 bâtiments ont dû être démolis au préalable. Le terrain ainsi mis à dis-

position ne permettait pas pour autant de réaliser directement l'ensemble de la gare : non seulement il présentait une forte pente, ce qui a obligé le chantier à construire des soutènements provisoires (berlinoises et murs en L) pour obtenir une plateforme de travail presque horizontale (pente limitée à 3%), mais il comprenait encore deux ouvrages à l'intérieur de la future gare : au nord, l'accès à l'hôpital, et, à l'ouest, une sortie de secours de l'autoroute A6b (figure 4).

Les travaux se sont donc déroulés en plusieurs phases, pour permettre, d'une part, de créer un accès déporté à l'hôpital et, d'autre part, de construire la nouvelle issue de secours de l'A6b.

Les vibrations ont été contrôlées de près et ont été mesurées sur plusieurs mitoyens, en particulier dans le bloc opératoire de l'hôpital. Le seuil des vitesses particulières était fixé à 0,5 mm/s.

Concernant le bruit, les seuils étaient relativement bas, malgré la présence d'une autoroute à proximité du CHU : en effet, à cet endroit, l'A6b enterrée est recouverte d'un damier phonique plutôt efficace. La limite était de 75 dB de jour, et 68 dB de nuit. Côté hôpital, des grands murs anti-bruit de 7 m de haut ont été construits.

Il faut également noter la présence d'un ovoïde d'assainissement à 0,70 m de la paroi, le long de l'autoroute : il a fait l'objet d'un point d'arrêt et de visites régulières.

Les horaires de travail étaient de 6h-22h, 5 jours sur 7.



2

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



3

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

LE TERRAIN

Les formations géologiques, rencontrées au droit du site, sont caractéristiques du bassin parisien. La coupe géologique se compose des formations suivantes (figure 5) :

- **Remblais** : apport anthropique provenant des exploitations des carrières et de l'urbanisation de la zone.
- **Marnes et Caillasses** : alternance de marnes et calcaires avec des passages sableux.
- **Calcaire Grossier** : calcaire massif et fossilifère avec une base glauconieuse. Le calcaire grossier, d'épaisseur importante, est subdivisé en 3 horizons distincts : supérieur, moyen et inférieur. Au droit de la gare, il a été exploité sur 2 niveaux ensuite remblayés.
- **Argiles Plastiques** : argile grise à bariolée, sensible aux phénomènes de retrait/gonflement.
- **Yprésien sableux** : sables moyens à grossiers, présents sous forme de lentille d'épaisseur croissante du sud vers le nord.
- **Calcaires & Marnes de Meudon** : marnes argileuses avec bancs calcaires.
- **Craie** : craie blanchâtre avec silex. Cette formation n'est pas traversée par la paroi moulée de la gare et elle est située sous le pied de la paroi.

La future gare intercepte deux nappes : la nappe libre des calcaires grossiers dont le mur est constitué des argiles plastiques, et la nappe captive des sables inférieurs de l'Yprésien en communication probable avec la nappe de la craie.

INJECTIONS PRÉALABLES

Avant le forage des parois moulées, il était nécessaire de traiter par injections de comblement puis par injections de traitement la couche de calcaire pré-

3- Atelier de forage à la benne et Rotoforeuse®.

4- Le chantier de la gare KBH dans son environnement.

3- Bucket and Rotoforeuse® drilling equipment.

4- The KBH Station project in its environment.

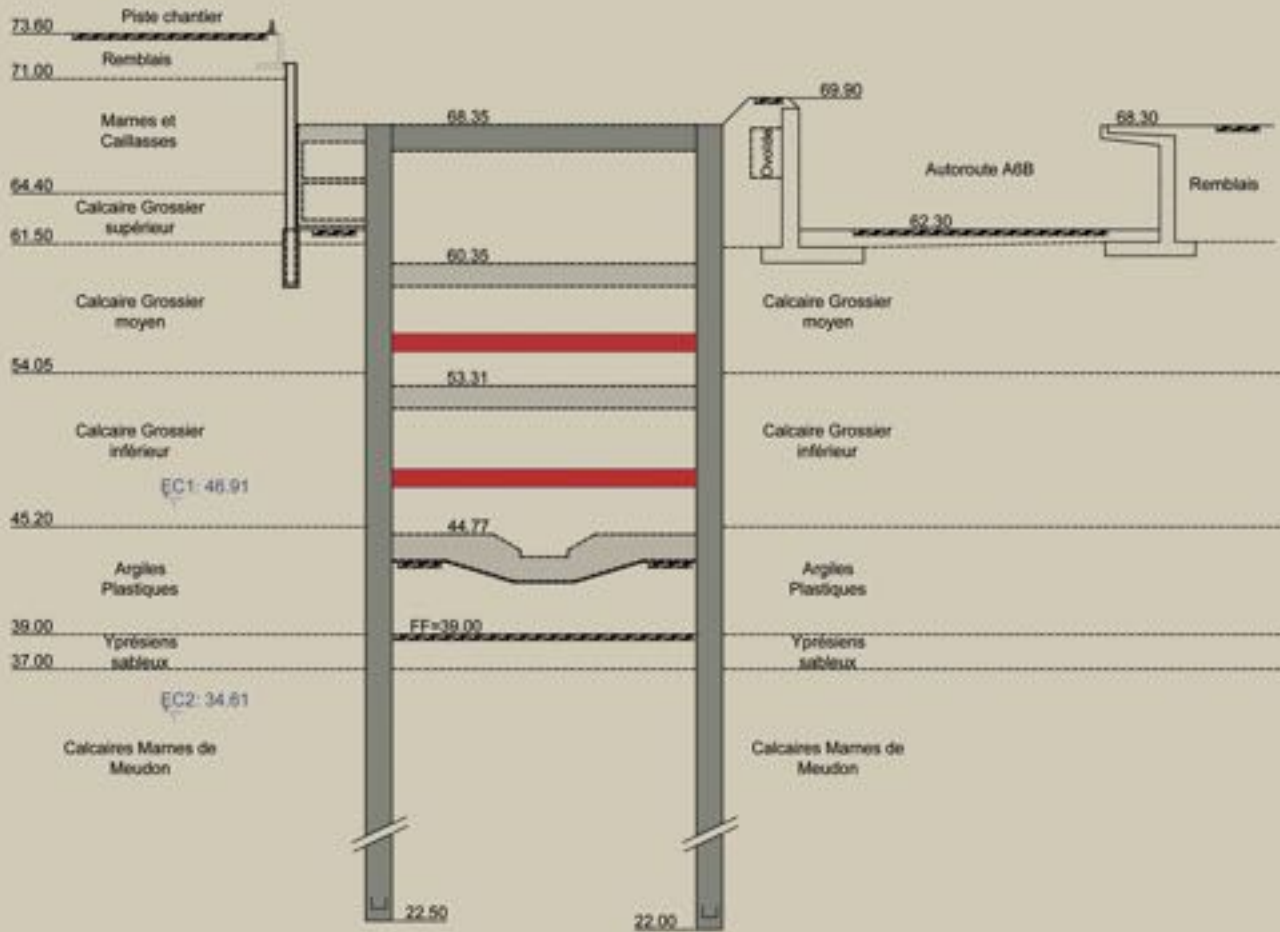
sente jusqu'à 25 m de profondeur : en effet, à cet endroit, deux niveaux d'anciennes carrières remblayées avaient été répertoriés, à 7/8 m et à 11/12 m de profondeur, ainsi que la présence de karsts dans les calcaires inférieurs (figure 6). À l'intérieur de la boîte, le maillage des forages d'injection était de 5 m x 5 m, mais le long des parois moulées le maillage a été resserré avec, de part et d'autre, à 1,50 m des parois, des lignes de forages d'injection espacés de 2,50 m.



4

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

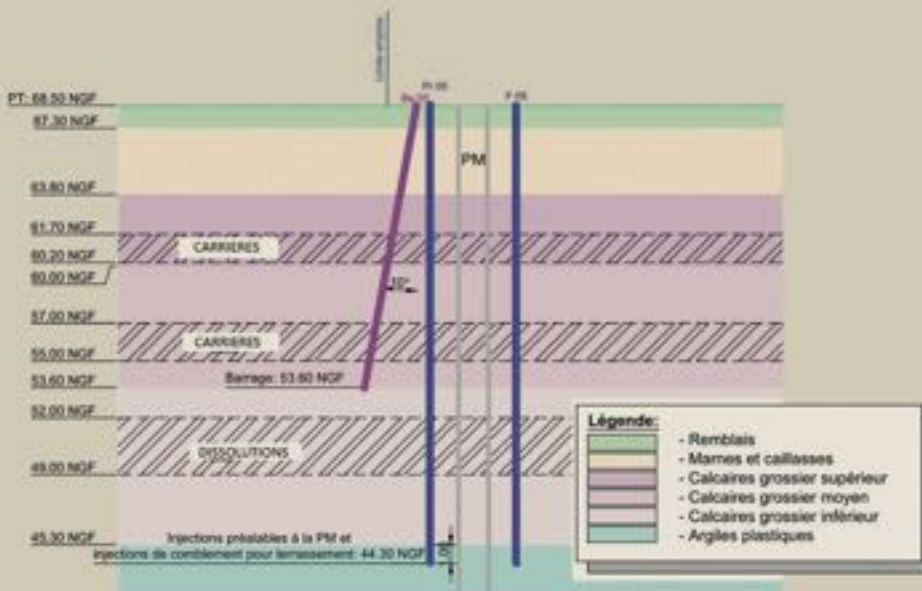
COUPE DE LA GARE KBH



© BOTTE FONDATIONS

5

PRINCIPE DES INJECTIONS DE COMPLEMENT



© SPIE BÂTIMENTALES FONDATIONS

6

5- Coupe de la gare KBH.
6- Principe des injections de comblement.

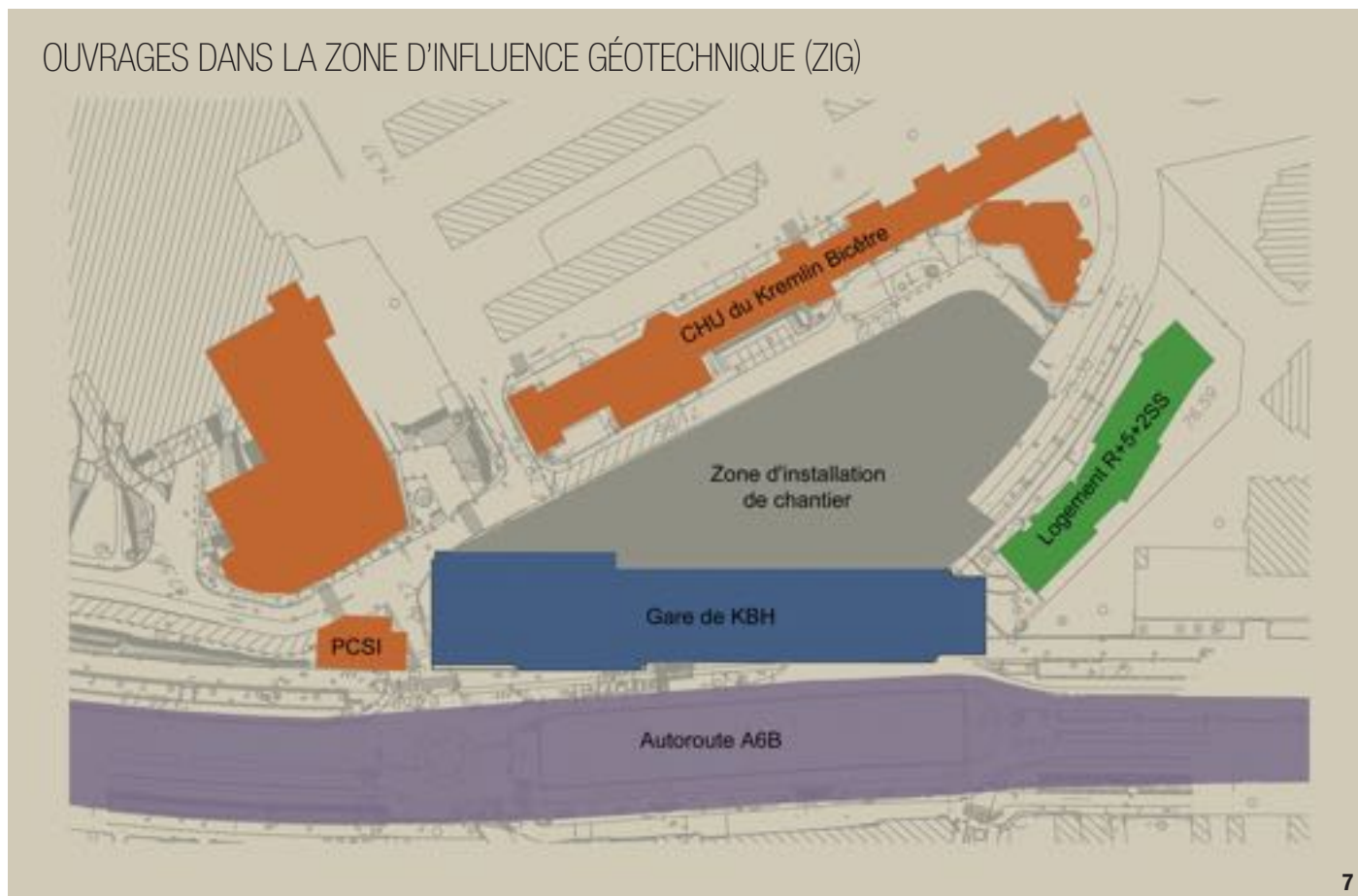
5- Cross section of KBH Station.
6- Filler grouting technique.

Les forages, de 150 mm à 180 mm de diamètre, étaient équipés de 2 tubes crépinés, pour les injections de comblement, et d'un tube à manchettes pour les injections de traitement.

Les injections de comblement de carrière ont été faites en gravitaire, avec un coulis de sablon, dans l'ordre suivant : barrage, comblement, et clavage.

Les injections de traitement, faites avec un coulis de ciment dosé à 350 kg/m³, avaient comme seuils 6 bars et 1 200 l par m.

OUVRAGES DANS LA ZONE D'INFLUENCE GÉOTECHNIQUE (ZIG)



7

© BOTTE FONDATIONS

Le long de l'autoroute A6b, ces seuils ont été diminués, avec l'ajout d'une ligne de forages faisant office de masque, avec une pression limitée à 4 bars.

Les travaux ont été faits à 2 postes, avec deux machines pour le forage et 12 points d'injection simultanés, avec 50 m³/h de capacité de centrale de fabrication de coulis. Cela a représenté 510 forages de 20 à 25 m de profondeur, soient 10987 m au total et un volume global de 3700 m³ de coulis injecté.

DES POUSSÉES DISSYMÉTRIQUES

Le site de la gare se situe dans un environnement pentu. Le terrain présente une pente de 3% selon l'axe longitudinal et une pente de 7% suivant l'axe transversal de la gare.

Côté CHU, les aménagements de chantier ont nécessité la création d'une paroi berlinoise auto-stable soutenant une rampe d'accès pouvant atteindre 6 m de hauteur par rapport au niveau de dalle de couverture. Côté A6b, la gare est située à quelques mètres des piédroits de l'A6 et suit le tracé de l'autoroute, celle-ci étant enterrée en contrebas de 6 m sous le niveau

de la dalle de couverture de la gare. De ce fait, les parois longitudinales de la gare sont soumises à des surcharges avoisinantes différentes, qui génèrent une dissymétrie des poussées. Pour en tenir compte, des calculs en double rideau ont été menés sur les logiciels Rido et Plaxis. Les deux écrans sont mis en interaction par l'intermédiaire des lits de butons et des dalles de l'ouvrage.

CONTRAINTES DE DÉPLACEMENT

Le critère de déformée à respecter par la paroi moulée est fonction des

7- Ouvrages dans la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG).

8- Plan de butonnage.

7- Structures in the geotechnical zone of influence ('ZIG').

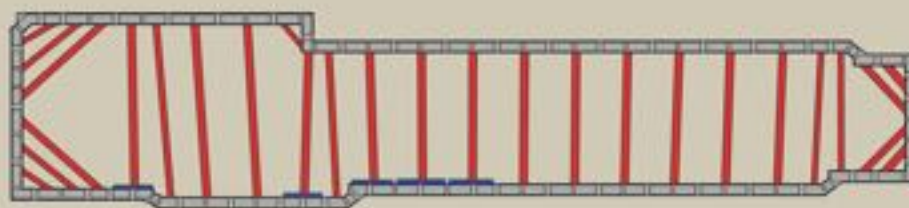
8- Staying plan.

ouvrages situés dans la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) :

- Ouvrages sensibles proches (A6b, PCSI (Poste de Contrôle et de Sécurité Incendie), bâtiment I3F R+5) : la déformée est limitée en tête à 15 mm et en ventre à 30 mm.
- Ouvrage hors bâti (côté CHU) : la déformée est limitée en tête à 20 mm et en ventre à 50 mm.

Les courbes de déformées ont été établies sur le logiciel Rido, modèle analytique suivant la méthode du coefficient de réaction.

PLAN DE BUTONNAGE



8

© BOTTE FONDATIONS



9

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Une comparaison avec un modèle aux éléments finis sur le logiciel Plaxis a été réalisée afin de comparer les déformées et les sollicitations internes, d'estimer les tassements et de vérifier la conformité des déformées avec les seuils de tassement des ouvrages mitoyens (figure 7).

TERRASSEMENT DE LA FOUILLE

Après exécution des parois moulées, la gare est construite en taube : la dalle de

9- Évolution des engins sur la plateforme.

10- Cages d'armatures en fibre de verre.

9- Movement of machinery on the platform.

10- Fibreglass reinforcement cages.

couverture est coulée dès la première phase, puis deux lits de butons sont posés à la descente.

Le terrassement comprend la purge jusqu'à leur base des argiles plastiques qui présentent des caractéristiques médiocres et un fort potentiel de gonflement. La fouille est ensuite remblayée pour couler le radier au sol puis les dalles intermédiaires sont faites à la remontée avec dépose des butons. Le système d'appui provisoire de la

paroi moulée est composé sur chaque lit d'un buton par panneau, i.e. pour deux cages d'armatures. Deux solutions se présentaient pour transférer les charges de la paroi moulée aux butons : la mise en place de liernes le long de la paroi, constituées de profilés métalliques, ou bien de bandes noyées intégrées dans la paroi, constituées d'armatures HA de liaisonnement. La deuxième solution, retenue par le chantier, présente un gain économique (35 % de matière en moins sur les liernes et butons) et un gain de temps (figure 8).

DES MOYENS INHABITUELS

Le chantier des parois moulées se caractérisait donc par des dimensions importantes, un environnement compliqué et une emprise disponible limitée. De plus, les différents jalons contractuels, principalement liés aux accès, ainsi que la date prévue d'arrivée du tunnelier, imposaient un phasage serré qui rendait nécessaire d'atteindre de fortes cadences.

Le chantier a donc dû dimensionner son atelier et ses installations pour garantir un rendement moyen de 110 m²/j, dont environ 85 m²/j à la Rotoforeuse®. Mais il fallait aussi pouvoir bétonner 2 panneaux par semaine, sachant que chaque bétonnage impliquait 560 m³ de béton et 60 t d'acier.



10

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS


11

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Pour commencer, Le chantier a réalisé une plateforme de travail en béton : 15 cm de béton fibré, sur 30 cm de grave non traitée (GNT). Cette dépense s'est révélée très rentable, non seulement pour garantir les rendements, mais aussi pour la sécurité du chantier sur lequel se déplaçaient de lourds engins et où avaient lieu d'imposantes opérations de levage (figure 9).

Ensuite, le chantier a aménagé, à 1 km environ de la gare, une base déportée, qui a permis le stockage provisoire des déblais, avant de les transporter vers les différentes filières déterminées par la caractérisation des terres.

Chaque panneau de paroi moulée comprenait 2 cages d'armatures, chacune étant livrée en 4 éléments sur le chantier.

Par manque de place, ces 4 éléments n'étaient pas raboutés sur la plateforme, mais au-dessus du panneau, par recouvrement et soudure. Les 2 cages complètes étaient alors soulevées en même temps, à l'aide d'un palonnier, pour pouvoir mettre en place les aciers horizontaux des bandes noyées (poutres intégrées qui permettent l'allègement des liernes et butons). Seules les cages des tympans équipées de fibres de verre étaient liaisonnées au sol (figure 10). Les cages étaient également équipées de manchons pour les futurs dalles. Ce sont finalement 60 t qu'il fallait pouvoir soulever d'un seul coup (figure 11). Ces opérations ont impliqué l'utilisation d'une grue de 300 t Sennebogen 7700, équipée d'une flèche de 63,50 m.

Cette grue a également permis la manutention des joints de coffrage CWS1200 spécialement renforcés, utilisés sur la hauteur totale du panneau, pour un poids global de 26 t.

Concernant ces joints, des freins de coffrages spécifiques ont été conçus et utilisés, sécurisant l'ensemble des interventions et facilitant leur nettoyage après bétonnage du panneau.

Les éléments de cages d'armatures étaient approvisionnés par le haut, et

11- Levage des cages d'armatures.

12- Pompe d'extraction de la Rotoforeuse®.

11- Lifting the reinforcement cages.

12- Rotoforeuse® exhaust pump.


12

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

déchargés à l'aide d'une seconde grue de service (LS 138) servant aussi aux opérations de bétonnage.

La puissance globale des outils d'excavation et de traitement de boue devait être adaptée à des débits massiques de matériaux importants : une Rotoforeuse® 3XL a été conçue spécifiquement par le bureau d'études Matériel de Spie Batignolles Fondations. La puissance dédiée aux roues de coupe a été augmentée à plus de 400 kW, avec des roues développant jusqu'à 150 kNm (à titre de comparaison, un BC50 Bauer développe jusqu'à 120 kNm). Pour utiliser efficacement cette puissance de forage, le châssis a été conçu pour être plus rigide, plus lourd, et pour faciliter son nettoyage. Il est également modulaire, permettant une modification très rapide de l'épaisseur de forage de 1 040 mm jusqu'à 1 840 mm (figure 1). Les cadences de forage de la machine dépendent directement de sa capacité à pomper le terrain foré, la partie extraction a également été améliorée. Grâce à des simulations par éléments finis en mécanique des fluides, la crépine d'aspiration a été optimisée, en répartissant le débit de pompage sur l'ensemble de la largeur du forage. La pompe d'extraction a aussi été revue, avec un débit de boue plus important - jusqu'à 500 m³/h avec une boue chargée - et une pression de refoulement optimisée (figure 12). Un partenariat entre Spie Batignolles Fondations et Sennebogen a permis la conception spécifique du porteur Sennebogen 6140eHD, capable de délivrer la puis-



sance globale requise avec son moteur de 708 kW (figure 13).

L'accroissement des débits de boue de forage a nécessité un redimensionnement global des solutions de gestion de

la boue. Afin de juguler les pertes de charge, des conduites de boue de 8" ont été choisies, ainsi qu'une station de traitement de boue Bauer pouvant dessabler efficacement ces débits (figure 14).

Sur l'atelier Rotoforeuse® spécifique, ces solutions techniques novatrices ont permis aux équipes de Spie Batignolles Fondations d'atteindre en rythme de croisière des cadences de forage supérieures à 19 m³/h, soit plus de 29 m³/h.

Le stockage de boue bentonitique a également été un challenge sur KBH. Une piscine de 800 m³ a été choisie pour son excellent rapport volume stocké sur surface au sol. L'emprise au sol ayant une géométrie très contraignante, des silos de 100 m³ sont venus compléter le dispositif de stockage, permettant d'optimiser l'utilisation de la surface au sol disponible. □

13- Ensemble des modifications pour la Rotoforeuse® 3XL.

14- Centrale de traitement des boues.

13- Changes made to the Rotoforeuse® 3XL rotary drill.

14- Sludge treatment plant.



PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée de 1,54 m d'épaisseur à 49 m de profondeur
- Surface de paroi moulée : 13 821 m²
- Paroi moulée : 21 000 m³ de béton, 1 800 t d'acier et 21 t de fibres de verre
- Injections : 11 000 m de forage et 3 700 m³ de coulis

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : RATP

MAÎTRISE D'ŒUVRE ELIOS : Setec tpi (mandataire) et Systra

CONTRÔLE TECHNIQUE : Apave

CSPS : Yseis

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Dodin Campenon Bernard (mandataire), Vinci Construction Grands Projets, Vinci Construction France, Spie Batignolles Génie Civil, Botte Fondations, Spie Batignolles Fondations.

ÉTUDES D'EXÉCUTION DES PAROIS : Botte Fondations

RÉALISATION DES PAROIS MOULÉES : Spie Batignolles Fondations

ABSTRACT

FOUNDATIONS OF KREMLIN-BICETRE-HOPITAL (KBH) STATION - LINE 14 SOUTH OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT

S. GILBERT, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - J. MAUCOTEL, BOTTE FONDATIONS - A. GOUTTE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - R. LOHIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Kremlin-Bicêtre-Hôpital Station on Line 14 South is built in an urbanised environment, on limited available land, with numerous constraints due to very sensitive adjoining structures and the need to maintain traffic. Moreover, like many structures for the 'Grand Paris Express', it is deep and large. The design of the diaphragm walls therefore involved exceptional quantities, which had to be processed within tight deadlines. New production facilities, and in particular wall drilling machines, were therefore designed and then adapted or constructed by the equipment department of Spie Batignolles Fondations. □

CIMENTOS DE LA ESTACIÓN DE KREMLIN-BICETRE HOPITAL (KBH): LÍNEA 14 SUR DEL GRAND PARIS EXPRESS

S. GILBERT, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - J. MAUCOTEL, BOTTE FONDATIONS - A. GOUTTE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - R. LOHIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

La estación Kremlin-Bicêtre-Hôpital de la Línea 14 está construida en medio urbanizado, en una superficie limitada, con numerosas restricciones debido a unas construcciones contiguas muy sensibles y al mantenimiento de la circulación. Además, como muchas obras del Grand Paris Express, es profunda y de grandes dimensiones. El dimensionamiento de las pantallas de hormigón ha generado cantidades poco habituales, que ha habido que instalar en plazos muy breves. Para ello se han diseñado nuevos medios de producción, en particular las máquinas que intervienen en la perforación de las pantallas, que seguidamente han sido adaptadas y construidas por el departamento de material de Spie Batignolles Fondations. □



1- Soutènement
achevé en
septembre 2019.

1- Retaining structure
completed in
September 2019.

© YVES CHANOT

PARIS 15-BLOMET, UN SOUTÈNEMENT DE PIEUX SÉCANTS EN MILIEU URBAIN, SOUS LE NIVEAU DE LA NAPPE

AUTEUR : JULIEN PELSUY, INGÉNIEUR TRAVAUX, FRANKI FONDATION

À PARIS 15^e, FRANKI FONDATION A RÉALISÉ DE FÉVRIER 2019 À JUIN 2019 LES PAROIS PÉRIPHÉRIQUES DU FUTUR PARKING D'UN PROJET IMMOBILIER DE 54 LOGEMENTS SUR 4 NIVEAUX DE SOUS-SOLS. CE SOUTÈNEMENT DE 12 m DE HAUT, EN MILIEU URBAIN, SE TROUVE, AU NIVEAU DE SES TROIS DERNIERS MÈTRES, SOUS LE NIVEAU DE LA SEINE, D'OÙ LA NÉCESSITÉ D'ASSURER UNE COUPURE ÉTANCHE PAR LES PAROIS PÉRIPHÉRIQUES. FRANKI FONDATION A DONC EU RECOURS À UNE TECHNIQUE DE PAROI DE PIEUX SÉCANTS QUASI-ÉTANCHE, ASSOCIÉE À DES VOILES DE FINITION EN BÉTON PROJETÉ ET À UN BUTONNAGE POUR RÉALISER LE SOUTÈNEMENT.



© SEFRICIME
2

CONTEXTE GÉOLOGIQUE / GÉOTECHNIQUE ET CHOIX DES TECHNIQUES

Le projet nécessite la réalisation d'un soutènement du point haut à 36 NGP (Niveau Géographique de référence Parisien) pour un fond de fouille à 24 NGP, soit 12 m de haut sur la périphérie de la parcelle (figure 3).

La coupe de sol est la suivante :

→ De 36 NGP à 30 NVP - 0 à 6 m : remblais ;

2- Vue du projet fini, maître d'ouvrage Sefri-Cime, gros œuvre Legendre.

2- View of the finished project, for the owner Sefri-Cime, structural work by Legendre.

- De 30 NVP à 26 NVP - 6 à 10 m : alluvions ;
- 26 NVP, soit à 9 m de profondeur : nappe d'eau ;
- Sous 26 NVP -10 m et sur au moins 8 m argile de l'Yprésien, terrain très peu perméable.

Une technique de réalisation de pieux sécants a été proposée par Franki Fondation (figure 4).

Ce procédé permet de répondre à l'ensemble des particularités géolo-

giques et hydrogéologiques, à savoir (figure 5) :

UNE HAUTEUR IMPORTANTE DE SOUTÈNEMENT EN MILIEU URBAIN

Le soutènement est réalisé dans des sols de capacité et de comportement mécanique faibles.

Dans des terrains alluvionnaires ne présentant pas de cohésion, la technique des pieux sécants crée une barrière de pieux continue, permettant une parfaite tenue des terres lors de l'excavation de la fouille.

Cette méthodologie assure des critères de déformations faibles, du fait de la rigidité des pieux, sur un soutènement nécessaire en milieu urbain contraint ; en outre la technique de forage est celle qui expose le moins le sol à un risque de décompression.

LA PRÉSENCE D'UNE NAPPE DANS LA HAUTEUR DU FUTUR PARKING

Le niveau de nappe présent dans la hauteur du soutènement impose de réaliser un ouvrage assurant une quasi étanchéité de la fouille, ainsi que la possibilité de reprendre les efforts de poussée d'eau s'appliquant à l'arrière de la future paroi.

Les pieux sont ainsi ancrés dans la couche d'argile de l'Yprésien, couche de sol très peu perméable, ce qui assure une coupure étanche.

La technique des pieux sécants répond donc tout à fait à ces contraintes. ▷



5- Différents sols rencontrés lors de la vidange de l'outil de forage : terrain noir argileux d'ancrage des pieux / terrains sableux très humides liés à la présence de la nappe.

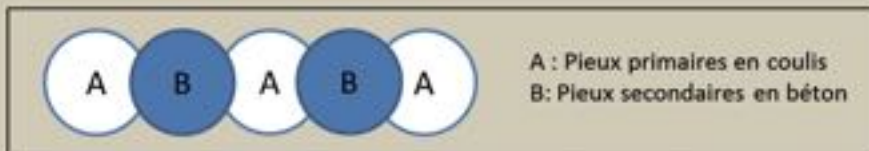
6- Pieux sécants une fois découverts.

7- Schéma d'une paroi de pieux sécant.

8- Mise en place des moules avant coulage des murettes-guides.

9- Murettes guides coulées.

SCHÉMA D'UNE PAROI DE PIEUX SÉCANT



5- Various soils encountered when emptying the drilling tool: dark clayey ground for pile anchoring / very wet sandy ground due to the presence of the aquifer.

6- Uncovered secant piles.

7- Diagram of a secant-pile wall.

8- Placing moulds in position before casting guide walls.

9- Cast guide walls.

Ces murettes guides ont pour objet :
 → De guider l'outil de forage, afin d'assurer la verticalité du pieu ;
 → De réaliser une implantation des pieux précise, et qui subsiste tout au cours du chantier (figures 8 et 9).

RÉALISATION DES PIEUX

La réalisation des pieux débute par le forage à la profondeur définie dans les notes de calcul. Une fois la profondeur atteinte, le pieu est bétonné depuis la base du forage, le béton étant envoyé par une pompe à béton à l'intérieur de l'âme creuse de l'outil.

Pour les pieux armés, une cage d'armature est introduite dans le béton frais.

→ Réalisation des pieux primaires : les pieux en coulis non armés, et non structuraux sont réalisés en premier. Ils sont coulés avec un béton maigre/coulis, d'une résistance maximale en compression de 16 MPa à 28 jours.

→ Réalisation des pieux secondaires : il s'agit des pieux en béton armé de structure (résistance nominale du béton de 30 MPa à 28 jours), qui sont exécutés en remordant

dans les pieux primaires. Ils sont forés entre 3 et 5 jours après les pieux primaires, afin de remordre dans un béton ayant une résistance moyenne de 6 à 10 MPa (figure 10).

TERRASSEMENTS, RABOTAGE, PROJECTION DE BÉTON ET BUTONNAGE

Une fois l'ensemble des pieux terminé, les travaux d'excavation de la fouille peuvent démarrer. Ces travaux de terrassement sont associés à :

UN RABOTAGE DES PIEUX

Le rabotage est réalisé avec une pelle de 8 t, équipée d'une raboteuse tournante à dents picots. Il a pour but de nettoyer la partie extérieure du pieu qui a été en contact avec la terre pour retrouver le béton sain. L'épaisseur de rabotage est en moyenne de 5 cm à 7 cm (figures 11 et 12).

PROJECTION DES VOILES BÉTON

Après rabotage des pieux, est projeté un voile en béton armé d'environ 7 cm d'épaisseur. Le rôle de ce voile est de créer un support pour la réalisation du coulage par cristallisation d'étanchéité sur une surface appropriée.

MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE BUTONNAGE

Afin de pouvoir reprendre la poussée d'eau et de terre s'appliquant sur le soutènement, la mise en place de butons est nécessaire. ▷

10- Mise en place d'une armature dans le béton du pieu secondaire.

11- Fraise de rabotage.

12- Pieux rabotés.

13- Deux lits de butons sur liernes en acier.

10- Placing reinforcement in the concrete for the secondary pile.

11- Planing cutter.

12- Planed piles.

13- Two layers of struts on steel lierne ribs.



10



11

© FRANKI FONDATION

Le système de butonnage est composé d'une lierne en HEB 350 horizontale continue, qui relie tous les pieux ensemble, par laquelle transitent les efforts de poussée. Ces efforts sont ensuite ramenés vers les butons qui sont des tubes en acier de diamètre moyen 500 mm, épaisseur 8 mm à 12 mm, espacés environ tous les 5 m. Ce système de butonnage est provisoire, et peut être retiré dès que les planchers du parking sont coulés et ont atteint une résistance suffisante (figure 13).

ATELIER DE FORAGE DOUBLE ROTATION LIEBEHRR LRB 355

Pour réaliser les pieux sécants du chantier une technique de forage en "double rotation" a été employée. C'est le système le plus fiable et efficace pour faire des pieux sécants de forte profondeur et décaissés sur une hauteur importante. Le principe des outils de forage dans cette technique est d'associer un tube de forage extérieur à l'intérieur duquel se trouve une tarière creuse continue, les deux éléments tournant en sens inverse lors de la réalisation du forage.

Le tube de forage est composé d'un ensemble de tubes de 5 m de long, en double paroi, reliés entre eux par un emboîtement boulonné, en nombre suffisant pour atteindre la profondeur souhaitée. La composition et la morphologie de ces tubes confèrent à l'outil une rigidité importante, gage de verticalité du forage sur une forte profondeur. Il est équipé à sa base d'une trousse à dents carbure, qui joue un véritable rôle de carottier et permet de remordre faci-

lement dans le béton de pieux primaires tout en guidant parfaitement le forage (figures 14a et 14b).

La tarière intérieure permet de remonter les déblais de forage, par sa constitution en vis continue, et de servir au bétonnage du pieu par le fond à travers son âme creuse.

Les pieux de soutènement mesurent 19 à 22 m de profondeur en diamètre 620 mm. Ce sont des caractéristiques conséquentes qui nécessitent du matériel de forage de gros gabarit. Franki Fondation a donc déployé une foreuse LRB 355 de marque Liebherr (figure 15). Cette foreuse est un engin lourd de 136 t en travail, qui permet de travailler avec une table de rotation de 11 t développant un couple de rotation de près de 40 t/m, nécessaire pour remordre le béton des pieux primaires sur grande hauteur et pour l'arrachage de l'outil de forage au bétonnage.

La foreuse est aussi équipée d'un système d'enregistrement de paramètres de forage et de bétonnage, qui affiche la vitesse d'avance, la pression de l'outil, le couple de rotation, la pression et le volume de bétonnage ce qui assure :

→ La possibilité de vérifier que l'arrachage du pieu est réalisé dans le bon horizon de sol ;

→ Le bétonnage continu du pieu.

SUIVI DU COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE ET DES MITOYENS

Le chantier se trouvant en milieu urbain, avec la présence de mitoyens (R+6 à R+10) en périphérie, il est nécessaire d'appréhender les déplacements possibles sur un ouvrage soutenant une telle hauteur.



12

© FRANKI FONDATION



13

© YVES CHANOT

En phase étude, Franki a mené des calculs utilisant le logiciel Krea qui ont permis de définir le dimensionnement des ouvrages à mettre en œuvre afin de respecter des seuils de déplacements acceptables.

En phase travaux, l'ensemble des bâtiments mitoyens et des parois de soutènements ont été équipés de prismes

topographiques qui permettent de mesurer les déplacements réels au fur et à mesure de l'avancée des travaux. Ces valeurs mesurées sont comparées aux valeurs théoriques des calculs. L'analyse permet de maîtriser les seuils définis et d'anticiper la mise en place éventuelle de confortement complémentaire en cours de chantier.



14a



14b



15

CHANTIER RESTREINT EN MILIEU URBAIN EN CO-ACTIVITÉ

Au vu du planning global de l'opération, les travaux de pieux se sont déroulés rapidement, en même temps que les travaux de terrassement, sur une surface restreinte.

Une coordination fine des zones de travaux a dû être observée avec le lot de terrassement.

La quantité importante des matériaux, tant à approvisionner (1960 m³ de béton soit 280 toupies) qu'à enlever (1500 m³ soit 600 camions), a dû être gérée avec les complexités d'accès au chantier.

En effet, les voies peu larges avec un trafic piéton et routier important, et des zones de déchargement sur site réduites, ont nécessité une organisation fine des livraisons entre lots. □

14a- Trousse de pied de tube.

14b- Tubes et vis continue creuse.

15- Foreuse LRB 355 en cours de forage.

14a- Guide shoe.

14b- Tubes and hollow worm screw.

15- LRB 355 drill during drilling.

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 294 pieux sécants de 620 mm
- 5292 m de forage de pieux
- 1950 m³ de béton de pieux
- 150 t d'aciers de pieux
- 200 t de butons acier et de liernes
- 15000 m³ de terrassement

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Sefricime

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sd Ingenieurie

MISSION GÉOTECHNIQUE G4 : Géotechnique appliquée

BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec

LOT GROS ŒUVRE : Legendre

FONDATIONS SPÉCIALES : Franki Fondation

BÉTON PROJETÉ ET TERRASSEMENT : Vdstp

ABSTRACT

PARIS 15-BLOMET, A SECANT-PILE RETAINING STRUCTURE IN AN URBAN ENVIRONMENT, BELOW THE AQUIFER LEVEL

JULIEN PELSY, FRANKI FONDATION

Franki Fondation has carried out an ambitious project in the 15th arrondissement of Paris, situated on rue Blomet, to provide a practically watertight retaining structure for the future underground car parks of a real estate project owned by Sefri-Cime. The project's complexity is due to the presence of an aquifer at a depth of 10 m (level of the Seine), whereas the car-park excavation work goes down as far as 15 m. The retaining structure executed consists of secant piles over the entire periphery of the project, combined with a steel staying system, to absorb the earth pressure and cut off water ingress due to the aquifer. □

PARIS 15 - BLOMET, UN SOSTENIMIENTO CON PILOTES SECANTES EN MEDIO URBANO, BAJO EL NIVEL DE LA CAPA FREÁTICA

JULIEN PELSY, FRANKI FONDATION

Franki Fondation ha llevado a cabo en la rue Blomet, en el distrito 15 de París, un ambicioso proyecto de sostenimiento casi estanco de los futuros aparcamientos subterráneos de un proyecto inmobiliario, cuyo contratista es Sefri Cime. La complejidad del proyecto se debe a la presencia de una capa de agua a 10 m de profundidad (nivel del Sena), para una excavación del parking hasta los 15 m. El sostenimiento realizado está formado por pilotes secantes sobre el conjunto de la periferia del proyecto, asociado a un sistema de anclaje de acero para contener el empuje de la tierra y cortar las venidas de agua procedentes de la capa freática. □



SAINT-DENIS-PLEYEL - DES FONDATIONS HORS NORME POUR LA PLUS GRANDE GARE DU GRAND PARIS EXPRESS

AUTEUR : NICOLAS LAUNAY, CHARGÉ D'AFFAIRES MÉTHODES, SEFI-INTRAFOR

AU CARREFOUR DES FUTURES LIGNES AUTOMATIQUES 14, 15 ET 16/17, SEFI-INTRAFOR CONSTRUIT EN SOUS-TRAITANCE D'EIFFAGE GÉNIE CIVIL LES FONDATIONS DE LA FUTURE GARE SAINT-DENIS-PLEYEL, PLUS GRANDE GARE DU GRAND PARIS EXPRESS, POUR LE COMPTE DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS. DE PAR SES DIMENSIONS EXCEPTIONNELLES, LA GARE SDP IMPOSE LA RÉALISATION D'OUVRAGES DE FONDATIONS CONSÉQUENTS. L'ÉCHÉANCE DES JEUX OLYMPIQUES ET PARALYMPIQUES DE PARIS 2024 CONTRAINT SEFI-INTRAFOR À MOBILISER PENDANT 1 AN 2 ATELIERS COMPLETS DE PAROI MOULÉE AU CUTTER ET CE 24H/24.



PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Véritable interconnexion essentielle du Grand Paris Express, la station Saint-Denis-Pleyel deviendra, de par son emprise au sol de 9 000 m² et les 250 000 voyageurs qu'elle accueillera tous les jours, la plus grande gare du Grand Paris Express.

Imaginée par l'architecte Kengo Kuma, qui désire y faire rentrer la lumière naturelle malgré la profondeur (figures 1 et 2), la gare est située à

1- Vue du projet de l'architecte : jeu de lumière.

2- Vue du projet de l'architecte : coupe sur la gare.

1- Architect's view of the project: lighting effects.

2- Architect's view of the project: cross section of station.

l'angle des rues Pleyel et Poulbot, entre la rue du Landy et la tour Pleyel, le long du faisceau SNCF arrivant de la gare du Nord. Les six voies des Lignes 14, 15 et 16/17 seront toutes au même niveau, à une profondeur de 28 m, pour des correspondances quai à quai.

Pour réaliser cette colossale enceinte souterraine de 200 000 m³ qui accueillera de front 3 lignes de métro et compte-tenu du peu d'espace finalement disponible, les maîtrises

d'œuvre du projet ont retenu une solution de paroi moulée en T et des poteaux préfondés positionnés entre les trois lignes de métro pour pouvoir travailler en taupe.

Cette combinaison permet, à terme, de libérer plus vite les emprises de chantier périphériques également nécessaires pour la réalisation des projets d'aménagement urbain mitoyens qui doivent être opérationnels pour les Jeux Olympiques et Paralympiques 2024.

Les fondations réalisées sont ancrées dans le Calcaire Grossier jusqu'à 54 m de profondeur et présentent des épaisseurs de 1,50 et 1,80 m.

D'IMPORTANTES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Depuis la fin du printemps 2018, Eiffage Génie Civil et ses sous-traitants s'activent pour préparer le chantier sur cette ancienne zone d'activités. Pour le groupement terrassement Gter (Capocci - Fougerolles et Ballot), il faut en effet créer les pistes et les plateformes mais aussi les réseaux de chantier ainsi que réaliser les sondages de pollution et la détection pyrotechnique.

Eiffage Génie Civil procède de son côté à l'installation de la base vie et s'emploie à isoler le chantier du faisceau du Landy (le plus fréquenté d'Europe) par la mise en place d'un écran de protection fondé sur pieux sécants. ▷



© EIFFAGE GÉNIE CIVIL 3

Il faut également installer les palissades acoustiques et réaliser le génie-civil de la centrale à béton de Bsm qui occupe une surface importante du chantier, mais qui sera exclusivement dédiée aux fondeurs et au génie civiliste du lot 1 de la Ligne 16 du Grand Paris Express. C'est au milieu de ces travaux que les équipes de Sefi-Intrafor sont intervenues à l'été 2018, afin de réaliser les travaux d'installation nécessaires à l'accueil des nombreux matériels prévus.

DALLES DE CIRCULATION, FOSSES À DÉBLAIS, DALLE DES CENTRALES À BOUES : TOUT BÉTON !

L'année de production à venir ainsi que la présence des 36 futurs poteaux au milieu de la plateforme conduisent rapidement les équipes à faire le choix d'une plateforme en béton armé d'environ 10 cm sur la totalité de celle-ci, soit plus de 6000 m². En effet, l'arrivée prévue de deux ateliers cutter Soilmec SC130 et SC135 de plus de 180 t avec leurs poutres SH40 (ép. 1500 mm et

3- Vue du chantier depuis la tour Pleyel.
4- Plan d'installation du chantier.

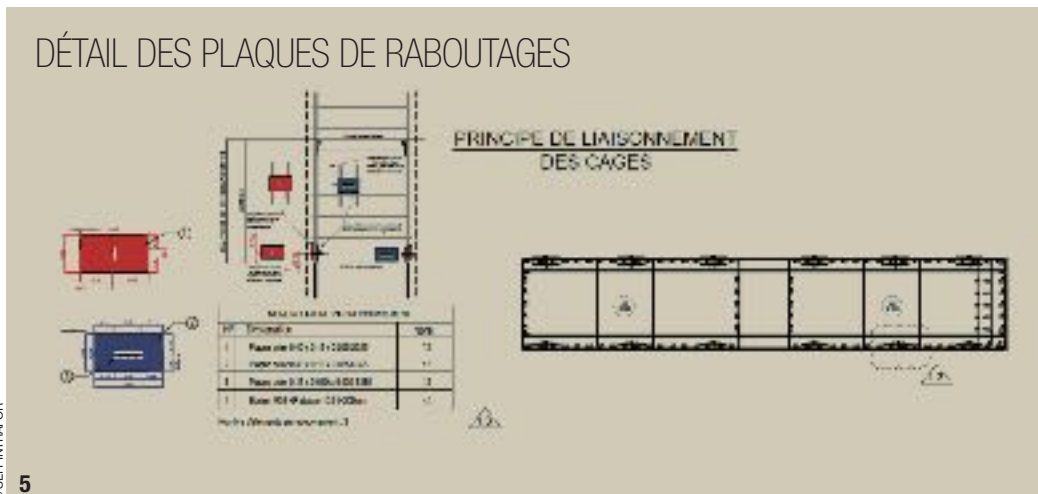
3- View of the site from Tour Pleyel.
4- Construction site layout plan.

1800 mm) ainsi que les grues de manutention de 250 t et 400 t auraient pu rapidement mettre à mal une plateforme traditionnelle en cailloux et nécessiter une réfection régulière, ce qui n'est pas le cas de la solution retenue (figure 3). De la même manière et contrairement aux chantiers traditionnels où celles-ci sont bien souvent terrassées à même le sol sans autres dispositions particulières, les trois fosses à déblais de Saint-Denis-Pleyel ont été réalisées en béton, ce qui satisfait aux exigences d'étanchéité exprimées par la SGP :



© EIFFAGE GÉNIE CIVIL 4

DÉTAIL DES PLAQUES DE RABOUTAGES



© SEFI-INTRAFOR
5

- Une fosse de 100 m³, hors sol, est située sous la centrale Nord (à cause de réseaux enterrés situés sous son emprise) ;
- Une autre de 350 m³ en voile contre terre avec radier B.A. se trouve au milieu de la plateforme et est principalement destinée aux déblais des ateliers de benne à câble ;
- Enfin une troisième de 300 m³ faite de murs en L de 4 m de haut, bloquée par un radier B.A., se situe à l'entrée du chantier sous la centrale de dessablage à l'ouest (figure 4).

5- Détail des plaques de raboutages (brevet Sefi-Intrafor). 6a, 6b & 6c- Plan d'élévation et armatures d'un poteau préfondé.

5- Detail of butt-joining plates (Sefi-Intrafor patent). 6a, 6b & 6c- Elevation view and reinforcements of a plunge column.

CAMPAGNE D'INJECTION DE PRÉ-TRAITEMENT

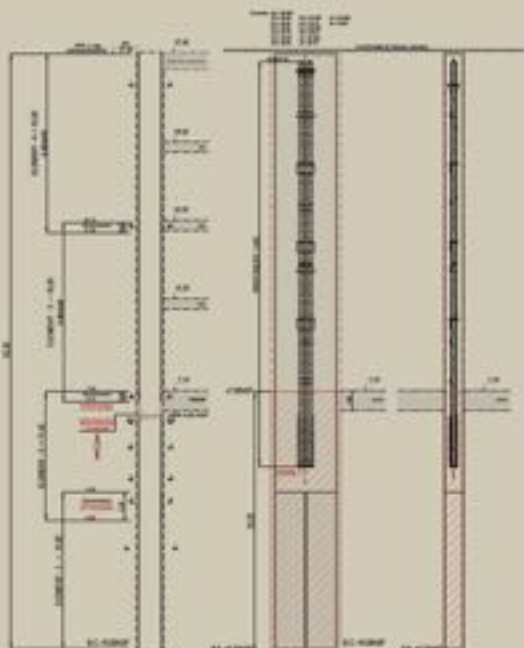
En parallèle de ces travaux, a démarré à la mi-août 2018 une campagne de traitement par injection préalable à la réalisation des parois moulées et des barrettes. En effet, le sous-sol de la gare est constitué successivement de remblais, Marnes à Pholadomyes (MPH), Sables Verts (SV), Calcaire de Saint-Ouen (SO), Sables de Beauchamp (SB), Marnes et Caillasses (MC), et Calcaire Grossier (CG). Certains de ces horizons peuvent présenter des anomalies formées par

dissolution de gypse : vides francs ou formations fortement décomprimées. La campagne d'injection préalable a pour but de combler les zones décomprimées ou présentant des anomalies au droit des futures barrettes et des parois moulées, afin de limiter le risque de perte de boue de forage qui pourrait conduire à des éboulements préjudiciables à la réalisation des parois moulées. Trois foreuses SM18 et une centrale d'injection gravitaire et de traitement ont été mobilisées avec une quinzaine de personnes sur 2 postes pour réaliser 350 des 480 forages à 55 m de profondeur. Cette première campagne d'injection a duré jusqu'à fin novembre 2018 sur l'emprise de chantier disponible, entre la rue Pleyel et le faisceau du Landy.

UN CHANTIER SCINDÉ EN DEUX PARTIES PAR LA RUE PLEYEL

Sur ce deuxième semestre 2018, l'ensemble des travaux préparatoires ne peuvent en effet s'effectuer qu'à l'est de la rue Pleyel, celle-ci restant ouverte à la circulation jusqu'au mois d'octobre 2018. Ce n'est qu'à partir de cette période que le groupement Gter peut entreprendre la démolition des anciens parkings souterrains propriété de l'entreprise Ubs. ▷

PLAN D'ÉLÉVATION D'UN POTEAU PRÉFONDÉ



6a

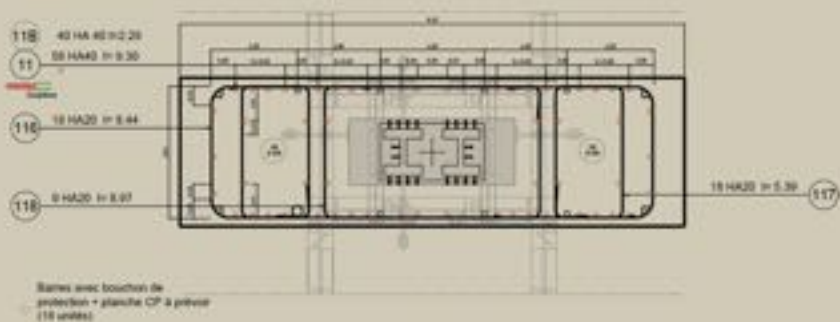
© SEFI-INTRAFOR

ARMATURES D'UN POTEAU PRÉFONDÉ



6b

ARMATURES D'UN POTEAU PRÉFONDÉ



6c

© SEFI-INTRAFOR

Il leur faut alors démolir les murs de clôture et purger les réseaux passant sous la rue, puis remblayer sur plus de 7 m de haut la zone afin de recréer une plateforme au niveau du chantier déjà en production.

En attendant la fin de ces travaux qui auront duré 6 mois, Sefi-Intrafor doit démarrer les travaux de fondations côté faisceau du Landy, à l'opposé de cette zone. Mi-mars 2019, celle-ci est de nouveau disponible pour la réalisation de la deuxième campagne d'injection, puis des dalles et des murettes-guides restantes.

Dans ce contexte et dans un souci de respect d'un planning global ambitieux, le phasage retenu prévoit une libération des parois moulées et des barrettes d'est en ouest. Cela permet une intervention des équipes de génie civil sur la moitié Est du chantier dès octobre 2019, avant la fin de réalisation des parois moulées et des barrettes.

**DES MURETTES-GUIDES
À LA DIMENSION DES
FONDACTIONS DE LA GARE**

Les murettes-guides d'ouvertures 1,55 m et 1,85 m et donnant la forme



de T ou de baionnette aux futurs panneaux de parois moulées ont été, une première dans l'histoire de l'entreprise, dimensionnées par le bureau d'étude Sefi-intrafor. Il faut en effet que ces ouvrages soient capables, en plus d'assurer leur habituel rôle d'implantation et de guidage des outils de forage, de supporter jusqu'à 40 t de coffrage water-stop et 90 t de cages d'armature, mais également une partie des efforts

7- Poteau et sa cage de frettage.

8- Raboutage du premier et du second élément du poteau.

9- La table de pose.

7- Column and its reinforcing cage.

8- Butt joining of the first and second column parts.

9- Mounting table.



© SEFI-INTRAFOR



© SEFI-INTRAFOR



© SEFI-INTRAFOR

10

amenés par les poteaux profondés pesant jusqu'à 100 t. Les cages d'armatures de murettes-guides, constituées de barres HA25 pour les plus sollicitées, ont été, comme les cages de parois moulées, préfabriquées en usine et assemblées sur site par l'entreprise en charge des murettes-guides.

10- La SC135 et la SC130.

11- Vue d'ensemble du chantier.

10- The SC135 and SC130.

11- Overall view of the construction site.

LA RÉALISATION DES FONDATIONS ET DES SOUTÈNEMENTS

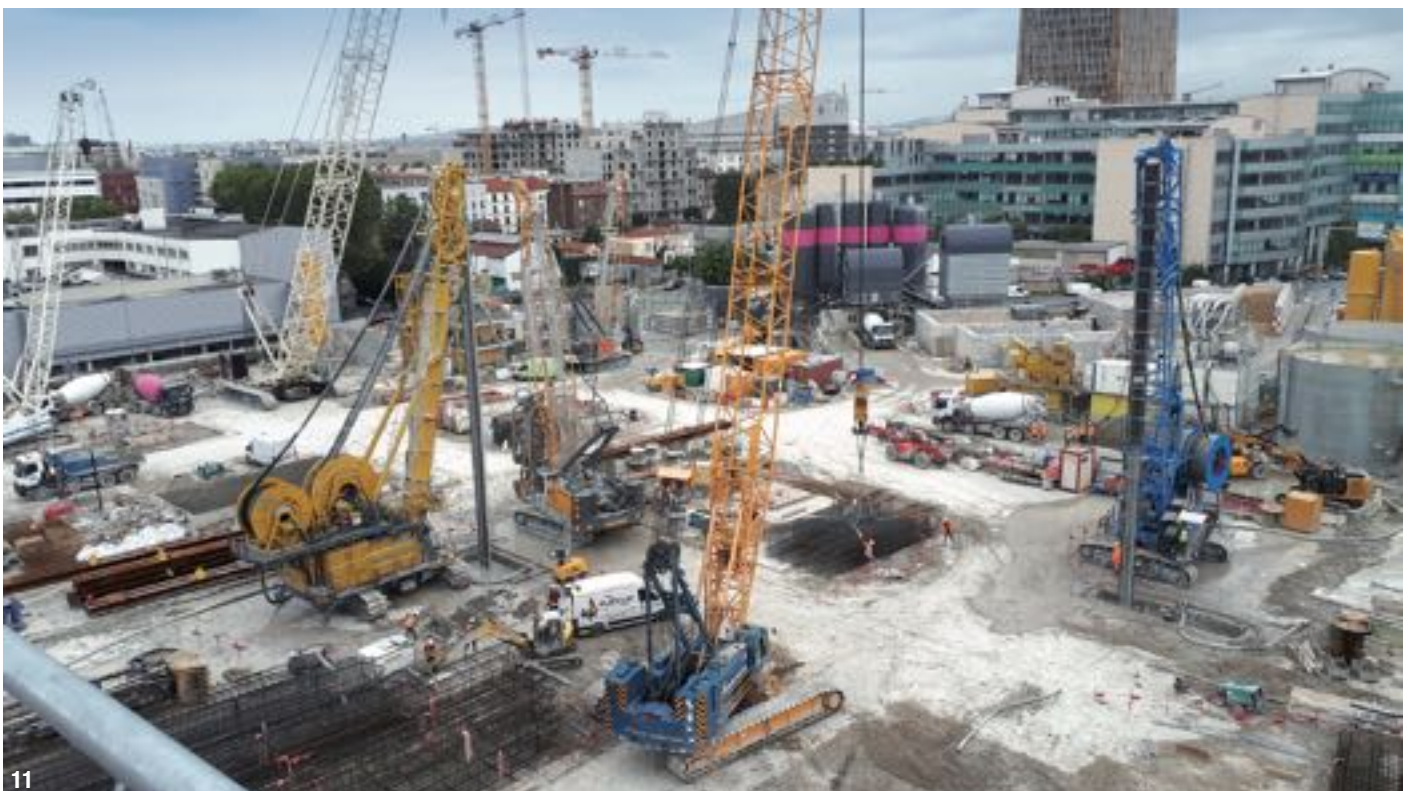
PAROI MOULÉE

Le premier atelier, une Soilmec SC130, est entré en production sur le côté Nord-Est du chantier fin décembre 2018. Fin janvier 2019, est arrivé le second cutter, une SC135 Tiger, en provenance du puits

Mandela. Celui-ci est entré en action au sud-est du chantier et sa centrale est installée, faute de place disponible sur la fouille, dans les 2 petites emprises restant disponibles autour de la boîte, soit au sud pour la partie fabrication et stockage et à l'ouest pour la partie retraitement des boues. C'est au rythme de 2 à 3 panneaux par semaine pendant une année, que les 60 000 m³ de béton sont coulés à des profondeurs variant de 47 à 54 m pour former le soutènement de 25 000 m². À noter, pendant cette phase, le déploiement d'un innovant procédé de raboutage des éléments de cages (brevet Sefi-Intrafor) constitués de 2 fois 4 plaques à trou oblong vertical ou horizontal reliées par 4 boulons M36HR classe 10.9 de 140 mm (figure 5).

36 POTEAUX PRÉFONDÉS DE 55 À 100 t ANCRÉS DANS DES BARRETTES DE 300 m³

3 à 4 fois plus imposants que les poteaux profondés en béton armé habituellement mis en œuvre dans les bassins ou les parkings souterrains, les poteaux profondés métalliques de la gare SDP font l'objet de dimensions hors normes. D'une part à cause du poids des 2x18 m de profilés doubles PRS HD1086 (50 t par demi-poteau) mais également à cause de la densité d'armatures à mettre en œuvre dans la barrette pour transférer jusqu'à 5 000 t de charge sur seulement 5 m de haut. ▷



© SEFI-INTRAFOR

11



12

© SEFINTRAFOR

Ce n'est pas moins de 7 éléments de cages d'armatures pour un total de 50 t qui doivent être préalablement mis en œuvre dans le forage accueillant le poteau. Deux éléments servent à armer la barrette sous le poteau, un autre sert à coiffer ceux-ci tout en assurant la transition des efforts avec la cage de frettage du poteau (figures 6a, 6b

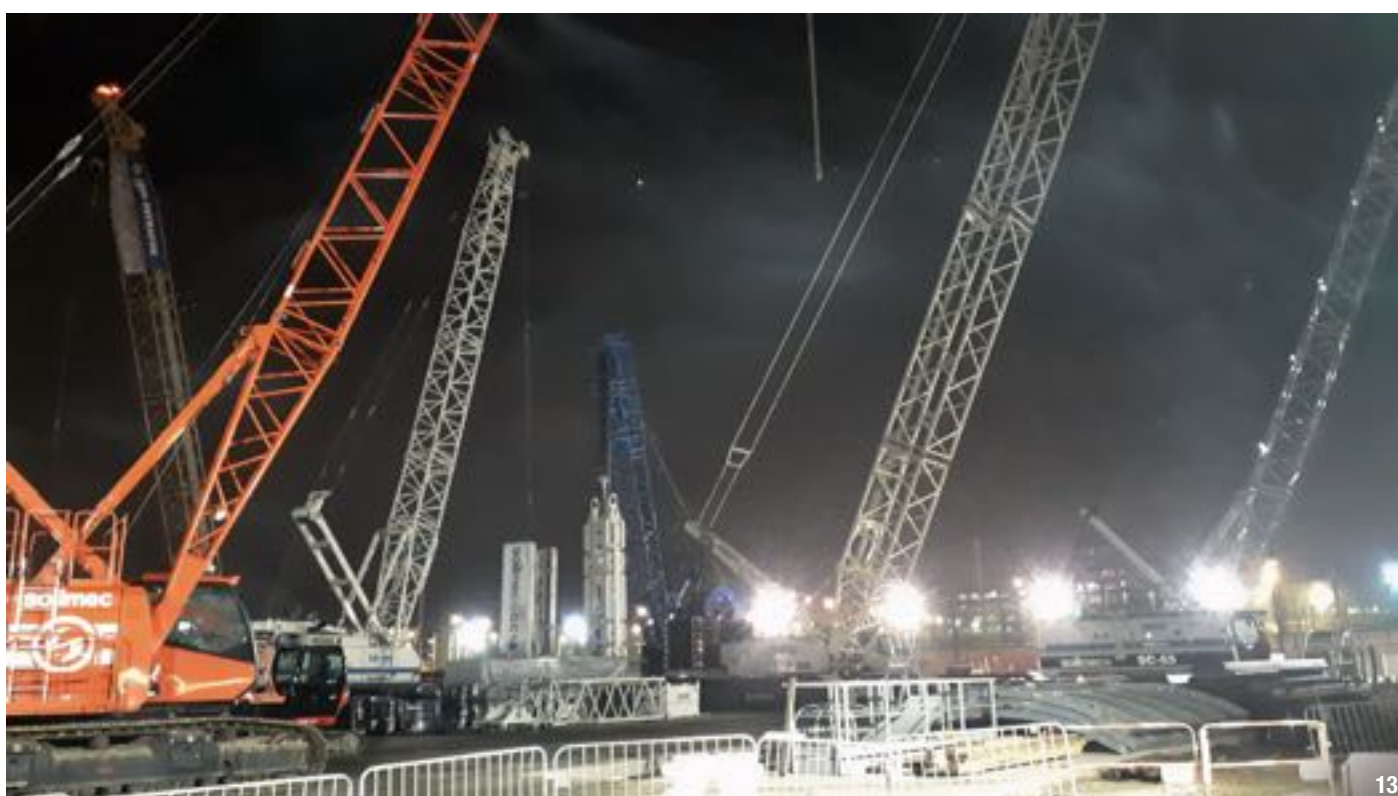
et 6c). Les 4 derniers, situés de part et d'autres du poteau, servent à suspendre l'ensemble jusqu'aux murettes-guides, à la surface. Une huitième cage d'armature, appelée cage de frettage, est directement soudée sur site sur les goujons du pied de poteau (figure 7). De nombreuses tolérances et leurs occurrences ont dû être prises en

12- Chantier au crépuscule.
13- Chantier de nuit.

12- Construction site at dusk.
13- Construction site at night.

compte afin d'assurer la bonne mise en place du poteau, sans risquer de l'accrocher, à 30 m de profondeur dans la boue, lors de son insertion dans la cage d'armature.

C'est à l'aide d'une table de réglage d'une quinzaine de tonnes reposant sur 2 plaques de répartition à même la dalle béton que sont réglés, au cen-



13

© SEFINTRAFOR

timètre près, ces monstres d'acier (figures 8 et 9). Cette dernière est munie de 4 vérins hydrauliques dans chaque angle pour le réglage altimétrique, ainsi que de supports en téflon et de tiges filetées pour le réglage planimétrique. Moins de 30 minutes sont nécessaires pour le réglage du poteau dont la tolérance altimétrique requise est de 10 mm.

Ensuite ce sont 300 m³ de béton qui sont coulés depuis le fond du forage jusqu'à noyer le pied du poteau, puis un béton maigre assure le remplissage jusqu'à la surface.

À terme, les poteaux métalliques feront l'objet d'un habillage en béton coffré par les équipes de génie-civil.

2000 t DE MATÉRIELS MOBILISÉS

Ces travaux de paroi moulée et poteaux profondés se sont déroulés de décembre 2018 à janvier 2020 et ont été réalisés, en plus des 2 cutters Soilmec SC130 et SC135 précédemment décrits (figure 10), à l'aide de 2 Liebherr HS8130 pour le forage des 20 premiers mètres à la benne à câble Stein. Jusqu'à 3 grues de manutention à flèche treillis, de 100, 250 et 400 t constituaient l'essentiel des moyens de manutention du chantier. La dernière machine, une Terex-Demag CC2400 ayant la particularité d'être équipée de deux mouffes, dont un de 120 t de capacité sur la flèche principale de 66 m et l'autre de 60 t équipé sur la fléchette à volée fixe. Cette configuration, rare en fondations spéciales, a permis à la fois de réaliser les opéra-

tions usuelles de paroi moulée (cages jusqu'à 90 t) mais également de basculer les demi poteaux profondés de 50 t sans faire toucher le sol à ces derniers, pour ne pas endommager leur cage de frettage soudée au pied.

Enfin les 2 centrales étaient constituées chacune d'une unité de fabrication, de 1 400 et 1 800 m³ de stockage de

boue, d'un dessableur Sotres D550 avec sa centrifugeuse Gennaretti pour l'une et d'un dessableur Soilmec SMT500 et sa centrifugeuse SDM90 pour l'autre.

Deux pelles d'une vingtaine de tonnes et jusqu'à trois camions 8x4 benne assurant le marinage des cuttings entre les ateliers de forage et les fosses à

déblais du site, notamment la nuit quand les centres de valorisation des déblais sont fermés (figure 11).

UN CHANTIER DE FONDATIONS 24H/24

Ce chantier, hors norme par ses dimensions et les ouvrages à réaliser, l'est tout autant par son planning, contraint comme beaucoup d'ouvrages du Grand Paris Express à l'échéance des J.O.P. 2024.

En effet les décalages liés aux mises à disposition d'emprises tardives et la mise au point difficile du dimensionnement ont rapidement contraint le chantier à mobiliser 2 nouvelles équipes sur un poste de nuit en plus des 4 équipes travaillant déjà de 6h à 22h sur les 2 ateliers fin décembre 2018. Ce ne sont donc pas moins de 80 personnes qui œuvrent 24h/24 pour les fondations de la boîte-gare. Il en sera ainsi toute l'année 2019, les samedis étant souvent réservés à l'entretien des matériels soumis à rude épreuve (figures 12 et 13).

TRAVAUX À VENIR

En janvier 2020, alors que Sefi-Intrafor est déjà à la moitié des parois du puits 6401P et que les injections préalables de la gare Stade-de-France se terminent, il reste à réaliser sur SDP en parallèle du repli des 2 ateliers, une paroi moulée pour le soutènement du carneau ouest initialement prévu en paroi berlinoise. Le chantier se terminera par quelques pieux de fondations et les bouchons de sortie de tunnelier de 15 m x 15 m x 5 m en jet-grouting et injections. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

DALLES PROVISOIRES DE CIRCULATION ET D'INSTALLATION : 6 500 m² (Bmr - Bati ldf)

PAROI MOULÉE ET BARRETTES : 36 300 m² jusqu'à 54 m de profondeur, épaisseur 1 520 mm et 1 820 mm

ARMATURES DE PAROI MOULÉE : 5 000 t d'aciers (Sendin)

POTEAUX PRÉFONDÉS : 2 500 t d'aciers, 36 unités de 55 à 100 t (fourniture Smulders)

BÉTON : 60 000 m³ de C35/45 XA3 (BSM)

DÉBLAIS : 60 000 m³ (Vialis - Gter)

MURETTES GUIDES : 725 m (Bmr)

FUEL : 1 700 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris

ARCHITECTE : Kengo Kuma and Associates

MAÎTRE D'ŒUVRE INFRASTRUCTURE : Egis Rail / Tractebel

AMOG : Artemis (Artelia / Arcadis / Bg)

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Eiffage Génie-Civil

SOUS-TRAITANT 1^{er} RANG FONDATIONS SPÉCIALES : groupement Sefi-Intrafor

SOUS-TRAITANTS 2nd RANG PAROIS MOULÉES : groupement Trevi S.p.a. / Trevi Fondations Spéciales

ABSTRACT

SAINT-DENIS-PLEYEL - EXCEPTIONAL FOUNDATIONS FOR THE LARGEST STATION OF THE GRAND PARIS EXPRESS PROJECT

NICOLAS LAUNAY, SEFI-INTRAFOR

At the intersection of the future automatic lines 14, 15 and 16/17 of the 'Grand Paris Express' metro project, Sefi-Intrafor and its subcontractor Trevi s.p.a./Trevi Fondations Spéciales are executing, for Eiffage Génie-Civil, the foundations of the future Saint-Denis-Pleyel Station, the largest station of the 'Grand Paris Express' project. Due to its exceptional dimensions, SDP Station logically requires the execution of foundation structures that are impressive from every point of view. For execution of this enclosure, which will receive three TBMs, Sefi-Intrafor had to deploy two complete diaphragm-wall cutter rigs each consisting of a production and sludge treatment unit, a cable grab, a cutter, high-capacity handling cranes and the equipment needed for concreting (columns, CWS, etc.). The expertise of the engineering department and work teams was also called on for the execution, within tight deadlines, of these deep walls of complex design (Tee, bayonet, alternating thickness of 1500-1800 mm), but also for the four heavily reinforced buttresses and 36 monumental plunge columns (up to 100 tonnes for each item). □

SAINT-DENIS-PLEYEL: CIMIENTOS EXCEPCIONALES PARA LA ESTACIÓN MÁS GRANDE DEL GRAND PARIS EXPRESS

NICOLAS LAUNAY, SEFI-INTRAFOR

En la intersección de las futuras líneas automáticas 14, 15 y 16/17 del Grand Paris Express, Sefi-Intrafor y su contratista Trevi s.p.a./Trevi Fondations Spéciales están realizando, por encargo de Eiffage Génie-Civil, los cimientos de la futura estación de Saint-Denis-Pleyel, la estación más grande del proyecto del Grand Paris Express. Por sus dimensiones excepcionales, la estación SDP impone naturalmente la realización de unas obras de cimentación impresionantes desde todos los puntos de vista. Para construir este recinto que acogerá 3 tuneladoras, Sefi-Intrafor ha tenido que movilizar 2 talleres completos de pantalla de hormigón moldeada con cutter, formados cada uno por una central de fabricación y tratamiento de los lodos, una cuchara de cable, un cutter, grúas de manutención de alta capacidad y el material necesario para el hormigonado (columnas, CWS, etc.). Asimismo, ha contado con la competencia de la dirección técnica y de los equipos de trabajo para realizar en unos plazos ajustados estas pantallas profundas de diseño complejo (en T, bayoneta, alternancia de espesor de 1.500 - 1.800 mm), los 4 contrafuertes fuertemente armados y los 36 pilares monumentales precimentados (hasta 100 t por elemento). □

RIS-ORANGIS - CRÉATION D'OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET D'UNE STATION ANTI-CRUE EN BORD DE SEINE

AUTEURS : AMINE KORICHE, DIRECTEUR DE PROJETS, ARTELIA VILLES ET TERRITOIRES - MOHAMMED KOAIK, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, ARTELIA VILLES ET TERRITOIRES - ALEXANDRE REYNAUD, CHEF DE PROJET, FUGRO GEOCONSULTING - SANDRA LAMPONI, CHARGÉ D'OPÉRATION, GRAND PARIS SUD SEINE ESSONNE SÉNART - WILFRIED SPANGENBERG, DIRECTEUR DE PROJETS, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

AFIN DE PROTÉGER LE BAS DE LA COMMUNE DE RIS-ORANGIS CONTRE LES INONDATIONS RÉCURRENTES PAR TEMPS DE PLUIE, IL A ÉTÉ DÉCIDÉ DE CONSTRUIRE DEUX OUVRAGES DE STOCKAGE/RESTITUTION AINSI QU'UN RÉSEAU D'EAUX PLUVIALES MIS EN PLACE À 10 m DE PROFONDEUR PAR L'UTILISATION D'UN MICROTUNNELIER. ASSOCIÉE À CES OUVRAGES ET AFIN D'ÉVITER LA SATURATION DES RÉSEAUX EN PÉRIODE DE CRUE DE LA SEINE, UNE STATION-ANTI-CRUE A ÉGALEMENT ÉTÉ RÉALISÉE.



1

© GRAND PARIS SUD SEINE ESSONNE SÉNART

LE PROJET

Le bas de la ville de Ris-Orangis subit depuis de nombreuses années de fortes inondations pour les pluies d'occurrences supérieures à 6 mois en raison d'un réseau d'assainissement des eaux pluviales sous-capacitaire.

Le projet consiste donc à protéger les habitants de ces inondations par la construction de deux bassins de stockage et de restitution des eaux pluviales : le premier bassin, disposant d'une capacité de stockage de 13000 m³, est situé sous le terrain de football du complexe sportif Émile

Gagneux (figure 1), le second, d'une capacité de 1500 m³, est situé sous le parking Alfonse Daudet. Du fait de l'occupation des sols et du contexte géologique, la canalisation d'alimentation du premier bassin dit "bassin Gagneux" a été mise en place par l'intermédiaire d'un microtunnelier à pression de boue à 10 m de profondeur par rapport au terrain avoisinant.

Par ailleurs, l'intrusion d'eau de Seine dans les réseaux d'eaux pluviales lors de crues importantes du fleuve, constitue une contrainte hydraulique majeure réduisant très fortement la capacité

1 - Vue général bassin Gagneux.

1 - General view of Gagneux Basin.

d'évacuation en Seine des eaux pluviales et contribuant ainsi à accroître les inondations des quartiers amont.

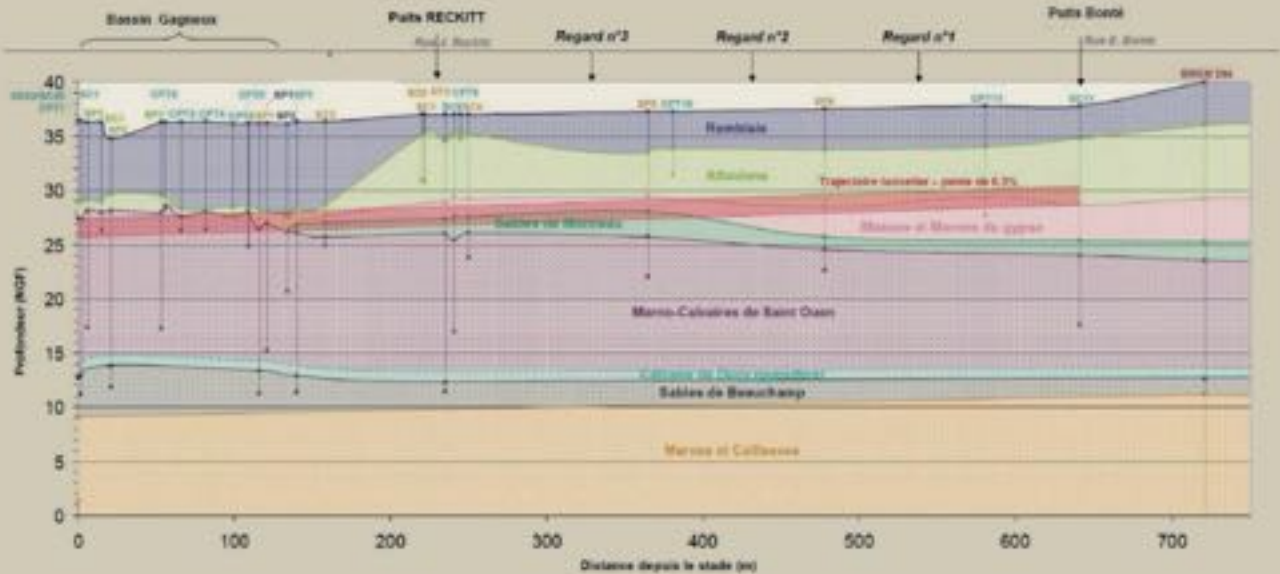
Le projet prévoit donc la construction d'une station anti-crue d'une capacité hydraulique de 500 l/s, permettant d'isoler le réseau pluvial communautaire de la Seine.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Une partie du projet est située sur une zone d'anciennes carrières d'alluvions de Seine. Ces alluvions, constituant les dix premiers mètres des terrains naturels, ont été extraits puis substitués par des matériaux hétérogènes sur les zones concernant le futur bassin Gagneux et une partie de sa canalisation d'alimentation.

Sous cette première couche, le sol est constitué successivement et localement d'une couche de transition constituée des Masses et Marnes du Gypse et des

MODÈLE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE BASSIN GAGNEUX ET CANALISATION DN1400



© FLUGRO GEOCONSULTING

2

Sables de Monceau puis de Marno-Calcaires de Saint-Ouen, de Sables de Beauchamp et de Marnes et Caillasses (figure 2).

Localement et particulièrement au droit du grand bassin Gagneux, une couche constituée de calcaires gypsifères très productive du point de vue hydrogéologique, dite Calcaire de Ducy, est présente entre les Marno-Calcaires de Saint-Ouen et les Sables de Beauchamp. En terme d'hydrogéologie, une succes-

2- Modèle géologique de la zone bassin Gagneux et canalisation DN1400.
3- Vue aérienne du Bassin Gagneux.

2- Geological model of the Gagneux Basin and ducting of ND 1400 mm.
3- Aerial view of Gagneux Basin.

sion de nappes libre et captives est présente à l'endroit des travaux, à savoir la nappe alluviale d'accompagnement de la Seine, la nappe du Bartonien dans laquelle baignent les Marno-Calcaires de Saint-Ouen, le Calcaire de Ducy et les Sables de Beauchamp et la nappe des Marnes et Caillasses. La couche des Sables de Beauchamp constitue un horizon semi-perméable entre la nappe du Bartonien et la nappe captive des Marnes et Caillasses.

BASSIN DE STOCKAGE PRINCIPAL "GAGNEUX"

L'ouvrage principal a la particularité d'avoir un grand diamètre, à savoir 49 m, soit la quasi-totalité de la largeur du terrain de football sous lequel il est implanté et une profondeur de 13 m (figures 3 et 4).

Ce choix conceptuel a été motivé par des considérations d'ordre hydrogéologique ; il a permis de maintenir une couverture de sol suffisante pour stabiliser la couche des Sables de Beauchamp, constituant une formation semi-perméable au-dessus de la nappe en charge des Marnes et Caillasses.

D'autre part, le bassin Gagneux est constitué d'une paroi moulée descendue à 28 m de profondeur dans les Marnes et Caillasses, permettant de couper l'alimentation par la nappe du Bartonien du fond de fouille.

Ces deux choix de conception ont permis de limiter à quelques mètres cubes par heure le débit d'eau arrivant en fond de fouille après terrassement, ce qui a l'avantage de faciliter l'exécution et de réduire l'impact environnemental des travaux sur les nappes souterraines, enjeu majeur du projet.

L'ouvrage est fondé sur 300 micro-pieux de type III de longueur égale à 9 m (figure 5).

Les micropieux armés de tubes de nuance N80 de diamètre égal à 73 mm ont été forés depuis le fond de fouille au coulis et au tricône perdu.



© GRAND PARIS SUD SEINE ESSONNE SEINART

3

Les micropieux étant scellés dans le Calcaire de Ducy et dans un contexte hydrogéologique très contraignant, l'injection du coulis de scellement a été réalisée à l'obturateur simple en deux temps : en fond et en tête de micropieux (figure 6). Afin de s'assurer de l'adaptation de la méthode de réalisation et du parfait scellement des micropieux, 10 essais de conformité ont été réalisés ainsi que 30 essais de contrôle, soit un micropieu contrôlé sur dix mis en œuvre.

Les micropieux sont ancrés dans un radier généralisé scellé à la paroi moulée périphérique. L'ensemble micropieux-radier-parois moulées permet de garantir la stabilité de l'ouvrage au soulèvement soumis à un niveau d'eau exceptionnel correspondant au niveau du terrain avoisinant, le site étant potentiellement inondable pour des crues de Seine centennales.

Les terrassements du bassin (figure 7) ont été réalisés par l'intermédiaire :

- De pelles mécaniques disposées dans l'enceinte du bassin ;
- D'une pelle caméléon placée en surface permettant de remonter et de charger les déblais dans les camions.

Les déblais non dangereux ont été évacués par camions jusqu'au quai de Seine d'Évry, chargés dans des



péniches et envoyés au centre de traitement de Bruyère-sur-Oise. En limitant le transport terrestre, ce mode d'évacuation a permis de limiter les nuisances environnementales en termes de bruits, de salissures et d'émissions de gaz à effet de serre (gaz d'échappement des camions utilisés pour l'évacuation). L'exploitation de l'ouvrage est réalisée, soit localement depuis un local technique situé dans l'enceinte du bassin, soit à distance par un système de télégestion depuis les locaux de l'exploitant du réseau d'assainissement de Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart. Les locaux techniques ont été mis en place dans l'enceinte du bas-

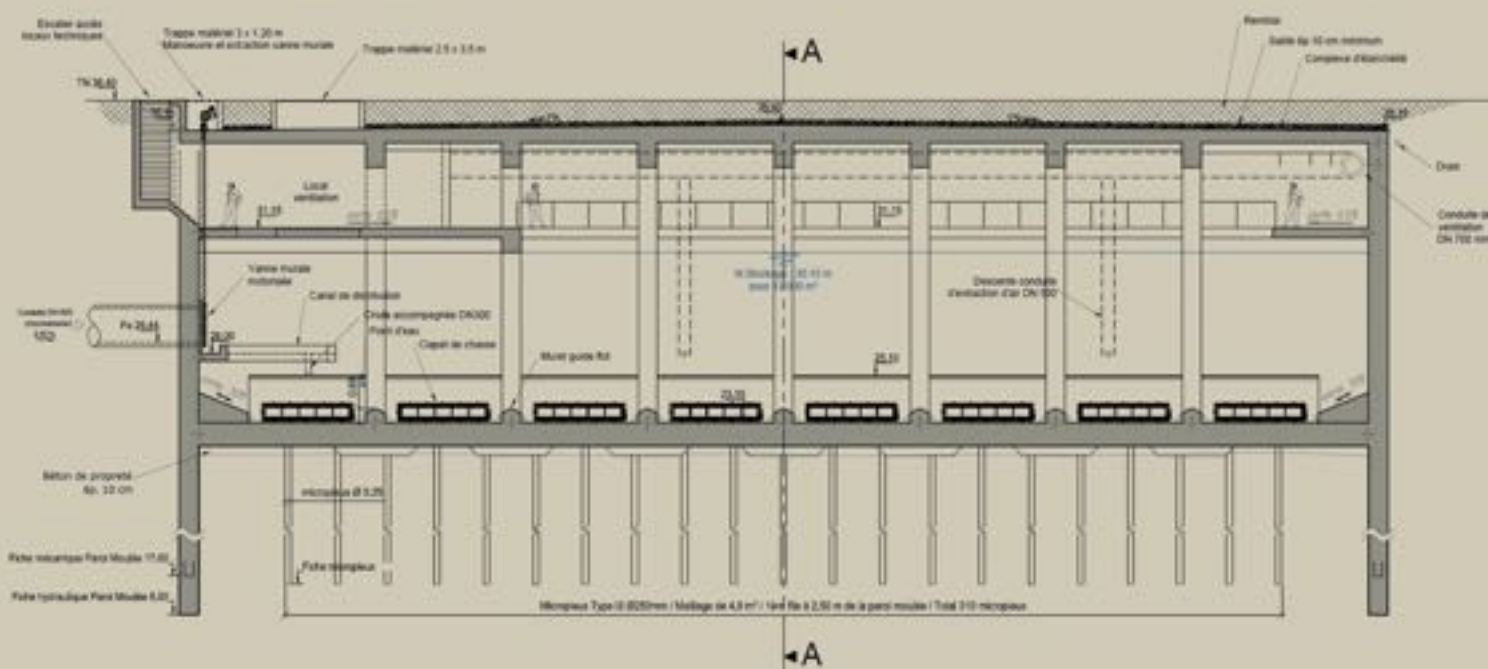
4- Construction du génie civil intérieur bassin Gagneux.

5- Coupe transversale sur le bassin Gagneux.

4- Construction of civil works inside Gagneux Basin.

5- Cross section of Gagneux Basin.

COUPE TRANSVERSALE SUR LE BASSIN GAGNEUX



sin enterré du fait de l'impossibilité de créer des émergences sur l'emprise du stade de football et de son parking. Afin de protéger les équipements électriques et d'automatismes mis en place dans ces locaux contre des remontés d'eaux remplissant le bassin même en situation accidentelle, les locaux techniques ont été rendus complètement étanches par la mise en place de portes étanches supportant une pression d'eau de 5 m et des joints de type Afimes au droit de toutes les traversées de parois.

6- Forage des micropieux depuis le fond du bassin Gagneux.

7- Terrassements à la pelle mécanique puis remontée des déblais à la pelle caméléon.

6- Micropile drilling from the bottom of Gagneux Basin.

7- Earthworks by shovel excavator and then raising of excavated material by "chameleon" shovel.



© ARTELIA
6

OUVRAGES D'ALIMENTATION DU BASSIN "GAGNEUX"

Le réseau d'eaux pluviales qui alimente le bassin Gagneux intercepte deux ovoïdes qui canalisent les pluies vers la Seine. Ces ovoïdes de type T120 et T100, sont interceptés par l'intermédiaire de chambres à vannes créées dans le cadre du projet.

Deux puits de chute à paliers brise-charge permettent l'amenée des eaux interceptées du niveau du fil d'eau des collecteurs situé 3 m sous le terrain avoisinant au niveau du fil d'eau du nouveau réseau pluvial situé à 10 m de profondeur en toute sécurité.

Les deux puits servent, en cours d'exécution, de puits d'attaque et de puits de réception du microtunnelier permettant la construction de la canalisation DN1400 d'alimentation du bassin Gagneux.

Les voiles extérieures des deux puits sont constituées de pieux sécants.

Les pieux sécants, prévus d'être forés à la boue, ont été réalisés à la tarière double table, ce qui a permis de limiter les nuisances au voisinage en terme de salissures dues aux pertes de boue et de garantir un défaut de verticalité qui n'excède pas 0,5 %, condition nécessaire à l'étanchéité entre pieux primaires et pieux secondaires (figure 8).



© ARTELIA
7

La canalisation d'eaux pluviales de diamètre intérieur égal à 1 400 mm a été construite au microtunnelier à pression de boue de type Herrenknecht AVN1600 AB (figure 9). L'utilisation d'un AVN1600 mm a été rendue nécessaire pour permettre la mise en place d'une canalisation de diamètre extérieur égal à 1 870 mm garantissant un enrobage minimal des aciers de 55 mm, le matériel de foration de type AVN1400 ne permettant pas de mettre en place des canalisations de diamètre extérieur dépassant 1 780 mm. Cet enrobage est justifié pour la traversée des Marno-Calcaires de Saint-Ouen contenant un taux important de sulfate particulièrement agressif vis-à-vis du béton. L'agrandissement du puits d'attaque pour s'adapter aux dimensions plus importantes d'un microtunnelier de type AVN1600 n'étant pas possible du fait de la présence importante de réseaux au voisinage du puits, deux adaptations ont été apportées à la méthode de mise en place du matériel de creusement et fonçage de la canalisation (figure 10) :

1- Une première partie du microtunnelier constituée :

- D'une roue de coupe mixte servant à la découpe du terrain ;
- D'un concasseur dans lequel le sol est broyé en éléments fins permettant son extraction ;
- Des conduites d'amenée et d'extraction des fluides de forage et prélèvement des sols creusés ;
- Des vérins de guidage, groupes hydrauliques et pompes d'amenée et de rejet, descendus dans le puits d'attaque puis introduits dans le sol, avant que la seconde partie constituée d'un sas hyperbare permettant l'accès au front de taille ne soit foncée à son tour.

2- Les trois premiers tubes suiveurs du microtunnelier avaient un diamètre intérieur égal à 1 600 mm. Ces trois tubes ont été extraits en fin de fonçage et remplacés par des tubes de diamètre intérieur égal à 1 400 mm.

Le tunnel a été réalisé en deux tirs de longueurs égales à 90 m et 412 m depuis le puits d'attaque vers le bassin Gagneux puis vers le puits de réception. Des armatures en fibres de verre ont été placées au droit des zones de passage du microtunnelier au travers de la paroi moulée du bassin et des pieux sécants. Le changement de direction permettant la réalisation du second tir a été réalisé après le retournement du bâti de poussée, la démolition du premier massif de poussée et la recons-



8 © ARTELIA

8- Forage des pieux sécants à la tarière double table.

9- Forage de la canalisation DN1400 par microtunnelier.

8- Secant pile drilling by double-table auger.

9- Drilling for NN 1400 mm ducting by microtunnelier.



9 © ARTELIA

10- Mise en place du micro-tunnelier.

11- Construction des regards de visite à l'abri de parois souples armées.

10- Positioning the micro-tunneller.

11- Construction of inspection manholes sheltered by the reinforced slurry walls.

profondeur et en supplément des deux puits de chute, trois regards de visite ont été construits. Ces regards ont été réalisés à l'abri de parois souples armées constituées de coulis de ciment et de profilés métallique IPE 400 construits préalablement au passage du microtunnelier (figure 11).

À noter qu'un défaut d'étanchéité est apparu sur l'un des trois regards après terrassement. Il y avait impossibilité de mettre en place un dispositif d'exhaure dans le puits du regard en cours de construction du fait de la proximité de la route nationale n°7.

Des injections supplémentaires de coulis de microciment-bentonite réalisées dans deux carottages ainsi que la mise en place de cornières métalliques et de canules d'injections de résines aquaréactives par des plongeurs sous nappe ont permis le colmatage des fuites et la finalisation de la construction du regard.

SECOND BASSIN DE STOCKAGE/RESTITUTION "GAMBETTA"

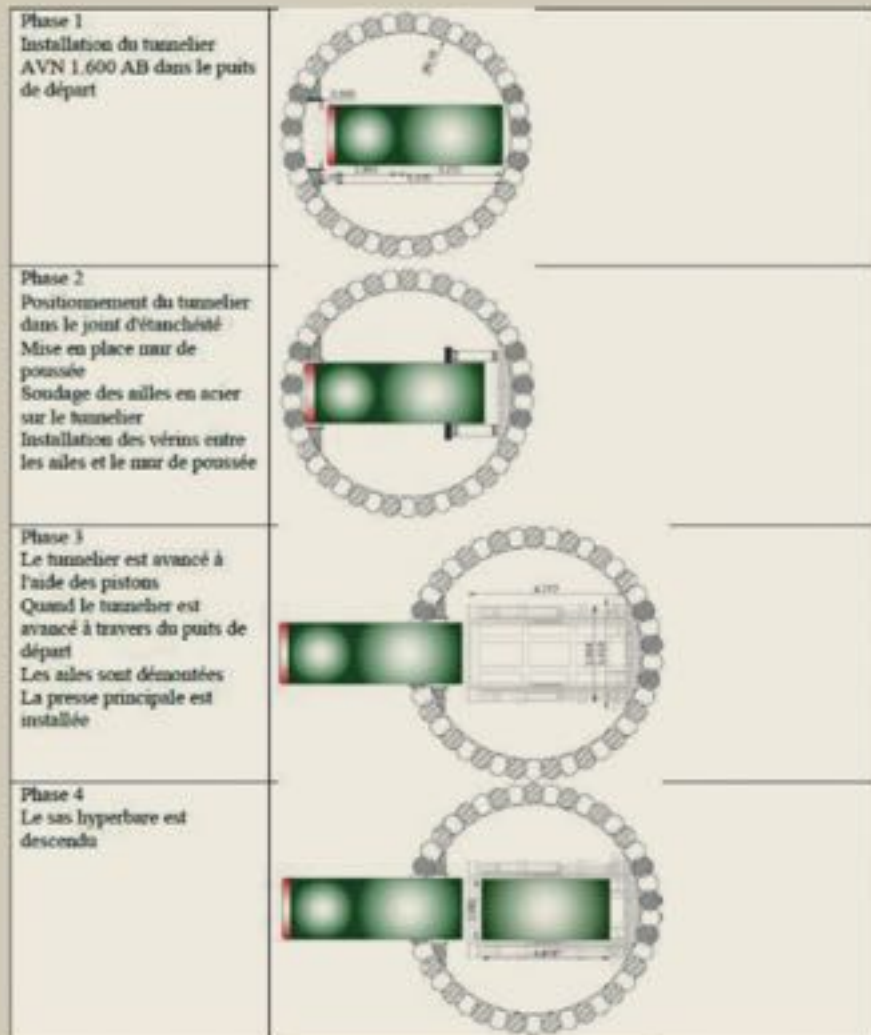
Le second bassin de stockage/restitution dit "bassin Gambetta", permet de soulager le collecteur d'eaux pluviales de diamètre 600 mm passant rue Gambetta lors d'événements pluvieux importants.

Le bassin Gambetta d'un diamètre de 19 m, a été réalisé en parois moulées dont la fiche a été descendue à 15 m de profondeur.

La paroi moulée étant construite à moins de 1 m du mur périphérique d'une maison mitoyenne fondée superficiellement, plusieurs dispositifs ont été prévus pour garantir la pérennité de cette construction :

→ Un soutènement en paroi berlinoise a été mis en place préalablement au début des travaux de parois

MISE EN PLACE DU MICROTUNNELIER



10
© DENYS



11
© ARTELIA

moulées le long du mur périphérique (figure 12) ;

→ Les panneaux de parois moulées à proximité immédiate de la maison ont été creusés en panneaux élémentaires de 2,80 m de largeur. Ces deux dispositions ont permis l'exécution des travaux sans aucun impact sur la maison avoisinante.

Le bassin est fondé sur 8 micropieux de 12 m et 8 micropieux de 16 m de profondeur.

Ces micropieux, interceptant la nappe des Sables de Beauchamp, ont été forés à la boue en arase basse depuis le niveau du terrain naturel pour limiter l'impact du gradient hydraulique ascendant et armés par des barres Gewi 63,5 mm.

L'ensemble des micropieux a été contrôlé depuis le fond de fouille et tous ont été déclarés conformes.



12



13

© ARTELIA

STATION ANTI-CRUE

La station anti-crue est constituée d'une chambre à vannes, d'un local contenant les pompes de refoulement et de barreaux de raccordement au collecteur ovoïde existant.

Le local pompes est construit à l'abri de pieux sécants forés à la boue (figure 13). Du fait de la proximité immédiate de la Seine qui rend le rabattement de la nappe alluviale impossible, un bouchon en béton de 1 m d'épaisseur coulé sous eau a été réalisé. La chambre à vannes et les barreaux de raccordement, moins profonds que le local des pompes, ont été réalisés à l'abri de blindages traditionnels en bois et d'un rabattement par pointes filtrantes descendues à 6 m de profondeur. □

12- Protection de la maison avoisinante par une paroi berlinoise.

13- Blindage par pieux sécants et ferrailage radier station-anti-crue.

12- Protection of the neighbouring house by a Berlin-type retaining wall.

13- Shielding by secant piles and reinforcement of anti-flood station foundation raft.

PRINCIPALES QUANTITÉS

LINÉAIRE DE PAROI MOULÉE : 217 m

SURFACE DE PAROI MOULÉE : 5275 m²

LINÉAIRE DE MICROPIEUX : 2924 m

LONGUEUR DE LA CANALISATION DN1400 CONSTRUITE PAR MICROTUNNELIER : 502 m

VOLUMES DES TERRASSEMENTS : 40 000 m³

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRE D'OUVRAGE : Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart

MAÎTRE D'ŒUVRE : Artelia (mandataire) / Fugro Geoconsulting / Prolog Ingénierie

CONTRÔLEUR TECHNIQUE : Qualiconsult

CSPS : Degouy

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Vinci Construction (Chantiers Modernes Construction - Mandataire) - Denys - Jousse

ABSTRACT

RIS-ORANGIS - CREATION OF FLOOD PROTECTION STRUCTURES AND AN ANTI-FLOOD STATION ON THE EDGE OF THE SEINE

AMINE KORICHE, ARTELIA - MOHAMMED KOAIK, ARTELIA - ALEXANDRE REYNAUD, FUGRO GEOCONSULTING - SANDRA LAMPONI, GRAND PARIS SUD SEINE ESSONNE SÉNART - WILFRIED SPANGENBERG, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

The project involves the construction of two retention basins, including the main basin of capacity 13,000 m³. The basin's construction required the execution of diaphragm walls 28 m deep while ensuring a verticality tolerance of 0.5%. Its foundation raft rests on 300 micropiles of improved type III grouted at the base and head. The effluent delivery ducting was executed by a microtunnel boring machine lowered into the work shaft in several parts due to the small available space. The work and exit shafts were constructed of secant piles by a double-table drill ensuring a perfect overlap between piles. □

RIS-ORANGIS: OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES Y DE UNA ESTACIÓN ANTI-CRECIADA A ORILLAS DEL SENA

AMINE KORICHE, ARTELIA - MOHAMMED KOAIK, ARTELIA - ALEXANDRE REYNAUD, FUGRO GEOCONSULTING - SANDRA LAMPONI, GRAND PARIS SUD SEINE ESSONNE SÉNART - WILFRIED SPANGENBERG, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

El proyecto consiste en construir dos embalses de retención, con una capacidad de 13.000 m³ para el mayor de ellos. Su construcción ha precisado la realización de pantallas de hormigón de 28 m de profundidad, con una tolerancia de verticalidad del 0,5%. Su losa de cimentación reposa sobre 300 micropilotes de tipo III mejorados e inyectados por la base y la parte superior. La canalización de llegada de efluentes se ha realizado con una microtunneladora, introducida en el pozo de trabajo en varias partes debido al escaso espacio disponible. Los pozos de trabajo y de salida se han construido con pilotes secantes mediante una perforadora de doble plataforma que ha permitido un recubrimiento perfecto entre pilotes. □

PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ
PRÉVOYANCE
ASSURANCES
RETRAITE
ACTION SOCIALE
VACANCES



PRO BTP
GROUPE



Projet Eole, Ile-de-France, France
Réalisation des fondations du lot GC-PU1 :
5 puits en parois moulées - Puits Carnot.

Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles.

Elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.

Soletanche
Bachy

Construire sur du solide

www.soletanche-bachy.com



SOLETANCHE BACHY