

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SPECIAL LIGNE A GRANDE VITESSE HS2. COLNE VALLEY VIADUCT. HS2 CHILTERN TUNNEL. BIRMINGHAM AU CŒUR DES TRAVAUX GEOTECHNIQUES. WASHWOOD HEATH. THE ARCHITECT'S ROLE. MARSTON BOX. VIADUCS FERROVIAIRES EN VOUSOIRS PREFABRIQUES CONSTRUITS A L'AVANCEMENT. OUVRAGES INTEGRAUX ET SEMI-INTEGRAUX EN FRANCHISSEMENT DE LA LGV HS2. TRANCHEES COUVERTES DU LOT C23 DE HIGH SPEED TWO

N°989 SEPTEMBRE 2023



COLNE VALLEY
VIADUCT -
VUE D'ARCHITECTE
© ALIGN





Envie d'œuvrer avec nous pour
construire un monde durable ?
Rejoignez Ingérop !

Nous attendons votre CV, lettre de
motivation et région de prédilection.

NousRecrutons@ingerop.com

Depuis plus de 10 ans,
les collaborateurs d'Ingérop
participent à l'aménagement
du quartier Île Seguin - Rives de Seine.

Bâtiment • Eau • Énergie • Industrie • Infrastructure & Mobilité • Transport • Ville

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

Jean-Bernard Detry (Setec),
Denis Etienne (Bouygues),
Philippe Gotteland (Fntp),
Ziad Hajar (Systra),
Florent Imbert (Razel-Bec),
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis),
François Louvel (Spie Batignolles),
Véronique Mauvisseau (Ingerop),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Laetitia Pavel (Arcadis),
Claude Servant (Eiffage),
Nastaran Vivan (Artelia),
Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction

Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
TBS GROUP

Service Abonnement Revue Travaux
20 rue Rouget de Lisle
92130 Issy les Moulineaux
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
ISSN 0041-1906



DU RÊVE A LA RÉALITÉ



© DR

Faulkner disait qu'il faut avoir des rêves assez grands pour ne pas les perdre de vue pendant qu'on les poursuit. Les grands projets d'infrastructure naissent de tels rêves. Le projet HS2 est emblématique par son ampleur et par ses ambitions : réaliser une ligne à grande vitesse capable d'accueillir, de Londres au Nord de l'Angleterre, 300 000 passagers par jour, de faire circuler à partir de 2035 des trains grâce à une énergie entièrement décarbonée, de créer 2 000 postes d'apprentis... L'investissement dépassera les 100 milliards de livres. Il n'y a pas d'équivalent en Europe !

De tels grands projets sont des moteurs de croissance à court terme du seul fait de leur exécution, et à moyen et long terme du seul fait de leur usage. Plus généralement, les infrastructures sont une condition non pas suffisante, mais au moins nécessaire, du développement. Mais encore faut-il qu'ils soient bien préparés et que leur pertinence soit assurée. En particulier, il faut que la dette publique sous-crite pour leur réalisation soit soutenable : toutes les externalités nettes doivent être évaluées, qu'elles soient directes ou indirectes, positives ou négatives.

Nous ne pouvons être fiers de nos ouvrages publics que s'ils servent l'intérêt général. Et cela n'est vrai que s'ils sont non seulement bien construits, mais aussi bien entretenus : la maintenance coûte moins que le remplacement.

Après une dizaine d'années comme Président de la Fédération Nationale des Travaux Publics (Fntp), je mesure le chemin parcouru, dans l'esprit des acteurs de nos métiers comme dans celui des décideurs politiques, vers la préservation de notre environnement et de la biodiversité à travers le recours aux infrastructures, reconnues comme des outils stratégiques de la transition écologique, de véritables "acteurs pour la planète". Je suis heureux et fier que les entreprises françaises de travaux publics donnent l'exemple. Ce n'est certes pas un hasard si plusieurs d'entre elles, et non des moindres, se sont vu attribuer la majorité des lots de génie civil du projet HS2, qui impose son "Net Zero Carbon Plan".

De tels projets stimulent la performance et l'innovation. Fin 2022, Freyssinet a réussi sur HS2 l'autoripage, sur un lit de bentonite, d'un pont de 164 mètres pesant 12 600 tonnes... Un record mondial. Aux hommes et aux femmes responsables de ce tour de force, nous pouvons dire :

« **Franchement, respect.** »

Nos entreprises de travaux publics, grandes et moins grandes, sont parmi les plus performantes à l'international, et tout spécialement en Europe. Elles entraînent dans leur sillage nombre de sous-traitants qui, pour certains, deviennent des acteurs internationaux à part entière. Ce mouvement doit s'amplifier pour que le savoir-faire se perpétue, pour que la qualité française soit toujours plus largement reconnue, et pour que l'exemple de la réussite de leurs aînés inspire à nos jeunes l'envie de se tourner vers l'international. La Fntp a produit en 2022 la série documentaire Wonderworld, quatre films illustrant quatre projets exceptionnels (L'arche du réacteur n°4 de Tchernobyl, Les plus grands châteaux d'eau d'Afrique, Les routes d'Islande, Le pas de tir d'Ariane 6 en Guyane), pour inviter la génération montante à découvrir des métiers passionnants et porteurs d'avenir : les nôtres !

BRUNO CAVAGNE

PRÉSIDENT DE LA FÉDÉRATION NATIONALE
DES TRAVAUX PUBLICS

SPÉCIAL LIGNE À GRANDE VITESSE HS2

HS2 - MARSTON BOX - OUVRAGE BIAIS RIPPÉ © BEV

04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
DAVID EMMS**
HS2/ALIGN -
CONJUGUER INNOVATIONS TECHNIQUES
ET IMPLICATION ENVIRONNEMENTALE

**24 GROUPE SENDIN -
UN MÉTIER INVISIBLE MAIS FONDAMENTAL**

32

**COLNE VALLEY
VIADUCT**

40

HS2 CHILTERN TUNNEL
Réalisation des 43 rameaux
de connexion

48

**BIRMINGHAM
AU CŒUR DES TRAVAUX
GÉOTECHNIQUES**

56

WASHWOOD HEATH
Centre d'opérations de HS2
à Birmingham

62

THE ARCHITECT'S ROLE
in designing and delivering
90 km of Britain's new
high-speed railway (HS2)

70

HS2 - MARSTON BOX
Ouvrage biais rippé

76

**LES VIADUCS FERROVIAIRES
EN VOUSOIRS PRÉFA-
BRIQUÉS CONSTRUITS
À L'AVANCEMENT**
pour la ligne à grande vitesse HS2

83

**OUVRAGES INTÉGRAUX
ET SEMI-INTÉGRAUX**
en franchissement de la LGV HS2

90

**TRANCHÉES COUVERTES
DU LOT C23**
de High Speed Two (HS2)



WASHWOOD HEATH

CŒUR OPÉ-
RATIONNEL DE HS2
GRAND CHANTIER
DE FONDATIONS

SB³, joint venture entre Bachy Soletanche et Balfour Beatty Ground Engineering, est en charge des travaux géotechniques de BBV (joint venture Balfour Beatty/Vinci) comprenant principalement des parois moulées, des pieux et des inclusions rigides. À Washwood Heath près de Birmingham SB³ a réalisé ceux du centre opérationnel de HS2. C'est l'un des plus vastes chantiers de fondations spéciales de SB³ sur le projet HS2. (Voir article page 56).



© HS2



© CLAIRE DEM (24)

ALAIN GRIZAUD PRENDRA EN SEPTEMBRE 2023 LA PRÉSIDENTE DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS APRÈS SON ÉLECTION FIN JUIN. IL SUCCÈDE À BRUNO CAVAGNÉ QUI AURA PRÉSIDÉ LA FNTTP PENDANT 10 ANNÉES.

Bruno Cavagné passe le flambeau à Alain Grizaud après dix ans d'une présidence marquée par des mutations profondes et des événements exceptionnels : attentats de Paris de novembre 2015, crise des gilets jaunes, pandémie du Covid, guerre en Ukraine, aspiration de plus en plus en prégnance à la protection de la planète. Il laisse derrière lui une Fédération plus que jamais tournée vers l'extérieur, d'une grande efficacité dans la défense des intérêts et du business de toutes les entreprises de Travaux Publics, proche des territoires et des décideurs publics locaux qui sont les premiers clients du secteur. Il laisse aussi une Fédération qui prend à bras le corps les grands défis de notre temps, comme la transition écologique et les conséquences des changements du climat, thèmes sur lesquels la Fédération a pris un tournant essentiel et des engagements inédits pour un secteur tout entier. Concilier intérêts des entrepreneurs et intérêt général du pays aura guidé ses 10 années.

Alain Grizaud entend inscrire son action dans la continuité de son prédécesseur en la plaçant sous le double signe de l'accélération de la transition écologique et du renforcement de l'attractivité des métiers des Travaux Publics. L'accélération de la transition écologique est entreprise sous un triple enjeu. En premier, il faut convertir les chantiers à la transition écologique. Cela impliquera l'accompagnement des collaborateurs des entreprises mais aussi tous les jeunes qui vont rejoindre le secteur par, notamment, la création d'une école digitale de la transformation écologique des TP. Ensuite on continuera à batailler pour que les Travaux Publics soient reconnus comme des acteurs essentiels de cette transition, par le Gouvernement, par les maîtres d'ouvrage, mais aussi par le grand public. Enfin, troisième enjeu : le financement. Obtenir la programmation des investissements dans la durée et les financements dédiés qui vont avec sera un combat essentiel d'Alain Grizaud.

Alain Grizaud
(à gauche)
et Bruno Cavagné
(à droite)
lors de l'Assemblée
Générale de la FNTTP
le 29 juin 2023.

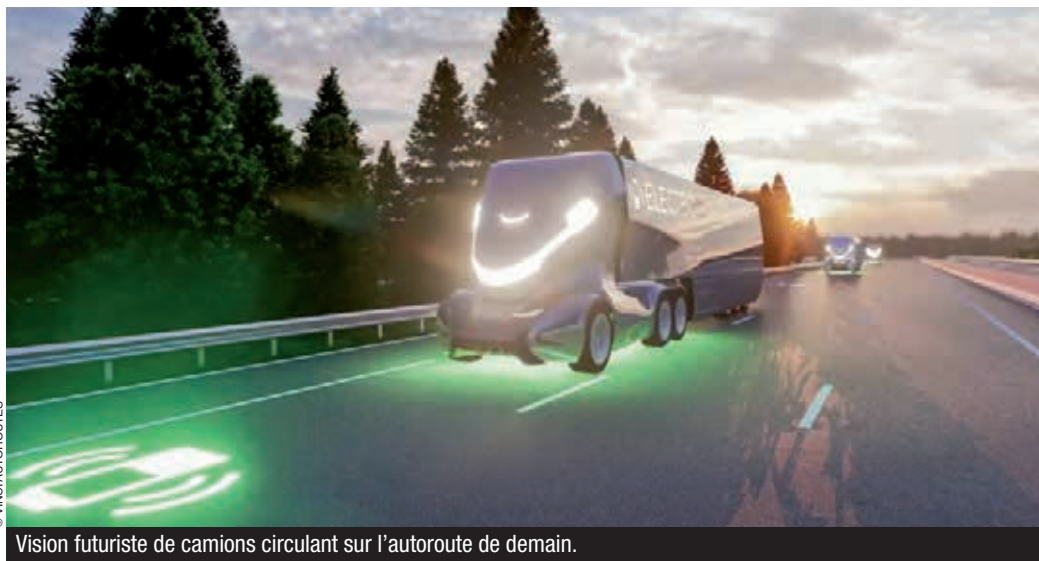
Renforcer l'attractivité des métiers sera l'autre grand axe du nouveau président. À un moment où la pyramide des âges vieillit, où le chômage est bas, où la concurrence entre les secteurs s'intensifie et où les aspirations de la jeune génération changent, l'attractivité du secteur dépendra de la qualité des propositions faites aux salariés, sur lesquelles il conviendra de se réinterroger : conditions de travail, sécurité, prévention, égalité femmes-hommes, rémunérations. Sans tabous et sans a priori. Autre conviction d'Alain Grizaud : pour rester forte, la FNTTP doit sans cesse se réinventer. Cela passera par la poursuite de la modernisation des services rendus aux adhérents avec l'objectif d'être encore plus efficace et plus proche de leurs besoins et de leur proposer de nouveaux services

mieux ciblés, plus individualisés. Homme d'échanges et de rencontres, Alain Grizaud souhaite faire de son mandat un mandat de décentralisation et de proximité, dans le droit fil de son expérience professionnelle et syndicale. Il dirige depuis 1985 l'entreprise Cousin-Pradere, une PME familiale spécialisée dans la pose de canalisations, basée à Castelsarrasin dans le Tarn-et-Garonne. Il est impliqué dans la vie syndicale depuis plus de vingt années. Très attentif à la compétitivité des entreprises, il s'est engagé pour convaincre les pouvoirs publics de la nécessité de renouer avec une démarche d'investissement au travers de ses différents mandats. Membre actif de la Fédération Régionale des Travaux Publics d'Occitanie, il a présidé le syndicat national des Canaliseurs entre 2012 et 2022. ■

CORINE LE SCIELOUR
DIRECTRICE GÉNÉRALE DÉLÉGUÉE
DE LA FNTTP

QUAND LA ROUTE DEVIENT SOURCE D'ÉLECTRICITÉ, EXPÉRIMENTATIONS EN COURS

Un consortium d'acteurs, dont Vinci Autoroutes, participe à l'expérimentation sur l'A10, de deux technologies qui pourraient permettre à des véhicules électriques, notamment des poids lourds, de se recharger en roulant. Ces solutions pourraient ainsi contribuer à décarboner le fret routier et d'éviter les arrêts contraints pour recharger les batteries. Les essais vont s'étaler sur 3 ans.



© VINCI AUTOROUTES
Vision futuriste de camions circulant sur l'autoroute de demain.

Comment imaginer une autoroute décarbonée ? Pour répondre à cette question, Vinci Autoroutes, associé à différents acteurs, va expérimenter deux technologies sur l'autoroute A10 pour que des poids lourds puissent recharger leurs batteries en roulant.

« Nous avons gagné un appel d'offre organisé par la Banque publique d'investissement (BPI) et nous allons tester sur 2 km chacune deux technologies de recharge, par induction et par rail conducteur respectivement, » détaille Pierre Coppey, Président de Vinci Autoroutes.

La recharge par induction permet de charger un véhicule électrique "sans contact", sans avoir à le brancher. Ainsi, des bobines magnétiques glissées sous le bitume fourniront de l'électricité aux camions en roulant. La route joue ainsi le rôle de plaque à induction.

Le second système prévoit un rail inséré au ras du bitume permettant aux véhicules équipés de se brancher au sol. Le poids lourd devra ainsi être équipé d'un patin placé à l'extrémité d'un bras mobile fixé au bas du châssis, qui se fixe automatiquement sur le rail conducteur.

→ Rouler sans s'arrêter pour recharger

Cette expérimentation en cours de ces routes "électriques" doit répondre à la nécessité de décarbonation du fret, permettant aux véhicules électriques de rouler sans s'arrêter pour recharger, et avec des batteries moins lourdes et gourmandes en matériaux rares. Car aujourd'hui le diesel reste l'énergie utilisée massivement par les poids lourds, selon un rapport élaboré par le ministère des Transports, en 2021. Le site pilote où les deux technologies seront testées se situe dans le sens Paris - province de l'auto-

route A10, en amont de la barrière de péage de Saint-Arnoult-en-Yvelines. Pour un budget total de 26 M€, sur trois ans, ce projet a démarré au mois de septembre 2023. D'autres essais seront réalisés en circuit fermé par le Cerema. L'établissement public fait partie des partenaires engagés dans cette expérimentation ainsi que Hutchinson, filiale de TotalEnergies, qui va fabriquer les bobines, et l'université Gustave Eiffel qui contrôlera l'efficacité des différentes solutions. Le consortium bénéficiera d'un financement de l'État dans le cadre du plan France 2030. L'ambition de ces expérimentations est qu'à terme ces routes "électriques" puissent devenir la norme sur l'ensemble des principaux axes routiers français.

→ Une troisième solution testée en Allemagne

Mais pour arriver à cet objectif, des difficultés restent à lever. En effet, selon le rapport, déjà cité, du ministère des Transports « la solution à induction est nettement moins mature que les autres, n'a pas encore démontré ses performances en condition opérationnelle. Elle a des coûts potentiels sensiblement plus élevés, tant par sa conception que par les incertitudes technologiques restant à lever. » Même si la solution du rail est plus avancée, « elle est mal adaptée aux autoroutes à fort trafic et vitesses élevées, et soulève de nombreuses interrogations, notamment sur la pérennité du drainage du rail. » Une troisième solution, « plus avancée techniquement, » est en cours de test en Allemagne. Elle utilise un système de caténaire comme pour les tramways et alimente uniquement les camions. Depuis 4 ans, 10 kilomètres d'autoroutes allemandes sont ainsi équipés. ■

LA SNCF FIXE LES AXES DE SON PLAN SOLAIRE

En consommant 9 térawattheures par an, 8 pour la traction des trains et le reste pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage des bureaux, ateliers et autres gares, la SNCF est le client le plus important d'EDF.

Par ailleurs, elle dispose de foncier constitué par les délaissés ferroviaires qui représentent une ressource fondamentale pour une implantation de panneaux photovoltaïques.

Partant de ce constat, l'opérateur national a recensé quel serait le potentiel de solarisation parmi plus de 100 000 hectares de foncier. 10 000 hectares sont potentiellement éligibles à des conditions d'exposition solaire optimum, mais le déploiement des panneaux va se faire par étape.

→ Création de SNCF Renouvelables

D'ici 2030 à 2032, 1 000 hectares seront ainsi équipés ce qui représente 15 % de

la consommation d'électricité de la SNCF. Pour chaque site retenu, la puissance potentiellement exploitable et la valeur économique du projet pour la SNCF ont été calculées.

Pour mettre en place ce programme ambitieux, une filiale, SNCF Renouvelables, a été créée.

Les premières opérations démarreront cette année sur un premier lot d'une trentaine de sites de tailles diverses, cen-

trales au sol, toitures de bâtiments et ombrières de parkings, répartis dans plusieurs régions françaises. Cette production d'énergie pourrait permettre d'alimenter une partie des trains mais aussi des équipements électriques, des gares et des bâtiments industriels, ou encore les bornes de recharge des voitures électriques sur les parkings des gares. L'objectif est d'être autonome en électricité à l'échéance 2050. ■

PALMARÈS DES GÉNIES DE LA CONSTRUCTION 2023

3000 élèves de collèges et lycées et d'étudiants d'établissements supérieurs de 29 académies ont tenté d'être lauréat au concours des Génies de la construction pour l'édition 2023. En finale, 31 équipes ont présenté devant un jury de professionnels du secteur de la construction et de l'Éducation nationale leurs projets. Ceux-ci portaient sur les thématiques du logement, de la mobilité au sein des territoires et des déplacements, des activités humaines (culture, industrie, éducation, santé, commerce, agriculture, loisirs), de la préservation de l'environnement, y compris de la gestion de l'eau et des déchets, ou encore des énergies locales et renouvelables.

→ Des projets réalisables concrètement

14 équipes ont été retenues, le jury ayant particulièrement apprécié leurs projets pour « leur créativité, leur faisabilité et l'interdisciplinarité, ainsi que leur capacité à être réalisables concrètement ». Ainsi, un projet pour développer l'aquaponie (culture de plantes et élevage de poissons dans le même système) dans un collège de Saint-Pierre de La Réunion, la réalisation par les collégiens de la Chartre-sur-le-Loir (72) d'une maquette à l'échelle 1/200^e d'un futur écoquartier ou encore la conception de la reconstruction très contrainte d'un pont intégrant une double voie cycliste à Dombasles-sur-Meurthe (54) par les étudiants de Cy Tech (Cergy Paris université) font partie des équipes lauréates.



Les équipes finalistes et des membres du jury pour la 19^e édition des Génies de la construction.

© VINCENT BOURDON / COCA-BTP

UN ENTREPRENEUR COLLECTE LES DÉCHETS SUR L'HIMALAYA



Collecte sur le mont Makalu, sur la chaîne de l'Himalaya, culminant à 8 485 m d'altitude.

© JEAN-LUC FOHAL

« La plus haute décharge de la planète. » C'est ainsi que Luc Boisnard baptise le toit du monde que représente l'Everest, au Népal. Cet entrepreneur qui dirige la société de cordistes Ouest Acro, spécialisée dans les travaux de grande hauteur, a organisé des opérations de collecte de déchets dans ces montagnes de la chaîne himalayenne. Selon les estimations, 100 tonnes de déchets sont abandonnées sur les sommets par les 40 000 randonneurs qui font des expéditions chaque année. « On trouve beaucoup de plastique, de tentes, de vieilles cordes, de nombreux contenants métalliques (canettes, thermos...), des emballages mais aussi beaucoup de bouteilles de gaz pour chauffer les repas mais aussi pour augmenter la tempéra-

ture dans les tentes, » détaille Luc Boisnard qui est aussi alpiniste.

→ 4,5 tonnes de déchets retirés des montagnes

Les autorités népalaises n'interviennent pas pour obliger les alpinistes du monde entier à emporter leurs déchets après une expédition. Après une première opération de collecte d'une tonne de déchets en 2010, le chef d'entreprise décide de mener deux autres actions de ce type, en 2023. La première collecte se fait sur le mont Makalu culminant à 8 485 mètres d'altitude et le seconde sur l'Annapurna (8 091 mètres). « Le cumul de ces collectes représente 4,5 tonnes de déchets retirés de ces montagnes qui sont ensuite triés et redescendus dans les basses vallées. Nous avons ainsi mobilisé

80 sherpas, qui portaient 25 à 30 kg chacun, » souligne-t-il. Même si le tri des déchets n'existe pas au Népal, les déchets métalliques font l'objet d'une valorisation par les habitants, dans les villages en bas de la vallée. Ces expéditions ont duré 2 mois, parfois dans des conditions difficiles, les températures pouvant chuter jusqu'à -30°C. Leur coût est estimé à 150 000 €, soit 40 000 € la tonne de déchet.

L'entreprise de BTP Bleu Blanc, le groupe Lucas ainsi que le département de la Mayenne ont participé au financement de ces opérations. Luc Boisnard ne compte pas s'arrêter là, et prépare une nouvelle mission au service de l'environnement. Ce sera le K2, à la frontière sino-pakistanaise, en 2025. ■

LES FÉDÉRATIONS DU BTP IDENTIFIENT 2 LEVIERS POUR DÉCARBONER DES VÉHICULES DE CHANTIER

Comment décarboner les engins utilisés par les entreprises de la construction de chantiers dont 90 % fonctionnent encore au gasoil ? Pour répondre à cette interrogation, cinq fédérations du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics, Evolis, DLR, FFB, FNTP et Seimat, ont décidé d'agir ensemble. Même si une multitude de typologies d'engins et de matériels existent avec des nombreux usages, le principe de base est que l'énergie doit impérativement leur être apportée sur les chantiers. Les organisations professionnelles

avaient participé au groupe de travail "GT5 engins de Travaux Publics", qui a eu lieu sous l'égide du ministère de la Transition écologique, lors de l'élaboration de la loi Climat et résilience, du 24 août 2021. Le rapport qui a été rédigé dans ce cadre, mettait en avant que « pour atteindre la neutralité carbone, il n'y a donc ni solution, ni technologie miracle » et a identifié deux leviers. Premièrement, pour lever le frein dû au coût important d'acquisition de véhicules à énergie non fossile, principalement électriques, une subvention directe à

hauteur de 40 % de l'investissement ou un suramortissement accessible à tous les acteurs, est ainsi préconisé au titre du Projet de loi de finances 2024. Autre solution, favoriser les Carburants Liquides Bas Carbone (HVO/XTL3) en les intégrant dans des proportions croissantes dans le gazole utilisé, en adaptant le corpus réglementaire pour tenir compte des spécificités des chantiers de construction (arrêté du 19 janvier 2016). D'autres champs technologiques peuvent être ouverts, notamment l'hydrogène, mais dans un horizon encore lointain. ■

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

Acteur de référence du BTP, nous sommes aux côtés des entreprises, artisans, salariés et retraités de ce secteur pour les protéger, les assurer et les soutenir en cas de besoin. Nous nous engageons chaque jour à proposer des services qui vous aident à avancer avec sérénité.



PRO BTP
GROUPE

ASSURÉ POUR DEMAIN

www.probtp.com

UN SITE DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE VERT EN 2027, SUR LE TERRITOIRE D'ÉPINAL

La Communauté d'Agglomération d'Épinal a retenu l'entreprise nantaise Lhyfe qui développe la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à travers des unités de production alimentées par des sources d'énergie renouvelable. Cette attribution s'est faite dans le cadre d'une consultation pilotée par l'association de développement territorial Vosj'innove pour la mise en place d'une filière hydrogène vert, à partir de fin 2027. Lhyfe ambitionne de construire un site de production d'hydrogène vert à la fois pour les acteurs de la mobilité (camions, bennes à ordures ménagères, bus...) et pour l'industrie (verrière, aciérie, métallurgie, chimie, pharmacie, agroalimentaire...). Ce projet ambitieux qui table sur une puissance de plusieurs dizaines de MW a aussi une dimension transfrontalière, avec l'Allemagne, la Belgique et les Pays-Bas.

LA VILLE DE PARIS ÉDICTE UN CODE DE LA RUE

Pour redonner toute la place aux piétons dans l'espace urbain parisien, la ville de Paris communique sur cet enjeu par l'intermédiaire de la création d'un code de la rue. Il ne s'agit pas de nouvelles règles mais une sensibilisation de tous les publics sur la nécessité de faire du trottoir un sanctuaire pour protéger les personnes qui se déplacent à pied. Le document rappelle les règles essentielles, présentes les aménagements de voirie en cours, souligne la montée en puissance de la police municipale... Le code a été voté en juillet 2023 et les premières actions, notamment dans les écoles, sont mises en place depuis la rentrée.

VNF ENGAGE DES TRAVAUX DE CONFORTEMENT DE LA DIGUE DE CROISSY-SUR-SEINE



Les travaux de confortement de la digue de Croissy-sur-Seine sont nécessités par des effondrements pendant la crue de 2016 et par des anses d'érosion.

Pour garantir la stabilité de la digue de Croissy-sur-Seine (78) Voies navigables de France (VNF) a engagé des travaux de confortement. D'un montant total de 13,6 M€, ce chantier qui prendra fin en 2024, est cofinancé par VNF, l'Union européenne (3,9 M€) et la Région Île-de-France (1,1 M€). Il s'inscrit dans le programme de régénération et de modernisation des ouvrages de navigation du bassin de la Seine.

La digue de Croissy-sur-Seine joue un rôle de barrage et contribue à la régulation des niveaux d'eau. En effet, une différence de niveau d'eau de 3,2 mètres de hauteur est maintenue entre deux bras de la Seine, le bras de Rivière neuve et celui de Marly.

Construit sous le règne de Louis XIV, cet ouvrage contribuait à l'alimentation

hydraulique du château de Marly et des jardins de Versailles.

→ Pallier le risque de brèches hydrauliques

La crue de 2016 avait produit d'importants effondrements qui avaient dû faire l'objet de comblements d'urgence par enrochements. Puis des anses d'érosions se sont créées, au point que le flanc de digue est devenu abrupt par endroits, au lieu de la pente douce historique. Les travaux décidés par VNF ont pour but de pallier le risque de voir se créer des brèches hydrauliques, notamment lors des phases de crues et décrues de la Seine, pouvant engendrer une baisse du niveau d'eau allant jusqu'à 3 mètres sur 30 kilomètres en amont.

Les berges sont confortées par enrochements, après une première phase d'abat-

tage des arbres réalisée en mars 2023, lorsque la conservation de la végétation n'a pas été possible. Des replantations auront lieu dès l'hiver 2023.

Le projet inclut également un volet de préservation de la biodiversité sur l'ensemble du périmètre de la digue de Croissy. VNF met en avant « la concertation menée avec le public qui s'est poursuivie jusqu'à 2023 et a contribué à améliorer significativement le projet en conciliant au maximum l'impératif de confortement de l'ouvrage avec l'enjeu de préservation de la végétation existante. » VNF, en tant que maître d'ouvrage, a désigné le bureau d'études Safège comme maître d'œuvre. Le groupement Vinci Construction Maritime et Fluvial/GTM Normandie Centre/CDES est titulaire du marché de travaux. ■

TRANSDEV INITIE UN GROUPE DE RÉFLEXION SUR LES ENJEUX DE MOBILITÉ EN EUROPE

L'opérateur de transport public Transdev annonce le lancement d'un "think tank" sur les enjeux de la mobilité pour le futur des villes européennes.

Dénommé The Mobility Sphere, ce groupe de réflexion comprend des acteurs dans les domaines universitaire, public et privé.

François Gemenne, membre du Giec, conseiller scientifique de cette structure, insiste sur le fait que « la question du transport, principale source d'émissions,

est cruciale face à la décarbonation de l'économie. Il faut concilier cette nécessité de décarboner avec les besoins de mobilité qui vont augmenter pour répondre aux enjeux sociaux. » Une plateforme en ligne recensera 50 thématiques qui doivent contribuer à transformer la mobilité dans les espaces urbains européens d'ici 2050.

Des événements seront organisés chaque année dans les grandes villes d'Europe réunissant les experts de ces

questions de transition pour les villes moins émettrices d'émissions de gaz à effet de serre.

La première édition de ce Forum Mobility Sphere, se tiendra le 4 octobre 2023 à Amsterdam, sur le thème "Mobilité décarbonée, mobilité pour tous : quel avenir voulons-nous pour nos déplacements ?". Le forum réunira plus de 150 experts de plusieurs pays du continent dont la France, l'Espagne, le Portugal, le Royaume-Uni et la Suède. ■

ACTUALITÉ DU GRAND PARIS EXPRESS, DE NOUVEAUX CONTRATS D'ENVERGURE ATTRIBUÉS



Perspective de la future gare de Nanterre-La-Boule, sur le tronçon Ouest de la Ligne 15.

Le chantier du Grand Paris Express continue sa progression et franchit différentes étapes. Tout d'abord, les essais statiques et dynamiques de la première voiture du nouveau métro auront lieu cet automne. Celle-ci est arrivée en juin dernier au centre d'exploitation et de maintenance de Champigny-sur-Marne (94), sur la Ligne 15 Sud, en provenance du centre d'essais d'Alstom, de Valenciennes. Autre actualité, Vinci Construction Grands Projets a remporté l'un des plus gros lots du Grand Paris Express. Il concerne le premier marché de conception-réalisation de la Ligne 15 pour le tronçon Ouest qui reliera la gare de Pont de Sèvres à La Défense (92). Vinci, mandataire du groupement Intencités15, a confié l'ingénierie de projet à un sous-groupement de maîtrise d'œuvre intégrée composé d'Ingérop, d'Artelia et de cinq cabinets d'architecture.

Cet important contrat porte sur la construction tous corps d'état de 14 km de tunnels, de cinq gares (Saint-Cloud, Rueil - Suresnes - Mont-Valérien, Nanterre-La-Boule, Nanterre-La-Folie et La-Défense), d'une arrière-gare à Nanterre-La-Folie et de 16 ouvrages de service. La mise en service de ce tronçon construit en zone urbaine très dense est prévue pour fin 2031. Le montant global de ce marché est de 2,71 Mds€, dont 20 % seront confiés à des PME locales. Selon les prévisions, 2 000 salariés travailleront sur ce chantier au pic de l'activité. Et Vinci s'engage à utiliser du béton bas carbone pour la construction de toutes ces infrastructures, afin de limiter son empreinte carbone.

→ Connexion wifi pour tous les passagers de Grand Paris Express

Autre marché important, celui de la concession des réseaux de communi-

cation Wifi et d'internet des objets, qui a été attribué à l'opérateur de réseaux privés Hub one, filiale à 100 % du groupe Aéroport de Paris (ADP). La phase de déploiement de cette couverture numérique s'étalera sur sept ans (2023-2030) et concernera les gares issues du prolongement de la Ligne 14, les gares des nouvelles Lignes 15, 16, 17 et 18, ainsi que les rames circulant sur ces lignes. « Au total, il représentera 65 gares et plus de 170 rames, avec pour objectif de proposer un service à près de 3 millions de voyageurs par jour, » souligne Guillaume de Lavallade, Directeur Général de Hub One. Une société de projet dédiée va

être créée avec la Banque des Territoires, en tant qu'actionnaire minoritaire, afin de porter cette concession sur une durée de 14 ans. En plus de la connexion wifi pour tous les passagers, des offres de wifi professionnel seront proposées, un service de connexion pour les passagers en provenance de l'étranger mais aussi la commercialisation d'espaces publicitaires sur le portail de connexion. Hub One aura aussi la charge du réseau d'internet des objets, soit la mise en place de différents capteurs de sécurité, de propreté, de température, de qualité de l'air, et autre compteurs et outils de maintenance. Ce marché représente plus de 10 M€. ■



La première voiture du nouveau métro a rejoint le centre d'exploitation et de maintenance de Champigny-sur-Marne.

UNITe MET EN SERVICE UNE NOUVELLE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

Spécialisée dans la construction et l'exploitation de centrales hydroélectriques, éoliennes et photovoltaïques, l'entreprise UNITe a mis en service une nouvelle centrale hydroélectrique située dans la vallée de l'Ubaye (04).

Ce projet s'inscrit dans l'histoire de cette vallée. Car une première centrale permettant d'électrifier un village de ce territoire avait vu le jour en 1903 et fut abandonnée en 2008. Après 8 années de développement et d'autorisations administratives et 2 années de travaux, cette nouvelle installation a été mise en service en juillet 2023. Elle est destinée à produire 11 GWh/an, soit la consommation annuelle de 3 000 foyers.

Le chantier a été rendu complexe par la présence de l'Isabelle de France, un papillon d'Europe de grande taille (jusqu'à 10 cm). Lors du déboisement pour la construction de l'infrastructure hydroélectrique, chaque arbre a été équipé d'un drap au sol pour détecter la présence de chenilles. En 2025, un bureau d'étude environnement sera chargé d'étudier l'impact de la centrale sur ce papillon. Autre difficulté pour le chantier, la cohabitation avec la route départementale qui a dû être neutralisée à minima pour impacter le moins possible la population et l'activité touristique.



Située dans la vallée de l'Ubaye, la nouvelle centrale hydroélectrique est destinée à produire de l'électricité pour 3 000 foyers.

VINCI REMPORTE UN CONTRAT POUR UNE NOUVELLE INTERCONNEXION ÉLECTRIQUE ENTRE LA FRANCE ET L'ESPAGNE

Le groupement composé de Vinci Énergies, Vinci Construction et Hitachi Energy (mandataire) s'est vu attribuer un contrat de conception et construction de deux stations terrestres de conversion d'énergie électrique. Le maître d'ouvrage est la société Inelfe, entreprise détenue à parts égales par le gestionnaire du réseau de transport espagnol Red Eléctrica et son homologue français RTE. D'une capacité cumulée de 2 GW, pour un montant d'environ 300 M€ pour les entreprises de Vinci, ces stations situées en France et en Espagne, transformeront le courant alternatif des réseaux électriques en courant continu. Elles seront reliées par un câble de 400 km, dont 300 km sous-marins dans le golfe de Gascogne. La livraison de ces stations est attendue en 2028.

LIEBHERR VA CRÉER UNE NOUVELLE USINE POUR SES MATÉRIELS DE TP EN ALSACE

Le groupe allemand Liebherr a annoncé une nouvelle implantation, en 2025, à Nambshheim (68) sur la zone d'activités EcoRhena, de 47 hectares, à proximité de son fief français de Colmar. Ce projet s'inscrit dans la reconversion industrielle du secteur après la fermeture de la centrale nucléaire voisine de Fessenheim en 2020. Cette usine représente pour Liebherr un investissement de 170 M€. Sur ce site, seront fabriquées des pièces et des cabines de machines de terrassement. La firme met en avant la création de plusieurs centaines d'emplois qualifiés et des retombées économiques importantes pour ce territoire.

LE PORT DE MARSEILLE RETIENT NGE POUR UN TRAITEMENT DURABLE DES EAUX DE CARÉNAGE

À fin d'inscrire la réparation navale dans une démarche plus durable, le grand port maritime de Marseille-Fos a choisi NGE, pour une remise aux normes environnementales des formes de radoub. En effet, ce projet porte sur la création de systèmes de traitement des eaux issues de l'entretien et de la réparation des navires dans les bassins qui les accueillent.

Le chantier, d'un montant global de 9,8 M€, sera livré dans 3 ans. Ce projet de modernisation s'inscrit dans une volonté de préservation de l'environnement et d'amélioration de la qualité des eaux rejetées dans le milieu marin. « Le Port a choisi NGE pour son dispositif de ségrégation innovant permettant de séparer les eaux claires des eaux de carénage pour ensuite les traiter, » explique Hervé Martel, président du directoire du port de Marseille Fos.

→ Pompage, traitement et rejet des effluents

Sur la base du cahier des charges élaboré par le port de Marseille Fos, assisté en maîtrise d'œuvre par le groupement Société des Eaux de Marseille/Artelia Ville, NGE a proposé un dispositif complet de reprise des formes de radoub. Cela comprend la réalisation des réseaux de collecte des eaux de refroidissement, des ouvrages de récupération des eaux de carénage et des ouvrages de stockage. Un système pompage des effluents à traiter vers les ouvrages de stockage sera



Chantier complexe qui doit aboutir à un traitement durable des eaux lors de l'entretien et de la réparation des navires dans des formes de radoub.

créé ainsi qu'un dispositif de traitement des eaux de carénage et un réseau de rejet ces effluents une fois traités. En effet, outre un système de séparation entre les eaux claires et les eaux usées, le projet prévoit le refoulement des eaux usées dans des bassins dédiés et leur traitement afin de pouvoir ensuite les rejeter dans le milieu marin. La direction régionale de NGE Génie civil est le mandataire de l'opération. Le groupement comprend les filiales de NGE, SOC et

EHTP, l'entreprise Nomado, pour les unités de traitement des effluents et Ciel, filiale du groupe Snef, pour la partie électricité. Dans le port de Marseille, la difficulté du chantier est de mener les travaux sans interrompre l'activité des sociétés qui utilisent les formes de radoub pour entretenir et rénover les bateaux. Pour ce projet, il y a donc de forts enjeux de coordination liés à la coactivité et de sécurité pour l'ensemble des intervenants. ■

XYLEM DÉPLOIE POUR MANS MÉTROPOLÉ, UNE TECHNOLOGIE POUR INSPECTER LES CANALISATIONS



Excavation des canalisations dans le cadre du chantier pour Le Mans Métropole.

Confrontés au vieillissement de leurs canalisations et à la nécessité de réaliser des plans de rénovation à grande échelle, prenant en compte à la fois les contraintes budgétaires et l'urgence de mieux préserver la ressource en eau, les collectivités locales ont recours à des solutions innovantes. C'est le cas de Le Mans Métropole dans le cadre d'un marché avec GT Canalisations pour procéder à l'état des lieux d'une conduite stratégique qui achemine l'eau brute depuis une ressource souterraine (nappe du Cénomaniens) jusqu'à la station d'eau potable de Sargé-lès-Le-Mans. Cette infrastructure assure la distribution de

1 050 m³ d'eau par jour pour environ 3700 habitants. Pour mener à bien cette mission, l'entreprise mandatée a choisi d'utiliser la technologie SmartBall® de la société Xylem spécialisée dans les technologies et services numériques de l'eau. Le capteur acoustique, sous forme de balle, est très sensible pour détecter les fuites et couvre de longues distances à l'intérieur des canalisations, qu'il cartographie. Cette inspection sur 6 kilomètres a permis de collecter des données et de fournir une analyse structurelle complète des canalisations. ■

UNE PLATEFORME POUR LE RÉEMPLOI DU MÉTAL



© GENERAL METAL EDITION

Entrepôt, lieu de la plateforme permettant le stockage et la valorisation des nombreux éléments métalliques provenant des chantiers de déconstruction.

L'entreprise de BTP spécialisée dans la construction métallique General Metal Edition vient de mettre en service sa plateforme "Sinfina" qui doit fournir des solutions de réemploi pour tous les acteurs de ce secteur.

Basé à Gonesse (95), ce vaste entrepôt doit permettre la récupération et la valorisation des nombreux éléments métalliques provenant des chantiers de déconstruction. Différentes catégories d'ouvrages, escaliers, mains courantes, garde-corps, mobilier, outillage, équipements divers, sont ainsi sélectionnés et expertisés par des professionnels de la métallerie. La qualité des matériaux ainsi que leur capacité à être réemployés, sont les critères principaux pour faire partie du catalogue de produits destinés aux professionnels. À chaque ouvrage est associée

une fiche produit précise et, pour les produits les plus complexes, il est prévu de fournir un plan exact de ceux-ci permettant d'être insérés dans un projet en cours de conception.

→ **Des produits entre 15 et 20% moins chers**

Si un ouvrage correspond au besoin d'un professionnel, il peut le réserver ou l'acheter directement en ligne sur le site. « Avec Sinfina, nous sommes très enthousiastes d'être les précurseurs dans le réemploi de l'acier au sein de l'écosystème de l'économie circulaire et dans le milieu plus traditionnel du BTP. Notre nouvelle plateforme est clairement la première offre complète et structurée permettant de maîtriser toutes les étapes du cycle de nouvelle vie du métal. Notre volonté est de faire passer le réemploi et

l'économie circulaire à une échelle industrielle tout en garantissant le respect des réglementations en vigueur (loi AGECE et RE 2020), » explique Michel Monti, associé chez General Metal Edition. Cette démarche d'économie circulaire permet de proposer des produits entre 15 et 20% moins chers, de lutter contre le gaspillage tout en diminuant les émissions de carbone issues de la production d'acier. L'ambition des deux entrepreneurs Julien Jussaume et Michel Monti est de développer cette plateforme pour en faire une véritable "usine" de réemploi de l'acier, d'ici 2025. « Il s'agit de produire des éléments métalliques en conditionnant et en nettoyant les matériaux d'occasion puis de les proposer sur le marché en structurant toute la chaîne de vente, » espèrent-ils. ■

UN NOUVEL ENROBÉ POUR TRAITER LES NIDS DE POULE



© WEBER

Nouvel enrobé à froid sans solvant et à base de liant végétal.

Pour les travaux de voirie ou d'aménagement d'espace public, l'entreprise Weber a développé un nouvel enrobé à froid pour la réparation des sols bitumineux. Il est destiné à traiter les nids de poule et autres crevasses qui se forment sur la chaussée.

Prêt à l'emploi, en toutes saisons, favorisant une remise en service immédiate, "weberep route" présente l'avantage d'être sans solvant et à base de liant végétal. Il intègre aussi dans sa compo-

sition 35% de granulats recyclés. Il se verse directement dans la zone à traiter puis il est solidifié par un compactage avec dame ou une plaque vibrante. Après sa pose, la circulation peut repartir immédiatement.

Autre qualité mise en avant par Weber : une durabilité optimale car l'enrobé une fois posé est insensible aux cycles de gel et de dégel et aux sels de déneigement. Il est conditionné dans un seau recyclé de 25 kg. ■

ITW SPAYTREC A DÉVELOPPÉ UNE NOUVELLE VERSION D'UN PRODUIT ANTICORROSION

Le revêtement de galvanisation à froid brillant est destiné aux métiers du bâtiment et des Travaux publics, au secteur de la métallerie et s'applique aux charpentes métalliques, huisseries, portails, escaliers, mais aussi aux tuyauteries et pylônes. La société ITW Spaytrec annonce la commercialisation d'une nouvelle version de sa technologie permettant la protection anticorrosion longue durée, la finition et la retouche des équipements. C'est ainsi que le produit Galva H2O Brillant fait peau neuve avec un nouveau design et une formulation optimisée à base de poudres métalliques très pures et de résines synthétiques en émulsion.

→ **Séchage rapide et aspect métallisé**

Cela apporte des progrès en termes de protection anticorrosion, de sécurité pour l'utilisateur et de protection de l'environnement car sans solvant pétrolier. Il bénéficie d'un grand pouvoir couvrant, d'un séchage rapide et offre un aspect métallisé, brillant et sans coulure. Cette solution est prête à l'emploi, conditionnée en aérosol de 500 ml ou de 650 ml et elle s'utilise en application directe par pulvérisation sur les surfaces à traiter. En phase test, le produit anticorrosion a résisté plus de 2000 heures à du brouillard salin et jusqu'à 350°C en pointe.



© ITW SPAYTREC

La nouvelle version du produit anticorrosion sans solvant pétrolier bénéficie d'un grand pouvoir couvrant et d'un séchage rapide.

DROMOTHERM CHERCHE À RÉCUPÉRER L'ÉNERGIE THERMIQUE DES ROUTES POUR CHAUFFER DES BÂTIMENTS

Chauffer un bâtiment en récupérant l'énergie solaire emmagasinée par le bitume d'une route voisine, tel est le pari du projet Dromotherm. Un démonstrateur a été inauguré en novembre sur le site de Savoie Technolac, près de Chambéry). Il regroupe le Cerema, le laboratoire Locie de l'Université Savoie Mont Blanc, l'Institut Pascal de l'Université Clermont Auvergne et les entreprises Eiffage et Elydan. Les routes constituant un gisement d'énergie solaire thermique très important, le projet Dromotherm cherche à récupérer la chaleur captée par les chaussées lors des périodes estivales, en la stockant dans le sol à la base des bâtiments, et en subvenant aux besoins de chauffage de ces derniers lors des périodes hivernales.

→ **Nouvelle génération de smart grid**

Cette innovation contribuera à réduire l'intensité des îlots de chaleurs urbains lors des canicules. Le défi à relever consiste à concevoir une nouvelle génération de smart grid route-bâtiment, utilisant en milieu urbain les principes de la géothermie de subsurface. Des capteurs ont donc été installés pour transmettre des informations en temps réel sur la production, la consommation et les besoins en énergie du bâtiment ou de la route. Mais il ne sera pas possible de récupérer l'intégralité de l'énergie, entre 15 et 20% selon les premiers résultats des recherches. Cela pourra néanmoins participer à une production locale d'énergie.

MATÉRIELS INNOVANTS À BASE DE PLASTIQUES RECYCLÉS, POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

Spécialisé dans la fabrication et la vente de tubes annelés double paroi en polyéthylène haute densité (PEHD), Polieco France, entreprise implantée dans l'Ain, propose des solutions innovantes sur mesure pour la gestion des eaux pluviales. Mis au point dans son atelier de chaudronnerie plastique, elle offre toute une gamme de regards fabriqués à partir des tubes annelés. Ceux-ci sont fabriqués avec 100% de polyéthylène haute densité recyclé et issu de déchets de la collecte sélective (bouteilles de lait, bidons de lessive...). La résistance, l'étanchéité, la légèreté et la durabilité sont les principales caractéristiques des produits Polieco, qui bénéficient aussi d'une garantie de 30 ans.

Les tubes, d'une longueur de 6 mètres, sont proposés en sept diamètres, de 300 à 1 200 mm intérieur. Ils sont utilisés pour canaliser et véhiculer sans pression les eaux pluviales. Au total 2 236 mètres de tubes de diamètre intérieur 400 à 1 200 mm, pour un équivalent de 1,3 million de bouteilles plastiques recyclées, ont déjà été installés.

→ Gestion des eaux pluviales d'une usine de batteries en construction

L'entreprise a récemment été retenue pour fournir en tubes annelés et en regards le chantier de construction de l'usine de batteries à Dunkerque, dans le



Tube annelé pour la gestion des eaux de pluie à base de bouteilles en plastique recyclées.

nord de la France. Ce site industriel, d'une superficie de plus de 83 500 m² comprend des voiries accessibles aux poids lourds et un parking destiné aux véhicules légers. Polieco est intervenu pour gérer l'ensemble des eaux pluviales issues des surfaces imperméabilisées, les toitures et les enrobés, sur la globalité du site. « Chez Pum, nous avons la culture de l'innovation et lorsque nous avons discuté avec le client TP de son projet, nous avons tout de suite pensé que les produits de la gamme Polieco pouvaient répondre à ses besoins. La solution en PEHD est plus facile à mani-

puler que du béton et représente également un coût moindre notamment pour les diamètres supérieurs à 315 mm. Séduit par l'aspect économique du tube annelé, notre client a été enthousiasmé par le côté technique et novateur de la solution de regards en ligne gros diamètres de chez Polieco. Cette solution étanche permet de ne plus avoir à réaliser de longues finitions intérieures et extérieures en béton et donc ne demande pas de main d'œuvre par rapport à la solution regard classique en béton, » précise Pierre Bacqueville, responsable d'agence de Pum Arras. ■

LOXAM DÉPLOIE 42 CHARIOTS TÉLESCOPIQUES SUR UN MÊME CHANTIER

Dans le cadre d'un chantier mené pour le compte de RTE, gestionnaire du réseau de transport d'électricité français,

Eiffage Energie Systèmes a fait appel à Loxam, spécialisé dans la location de matériel pour les travaux publics.



Dans le bocage normand, Loxam a déployé de façon inédite 42 chariots télescopiques pour la pose de pylônes.

De façon inédite, Loxam a mobilisé 42 chariots pour un chantier de remplacement de 80 pylônes électriques, dans un délai réduit. Les véhicules télescopiques ainsi déployés ont permis de soutenir la ligne haute tension le temps de l'installation des nouveaux pylônes. Le chantier était situé en plein bocage normand et a nécessité une capacité de coordination importante, avec une livraison des chariots sur des points GPS très précis. En effet, ceux-ci sont venus de multiples villes normandes et même de Paris. « Il était impératif que les chariots soient présents au bon endroit pour répondre aux contraintes très spécifiques de ce chantier avec un temps d'intervention optimisé, » estime Aymeric Pressat, responsable commercial chez Loxam. ■

La CNETP regroupe **9 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations auprès de **286 000 salariés**.



NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en oeuvre du régime de chômage intérimaires auprès des entrepreneurs de Travaux Publics

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

sur Internet : www.cnetp.fr

sur l'appli mobile : **CNETP Salarié**





Membre du Réseau Congés Intérimaires BTP

AGENDA

ÉVÈNEMENT

• DU 18 AU 20 OCTOBRE

Le Salon du BTP Artibat

Lieu : parc des expositions de Rennes

• DU 21 AU 23 OCTOBRE

Le colloque international consacré aux Bétons Fibrés à Ultra-hautes Performances (BFUP)

Lieu : palais de l'Europe de Menton (06)

FORMATIONS

Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les formations annoncés dans cette rubrique sont maintenues, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).

• 11 AU 13 OCTOBRE

Eurocodes 3 et 4 ouvrages d'art : calcul des structures métalliques et mixtes

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

• 18 ET 19 OCTOBRE

La prescription des bétons pour les ouvrages à usage d'eau potable ou usée

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

• 8 AU 10 NOVEMBRE

Résistance des matériaux : les fondements des calculs et du dimensionnement

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

• 16 ET 17 NOVEMBRE

Réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie

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

• 20 AU 22 NOVEMBRE

Eurocode 2 ouvrages d'art : calcul des structures en béton

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

• 28 NOVEMBRE AU 1^{er} DÉCEMBRE

Les émulsions routières de bitume et leurs applications : choisir et mettre en œuvre une technique

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

NOMINATIONS

ORDRE DES GÉOMÈTRES-EXPERTS

Joseph Pascual a été réélu Président du Conseil supérieur de l'Ordre des géomètres-experts jusqu'en 2025. Il occupe cette fonction depuis 2021.

HS2/ALIGN

CONJUGUER INNOVATIONS TECHNIQUES ET IMPLICATION ENVIRONNEMENTALE

HS2 est la nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse britannique en cours de construction entre Londres et le nord-ouest de l'Angleterre dont la phase 1 connectera Londres et Birmingham. Il s'agit du plus important projet d'infrastructure en Europe et de régénération économique et sociale depuis des décennies dans le pays. Le groupement ALIGN est en charge du tronçon dit " Central C1 " (C1) de 21,6 km au nord-ouest de Londres comprenant un viaduc de 3,4 km (Colne Valley Viaduct) et deux tunnels de 16,04 km (Chiltern Tunnels).

David Emms, HS2 Project Client Director for ALIGN, retrace la genèse du projet et met en évidence les particularités de cette réalisation tant au niveau technique qu'environnemental. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON AVEC LA COLLABORATION DE VARDAMAN JONES, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE RENDEL LTD, FILIALE ANGLAISE D'INGÉROP



1- David Emms, directeur du groupement ALIGN chargé de la réalisation du tronçon C1 de la ligne nouvelle HS2.

Comment le projet HS2 de ligne ferroviaire à grande vitesse a-t-il vu le jour ?

Lorsque le projet été initié, il s'agissait simplement d'une ligne sur une carte. Toutes les procédures pour confier les études et les travaux à des groupements d'entreprises ont débuté en 2016 et se sont poursuivies en 2017. Du point de vue de HS2 Ltd, l'un des critères les plus importants pour sélectionner les entreprises était leur attitude et leur comportement vis-à-vis du projet, plus précisément une volon-

té réelle de collaborer avec le maître d'ouvrage.

Pendant la présélection des groupements, une journée complète était organisée avec les représentants des entreprises qui allaient travailler sur le contrat pour vérifier que leur comportement était bien celui qu'on espérait avoir avec eux lors de la réalisation des travaux. Cette démarche a fait partie de l'évaluation des offres au même titre que l'évaluation technique et l'évaluation financière, elle a représenté jusqu'à 20% dans le choix.



2- Design préfiguratif des rames de la ligne nouvelle.

3- Les installations de chantier du groupement ALIGN avec, au centre, l'usine de préfabrication des voussoirs du viaduc de Colne Valley.

4- De gauche à droite : Vardaman Jones (Rendel Ltd), David Emms (ALIGN), Daniel Altier (Bouygues TP).

5- Les installations de traitement des eaux du groupement ALIGN sur le site dit " South Portal ".

6- L'estacade provisoire réalisée pour la construction du Colne Valley Viaduct.

DAVID EMMS : PARCOURS

David Emms est ingénieur en génie civil (BEng) de la Kingston University de Londres (1991).

Entre 1993 et 1999, il est Construction Manager au sein de Virgin Media (Eurodele), entreprise de téléphonie fixe, mobile et de télévision câblée.

En 1999, il rejoint, en tant que Construction Manager, Viatel, spécialisée dans l'ingénierie de réseaux de télécommunications, qu'il quitte en 2000 pour intégrer CH2M, l'une des sociétés d'ingénierie de HS2, en tant que Programme Manager au sein de laquelle il occupe plusieurs postes de responsabilités : Ruhr Area Manager en Allemagne (2000 à 2002), Project Manager de Ono, entreprise de télécommunications en Espagne (2002 à 2005), Head of Operations de CH2M (2005 à 2009) puis Programme Manager de CH2M (2009 à 2015).

Entre 2015 et 2021, il est Project Director au sein de HS2 pour les projets C2 puis C1.

Depuis décembre 2021, David Emms est Project Client Director de C1 ALIGN au sein de HS2 Ltd.

Le contrat pour la section Central 1 a été adjugé en août 2017 au groupement ALIGN. L'une des premières décisions prises par HS2 Ltd et le groupement ALIGN a été de d'installer dans les mêmes bureaux maître d'ouvrage,

bureaux d'étude, architectes, géotechniciens et entreprises.

Tous les intervenants se sont trouvés réunis sur un plateau unique dès le début du projet afin que s'instaure une collaboration très étroite entre le

client HS2 Ltd, les entreprises faisant partie de la joint-venture et les bureaux de design. Le CODIR lui-même comprend HS2 Ltd, les bureaux d'étude et leurs designers et les entreprises afin de prendre en commun les décisions importantes.

Lorsque le projet a été lancé en 2013, il n'était pas défini dans le détail. Le design était encore en cours d'élaboration. Il s'agissait vraiment d'un projet préliminaire. Seuls étaient déjà définis le tracé et la localisation des terres acquises.

Dans un premier temps, le projet a été défini pour être soumis à l'approbation de la Chambre des Communes. Il fut de ce fait très conservateur dans sa première version afin de définir les terrains dont il avait besoin tant pour la construction que pour les installations de chantier.

Trois éléments étaient déterminants pour obtenir l'accord de la chambre des Communes et donc l'autorisation de construire la ligne : l'acquisition des terrains et leur occupation pendant la phase de construction, les éléments liés au respect et à la protection de l'environnement, l'interface avec l'ensemble des tiers : les riverains, les réseaux routiers, les réseaux d'eau et d'électricité, les localités concernées, les fermiers sur les terres desquels passait HS2... La prise en compte de ces trois éléments a constitué le point d'entrée à partir duquel le groupement d'entreprises a pu étudier le projet plus en détail et trouver la solution qui assure la meilleure réponse au respect des critères qu'il était impératif de respecter afin de recevoir l'aval de la Chambre des Communes et de susciter le moins d'opposition de la part de l'ensemble des personnes ou des institutions concernées.



© MARC MONTAGNON



© HS2/ALIGN



© HS2/ALIGN

Dès la constitution du consortium chargé de la réalisation des travaux, il a d'ailleurs été défini une charte de travail comprenant cinq critères que tous les intervenants se sont engagés à respecter strictement : sécurité, respect, excellence, intégrité, collaboration. Tous les membres de l'équipe sont cosignataires de cette charte. Même si chacun d'eux intègre l'équipe d'ALIGN avec ses propres valeurs et ses propres idées, au sein de l'équipe il laisse de côté les habitudes de travail propres à l'entreprise dont il fait partie et s'engage complètement pour créer une équipe entièrement dédiée au respect des cinq critères définis par la charte de travail.

La création du plateau commun a contribué à créer cette entité et à faire du groupement ALIGN le plus performant de l'ensemble des groupements intervenant sur HS2.

Ce qui a été le plus important pour le succès du projet était de disposer d'une équipe de collaborateurs ayant l'habitude et la volonté de travailler ensemble. C'est ce travail d'équipe qui a fait la différence pour arriver au but.

Quels sont les travaux confiés au groupement ALIGN ?

Le groupement ALIGN (Bouygues Travaux Public/Sir Robert McAlpine/VolkerFitzpatrick) avec ses partenaires de conception, Jacobs et Rendel Ltd (filiale du groupe Ingérop) est en charge de la conception et de la construction du tronçon C1 de HS2, avec les sous-traitants spécialisés comprenant KVJV, Kilnbridge, VSL, Tarmac, VPH et Volker Stevin.

Il s'agit d'un tronçon clé de la première phase du réseau ferroviaire à grande vitesse HS2 entre Londres et Birmingham.



© MARC MONTAGNON

VARDAMAN JONES : PARCOURS

Vardaman Jones est titulaire d'un master of sciences en génie civil de l'Imperial College de Londres (1987). Il débute sa carrière au sein de Rendel, Palmer & Tritton (devenue par la suite High-Point Rendel, puis Rendel) dans le département des ouvrages d'art.

En 1989, il rejoint l'Entreprise Industrielle, à Paris, avant de retourner chez High-Point Rendel en 1991 où il a effectué toute la suite de sa carrière.

En 2003, il a pris la direction du département Conception et Ingénierie de Rendel.

Suite à l'acquisition de Rendel par Ingérop en 2015, il est nommé directeur général et administrateur de Rendel et rejoint le Comité de direction d'Ingérop.

Vardaman Jones dispose d'une expertise technique reconnue dans les ponts à haubans et d'une expertise de maîtrise contractuelle de différents types de projets d'infrastructures (Conception Réalisation, PPP, Alliances), sur tous les continents.

Les principaux projets d'ouvrages d'art auxquels il a contribué comprennent les études de conception du pont du Sheikh Zayed à Abu Dhabi, la conception du pont à haubans en béton d'Assouan en Égypte, l'analyse et la conception d'ouvrages temporaires pour le pont suspendu du Storebælt au Danemark, l'évaluation des offres techniques du pont à haubans de Rion-Antirion en Grèce et la conception préliminaire du pont à haubans Kap Shui Mun à Hong Kong.

Son expérience des tunnels immergés comprend notamment le New Tyne Tunnel au Royaume-Uni, le Limerick Tunnel en République d'Irlande, la traversée du port de Gênes en Italie, le Medway Crossing au Royaume-Uni, le tunnel de Thessalonique en Grèce et les études de conception, en phase appel d'offres, pour le tunnel route/rail de Fermen entre le Danemark et l'Allemagne.

Les principales missions récentes de Vardaman Jones comprennent les études de conception du tronçon C1 de la ligne à grande vitesse HS2 pour Align au Royaume-Uni, les études de conception de bâtiments techniques de la centrale nucléaire de Hinkley Point C au Royaume-Uni, l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la conception et la construction du pont route/rail de Padma au Bangladesh et le projet innovant de tramway léger de Coventry au Royaume-Uni.

Ce tronçon de 21,6 kilomètres au nord-ouest de Londres comprend un viaduc de 3,4 kilomètres (Colne Valley Viaduct), deux tunnels de 16,04 kilomètres (Chiltern Tunnels) et cinq puits de ventilation de grand diamètre de 60 à 80 de profondeur. Les tunneliers à densité variable, technologie déjà utilisée par Bouygues Travaux Publics à Hong Kong et sur le projet du Grand Paris Express, permettent d'adapter l'excavation aux spécificités géologiques du terrain. Les travaux comprennent également la construction de 38 passages transversaux entre les deux tunnels, ainsi que cinq puits de ventilation.

7- Vardaman Jones, directeur général de Rendel Ltd.

8- Le viaduc est fondé sur des pieux forés dans la craie.

9- Le robot suspendu Krokodyl développé par Bouygues TP.

10- La hauteur du tunnel de Chiltern - diamètre intérieur de 9,10 m - sera légèrement supérieure à celle de deux bus à impériale londoniens.

11- Le tunnelier Florence mis en œuvre pour le creusement du tunnel de Chiltern.

12- Préfabrication des voussoirs pour le tunnel de Chiltern.



© HS2/ALIGN

8



© HS2/ALIGN

9



© HS2/ALIGN
10

LE TUNNEL DE CHILTERN EN BREF

Le tunnel de Chiltern est un ouvrage bi-tube de 9,10 m de diamètre interne, l'un pour la ligne descendante (Londres à Birmingham) et l'autre pour la ligne montante (Birmingham à Londres). Ce diamètre intérieur est fixé par HS2 pour respecter les différentes exigences de gabarit mais aussi pour limiter la température de l'air dans le tunnel à des valeurs acceptables et pour éviter le risque d'arrêt du système de refroidissement de l'air du train, en particulier dans un scénario où les trains sont arrêtés dans le tunnel.

Les deux tunnels sont creusés à l'aide de deux tunneliers à densité variable (TBM), qui effectueront chacun un trajet de 16 km du sud au nord sous les Chilterns. La distance libre entre les tunnels est de 25 m sur la majeure partie du trajet. 38 passages de communication situés au moins tous les 500 m le long du tunnel offriront une issue de secours d'un tunnel à l'autre en cas d'urgence

Des "hottes" en béton armé (porous portals), traversées par les trains à l'entrée et à la sortie des tunnels, mesurent 220 m à l'entrée du tunnel et 135 m à la sortie. Ils ont une hauteur variable sur leur longueur pour constituer un "entonnoir", et leurs parois présentent des ouvertures réparties sur leur longueur pour apporter les fonctionnalités aérodynamiques requises. D'où leur appellation de "portails poreux".

Lorsqu'un train entre dans un tunnel à grande vitesse, il passe soudainement de l'air libre à un espace confiné. Cela provoque une augmentation de la pression juste en avant du train, qui peut être ressentie par les passagers ("ear popping effect"). Une telle augmentation de pression pourrait également provoquer un phénomène bien spécifique aux longs tunnels à voie non ballastée : un bang sonique. Dans de tels tunnels, cette augmentation localisée de la pression se comportera comme une onde sonique et commencera à se déplacer dans le tunnel à la vitesse du son. Non atténuée par le ballast, cette onde atteint alors la sortie provoquant un "boum" audible qui se fait entendre au voisinage du portail de sortie du tunnel, alors même que le train est encore enfoncé dans le tunnel.

(Source: Bouygues Travaux Publics, Ingérop/Rendel Ltd (groupe Ingérop, VSL Systems UK Ltd).

Le contrat est de type conception/réalisation en deux étapes (stage 1 et stage 2). La première a été d'établir un projet de référence avec un budget et un programme détaillé des études et de la construction ainsi qu'une évaluation de tous les risques. Tous ces éléments étaient inclus dans le contrat avec une analyse et un partage équitable entre les différents participants, qu'il s'agisse des entreprises, de HS2 et même du gouvernement, certains des éléments étant hors du contrôle des intervenants sur le site.

Un document a ainsi été établi entre les différents partenaires. Il était prévu à l'origine que l'étape 1 devait durer 12 mois. En fait, les membres de l'équipe se sont rendu compte que ce délai ne serait pas suffisant pour développer l'ensemble du projet et la durée

de l'étape 1 a été étendue à 18 mois, puis 24 mois pour améliorer l'analyse des coûts en trouvant des solutions plus performantes.

Des projets d'une telle ampleur comportent tellement d'éléments à prendre

en compte pour chiffrer le coût final que le travail de préparation doit être adapté en permanence. Ce n'est qu'au bout de deux ans que le ministère a pu en prendre connaissance et accepter de signer le contrat de réalisation dont le

nom est d'ailleurs significatif "notice to possible". Cette "notice to possible" constitue l'acceptation du contrat technique et du coût de base chiffré par le groupement d'entreprises afin de passer à la phase de construction proprement dite.

Le groupement ALIGN (C1) a été prêt en 24 mois mais il n'en était pas de même pour les autres groupements⁽¹⁾ et ce n'est qu'en avril 2020 que le projet a pu être lancé dans sa totalité. L'équipe de ALIGN a été prête la première à établir ses installations de chantier ainsi qu'à passer la commande des deux tunneliers car le tunnel de Chiltern se situe sur le chemin critique du projet.

Le travail collaboratif en équipe s'est poursuivi lors du développement de la deuxième étape (stage 2) pour la mise au point définitive de la phase de travaux. Les inévitables difficultés qui se sont révélées, s'agissant d'un chantier d'une telle ampleur, ont pu toutes être surmontées grâce à la collaboration très active des différents intervenants. La cadence prévue a été conservée. Actuellement, C1 est le contrat le plus avancé de l'ensemble des contrats de HS2 avec, en juin 2023, déjà plus de 10 km réalisés sur les 16,04 km de tunnel à creuser et plus de 1 000 m sur les 3,4 km pour le viaduc de Colne Valley sont déjà terminés.

Ces deux chantiers de HS2 - les tunnels de Chiltern et le viaduc de Colne Valley - comportent-ils des innovations techniques ?

Dès l'origine du projet, HS2 Ltd a manifesté sa volonté que soient mises en œuvre des innovations techniques mais aussi des habitudes de travail différentes de ce qui s'était fait jusque-là. ▷

© HS2/ALIGN

11



© HS2/ALIGN

12



LE COLNE VALLEY VIADUCT EN BREF

Le Colne Valley viaduct sera le viaduc ferroviaire le plus long du Royaume-Uni, et l'ambition du gouvernement britannique est qu'il soit l'ouvrage d'art emblématique du projet HS2.

Il marque aussi une étape importante dans le domaine des ouvrages d'art au Royaume-Uni car c'est l'ouvrage qui réintroduit la technique des ponts en voussoirs préfabriqués avec précontrainte intérieure dans le pays, après 30 ans de moratoire sur la construction d'ouvrages de ce type.

Une maquette numérique complète de l'ouvrage a été développée, de manière collaborative et dans un environnement commun de données en ligne. Une modélisation 3D des ferrailages a aussi été faite sur les parties les plus complexes afin de faciliter l'assemblage des armatures et minimiser les conflits entre les barres et les multiples inserts.

Le viaduc est fondé sur des pieux forés dans la craie, formation géologique qui constitue le substratum de cette région de l'Angleterre : les piles courantes sur 4 ou 6 pieux de diamètre 1,50 m, et de longueur maximale 54 m (certaines piles spéciales sont fondées sur des pieux de diamètre 1,80 m). Dans la section traversant les lacs, les travaux sont réalisés à partir d'une estacade provisoire.

La reprise des efforts horizontaux longitudinaux, par exemple le freinage et le démarrage des trains, est faite sur chaque module par deux piles consécutives dites "piles points fixes" comportant des dispositifs en plus des appareils d'appui :

- Une pile complètement fixe comporte une clef de cisaillement métallique, appareil d'appui fixe sans plaque de glissement dont la fonction est uniquement de reprendre les efforts horizontaux ;
- Une pile fixe uniquement sous charges rapide (freinage-démarrage des trains) comporte une paire de shock transmission units (STU), libres sous efforts de dilatation et contraction thermique mais qui se bloquent sous sollicitation dynamique.

Ce choix de conception permet de diviser les efforts de freinage et de démarrage entre les deux piles, tout en évitant les efforts internes parasites, d'origine principalement thermique, qui seraient apparus si elles étaient toutes les deux complètement fixes.

Le viaduc comporte 1000 voussoirs préfabriqués dont le poids varie entre 60 et 140 tonnes. Leur fabrication est faite par la méthode des joints conjugués, chaque voussoir en partant du voussoir sur pile étant coulé contre le précédent afin qu'ils s'assemblent ensuite parfaitement lors de l'installation. Une particularité de cet ouvrage est la très grande diversité des géométries de voussoirs, en hauteur ainsi qu'en longueur du fait de la courbe de l'intrados.

Les longueurs des travées sont également variables le long de l'ouvrage, car l'impératif architectural était d'avoir un effet d'arc aussi harmonieux

que possible sur toutes les travées, indépendamment de leur longueur. Un compromis a donc été trouvé entre l'ambition architecturale, qui pourrait en théorie mener à avoir autant de découpage en voussoirs qu'il y a de travées différentes, et l'impératif d'industrialiser au plus la préfabrication, et donc de limiter cette diversité. Ainsi, une série de neuf demi-fléaux a été définie. Ils sont utilisés le long de l'ouvrage pour produire toutes les différentes travées, l'ajustement fin de la longueur finale étant fait avec des voussoirs de hauteur constante situés à mi-travée.

Les voussoirs sont installés par encorbellements successifs à l'aide d'une poutre de lancement de 150 m de longueur et 18 m de hauteur, d'un poids de près de 700 tonnes.

Pour respecter une harmonie architecturale (les piles étant assez courtes), la largeur en tête des piles est réduite au minimum et ne permet pas d'y installer les cales provisoires nécessaires à la stabilité temporaire du fléau.

La stabilité est alors assurée par deux palées provisoires métalliques implantées de part et d'autre de la pile sous la première paire de fléau courant. Elles sont fondées directement sur la semelle permanente et se contreventent autour de la tête de pile.

La stabilité du tablier en cours d'installation requiert aussi un clouage, consistant à installer des câbles de précontrainte provisoires pour apporter une force stabilisatrice.

La signature architecturale principale de l'ouvrage est la section traversant les lacs, où le tablier se divise en deux afin d'évoquer les ricochets d'une pierre sur la surface de l'eau.

Du point de vue du fonctionnement structurel il s'agit en fait d'un fléau de 80 m dont la partie centrale s'apparente à un méga voussoir sur pile évidé.

Une méthode spécifique est mise en place pour construire ces parties d'ouvrages : les deux jambes du "V" puis leurs parties supérieures du tablier sont coulées en place ; l'inclinaison à 24 degrés des jambes impose de recourir à un coffrage totalement fermé, y compris en face supérieure ; des contreflèches sont introduites sur le coffrage pour prendre en compte les déformations du coffrage et les tassements différentiels entre les deux supports du coffrage (la semelle permanente et l'estacade).

La conception de la précontrainte est caractéristique des ouvrages construits par encorbellements successifs : précontrainte de fléau installée lors du montage des voussoirs, précontrainte de continuité comprimant la fibre inférieure du tablier à mi-travée après clavage, et précontrainte extérieure cheminant à l'intérieur du caisson.

La précontrainte extérieure est constituée de torons gainés graissés, injectés au coulis de ciment dans une conduite en PEHD.

(Source : Bouygues Travaux Publics, VSL Systems UK Ltd, Rendel Ltd (groupe Ingérop).)



© HS2/ALIGN

13



© HS2/ALIGN

14



© HS2/ALIGN

15

Elle dispose à cet effet d'une équipe dédiée dotée d'un budget propre, grâce auquel elle peut subventionner des initiatives d'innovation à l'intérieur des différents groupements d'entreprises.

Les tunneliers Florence et Cecilia sont parmi les premiers au monde à pouvoir creuser et en même temps poser des voussoirs, ce qui leur permet de travailler en continu si nécessaire. Leur record actuel sur le chantier est de 212 m/ semaine.

Le problème n'est d'ailleurs pas tant celui de la vitesse d'excavation que celui de l'évacuation des boues qui est sur le chemin critique du tunnelier car le volume de stockage sur chantier est limité.

Au niveau des tunneliers, leur conception prévoit plusieurs dispositifs ou équipements destinés à réduire au

13- L'usine de préfabrication des voussoirs de pile.

14- Le franchissement d'un lac de la Colne Valley avec les piles en "V" du viaduc.

15- La poutre de lancement de 150 m de longueur pour la mise en place des voussoirs par encorbellement successifs.

16 & 17- Stockage des voussoirs de piles sur le site du South Portal.

maximum l'intervention humaine pendant les travaux et à améliorer ainsi la sécurité. Il s'agit du robot Krokodyl et des logiciels Mobydick et Alice.

Les segments de voussoirs sont acheminés jusqu'aux tunneliers en blocs séparés par des cales en bois.

ALIGN a automatisé leur manipulation grâce à un robot nommé Krokodyl.

Il s'agit d'un bras automatisé qui attrape les cales en bois qui séparent les segments, ce qui évite de le faire manuellement.

D'autres innovations d'ALIGN améliorent la sécurité et permettent un gain de temps et d'argent.

Pour relever le défi de ce projet exceptionnel, Bouygues Travaux Publics et ses partenaires ont amélioré leurs outils de planification digitale en utilisant l'intelligence artificielle reliée à la maquette numérique.

Alice regroupe en quelque sorte les séquences, les programmes, le budget et les ressources pour définir précisément à quel endroit envoyer chaque équipe tout en optimisant les ressources. On utilise également le logiciel DALUX sur le terrain afin de digitaliser les informations concernant le projet. Tout est disponible en temps réel sur les tablettes ou les téléphones. On peut enregistrer sur place, prendre des photos et les envoyer directement, sans devoir passer par un ordinateur et tout retranscrire.

Le digital offre une vision globale de la progression en temps réel.

Une autre volonté est de tester des équipements autonomes, en particulier pour le compactage des terrains, toujours avec le même objectif de minimiser le risque pour les opérateurs sur chantier.



© HS2/ALIGN

16



© HS2/ALIGN

17



La réduction de l'impact carbone est prise en compte de façon permanente. Par rapport au projet de base qui date de 2013, l'objectif est de réduire de 50 % l'impact carbone, ce qui constitue un véritable défi.

Les trois éléments principaux pour y parvenir sont le transport des matières premières, les aciers et le béton.

Pour le transport, plusieurs dispositions ont été prises afin de réduire l'acheminement des matières premières par route. Ainsi, il est fait appel le plus possible à des transports par rail avec des zones de stockages intermédiaires.

Le recours à des engins Diesel est réduit autant que possible et ces derniers sont remplacés par des engins fonctionnant à l'huile végétale, voire à l'énergie solaire ou éolienne.

Un système de captage des données de tous les engins permet par ailleurs de minimiser l'énergie qu'ils utilisent et changer les habitudes de travail, par exemple, leurs temps d'arrêt avec les moteurs en stand-by, pour réduire les consommations de carburant.

La consommation d'électricité sur le site, qui est très importante, est surveillée de près à telle enseigne que les tunneliers utilisent des énergies renouvelables.

Des bétons bas carbone sont mis en œuvre pour toutes les structures de chantier temporaires telles que routes d'accès, fondations des centrales à béton ou des centrales de traitement ainsi que pour les garde-corps extérieurs du viaduc, préfabriqués en béton BFUP. Pour la stabilisation des sols, des matériaux polymères sont utilisés plutôt que de la chaux.

HS2 Ltd fait également des essais sur plusieurs des contrats pour remplacer les aciers de ferrailage par des éléments en basalte sur des structures

temporaires et pour avoir des retours d'expérience qui permettront de décider quelle est la solution la plus satisfaisante et, peut-être, la mettre en œuvre sur des ouvrages permanents.

Ces initiatives pour réduire l'impact carbone ont déjà permis une réduction de -38 % sur l'ensemble du chantier. HS2 Ltd est conscient qu'une réduction de 50 % sera difficile à atteindre, mais toutes les entreprises sont déjà sur ce chemin, avec des résultats encourageants.

Les retours d'expérience viseront à mettre en pratique ces idées pour les phases 2A et 2B du projet global de la ligne à grande vitesse HS2 et atteindre les -50 % dans ces deuxièmes phases qui constituent la partie Nord du projet. Au travers des contrats que nous venons d'évoquer, un CODIR rassemblant les représentants de l'ensemble des entreprises adjudicataires permet de partager les retours d'expérience et de dégager les bonnes idées et les innovations déjà mises en évidence dans les contrats en cours. HS2 Ltd joue le rôle de catalyseur pour partager toutes les avancées obtenues par les groupements d'entreprises.

Le viaduc dont ALIGN assure la construction traverse une zone de lacs et de rivières. Quelles mesures ont été prises à son sujet dans le cadre de la protection de l'environnement ?

Le viaduc de Colne Valley traverse non seulement une rivière et plusieurs lacs ainsi qu'une zone paysagère incluant un parc régional, qu'il faut protéger, mais aussi une nappe phréatique qui alimente en eau potable de l'ordre de 2 millions de personnes à Londres.

De nombreuses mesures ont été mises en place pour la protéger en accord

avec le concessionnaire Affinity Water, l'Agence gouvernementale pour l'Environnement et les représentants du parc régional.

À noter d'ailleurs que cette zone est traversée en tunnel parce qu'elle se situe au niveau d'un parc protégé auquel il était évidemment exclu de porter la moindre atteinte.

En effet, le parc régional de Colne Valley est le premier aperçu substantiel de la campagne à l'ouest de Londres. Fondé en 1965, il couvre 43 miles carrés, avec un paysage qui est un mélange de villes animées, d'espaces verts et de voies navigables qui forment le premier paysage de campagne immédiatement à l'ouest de Londres.

Il convenait de protéger la nappe phréatique afin qu'elle ne soit pas polluée par les travaux.

Tous les points d'extraction ont été équipés de détecteurs pour contrôler qu'il n'y a pas de présence de bentonite ou de chrome. Toute l'eau présente dans les bassins créés autour des piles du pont est pompée et traitée avant d'être rejetée dans les lacs.

Une surveillance est menée en continu et, jusqu'à aujourd'hui, elle n'a jamais mis en évidence la moindre présence de pollution, ce qui aurait provoqué l'arrêt des travaux.

Grâce à une longue phase de préparation et de consultation en amont et aux mesures conservatoires qui en ont découlé, aucun impact sur l'environnement n'a été constaté depuis l'ouverture du chantier. Le groupement a d'ailleurs veillé à ce que le chantier soit le moins perturbant possible, tant pour les riverains que pour la nature. Par exemple, le pont d'accès temporaire mis en place lors de la construction du viaduc de 3,4 km de la vallée de Colne a déjà retiré plus de 10 000 trajets de véhicules des routes au cours de sa première année de fonctionnement.

Longeant ce qui deviendra le plus long viaduc du Royaume-Uni, le pont temporaire permet aux véhicules de construction de traverser une série de lacs et de voies navigables près de Denham, à la périphérie de Londres.

En plus de retirer les véhicules des routes locales, le pont temporaire de 800 m de long, achevé en février 2022, est également utilisé pour acheminer l'équipement jusqu'à l'endroit où les piles des viaducs sont en cours de construction dans le lac.

Les camions effectuant des livraisons sur le site arrivent tous de la M25 et suivent une voie d'accès interne de 6 km via le chantier de construction du portail sud de HS2/ALIGN et le

18 & 19- Les deux jambes du "V" puis les parties supérieures du tablier sont coulées en place.

20- Le Colne Valley Viaduct traverse une rivière et plusieurs lacs ainsi que qu'une zone paysagère incluant un parc régional qu'il faut protéger.

21- Mise en place des premiers voussoirs sur piles par la poutre de lancement de Bouygues TP.

22- Installation et mise en post-tension de la pile 57.



© HS2/ALIGN

18



© HS2/ALIGN

19



© HS2/ALIGN

20

pont temporaire, au lieu d'utiliser les routes locales, ce qui réduit l'impact sur la communauté locale pendant la construction.

Il est était essentiel que nous travaillions pour réduire l'impact sur les communautés pendant la construction. C'est pourquoi je suis ravi de voir que la route d'accès temporaire a permis d'éviter autant de trajets de véhicules au cours de sa première année d'exploitation.

Les partenaires d'ALIGN ont une expérience impressionnante et réussie en matière d'innovation, de conception et de construction de projets majeurs. Ils ont travaillé en étroite collaboration pendant plus de deux ans pour développer leur culture collaborative ainsi que leurs valeurs et pratiques d'entre-

prise afin d'être prêts et capables de livrer pour HS2.

Une fois la construction terminée, les usines de préfabrication des voussoirs du tunnel et du viaduc et les bâtiments environnants seront supprimés et toute la zone entre le viaduc de Colne Valley et le tunnel de Chiltern seront transformés en une zone de prairies crayeuses et de bois dans le cadre du projet de "couloir vert" de HS2.

Une spécificité du viaduc est le système de précontrainte développé et implémenté pour répondre aux exigences spécifiques du projet.

L'utilisation du procédé d'ancrage de précontrainte VSL type GC⁽²⁾ associé aux gaines en polymère PT-Plus[®] permet de fournir une encapsulation étanche des câbles. Un coupleur a

été introduit au niveau des joints entre voussoirs afin de garantir la continuité totale de l'encapsulation. Ce système crée une isolation électrique entre le câble de précontrainte et la cage de ferrailage avoisinante, et c'est la mesure de cette résistance électrique qui permet de surveiller l'intégrité de l'encapsulation à tout moment de la vie de l'ouvrage.

Il est à noter que c'est la première fois qu'un tel système est appliqué sur une structure d'une telle envergure (1 000 voussoirs).

Pour conclure ?

Pour conclure avec une belle image, la conception du viaduc de Colne Valley a été inspirée par le mouvement d'une pierre survolant l'eau, avec une série

de travées élégantes, certaines jusqu'à 80 m de long, portant le chemin de fer à environ 10 m au-dessus de la surface des lacs, River Colne et Grand Union Canal.

Enfoncées dans le paysage, des travées plus larges permettent au viaduc de traverser les lacs, avec des travées plus étroites pour les abords. Cette conception a été choisie pour permettre des vues sur le paysage, minimiser l'empreinte du viaduc sur les lacs et aider à compléter la vue sur l'environnement naturel. □

1- Le projet HS2 en cours de réalisation comprend 7 groupements d'entreprises correspondant à 7 contrats de travaux : N1 et N2, C1, C2 et C3, S1 et S2.

2- VSL, filiale de Bouygues Construction, spécialisée dans la précontrainte.

© HS2/ALIGN

21



© HS2/ALIGN

22





1
© SENDIN

GROUPE SENDIN UN MÉTIER INVISIBLE MAIS FONDAMENTAL

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

"ARMATURIER, C'EST NOTRE MÉTIER", SE PLAÎT À DIRE SERGIO SENDIN, PRÉSIDENT DU GROUPE DEPUIS 2016. IL EST VRAI QUE, DU FAÇONNAGE DES ACIERS JUSQU'À L'INSTALLATION SUR SITE DES ARMATURES CONÇUES SUR PLAN, LE GROUPE PARTICIPE QUOTIDIENNEMENT À LA RÉALISATION DE PROJETS MAJEURS SUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE FRANÇAIS ET, DEPUIS 2021, EN GRANDE-BRETAGNE, DANS LE CADRE DE LA LIGNE HS2 DU TRAIN À GRANDE VITESSE BRITANNIQUE. KARIMA ZENNOUCHE, DIRECTRICE DE PROJETS INTERNE ET JÉRÔME BRARD, DIRECTEUR D'EXPLOITATION DU GROUPE SENDIN, RETRACENT LE PARCOURS QUI A FAIT DE L'ENTREPRISE LE LEADER FRANÇAIS DE L'ARMATURE DEPUIS 2004.

À l'âge de 17 ans, Arturo Sendin Álvarez, alors compagnon sur un chantier, découvre le métier d'armaturier. Fort d'une expérience de 30 années dans le domaine, il tente en 1994 le pari de l'aventure entrepreneuriale avec l'envie de faire progresser la profession.

Sendin Armatures est ainsi créée en 1994 et débute son activité dans la pose d'armatures.

Entouré d'une équipe de 8 compagnons, dont Sergio Sendin, Arturo Sendin Álvarez démarre son premier chantier de bâtiment avec la construction de la Maison des Aveyronnais à Paris-Bercy.

1- Radier de la Ligne 15 Est du Grand Paris Express (lot T2A).

En 1999, Sendin Armatures est certifié par l'AFCAB (Association Française de Certification des Armatures du Béton), un organisme indépendant garantissant la haute qualité des armatures. L'effectif passe rapidement à 25 compagnons (conducteurs de travaux, chefs de chantiers, ouvriers spécialisés).



© MARC MONTAGNON
2

JÉRÔME BRARD : PARCOURS

Jérôme Brard commence sa carrière en 1997 comme technicien au sein de Welbond armatures, entreprise spécialisée dans la fourniture et la pose en coffrage d'armatures métalliques pour le béton armé en France sur tout le territoire ainsi que dans les DROM.

Il rejoint le groupe Sendin en janvier 2008 comme conducteur de travaux puis y évolue en interne comme directeur de travaux principal puis directeur d'exploitation.

Directeur d'exploitation depuis 2017, il supervise tous les chantiers confiés au groupe Sendin en France et en Grande-Bretagne et dirige une équipe de cinq directeurs de travaux, eux-mêmes responsables de leurs propres équipes.

KARIMA ZENNOUCHE : PARCOURS

Karima Zennouche est titulaire d'un Master en ingénierie financière et marchés bancaires de l'université de Caen - Normandie (2004), d'un Master en sciences et techniques comptables et financières de l'ICN Business School (2004) ainsi que d'un Master of Business Administration de l'ESG Executive Education (2020).

Après une carrière d'une quinzaine d'année en banque d'investissement à des postes de secrétariat général ou de direction de cabinet en France et en Angleterre, Karima Zennouche rejoint le groupe Sendin en 2019 comme responsable du projet formation avant de devenir en 2021, directrice de projets interne du groupe.

Karima Zennouche est directrice de projets internes du groupe depuis 2021, plus spécialement en charge des projets de développement de l'entreprise.

C'est elle qui a notamment préparé et finalisé la création de la filiale anglaise de Sendin Ltd basée à Londres, créée en 2021 pour gérer les marchés obtenus dans le cadre du projet HS2.

À force de travail et d'acharnement, de sérieux et de rigueur, le chiffre d'affaires augmente chaque année à partir de 2001.

La société grandit ; il en est de même des effectifs - 100 collaborateurs en 2002 - tandis que le capital croît de façon significative.

En 2002, Sendin Armatures devient le Groupe Sendin S.A. et consolide ses parts de marché tout en réalisant une diversification.

« Le tournant industriel est pris en 2005, indique Jérôme Brard, sous l'autorité de Sergio Sendin, directeur général du groupe, avec la production d'armatures destinées à alimenter les

2- Karima Zennouche, directrice de projets interne et Jérôme Brard, directeur d'exploitation de Sendin Armatures.

3- Ferrailage pour la rénovation de la dalle du Grand Palais à Paris.

4- Armatures pour le massif d'une grue à tour sur le chantier du Data Center de Lisses dans l'Essonne.

chantiers de pose. Une première usine est ouverte à Saint Marcel, en Eure-et-Loir, produisant jusqu'à 800 tonnes d'armatures, puis en 2007 à Chilly-Mazarin, augmentant la capacité de production à 2000 tonnes. Les deux unités sont désormais regroupées sur le site de Chilly-Mazarin. »

L'usine de Chilly-Mazarin, dans l'Essonne, est construite sur un terrain d'une superficie de 25000 m² avec un atelier de 6400 m², et une capacité de production de 2500 tonnes d'aciers par mois. Elle emploie environ 150 personnes.

En 2009, l'entreprise compte 500 collaborateurs.

En 2010, est ouverte l'usine de Teruel, au sud de Valence, en Espagne, qui permet d'atteindre une capacité totale de 6000 tonnes et confère à Sendin une entière indépendance industrielle. L'usine de Teruel est construite sur un terrain d'une superficie de 55000 m² avec un atelier de 22200 m², et une capacité de production de 6000 tonnes d'aciers par mois (avec une puissance de 10000 tonnes) avec des machines de production de dernière génération. Elle emploie 150 personnes.

Jérôme Brard de préciser : « L'expérience du Groupe Sendin dans le domaine de la pose d'armatures sur chantier combinée avec le savoir-faire ▽



3
© SENDIN



4
© SENDIN

DES RÉFÉRENCES EN TRAVAUX PUBLICS...

Les travaux publics constituent l'activité d'origine du Groupe Sendin : il participe à la réalisation de ponts, viaducs, tunnels, stations d'épuration, de parkings, d'éoliennes et de centrales nucléaires.

Avec une moyenne de 150 chantiers par an, il est présent dans l'ensemble des secteurs de la construction et sait accompagner des projets d'envergure comme des ouvrages de taille plus modeste.

Parmi les références les plus récentes, quelques-unes méritent d'être citées :

LIGNE TGV TOURS-BORDEAUX

Le Groupe Sendin a participé à ce projet permettant de relier Paris à Bordeaux en 2h05. Le tronçon Tours-Bordeaux s'étend sur 340 km, compte plus de 450 ouvrages (26 viaducs, 6 tranchées couvertes...) et a réuni jusqu'à 9 000 collaborateurs dont 300 compagnons Sendin qui poseront entre 2012 et 2015 plus de 45 000 tonnes d'acier notamment sur l'ouvrage d'art dit "l'estacade de la Folie" à Poitiers.

LIGNE 15 " FORT D'ISSY-VANVES-CLAMART "

Le Chantier de la gare Fort d'Issy - Vanves - Clamart est le premier projet du programme de construction des 68 nouvelles gares du Grand Paris Express et devrait être mise en service en 2025. Il s'agit d'un chantier complexe, car la gare du nouveau métro est installée sous les voies du Transilien qui resteront opérationnelles durant toute la durée des travaux. Le Groupe Sendin intervient pour la pose de 2500 tonnes d'acier sur une durée de 36 mois environ et mobilisera jusqu'à 30 compagnons sur ce projet.

L'ANSE DU PORTIER À MONACO

Ce projet consiste en la réalisation de la ceinture de protection de la future extension en mer de Monaco. Il s'agit d'une infrastructure maritime composée de 18 caissons en béton armé de 30 mètres de long sur 25 mètres de haut. Ces 18 caissons seront acheminés par voie maritime jusqu'à Monaco pour être posés. Le Groupe Sendin intervient pour la pose de 16 500 tonnes d'acier dont 4 600 tonnes en inox faisant de ce chantier le plus grand en Europe utilisant ce type d'acier spécial. Le projet a duré 2 ans environ et a mobilisé jusqu'à 150 compagnons.

...ET EN BÂTIMENT

Le Groupe Sendin a également développé depuis 2006 son activité " Bâtiment ". La participation à la construction de grands ouvrages fonctionnels, de logements, centres commerciaux, structures d'enseignements, cliniques, hôpitaux et maisons de retraite est une autre corde à son arc.

TRIBUNAL DE GRANDE INSTANCE DE PARIS (TGI)

L'ouvrage du TGI de Paris a commencé en 2013, Sendin étant intervenu à partir de juillet 2014. Situé à la Porte de Clichy, l'édifice est constitué de béton armé (92 000 m³ de béton et 12 000 tonnes de barres d'acier haute adhérence). Ce bâtiment unique atteint 160 m de hauteur.

U ARENA DE PARIS - LA DÉFENSE

Les travaux pour le stade U Arena ont commencé le 2 décembre 2013. Le projet, dessiné par Christian Portzamparc, accueille le siège de l'équipe de rugby du Racing-Metro 92 ainsi qu'un lieu de spectacle pouvant accueillir 10 000 à 40 000 personnes. Situé à Nanterre, à proximité de Paris - La Défense, Nanterre, le Groupe Sendin a posé 4 800 tonnes d'armatures. Les travaux se sont achevés en octobre 2017 et ont mobilisé jusqu'à 60 compagnons.

CITÉ DE LA MUSIQUE

Ce projet est situé sur l'Île Seguin à Boulogne Billancourt. Le Groupe Sendin a réalisé ce projet en collaboration avec Bouygues. Pour la première phase, il a été utilisé 4 500 tonnes d'acier haute adhérence et 2 400 tonnes de treillis soudé. L'ouvrage a mobilisé jusqu'à 60 compagnons Sendin. L'ouverture au public a eu lieu le 21 avril 2017 et Bob Dylan a été le premier artiste à y produire un spectacle musical à l'occasion de la semaine d'inauguration.

TOUR ALTO À PARIS - LA DÉFENSE

La Tour Alto située à la Paris - Défense est un immeuble de bureaux de 39 étages. Le groupe Sendin est intervenu pour la pose de plus de 3 700 tonnes d'acier durant les 18 mois de construction. Cet ouvrage a mobilisé jusqu'à 30 de compagnons.

du personnel des ateliers et la technologie de pointe de toute dernière génération dont il dispose, lui permet de proposer à ses clients des pièces d'armatures complètes, préassemblées dans ses usines.

Le pré-assemblage facilite la pose et réduit le temps d'intervention sur site. Il en résulte également moins de personnel pour la mise en place, moins de manutention et donc de risques sur le chantier et une meilleure précision dans la mise en œuvre. »

Le groupe emploie actuellement près de 1 000 personnes.

« Il est organisé en deux services : le premier se consacre exclusivement à la pose des armatures pour béton armé sur chantier, le second est constitué par les deux unités industrielles de Chilly-Mazarin et de Teruel.

Les armatures sont approvisionnées à partir de laminoirs, en barres droites ou en bobines, situés à proximité des unités de production Sendin et conformément aux engagements pris par le



5- Chantier du Tribunal de Grande Instance de Paris.

groupe en matière d'émissions carbone.

Les armatures sont alors coupées/façonnées en fonction des plans fournis par les entreprises ou préfabriquées afin de constituer des cages d'armatures et en faciliter la pose sur les chantiers.

Des machines spécifiques assurent le façonnage des pièces afin de transformer, par exemple, une barre droite en cadre, cerce, épingle. Toutes les formes sont possibles depuis ces bancs de coupe conformément aux prescriptions des réglementations. »

Les usines sont dotées de leur propre bureau de méthodes (bureau de décor-ticage) qui analyse les plans clients avec plusieurs objectifs :

→ Organiser la production des usines ;



© SENDIN
6



7
© SENDIN



8
© SENDIN

→ Proposer les ajustements nécessaires au regard des réelles possibilités de façonnage et de montage conformément aux normes ;

→ Proposer, en collaboration avec les équipes travaux, les optimisations des méthodes d'exécution incluant notamment les pré-assemblages. Dans les deux cas, la chaîne de production est maîtrisée en totalité depuis l'approvisionnement des aciers jusqu'à la pose des cages d'armatures sur chantier. L'indépendance industrielle de Sendin et la proximité entre usine et chantier garantissent à ses clients des délais maîtrisés.

6- Les armatures des caissons préfabriqués par Bouygues TP pour l'extension de l'Anse du Portier (Mareterra) à Monaco.

7- L'un des caissons de l'extension Mareterra de Monaco en cours de finition.

8- Chantier de préfabrication des caissons destinés à Mareterra à Monaco.

UN MÉTIER D'HOMMES... ET DE FEMMES

Physiquement exigeant et parfois soumis à des conditions difficiles, le métier d'armaturier a pendant longtemps été réservé aux hommes.

Malgré les efforts de renforcement des stratégies de recrutement et de fidélisation de main d'œuvre féminine dans le domaine du BTP, les résultats restent timides avec une représentativité féminine qui s'élevait seulement à 20 % en 2019.

« Sur ce point, indique Karima Zenouche, Sendin a obtenu un score significatif en matière d'égalité professionnelle entre les hommes et les

femmes, en dépit des difficultés à recruter des talents féminins.

Le groupe s'est d'ailleurs allié avec plusieurs partenaires sociaux, dont l'association Les SouterReines, qui vise à promouvoir la place de la femme dans le secteur du BTP⁽¹⁾, afin de renforcer le dialogue social en matière d'égalité professionnelle. Il a développé des partenariats avec des écoles d'ingénieur et participe à des salons professionnels pour se présenter et présenter le métier d'armaturier. Une action a été menée en relation avec une école de relations humaines afin de développer une campagne de communication comportant notamment ▷

9- Forêt d'armatures sur l'un des chantiers du lot T2A de la Ligne 15 Est du Grand Paris Express.

10- Préparation du coulage d'une dalle pour la Ligne 15-2 du Grand Paris Express.

11- L'ouvrage Saint-Maur - Créteil sur le lot T2B de la Ligne 15 du Grand Paris Express.

12- Voile de grande hauteur à la gare de Massy-Palaiseau sur la Ligne 18 du Grand Paris Express.

13- Rampant sur le lot 1 de la Ligne 18 à la gare Antypole.

14- Radier de la gare de Massy-Palaiseau (lot 1) de la Ligne 18 du Grand Paris Express.

15- Chantier de la gare Saint-Denis - Pleyel qui offrira une correspondance entre les Lignes 14, 15, 16 et 17 du métro parisien.

des témoignages de femmes qui sont dans l'entreprise et parlent de leur quotidien et de la satisfaction qu'elles en retirent. »

Le métier de l'armature est peu connu dans le BTP. Il demeure un métier très technique et très physique en dépit des progrès apportés au niveau industriel car, sur chantier, même si des grues sont présentes, beaucoup d'armatures se posent encore à la main.

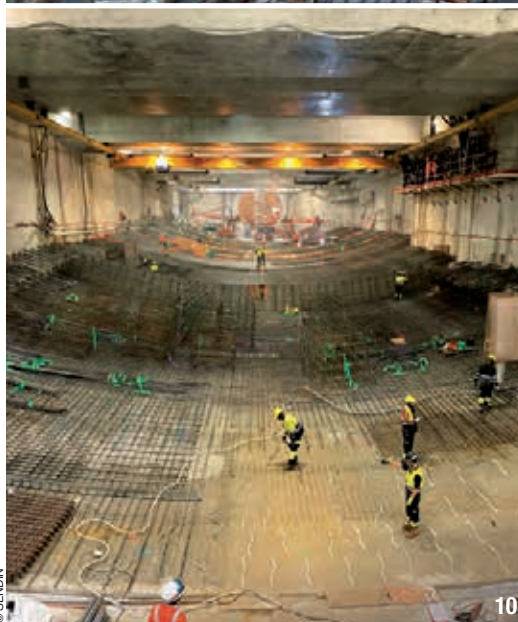
La politique de recrutement de Sendin pour les ingénieurs ou ingénieures travaux est actuellement de 50/50. Le résultat n'est pas toujours à la hauteur de cette volonté.

« Néanmoins, nous intégrons de plus en plus de femmes pour les postes directeur de travaux et ingénieur de travaux, poursuit Karima Zennouche. Elles sont présentes dans les équipes QSE et dans les postes administratifs, logistiques ainsi que dans les services de "décorticage". »



9

© SENDIN



10

© SENDIN



11

© SENDIN



12

© SENDIN



13

© SENDIN



14

© SENDIN



15

© SENDIN

Par ailleurs, afin d'optimiser la progression des femmes dans le groupe et de les accompagner dans l'évolution de leur parcours professionnel, Sendin travaille à la mise en place de plans de formation spécifiques, l'objectif étant de combattre les stéréotypes en augmentant progressivement la proportion de femmes présentes à des postes d'encadrement opérationnel.

HS2 : " CENTRAL C1 ALIGN " ET " N1, N2 - BBV VINCI "

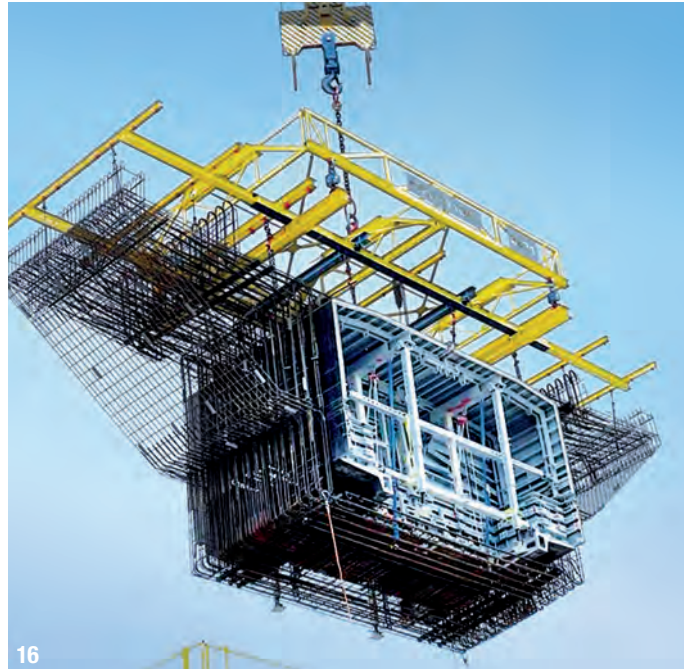
Un des projets en cours parmi les plus importants pour Sendin est actuellement le tronçon "Central C1" de la ligne nouvelle HS2, confiée au groupement ALIGN.

Le groupement ALIGN est en charge de la réalisation de ce tronçon de 21,6 km au nord-ouest de Londres comprenant un viaduc de 3,4 km (Colne Valley Viaduct) et deux tunnels de 16,04 km (Chiltern Tunnels) (voir interview de David Emms, directeur de ALIGN dans ce même numéro).

Sur cette section Sendin assure la fourniture et la pose des voussoirs du viaduc de Colne Valley ainsi que la fourniture des armatures des piles et des culées du viaduc et la fourniture des armatures pour les segments de voussoirs du tunnel de Chiltern.

Sendin intervient également sur les tronçons N1 et N2 attribués au groupement Balfour Beatty Vinci (BBV) pour lesquels elle fournit les segments du tunnel de Bromford (5,6 km).

À noter que dans le cadre de ces chantiers et, pour y participer - Brexit oblige -, Karima Zennouche a préparé et finalisé la création, en Angleterre, d'une filiale - Sendin Ltd, basée à Londres, qui emploie 54 personnes.



16
© SENDIN

16- La cage d'armatures d'un voussoir pour le viaduc de Colne Valley sur la future Ligne HS2 en Angleterre.

17- Piédroit et dalle sur le chantier de la liaison CDG Express entre Paris-Gare de l'Est et l'aéroport Paris-Charles de Gaulle.

18- Chantier de la buse de l'Eure pour la traversée de la vallée de l'Iton.

CENTRAL C1 - ALIGN : PRÈS DE 20 000 TONNES D'ARMATURES

Pour le viaduc de Colne Valley, les segments sont fabriqués sur le site à côté de l'usine de préfabrication des voussoirs. Pour les piles et les culées, les armatures sont fabriquées en France (Chilly-Mazarin) et livrées sur le site en coupé-çonné. Cela représente un total de 8 000 t d'armatures pour les segments dont 800 t pour les voussoirs sur piles. La pose est assurée par la poutre de lancement de Bouygues TP. Pour le tunnel de Chiltern, les segments (7 par voussoir) sont préfabriqués en France dans l'usine de Chilly-Mazarin et sont livrés dans l'usine de préfabrication.

« Pour ce chantier, la certification AFCAB dont nous disposons n'a pas été suffisante, poursuit Jérôme Brard. Il a été nécessaire de faire certifier nos armatures selon les normes britanniques CARES, délivrée par l'autorité de certification britannique pour les aciers d'armature qui est un organisme indépendant délivrant une certification aux entreprises qui fournissent des matériaux, des composants ou fournissent des services dans l'industrie du béton armé. De ce fait, nos unités de production de Chilly-Mazarin et de Teruel ainsi que nous fournisseurs disposent désormais de cette certification pour le coupé-çonné et l'assemblage par soudure. » Pour Sendin, la fin du chantier des segments du viaduc, qui a démarré en décembre 2021 est prévue en avril 2024. Pour les segments du tunnel, les travaux ont commencé début 2022 et s'achèveront à l'été 2023.

GRAND PARIS EXPRESS : PRÈS DE 80% DES ARMATURES DE GÉNIE CIVIL

Si les projets ne manquent pas, il en est un, en France celui-là, qui confirme l'implication du groupe dans les réalisations marquantes du secteur des Travaux Publics.

« Nous fournissons environ 80% des armatures de l'ensemble des projets du Grand Paris Express et de l'ordre de 70% de la pose, indique Jérôme Brard. Nous intervenons sur la totalité de la Ligne 15, les Lignes 16-1, 16-2 et 16-3, les Lignes 18-1 et 18-2, la liaison CDG Express entre la gare de l'Est et l'aéroport Roissy - Charles-de-Gaulle, le prolongement d'Eole à l'ouest avec la gare souterraine sous le CNIT à Paris- La Défense. »



17
© SENDIN



18
© SENDIN

Sendin est présent sur le chantier de troisième ligne du métro de Toulouse - Ligne C - d'une longueur de 27 km dont 5 km en aérien, dont le pic des travaux se situera entre fin 2023 et 2026, avec l'arrivée du premier des 5 tunneliers à la fin de cette année. Menée par Tisséo, elle s'accompagne également du prolongement de la Ligne B du métro et de la transformation de la Ligne T2 du tramway en navette aéroportuaire. La troisième ligne de métro, officiellement baptisée "Ligne C" par Tisséo, reliera Colomiers à Labège, desservant au passage Airbus, la gare Matabiau et les zones d'activités du sud-est de Toulouse.

Le groupe participe également aux travaux de l'autoroute A69 "Toulouse-Castres" qui viennent de débiter.

Par ailleurs, il est présent sur plusieurs projets dont les marchés viennent d'être attribués : CEA de Valduc en Côte d'Or, de Grammat dans le Lot, de Cadarache dans les Bouches-du-Rhône.

Evoquant le présent immédiat et l'avenir proche, Jérôme Brard d'indiquer : « *Sendin se prépare également pour participer aux grands travaux à venir et notamment le programme de construction de trois paires d'EPR.* »



19

© SENDIN

Il travaille désormais avec de nouvelles technologies : la réalité augmentée qui permet de visualiser un modèle numérique à l'échelle, sur site et à partir d'un appareil mobile, et peut accompagner ainsi une prise de décision immédiate lors d'un problème ou une estimation pour les parties prenantes d'un projet.

19- La technologie dont dispose Sendin lui permet de proposer à ses clients des pièces d'armatures complètes, préassemblées dans ses usines.

Le groupe met un point d'honneur à un investissement constant pour la modernisation de ces unités de productions : machines de dernière génération ; gestion des stocks et de la production via big data, ... □

1- Voir *Travaux* n°985 - mars 2023.

CENTRE ARTURO SENDIN : DOUBLE OBJECTIF

Sendin est le leader français de l'armature avec de grands techniciens qui ont bénéficié de ce qu'il est possible d'appeler une formation "naturelle" à savoir une formation de pair à pair sur les chantiers. Son PDG Sergio Sendin souhaite apporter quelques lettres de noblesse à son métier en lui donnant une reconnaissance générale sous forme de "diplôme". De manière très récente, le code emploi "ferrailleur" est apparu dans les bases de données publiques, et il n'existe absolument aucune formation professionnelle - CAP ou titre professionnel - autour de ce métier.

« *Ce projet de centre de formation est important pour le métier en général mais aussi pour préparer l'entreprise à plusieurs défis, ajoute Karima Zennouche : nous allons faire face, comme nombre d'entreprises, à un problème de pyramide des âges, puisque nos experts vont progressivement partir à la retraite et nous avons une nouvelle génération à former avec des projets qui sont à la fois de plus en plus techniques - le programme français à l'horizon 2030 avec les EPR nouvelle génération - et qui vont nécessiter beaucoup d'armaturiers et beaucoup d'armaturiers très formés. Le métier évolue de manière significative par ailleurs tant au niveau de la qualité que de la sécurité, qu'avec l'arrivée des technologies BIM qui seront de plus en plus utilisées même par les armaturiers pour suivre les cartons de montage et les phasages sur le chantier ainsi que de nouveaux gestes du métier.*

Notre volonté est de pouvoir préparer les armaturiers de demain avec une formation reconnue, pouvant être partagées par le plus grand nombre. »

Le projet est donc double : il y a, d'une part, la création d'une certification puisque qu'une possibilité est désormais ouverte par la loi pour la

liberté de choisir son avenir professionnel ce qui permet aujourd'hui aux entreprises de proposer la création de certifications, ce qui n'était pas le cas auparavant, et d'autre part, son deuxième objectif est de créer un centre de formation qui sera un CFA d'entreprise.

« *La démarche est en cours, poursuit-elle. Nous préparons le dépôt de la certification et travaillons à l'inscription de notre métier sur la liste des métiers en particulière évolution ou émergence de France Compétences*. Cette inscription nous permettra d'accéder à la procédure simplifiée d'inscription de la certification et gagner un temps considérable dans la préparation des armaturiers aux enjeux d'aujourd'hui et demain.* »

L'ensemble des armaturiers de l'entreprise, à l'initiative de Sergio Sendin, passeront ce diplôme par l'intermédiaire de la Validation des Acquis d'Expérience**, ce qui donnera une reconnaissance à leur travail fourni depuis longtemps car nous avons la chance d'avoir des salariés qui sont très fidèles à l'entreprise. C'est une manière de passer un diplôme en validant l'expérience professionnelle.

Le centre de formation s'appellera "Arturo Sendin", du nom du fondateur de l'entreprise.

* Créée le 1^{er} janvier 2019, par la loi pour la liberté de choisir son avenir professionnel du 5 septembre 2018, France compétences a pour mission d'assurer le financement, la régulation et l'amélioration du système de la formation professionnelle et de l'apprentissage.

**La Validation des Acquis d'Expérience (VAE) s'adresse à toute personne qui souhaite faire reconnaître ses acquis professionnels par un diplôme ou un titre à finalité professionnelle. Toute personne, quels que soient son âge, sa nationalité, son statut et son niveau de formation, qui justifie d'au moins 1 an d'expérience en rapport direct avec la certification visée, peut prétendre à la VAE.



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr



1
© ALIGN

COLNE VALLEY VIADUCT

AUTEURS : MARTIN KLEIN, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - DAMIEN LEROYER, METHODS MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FAÏÇAL BATINE, TECHNICAL MANAGER, VSL - JULIEN BOITEUX, RESPONSABLE ETUDES STRUCTURES, RENDEL LTD (GROUPE INGÉROP) - BRAHIM DJESSAS, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS DT

LE COLNE VALLEY VIADUCT SERA LE VIADUC FERROVIAIRE LE PLUS LONG DU ROYAUME-UNI. L'AMBITION DU GOUVERNEMENT BRITANNIQUE EST QU'IL SOIT L'OUVRAGE D'ART EMBLÉMATIQUE DE LA LIGNE HS2. IL MARQUE AUSSI UNE ÉTAPE IMPORTANTE DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES D'ART AU ROYAUME-UNI CAR C'EST L'OUVRAGE QUI RÉINTRODUIT DANS LE PAYS LA TECHNIQUE DES PONTS EN VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS AVEC PRÉCONTRAINTÉ INTÉRIEURE AU BÉTON, APRÈS 30 ANS DE MORATOIRE SUR LA CONSTRUCTION DE CE TYPE D'OUVRAGE.

INTRODUCTION

Le *Colne Valley viaduct* est situé à l'extrémité Nord-Ouest de Londres, à proximité de Denham dans le Buckinghamshire. Il permet à la ligne de traverser la vallée de la rivière Colne ainsi qu'une série de lacs formés sur le site de carrières de graviers (figure 1). L'ouvrage est compris dans la section C1 du projet, qui inclut également

le *Chiltern tunnel* plus au nord. Ce lot a été attribué en 2017 en conception-réalisation au groupement Align, constitué de Bouygues Travaux Publics (60%), VolkerFitzpatrick (20%) et Sir Robert McAlpine (20%).

Une ingénierie intégrée, AlignD, a été mise en place pour effectuer l'ensemble des études, depuis l'avant-projet *scheme design* jusqu'aux études d'exécution,

1- Le chantier dans l'environnement des lacs.

1- The work-site in the lake environment.

ainsi que l'élaboration des dossiers administratifs nécessaires et l'assistance en phase travaux. Elle inclut Jacobs, Ingérop et sa filiale Rendel Ltd., l'architecte Grimshaw et le paysagiste Lda, ainsi que le groupement constructeur Align, qui détient une part de 20% dans le groupement d'ingénierie pour affirmer et renforcer la dynamique de collaboration essentielle à la réussite du projet.



© ALIGN 2



© ALIGN 3

2- Vue d'architecte.

3- Vue d'architecte - Travées spéciales Arch form deck.

4- Coupe transversale fonctionnelle.

2- Architect's view.

3- Architect's view - Special arch-form deck spans.

4- Functional cross section.

ENVIRONNEMENT

La vallée de la Colne est une des premières zones naturelles en limite Nord-Ouest de Londres.

La craie, formation géologique principale de la zone, abrite une nappe phréatique qui est la principale source d'eau potable de la région.

L'ensemble des travaux est organisé pour protéger cette nappe, depuis la définition des méthodes de forage des pieux jusqu'à la gestion des eaux de chantier, en passant par une surveillance renforcée de la qualité de l'eau. Les travaux du lot C1 contribuent également aux objectifs de biodiversité de HS2, en créant une zone de 130 ha d'habitats diversifiés située immédiatement au nord du viaduc, sur la zone où sont implantées les emprises de chantier.

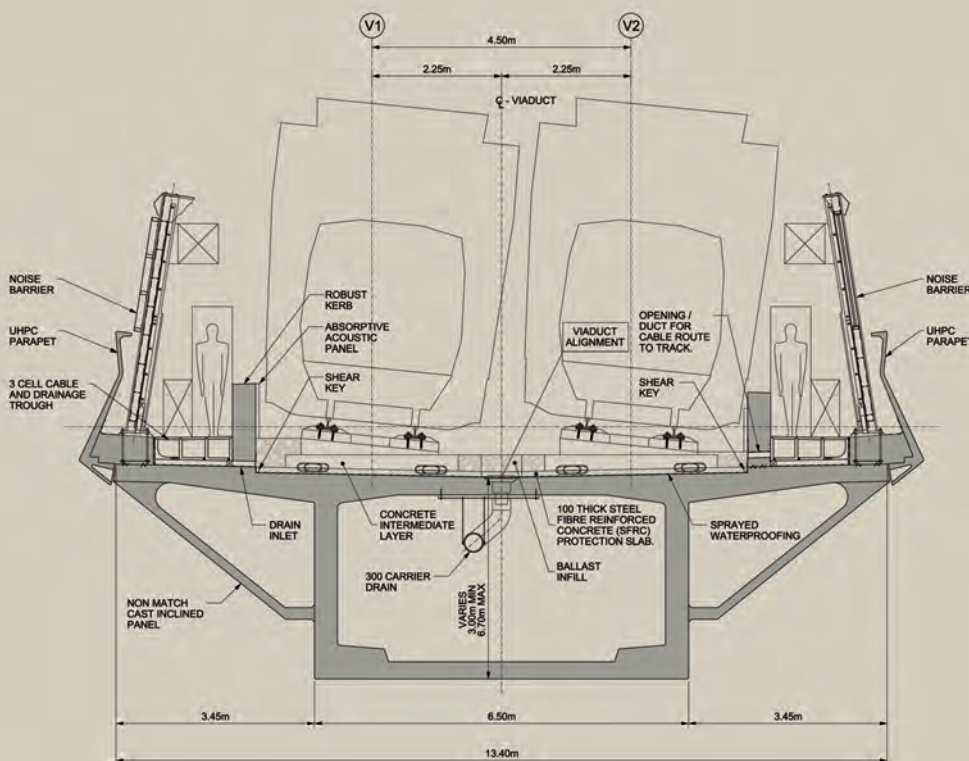
Le projet est également moteur dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, non seulement en phase d'exploitation en augmentant l'offre de transport ferroviaire bas carbone, mais encore en phase de construction de l'infrastructure.

En phase de conception, le critère carbone est systématiquement intégré dans le choix des solutions techniques et dans les spécifications des bétons. En phase travaux, l'effort se porte entre autres sur l'optimisation des quantités mises en œuvre pour les structures provisoires (pistes, installations) et la réduction de l'impact des transports.

CONCEPTION D'ENSEMBLE

Le *Colne valley viaduct* se situe quelques centaines de mètres après la sortie des tunnels qui connectent la ligne aux deux gares situées dans le centre de Londres. C'est le premier ouvrage à l'air libre en sortant des tunnels. ▷

COUPE TRANSVERSALE FONCTIONNELLE



© ALIGN 4

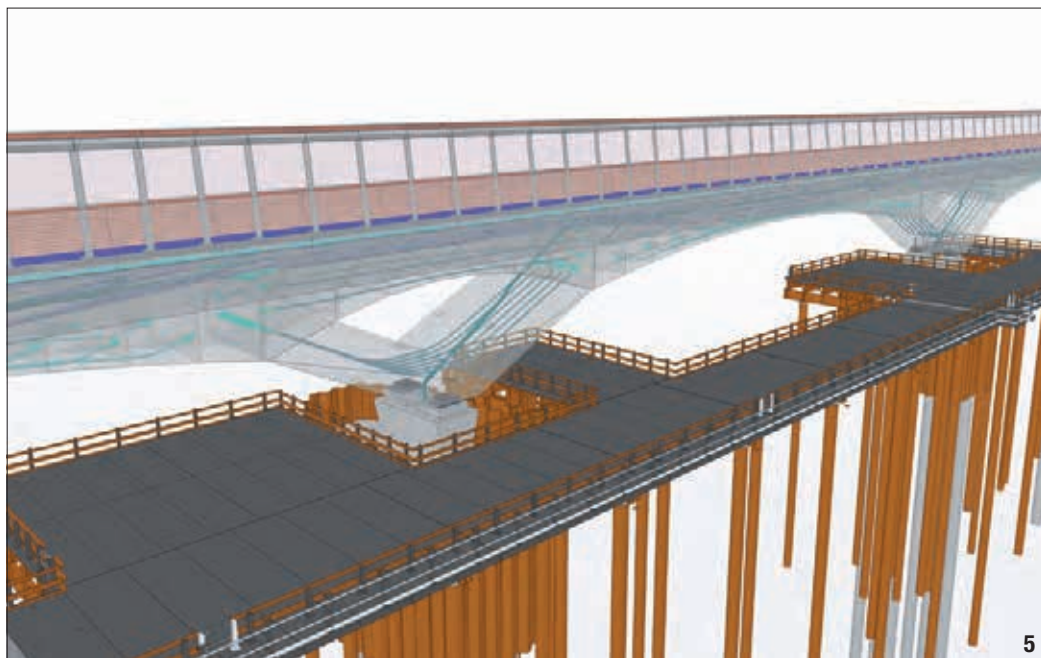
Il est situé dans une zone naturelle protégée et le gouvernement britannique souhaitait donc qu'un effort architectural particulier soit fait pour l'insérer harmonieusement dans cette vallée et en faire un ouvrage emblématique de la ligne.

Le tracé de la ligne imposait un ouvrage assez bas, le niveau du rail étant situé entre 10 et 15 m au-dessus du terrain existant. Le choix architectural s'est alors porté sur un ouvrage en caisson béton précontraint à inertie variable, avec des travées comprises entre 29 m et 80 m selon la topographie et les obstacles à franchir (figure 2) et comportant des travées emblématiques marquant la traversée des lacs (figure 3).

L'ouvrage supporte deux voies de circulation à 320 km/h (figure 4). Il est particulièrement long, 3400 m, et est donc divisé en plusieurs sections afin de permettre l'installation de joints de dilatation de rails le long du tablier. L'ouvrage est découpé en quatre tabliers continus successifs qui sont séparés par des travées simples de 40 m, dites "travées inertes", dont la fonction sera de supporter les joints de rail (figure 6).

INGÉNIERIE NUMÉRIQUE

Une maquette numérique complète de l'ouvrage a été développée, de manière collaborative et dans un environnement commun de données en ligne (figure 5). Elle est utilisée en phase études (résolution des conflits, génération des plans) ainsi qu'en phase travaux (suivi qualité), l'objectif étant d'y inclure toutes les informations qui seront nécessaires à l'exploitant pour organiser la maintenance de l'ouvrage. Une modélisation 3D des ferrillages a aussi été faite sur les parties les plus



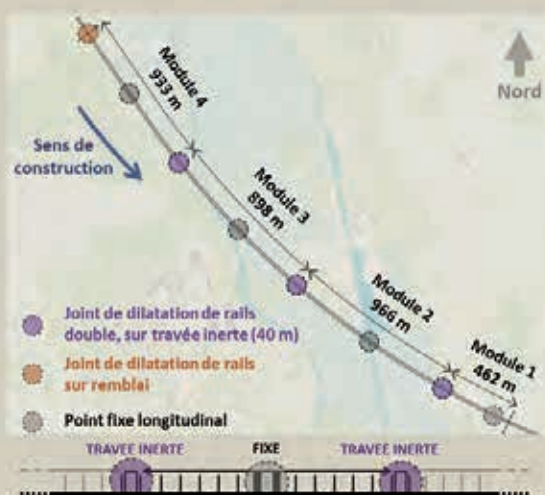
5

© ALIGN

- 5- Maquette numérique.
- 6- Articulation du tablier.
- 7- Une pile courante.
- 8- Fonctionnement des points fixes longitudinaux.

- 5- Computer model.
- 6- Deck joint.
- 7- A standard pier.
- 8- Functioning of longitudinal fixed points.

ARTICULATION DU TABLIER



6

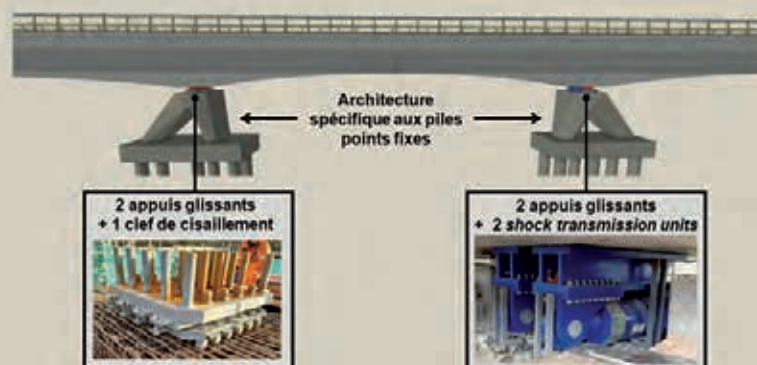
© ALIGN



7

© ALIGN

FONCTIONNEMENT DES POINTS FIXES LONGITUDINAUX



8

© ALIGN



© ALIGN 9

complexes afin de faciliter l'assemblage des armatures et minimiser les conflits entre les barres et les multiples inserts. Ces parties incluent les piles spéciales, *arch form deck* (figure 3) ainsi que les voussoirs spéciaux, sur culées et sur piles.

FONDATEMENTS ET PILES

Le viaduc est fondé sur des pieux en béton forés dans la Craie, formation géologique qui constitue le substratum

9- Voussoirs à l'usine de préfabrication.

10- Tablier en cours de construction.

11- Le lanceur.

9- Segments in precasting plant.

10- Deck undergoing construction.

11- The launcher.

de cette région de l'Angleterre. Les piles courantes sont fondées sur quatre ou six pieux de diamètre 1,5 m, et de longueur maximale 54 m (certaines piles spéciales sont fondées sur des pieux de diamètre 1,80 m). Dans la section traversant les lacs, les travaux sont réalisés à partir d'une estacade provisoire (figure 1).

Le dimensionnement des fondations a été fait sur la base d'essais de pieux. Huit pieux d'essais ont été construits

et testés en utilisant la méthode de la cellule Osterberg, consistant à placer un dispositif de vérinage à un endroit soigneusement choisi le long du pieu puis à mesurer les déformations selon l'effort introduit dans les vérins. La relation établie entre force et déplacement permet ensuite de dimensionner au plus juste les longueurs de pieux.

Les appuis sont construits à l'abri de batardeaux. La conception des piles repose sur un assemblage de facettes et de textures matricées et sont bétonnées toute hauteur en une fois (figure 7).

Les piles sont surmontées d'appareils d'appui à pot sphériques, munis de plaques afin de permettre leur remplacement durant la vie de l'ouvrage.

La reprise des efforts horizontaux longitudinaux, par exemple le freinage et le démarrage des trains, est faite sur chaque module par deux piles consécutives dites "piles points fixes" comportant des dispositifs en plus des appareils d'appui (figures 6 et 8) :

→ Une pile complètement fixe comporte une clef de cisaillement métallique, appareil d'appui fixe sans plaque de glissement dont la fonction est uniquement de reprendre les efforts horizontaux ;

→ Une pile fixe uniquement sous charges rapide (freinage-démarrage des trains) comporte une paire de *shock transmission units* (STU), libres de se déplacer sous efforts de dilatation et contraction thermique mais qui se bloquent sous sollicitations dynamiques.

Ce choix de conception permet de diviser les efforts de freinage et démarrage entre les deux piles, tout en évitant les efforts internes parasites, d'origine principalement thermique, qui seraient apparus si elles étaient toutes les deux complètement fixes.



© ALIGN 10



© ALIGN 11

PRÉFABRICATION DES VOUSOIRS DU TABLIER

Le viaduc comporte 1 000 voussoirs préfabriqués, sections élémentaires de tablier dont le poids varie entre 60 et 140 t (figure 9). La fabrication est faite par la méthode des joints conjugués, chaque voussoir, en partant du voussoir sur pile, étant coulé contre le précédent afin qu'ils s'assemblent ensuite parfaitement lors de l'installation.

Une particularité de cet ouvrage est la très grande diversité des géométries de voussoir, en hauteur ainsi qu'en longueur.

La hauteur des voussoirs est variable, du fait de la courbe de l'intrados. Leur longueur varie elle-aussi, entre 2 m pour les demi-voussoirs sur pile et 4 m pour certains voussoirs de travées de rive, le facteur principal étant la capacité de levage du lanceur (figures 10 et 11).

Par ailleurs, les longueurs des travées sont également variables le long de l'ouvrage. L'impératif architectural était d'avoir un effet d'arc aussi harmonieux que possible sur toutes les travées, indépendamment de leur longueur. Un compromis a donc été trouvé entre l'ambition architecturale, qui pourrait en théorie mener à avoir autant de découpage en voussoirs qu'il y a de travées différentes et l'impératif d'industrialiser au mieux la préfabrication, conduisant à limiter cette diversité.

Ainsi, une série de neuf demi-travées types (ou demi-fléaux) a été définie. Ces demi-fléaux sont utilisés le long de l'ouvrage pour produire toutes les



12
© ALIGN

différentes travées, l'ajustement de la longueur finale étant fait avec des voussoirs de hauteur constante situés à mi-travée. Ainsi, avec cette méthode, les courbes restent harmonieuses même avec une série de travées dont toutes les longueurs sont différentes (figure 3). Malgré cette standardisation partielle, l'ingénierie intégrant une telle diversité de géométries reste complexe. Les différentes disciplines intervenant dans la conception se retrouvent étroitement imbriquées : conception structurelle, conception des cellules de préfabrication, développement du système de précontrainte, ingénierie des méthodes de préfabrication, méthodes de pose au lanceur... Il était impossible d'imaginer

12- L'aire de préfabrication des voussoirs.

13- Cellule de préfabrication des voussoirs.

14- Palonnier automatique de levage des voussoirs.

12- Segment precasting area.

13- Segment precasting unit.

14- Automatic segment lifting beam.

une approche simplement séquentielle ou en silo. Le fonctionnement en ingénierie intégrée, regroupant conception et méthodes depuis les études préliminaires jusqu'aux études d'exécution, a été essentiel à la réussite du projet. Les voussoirs sont préfabriqués sur place avec une chaîne complète (figure 12) :

→ Centrale à béton ;

→ Aire de ferrailage ;

→ Cellules de préfabrication.

Un bâtiment dédié aux cellules a été construit pour :

→ Limiter les nuisances sonores et visuelles pour le voisinage pendant le travail de nuit (cycle courant de 1 poste et demi) ;



13
© ALIGN



14
© ALIGN



15



16

15- Le tablier construit.

16- Dispositifs de stabilité de fléau.

17- Fonctionnement structurel des Arch form decks.

15- The completed deck.

16- Cantilever section stabilising systems.

17- Structural functioning of arch-form decks.

→ Éviter les baisses de production dues aux intempéries.

Pour suivre la cadence de pose, 3 cellules ont été installées (figure 13) :

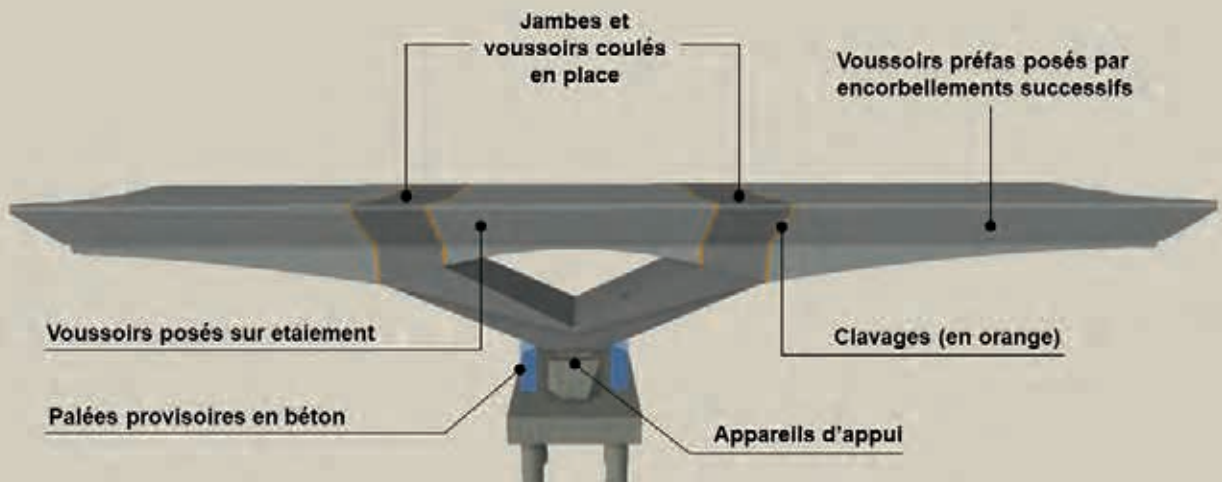
→ 2 pour les voussoirs courants et déviateurs ;

→ 1 pour les voussoirs sur piles, cette cellule pouvant également être convertie en cellule pour voussoirs courants.

Les cellules s'adaptent à une hauteur pouvant aller de 3,00 m à 6,70 m.

Le transport jusqu'au front d'érection est assuré par fardier, remorque à équilibrage hydraulique à 6 essieux et son tracteur, circulant sur l'emprise du chantier et sur le tablier. ▷

FONCTIONNEMENT STRUCTUREL DES ARCH FORM DECKS



17

La formulation du béton permet d'atteindre la résistance minimum nécessaire au décoffrage dès le lendemain matin pour avoir un cycle courant de 1 jour.

La manipulation des voussoirs s'effectue par un palonnier automatique ne nécessitant pas d'intervention humaine sur ou dans le voussoir (figure 14).

INSTALLATION DU TABLIER

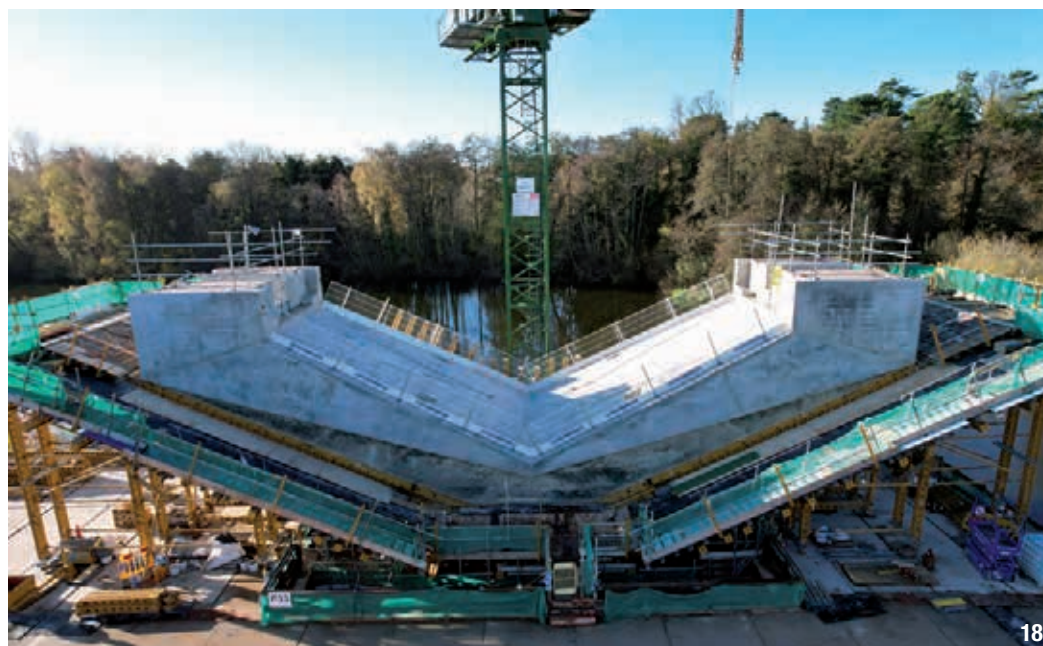
Le matériel de levage utilisé pour l'érection de l'ensemble des travées est une poutre de lancement (figure 10).

Les voussoirs sont installés par la méthode des encorbellements successifs, c'est-à-dire qu'ils sont installés par la poutre de lancement de part et d'autre de chaque pile, en équilibre, l'ensemble des voussoirs en appui sur une pile constituant un "fléau". Une fois l'assemblage d'un fléau terminé, il est connecté à la partie déjà construite de l'ouvrage et le lanceur se déplace pour assembler le fléau suivant. Une poutre appartenant à l'un des membres du groupement était directement disponible, ses capacités (longueur de lancement de 78 m et capacité de levage de 140 t) correspondaient au design préliminaire, il a alors été décidé de l'utiliser au lieu d'en fabriquer une spécialement pour le projet.

Le lanceur mesure 150 m de long et 18 m de haut, il pèse 700 t et permet d'assembler une paire en encorbellement simultanément. Des essais en soufflerie sur maquette ont dû être réalisés pour justifier les efforts de vent de tempête sur le lanceur.

Pour respecter une harmonie architecturale (les piles étant assez courtes), la largeur en tête des piles est réduite au minimum et ne permet pas d'y installer les cales provisoires nécessaires à la stabilité temporaire du fléau (figure 15). La stabilité est alors assurée par deux palées provisoires métalliques implantées de part et d'autre de la pile sous la première paire du fléau courant (figure 16). Elles sont fondées directement sur la semelle permanente et se contreventent autour de la tête de pile. Les palées métalliques sont conçues avec des éléments modulables pour être réutilisées de pile en pile, s'adapter aux différentes hauteurs et enfin limiter le poids par élément pour faciliter la manutention à la grue.

La stabilité du tablier en cours d'installation requiert aussi un clouage, consistant à installer des câbles de précontrainte provisoires pour apporter une force stabilisatrice.



18

© ALIGN

Il comprend :

- Une boucle de clouage préliminaire en tête de pile, réduite au minimum pour assurer la stabilité du lanceur sur le voussoir sur pile avant le transfert de charge sur palée provisoire ;
- Un clouage principal, constitué de câbles rectilignes et ancrés dans la semelle pour assurer la stabilité du fléau complet en cas de chute de voussoir ou de montage asymétrique

18- Arch form deck bétonné.
19- Schéma du système de précontrainte PL3.

18- Concreted arch-form deck.
19- Diagram of PL3 prestressing system.

ARCH FORM DECK

La signature architecturale principale de l'ouvrage est la section traversant les lacs, où le tablier se divise en deux afin d'évoquer les ricochets d'une pierre sur la surface de l'eau et d'accentuer la forme d'arche de l'intrados du tablier (figure 3).

Du point de vue du fonctionnement structurel il s'agit en fait d'un fléau de 80 m dont la partie centrale s'apparente à un méga-voussoir sur pile évidée (figure 17). Les appareils d'appui sont situés sous le nœud en bas des deux jambes constituant le "V". Contrairement aux autres appareils d'appui du viaduc, ils sont positionnés avec la plaque de glissement en bas afin d'éviter d'excentrer la réaction d'appui par rapport à la structure du "V".

Une méthode spécifique est mise en place pour construire ces parties d'ouvrage.

Tout d'abord, les deux jambes du "V", puis leurs parties supérieures du tablier sont coulées en place (figure 18).

L'inclinaison à 24 degrés des jambes impose de recourir à un coffrage totalement fermé, y compris en face supérieure. Des contreflèches sont introduites sur le coffrage pour prendre en compte les déformations du coffrage et les tassements différentiels entre les deux supports du coffrage : la semelle permanente et l'estacade.

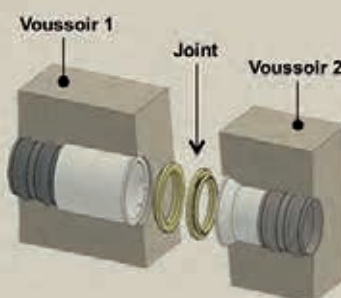
Afin d'obtenir une excellente qualité de parement qui inclut notamment de nombreuses faces matricées, du béton autoplaçant est mis en place gravitairement et associé à l'utilisation d'une membrane absorbant les bulles d'air.

SCHÉMA DU SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTÉ PL3

À l'ancrage



Aux joints de voussoirs



19

© ALIGN

Une palée provisoire en béton sur la semelle permanente est intégrée à travers le coffrage et assure la stabilité de l'ouvrage après le décentrement du coffrage.

5 voussoirs préfabriqués sont ensuite assemblés sur étalement avant d'être clavés entre les jambes. Une précontrainte permanente maintient alors le tout en place.

Puis, la première paire de voussoirs préfabriqués de fléau est elle aussi posée sur étalement s'appuyant sur l'estacade afin de réaliser un joint de clavage. Les joints sont en effet non conjugués ici et cela permet de régler finement la géométrie du fléau.

Enfin, le reste du fléau est érigé par encorbellements successifs.

LE SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTÉ

La conception de la précontrainte est typique des ouvrages construits par encorbellements successifs : précontrainte de fléau installée lors du montage des voussoirs, précontrainte de continuité comprimant la fibre inférieure du tablier à mi-travée après clavage, et précontrainte extérieure cheminant à l'intérieur du caisson.

La spécificité du projet est plutôt le système de précontrainte développé et implémenté pour répondre aux exigences spécifiques du projet.

Les ouvrages en voussoirs préfabriqués avec précontrainte intérieure au béton étaient soumis à un moratoire au Royaume-Uni depuis les années 1990 en raison d'inquiétudes sur la durabilité de la précontrainte, en particulier au passage des joints entre éléments préfabriqués : la condition pour réintroduire cette technique est que la précontrainte respecte des exigences particulièrement strictes de durabilité. La précontrainte intérieure doit en effet être de niveau *protection level 3* (PL3)

PRINCIPALES QUANTITÉS

TABLIER

LONGUEUR : 3 380 m, constitué de 57 travées de longueur variant de 28 m à 80 m

SURFACE TABLIER : 45 292 m²

VOLUME BÉTON : 51 433 m³ (C55/67)

ARMATURES PASSIVES : 12 869 t, ratio 250 kg/m³

ARMATURES DE PRÉCONTRAINTES : 2 182 t, ratio 42 kg/m³

PILES ET CULÉES

**NOMBRE : 56 piles coulées en place, hauteur moyenne 6,2 m
2 culées coulées en place.**

VOLUME BÉTON : 21 465 m³ (C40/50)

ARMATURES PASSIVES : 3 915 t, ratio 182 kg/m³

FONDACTIONS PROFONDES

PIEUX : 292 pieux forés, longueur moyenne 44 m

VOLUME BÉTON : 24 256 m³ (C40/50)

QUANTITÉS ARMATURES PASSIVES : 1 549 t, ratio 64 kg/m³

ÉQUIPEMENTS

ÉCRANS ACOUSTIQUES : 24 863 m²

CORNICHE BFUP : 18 015 m²

APPAREILS D'APPUI SPHÉRIQUES : 128 unités de capacité maximale 64 700 kN

SHOCK TRANSMISSION UNITS : 8 unités de capacité maximale 4 250 kN

CLÉS DE CISAILLEMENT POUR POINT FIXE : 3 unités de capacité maximale 21 400 kN

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : HS2 Ltd.

ENTREPRISE (conception-construction) : Align : Bouygues TP (60 %), VolkerFitzpatrick (20 %), Sir Robert McAlpine (20 %)

CONCEPTEUR INTÉGRÉ : Align-D : Jacobs, Ingérop/Rendel, Grimshaw (architecte) et Lda (paysagiste)

CELLULES DE PRÉFABRICATION DES VOUSSOIRS, SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTÉ, INSTALLATION DU TABLIER ET OUVRAGES PROVISOIRES ASSOCIÉS : Vsl

FONDACTIONS : Keller-Vsl

SEMELLES, PILES, ARCH FORM DECK : Kilnbridge

ARMATURES DES VOUSSOIRS : Sendin

APPAREILS D'APPUI SPHÉRIQUES, CLEF DE CISAILLEMENT ET SHOCK TRANSMISSION UNITS : Maurer

selon la terminologie de la Fédération internationale du béton (FIB), c'est-à-dire qu'elle doit être complètement encapsulée dans sa gaine afin de minimiser toute circulation d'agents corrosifs vers l'intérieur, et que la qualité de cette encapsulation doit pouvoir être mesurée tout au long de la vie de l'ouvrage.

L'utilisation du système d'ancrage VSL type GC associé aux gaines en polymère PT-Plus® permet de fournir une encapsulation étanche aux câbles. Un coupleur a été introduit au niveau des joints entre voussoirs afin de garantir la continuité totale de l'encapsulation (figure 19). Ce système crée une isolation électrique entre le câble de précontrainte et la cage de ferrailage avoisinante, et c'est la mesure de cette résistance électrique qui permet de surveiller l'intégrité de l'encapsulation à tout moment de la vie de l'ouvrage. Ce système offre le niveau élevé de protection requis (PL3), permettant la surveillance et la protection contre la corrosion due aux agressions extérieures, et permet donc de satisfaire les exigences de HS2.

Plusieurs essais "grandeur nature" ont été développés afin de simuler les contraintes de pose et confirmer les performances du système dans les conditions limites.

Il est à noter que c'est la première fois qu'un tel système est appliqué sur une structure d'une telle envergure (1 000 voussoirs).

La précontrainte extérieure est constituée de torons gainés graissés, injectés au coulis de ciment dans une conduite en PEHD. Cette conception assure un très bon niveau de protection des torons et donne la possibilité au maître d'ouvrage de remplacer les torons un par un avec un impact minimal sur l'exploitation ferroviaire. □

ABSTRACT

COLNE VALLEY VIADUCT

MARTIN KLEIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - DAMIEN LEROYER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FAIÇAL BATINE,VSL - JULIEN BOITEUX, RENDEL LTD (GROUPE INGÉROP) - BRAHIM DJESSAS, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS DT

The Colne Valley viaduct, currently under construction in the north-west of London, will be the longest viaduct of HS2. The UK government requires that it be "a structure of international significance", and a series of architectural features have been introduced to reflect that ambition. It also marks an important step for bridge engineering in the United Kingdom, as it is the first precast segmental viaduct with internal post-tensioning to be built in the country since the ban on such structures in 1992. An internal PT system was developed and implemented to comply with the high standard of durability set by HS2 as a requirement to allow the reintroduction of such structures. □

VIADUCTO DEL VALLE DEL COLNE

MARTIN KLEIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - DAMIEN LEROYER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FAIÇAL BATINE,VSL - JULIEN BOITEUX, RENDEL LTD (GROUPE INGÉROP) - BRAHIM DJESSAS, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS DT

El viaducto del valle del Colne, actualmente en construcción en el noroeste de Londres, será el viaducto más largo del proyecto HS2. El gobierno británico exige que sea "una estructura de importancia internacional", y se han introducido una serie de características arquitectónicas para reflejar esta ambición. Asimismo, marca un hito en la ingeniería de puentes en Reino Unido, al ser el primer viaducto segmentado prefabricado con pretensado interno que se construye en el país desde que se prohibieron este tipo de estructuras en 1992. Se ha desarrollado e implantado un sistema de pretensado interno para cumplir la estricta norma de durabilidad establecida por HS2 como requisito para permitir la reintroducción de este tipo de estructuras. □

HS2 CHILTERN TUNNEL : RÉALISATION DES 43 RAMEAUX DE CONNEXION

AUTEURS : DIDIER JACQUES, DIRECTEUR TRAVAUX SOUTERRAINS, BOUYGUES TP - HUGO CHANSON, RESPONSABLE TRAVAUX, BOUYGUES TP - YASSINE KHEROUA, INGÉNIEUR MÉTHODES PRINCIPAL, BOUYGUES TP - GUILHEM DE LANGLAIS, RESPONSABLE GÉOTECHNICIEN, BOUYGUES TP - HERMINE COURTOIS, INGÉNIEUR TRAVAUX, BOUYGUES TP

DANS LES CHILTERN, AU NORD-OUEST DE LONDRES, LES DEUX TUNNELIERS CECILIA ET FLORENCE VIENNENT DE PASSER LES 12 KM DE CREUSEMENT POUR LA LIGNE GRANDE VITESSE HS2. LA CONSTRUCTION DES RAMEAUX BAT SON PLEIN. CES 43 RAMEAUX, DONT L'ACHÈVEMENT EST PRÉVU POUR DÉBUT 2025, PERMETTRONT L'ÉVACUATION DES PASSAGERS DU TRAIN À GRANDE VITESSE. LEUR CONSTRUCTION, EN PARALLÈLE DU CREUSEMENT DES DEUX TUBES DU TUNNEL, EST UN RÉEL DÉFI. DU TRAITEMENT DE TERRAIN INITIAL À LA CONSTRUCTION DES STRUCTURES EXTERNES EN BÉTON, CHACUNE DES ACTIVITÉS DOIT PERMETTRE LE MAINTIEN DE LA LOGISTIQUE LIÉE AUX TUNNELIERS.



1
© BOUYGUES-TP

PRÉSENTATION DU PROJET

High speed train 2 (HS2) est la future ligne TGV en Angleterre entre Londres et Birmingham (figure 2).

Align JV est un groupement composé de Bouygues Travaux Publics (60%), VolkerFitzpatrick (20%) et Sir Robert McAlpine (20%), en charge de la construction de la section C1 située

au nord-ouest de Londres. Ce lot comprend un tunnel bi-tube de diamètre interne 9,10 m et d'une longueur de 16,04 km.

Les deux tunnels sont connectés par 38 rameaux d'évacuation (figure 3) ainsi que 5 rameaux de connexion aux puits intermédiaires d'évacuation et ventilation.

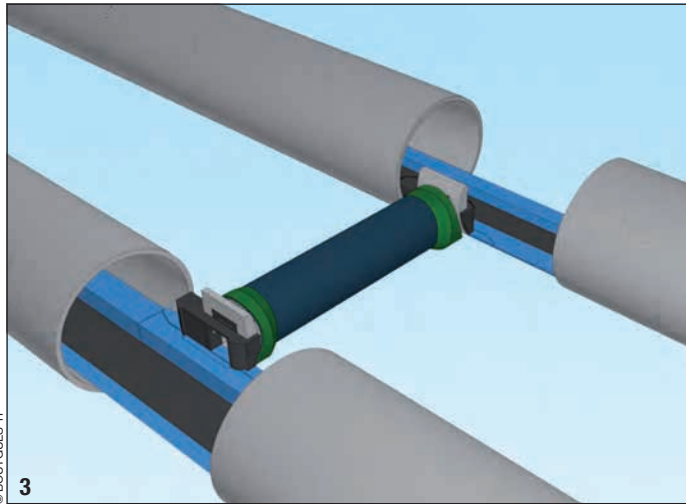
1- Plateforme de travail pour les rameaux avec circulation.

1- Work platform for cross passages with traffic.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET CONCEPTION DU SOUTÈNEMENT

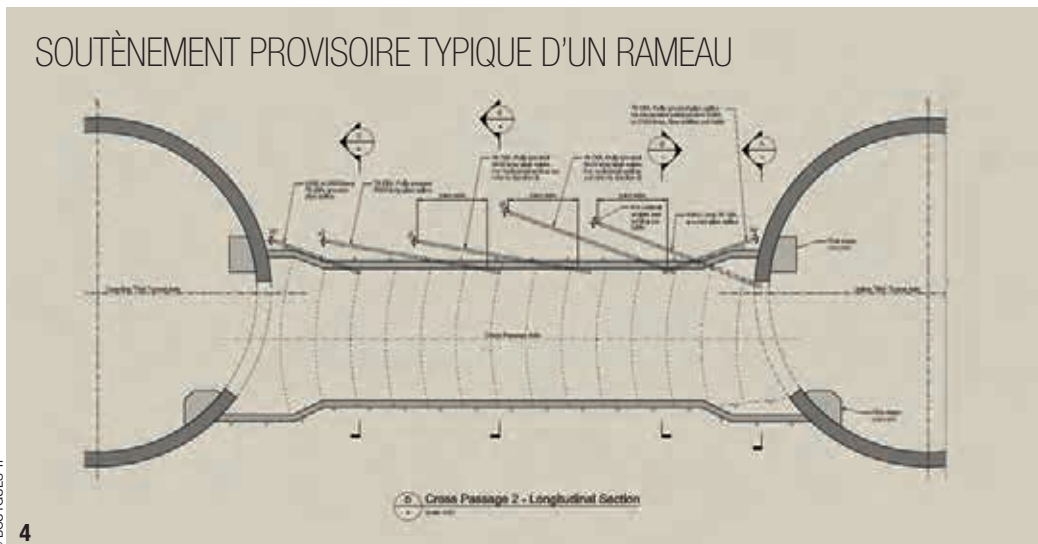
Contexte géologique

Le tracé des deux tunnels est situé sur le flanc Nord-Ouest du synclinal du bassin londonien, dans la région des Chilterns. Cette région vallonnée est constituée de craie qui s'est développée



2- Tracé du tunnel.
3- Modèle 3D d'un rameau de connexion entre les deux tubes.
4- Soutènement provisoire typique d'un rameau.

2- Tunnel alignment.
3- 3D model of a cross passage between the two tubes.
4- Typical temporary supporting structure of a cross passage.



pée sur une puissance de plusieurs centaines de mètres.
Les tunnels et les rameaux de connexion se font donc exclusivement dans la craie.

Différentes formations crayeuses sont traversées et elles ont globalement les mêmes caractéristiques intrinsèques. Les principales différences sont leur concentration en silex, et la présence de *hardgrounds*, des bancs de craie cimentée beaucoup plus durs, mais également très fracturés, présentant des perméabilités très élevées localement ($> 10^{-3}$ m/s).

Hormis ces deux caractéristiques qui diffèrent selon les formations rencontrées, les conceptions du soutènement et des injections vont être définies par la fracturation de la craie au niveau des rameaux (fréquence de fracturation ainsi qu'ouverture des fractures).

La craie étant une roche tendre, elle peut se comporter comme un massif rocheux quand elle est saine, mais aussi comme un sol silteux quand elle est extrêmement érodée et fracturée. La craie passe ainsi à travers toute une gamme de comportements qu'il est délicat d'appréhender uniquement par les reconnaissances de sol.

Une connaissance approfondie de la géologie locale est donc indispensable pour comprendre l'état de la craie à certains endroits (vallées, figures de dissolution, distribution du réseau de failles, etc.).



5

© BOUYGUES-TP

Les Anglais utilisent le Ciria 574 pour classer ces différents types de craie en fonction de l'intensité de la fracturation. Afin de pouvoir définir un pré-soutènement adapté, une simplification et un groupement de cette classification ont été établis en fonction des différents comportements de terrain.

Contexte hydrogéologique

L'excavation des tunnels et des rameaux de connexion se fait dans un des plus grands réservoirs d'eau potable au Royaume-Uni, dans un contexte environnemental très surveillé et politiquement sensible. La qualité de l'eau y est excellente et cela exclut donc l'utilisation de certains produits (bentonite, polymères etc.).

Les hauteurs d'eau rencontrées lors de l'excavation des rameaux varient de 0 à 30 m en voûte. Pour la plupart des rameaux sous nappe (34), la hauteur d'eau moyenne est d'environ 20 m en voûte.

5- Pont mobile pour passage des trains sur pneus.

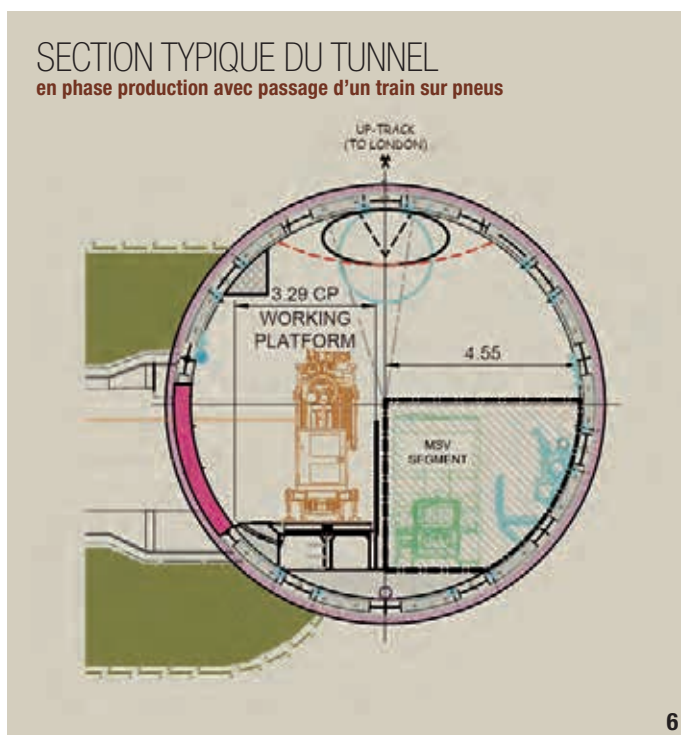
6- Section typique du tunnel en phase production avec passage d'un train sur pneus.

7- Plateforme de travail et installation de chantier pour le creusement.

5- Movable bridge for passage of trains on road.

6- Typical cross section of tunnel in production phase with passage of a train on road.

7- Work platform and construction plant for tunnel driving.



6

© BOUYGUES-TP



7

© BOUYGUES-TP

Conception des traitements de terrain

Le critère retenu consiste à ne pas dépasser la perméabilité maximale avant l'ouverture du tunnel et 10^{-7} m/s.

Conception du soutènement provisoire

La description normée des terrains grâce au Ciria et aux reconnaissances de sol a permis d'établir un pré-soutènement pour chaque rameau.

Les soutènements provisoires ont été réduits au plus simple, allant d'un béton projeté de 200 mm d'épaisseur dans les meilleurs terrains à une voûte parapluie en tubes de 51 mm à 76 mm de diamètre associée à 200 mm de béton projeté, permettant ainsi de se passer de cintres (figure 4).

8- Excavation d'une avance avec un Brokk 400 - Pilote à la face.

9- Excavation d'une avance avec un Brokk 400 - Face ouverte.

8- Excavation by Brokk 400 - Operator at excavation face.

9- Excavation by Brokk 400 excavator - Open face.



© BOUYGUES-TP
8

LA LOGISTIQUE ET LES LEVAGES DANS UN TUNNEL EN PLEINE PRODUCTION :

UNE IMMERSION AU CŒUR DES DISCUSSIONS MÉTHODES

Introduction

Dès les premières réflexions méthodes-travaux, cette problématique s'est avérée être un enjeu essentiel, pour lequel les retours d'expérience des derniers projets (principalement des lignes de métro, avec la plupart des rameaux attaqués depuis les puits et stations) ne pouvaient s'appliquer.

En plus des contraintes liées aux travaux souterrains, le programme impose qu'en parallèle du creusement des tunnels par les deux tunneliers différentes activités soient réalisées à l'avancement, parmi lesquelles la construction du radier du tunnel et des rameaux de connexion.

Dans le cas de la réalisation du radier, cela implique par exemple l'intégration d'un pont mobile dans la zone de coulage pour permettre la passage des trains sur pneus alimentant les tunneliers en voussoirs (figure 5).

La contrainte de maintenir en permanence l'approvisionnement du tunnelier en amont a influencé les méthodes de réalisation ainsi que la conception des ouvrages provisoires et le gabarit des systèmes d'alimentation permettant de réaliser chacune des étapes (traitements de sol, creusement, génie-civil) en toute sécurité.

En toute circonstance, un gabarit de 2,20 m doit être maintenu pour le passage des trains sur pneus pour la logistique en tunnel (figures 1 et 6). ▷

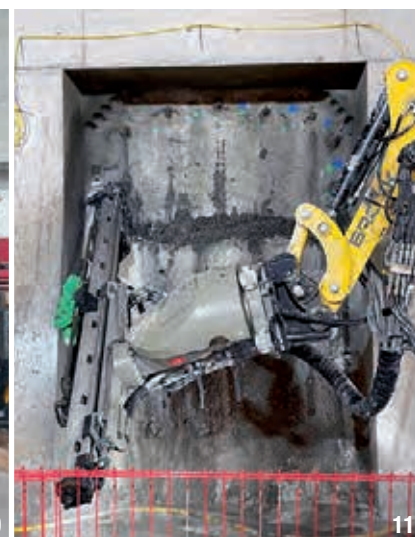


© BOUYGUES-TP
9



10

© BOUYGUES-TP



11

© BOUYGUES-TP

Les installations de chantier pour les rameaux

La réalisation d'un rameau de connexion se décompose en six activités principales :

- Traitement du terrain par injection de coulis micro-ciment ;
- Construction du cadre en béton permettant de soutenir les anneaux du tunnel à l'ouverture des voussoirs (figure 1) ;
- Excavation et béton projeté ;
- Étanchéité par géomembrane ;
- Construction du revêtement interne du rameau ;
- Construction des structures externes pour les portes coupe-feu.

Chaque activité nécessite une installation de chantier adaptée, incluant essentiellement une plateforme de travail, adaptée au besoin de l'activité

en cours et garantissant un passage en toute sécurité des trains sur pneus sans risque pour les ouvriers.

L'installation dimensionnante a été celle pour le traitement de terrain par le co-traitant Vsl (125 m), comprenant les silos et la centrale à coulis, suivie par le poste d'excavation (80 m) (figure 7). Ces installations doivent permettre aux équipes travaillant en poste de douze heures d'accéder à tout le nécessaire : cantine, bureau, toilettes, stockage du matériel et outils. Une ségrégation claire entre les accès piétons et zones de travail est mise en place, afin de garantir la sécurité des équipes.

La plateforme de travail a été conçue en éléments modulaires, afin de s'adapter aux moyens de levage disponibles en tunnel et faciliter son installation ainsi que son transfert de rameau à rameau.

10- Brokk 400 équipé de son mât de forage.

11- Forage de la voûte parapluie d'un rameau.

12- Train sur pneu avec système de déchargement latéral.

10- Brokk 400 equipped with its drilling mast.

11- Drilling the umbrella arch of a cross passage.

12- Train on road with lateral discharging system.

Ses dimensions globales permettent le maintien constant de la logistique approvisionnant les tunneliers.

L'excavation : Le marinage des terres et l'approvisionnement du béton projeté dans un tunnel de 16 km

La réalisation des 43 rameaux requis par ce projet nécessite premièrement l'excavation de 7 310 m³ de terrain (170 m³ par rameau), entièrement réalisée avec un Brokk 500, une machine de démolition électrique télécommandée, aux dimensions adéquates pour la taille des rameaux mais qui présente également des capacités polyvalentes qui ont permis une adaptation pour le forage (figures 8 et 9).

Un mât de forage télécommandé a été développé pour être utilisé avec cette



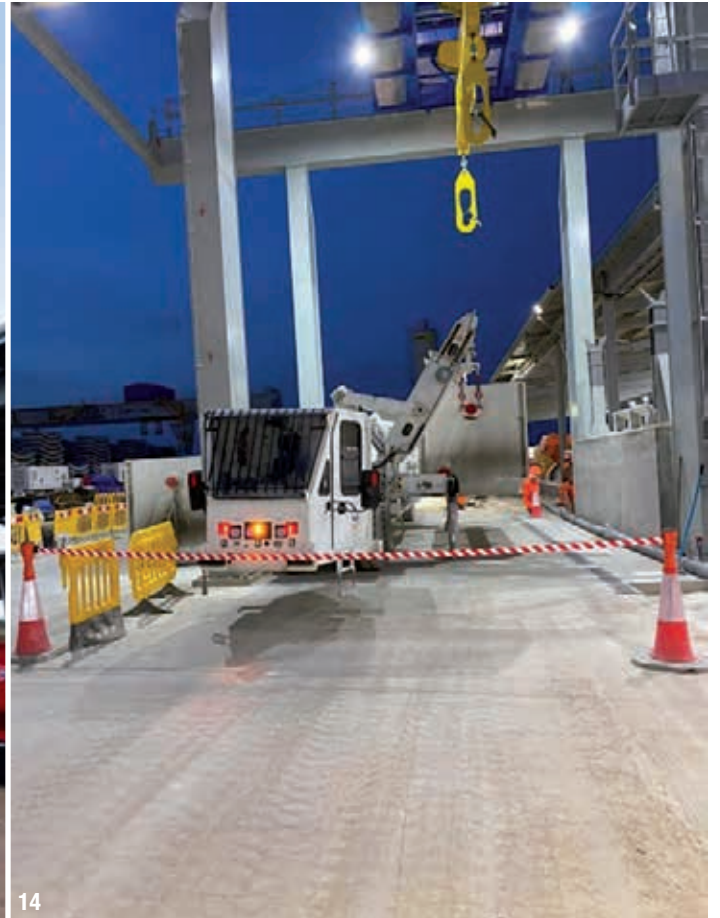
12

© BOUYGUES-TP



13

© BOUYGUES-TP



14

© BOUYGUES-TP

13- Portique de levage pour la manutention de la benne.

14- Dépose de la benne au sol par le train sur pneus.

15- Robot de béton projeté Oruga - À la face.

13- Gantry crane for bucket handling.

14- Bucket placed down on the ground by the train on road.

15- Oruga shotcreting robot - At excavation face.

machine. Il doit répondre à la contrainte de ne pas empiéter sur la zone de trafic lors de son utilisation sur les plateformes pour l'installation des voûtes parapluie dont les tubes ont jusqu'à 6 m de long (figures 10 et 11). Un train sur pneu à déchargement latéral a été conçu pour ce projet, permettant d'évacuer des bennes de 15 m³ de



15

© BOUYGUES-TP

déblais, chargé par la mini pelle mécanique. Arrivée en surface, la benne est levée depuis le sol par un portique, puis déposée sur une structure métallique conçue pour permettre son basculement et son vidage, évitant ainsi qu'un opérateur ait besoin d'accéder à cette zone (figures 13 et 14).

Par la suite, le soutènement provisoire requiert la mise en place de 6 880 m³ de béton projeté, correspondant à 160 m³ par rameau (figure 15).

L'approvisionnement en béton projeté est assuré par des toupies spécialement adaptées pour le chantier avec une capacité de 5 m³ et une largeur de 2 m (figure 16) permettant le croisement avec tous les véhicules circulant dans le tunnel.

L'approvisionnement du béton à la face est un haut sujet d'attention pour garantir non seulement l'intégrité du rameau mais aussi la sécurité des équipes. Il requiert une formule de béton fiable garantissant une rétention adéquate. Au cours du projet, il s'est avéré que la formule prévue de base pour 5 h de rétention n'était pas suffisante au vu du temps de trajet grandissant et des contraintes imposées par le trafic dense du tunnel. Il a été alors développé un mix avec 7 h de rétention. ▽

Revêtement permanent et coffrages sur-mesure

À la suite du creusement et de l'installation de la géomembrane, le revêtement interne est entrepris après le coulage du radier. Pour réaliser cet ouvrage, un coffrage métallique a été conçu sur mesure par Cmc pour répondre aux critères dimensionnels mais également aux contraintes des rameaux.

L'ouverture des voussoirs de faible largeur ainsi que le manque d'espace sur la plateforme ont demandé la conception d'un assemblage de coffrages en petits éléments ainsi que l'adaptation du système de déplacement pour un modèle sur mât hydraulique central, permettant le repli du coffrage sur lui-même pour manœuvrer sur la plateforme et passer par l'ouverture avant de se déployer totalement dans le rameau pour se conformer au design requis (figures 17 et 18).

Ce mât hydraulique est fixé sur des chenilles en caoutchouc permettant le déplacement entre les différents niveaux de radier de chaque rameau



16

© BOUYGUES-TP

16- Camion-toupie adapté à la livraison de béton dans le tunnel.

17- Coffrage du revêtement interne replié pour déplacement dans le rameau.

18- Coffrage du revêtement interne déployé en position de coulage.

16- Ready mix truck adapted for delivering concrete in the tunnel.

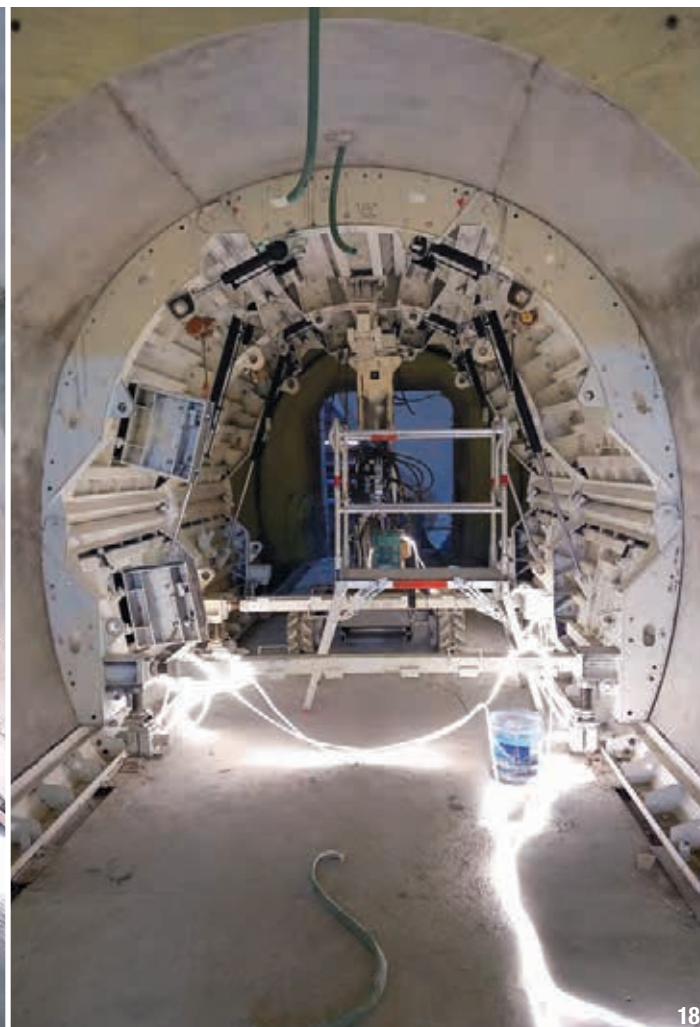
17- Internal lining formwork folded up for shifting in the cross passage.

18- Internal lining formwork deployed in casting position.



17

© BOUYGUES-TP



18

© BOUYGUES-TP



19

© BOUYGUES-TP

19- Revêtement interne final d'un rameau.

19- Final internal lining of a cross passage.

et le niveau de la plateforme métallique. Un rameau complet nécessite le coulage de 5 plots (figure 19) avec différents arrangements de coffrage pour s'adapter au design. Le rythme d'installation et de coulage des plots pour répondre au programme représente un plot tous les 3 jours.

Les levages dans un tunnel en activité

Les opérations de levage dans un tunnel sont soumises à de nombreuses contraintes : capacité de levage réduite, hauteur limitée, blocage du trafic, etc. Pour chaque activité, il s'agit de comparer les moyens de levage disponibles et de décider lequel est le plus adapté à la situation tout en limitant l'impact sur la logistique en tunnel.

Deux moyens de levage sont disponibles à l'intérieur du tunnel :

→ Un train sur pneus équipé d'un bras de grue ;

PRINCIPALES QUANTITÉS

EXCAVATION

NOMBRE DE RAMEAUX : 38 rameaux entre les deux tunnels (15 m) + 5 rameaux vers les puits de ventilation (15 m + 4 m)

LONGUEUR TOTALE EXCAVÉE : 662 m

VOLUME EXCAVÉ : 170 m³ par rameau soit 7 490 m³ au total

VOLUME DE BÉTON PROJETÉ : 6 880 m³ (C30/37)

PRÉ-SOUTÈNEMENT (voûte parapluie) : 162 t

STRUCTURES BÉTON PERMANENTES

CADRE DE RENFORT POUR OUVERTURE VOUSOIRS : 86 cadres - 989 m³ (C50/60)

RADIER ET REVÊTEMENTS INTERNE : 43 revêtements - 4 686 m³ (C35/45)

ENCADREMENT BÉTON POUR PORTE COUPE-FEU : 86 encadrements - 946 m³ (C20/25)

GÉOMEMBRANE : 725 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : HS2 Ltd

ENTREPRISE : Align : Bouygues TP (60%), VolkerFitzpatrick (20%), Sir Robert McAlpine (20%)

CONCEPTEUR INTÉGRÉ : Align-D : GZConsultings, Rendel, Jacobs, Bouygues

TRAITEMENT DE TERRAIN : Kvjv (Keller-VSL)

WATERPROOFING : Renesco

OUVERTURE DES VOUSOIRS : Edd (Euro Diamond Drilling)

→ Un train sur pneus équipé d'un système de déchargement latéral (figure 13).

Pour certaines activités spécifiques, telles que le coffrage et le décoffrage des structures permanentes, d'autres options ont été étudiées, comme l'utilisation de mini-grues mobiles.

Les critères de décision sont toujours les mêmes : temps d'opération, coût, possible réutilisation pour d'autres activités.

Conclusion

Cette réflexion permanente autour des problématiques de logistique et de levage, démarrée en phase préparation et en constante amélioration pendant la production, permet d'optimiser les méthodes de construction, ainsi que les ressources mobilisées pour la construction des rameaux de connexion. En pleine production actuellement, le chantier est organisé selon 10 postes de travail en simultané dans le tunnel de droite et 6 postes de travail dans le tunnel de gauche. Ceci représente plus de 100 ouvriers, opérateurs d'engins, chefs d'équipe et ingénieurs, en permanence dans le tunnel 24h/24h et 5 jours par semaine, pour accomplir ce défi dans les temps. □

ABSTRACT

HS2 CHILTERN TUNNEL: CONSTRUCTION OF THE 43 CROSS PASSAGES

DIDIER JACQUES, BOUYGUES TP - HUGO CHANSON, BOUYGUES TP - YASSINE KHEROUA, BOUYGUES TP - GUILHEM DE LANGLAIS, BOUYGUES TP - HERMINE COURTOIS, BOUYGUES TP

Construction of the 43 cross passages of the two tubes of Chiltern Tunnel on the HS2 high-speed train line is one of the main site works. These cross passages are executed as work progresses, while the two TBMs perform tunnel driving and while the invert is constructed. The ground treatment and supporting methods are adapted to the ground encountered. The site facilities are optimised for each work phase in order to limit the impact on traffic in the tunnels. All the activities take into account ongoing logistics related to the TBMs. In June 2023, Align JV completed 12 cross passages between the two tunnels and two connecting galleries to the shafts. □

HS2 CHILTERN TUNNEL: REALIZACIÓN DE LAS 43 GALERÍAS DE CONEXIÓN

DIDIER JACQUES, BOUYGUES TP - HUGO CHANSON, BOUYGUES TP - YASSINE KHEROUA, BOUYGUES TP - GUILHEM DE LANGLAIS, BOUYGUES TP - HERMINE COURTOIS, BOUYGUES TP

La construcción de las 43 galerías de los dos tubos del túnel Chiltern de la línea TGV HS2 es una de las principales actividades de la obra. Las galerías se realizan al ritmo de avance, al mismo tiempo que la perforación de las dos tuneladoras y la realización de la losa de cimentación. El tratamiento del terreno y los métodos de contención se han adaptado al terreno hallado. Las instalaciones de obra se han optimizado para cada fase de trabajo para limitar el impacto sobre el tráfico en los túneles. El conjunto de las actividades tiene en cuenta la operativa logística relacionada con las tuneladoras. En junio de 2023, el consorcio Align JV ya había realizado 12 galerías entre los dos túneles y 2 galerías de conexión con los pozos. □



BIRMINGHAM AU CŒUR DES TRAVAUX GÉOTECHNIQUES

AUTEURS : EMMANUEL ROBERT, PROJECT DIRECTOR, SB³ JV - GUILLAUME PELLETIER, LEAD ENGINEER, SB³ JV

SOLETANCHE BACHY (BACHY SOLETANCHE UK), DANS LE CADRE D'UNE JOINT VENTURE AVEC BALFOUR BEATTY GROUND ENGINEERING, RÉALISE POUR BBV (BALFOUR BEATTY VINCI) L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DE FONDATION ET D'AMÉLIORATION DES SOLS DU SECTEUR NORD DE LA PHASE 1 DU PROJET DE TRAIN À GRANDE VITESSE HS2. CE MARCHÉ EN "BUILD ONLY" COMPREND LA RÉALISATION DE PAROIS MOULÉES, DE PIEUX ET D'INCLUSIONS.

HISTORIQUE DU PROJET

Après de longs débats publics sur la réalisation de la ligne à grande vitesse HS2 en Angleterre, le tout dans une période marquée par les crises du Brexit et du Covid, l'État anglais a finalement validé le début des travaux. La réalisation de cette ligne ferroviaire va permettre un gain de vitesse et de cadence des trains, entre London Euston (terminus final) et Birmingham City dans un premier temps, puis Manchester dans un second temps (figure 2).

L'objectif étant de réduire le temps de trajet actuel :

- Londres - Birmingham : de 1h30/2h à seulement 49 minutes
- Londres - Manchester : de 2h30/3h à 1h11

Le tronçon Londres - Birmingham comprend la création d'une gare supplémentaire à Londres (Old Oak Common), reliée au nouveau service de métro Crossrail, l'ensemble de la ligne vers Birmingham, ainsi que la branche Nord, nécessaire dans un deuxième temps pour la liaison finale vers Manchester (phase 2 du projet). La construction de la phase 2 du projet n'a pas démarré pour l'instant.

HS2 connectera les 10 plus grandes villes d'Angleterre et près de 30 millions de personnes.

L'objectif de mise en service des différentes phases :

- Phase 1 (en cours de construction) : 2029-2033 ;
- Phase 2a : 2029-2033 ;
- Phase 2b : 2040-2045.

DESRIPTIF DES TRAVAUX

BBV (Joint Venture entre Balfour Beatty et Vinci) a été désigné attributaire de la partie Nord de la phase 1 (90 km



2
© HS2

- 1- Foreuse de pieux de grand diamètre.
- 2- Tracé de la ligne nouvelle.

- 1- Large-diameter pile driller.
- 2- Alignment of the new line.

de plates-formes ferroviaires autour de Birmingham). Sur ce lot, le consortium SB³ (JV entre Bachy Soletanche et Balfour Beatty Ground Engineering) est en charge des travaux de fondation nécessaires à la réalisation de l'infrastructure.

Les premiers contrats ont été signés à l'été 2020 avant de laisser place à des contrats généraux début 2021.

Il s'agit de la réalisation de travaux de parois moulées (tranchées couvertes, puits de ventilation ou puits de lancement/réception des tunneliers), de pieux (fondation de structures principales ou secondaires) et d'améliorations de sol.

Bachy Soletanche et Balfour Beatty Ground Engineering ont déjà coopéré dans le passé, notamment sur le projet de Crossrail.

Ces contrats sont établis dans le cadre de l'option C du NEC (New Engineering Contract), mais avec la particularité que les indicateurs de performance (KPI : key performance indicators) ont été alignés sur le contrat BBV général. Cela permet l'alignement des différentes parties, afin de choisir à tout moment la meilleure solution pour le projet (coût/programme).

SB³ a la charge de l'exécution des travaux. Le design est réalisé par DJV (JV entre Mott MacDonald et Systra) pour le compte de BBV (main contractor).

Les travaux de fondation, répartis sur 160 chantiers, ont commencé en 2021 et devraient s'achever en 2025. Le volume de travaux est extrêmement important :

- 140 000 m² de parois moulées ;
- 9 000 pieux sécants ;
- 11 000 pieux ;
- 1 000 000 m d'inclusions rigides.

Au pic d'activité, il est prévu de mobiliser :

- 10 ateliers de parois moulées (figure 3). Le pic d'activité a été atteint durant l'hiver 2022 ;
- 25 foreuses de pieux (figure 1). Le pic d'activité est prévu pour l'été 2023 ;
- 10 foreuses d'inclusions rigides (figure 4). Le pic d'activité est prévu pour septembre/octobre 2023. ▷



3
© HS2



4
© HS2

ZOOM SUR QUELQUES CHANTIERS

Les outillages de parois moulées ont été les premiers à entrer en action (figure 5). La difficulté technique essentielle reste, comme à l'accoutumée, d'optimiser les outils au regard de la géologie rencontrée (argile/grès) où la matrice argileuse peut varier et conduire à des zones très indurées. Un mélange d'outillages composé d'Hydrofraises et de bennes traditionnelles a été déployé sur le projet (5 unités

de chaque). De nombreuses autres techniques ont également été mises en œuvre. On trouvera ci-après un descriptif de plusieurs gros chantiers significatifs (figure 6).

LANCEMENT DU PROJET À LONG ITCHINGTON

Long Itchington Wood et le site voisin d'Ufton Wood sont des sites forestiers très anciens, datant au moins des années 1600. Ils sont le siège d'éco-

3- Hydrofraise.

4- Foreuse d'inclusions rigides.

5- Démarrage des parois moulées à Long Itchington.

3- Hydrofraise.

4- Rigid inclusions driller.

5- Start of diaphragm walls at Long Itchington.

systems complexes qui ont mis des centaines d'années à s'établir.

Un tunnel d'environ 1,6 km permettra de passer sous ces zones boisées (ouvrage bitube).

L'ouvrage d'entrée du tunnelier est constitué d'une paroi clouée (clous et béton projeté - figure 7). Deux voûtes-parapluies (figure 8) ont été nécessaires pour conforter les deux zones d'entrée du tunnelier. Le mur est composé d'environ 850 clous et la surface du talus projeté représente 1 600 m²



5
© HS2

- 6- Localisation des chantiers présentés.
- 7- Béton projeté sur Long Itchington.
- 8- Paroi clouée et voûtes-parapluies de Long Itchington.
- 9- Bromford Intermediate Shaft.

- 6- Location of the projects described.
- 7- Shotcreting on Long Itchington.
- 8- Soil-nailed wall and umbrella arches at Long Itchington.
- 9- Bromford Intermediate Shaft.



BROMFORD TUNNEL INTERMEDIATE SHAFT

Le projet comporte un deuxième tunnel, Bromford Tunnel (5,6 km) entre Water Orton dans le North Warwickshire et Washwood Heath (Birmingham).

En août 2022, SB³ a achevé la construction d'un puits intermédiaire : Bromford Tunnel Intermediate Shaft. Ce chantier est le deuxième chantier de paroi moulée à être livré. Il s'agit d'un ouvrage destiné à la ventilation du tunnel. 26 panneaux de 63 m de profondeur (2,8 m de largeur et 1 500 mm d'épaisseur) ont été réalisés en 6 mois (figure 9).

SB³ a été confronté à de nombreuses contraintes dues à la présence de lignes haute tension de National Grid (équivalent de RTE). Un planning détaillé, ainsi que la mise en place de zones d'exclusion et de limiteurs de rotation pour les machines, ont permis aux équipes de tenir compte de ces difficultés.

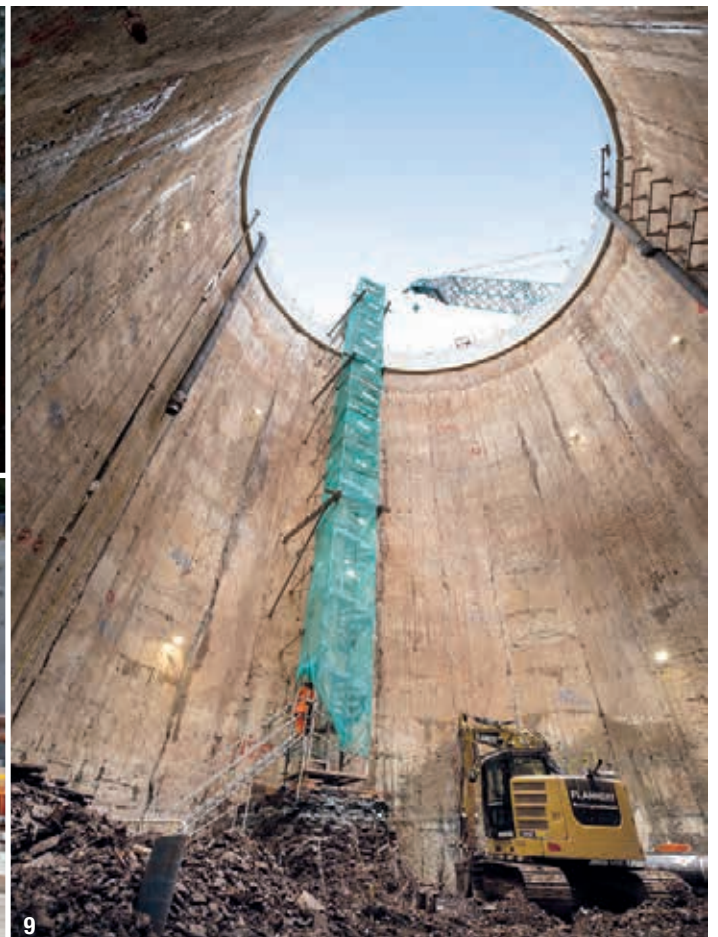
(plus de 300 m³ de béton projeté ont été utilisés). Par ailleurs, afin de réduire les pressions interstitielles dans le terrain, un réseau de drains horizontaux et de puits a été mis en œuvre. L'ouvrage de sortie du tunnelier est

constitué d'une boîte en paroi moulée. L'ouvrage se prolonge par une tranchée ouverte de 330 m également en paroi moulée, puis en pieux sécants lorsque la voie remonte et que la profondeur est moins importante.

Le tunnelier Dorothy a démarré le forage du premier tube en décembre 2021. Le premier tir s'est achevé en juillet 2022. Le second tir a, quant à lui, démarré en novembre 2022 et s'est achevé 4 mois plus tard.

WATER ORTON

Water Orton constitue le puits de départ du second tunnel, Bromford Tunnel. Il se prolonge par une tranchée ouverte qui permet la liaison vers des ouvrages en viaduc. ▷





10

© HS2



11

© HS2

L'ensemble des travaux a été achevé mi-mai 2023, après pas loin de 600 jours ouvrables et cela constituait le troisième ouvrage en paroi moulée à être livré. Le projet comptait 131 panneaux de paroi moulée d'épaisseurs 800 et 1000 mm. La topographie a nécessité la création de 7 plates-formes de travail avec différentes altimétries et une différence de niveau pouvant atteindre 4 m. La surface totale de paroi moulée représentait de 27 100 m² avec des panneaux dont la profondeur variait entre 13 et 27 m.

Des moyens très importants ont été mis en œuvre : 1 Hydrofraise, 2 benne hydrauliques, 3 grues de manutention, ainsi qu'une centrale de traitement des boues bentonitiques (figure 10).

Les équipes ont travaillé dans un espace très restreint (plates-formes réduites de 40 m par 26 m), avec des accès très limités. Les résultats ont cependant été excellents, tant du point de vue de la qualité de l'ouvrage livré (figure 11) que de la sécurité !

La démobilité s'est faite en 3 étapes depuis la mi-février, et s'est achevée à la fin du mois de mai 2023. Le démarrage du creusement du tunnel interviendra très prochainement.



12

© HS2

10- Benne hydraulique sur Water Orton.

11- Tranchée terrassée sur Water Orton.

12- Hydrofraise sur Bromford Tunnel West portal.

13- Pieux sécants et Hydrofraise sur Burton Green.

14- Foreuse de pieux sur Burton Green.

10- Hydraulic bucket at Water Orton.

11- Excavated trench at Water Orton.

12- Hydrofraise on Bromford Tunnel West portal.

13- Secant piles and Hydrofraise at Burton Green.

14- Pile driller at Burton Green.



13

© HS2



14

© HS2



© HS2

15

BROMFORD TUNNEL WEST PORTAL

À Washwood Heath se trouve l'ouvrage d'arrivée du tunnel de Bromford. Il s'agit d'une boîte en paroi moulée, prolongée par une tranche ouverte également en paroi moulée.

Les travaux ont démarré en fin d'année 2021. À fin mai 2023, 123 des 172 panneaux avaient été coulés. Deux Hydrofraises (figure 12) et une benne hydraulique ont été mobilisées sur ce projet majeur de 40 000 m².

En août 2022, les travaux de pieux ont également commencé :

15- Foreuse de pieux sur la tranchée de Streethay.

16- Vue du projet de la tranchée de Streethay.

15- Pile driller on the Streethay trench.

16- View of the Streethay trench project.

→ 107 pieux en traction et 121 pieux portants (sur un total de 358) ont été bétonnés - il s'agit de pieux destinés en particulier à ancrer le radier de la tranchée ;

→ 344 pieux sécants devront ensuite être réalisés dans la continuation des parois moulées, lorsque la voie remonte et que la profondeur de la tranchée est moins importante.

BURTON GREEN

Au niveau du village de Burton Green, la voie passera en tranchée couverte. Et un aménagement paysager sera

ensuite créé au-dessus de la tranchée avec de nombreuses plantations.

La tranchée est réalisée, en partie, en parois moulées (90 panneaux) et poteaux préfondés (94 poteaux dans 47 barrettes).

L'ouvrage croise le pont de Cromwell Lane. Un nouvel ouvrage est construit qui repose sur les parois moulées : ce nouvel ouvrage doit être ouvert à la circulation fin 2023. Cela constitue d'ailleurs un jalon contractuel avec HS2. Dans le prolongement des parois moulées, la paroi est en pieux sécants (figure 13). Une foreuse BG33 a été mobilisée sur ce site et a permis, à date, la réalisation de son 1 000^{ème} pieu sécant (figure 14).

Enfin, il faut noter qu'il s'agissait de travaux très délicats : les pieux sécants n'étaient qu'à 11 m de lignes électriques aériennes de 250 kVA, nécessitant des mesures particulières en matière de planification et de sécurité.

TRANCHÉE DE STREETHAY

Démarré en mai 2022, la tranchée de Streethay est un ouvrage critique pour HS2 avec des contraintes fortes liées au franchissement de l'autoroute A38 et d'une ligne de train existante (South Staffordshire Line - figure 16). ▷



© HS2

16

Pour respecter les différentes libérations partielles imposées par notre client, en liaison avec Network Rail, 2 foreuses BG36 et une foreuse BG39 (figure 15) ont été mobilisées.

La tranchée est constituée de deux murs de pieux sécants de 1300 mm de diamètre. À fin mai 2023, 521 pieux sur un total de 1014 ont été réalisés. La logistique du site est complexe avec de nombreuses mobilisations et démobilisations liées aux multiples phases de travaux.

INNOVATIONS MISES EN ŒUVRE FOREUSE ÉLECTRIQUE

Sur le projet de Curdworth, SB³ a mobilisé deux foreuses BG33 : une foreuse traditionnelle et une foreuse électrique (figure 17).

Lors de la réalisation des 175 pieux (de 1200 et 1500 mm de diamètre), la foreuse électrique a montré des performances équivalentes à celles d'une foreuse traditionnelle.

L'utilisation de la foreuse électrique permet une diminution de 1292 kg de CO₂ par jour par rapport à une foreuse traditionnelle. On observe également une réduction de 50% de la pollution sonore à performance équivalente.

SIMULATEURS

Afin de disposer de ressources locales suffisantes et bien formées, des modules fonctionnels ont été déployés sur site à l'aide de simulateurs. Ceci a permis aux opérateurs de se familiariser avec le fonctionnement et la conduite de l'Hydrofraise sans risque, avant de faire leur apprentissage avec le soutien de formateurs expérimentés (figures 18 et 19). Le système s'est avéré efficace, même si la pratique quotidienne reste



17

le meilleur moyen pour améliorer leurs performances. D'autres formations ont également été étendues à d'autres activités, telles que le contrôle de la fabrication, le dessablage ou le bétonnage. Un simulateur dédié à la conduite de foreuses de pieux a également été mis en place (figure 20). L'utilisation de ces modules de formation s'est révélée cru-

17- Foreuse électrique.

18 & 19- Simulateur Hydrofraise.

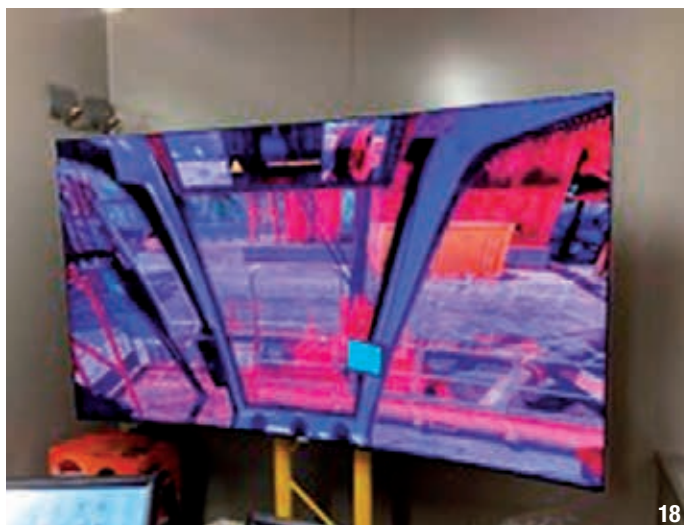
17- Electric drill.

18 & 19- Hydrofraise simulator.

ciale pour pouvoir répondre de manière adéquate aux besoins importants en termes d'opérateurs.

SALLE DE CONTRÔLE

Les activités d'amélioration des sols et les pieux ont pris le relais. La difficulté essentielle réside dans la multiplicité des sites (160 au total sur tout



18

© SB³



19

© SB³

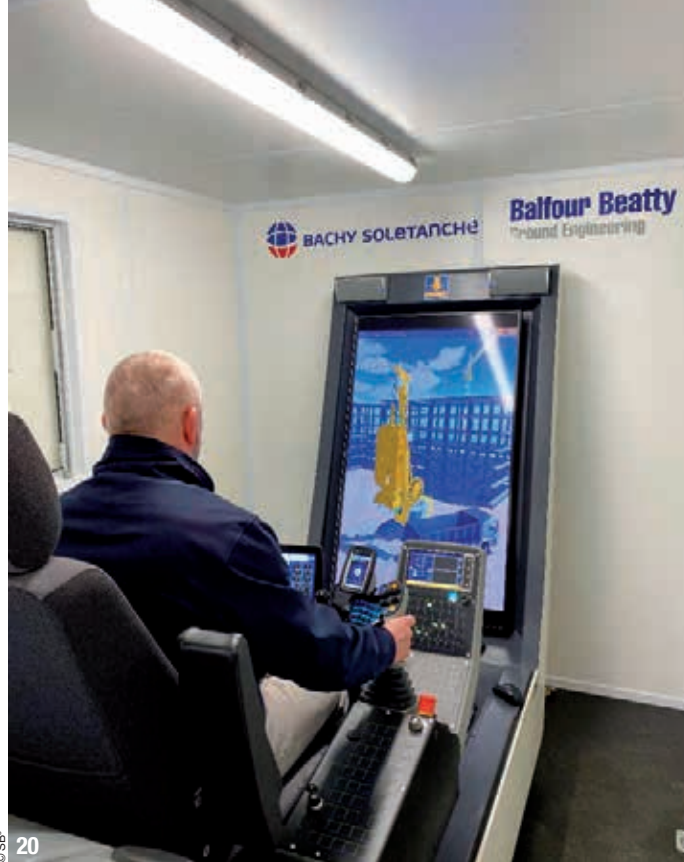
le linéaire du lot) et des techniques (pieux à sec ou sous bentonite, utilisation de différents types de tubage, diamètres de pieux de 450 à 2 500 mm, jusqu'à des profondeurs de plus de 40 m). À cela s'ajoute la réalisation de murs en pieux sécants ou contigus sur

20- Simulateur de foreuse de pieux.

21- Salle de contrôle.

20- Pile driller simulator.

21- Control room.



© SB³ 20

certaines zones du projet. Il en résulte le besoin d'une gestion très précise des machines, des outils et de tout le matériel associé (extracteurs, etc.), afin de garantir la conformité au programme de BBV. Un peu plus de 30 machines de pieux ont été mobilisées dans ce cadre. À ce titre, une salle de contrôle a été installée au dépôt du groupement, afin d'avoir des inspections en temps réel sur les machines et d'effectuer facilement une gestion centralisée (figure 21).

CONCLUSION

Comme indiqué ci-dessus, l'enjeu essentiel reste la maîtrise de la logistique et de la chaîne d'approvisionnement. À ce titre, le réseau local étant insuffisant, une réflexion globale a été menée auprès des fournisseurs locaux afin de mailler la zone des travaux. En ce qui concerne l'approvisionnement d'aciers, l'extension de la certification CARES a été obtenue auprès des entreprises françaises. Cela a atténué les tensions sur la chaîne d'approvisionnement local dans la période post-Brexit, avec un manque de ressources dans ce secteur.

L'augmentation progressive des activités se traduit par la mobilisation actuelle d'environ 1 000 personnes au sein du consortium, ce qui nécessite un département RH complet pour l'embauche et le suivi de tous les employés.

En ce qui concerne les chantiers de construction, le dernier mois, ont été terminés des chantiers importants ce qui permet de libérer les zones pour les activités de BBV. □



© SB³ 21

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS MOULÉES (de 800 à 1 500 mm d'épaisseur) : 140 000 m²
PIEUX SÉCANTS (de 750 à 1 300 mm de diamètre) : 9 000
PIEUX (de 450 à 2 200 mm de diamètre) : 11 000
INCLUSIONS RIGIDES (de 360 à 450 mm de diamètre) : 1 000 000 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAIN CONTRACTOR : BBV (joint venture Balfour Beatty / Vinci)
DESIGN : joint venture Mott MacDonald / Systra
FONDATIONS ET AMÉLIORATIONS DE SOL :
SB³ (joint venture Bachy Soletanche / Balfour Beatty Ground Engineering)

ABSTRACT

BIRMINGHAM: A FOCAL POINT OF GEOTECHNICAL WORKS

EMMANUEL ROBERT, SB³ JV - GUILLAUME PELLETIER, SB³ JV

Soletanche Bachy, in a consortium with Balfour Beatty Ground Engineering, is performing all the foundation and soil improvement works for the northern sector of phase 1 of the HS2 high-speed train project. The contract covers the execution of diaphragm walls, piles and inclusions. It required exceptional equipment resources, and training for numerous local operators. □

BIRMINGHAM EN EL CENTRO DE LOS TRABAJOS GEOTÉCNICOS

EMMANUEL ROBERT, SB³ JV - GUILLAUME PELLETIER, SB³ JV

Soletanche Bachy, en consorcio con Balfour Beatty Ground Engineering, está realizando el conjunto de las obras de cimentación y mejora de los suelos del sector Norte de la fase 1 del proyecto de tren de alta velocidad HS2. El contrato incluye la realización de pantallas de hormigón, pilotes e inclusiones. Ha exigido unos medios excepcionales en términos de material, así como la formación de numerosos operarios locales. □



1

© HS2

WASHWOOD HEATH, CENTRE D'OPÉRATIONS DE HS2 À BIRMINGHAM

AUTEURS : FRÉDÉRIC HUBERT, DIRECTEUR DES OPÉRATIONS, SB³ JV - SAMUEL MALLET, RESPONSABLE TRAVAUX, SB³ JV

SOLETANCHE BACHY, EN JOINT-VENTURE AVEC BALFOUR BEATTY GROUND ENGINEERING (NOMMÉE SB³), EST EN CHARGE DES FONDATIONS DE LA PARTIE NORD DU PROJET DE TRAIN À GRANDE VITESSE HS2 ENTRE LONDRES ET BIRMINGHAM. LES TRAVAUX COMPRENNENT LA RÉALISATION DE PAROIS MOULÉES, PIEUX ET INCLUSIONS RIGIDES. PARMIS LA CENTAINE DE CHANTIERS COUVERTS PAR SB³, WASHWOOD HEATH & BROMFORD WEST PORTAL, COMPORTANT PRINCIPALEMENT DES PAROIS MOULÉES, PIEUX SÉCANTS ET PIEUX EN TRACTION, EST L'UN DES PLUS VASTES.

INTRODUCTION / PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

La réalisation de la ligne à grande vitesse HS2 en Angleterre va permettre un gain de vitesse et de cadence des trains, entre London Euston (terminus final) et Birmingham City dans un premier temps, puis Manchester dans un second temps (figure 2).

Le tronçon Londres-Birmingham comprend la création d'une gare supplémentaire à Londres (Old Oak Common), reliée au nouveau service de métro Crossrail, l'ensemble de la ligne vers Birmingham, ainsi que la branche Nord nécessaire dans un deuxième temps pour la liaison finale vers Manchester (phase 2 du projet).

HS2 connectera les 10 plus grandes villes d'Angleterre et près de 30 millions de personnes.

BBV (coentreprise entre Balfour Beatty et Vinci) a été désignée attributaire de la partie Nord de la phase 1, 90 km de plates-formes ferroviaires autour de Birmingham (figure 3). Sur ce lot, le consortium SB³ (joint venture entre Bachy Soletanche et Balfour Beatty Ground Engineering) est en charge des travaux de fondation nécessaires à la réalisation de l'infrastructure.

Le volume des travaux de fondation, répartis sur 160 chantiers, est extrêmement important avec 140 000 m² de parois moulées, 9 000 pieux sécants, 11 000 pieux, et près de 1 000 000 m³ d'inclusions rigides.

1 - Vue aérienne
de WWH (impression
d'artiste).

1 - Aerial view
of WWH (artist's
impression).

→ une tranchée couverte (deux murs de soutènement de 850 m de long) de l'ouvrage Washwood Heath (WWH) : ouvrage en paroi moulée, pieux en traction et pieux sécants. Les travaux ont commencé en novembre 2021 par le portail situé sur le chemin critique pour la construction des tunnels.

LE CHANTIER DE WASHWOOD HEATH & BROMFORD WEST PORTAL

Le site se compose de 2 ouvrages reliés entre eux :

→ Bromford Tunnel West Portal (BTWP) : ouvrage de réception des tunneliers du tunnel de Bromford (ouvrage en paroi moulée et pieux en traction) ;

GÉOLOGIE DU SITE

La géologie rencontrée sur le chantier de Washwood Heath et Bromford Tunnel West Portal est complexe (voir le tableau A).

Made Ground : le site était précédemment occupé par des entrepôts et des usines. Les sols ont été pollués jusqu'à 7 m de profondeur. Les sols pollués

TABLEAU A : GÉOLOGIE DE BTWP ET WWH'S

	Haut de la couche (m)	Épaisseur (m)	Profondeur (m)
Ground level	89,8		0
Made ground	89,8	2,55	0
Alluvium	87,25	1	2,55
River Terrace Deposit	86,25	2,75	3,55
Mercia Mudstone Grade IV	83,5	7	6,3
Mercia Mudstone Grade III (Rock)	76,5	18	13,3
Mercia Mudstone Grade I/II (Rock)	72,75	72,75	17,05
Dwall Toe level	58,5		31,3

© SBF

ont été remplacés pour la construction des plates-formes de travail avant la construction des parois moulées et des pieux.

Alluvions : les alluvions sont constituées d'argiles silteuses et de sables plus ou moins grossiers. Cette formation contient aussi des bancs de graviers. River Terrace Deposits : cet horizon est principalement constitué de graviers légèrement anguleux ou ronds. On trouve aussi des poches d'argiles consolidées. Les matériaux sont des graviers moyennement denses à denses. La grande majorité des matériaux présente une texture grossière. Mercia Mud Stones : cette formation est divisée en plusieurs catégories en fonction du degré d'érosion, elle est majoritairement composée d'argiles consolidées avec des couches de grès durs :
 → MM-G-IV est principalement une matrice argileuse et se comporte comme une argile. Elle est décrite comme une argile silteuse avec graviers considérée comme dure à très dure. Quand cette couche est assez érodée, elle peut être considérée comme un sol.

→ MM-G-III peut être identifiée comme sol ou rocher. MM-G-III sol est généralement gouvernée par son comportement en masse. MM-G-III rocher est gouvernée par son degré de fracturation :

- MM-G-III-sol : Ce matériau est principalement composé de grès avec des éléments argileux. La partie argileuse est considérée comme compacte à très compacte. La partie grès est considérée comme très tendre à tendre ;
- MM-G-III-rocher : Ce matériau est composé en majorité de grès. Ce grès est généralement décrit comme extrêmement tendre (0,6 à 1 Mpa) à très tendre (1 à 1,5 Mpa). Il est généralement situé en dessous du MM-G-III-sol. L'épaisseur de ce matériau varie

considérablement d'un endroit à l'autre en fonction du degré d'érosion.

→ MM-G-I et MM-G-II : Ces couches comprennent des bandes d'argiles consolidées avec des bandes de grès. L'épaisseur de ce matériau varie en fonction du degré de fracturation. La dureté du rocher

intact est entre 10 et 25 MPa. La dureté s'accroît en fonction de la profondeur.

→ Gypsum : Une présence faible à importante de bancs de gypse est observée dans les couches de Mercia Mud Stone. Ces bancs de gypse affectent les caractéristiques des fluides de forage (boue bentonite). Afin de conserver le fluide de forage dans les tolérances qualité du projet, une importante centrale de fabrication (plus de 50 000 m³), stockage, traitement physico-chimique et destruction de fluide de forage a été installée sur le chantier.

2- Tracé de la ligne nouvelle.

2- Alignment of the new line.



2 © HS2

Niveau de la nappe phréatique : la nappe phréatique est située entre 2 et 8 m de profondeur le long du chantier.

LOCALISATION ET ENTOURAGE DU CHANTIER WWH-BWP SUR LE TRACÉ DU PROJET

Le chantier de WWH BWP est réalisé sur un ancien site industriel, situé dans la banlieue Nord-Est de Birmingham (figures 4 et 5).

Ce sera le dépôt et centre de contrôle de Washwood Heath (figure 1), cœur opérationnel de HS2, et c'est ici que les trains de HS2 seront entretenus et stockés lorsqu'ils ne seront pas utilisés. L'ensemble comprendra le bâtiment de maintenance, le centre de contrôle intégré du réseau et le bâtiment des nettoyeurs et des conducteurs.

Des voies ferrées longent le côté Nord du chantier. La voie la plus proche se situe entre 30 m et 10 m de l'ouvrage à réaliser. Des mesures particulières sont mises en place en termes de surveillance des voies, vibrations, survol des opérations de levage (figure 6). La partie Sud du chantier longe des zones d'habitations. Des restrictions horaires et de livraison ont été établies et validées par la ville de Birmingham pour chaque phase de travaux.

MÉTHODES DE CONSTRUCTION

PAROI MOULÉE

Bromford West Portal : La paroi moulée du portail est constituée de 27 panneaux d'environ 7 m de long, 1,20 m d'épaisseur et 35 m de profondeur. Les panneaux sont excavés en 2 passes de 2,80 m et un merlon central. 2 lignes de cages sont installées par panneau. Chaque cage est constituée de 2 éléments. Les éléments les plus lourds pèsent 28 t, les plus longs mesurent 30 m. Le ratio d'acier monte jusqu'à 250 kg/m³ (220 kg/m³ moyen). L'installation des cages est réalisée avec 2 grues en tandem.

Washwood Heath : La paroi moulée du portail se poursuit sur la zone Washwood Heath par 2 murs de 750 m de long formant le soutènement de la tranchée couverte. Cette tranchée est constituée de 144 panneaux d'environ 10,5 m de long, 1 200 mm d'épaisseur. La profondeur des panneaux varie de 30 m à côté du portail jusqu'à 25 m de profondeur à l'extrémité opposée. Chaque panneau est réalisé en 3 passes de 2,80 m avec 2 merlons. Un total de 55 000 m³ est excavé. ▷

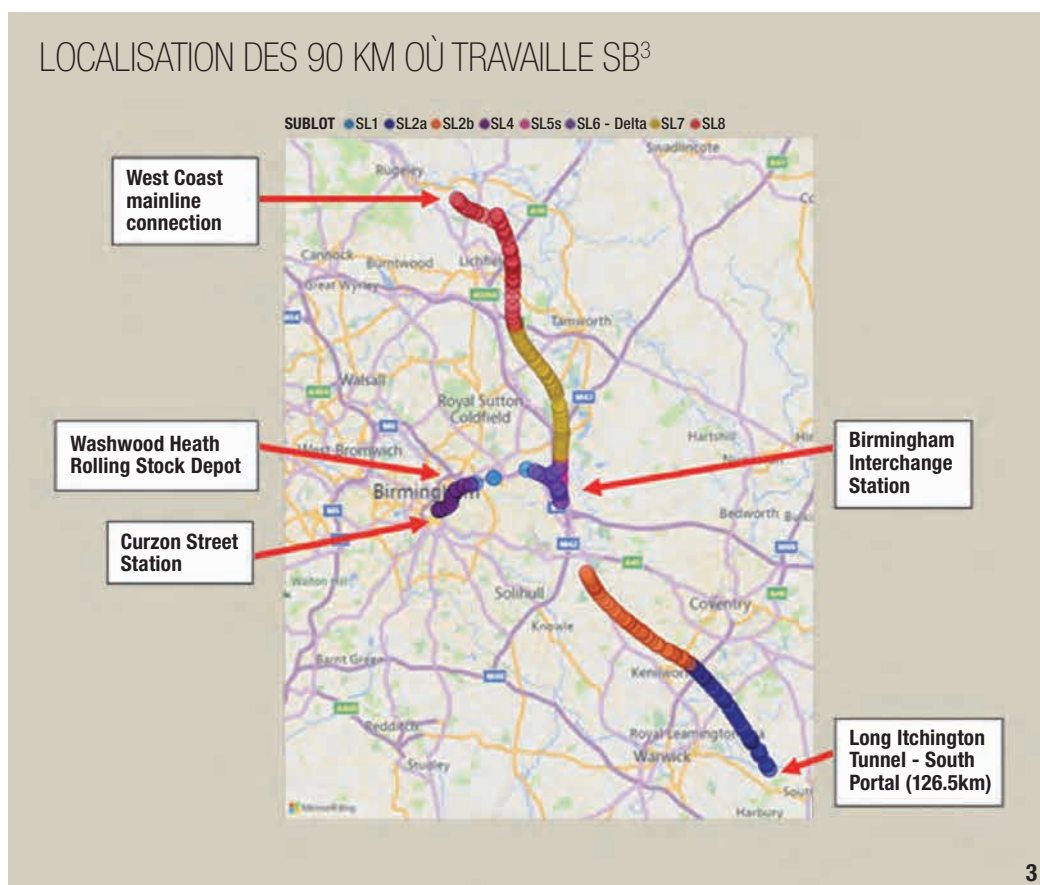
3 lignes de cages de 2 éléments sont installées dans chaque panneau. L'élément le plus lourd pèse 25 t et le plus long mesure 30 m. Le ratio d'acier atteint 250 kg/m³ (220 kg/m³ moyen). Les éléments de cage sont aussi levés en tandem à l'aide de 2 grues. 10% des panneaux sont équipés d'inclinomètres et 12,5% des panneaux sont équipés des tubes de réservation pour auscultation sismique

PIEUX EN TRACTION

Bromford West Portal : 36 pieux en traction et 71 pieux contigus ont été réalisés pour former le futur bassin de récolte des eaux et ancrer le radier du portail. Ces pieux ont pour dimensions 1,20 m de diamètre, 38 m de longueur forée et 18 m de longueur armée (20 m pour arriver au niveau inférieur de l'excavation du portail et 18 m de pieux effectif). Les pieux ont été réalisés en technique LDA (Large Diameter Auger).
Washwood Heath : 295 pieux en traction sont réalisés sur 2 lignes, de part et d'autre de l'axe de la tranchée couverte, entre les 2 murs de soutènement en paroi moulée et pieux sécants. Leur profondeur varie de 35 m à 24 m et leur diamètre est aussi de 1,20 m. Ces pieux sont dimensionnés pour reprendre la sous-pression de la nappe phréatique sous le radier.

PIEUX SÉCANTS

Les 2 murs de soutènements en paroi moulée sont ensuite prolongés de 2 murs de 150 m de long en pieux sécants. 395 pieux sécants de diamètre 1,20 m, 15 m de profondeur sont réalisés. Les pieux primaires ne sont pas armés, les pieux secondaires sont équipés d'une cage toute hauteur.



MATÉRIELS UTILISÉS

PAROI MOULÉE

Au vu de la géologie rencontrée et du programme, il a été décidé de mobiliser pour la paroi moulée 1 benne hydraulique montée sur une grue Bauer MC76 et 2 Hydrofraises EVO9 montée sur des grues Liebherr 885 (figure 7). L'excavation démarre avec l'utilisation de la benne hydraulique jusqu'à atteindre le toit du Mudstone Grade 2. Puis, l'excavation est poursuivie à l'aide

3- Localisation des 90 km où travaille SB³.

4- Localisation de WWH et BTWP.

3- Location of the 90 km where SB³ is working.

4- Location of WWH and BTWP.

d'une Hydrofraise jusqu'au fond du panneau.

L'étanchéité entre panneaux de paroi moulée est réalisée grâce à l'installation de joints waterstop CWS® (brevet Soletanche Bachy). Le fluide de forage utilisé est fabriqué à partir de bentonite CM10 produite par Clariant.

La centrale de fabrication, stockage et destruction de fluide de forage (figure 8) a été dimensionnée pour permettre la construction de 4 pan-





© SBP 5

neaux de paroi moulée en même temps (1 pour la benne, 1 pour chaque Hydrofraise et 1 pour l'équipement des cages et le bétonnage). La capacité de stockage est de 2200 m³ pour la boue neuve et la boue de forage. La boue usée est stockée dans une piscine avant destruction sur chantier via une centrifugeuse. Les eaux usées sont ensuite traitées sur site par l'entreprise générale.

La centrale est constituée des éléments ci-dessous :

- 22 silos de stockage de boue de forage ;
- 1 piscine de stockage de boue usée de 1 200 m³ ;
- 2 silos à poudre pour le stockage de bentonite ;
- 2 silos de stockage d'eau ;
- 1 unité de fabrication de boue automatique ;

5- Localisation de WWH et BTWP.
6- Un chantier longé par des voies ferrées.

5- Location of WWH and BTWP.
6- A worksite along which run railway tracks.

- 2 dessableurs Sotress D500 pour chaque Hydrofraise ;
- 1 desilteur PSD PS300 ;
- 1 Sotress D120 pour le traitement de la boue de retour béton ;
- 1 centrifugeuse PSD S5-1-G10 pour le traitement des silts pendant le forage et la destruction de la bentonite usée.

Les déblais de forage provenant des dessableurs sont stockés dans un bac de rétention de 1500 m³ avant réutilisation sur chantier pour la création de plates-formes.

La centrale est alimentée en électricité par 5 générateurs synchronisés.

La présence de gypse a fait évoluer la structure de la centrale. En effet, au contact des horizons gypseux, le fluide de forage bentonitique perd rapidement une partie de ses propriétés, rendant impossible plusieurs réutilisations d'un même volume de fluide de forage pour la réalisation de plusieurs panneaux. Ainsi, les capacités de la centrale pour la fabrication, le stockage et la destruction de la boue ont dû être revues à la hausse.

Du matériel supplémentaire a dû être mobilisé, une partie de la centrale réorganisée et la centrifugeuse n'ont

été utilisées qu'à la destruction de la bentonite.

Une solution utilisant un polymère en remplacement de la bentonite comme fluide de forage a aussi été développée sur chantier. Cette adaptation a nécessité l'ajout d'un mélangeur spécifique et un changement dans le circuit des fluides de la centrale.

Après plusieurs essais, cette solution a été abandonnée pour deux raisons :

- La solution polymère n'a pas apporté de changement radical dans la gestion du fluide de forage ;
- La proportion de gypse dans les terrains excavés décroît au fur et à mesure que le chantier progresse dans la dernière partie (Ouest) du chantier.

PIEUX EN TRACTION

Deux foreuses de pieux BG40 et une BG30 ont été mobilisées (figure 9).

Le choix des machines s'est fait en fonction de :

- Leur capacité à forer à 35 m de profondeur ;
- Leur capacité à utiliser 20 m de tubage casing ;
- Leur cadence d'excavation dans le MMGII.

La méthode utilisée est le segmental casing avec tarière et godet de forage (forage à sec, avec de l'eau comme fluide forage si nécessaire).

PIEUX SÉCANTS

La méthode de forage est la tarière continue (Continuous Flight Auger) avec casing pour assurer la verticalité (méthode CSP). Une foreuse de pieux de type BG46 ou équivalent va être mobilisée. La taille de la machine est en particulier dictée par le poids du kit CSP. ▷



© SBP 6

RESSOURCES HUMAINES

Un des principaux défis du projet a été de mobiliser suffisamment de personnel pour les différents postes, que ce soit au niveau opérationnel ou au niveau management. Ce projet est le plus grand chantier de fondation de SB³ et les besoins en personnel sont difficiles à satisfaire. L'arrivée du Brexit en plein milieu de la préparation a considérablement tari la possibilité de pouvoir recruter du personnel hors du Royaume-Uni. Il a donc fallu faire un effort très important en termes de formation technique et de formation sécurité du personnel local avant de pouvoir lancer la production.

SÉCURITÉ

Un énorme travail au niveau de la sécurité a été fait au démarrage du chantier, en particulier au démarrage des travaux de paroi moulée. En effet, l'activité de fondations au Royaume-Uni est principalement centrée sur les chantiers de pieux. Beaucoup de personnes n'avaient jamais travaillé sur des chantiers de paroi moulée, encore moins sur des chantiers avec Hydrofraise. Il a donc fallu détailler, avec encore plus de précision que d'habitude, l'ensemble des tâches à effectuer, identifier l'ensemble des risques associés et détailler les mesures de sécurité. L'ensemble a été découpé en tâches et illustré à travers des présentations simples et interactives. Les consignes ont été régulièrement exposées pendant les réunions se déroulant le matin avant les prises de poste. Elles ont été ensuite rappelées à intervalles réguliers lors des réunions sécurité. La gestion de la sécurité des chantiers au Royaume-Uni est très participative avec le personnel de production. L'approche interactive a permis, en restant à l'écoute constamment, de former des équipes rapidement opérationnelles. Une partie difficile du chantier a été la gestion des interfaces personnel/matériel roulant et opérations de levage. Bien que l'emprise du chantier soit grande, les constructions des plates-formes de travail et leur mise à disposition pour les travaux de fondation ne sont intervenues que progressivement. Le chantier s'est organisé en fonction de cela, avec une gestion rigoureuse des mouvements de machines et la création de chemins piétonniers dédiés.

GESTION DE L'INTERFACE AVEC LA LIGNE TRAIN

L'ensemble des travaux de fondation (paroi moulée et pieux) est mis en œuvre à proximité de voies ferrées en



© HS2

PROGRAMME

WASHWOOD HEATH :

- Paroi moulée : mars 2022 à septembre 2023
- Pieux en tension : février 2023 à décembre 2023
- Pieux sécants : septembre 2023 à mars 2024

BROMFORD WEST PORTAL :

- Paroi moulée : janvier 2022 à août 2022
- Pieux en traction : août 2022 à février 2023

activité. Des procédures de sécurité impliquant le gestionnaire des voies ferrées, l'entreprise générale et SB³ ont dû être établies.

En particulier, des zones d'exclusion pour opérations de levage, des barrières physiques et des signalétiques spécifiques ont été mises en place. De plus, les capacités des grues et autres

7- Hydrofraise.
8- Schéma de la centrale de fluide de forage.

7- Hydrofraise.
8- Diagram of the drilling fluid plant.

engins de levage, ainsi que la capacité portante des plates-formes, ont été surdimensionnées pour réduire au maximum les risques.

APPROVISIONNEMENT

Le projet HS2 est actuellement le plus gros projet en Angleterre. Celui-ci draine une grande partie des ressources locales (équipement, personnel, matériaux).

Quelques exemples des problèmes rencontrés et des solutions apportées :

→ Gestion des aciers : problème d'approvisionnement, car le marché local n'était pas prêt à absorber l'augmentation de quantités demandée par le projet. Recours aux marchés européens, le temps que le marché local s'organise.

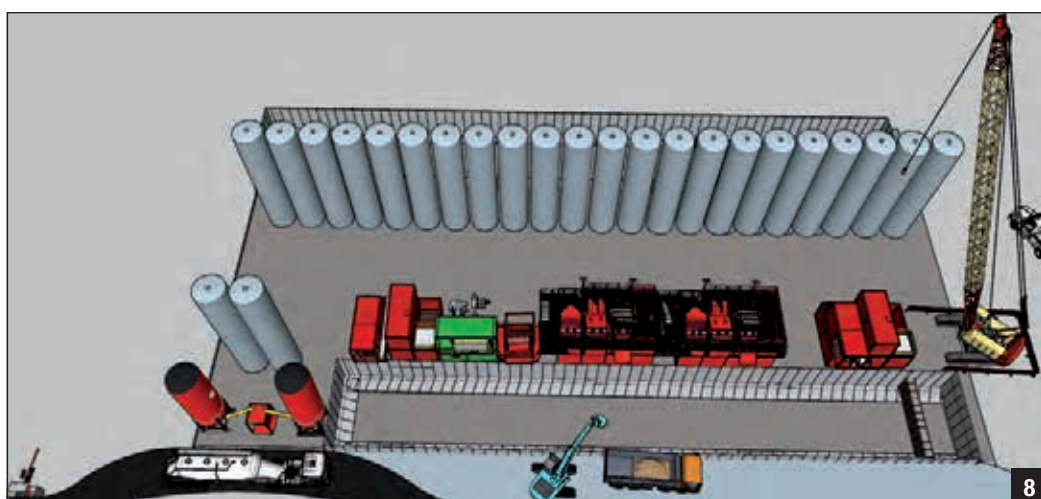
→ Gestion des bétons :

- Centrales à béton dédiées, mais le nombre de formules de béton a mis les fournisseurs en difficulté pour les approvisionnements des différents matériaux ;
- Plusieurs dizaines de chantiers devant être livrés quotidiennement, difficulté pour avoir des livraisons constantes en termes de quantité et de qualité.

ENVIRONNEMENT

Afin d'obtenir les autorisations de l'agence environnementale pour la réalisation des travaux, une étude complète des impacts potentiels des travaux sur la nappe phréatique, ainsi que de l'utilisation des boues de forage (bentonite et polymère) et la gestion des déblais excavés a été réalisée en amont du projet.

Puis, durant l'exécution des travaux, un processus lourd a été mis en place dans un contexte avec des contraintes délicates à satisfaire.



© SB³

- Ci-dessous, une liste non-exhaustive :
- Gestion des déblais de paroi moulée et de forage, ainsi que ceux provenant de la destruction des boues de forage, à réutiliser au maximum sur site ;
 - Permis d'évacuation des solides hors-site ;
 - Réutilisation des eaux grises de chantier non autorisée (obligation de les retraiter sur ou hors chantier) ;

PRINCIPALES QUANTITÉS

WASHWOOD HEATH

PAROIS MOULÉES

- Longueur : 1 492 m
- Largeur : 1,20 m
- Profondeur moyenne : 25 m
- Volume : 44 760 m³

PIEUX SÉCANTS

- Longueur paroi moulée : 2 x 153 m
- Nombre de pieux : 344 u
- Diamètre : 1,20 m
- Profondeur moyenne : 15 m
- Longueur totale : 4 928 m

PIEUX EN TRACTION

- Nombre de pieux : 334 u
- Diamètre : 1,20 m
- Profondeur moyenne : 28 m
- Longueur totale : 9 461 m

BROMFORD TUNNEL WEST PORTAL

PAROIS MOULÉES

- Longueur : 173 m
- Largeur : 1,20 m
- Profondeur moyenne : 30 m
- Volume : 6 210 m³

PIEUX EN TRACTION

- Nombre de pieux : 107 u
- Diamètre : 1,20 m
- Profondeur moyenne : 39 m
- Longueur totale : 4 173 m



9
© HS2

9- Foreuse de pieux à WWH.

9- Pile driller at WWH.

- Rapport mensuel à l'agence environnementale ;
- Management de la logistique avec un nombre des transports limité par chantier pour diminuer les

nuisances pour les villages avoisinants ;
 → Gestion des flux entrée/sortie pour la bonne marche du chantier, avec des arbitrages à prendre quand le nombre de transports dépasse le maximum autorisé.

GESTION DE LA QUALITÉ

Les procédures qualité imposées par le contrat comportent de nombreux points d'arrêt pour les différentes étapes de construction.

Le contrôle qualité est effectué directement par les équipes de construction, avec des audits internes effectués par les équipes qualité de SB³ et de BBV.

EXÉCUTION

Les plates-formes de travail sont fournies par le client BBV.

Le démarrage de la construction de ces plates-formes a été plus difficile que prévu : processus de dépollution des sols, présence d'obstacles enterrés et des voies ferrées adjacentes au chantier.

Toutes ces difficultés ont été surmontées par une adaptation constante des séquences de travail pour faciliter les interfaces entre les différents intervenants.

Le chantier est maintenant en pleine production avec des cadences de 3 à 4 panneaux de paroi moulée et 8 à 10 pieux par semaine.

La paroi moulée va se terminer mi-septembre 2023 et les pieux en traction juste avant la fin de l'année. Les pieux sécants vont pouvoir démarrer comme prévu fin août 2023.

Une partie du chantier a été réceptionnée par le client pour le démarrage des travaux de terrassement et de génie civil.

CONCLUSION

Le chantier de Washwood Heath est remarquable pour l'importance des quantités à construire et pour la logistique à mettre en œuvre.

Les équipes de SB³ ont eu de grandes facultés d'adaptation pour faire face aux changements lors du démarrage. Elles ont également su faire monter la production en puissance tout en gardant des statistiques de sécurité et de qualité exceptionnelles.

Une bonne coordination entre les différentes parties prenantes du projet a permis de surmonter les difficultés rencontrées lors du démarrage. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAIN CONTRACTOR : BBV (joint venture Balfour Beatty / Vinci)

DESIGN : joint venture Mott MacDonald / Systra

FONDATEMENTS ET AMÉLIORATIONS DE SOL : SB³ (joint venture Bachy Soletanche / Balfour Beatty Ground Engineering)

ABSTRACT

WASHWOOD HEATH, HS2 OPERATIONS CENTRE IN BIRMINGHAM

FRÉDÉRIC HUBERT, SB³ JV - SAMUEL MALLET, SB³ JV

Soletanche Bachy, in a joint venture with Balfour Beatty Ground Engineering (called SB³) is tasked with foundation works for phase 1 of the northern section of the HS2 high-speed train project between London and Birmingham. The works comprise the execution of diaphragm walls, piles and rigid inclusions. Of the hundred or so worksites covered by SB³, Washwood Heath & Bromford West Portal, chiefly comprising the diaphragm walls, secant piles and tension piles, is one of the most extensive. □

WASHWOOD HEATH, CENTRO DE OPERACIONES DE HS2 EN BIRMINGHAM

FRÉDÉRIC HUBERT, SB³ JV - SAMUEL MALLET, SB³ JV

Soletanche Bachy, en joint-venture con Balfour Beatty Ground Engineering (en adelante SB³) se encarga de los cimientos de la parte Norte de la fase 1 del proyecto de tren de alta velocidad HS2, entre Londres y Birmingham. Las obras incluyen la realización de pantallas de hormigón, pilotes e inclusiones rígidas. Entre el centenar de obras que lleva a cabo SB³, el Washwood Heath & Bromford West Portal, que consta principalmente de pantallas de hormigón, pilotes secantes y pilotes en tracción, es una de las más grandes. □



1
© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

THE ARCHITECT'S ROLE IN DESIGNING AND DELIVERING 90 KM OF BRITAIN'S NEW HIGH-SPEED RAILWAY (HS2)

AUTHOR: NICK MCGOUGH, DIRECTOR, WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

WESTON WILLIAMSON + PARTNERS DESCRIBE HOW THE INVOLVEMENT OF AN ARCHITECT WITHIN A CIVIL ENGINEERING PROJECT CAN HELP ELEVATE INFRASTRUCTURE PROJECTS BEYOND A PURELY FUNCTIONAL ENGINEERING APPROACH TO ONE THAT DELIVERS LONGER TERM SOCIAL VALUE AND LEAVES AN ONGOING POSITIVE LEGACY. THIS IS ILLUSTRATED UTILISING VARIOUS STRUCTURES ALONG THE HS2 ROUTE GIVING A BROAD OVERVIEW OF THE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES A PROJECT OF THIS SCALE AND COMPLEXITY PRESENTS AND HOW A WHOLISTIC DESIGN-LED APPROACH CAN BE IMPLEMENTED.

HS2 is Britain's new high-speed rail line being built from London to the North-West, with HS2 trains linking the biggest cities in Scotland with Manchester, Birmingham and London. It is the largest infrastructure project in Europe and the most important economic and social regeneration project in the UK for decades. HS2 trains, together with

new lines and upgrades across Britain's rail system, will deliver faster travel to major towns and cities across Britain including Liverpool, Sheffield, Leeds, Nottingham and Derby.

By moving long-distance traffic from the current rail network onto HS2's new line designed for train speeds of up to 360 km/h, extra capacity will be

1- Burton Green Cut and Cover Tunnel aerial visualisation showing portal building.

1- Vue aérienne de la tranchée couverte Burton Green montrant le bâtiment de tête de tunnel.

created to improve local, regional and freight services, enabling more freight to be taken off the road network. Journeys on HS2 will be zero-carbon from day one of operation and will help the UK's drive for net-zero carbon emissions. HS2 derives its name as the successor to High Speed 1 (HS1), the 108km high-speed railway linking



© BALFOUR BEATTY VINCI
2

London with the Channel Tunnel and onwards to Paris and mainland Europe. 270km of new high-speed line is already under construction between Crewe and London, employing nearly 30,000 people.

In all, the UK government is planning over 420km of new high-speed lines across the country. HS2 will begin running between 2029 and 2033 when the section between London and the West Midlands is complete, and services will expand as new sections of the network are built.

In 2017 a joint venture, Balfour Beatty VINCI (BBV), was awarded the civil works contract to design and build the northern section of HS2's Phase One route, which covers 90km from Long Itchington in Warwickshire, to the centre of Birmingham and on to Handsacre, in Staffordshire. BBV's team includes the Design Joint Venture of Mott MacDonald and Systra with Weston Williamson + Partners as lead architects.

2- Burton Green Cut and Cover Tunnel aerial site photograph.

3- Cromwell Lane Underpass architectural illustration.

4- Cromwell Lane Underpass visualisation from Kenilworth Greenway.

2- Photographie aérienne du chantier de la tranchée couverte Burton Green.

3- Vue d'architecte à vol d'oiseau du passage inférieur Cromwell Lane.

4- Vue du passage inférieur Cromwell Lane à partir du couloir de verdure Kenilworth Greenway.

The Parliamentary Act which approved HS2 Phase One defines the route with "limits of deviation" and gives HS2 Ltd the powers to purchase land and build, but critically still requires the submission of Schedule 17 applications to Local Planning Authorities (LPAs) for any structure which is above ground. In essence, this means an LPA can withhold consent on design grounds. Furthermore, the Act lists a number of "Key Design Elements" (KDEs) which are especially sensitive bridges, viaducts, tunnels or other structures which received significant petitioning during the parliamentary process. These KDE structures require additional public and community engagement and an extra level of detail in their Schedule 17 planning applications. They are also scrutinised by the HS2 Independent Design Panel - a body of experts consisting of engineers, architects and landscape architects who undertake numerous design reviews at staged intervals,

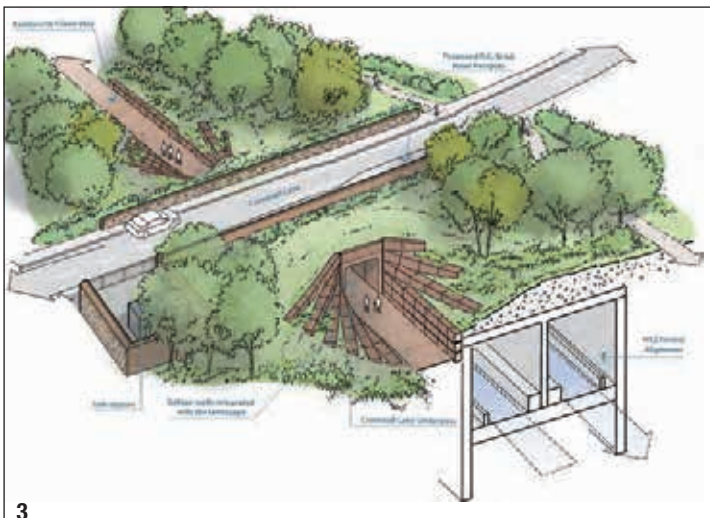
making recommendations and assessing whether proposals meet the HS2 Design Vision of benefitting People, Place & Time.

The northern section has nine of the 27 KDEs in Phase One, including:

- Burton Green Cut and Cover Tunnel;
- Water Orton Viaducts;
- Chattle Hill Box;
- Birmingham & Fazeley Viaduct;
- River Cole Viaducts;
- Balsall Common Viaduct;
- River Blythe Viaduct;
- Aston Church Road Overbridge;
- Saltley Viaduct.

These KDEs, and the structures along the 90km section more generally, pass through both rural, peri-urban and urban areas and need to respond sensitively to their contexts and communities. Recognition of the importance of design in addressing these challenges is specifically championed by the HS2 Design Directorate. The Design Directorate provides core guidance for the project (including the aforementioned HS2 Design Vision) and has a critical role in championing design and supporting best outcomes. This is essential in elevating infrastructure projects beyond a purely functional engineering approach to one that delivers longer-term social value and leaves a positive legacy.

The architect's role therefore necessarily encompasses many facets, including working closely with the engineering and construction teams, as well as the HS2 Design Directorate, to develop designs which meet HS2's Design Vision aspirations, while balancing technical, constructability, cost, safety and programme requirements. For especially sensitive structures including the KDEs, the architect helps drive the design process in a number of ways. ▷



3

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



4

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

This includes strong involvement in stakeholder and community engagement, ensuring that requirements and feedback are taken into account in developing designs. This is supplemented in many cases by Context Integration Studies which take a much broader masterplanning approach and look at the longer-term opportunities HS2 can help catalyse and the positive legacy the project can leave. This includes making green areas more publicly accessible through new footpaths and cycleways and identifying development opportunities in urban areas. The architect is also essential in preparing material for the Schedule 17 planning applications which has to clearly represent and justify often complex proposals in a way LPAs can comprehend and ultimately approve in order to allow construction to progress. This can include CGI visualisations, physical models, illustrations, animations and diagrams. HS2's Arts and Culture programme is also reliant on the architect's involvement including one particularly significant collaboration with an acclaimed artist for a bridge in Birmingham. The following is a brief design description of a number of the rural and urban structures within the northern 90km section of Phase One. This will give an idea of the scale and complexity of the project through an understanding of these significant and sensitive structures along the route.

BURTON GREEN CUT AND COVER TUNNEL

The Burton Green Tunnel passes through a rural community and is adjacent to the Kenilworth Greenway (figures 1 and 2), an important local amenity. Accordingly, the proposals for the various different elements in

this area require sensitive treatment. The entrance to the tunnel includes a portal building which accommodates much of the equipment for running the high-speed trains through the tunnel. The portal building as well as the tunnel portal itself are designed to be wrapped within a bowl-shaped landscape with planting reinforcing the visual screen. Furthermore, both the portal building

5- Water Orton Viaducts visualisation.

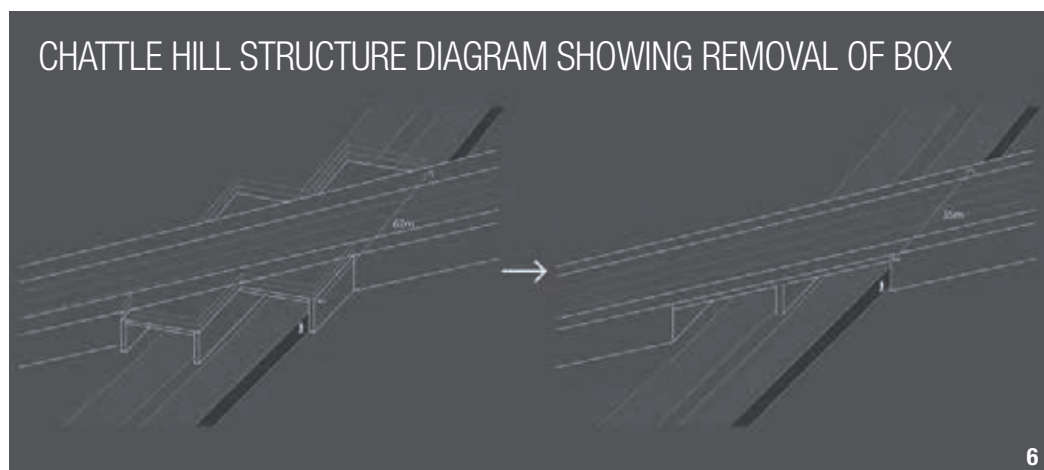
6 & 7- Chattle Hill structure.

5- Vue des viaducs à Water Orton.

6 & 7- Ouvrage de Chattle Hill.

and tunnel roofs are designed to receive a layer of topsoil allowing the tunnel to be greened and helping maintain the rural character of Kenilworth Greenway, which runs parallel to the HS2 route in this location.

The vertical and horizontal alignment of the railway means the cut and cover tunnel is very shallow and close to the Kenilworth Greenway in places. Design



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS
8

proposals have therefore been developed which sensitively integrate the railway while seeking to contribute positively to the character of the Greenway. This is most evident in the designs for the Cromwell Lane Underpass, as can be seen in figures 3 and 4. Here a splayed configuration of gabion baskets provides the retaining structure on the approach to the underpass with red precast concrete segments evoking the local red sandstone geology. This allows users of the Greenway, including horse riders, to pass underneath Cromwell Lane without knowing that in effect high-speed trains are passing beside them.

The Delta Junction is a triangular section of line covering a distance of approximately 4.6km, where the HS2 route curves west towards Birmingham and runs north towards Crewe. The Delta includes three KDE structures

and significant landscape proposals. The Water Orton Viaducts (figure 5) are match-cast segmental deck viaducts over 20m at the tallest point crossing motorways and passing over existing railway infrastructure as well as straddling the HS2 main line itself. The Chattle Hill structure was previously a 'box' structure with large triangular concrete overhangs on either side of

8- River Cole Viaducts aerial visualisation.

9- Balsall Common Viaducts aerial visualisation.

8- Vue aérienne des viaducs sur le fleuve Cole.

9- Vue aérienne des viaducs à Balsall Common.

the HS2 line. The long continuous side walls would have led to an uncomfortable point of passage under the railway for cyclists, pedestrians and motorists, so the design team developed a more efficient structural approach which removes the triangular concrete overhangs and replaces them with a slimmer structure (shown in figures 6 and 7). This greatly reduces enclosed travelling time for pedestrians and cyclists and greatly improves the user experience.

The River Cole Viaducts (figure 8) are a pair of lower viaducts which skim over a realigned River Cole and new landscape which makes provision for replacement flood storage and contributes to local biodiversity through the creation of a publicly accessible wetland. The viaduct itself is designed to be launched, with a weathering steel box girder deck structure.

BALSALL COMMON VIADUCT AND RIVER BLYTHE VIADUCT

The Balsall Common and River Blythe viaducts are relatively close to one another and share some characteristics. Both are in rural areas and have been designed as low horizontal viaducts skimming across the landscape.

Balsall Common Viaduct, shown in figure 9, has taller acoustic parapets on both sides of the viaduct. The deck is constructed from prestressed precast concrete beams with a pier head design which eliminates the need for temporary works whilst also maximising views under the viaduct. The landscape design builds on existing public rights of way allowing people to make use of local green spaces which will be well planted and provide filtered views of the viaduct from specific vantage points. River Blythe Viaduct (figures 10 and 11) sits very slightly lower in the landscape and therefore requires gently haunched deck beams over the existing road to maintain head clearance. Unlike the Balsall Common Viaduct, most of the structure is located on private farmland that will not be publicly accessible. Due to the flat agricultural nature of the landscape in this specific location, unobstructed views of the whole length of the viaduct are possible and the piers in particular have been refined to minimise the branching arms which support the deck and reduce the visual stacking effect, particularly when viewed obliquely from the publicly accessible roadway.

ASTON CHURCH ROAD OVERBRIDGE AND SALTLEY VIADUCT

Aston Church Road Overbridge and Saltley Viaduct (figures 12 and 13) both replace existing road bridges which do not provide sufficient clearance for HS2 to pass underneath.



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS
9



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

As these new overbridges have to increase underside clearance while mating with existing levels, minimising the structural depth is key.

A half-through structure is therefore the only feasible approach.

So the opportunity was taken to fully segregate pedestrians and cyclists from road traffic with generous 4m-wide cantilevered walkways, while the structural girder was kept as low as possible in order to maintain visual contact between drivers and pedestrians.

CURZON APPROACH VIADUCTS

HS2 will run into Birmingham's Curzon Street Station along the Curzon Street Approach Viaducts (shown in figure 14), which are divided into three sections. Curzon Viaduct 1 and the Curzon 2 Bridge pass through light-industry and commercial areas. Curzon Viaduct 3 spans Birmingham's Eastside development area, which is a new city centre development accessible to the public. Including the Lawley Middleway span, Curzon Viaduct 3 is approximately 550m long, with a soffit level between

6m and 16m above ground level and a width ranging between 15m and 65m. The Curzon 2 Bridge consists of a gently curved truss in weathering steel which carries HS2 17m above ground level and over the Victorian brick rail viaduct below, reaching up to 40m in height. Conceptually these viaducts are thought of as a series of episodes in a coherent story. This allows a contextual approach while also maintaining the overall identity of the HS2 route, each episode being considered as part of the greater whole.

10 & 11- River Blythe Viaduct visualisations in different seasons.

12- Aston Church Road Overbridge sectional lighting diagram.

13- Saltley Viaduct visualisation from walkway.

14- Curzon Street Approach Viaducts architectural illustration showing a series of moments.

15- Curzon 3 Viaduct architectural illustration showing potential for activities below the structure.



12

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



13

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

10 & 11- Vues du viaduc sur le fleuve Blythe à diverses saisons.

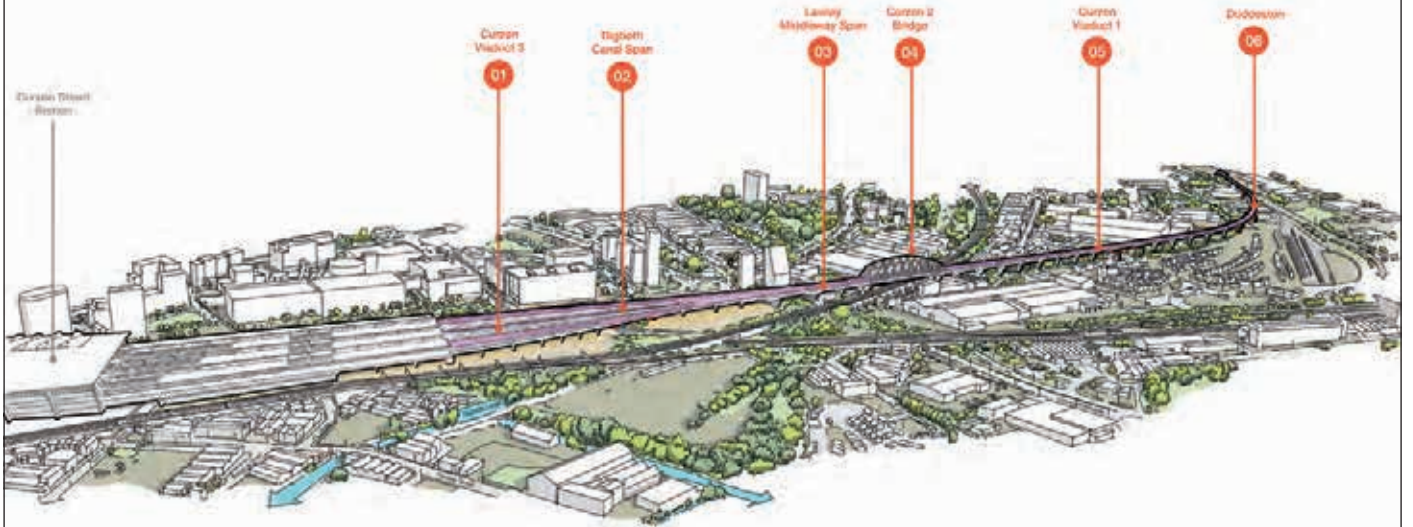
12- Schéma d'éclairage de l'ouvrage de franchissement de la rue Aston Church.

13- Vue du viaduc Saltley à partir de la passerelle.

14- Vue d'architecte des viaducs d'accès à Curzon Street montrant plusieurs moments.

15- Vue d'architecte du viaduc Curzon 3 indiquant d'éventuelles activités au-dessous de l'ouvrage.

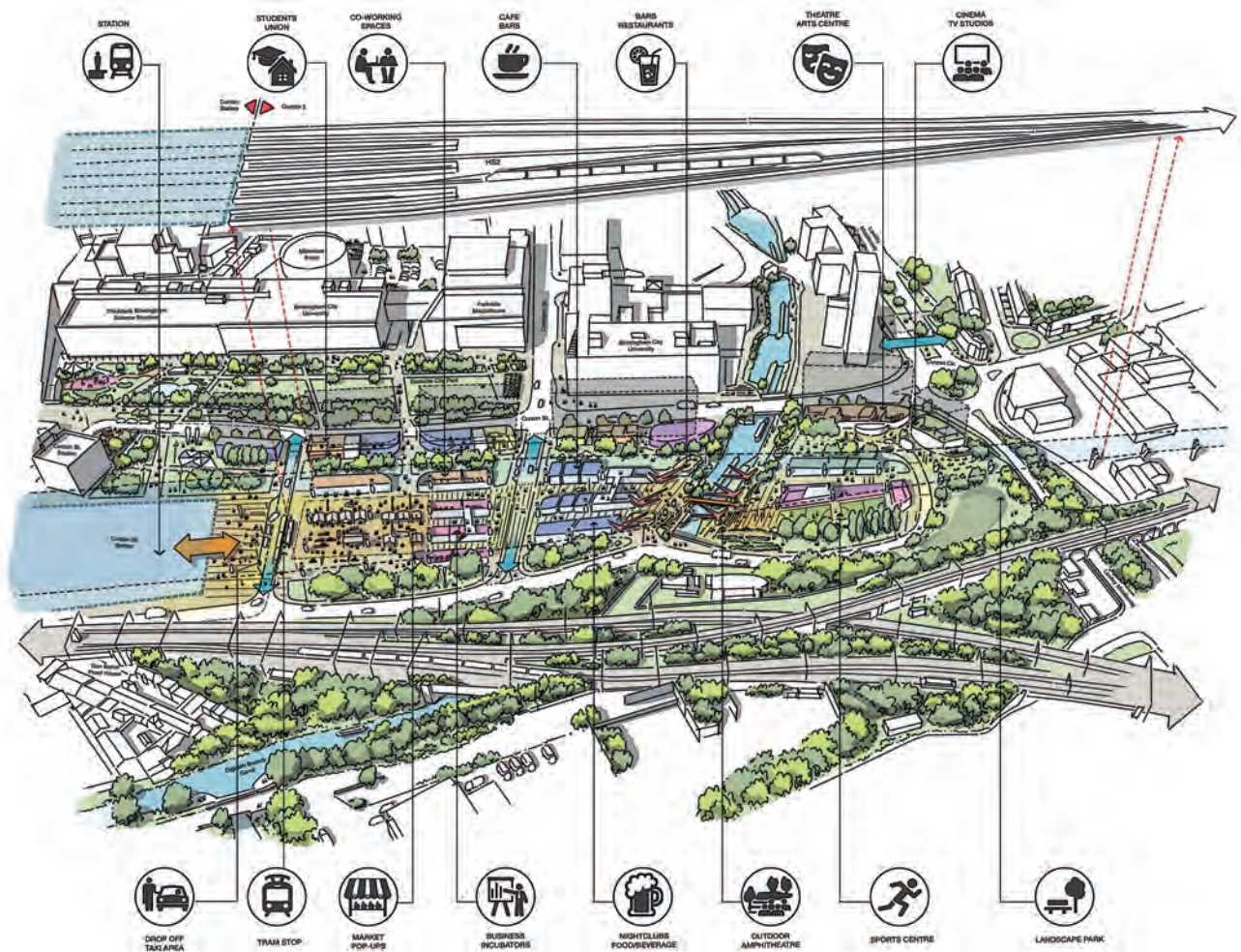
CURZON STREET APPROACH VIADUCTS ARCHITECTURAL ILLUSTRATION SHOWING A SERIES OF MOMENTS



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

14

CURZON 3 VIADUCT ARCHITECTURAL ILLUSTRATION SHOWING POTENTIAL FOR ACTIVITIES BELOW THE STRUCTURE



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

15



16

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



17

© BALFOUR BEATTY VINCI

The driving ambition for the viaduct designs has been to maximise the opportunities to create usable and flexible public spaces under the structures (figure 15).

In order to develop this, an early viaduct vision was developed which envisages temporary and pop-up uses as well as the accommodation of much more permanent pavilions or buildings.

The final design of the public realm under the viaduct was to be developed by a separate team not yet appointed, so it was important to develop this viaduct vision to support future decision-making.

A multitude of tools have been used to develop the designs including Birmingham City Council's city model VR suite and 3D-printed physical models.

In developing this approach, the team has engaged in continuous dialogue with numerous stakeholders including Birmingham City Council, the Canal & River Trust, Historic England and Birmingham City University.

The team has also worked closely with HS2 Ltd's Art and Culture team to deliver a light artwork, which has been positively received at public community engagement events.

In order to create spaces of the highest quality and greatest flexibility under the viaduct, maximising daylight was considered key. Therefore, as the tracks split further to serve the station platforms the viaducts have been considered as separate box structures with bearings and piers located directly underneath the train path. This minimises the struc-

16- Curzon 3 Viaduct visualisation showing V-piers.

17- Curzon 3 Viaduct V-pier site photograph.

18- Curzon 3 Viaduct visualisation showing the Digbeth Canal crossing.

16- Vue du viaduc Curzon 3 montrant les piles en V.

17- Photographie du chantier des piles en V du viaduc Curzon 3.

18- Vue du viaduc Curzon 3 montrant le franchissement du canal de Digbeth.

tural depth, maximises the underside clearance and allows the introduction of long linear light slots. This then establishes the structure's rhythm, with the light slots being closed as the tracks come together and allowing for switches and crossings above.

Every opportunity has been taken to remove concrete where possible through sculpting of the deck and the introduction of large coffers. This close collaboration between architect, structural engineer and the construction team reduced the quantity of material used (and hence carbon emissions) and created an articulated soffit, expressing the structural hierarchy and lending visual interest to the space below.

V-piers, shown in figures 16 and 17, have been developed for a reduced footprint, being articulated to reduce their perceived visual mass. Recesses at the sides of the piers have been designed to allow for services integration and to visually conceal drainage downpipes. The piers maintain their V-shaped geometry with an extendable stem that adapts to the terrain as necessary. This replication allows reuse of the shuttering to cast the V form and reduces overall cost.

At the Digbeth Canal crossing (figure 18), the design celebrates the moment of intersection between this new 21st-century piece of infrastructure and its 19th-century counterpart. Inverted steel tripod piers evoke the legacy of canal-side cranes.

The Curzon 2 truss, shown in figure 19, has to carry three HS2 tracks as well as various switches and crossings, so that vibration and deflection requirements become of paramount importance.

The large 150m-long truss will be assembled on the ground and then



18

© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS



© WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

19

19- Curzon 2 Bridge visualisation showing light artwork.

19- Vue du viaduc Curzon 2 montrant des œuvres d'art lumineuses.

launched over the existing rail viaduct. Slender intermediate piers are needed for this launching process to land the structure as it makes its way across. By designing these intermediate piers as permanent concrete structures, the effective span of Curzon 2 is reduced, and the rigidity needed to meet the vibration and deflection requirements

MAIN QUANTITIES

- Over 40 viaducts totalling over 11km
- Over 60 overbridges
- Over 50 culverts and other underbridges
- 6 tunnel portal buildings and headhouses
- 6 interfaces with the existing rail requiring both dive-under and overbridge structures

PROJECT TEAM

CLIENT: HS2 Ltd
CONSTRUCTION JOINT VENTURE: Balfour Beatty / Vinci
DESIGN JOINT VENTURE: Mott MacDonald / Systra
LEAD ARCHITECT: Weston Williamson + Partners

can be achieved with a far smaller quantity of steel and hence lower carbon emissions. This means the structure is lighter to launch and is also more elegant once in place. A major light artwork by contemporary British artist Liz West will introduce a dynamic colour palette in the apertures of the steel truss, framing views of the city. Titled "Out of the Blue", the artwork will establish the bridge as a stunning feature of the city's landscape at night, when the artwork will come to life. The bridge evokes the city's industrial heritage and the structure will become an iconic feature of the Birmingham skyline, creating a legacy for HS2 and contributing positively to the city's identity. □

ABSTRACT

LE RÔLE DE L'ARCHITECTE DANS LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION D'UN TRONÇON D'UNE LONGUEUR DE 90 KM POUR LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE (HS2) EN GRANDE-BRETAGNE

NICK MCGOUGH, WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

La ligne HS2 est la nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse en cours de réalisation entre Londres et le nord-ouest de la Grande-Bretagne. Des trains HS2 relieront les villes écossaises les plus importantes à Manchester, à Birmingham et à Londres. Si le rôle de l'architecte est bien reconnu dans la conception de gares, de nombreux éléments de génie civil bénéficient aussi des apports de l'architecte. Dans le cas de HS2, il s'agit non seulement de travailler en étroite collaboration avec les équipes d'études et de réalisation pour élaborer des propositions afin de respecter la Vision de Conception HS2, mais également de s'engager sur des projets intéressants le public, la collectivité et les parties prenantes. Il s'agit de représenter et de communiquer clairement des études pour approbation par les autorités concernées et d'élaborer des schémas directeurs bien plus importants pour garantir que le projet HS2 puisse laisser un héritage positif à plus long terme. Les résultats de cette approche hautement collaborative sont décrits à travers les ouvrages qui jalonnent le trajet et qui permettent de mesurer l'ampleur et la complexité des travaux en cours. □

EL PAPEL DEL ARQUITECTO EN EL DISEÑO Y LA ENTREGA DE 90 KM DEL NUEVO TREN DE ALTA VELOCIDAD BRITÁNICO (HS2)

NICK MCGOUGH, WESTON WILLIAMSON + PARTNERS

La HS2 es la nueva línea ferroviaria de alta velocidad que se está construyendo entre Londres y el noroeste de Reino Unido, con trenes HS2 que enlazarán las ciudades más grandes de Escocia con Manchester, Birmingham y Londres. Aunque el papel del arquitecto en el diseño de edificios de estaciones está claramente definido, numerosos aspectos de la obra civil pueden beneficiarse de sus aportaciones. En el caso de la HS2, así ha quedado patente no solo en la estrecha colaboración con los equipos de ingeniería y construcción en el desarrollo de propuestas para cumplir la Visión de diseño de la HS2, sino también en el trabajo de participación pública, comunitaria y de los grupos de interés. Ello supone representar y comunicar claramente los diseños para que los organismos de autorización den su visto bueno, al tiempo que desarrollar planes maestros mucho más amplios que garanticen un legado positivo de la HS2 a largo plazo. El resultado de este proceso de gran colaboración queda reflejado en una serie de estructuras a lo largo del trazado que dan una idea de la escala y la complejidad del trabajo que se está llevando a cabo. □



1
© BBV

HS2 - MARSTON BOX - OUVRAGE BIAIS RIPPÉ

AUTEURS : CHRISTOPHE LAGARDE, CHEF DE PROJET OUVRAGES D'ART, BALFOUR BEATTY VINCI - EMMANUEL MENDIOLA, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, SYSTRA - ANDRA STANCULESCU, CHEF DE PROJET OUVRAGES D'ART, SYSTRA - ANNE VERDAGUER, CHEF DE PROJET GÉOTECHNIQUE, SYSTRA - CAMILLE LE PEN SENECHAL, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART, SYSTRA

L'OUVRAGE MARSTON BOX DE FRANCHISSEMENT DE L'AUTOROUTE M42 S'INSCRIT DANS LE CADRE DE LA CRÉATION DE LA NOUVELLE LIGNE À GRANDE VITESSE HS2 RELIANT LONDRES À BIRMINGHAM EN ANGLETERRE. CET OUVRAGE EN BÉTON ARMÉ EST COMPOSÉ D'UN CADRE DOUBLE ET DE DEUX TRAVÉES DE RIVES REPOSANT SUR CULÉES. IL PRÉSENTE DES SUJÉTIONS IMPORTANTES D'ÉTUDES ET DE TRAVAUX LIÉES À SA GÉOMÉTRIE, À SON ENVIRONNEMENT TRÈS CONTRAINT ET À UN PHASAGE DE CONSTRUCTION COMPLEXE DÛ À LA MISE EN PLACE PAR AUTORIPAGE®.

CONTEXTE GÉNÉRAL - PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage Marston Box, ouvrage de franchissement de l'autoroute M42 en Angleterre, s'inscrit dans la création de la nouvelle ligne à grande vitesse anglaise (HS2) reliant Londres à Birmingham (figure 2).

L'ouvrage est situé à l'est de la ville de Birmingham, il permet à la nouvelle ligne à grande vitesse de franchir l'autoroute M42. L'ouvrage est en béton

armé, il est constitué de quatre travées de respectivement 24 m – 40 m – 40 m – 24 m de longueur. La coupe fonctionnelle est composée d'une plateforme ferroviaire à double voie et de deux passages de service. La largeur droite est de 14,25 m. Les travées de rives reposent sur des culées fondées sur pieux aux deux extrémités. Les deux travées intermédiaires sont encastrées dans les piédroits, eux-mêmes encastrés dans le radier. La structure possède

1- Vue aérienne de la Marston Box après ripage.

1- Aerial view of Marston Box after skidding.

un biais de 29° par rapport à l'axe principal de l'ouvrage (figure 3). Il est situé entre deux autres structures : le Seeney Lane Underbridge (portique en béton

armé) et le Dunton Wood Retaining Wall (ouvrage de soutènement en U).

Les principales contraintes imposées pour la réalisation de cet ouvrage sont les suivantes :

→ L'autoroute M42 est actuellement à 2x2 voies avec un projet d'élargissement futur à 2x3 voies ;

→ Le sol support au droit de la zone de construction et de l'autoroute de faible qualité avec un niveau de nappe variable ;

- La construction d'une zone de compensation environnementale ;
- Le passage supérieur existant à proximité enjambant la M42 ;
- Les différents réseaux aériens et souterrains à dévier.

De plus, le gabarit vertical minimal de 5,7 m imposé par l'autoroute à l'endroit du franchissement et la longueur de portée biaise de 40 m par sens de circulation sont des contraintes géométriques à considérer.

La particularité de cette structure est son biais prononcé et son phasage de construction. Cet ouvrage est réalisé en deux temps.

La première phase consiste en la construction du cadre double à côté de l'autoroute. Cette première structure est ensuite ripée sur l'autoroute en utilisant la méthode d'Autoripage® développée par l'entreprise Freyssinet. La seconde phase consiste à raccorder ce cadre double aux culées moyennant la construction des deux travées de rives coulées en place.

DÉROULEMENT DES ÉTUDES

La solution initiale développée dans les phases préliminaires des études, est une structure en double portique avec des poutres précontraintes préfabriquées en T inversé, perpendiculaire à l'axe de l'autoroute et aux piédroits (portée droite ~20 m), surmontées par une dalle en béton armé coulée en deuxième phase (figure 4). L'ouvrage est prévu d'être construit dans sa position définitive par rapport à l'autoroute, ce qui implique d'importantes perturbations du trafic sur la durée des travaux d'environ 18 mois dont 3 mois de fermeture complète de nuit pour la pose des poutres et équipements du tablier (parapets...). Afin de réduire au maximum l'impact de la construction



2
© SYSTRA

2- Tracé de HS2 et position de la Marston Box.

3- Vue architecturale de la structure définitive.

2- HS2 alignment and position of Marston Box.

3- Architect's view of the final structure.

sur le trafic autoroutier, les discussions menées par BBV/HS2 avec l'exploitant de l'autoroute (NH), ont abouti à proposer une structure de type cadre double qui serait construite à proximité de l'autoroute puis déplacée à son emplacement définitif par la technique d'Autoripage® de Freyssinet.

Dans cette solution, seul le cadre double devait être réalisé et ripé. La liaison avec les ouvrages adjacents était effectuée par des ouvrages de même

type que le Dunton Wood Retaining Wall (ouvrages de soutènement en U). Cette configuration engendrait donc une poussée des terres sur les murs extérieurs du cadre double (figure 5) qui, compte tenu du biais de l'ouvrage, induisait des déplacements latéraux des rails jugés incompatibles avec la stabilité de la voie sur dalle.

Du fait du biais, les piédroits extérieurs du cadre ne sont pas perpendiculaires à la direction principale de l'ouvrage. Certains cas de charge (poussée des terres, variations thermique, retrait et autres) génèrent une rotation de l'ouvrage autour d'un axe vertical. Ces déplacements ont une composante transversale par rapport à l'axe de la voie.

Les déplacements de la solution initiale étaient de 14 mm sous ELS caractéristiques.

À la suite de cette première phase d'étude, les exigences relatives aux déplacements transversaux limités aux abouts ont été affinées, les limitant à 5 mm sous combinaisons ELS caractéristiques.

Afin de respecter les déplacements limites, le fonctionnement de la structure a été revu. Des travées de rives avec des appareils d'appui bloqués transversalement sont rajoutés sur les culées. Avec cette solution, les poussées des terres sont supprimées et les abouts de l'ouvrage sont perpendiculaires à l'axe des voies. L'orthogonalité des culées à l'axe de l'ouvrage permet la mise en place d'appuis permettant de bloquer le déplacement transversal de la structure.

MODÉLISATION DE L'OUVRAGE

Le biais prononcé de l'ouvrage ne permet pas une étude simplifiée à l'aide d'un modèle filaire 2D. Pour anticiper au mieux le comportement de la structure, des modèles aux éléments finis sur le logiciel Sofistik sont réalisés (figure 6). L'ensemble de la structure est modélisé en élément plaque. Le sol est considéré sous forme de raideur verticale.

Deux modèles distincts sont réalisés :

Modèle global

Il s'agit d'un modèle 3D tenant compte du phasage de construction de l'ensemble de la structure. Chaque élément est activé en accord avec les étapes de construction. Les chargements sont ajoutés tout au long de la vie de l'ouvrage. Ce modèle permet le dimensionnement de l'ensemble des éléments béton armé. Il est également destiné à la vérification des déplacements.



3
© SYSTRA

Modèle ripage

Toujours sur le logiciel Sofistik, le modèle de ripage ne contient que le cadre double. Lors du ripage, le radier de l'ouvrage passe du radier de guidage au sol au droit de l'autoroute. Les raideurs de sol sont variables en fonction de la position du radier (radier de guidage ou bien sol). Ce modèle permet d'étudier l'impact du ripage sur la structure. Pour la Marston Box, cette phase n'est pas dimensionnante pour les divers éléments béton armé.

CLÉ DE CISAILLEMENT

La problématique de la Marston Box est le respect des déplacements limites imposés par le matériel de voie. Pour réussir à les vérifier, en plus des appareils d'appui sphériques reprenant les réactions verticales, des clés de cisaillement permettant de bloquer les déplacements transversaux de l'ouvrage sont mises en place.

Les efforts horizontaux à reprendre sont relativement importants (330 t sous combinaisons ELS caractéristiques), ils sont dus aux charges permanentes et aux charges d'exploitation.

La durée de vie des clés de cisaillement est inférieure à celle de l'ouvrage. Pour leur remplacement, il convient de décharger la clé de cisaillement des efforts horizontaux. Pour ce faire, un système de bossage béton placé en sous-face de tablier est réalisé. Des vérins horizontaux seront mis en place entre le bossage de la clé de cisaillement et les bossages du tablier, permettant ainsi le changement de la clé (figure 7).

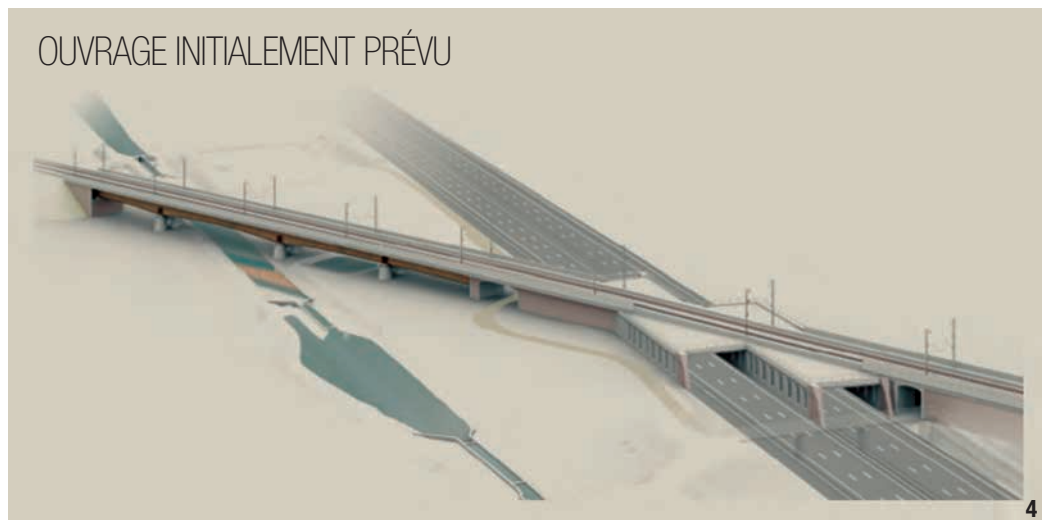
Les clés de cisaillement ont fait l'objet d'études approfondies de la part de Freyssinet pour :

- Reprendre des efforts horizontaux sous combinaisons ELS Quasi Permanent ;
- Assurer son rôle d'appui transversal lors du changement des appareils d'appui sphériques (surélévation du tablier).

GÉOTECHNIQUE

Le sol est composé d'environ 3 m de dépôts glaciaires argileux surconsolidés recouverts par 1 à 2 m d'une couche plus sableuse. Le Mercia Mudstone (argilite tendre de grade d'altération 2) constitue le substratum. Le niveau de nappe varie en fonction des saisons, de 1 à 5 m sous le terrain naturel (figure 8).

Après avoir envisagé d'améliorer le terrain par des drains verticaux pour accélérer les tassements, une solution

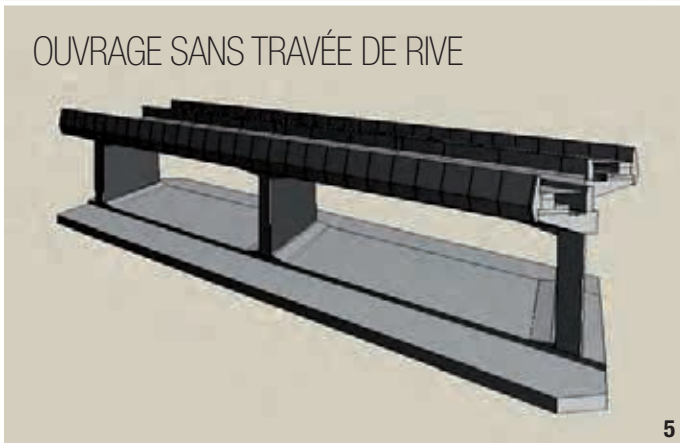


4

© SYSTRA

de substitution globale sur un mètre d'épaisseur, avec couche drainante en partie inférieure, a été adoptée et réalisée entre Noël 2021 et le Jour de l'An 2022 moyennant une première coupure autoroutière de 7 jours. Cette substitution (Niveau bas à 75,94 APD) répondait à quatre attentes : avoir un sol homogène aux caractéristiques mécaniques connues sous la boîte, maîtriser les futurs tassements, faciliter le glissement de la boîte par la mise en œuvre d'un matériau fermé en partie supérieure et maintenir le niveau de la nappe 60 cm sous la dalle inférieure par un pompage continu, conformément aux exigences de Freyssinet pour le poussage.

Afin de fournir des raideurs de sol pour le dimensionnement structurel, permettre le calage de la boîte en élévation et vérifier les critères de déplacements différentiels entre ouvrages adjacents, les calculs de tassement ont été menés de manière phasée pour coller le plus à la réalité et estimer précisément quand vont se développer les tassements versus les charges appliquées. En position définitive, ils ont été estimés entre 8



5

© SYSTRA

4- Ouvrage initialement prévu.

5- Ouvrage sans travée de rive.

6- Vue du modèle 3D de calcul.

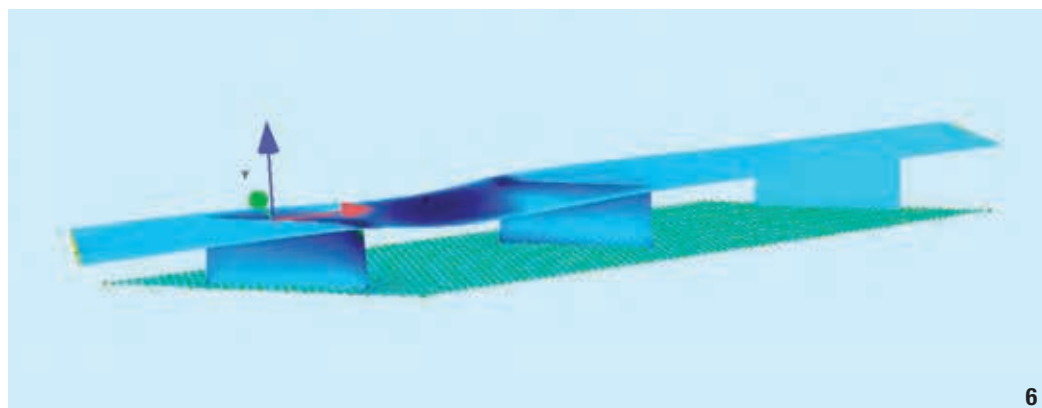
4- Initially planned structure.

5- Structure without end span.

6- View of the 3D computing model.

et 16 mm à court terme, entre 13 et 25 mm à long terme ainsi qu'un tassement de fluage entre 4 et 120 ans compris entre 2 et 4 mm.

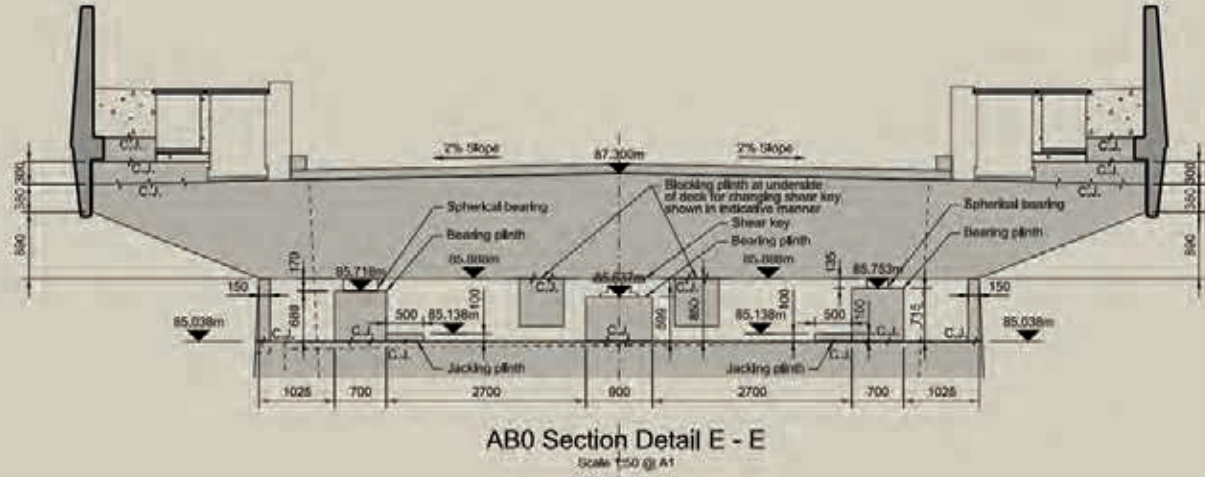
La boîte a été poussée avec des équipements partiels en décembre 2022 (parapets, dispositif de retenue béton) et l'autoroute M42 a été reconstruite. Selon le planning de construction, l'installation des rails avec les équipements complets : voie de circulation, couches de protection, poteaux catenaires (figure 9) est prévue 4 ans après l'Auto-ripage®.



6

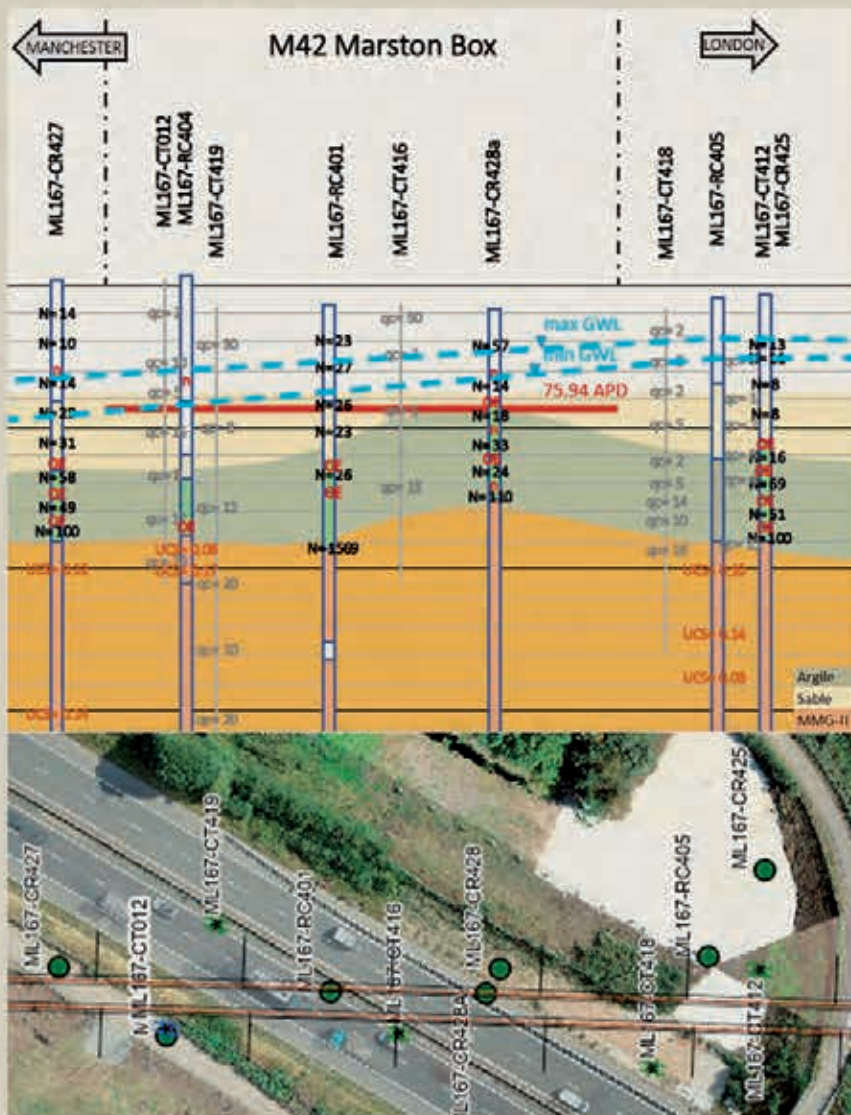
© SYSTRA

COUPE TRANSVERSALE DE LA CULÉE ABO



© SYSTRA
7

VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG GÉOTECHNIQUE AVEC SONDAGES



© SYSTRA
8

7- Coupe transversale de la culée ABO.

8- Vue en plan et profil en long géotechnique avec sondages.

7- Cross section of abutment ABO.

8- Plan view and geotechnical longitudinal profile by test boring.

L'ajout différé de cette charge en 2027 entraînera la réactivation de nouveaux tassements de consolidation. Afin d'éviter le développement tardif de ces tassements et les limiter aux tassements de fluage, une charge équivalente aux superstructures non installées sera disposée dès que possible sur le tablier de la Marston Box.

CHANTIER

Les travaux de réalisation du radier de guidage et la construction du cadre double ont eu lieu entre début mai et fin décembre 2022.

LE RADIER DE GUIDAGE

L'ouvrage cadre à faire glisser, d'une longueur biaise de 86,2 m à l'axe, a nécessité la construction d'un radier de guidage de 190 m de long par 21 m de large pour tenir compte de son biais important (29°) et des appendices de poussage nécessaires à l'installation des neuf vérins tire-câbles.

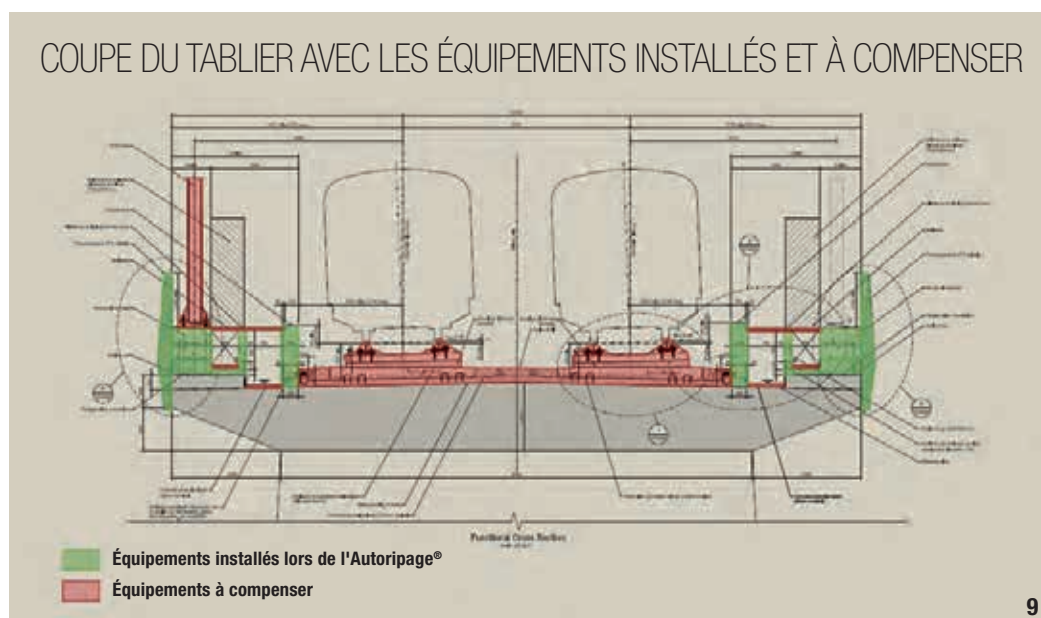
Le retard accumulé pour la déviation d'un câble 11 kV au droit d'un pont existant a amené l'entreprise à construire le radier de poussage beaucoup plus en retrait de l'autoroute qu'initialement prévu, en deux phases : une première partie (figure 10) pour anticiper la réalisation de l'ouvrage par-dessus, une seconde pour se rapprocher au plus près de l'autoroute une fois le réseau retiré.

Cette contrainte ne permettait plus à Freyssinet d'installer les torons de poussage avant réalisation du cadre, le radier étant désormais réalisé en deux parties. Les 9x55 torons ont donc été installés juste avant l'Autoripage® dans des tranchées ouvertes créées dans le radier de guidage. Cette tâche s'est avérée plus complexe que prévu. Alors que Freyssinet espérait pousser les câbles dans les tranchées, les désaffleures de béton et la flexibilité des câbles, les ont conduits à devoir les tirer.

LES TRAVAUX PROVISOIRES

La réalisation du radier de guidage à niveau, soit en moyenne 2,2 m sous le niveau de l'autoroute, a nécessité la réalisation d'une fouille d'environ 35 000 m³ au sud-est de l'autoroute, située sous la nappe phréatique. Pour rabattre cette nappe, 214 pointes filtrantes de 4 à 6 m de profondeur ont été installées tout autour de la fouille, à 2 m de distance les unes des autres à partir du niveau 78,00 APD afin de maintenir l'eau à 76,00 APD maxi sous radier 24/24 et 7 jours sur 7.

De plus, des appendices de poussage et de vérinage temporaires, encastrés de part et d'autre du radier définitif de



l'ouvrage, ont été bétonnés avant d'être sciés et démolis une fois l'ouvrage en place (figure 11).

Un rideau de palplanches de soutènement a été foncé au droit de la culée Sud-Est d'un passage supérieur existant au-dessus de la M42, cette dernière étant située à l'aplomb du radier de guidage à construire.

Un autre mur de soutènement, fait de blocs de béton préfabriqués, a également été installé pour soutenir ponctuellement le remblai autoroutier dans sa partie la plus proche de l'excavation. Enfin, deux grues à tour ont dû être érigées du fait du peu de place disponible en raison d'une zone de compensation environnementale préexistante. Fondées sur pieux, leurs semelles ont été démolies à l'issue des travaux.

9- Coupe du tablier avec les équipements installés et à compenser.

10- Radier de guidage phase 1.

11- Vue générale des travaux avant coupure autoroutière de Noël 2022.

9- Cross section of deck.

10- Phase 1 guide foundation raft.

11- General view of works before motorway traffic break at Christmas 2022.

LA CONSTRUCTION DU CADRE DOUBLE, HORS AUTOROUTE

Construit sur un radier de guidage (2 740 m³), l'ouvrage à pousser est constitué d'une dalle inférieure biaisée de 20 m de large par 86,2 m de long (1 889 m³), de trois voiles de 1 m ou 1,2 m d'épaisseur (460 m³ au total) et d'un tablier (1 386 m³) coulé sur tours d'étalement.

Ces travaux débutés début mai se sont achevés par le bétonnage du tablier en conditions hivernales, par -6°C le 13 décembre 2022 (figure 12) puis par un décaissement express du 19 au 23 décembre.

LE POUSSAGE

Le poussage de l'ouvrage de 12 600 t a été réalisé par l'intermédiaire de





12
© BBV

12- Vue de l'ouvrage cadre lors de son poussage.

13- Remblaiement sous l'ouvrage après étanchéité du radier.

12- View of the box structure during pushing.

13- Backfilling under the structure after waterproofing of the foundation raft.



13
© BBV

PRINCIPALES QUANTITÉS

QUANTITÉ DE DÉBLAIS POUR LE RADIER DE GUIDAGE : 35 000 m³

QUANTITÉ DE DÉBLAIS POUR LA PLATEFORME DE SUBSTITUTION SOUS LA M42 : 10 000 m³

VOLUME D'EAU POMPÉE PAR LES 214 POINTES FILTRANTES : 188 500 m³

QUANTITÉ BÉTON DU RADIER DE GUIDAGE : 2 740 m³

QUANTITÉ BÉTON DE L'OUVRAGE POUSSÉ : 3 735 m³

POIDS DE L'OUVRAGE POUSSÉ (y compris appendices et matériels de poussage) : 12 600 t

NOMBRE DE PERSONNES IMPLIQUÉES LORS DE LA COUPURE DE LA M42 À NOËL : 450 personnes

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : The High Speed 2 Limited (HS2)

BUREAU D'ÉTUDES PRINCIPAL : Groupement Mott Mc Donald / Systra (DJV)

ENTREPRISE PRINCIPALE : Groupement Balfour Beatty / Vinci (BBV)

AUTRES INTERVENANTS : National Highways (NH) / Freyssinet (Autoripage)

9 vérins F-1000 reprenant 55 torons T15 chacun soit 8 000 kN à l'ELS (362 bars de pression), la force maximale applicable sur chaque vérin étant de 10 400 kN (normal x 1,3).

De la graisse intercalée entre le radier guide et celui de l'ouvrage, puis de la bentonite, ont permis de réduire les frottements de ripage.

L'amplitude de déplacement à chaque cycle de vérinage était de 35 cm.

La vitesse de poussage moyenne estimée à 4 m/heure, a été mesurée en pointe à 11 m/heure lors des travaux.

La seconde coupure autoroutière s'est ainsi déroulée du vendredi 23 décembre au soir au lundi 2 janvier 2023 au matin (travaux 24/24). Elle a consisté en l'ouverture de la fouille autoroutière à l'avancement de l'Auto-ripage®, puis, une fois le double cadre à sa place, en la réalisation de l'étanchéité du radier avant remblaiement autoroutier, rétablissement des chaussées et mise en place des dispositifs de sécurité.

Ces travaux ont été achevés avec 9 heures d'avance sur le programme validé par les autorités autoroutières (figure 13).

C'était la première fois qu'un poussage de ce type était réalisé au droit d'une autoroute au Royaume-Uni et, du fait de sa longueur totale, il constituerait un record mondial. □

ABSTRACT

HS2 - MARSTON BOX - SKIDDED SKEWED STRUCTURE

CHRISTOPHE LAGARDE, BALFOUR BEATTY VINCI - EMMANUEL MENDIOLA, SYSTRA - ANDRA STANCULESCU, SYSTRA - ANNE VERDAGUER, SYSTRA - CAMILLE LE PEN SENECHAL, SYSTRA

The Marston Box structure passing over the M42 motorway is part of the new HS2 high-speed rail line project between London and Birmingham (England). This reinforced concrete structure 130 metres long consists of an 80-metre double box and two end spans of variable lengths resting on abutments founded on piles. Its very pronounced skew, by 29° relative to the structure's main axis, and its self-skidding construction method (Autoripage®) resulted in major design engineering and construction constraints. To forecast subsidence and displacements of the structure, complex ground/structure interaction models were required. Due to its skew, length and weight, it constitutes a world record. □

HS2 - MARSTON BOX - PUENTE ESVIADO RIPADO

CHRISTOPHE LAGARDE, BALFOUR BEATTY VINCI - EMMANUEL MENDIOLA, SYSTRA - ANDRA STANCULESCU, SYSTRA - ANNE VERDAGUER, SYSTRA - CAMILLE LE PEN SENECHAL, SYSTRA

El puente ferroviario Marston Box franquea la autopista M42 en el marco de la creación de la nueva línea de alta velocidad HS2 entre Londres y Birmingham, en Reino Unido. Esta construcción de hormigón armado, de 130 m de longitud, está formada por un marco doble de 80 m y dos luces laterales de longitudes variables, sustentadas sobre contrafuertes anclados en pilotes. Su esviaje muy pronunciado, de 29° respecto al eje principal de la estructura, y su método de construcción por Autoripage® han generado importantes problemas en los estudios y las obras. La previsión de asentamientos y desplazamientos de la estructura ha requerido complejos modelos de interacción suelo/estructura. Por su esviaje, su longitud y su peso, constituye un récord mundial. □

LES VIADUCS FERROVIAIRES EN VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS CONSTRUITS À L'AVANCEMENT POUR LA LIGNE À GRANDE VITESSE HS2

AUTEURS : STEFAN BERNHARD, DESIGN DIRECTOR, BALFOUR BEATTY VINCI - PASCAL ALBERTELLI, PROJECT MANAGER, BALFOUR BEATTY VINCI - TEODOR DEMETRIU, RESPONSABLE D'ÉTUDES OUVRAGES D'ART, SYSTRA - MATHIEU MULS, DIRECTEUR DE PROJET OUVRAGES D'ART, SYSTRA

LA LIGNE À GRANDE VITESSE HS2 EST ACTUELLEMENT L'UN DES CHANTIERS LES PLUS IMPORTANTS D'EUROPE. À TERME, ELLE RELIERA LONDRES AU NORD DE L'ANGLETERRE. LE TRONÇON RELIANT LONDRES À BIRMINGHAM EST LE PREMIER JALON DE CE RÉSEAU RELIANT 2 VILLES IMPORTANTES DE L'ANGLETERRE. LES VOIES NOUVELLES DE HS2 PARTANT DU CENTRE-VILLE DE BIRMINGHAM REJOignent LA LIGNE PRINCIPALE - À L'EST DE LA VILLE - VERS LONDRES (AU SUD) ET MANCHESTER (AU NORD), FORMANT AVEC LA LIGNE PRINCIPALE UN TRACÉ EN FORME DE DELTA QUI TRAVERSE LA BANLIEUE EST DE LA VILLE, URBANISÉE ET NÉCESSITANT LA RÉALISATION D'OUVRAGES D'ART SPÉCIAUX.



INTRODUCTION

La zone dite du "Delta" située à l'est de Birmingham présente un contexte d'insertion difficile, assez urbanisé, avec de nombreux obstacles à franchir : l'autoroute M42-M6 et ses bretelles d'accès, plusieurs routes importantes fréquentées, une ligne ferroviaire classique,

une rivière, des zones inondables ainsi que des nombreux réseaux enterrés critiques non déplaçables.

Au niveau de la partie Nord du "Delta" (figure 1), un franchissement des lignes principales LGV par la ligne de raccordement allant vers Birmingham est aussi nécessaire.

1- Modélisation de la zone du Delta.

1- Model of the Delta area.

SOLUTION TECHNIQUE RETENUE : LA MÉTHODE PCMS

Ces raisons ont conduit à sélectionner un type d'ouvrage permettant de maximiser les portées (pour réduire l'empreinte au sol) et de réduire au maximum la durée de construction. Le choix de viaducs en béton précon-

traint à travées continues avec voussoirs préfabriqués s'est imposé également compte tenu des exigences de durabilité (120 ans), de maintenance, et du tracé non régulier qui rendaient impossible un ouvrage lancé par poussage.

La méthode de construction du tablier à l'avancement avec haubannage provisoire (PCMS : Precast Cantilever Method with temporary Stay cables), fait appel à l'utilisation d'un mât de haubannage provisoire, qui permet l'assemblage des voussoirs préfabriqués travée par travée, présente un avantage substantiel en termes de rapidité de construction.

Un mât provisoire est installé au droit de la pile supportant le fléau et déplacé de pile en pile jusqu'à la réalisation complète du viaduc.

TABLEAU A : DESCRIPTION DES OUVRAGES

Nom de l'ouvrage	Nombre de voies portées	Longueur totale de l'ouvrage (m)
RIVER TAME EAST	1	532
WATER ORTON No.1	1	1425
WATER ORTON No.2 & 3	1	1311
RIVER TAME WEST SINGLE TRACK	1	467
RIVER TAME WEST DOUBLE TRACK	2	472
COLESHILL EAST	1	592
COLESHILL WEST SINGLE TRACK	1	616
COLESHILL WEST DOUBLE TRACK WEST	2	616
COLESHILL WEST DOUBLE TRACK EAST	2	616

DESCRIPTION DES OUVRAGES

La zone du Delta comporte 9 viaducs construits avec la méthode PCMS, totalisant 6,6 km de tablier (voir tableau A). Les contraintes de site (réseaux, routes, lignes ferroviaires...) et les particularités du tracé (avec des courbes jusqu'à 1270 m de rayon) font que chaque ouvrage est spécifique et doit faire l'objet d'une conception unique. La longueur des travées, des voussoirs, la courbure des ouvrages et le nombre de voies portées sont amenés à varier rendant chaque ouvrage unique. Cependant, le maître mot de la conception et de la réalisation de ces ouvrages est la standardisation.

Le tablier est un caisson en béton précontraint à deux âmes. Il est composé de voussoirs préfabriqués de 3,5 m de hauteur, standardisés pour les 9 ouvrages, avec des travées courantes types de 45 m, et des travées de rive pouvant descendre jusqu'à 22,3 m ou 32,5 m pour des travées intermédiaires. Ces viaducs ont un très bon comportement dynamique et peuvent supporter une voie ou deux voies avec des sections transversales standardisées pour chaque configuration (figures 2 et 3). Sept ouvrages présentent une longueur comprise entre 467 m et 616 m, avec un tablier continu à plusieurs travées, et un point fixe situé sur la culée ou la pile d'extrémité (figure 4).

Deux viaducs de très grande longueur, les viaducs de Water Orton (WO1 et WO2) présentent une longueur de 1311 m et 1425 m respectivement, avec un tracé en courbe de 1270 m de rayon sur une grande partie de l'ouvrage. Ils sont constitués d'une succession de trois tabliers : un tablier continu de plus de 1000 m de long en alignement courbe, une travée inerte, et un tablier de 3 ou 4 travées continues.

La travée inerte comporte 2 appareils de dilatation de voie qui sont implantés dans la zone d'alignement droit du tracé, ce qui a conditionné la longueur des tabliers encadrant celle-ci.

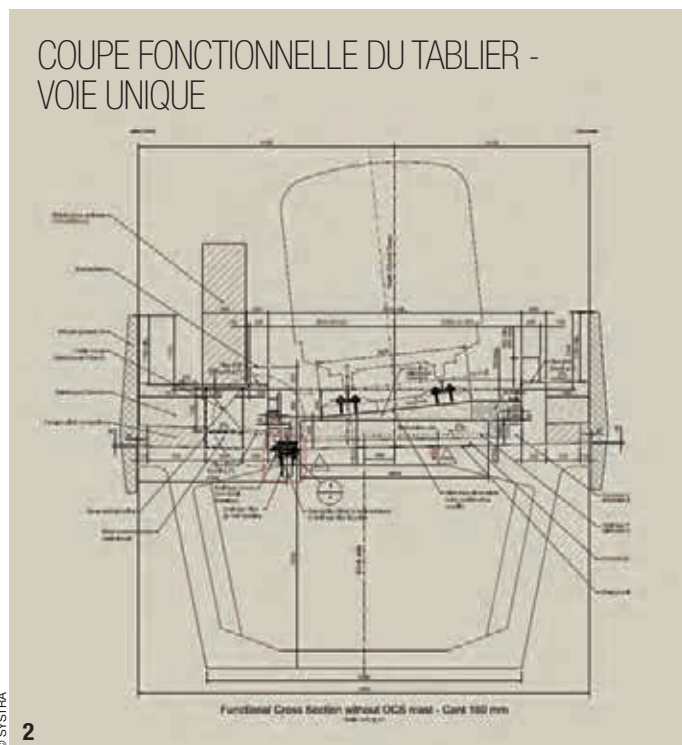
Une standardisation du tracé de précontrainte est également réalisée pour permettre d'uniformiser les gaines, tubes métalliques et les dispositions du ferrailage autour des câbles.

La tracé des câbles de précontrainte résulte du mode de construction, le câblage est regroupé en plusieurs familles :

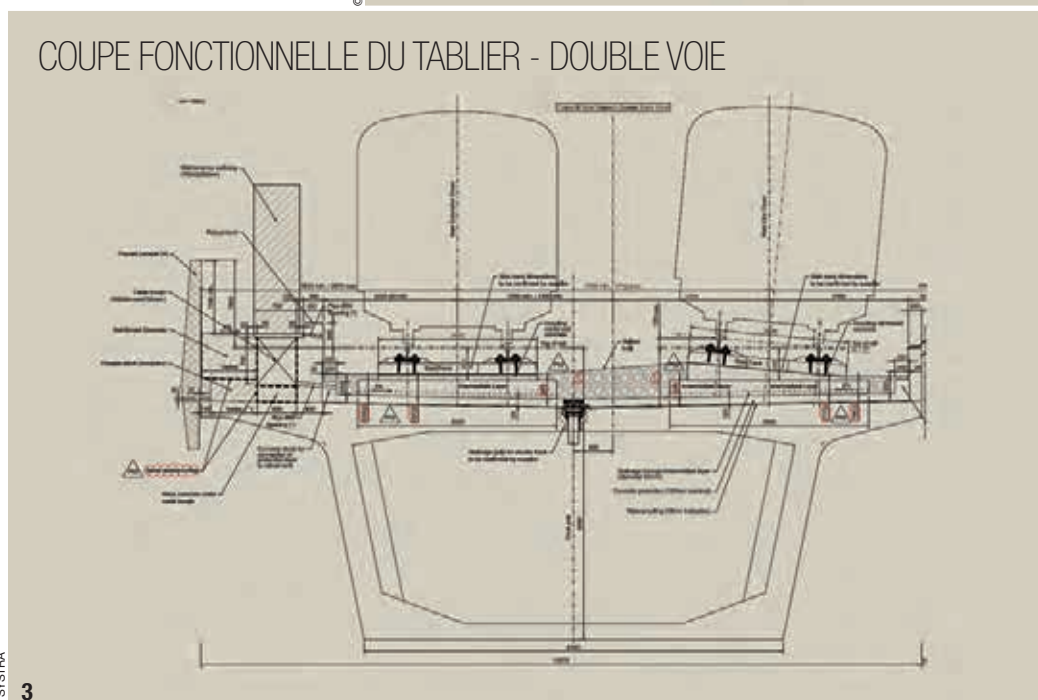
- Les câbles supérieurs (fléau), type 19T15S, intérieurs au béton et ancrés au niveau du hourdis supérieur ;

2- Coupe fonctionnelle du tablier - voie unique.
3- Coupe fonctionnelle du tablier - double voie.

2- Functional cross section of the deck - single track.
3- Functional cross section of the deck - double track.

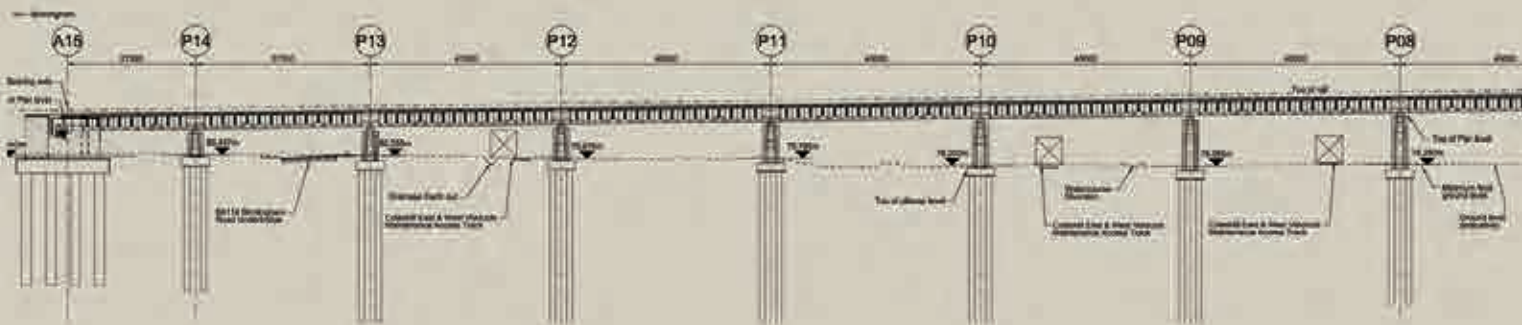


© SYSTRA
2



© SYSTRA
3

ÉLÉVATION DE COLESHILL WEST - SINGLE TRACK



4

© SYSTRA

- Les câbles inférieurs, type 19T15S, intérieurs au béton et ancrés au niveau du hourdis inférieur dans des bossages ;
- Les câbles de continuité ondulés, type 27T15S, extérieurs au béton et ancrés au niveau des diaphragmes sur appui ;
- Les câbles de continuité droits de type 27T15S, extérieurs au béton et ancrés au niveau des diaphragmes sur appui.

Les piles suivent une ligne architecturale commune et sont standardisées entre les différents viaducs avec les dimensions des bossages des appareils d'appui et des bossages pour le vérinage. Les appareils d'appui sont de type sphérique, avec une durée de vie de 60 ans qui permet de minimiser les opérations de maintenance durant la vie de l'ouvrage. Longitudinalement, les appareils d'appui sont glissants. Dans la direction transversale, un appareil d'appui est guidé et l'autre est multidirectionnel. La grande longueur dilatable de certains ouvrages conduit à des longueurs de plaques de glissement considérables allant jusqu'à 3 m de longueur.

Pour l'ouvrage Water Orton 1, à l'endroit où le viaduc passe au-dessus des voies principales de HS2, la solution technique adoptée est de faire reposer le tablier sur une série de portiques (figure 6) constitués par des traverses en caisson mixte acier-béton encastées dans des piédroits en béton. Les problèmes de gabarit au niveau du franchissement imposent que le tablier soit limité en termes de hauteur - la hauteur de ces traverses est de 1,88 m pour le caisson métal et de 0,25 m d'épaisseur minimale pour la dalle en béton.

Pour satisfaire les contraintes de la voie, les viaducs Water Orton 1 et 2 nécessitent aussi l'implantation des travées inertes isostatiques de 45 m (figure 7) reposant sur des piles fixes aux deux extrémités.

Des adaptations sont nécessaires pour répondre aux exigences de ce cas particulier :

- Disposition des appareils d'appui fixes longitudinalement pour bloquer la travée ;
- Augmentation de la précontrainte intérieure inférieure en gardant la disposition type des câbles 27 T15S extérieurs ;
- Fûts de pile dédoublés souples, dont un élément supporte le tablier de la travée inerte et l'autre supporte le tablier mobile adjacent.

Pour des raisons de limitation du tassement à long terme des ouvrages, toutes les fondations sont des semelles en béton armé sur pieux forés de diamètre variant de 1,05 m à 2,1 m. Le développement des plans d'arma-

4- Élévation de Coleshill West - Single Track.
5- Vue 3D d'un voussoir voie unique.

4- Elevation view of Coleshill West - single track.
5- 3D view of a single-track segment.

tures pour l'exécution est réalisé en coordination forte avec les équipes de construction, dans le but de standardiser au maximum les cages d'armatures.

La méthode de construction à l'avancement avec haubanage provisoire permet un assemblage rapide des voussoirs travée par travée. Cette méthode nécessite cependant des calculs poussés de chaque ouvrage en phase de construction. Les tensions des haubans sont déterminées pour assurer que les contraintes limites dans les voussoirs (et surtout au niveau des joints entre voussoirs) ne sont pas dépassées. En complément des haubans, une précontrainte temporaire dite de brélage est appliquée entre voussoirs adjacents au moyen de barres de précontrainte, ancrées dans des nervures à l'intérieur des voussoirs.

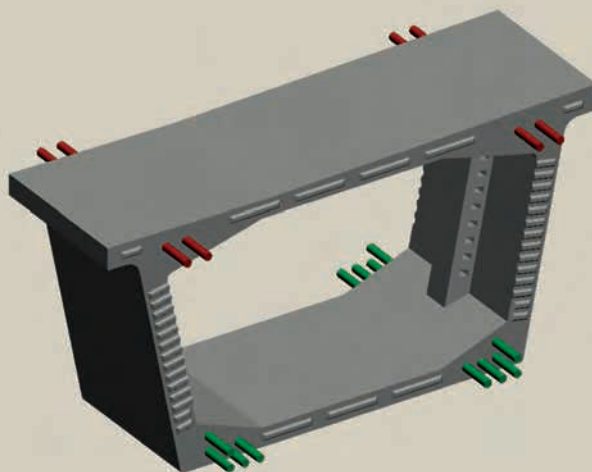
Les autorités de Highways England ne nous ont pas permis le franchissement de l'autoroute M42-M6 via la pose des voussoirs à l'avancement sans interruption de trafic.

Les fenêtres accordées pour l'interruption du trafic étant très réduites, le recours à une méthode de construction par travée entière s'impose : cela consiste à assembler les voussoirs pour former des travées isostatiques qui seront ensuite transportées jusqu'à leur position finale et rendues continues par des joints coulés en place.

Par ailleurs les piles supportant l'ouvrage sont plus minces et orientées selon l'axe de l'autoroute afin de permettre leur intégration entre les voies de circulation, engendrant un biais d'environ 45° entre l'axe du tablier et celui des piles.

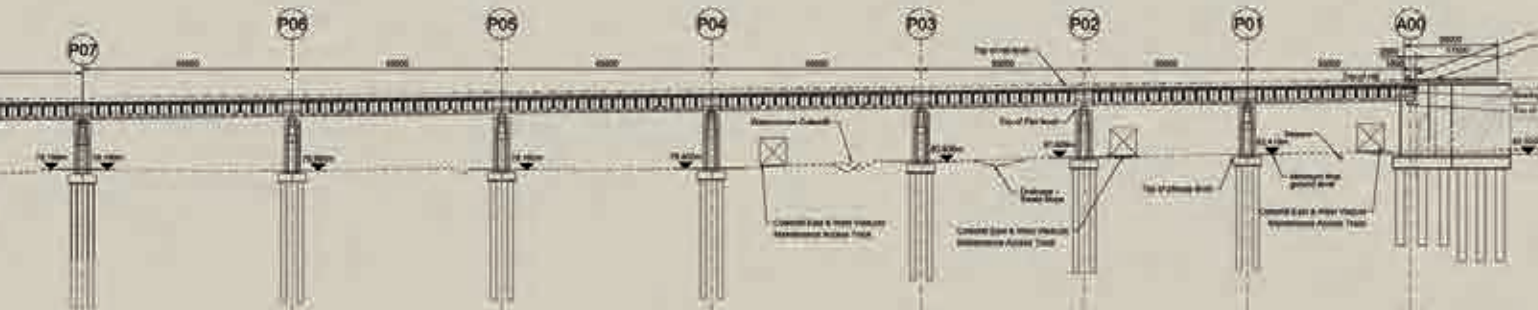
Des adaptations sont également nécessaires pour ce cas particulier :

VUE 3D D'UN VOUSSOIR VOIE UNIQUE

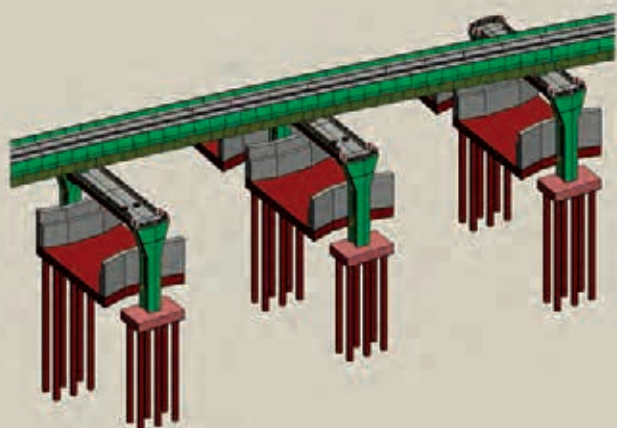


5

© SYSTRA



PORTIQUE DE WATER ORTON No. 1



- Découpage en voussoirs spécifique : 4 voussoirs sur piles au lieu de 2 afin d'anticiper le biais des piles qui supportent le tablier ;
- Augmentation de la précontrainte inférieure en gardant la disposition type des câbles 27T15S extérieurs ;
- Ajout de câbles supérieurs pour la phase de transport d'une travée entière.

6- Portique de Water Orton No.1.

6- Water Orton gantry No.1.

ORGANISATION DES ÉTUDES

La conception, les études d'exécution, la coordination technique et le processus d'approbation des ouvrages par les autorités locales sont réalisés par Systra - au sein du groupement (DJV) Mott MacDonald-Systra, à l'exception des études d'exécution des ouvrages River Tame West qui sont réalisées par Vinci Grands Projets (DESG). Cette organisation nécessite un travail de coordination conséquent.

Une revue croisée des études (peer review) est réalisée par Systra pour les ouvrages conçus par DESG, tandis que DESG réalise la revue de l'ouvrage Water Orton No.1. Par ailleurs, un contrôle extérieur (Cat3) est réalisé par Arcadis UK.

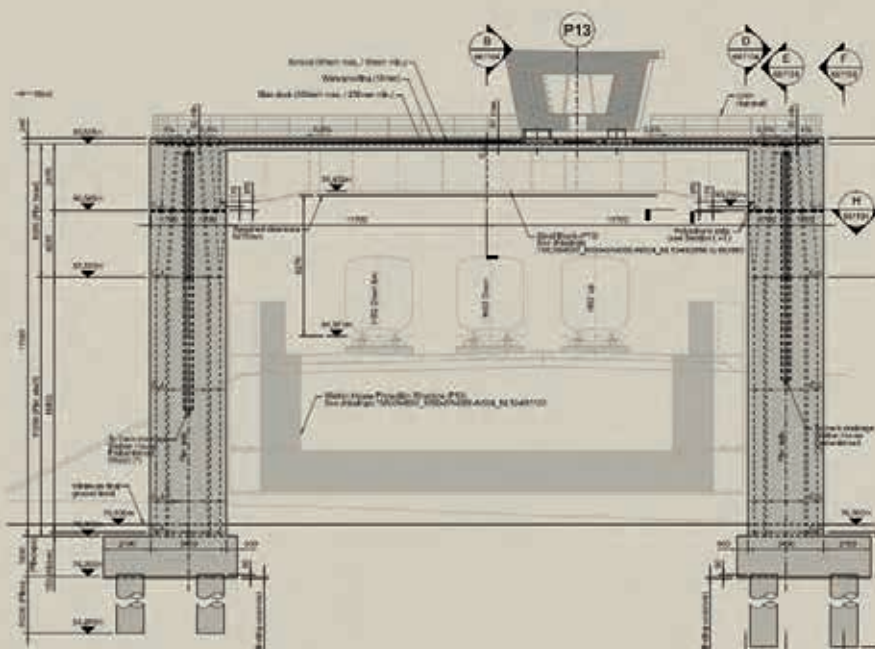
ORGANISATION DES TRAVAUX

Les travaux pour la partie Viaducs à voussoirs préfabriqués sont organisés en trois directions :

- La préfabrication des voussoirs, organisé autour du site de Kingsbury, au nord du Delta ;
- La zone River Tame Water Orton, comprenant 5 des 9 viaducs avec les ouvrages les plus interfacés ;
- La Zone Colehill avec les 4 ouvrages de connexion au sud du Delta entre la Main Line et le raccordement vers Birmingham depuis Londres.

AIRE DE PRÉFABRICATION DES VOUSOIRS :

L'aire de préfabrication des voussoirs de Kingsbury est une usine à ciel ouvert de 55 000 m² conçue, montée et opérée pour la réalisation de 2742 voussoirs nécessaires à la réalisation des 6,6 km de tablier des PCMS.



7- Élévation de la travée inerte.
8- Cellules de préfabrication des voussoirs (Short Line Beds).
9- Zone de stockage des voussoirs.

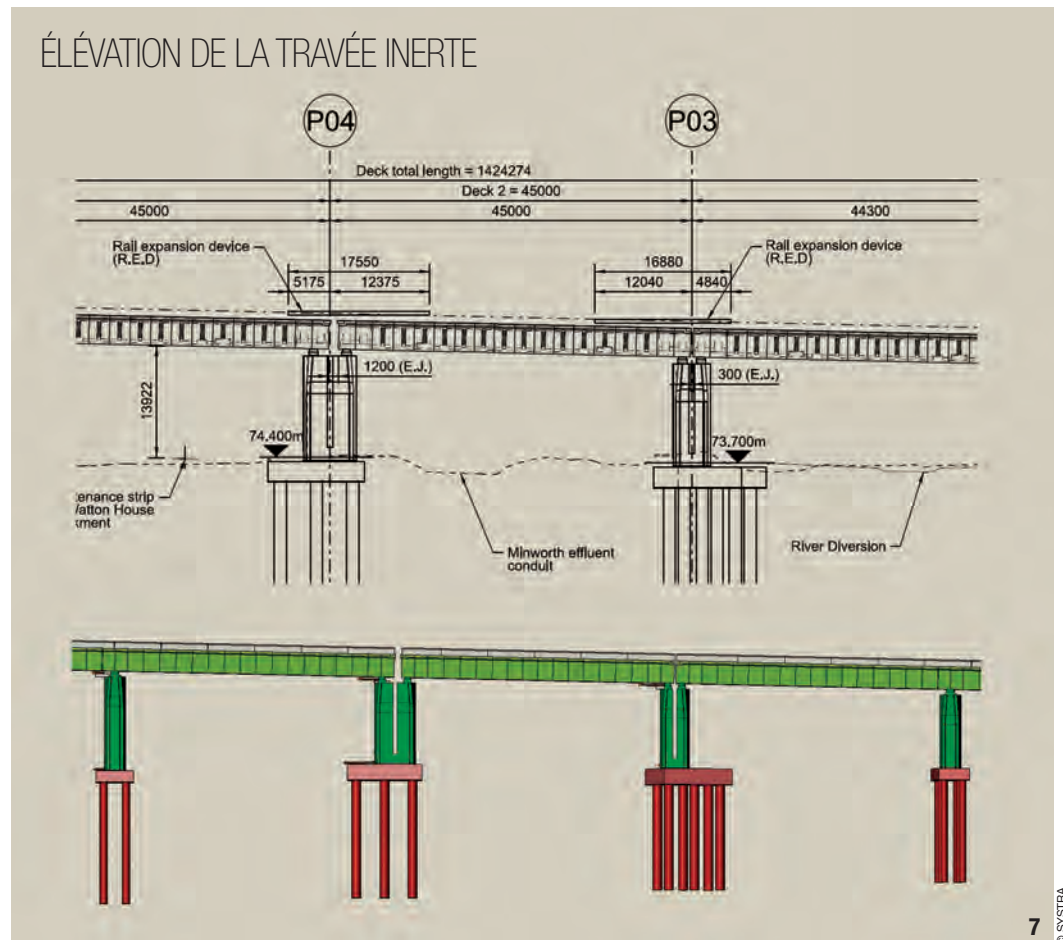
7- Elevation view of the inert span.
8- Segment precasting units (short line beds).
9- Segment storage area.

Le choix de l'emplacement est le fruit du meilleur compromis entre les contraintes topologiques (peu de pente, une longueur de 600 m pour installer la voie de roulement du portique...) et la distance avec les sites de pose pour limiter la durée des trajets.

Chaque voussoir pèse entre 50 et 80 t, et sera transporté par convoi exceptionnel sous escorte entre l'usine de préfabrication et les sites de pose, distants de quelques miles.

9 lignes de production de voussoirs (figure 8 - Short Line Bed) sont nécessaires pour alimenter les ateliers de pose.

Deux types de tabliers sont préfabriqués dans des lignes différentes, les simples voies et les doubles voies. En complément des deux types de



tabliers, certaines lignes de production sont dédiées aux voussoirs courants et d'autres aux voussoirs spéciaux (sur pile et sur culée). Les cellules de préfabrication ont été conçues et fabriquées pour le projet par la société Ersem.

L'usine de préfabrication produira 7 voussoirs courants par jour, pour une capacité de stockage (figure 9) de 1100 voussoirs sur deux étages, avec un effectif de 140 ouvriers et une équipe d'encadrement de 17 ingénieurs et chefs de chantier.

La méthode du *match cast* consiste à réaliser l'ensemble de la géométrie d'une travée entre le premier voussoir courant et le dernier SOP dans une cellule en utilisant le voussoir précédent comme contre moule. Le suivi millimétrique de la géométrie de la



8

© BV



9

© BV

travée est effectué à l'aide d'un logiciel spécialement développé par la direction Technique de Vinci Construction Grands Projets, et permet d'atteindre une tolérance de pose très restreinte.

Dans le cadre de la démarche *Safety in Design*, un long travail de collaboration entre BBV, DJV et DESG en amont a permis aux équipes travaux d'intégrer les contraintes de production très tôt dans le développement du design, permettant l'optimisation de la production, l'amélioration de la sécurité et la fiabilité du process de production.

Cette étroite collaboration a par exemple permis :

- De standardiser les tracés de précontrainte sur les 9 ouvrages pour simplifier les moules et éviter des erreurs de fabrication ;
- De standardiser le ferrailage, les espacements, les repères ;
- De concevoir des cages d'armatures par sous-ensembles élémentaires capable de simplifier le montage des aciers dans des gabarits dédiés.

Cette implication très en amont a permis d'intégrer quelques innovations en termes de sécurité ou de qualité :

- Développement d'un palonnier automatisé permettant la préhension de tous types de voussoirs uniquement par l'opérateur du portique (figure 10).

Développement et certification, en collaboration avec Freyssinet, d'un coupleur pour gaine de précontrainte intérieur (figure 11) conforme au niveau de protection PL3 décrit dans le FIB Bulletin 33 et suivant les recommandations



10
© BBV

10- Portique soulevant un voussoir sur pile.
11- Coupleur de précontrainte.

10- Gantry crane raising a segment on pier.

11- Prestressing coupler.

ASTRA pour l'isolation électrique de la gaine.

Cette innovation permet d'améliorer significativement la protection des torons de précontrainte contre la corrosion en assurant une encapsulation étanche de la gaine.

D'autres avantages découlent de cette isolation totale des torons dans son milieu environnant :

- Protection contre les courants induits pouvant détériorer les torons ;
- Monitoring sur le long terme de l'évolution de la corrosion dans un toron par mesure de résistivité rendue possible par l'isolation électrique du tendon.

POSE DES VOUSOIRS AU MÂT D'HAUBANAGE

Pour assembler les voussoirs préfabriqués à Kingsbury, le Projet a retenu la méthode de la pose à l'avancement au mât d'haubanage provisoire.

Cette technologie utilisée récemment sur le chantier de la LGV SEA Tours-Bordeaux, présente de nombreux avantages et se révèle particulièrement adapté pour ce type de long ouvrage ferroviaire avec des travées de 45 m.

Le principe repose sur un mât d'haubanage (figure 12) agissant comme un cintre par le haut, soutenant chaque voussoir par une paire de haubans à l'avant équilibrée par une paire de haubans s'ancrant sur la travée précédemment réalisée.

Une travée est réalisée en moyenne en 5,5 jours.

Les mâts et potences (figure 13) sont conçus et fabriqués sur mesure pour le Projet, un ensemble de 4 mâts et potences sont nécessaires à la bonne exécution du Projet.

Les outils de pose ont été conçus et fabriqués par Berd, compagnie spécialisée basée à Porto, sur la base d'un cahier des charges préparé par la Direction technique de Vinci Construction Grands Projets. ▷



11a
© BBV



11b
© BBV

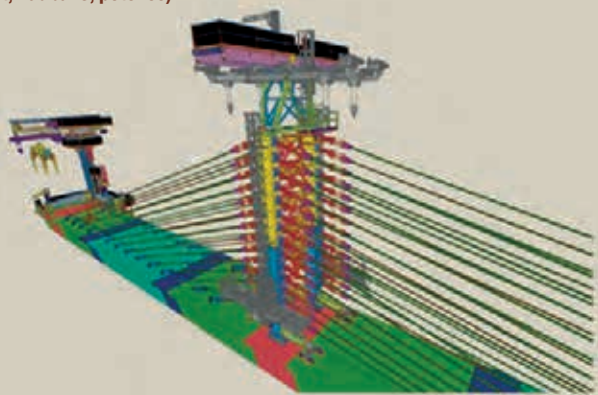


11c
© BBV



12 © VINCI

ÉQUIPEMENTS DE POSE POUR MÉTHODE PCMS
(mât, haubans, potence)



13 © BÉRIQ

12- Principe de pose avec haubannage provisoire (photo SEA).

13- Équipements de pose pour méthode PCMS (mât, haubans, potence).

12- Installation technique using temporary stay cables (SEA photo).

13- Installation equipment for PCMS method (mast, cable stays, jib crane).

De nombreuses innovations ou améliorations du procédé ont été développées grâce à l'expérience acquise ces dernières années et notamment sur le projet de la LGV SEA :

- Un module du logiciel de pose permettant la correction continue des instructions de tension des haubans, par comparaison pyramide de construction théorique - levé sur site ;
- Modification du système d'ancrage des haubans et séquence de mise en tension des haubans avant et arrière pour éliminer les efforts parasites dans le mât ;
- Système d'ancrage arrière de la potence. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : The High Speed 2 Limited (HS2)

BUREAU D'ÉTUDES PRINCIPAL :
Groupement Mott Mc Donald / Systra (DJV) -
Vinci Construction Grands Projets (DESG)

ENTREPRISE PRINCIPALE : Groupement Balfour Beatty / Vinci (BBV)

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Arcadis UK

AUTRES INTERVENANTS : Freyssinet - Samt - Berd

PRINCIPALES QUANTITÉS

Éléments structurels	Nombre total (-)	Volume de béton (m³)	Ratio moyen d'armatures (kg/m³)	Ratio moyen d'armatures de précontrainte (kg/m³)	Acier structurel (t)
Pieux	963	31 600	120	-	-
Semelles	163	24 913	160	-	-
Piles et chevêtres	152	20 408	100	-	-
Traverses Portiques	3	120	150	-	480
Culées	11	10 493	150	-	-
Voussoirs préfabriqués	2 742	58 000	255	50	-

TABLIER :

- 6,6 km de tablier répartis en 9 viaducs
- Voussoirs préfabriqués : 2 742 u
- Béton : 58 000 m³
- Aciers de précontrainte : 2 900 t
- Aciers passifs : 14 790 t

APPUIS :

- 152 piles
- Béton : 87 500 m³
- Aciers passifs : 11 400 t

ABSTRACT

PRECAST-SEGMENT RAIL VIADUCTS BUILT AS WORK PROGRESSES FOR THE HS2 HIGH-SPEED RAIL LINE

STEFAN BERNHARD, BALFOUR BEATTY VINCI - PASCAL ALBERTELLI, BALFOUR BEATTY VINCI - TEODOR DEMETRIU, SYSTRA - MATHIEU MULS, SYSTRA

The method of deck construction with precast segments assembled as work progresses with temporary stay cables, employed for the bridge structures of the HS2 high-speed rail line east of Birmingham, allows rapid construction of long viaducts. It requires setting up a precasting plant and making allowance for the specific features of all the structures from the start of design engineering, to allow standardisation of the segments (formwork, prestressing, passive reinforcements) and precasting and installation equipment. This solution is especially advantageous for long deck lengths (to recoup the cost of the precasting plant and installation equipment) and for structures located on constrained sites. □

LOS VIADUCTOS FERROVIARIOS EN DOVELAS PREFABRICADAS CONSTRUIDAS AL RITMO DE AVANCE PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD HS2

STEFAN BERNHARD, BALFOUR BEATTY VINCI - PASCAL ALBERTELLI, BALFOUR BEATTY VINCI - TEODOR DEMETRIU, SYSTRA - MATHIEU MULS, SYSTRA

El método de construcción en dovelas prefabricadas ensambladas al ritmo de avance con atirantado provisional aplicado en las obras de fábrica de la línea de alta velocidad HS2 al este de Birmingham permite la construcción rápida de largos viaductos. Precisa la instalación de una unidad de prefabricación y la consideración de las especificidades de todas las construcciones desde el inicio de los estudios para permitir la estandarización de las dovelas (encofrado, pretensado, estructuras pasivas) y de los equipos de prefabricación e instalación. Esta solución es particularmente interesante para tableros de gran longitud (para reducir los costes de prefabricación y de los equipos de instalación) y para construcciones situadas en emplazamientos restringidos. □

OUVRAGES INTÉGRAUX ET SEMI-INTÉGRAUX EN FRANCHISSEMENT DE LA LGV HS2

AUTEURS : VALENTINA BRUNO HURÉ, RÉFÉRENTE TECHNIQUE OUVRAGES MIXTES, SETEC TPI - AYMEN BEN SALEM, RESPONSABLE ÉTUDES OUVRAGES PRÉCONTRAINS, SETEC TPI - AHMED MAJID, RESPONSABLE ÉTUDES OUVRAGES MIXTES, SETEC TPI - HUGO MARTIN, RESPONSABLE ÉTUDES OUVRAGES MIXTES, SETEC TPI

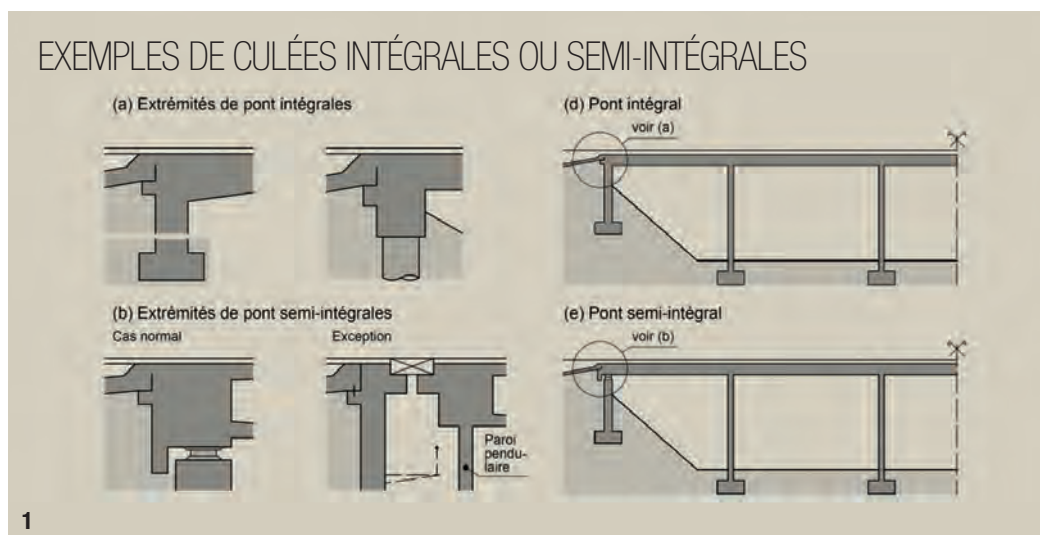
LES PONTS AVEC TABLIER ENCASTRÉ SUR SES APPUIS (INTÉGRAUX) SONT PRÉFÉRABLES POUR LA MAINTENANCE, EN RAISON DE L'ABSENCE D'APPAREILS D'APPUI ET JOINTS DE CHAUSSÉE. CELA SE FAIT EN CONTREPARTIE D'UNE CONCEPTION COMPLEXE QUI DOIT TENIR COMPTE DE LA SENSIBILITÉ ACCRUE DE CES OUVRAGES AU CONTEXTE GÉOTECHNIQUE, AU PHASAGE DE CONSTRUCTION ET À LA GÉOMÉTRIE DU FRANCHISSEMENT. LES PONTS SUR LA FUTURE LIGNE HS2 OFFRENT UN RICHE PANEL DE CAS MONTRANT LES DÉFIS ET LIMITES DU DOMAINE D'UTILISATION DE CETTE SOLUTION.

INTRODUCTION

La conception de référence des ponts franchissant la future ligne HS2, en Angleterre, est basée sur la réalisation d'une connexion monolithique entre le tablier et ses appuis (piles et/ou culées), permettant la suppression partielle ou totale des appareils d'appui et des joints de chaussée du pont. Cette solution, dite intégrale, a donc comme avantage de simplifier et de limiter la maintenance des ouvrages. Cela se fait néanmoins en contrepartie d'une conception complexe des nœuds d'encastrement fortement sollicités et, donc, très ferrillés. Aussi, la sensibilité des ouvrages est accrue vis-à-vis du contexte géotechnique et des incertitudes associées, du phasage de construction ou de la géométrie du franchissement. Des modélisations numériques détaillées et des analyses non-linéaires sont alors nécessaires pour appréhender le comportement des ouvrages, notamment sous l'effet des actions indirectes telles que les effets des variations thermiques et du retrait/fluage du béton. L'ensemble des exemples présentés dans cet article montre les principaux défis et les limites du domaine d'utilisation des ouvrages intégraux.

CONCEPTION INTÉGRALE ET SEMI-INTÉGRALE, QUELQUES DÉFINITIONS

Conception intégrale : configuration dans laquelle le tablier est connecté de manière monolithique à son sup-



1 © OFROU

1- Exemples de culées intégrales ou semi-intégrales. Extrait du guide suisse de l'OFROU "détails de construction de ponts, Chapitre 3 : Extrémités de ponts" de 2011.

1- Examples of integral and semi-integral abutments. Excerpted from the 2011 Swiss guide by OFROU on "Bridge construction detailing, Chapter 3: Bridge ends".

port (pile ou culée). Sur culées, cette conception conduit à l'absence de joints de chaussée et d'appareils d'appuis (figure 1, cas a).

Le fonctionnement structurel est celui d'un portique.

Conception semi-intégrale : configuration dans laquelle, en extrémité de tablier, les joints de dilatation ou les appareils d'appuis sont supprimés (figure 1, cas b).

Dans les applications les plus courantes les extrémités du tablier sont en contact direct avec le sol, les appareils d'appui sont conservés, mais les joints de dilatation sont supprimés moyennant une dalle de transition spécialement conçue pour reprendre les efforts dus à l'interaction sol/structure.

DÉCLINAISON DE CETTE CONCEPTION SUR LE PROJET HS2

Sur le projet HS2, la conception intégrale et semi-intégrale est une exigence de conception pour les ouvrages dits "courants", que ce soit pour des tabliers mixtes acier-béton ou des tabliers à poutres précontraintes préfabriquées en U (*U-beams*). Ces ouvrages se déclinent en trois grandes familles de ponts-routes :

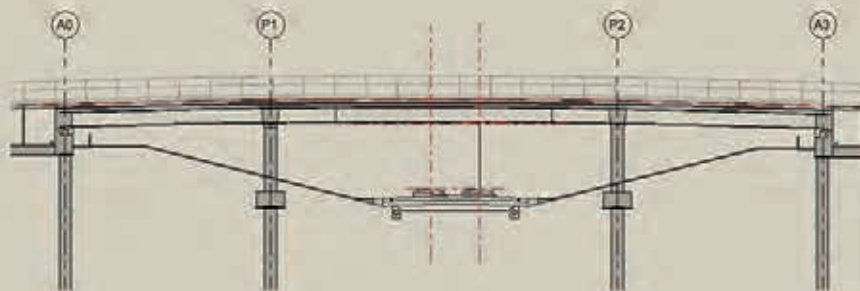
- Ponts à trois travées avec tablier intégral sur piles et semi-intégral sur culées (figure 2a) ;
- Ponts à trois travées : tablier intégral sur piles et sur culées (figure 2b) ;
- Ponts à une travée avec culées intégrales (figure 2c).

2- Exemples de ponts routes avec tabliers encastrés.
2a : tablier à trois travées, intégral sur piles et semi-intégral sur culées.
2b : tablier à trois travées, intégral sur piles et sur culées.
2c : tablier à une travée intégral sur culées (portique).
3- Diagramme enveloppe des coefficients de poussée et butée selon PD6694-1:2011+A1 :2020.

2- Examples of road bridges with fixed decks.
2a: Three-span deck, integral on piers and semi-integral on abutments.
2b: Three-span deck, integral on piers and on abutments.
2c: Integral single-span deck on abutments (portal structure).
3- Envelope diagram of active and passive pressure coefficients as per PD6694-1:2011+A1 :2020.

EXEMPLES DE PONTS ROUTES AVEC TABLIERS ENCASTRÉS

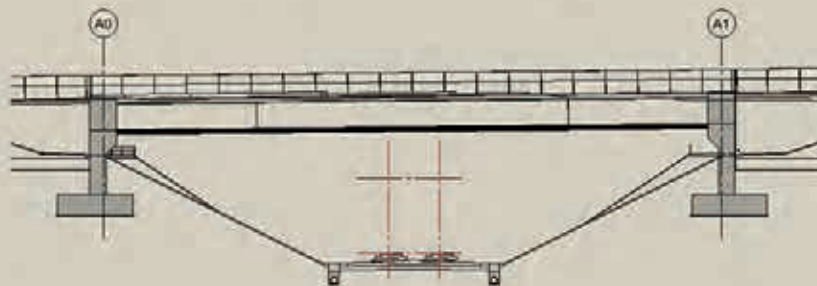
2a- Tablier à trois travées, intégral sur piles et semi-intégral sur culées



2b- Tablier à trois travées, intégral sur piles et sur culées



2c- Tablier à une travée intégral sur culées (portique)



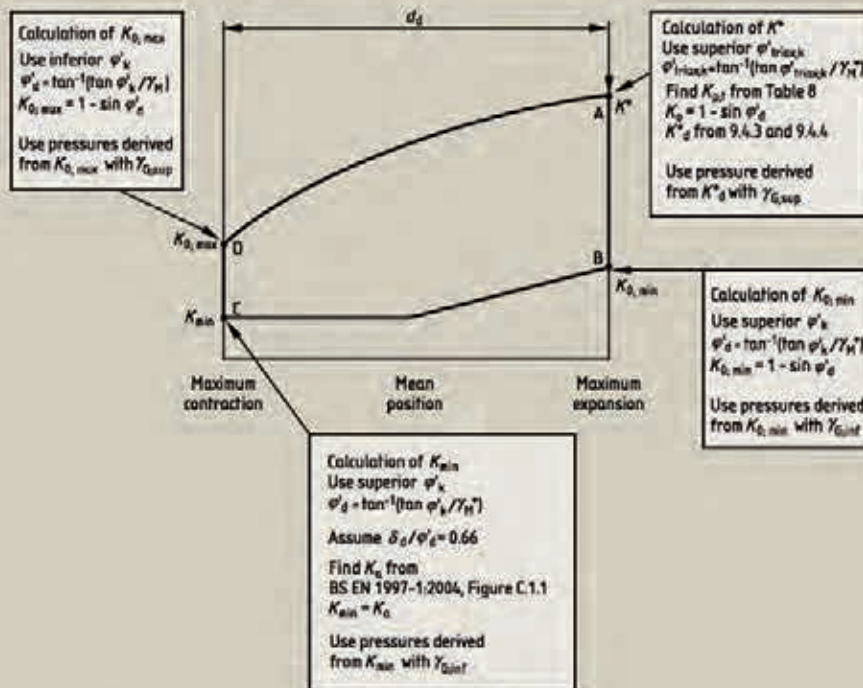
INTERACTION SOL-STRUCTURE

L'interaction entre la géotechnique (les remblais et le terrain) et la structure est un élément essentiel dans le fonctionnement et donc le dimensionnement des ouvrages intégraux et semi-intégraux. En effet, sous l'influence des variations thermiques, la structure se rallonge ou se contracte, ce qui fait varier l'intensité des pressions des terres à ses extrémités.

À l'allongement du tablier, celui-ci met en butée les terrains : l'intensité des pressions qui se développent derrière la culée dépend de l'amplitude du mouvement, et doit tenir compte des phénomènes additionnels de compactage (*strain-ratcheting*) que subissent les remblais et les terrains soumis aux cycles répétés d'expansion-contraction du tablier.

La norme anglaise PD 6694-2011+A1 :2020, qui constitue le cadre de référence sur le projet HS2, traduit ce phénomène en termes de variations des coefficients de butée selon les courbes illustrées dans la figure 3 :

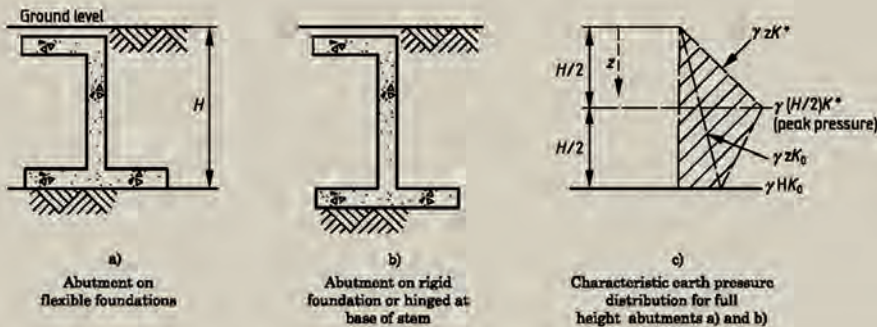
DIAGRAMME ENVELOPPE DES COEFFICIENTS DE POUSSÉE ET BUTÉE selon PD6694-1:2011+A1 :2020



NOTE 1 Figure ABCD shows the maximum and minimum pressure coefficients to be considered with expansion and contraction when the design value of the thermal movement is d_d as described in 9.4.2 and 9.4.7.
NOTE 2 The superior characteristic and inferior characteristic values of ϕ' represent the limiting values between which the shear strength of the backfill have to lie (see 9.10).
NOTE 3 $\gamma_{G,int}$ and $\gamma_{G,unf}$ are the favourable and unfavourable values of γ_G for the weight of soil.
NOTE 4 γ_M is the reciprocal value of γ_{M} given in the tables in the UK National Annex to BS EN 1997-1 (see 9.4.7).

DISTRIBUTION DES PRESSIONS PASSIVES POUR DES CULÉES MUR DE FRONT INTÉGRALES SUR SEMELLES SUPERFICIELLES

selon PD6694-1:2011+A1 :2020



© NORMES ANGLAISES BSI

4

4- Distribution des pressions passives pour des culées mur de front intégrales sur semelles superficielles selon PD6694-1:2011+A1 :2020.

5- Distribution des pressions passives pour des culées semi-intégrales (déclinaison du cas de figure 4).

6- Distribution des pressions passives pour des culées mur de front intégrales sur fondations profondes selon PD6694-1:2011+A1 :2020 (profondeur du point de rotation à déterminer par calcul itératif).

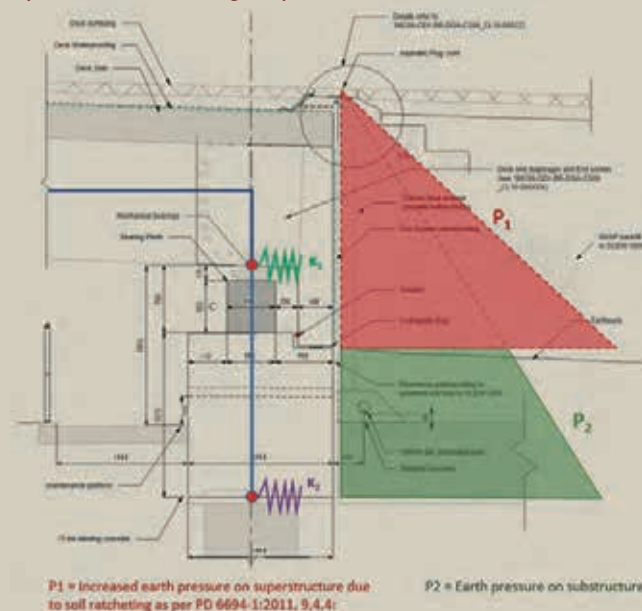
4- Passive pressure distribution for integral front-wall abutments on shallow footings as per PD6694-1:2011+A1 :2020.

5- Passive pressure distribution for semi-integral abutments (variant of Figure 4).

6- Passive pressure distribution for integral front-wall abutments on deep foundations as per PD6694-1:2011+A1 :2020 (depth of point of rotation to be determined by iterative calculation).

DISTRIBUTION DES PRESSIONS PASSIVES POUR DES CULÉES SEMI-INTÉGRALES

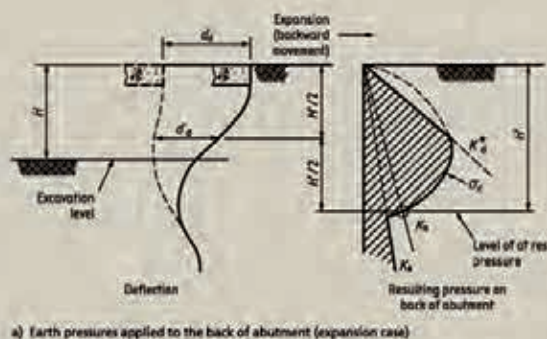
(déclinaison du cas de figure 4)



© NORMES ANGLAISES BSI

5

DISTRIBUTION DES PRESSIONS PASSIVES pour des culées mur de front intégrales sur fondations profondes selon PD6694-1:2011+A1 :2020 (profondeur du point de rotation à déterminer par calcul itératif)



© NORMES ANGLAISES BSI

6

Elle décrit aussi les méthodes analytiques permettant de déterminer l'amplitude maximale des déplacements en extrémité de tablier, et donc la pression accrue des terres K^* , selon le type de culée : sur fondation superficielle avec ou sans rotation d'about, ou sur fondation profonde dans du sol granulaire ou cohésif. Les diagrammes des pression résultantes sont schématisés dans les figures 4, 5 et 6. Dans cette analyse, il est nécessaire de considérer des estimations hautes des paramètres mécaniques des terrains (et de maîtriser ces valeurs pour des remblais sélectionnés), qui sont défavorables pour l'estimation des pressions des terres derrière l'ouvrage.

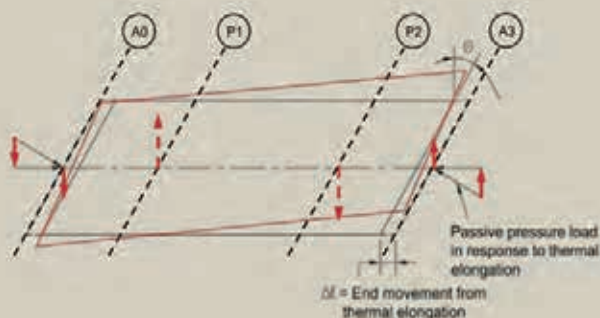
La superstructure étant directement en contact avec le terrain, l'amplitude des déplacements mesurés à chaque extrémité d'ouvrage dépend de la souplesse relative entre le tablier, ses appuis encastrés (piles et/ou culées) et le sol de fondation. De manière générale, plus l'ensemble " appuis + sol " est souple, plus les déplacements de la superstructure en tête sont importants. Ceci conduit à la réduction des efforts internes en fondation, mais les moments d'encastrement au niveau des connexions intégrales augmentent ; aussi, les déplacements importants au niveau des culées conduisent à l'augmentation des pressions de sol derrière celles-ci, ce qui peut agir défavorablement pour la stabilité externe et interne de la fondation.

À l'inverse, plus les appuis et les systèmes de fondation sont rigides, mieux les déplacements de la structure et les problématiques liées à la stabilité externes sont maîtrisés ; néanmoins la vérification de la stabilité interne peut conduire à des infaisabilités en termes de ferrailage.

Pour les ouvrages intégraux l'enjeu est donc d'arriver, via des calculs itératifs, à trouver le meilleur compromis entre les différents paramètres en jeu, pour aboutir à une solution optimale en termes de comportement structural, de constructibilité, de coûts de construction et de maintenance, mais aussi de gêne à l'exploitation engendrée par les opérations d'entretien/remplacement des équipements. Et puisque la distribution des efforts structuraux est très sensible à la variation des caractéristiques mécaniques des terrains, la maîtrise des paramètres géotechniques (tant pour les terrains en place que les remblais projetés) dès les phases amont du projet devient un aspect essentiel.

DÉPLACEMENTS ET ROTATIONS D'ABOUTS D'UN TABLIER BIAIS À TROIS TRAVÉES AVEC CULÉES INTÉGRALES OU SEMI-INTÉGRALES

Schéma de principe de la rotation d'axe vertical



Vue en plan et vues 3D du modèle de calcul sur le logiciel Pythagore® en configuration déformée et non déformée



Vue en plan et vues 3D du modèle de calcul sur le logiciel Pythagore® en configuration déformée et non déformée



7

© SETEC TPA

Dans la pratique, pour tenir compte des incertitudes géotechniques, de la variabilité inhérente aux terrains en place et des incertitudes de modèle, les calculs sont menés en fourchette, avec des valeurs basses et hautes des raideurs de terrain et des scénarios enveloppe sur les autres phénomènes.

CHEMINEMENT DES EFFORTS DU TABLIER AUX APPUIS

FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL

Le schéma statique des ouvrages intégraux peut se résumer à un fonction-

nement en portique, longitudinalement par l'encastrement du tablier sur piles ou culées, mais aussi transversalement dans le cas de fûts de pile isolés sur lesquels s'encastre le diaphragme. À ce fonctionnement en portique 2D s'ajoute, pour les ouvrages biais, un fonctionnement global de torsion d'axe vertical qui peut conduire à des déplacements importants des extrémités des tabliers et donc augmenter davantage la butée.

De plus, dans les ponts à trois travées avec tablier encasté sur piles, le biais peut conduire à des efforts très

importants dans les liaisons intégrales pour équilibrer la composante de la poussée des terres perpendiculaire à l'axe de l'ouvrage (figure 7). C'est pour cette raison que la plupart des textes de référence suisses, anglais et américains sur les ouvrages intégraux préconisent un angle de biais maximal de 30°.

Dans le cas des ouvrages semi-intégraux, la présence d'un important biais combinée avec des raideurs faibles du sol sur les piles, induit des problématiques en termes de déplacement au niveau des joints.

7- Déplacements et rotations d'abouts d'un tablier biais à trois travées avec culées intégrales ou semi-intégrales. En haut à gauche : schéma de principe de la rotation d'axe vertical. En haut à droite et en bas : vue en plan et vues 3D du modèle de calcul sur le logiciel Pythagore® en configuration déformée et non déformée.

8- Exemple de culée d'ouvrage semi-intégral avec butée transversale au centre.

7- Displacements and rotations of ends of a skewed three-span deck with integral or semi-integral abutments. Top left: schematic diagram of vertical axis rotation. Top right and bottom: plan view and 3D views of the calculation model on the Pythagore® software in deformed and non-deformed configuration.

8- Example of semi-integral bridge abutment with transverse anchor in centre.

EXEMPLE DE CULÉE D'OUVRAGE SEMI-INTÉGRAL AVEC BUTÉE TRANSVERSALE AU CENTRE

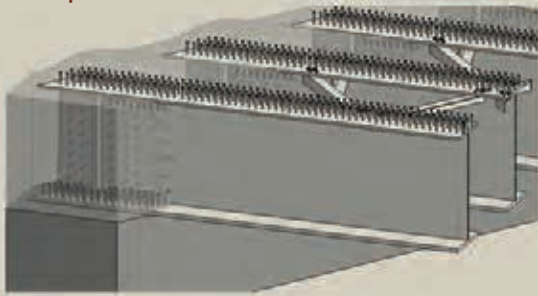


8

© SETEC TPA

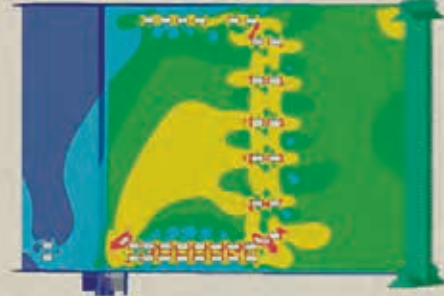
CULÉE INTÉGRALE DE PONT MIXTE ACIER-BÉTON

Détail de charpente



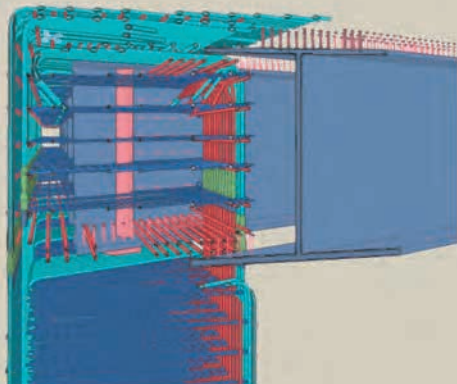
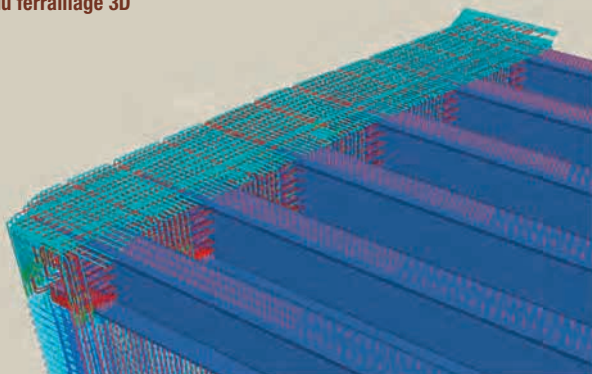
© SETEC TPI
9a

Vue du modèle éléments finis pour le calcul des contraintes locales dans les poutres percées



9b

Vues du ferrailage 3D



© SETEC TPI
9c

9- Culée intégrale de pont mixte acier-béton. En haut à gauche : détail de charpente. En haut à droite : vue du modèle éléments finis pour le calcul des contraintes locales dans les poutres percées. En bas : vues du ferrailage 3D.

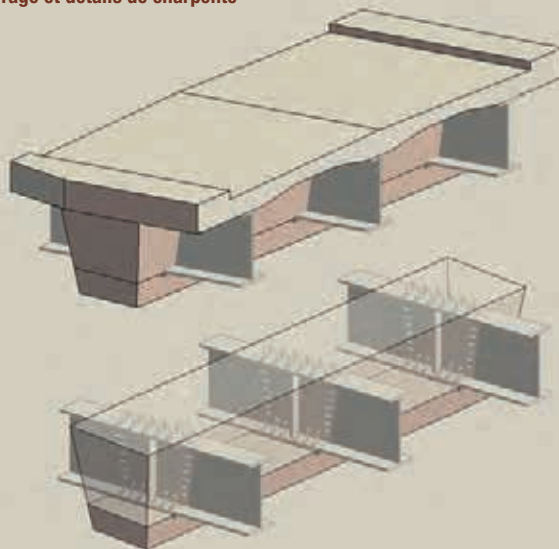
10- Pile intégrale de pont mixte acier-béton. En haut : coffrage et détails de charpente. En bas : vue du ferrailage 3D.

9- Integral abutment of composite steel-concrete bridge. Top left: structure detail. Top right: view of the finite element model for calculation of local stresses in pierced beams. Bottom: 3D views of rebars.

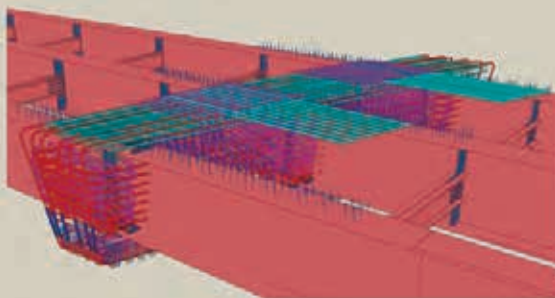
10- Integral pier of composite steel-concrete bridge. Top: formwork and structure details. Bottom: 3D view of rebars.

PILE INTÉGRALE DE PONT MIXTE ACIER-BÉTON

Coffrage et détails de charpente



Vue du ferrailage 3D



© SETEC TPI
10

Pour limiter le déplacement transversal du tablier, il est nécessaire de reprendre une partie de ce moment de torsion en bloquant transversalement le tablier avec un élément agissant comme une butée transversale (figure 8). Ceci engendre des efforts supplémentaires dans les fondations qui doivent être dimensionnées en conséquence.

CONCEPTION DES NŒUDS D'ENCASTREMENT

Un des enjeux principaux du dimensionnement intégral est la conception détaillée des nœuds d'encastrement qui concentrent des efforts importants et présentent un encombrement en armatures élevés (intersection armatures tablier/appuis/diaphragme avec les poutres métalliques ou béton).

Encastrement tablier/piles ou tablier/culées : cas des tabliers mixtes

Les moments de flexion retournés dans ces nœuds transitent localement via les goujons des poutres principales et sont repris par un calcul d'une console de la tête de pile en flexion composée. L'analyse est complétée par une vérification bielles-tirants au droit de ces nœuds.

En dehors des nœuds d'encastrement, le diaphragme est principalement sollicité en torsion et en flexion composée déviée.

Le ferrailage longitudinal résultant est à placer sur les 4 faces du diaphragme, ce qui nécessite de percer les âmes des poutres métalliques principales. L'enjeu ici est de trouver un compromis optimal entre différents critères, notamment : assurer une section de ferrailage suffisante pour vérifier la résistance, veiller à une bonne répartition des barres pour vérifier l'ouverture de fissure sur les faces exposées et enfin minimiser le nombre de barres traversant les poutres, pour éviter de les fragiliser dans ces zones critiques. Il est à noter la nécessité de réaliser des études complémentaires permettant d'évaluer plus finement la résistance des poutres percées et de vérifier si les concentrations de contraintes qui en découlent restent acceptables (figure 9). Pour les ouvrages les plus complexes, le ferrailage a été modélisé en 3D, afin de mieux visualiser et de résoudre les potentiels conflits de barres donc valider la bonne constructibilité (figure 9 et 10).

Encastrement tablier/piles : cas des tabliers Ubeams

Latéralement, le diaphragme est vu comme une poutre appuyée sur les fûts des piles. Il est principalement soumis à des sollicitations de flexion déviée, de cisaillement et de torsion

La torsion dans le diaphragme est complexe à justifier en raison de sa valeur importante et du faible espace disponible entre les poutres sur diaphragme (forte densité d'armatures). Cette sollicitation, principalement causée par le comportement intégral, est accentuée par les charges verticales asymétriques s'appliquant transversalement sur les différentes poutres. Une approche d'optimisation, consistant à intégrer la réduction des caractéristiques mécaniques en torsion à l'apparition des premières fissures en service, peut offrir une diminution de la rigidité et donc une diminution des efforts de torsion. L'ancrage des poutres dans le diaphragme peut être abordé de deux manières. Vu l'effort important à reprendre sur appuis, une première option consiste à utiliser des câbles pré-tendus en about de poutre comme armature passive, non tendus mais dotés d'une résistance élevée. Cela permet de justifier la bielle d'about avec un nombre réduit de câbles, réduisant l'encombrement dans la zone d'ancrage. Une autre solution est l'utilisation de ferrillages passifs, créant une chaîne de résistance continue avec des armatures passives dans la zone de diaphragme.

La semelle des poutres n'étant pas suffisante pour accueillir un grand nombre de barres passives, le principe d'*infill beam* est utilisé. Ce concept consiste à élargir la cellule supérieure (figure 11) du diaphragme en remplissant avec du béton les espaces à l'intérieur et entre les poutres sur une longueur de 1,5 m depuis les appuis. Un volume suffisant en béton est alors disponible pour ancrer les armatures passives et reprendre la traction créée par la bielle d'about.

Optimisation des efforts aux points de connexion liés au phasage

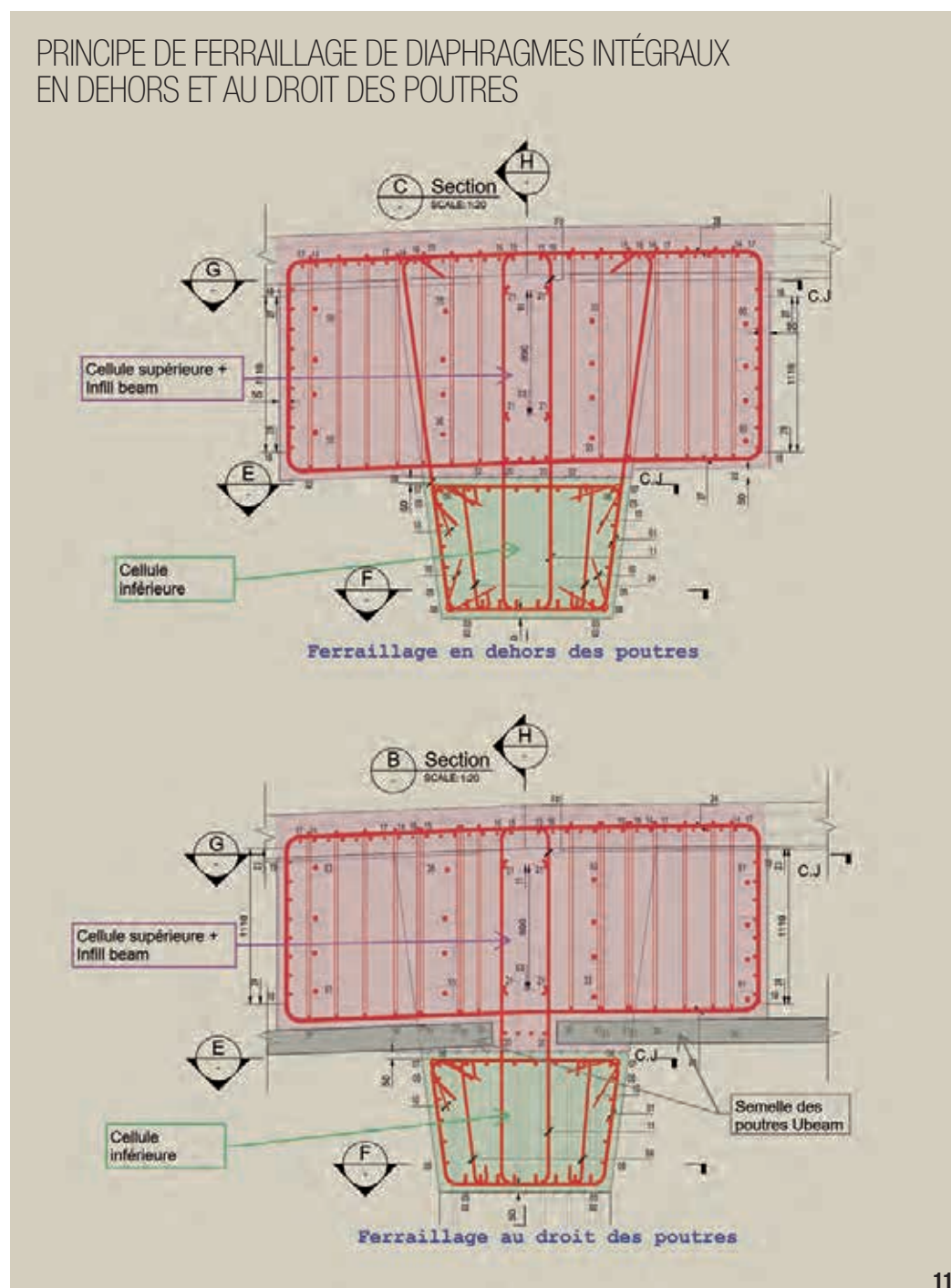
11- Principe de ferrailage de diaphragmes intégraux en dehors et au droit des poutres.

11- Technique for reinforcement of integral diaphragms outside and at the level of the beams.

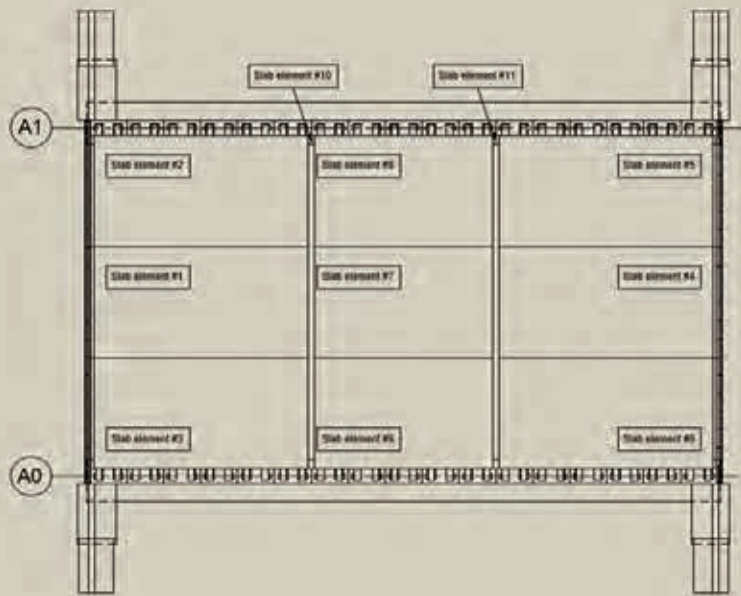
Dans le même esprit d'optimisation, une réflexion approfondie a été menée avec le constructeur pour définir le phasage de construction minimisant les efforts dans ces nœuds d'encastrement identifiés comme un point critique du dimensionnement, en contrepartie d'une légère augmentation des sollicitations dans le tablier en travée.

Bridage des actions indirectes / Analyse non linéaire sur diaphragmes et culées

Les modélisations aux éléments finis des ouvrages intègrent l'inertie brute des éléments de structure.



RÉPARTITION DES PLOTS DE BÉTONNAGE du hourdis béton d'un pont intégral avec tablier de 99 m de large



© SETEC TPI
12

Encore une fois, une optimisation a été possible avec une analyse non-linéaire prenant en compte la fissuration du béton. Cette approche a permis de rationaliser le ferrailage des nœuds d'encastrement mais aussi de vérifier la stabilité externe d'ouvrages fondés superficiellement ; elle fut nécessaire pour justifier des ouvrages de dimensions approchant les limites réglementaires en conception intégrale. L'ouverture de fissure due aux actions indirectes a été traitée avec une analyse en déformations, puis sommée dans les différentes sections aux actions issues des actions directes. Cette vérification en ouverture de fissure se trouve être généralement dimensionnante en conception intégrale comparé aux ouvrages librement dilatables.

12- Répartition des plots de bétonnage du hourdis béton d'un pont intégral avec tablier de 99 m de large.

12- Distribution of pavement markers for concreting of the concrete top slab of an integral bridge with deck 99 metres wide.

Le cas de l'ouvrage présenté en figure 12 illustre le travail de coordination qui a été mené avec le constructeur. Il s'agit d'un franchissement routier végétalisé d'une largeur de 99 m à travée unique de 60 m. Multipoutres (34) mixte encastré sur ses culées à mur de front en fondations superficielles, le programme exige également une conception sans joint de dilatation longitudinal.

La largeur exceptionnelle de l'ouvrage décuple les effets transversaux des actions indirectes en phase de service comme en construction (retrait thermique après bétonnage du tablier). Le phasage retenu, permettant d'amoindrir les effets du bridage, consiste en l'exécution de plusieurs tabliers indépendants solidarités par bandes de clavage considérées comme fissurées dans l'analyse globale. Ce piaçotage du hourdis a aussi été défini pour maîtriser les sollicitations dans les poutres métalliques de 60 m qui, en phase provisoire, ont une configuration isostatique.

CONCLUSION

Les ouvrages intégraux offrent des avantages directement identifiables, principalement la simplification de la maintenance avec la suppression partielle ou totale des appareils d'appui et des joints de chaussée.

Cependant, le dimensionnement de ces structures est, comme présenté ici, plus complexe et plus long, ce qui augmentent les coûts d'étude.

Par ailleurs les estimations d'impacts de modifications de projet (dimensionnels, géotechniques, de phasage) sont plus difficiles à appréhender que pour les structures librement dilatables, et nécessitent souvent un recalcul complet.

La conception intégrale reste cependant pertinente dans le cas d'ouvrages au biais modéré (<30°), à travée équilibrées et avec une longueur dilatable raisonnable. Pour des ouvrages moins classiques, une conception sur appareils d'appui reste à favoriser, les gains en maintenance étant contrebalancés par la complexité des études et de l'exécution, ainsi que par les surconsommations diverses en matériaux (ferrailage notamment). □

LES ACTEURS DU PROJET

MAÎTRE D'OUVRAGE : HS2 Ltd

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR :

EKFB (Eiffage - Kier - Ferrovial Construction - Bam Nuttall)

GROUPEMENT CONCEPTEUR : ASC (Arcadis - Setec - Cowi)

ABSTRACT

INTEGRAL AND SEMI-INTEGRAL BRIDGES CROSSING THE HS2 HIGH-SPEED RAIL LINE

VALENTINA BRUNO HURÉ, SETEC TPI - AYMEN BEN SALEM, SETEC TPI - AHMED MAJID, SETEC TPI - HUGO MARTIN, SETEC TPI

The standard design of the bridges crossing HS2 is an integral solution eliminating bearings and expansion joints. The simplification of maintenance is offset by the complex design of heavily loaded and reinforced embedment joints. This means the structures are more sensitive to the geotechnical environment, to construction work sequencing and to the crossing geometry. Detailed numerical models and non-linear analyses are needed to assess realistic structure behaviour, particularly under the effect of indirect actions. All the cases studied show the challenges and limitations to the field of use of integral bridges. □

PUNTES INTEGRALES Y SEMI-INTEGRALES QUE FRANQUEAN LA LAV HS2

VALENTINA BRUNO HURÉ, SETEC TPI - AYMEN BEN SALEM, SETEC TPI - AHMED MAJID, SETEC TPI - HUGO MARTIN, SETEC TPI

El diseño de referencia de los puentes que franquean la HS2 es una solución integral que elimina los dispositivos de apoyo y las juntas de calzada. Permite una simplificación del mantenimiento a costa de un complejo diseño de los nudos de empotramiento, sujetos a fuertes tensiones y presiones. Ello incrementa la sensibilidad de las construcciones al contexto geotécnico, a la secuencia de fases de construcción y a la geometría de franqueo. Se precisan detallados modelos digitales y análisis no lineales para prever de forma realista el comportamiento de las construcciones, sobre todo bajo el efecto de acciones indirectas. El conjunto de casos estudiados revela los desafíos y los límites del ámbito de utilización de los puentes integrales. □



1

© PHOTOTHÈQUE EKFB

TRANCHÉES COUVERTES DU LOT C23 DE HIGH SPEED TWO (HS2)

AUTEURS : EMMANUEL ROSSIGNOL, DIRECTEUR DU GROUPEMENT, GROUPEMENT EIFFAGE, KIER, FERROVIAL, BAM (EKFB) - JÉRÉMIE MARTIN, DIRECTEUR DE TRAVAUX DES TRANCHÉES COUVERTES LOT C23, GROUPEMENT EIFFAGE, KIER, FERROVIAL, BAM (EKFB) - PAUL CABIN, CONDUCTEUR DE TRAVAUX EN CHARGE DE L'ÉQUIPE EKFB IMPLÉMENTÉE CHEZ LE PRÉFABRIQUANT SATEBA STANTON PRECAST LTD

DANS UN CONTEXTE DE PLANIFICATION COMPLIQUÉE ET DE TENSION SUR LA MAIN D'ŒUVRE, LE GROUPEMENT EIFFAGE/KIER/FERROVIAL/BAM A CHOISI DE RECOURIR À LA PRÉFABRICATION POUR LES DEUX TRANCHÉES COUVERTES (GREEN TUNNELS), GREATWORTH DE 2700 M ET CHIPPING WARDEN DE 2480 M, SITUÉES DANS LA PARTIE NORD DU LOT C23 DU PROJET HS2, À PROXIMITÉ DE BANBERY.

PHASE DE CONCEPTION CHOIX DE LA SOLUTION RETENUE

Les tranchées couvertes du lot C23 se situent dans trois sites sensibles à l'environnement, au milieu de la campagne anglaise entre Londres et Birmingham (figure 2).

Une étude comparative de quatre types de solution a conduit le groupement au choix d'une solution en double voûte préfabriquée.

Les solutions étudiées étaient : une solution top down à l'abri de parois moulées (figure 3), une solution en double cadre coulé en place (figure 4), une solution en double cadre préfabriqué (figure 5) et une solution en double voûte préfabriquée (figure 6).

Le choix final de la solution en double voûte préfabriquée est dicté essentiellement par la rapidité d'exécution,



1- TRC de Chipping Warden.
2- Plan de site des tranchées couvertes (Green Tunnels).

1- Chipping Warden cut-and-cover.
2- Site map of cut-and-cover tunnels (Green Tunnels).

l'adaptabilité aux conditions géotechniques locales notamment la présence de terrain d'assise gonflant par endroit, l'optimisation des quantités et la minimisation des risques de pénurie de main d'œuvre sur le marché du Royaume Uni.

3- Solution top down à l'abri de parois moulées.

4- Solution en double cadre coulé en place.

5- Solution en double cadre préfabriqué.

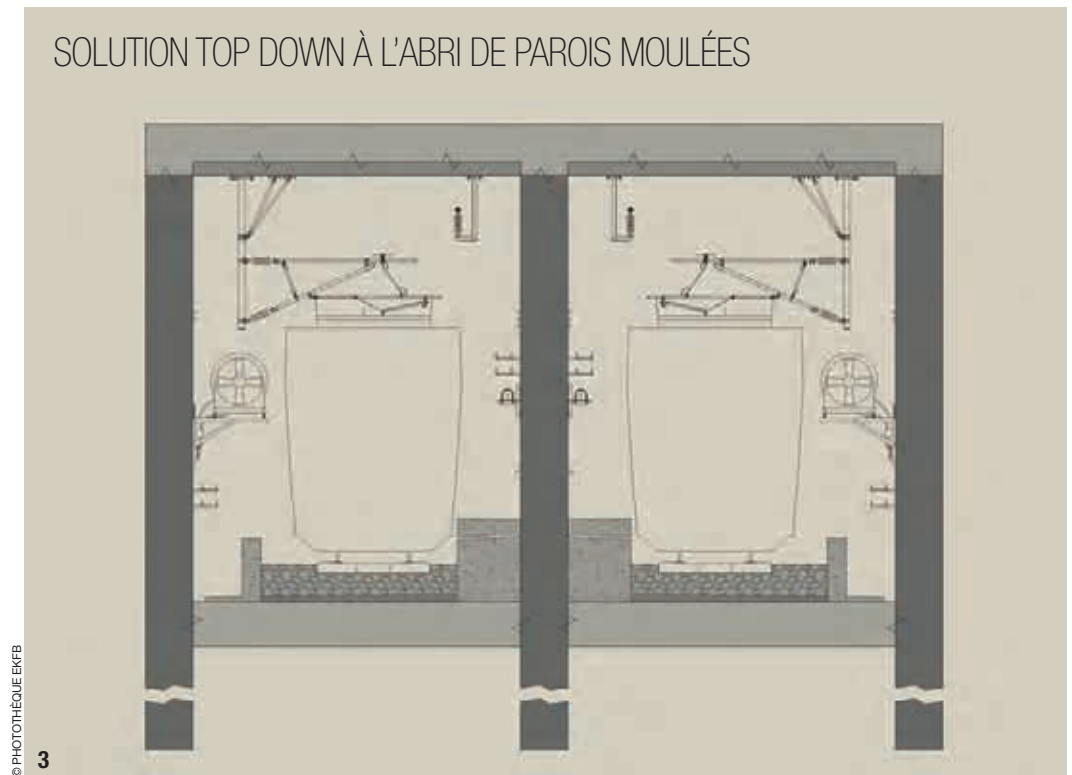
6- Solution retenue en double voûte préfabriquée.

3- Top-down solution sheltered by diaphragm walls.

4- Cast-in-situ double frame solution.

5- Precast double frame solution.

6- Precast double arch solution adopted.



En outre, cette solution a permis au groupement d'économiser 50 % des volumes de béton, 20 % des volumes d'acier et de réduire ainsi les émissions de CO₂ de 25 % (calcul fait en comparaison avec une solution double cadre coulé en place). Elle permet également de réduire le nombre de travailleurs sur le chantier en relocalisant un volume important des heures travaillées dans un milieu industriel, ce qui a un impact positif important sur la maîtrise des risques qualité et sécurité.

Par ailleurs, en délocalisant la production des éléments préfabriqués des tunnels, EKFB a contribué à une meilleure redistribution des opportunités économiques du projet sur le territoire en créant une centaine d'emplois dans une nouvelle usine créée spécifique-

ment à Ilkeston et une autre centaine pour une nouvelle usine d'armatures située à Loughborough.

DESCRIPTION DE LA SOLUTION RETENUE

La solution retenue a nécessité un développement particulier pour tenir compte de l'intégration de tous les équipements ferroviaires et non ferroviaires dans la tranchée en forme de voûte (figure 7), de la durabilité de l'ouvrage de 120 ans, de sa résistance au feu en conformité avec les spécifications techniques, notamment au droit des joints entre éléments préfabriqués et des tolérances de pose. La tolérance contractuelle de défauts est particulièrement stricte en relation avec l'objectif de durabilité attendu de la structure.

La solution en double cadre préfabriqué et voûté comporte 5 éléments, deux piédroits latéraux, un piédroit central et deux voûtes. La longueur des éléments de 2,49 m est compatible avec les contraintes de gabarit de transport et de poids unitaire pour la manutention et la mise en œuvre.

La conception des tranchées tient compte notamment des différents types de sol rencontrés, ainsi que les niveaux de nappe phréatique. L'analyse géotechnique a été réalisée à l'aide du logiciel Plaxis et considère les 5 étapes clés de la construction : excavation, installation, remblaiement partiel, remblaiement total et cas de charge liés à la vie des tunnels en service (aérodynamique, sismique notamment).

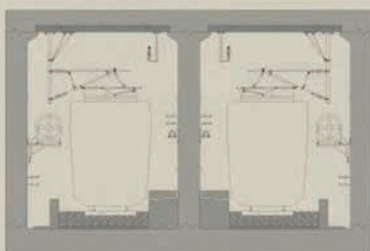
Le modèle prend également en compte les problématiques de gonflement des

sols. Une tranchée d'essais a été réalisée sur site afin de modéliser les gonflements attendus.

Les résultats de Plaxis ont été utilisés pour définir les efforts et les déplacements à prendre en compte pour le calcul de la structure. Une attention particulière a été portée sur les rotules (connexion entre les voûtes et les piédroits centraux et verticaux), ou une analyse linéaire élastique et non linéaire des joints a été réalisée avec Lusas pour définir la charge maximale et la rotation maximale admissible.

Le béton des éléments préfabriqués C50/60 contient, au m³, 320 kg de ciment CEM 1 52.5 N - Paddeswood Hanson, 180 kg de laitiers GGBS Teesport Hanson et 80 kg de filler 80 kg Betocarbt 80BT - OMYA avec un W/C de 0,38.

SOLUTION EN DOUBLE CADRE COULÉ EN PLACE



SOLUTION EN DOUBLE CADRE PRÉFABRIQUÉ



SOLUTION RETENUE EN DOUBLE VOÛTE PRÉFABRIQUÉE



7- Solution retenue, intégration des équipements.

8- Usine de préfabrication Stanton Sateba.

9- Aire de stockage.

7- Solution adopted, equipment integration.

8- Stanton Sateba pre-casting plant.

9- Storage area.

Les classes d'exposition sont XC3 pour l'intrados et XD2 pour l'extrados.

La tranchée bénéficie à l'extrados d'une étanchéité constituée de deux couches de membranes de PVC flexibles, compartimentées pour permettre d'éventuelles réparations pendant la durée de vie de l'ouvrage.

Deux types de voûte de 35 cm et 40 cm d'épaisseur sont prévus, en fonction de la dissymétrie des charges et de la hauteur de recouvrement au-dessus de la génératrice supérieure.

PRÉFABRICATION ET TRANSPORT

L'usine de préfabrication d'éléments en béton (figure 8) est spécialement conçue pour produire au moins 25 éléments par jour. Elle est équipée de 26 moules, répartis en 6 types différents, ainsi que de chambres de cure, de 2 tables de basculement et de 6 ponts roulants (4 de 63 t pour les éléments et 2 de 15 t pour les cages d'armature).

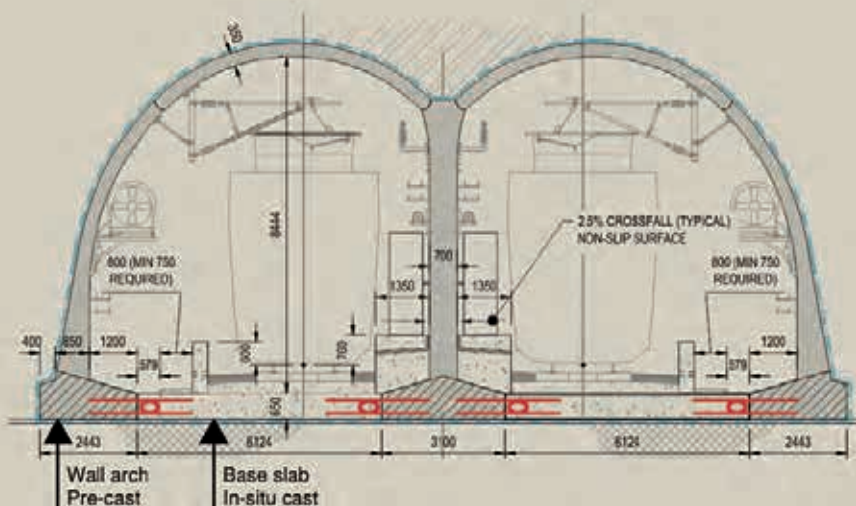
Les armatures en acier, fabriquées par Ersi dans une usine dédiée, sont acheminées vers l'usine Sateba de Stanton. À leur arrivée, elles subissent une inspection avec une tolérance de 2 cm sur leur positionnement avant d'être intégrées dans les moules.

Avant chaque coulage, les moules sont inspectés pour vérifier le positionnement de la cage, des inserts et des ancrages de levage.

Une fois le moule fermé, une dernière vérification du positionnement des armatures est effectuée pour garantir l'enrobage nominal avec une tolérance de +/- 5 mm.

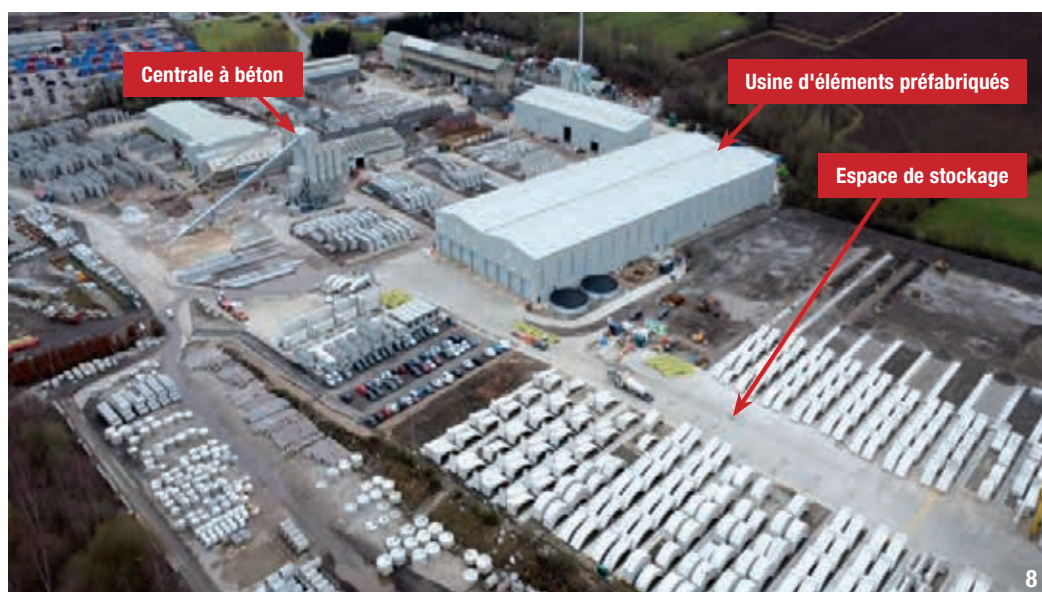
Le béton autoplaçant est préparé dans la centrale à béton adjacente à l'usine de préfabrication, dimensionnée pour préparer environ 300 m³ de béton par jour.

SOLUTION RETENUE, INTÉGRATION DES ÉQUIPEMENTS



7

© PHOTO THÉQUE EKFB



8

© PHOTO THÉQUE EKFB



9

© PHOTO THÉQUE EKFB

Cette centrale est équipée de quatre silos pour le ciment et le GGBS, ainsi que d'un espace de stockage pour les agrégats. Les adjuvants sont conservés dans un conteneur pour les protéger de la lumière. Le béton est mélangé dans l'un des deux mixeurs d'une capacité de 2 m³ chacun.

Le béton est ensuite acheminé par camion toupie de 8 m³ jusqu'au moule où il sera coulé. Avant le coulage, un essai au cône d'affaissement est réalisé pour vérifier la fluidité et l'homogénéité du béton, avec une tolérance entre 600 mm et 750 mm.

Le béton est ensuite déversé directement dans le moule à l'aide d'une pompe à béton.

Une fois démoulé (lorsque la compression du béton atteint 15 MPa), l'élément est placé dans les chambres de cure. Le système de cure consiste à saturer la chambre de vapeur d'eau, permettant ainsi au béton de subir un traitement de cure pendant environ 48 heures (afin d'atteindre 70 % de la résistance en compression caractéristique du béton). Avant leur sortie de l'usine, les éléments préfabriqués sont soumis à une inspection complète (visuelle et dimensionnelle).

La dernière étape dans l'usine consiste à tourner l'élément à l'aide des tables de basculement, permettant ainsi de le stocker de la même manière qu'il est livré.

Enfin, les éléments sont entreposés sur une aire de stockage de 30 000 m² (figure 9) qui peut accueillir jusqu'à 1 200 éléments. Ils sont manutentionnés sur l'aire de stockage à l'aide d'un portique à conteneurs (PAC) légèrement adapté (figure 10) qui est beaucoup plus rapide qu'une grue traditionnelle (élimine les opérations d'accrochage/déaccrochage des élingues et limite le nombre de personnes nécessaires aux opérations).



10
© PHOTOTHÈQUE EKFB

10- Portique à conteneurs.
11- Séquence de pose.

10- Container gantry crane.
11- Installation sequence.

DIFFÉRENTS ATELIERS DE CONSTRUCTION

La séquence de pose type d'un front est illustrée dans la figure 11.

Pour éviter les interfaces, les différents ateliers d'étanchéité sous tunnel, de béton de propreté, d'installation, de bétonnage des radiers et d'étanchéité sur le tunnel ont été dimensionnés pour progresser à un rythme de 25 m par semaine.

ATELIER DE TERRASSEMENT

L'atelier de terrassement (figure 12), constitué en moyenne de 3 excavateurs (90 t, 70 t, 70 t) et d'une vingtaine de tombereaux articulés, a été dimensionné pour excaver 40 000 m³ par mois. Il comprend l'installation du système de monitoring (extensomètre, capteurs de pression, inclinomètre, piézomètre). Sont également prévus des travaux de rabattement de nappe, de drainage et de construction de la couche de fondation constituée de 500 mm de matériaux (Class 6N3 - E PTL 30 MPa).

ATELIER DE BÉTON DE PROPRETÉ ET DE POSE D'ÉTANCHÉITÉ

L'atelier étanchéité et béton de propreté, constitué d'une dalle en béton armé d'une épaisseur de 125 mm dimensionnée pour reprendre les charges de la grue afin d'éviter tout dommage à l'étanchéité sous radier, progresse au fur et à mesure de la libération de la couche de fondation au rythme d'une dalle de 25 m de longueur par semaine (figure 13).

La tolérance d'exécution est de 10 mm. Une attention particulière est donc portée lors du réglage de la surface.

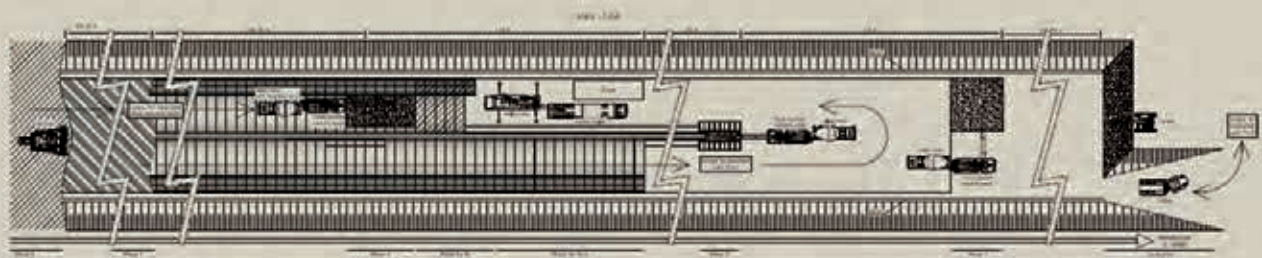
Un contrôle par un géomètre est réalisé avant de passer à l'installation des éléments préfabriqués. Avec le relevé DWG, les bossés et cuvettes sont également analysés pour respecter une planéité de 1/300 (pour 3 m de long).

En cas de non-conformité, la surface est reprise afin de rester dans les tolérances.

ATELIER DE POSE DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS

Les éléments préfabriqués sont acheminés sur le site et installés au moyen d'une grue de 160 t.

SÉQUENCE DE POSE



© PHOTOTHÈQUE EKFB

11

© PHOTOTHÈQUE EKFB



12

© PHOTOTHÈQUE EKFB



13

Les deux opérations critiques consistent au redressement des piédroits et à l'installation des éléments dans les tolérances géométriques.

Afin d'assurer une assise homogène entre les éléments déjà posés et les nouveaux éléments et pour permettre la pose dans les tolérances géométriques malgré un cumul de tolérances qui pourrait être préjudiciable (tolérances éléments béton et tolérance béton de propreté) une couche de sable est mise en place puis réglée sous les appuis des piédroits. Lorsqu'ils sont mis en place, un joint de 10 mm est prévu entre deux éléments adjacents. Un contrôle par le géomètre est fait en temps réel pour ajuster et guider l'équipe de pose avant de passer à un nouvel élément.

Une fois les piédroits en place et réglés (tolérances de 10 mm par rapport à la position de la conception - désaffleurement maximum entre deux éléments adjacents inférieur à 15 mm) les toits sont mis en place. Le désaffleurement maximum toléré au niveau de la rotule est de 10 mm avec un twist limité à 10 mm pour éviter les pertes de contact et assurer ainsi une répartition des charges conformément à la conception. Tous les 25 m, le tunnel est équipé de prismes lasers fixés sur des douilles intégrées dans les éléments préfabriqués afin de s'assurer que les mouvements de l'ouvrage lors des différentes phases de la construction restent dans les tolérances dictées par la conception. La figure 14 illustre les opérations de pose des éléments préfabriqués.

Des éléments spéciaux intégrant le support sur lesquels un sous-traitant tiers viendra poser les portes coupe-feu pour les issues de secours ont été conçues pour faire gagner du temps au client dans la prochaine phase de travaux (figure 15).



14a

© PHOTOTHÈQUE EKFB



14b

© PHOTOTHÈQUE EKFB

ATELIER DE RÉALISATION DES RADIERS

La réalisation des radiers progresse au rythme de 25 m par semaine. Les aciers coupés et façonnés sont livrés puis préassemblés sur l'aire de stockage du chantier. L'assemblage final

se fait du lundi au jeudi directement sur les plots de coulage (25 m) afin d'éviter les interférences géométriques qui pourraient avoir lieu avec les aciers en attente des éléments préfabriqués. Le coulage des plots du radier (100 m³ par plot) se fait le vendredi (figure 16).

ATELIER DE POSE DE L'ÉTANCHÉITÉ

Afin d'optimiser les temps de pose et la sécurité de opérations d'étanchéité, le groupement a développé en partenariat avec Volker (sous-traitant du lot étanchéité) un portique roulant sur



15

© PHOTOTHÈQUE EKFB

12- Atelier de terrassement.

13- Atelier de béton de propreté et d'étanchéité.

14- Atelier de pose des éléments préfabriqués.

15- Dispositif prévu pour le montage des portes coupe-feu.

12- Earthmoving plant.

13- Blinding and sealing concrete plant.

14- Plant for placing precast elements.

15- System planned for the assembly of fire doors.



16a

© PHOTOTHÈQUE EKFB



16b

© PHOTOTHÈQUE EKFB

mesure qui permettra de dérouler directement le complexe sur le tunnel (figure 17). Le premier portique vient d'être installé à Chipping Warden et les premiers 100 m d'étanchéité devraient être livrés mi-septembre 2023.

ATELIER DE REMBLAIEMENT

Le remblaiement est réalisé d'une manière symétrique à l'aide de matériaux sélectionnés conformément aux spécifications techniques détaillées. Il est constitué d'un remblai technique réalisé en couche de 250 mm d'épaisseur (zone 1, 2 et 3) et d'un remblai

16- Atelier de réalisation des radiers.

17- Atelier de pose de l'étanchéité.

16- Invert execution rig.

17- Waterproofing equipment.

paysager pour rétablir le niveau du sol avant travaux (zone 4) figure 18. Les matériaux de classe 6 sont des matériaux importés tandis que les autres sont des matériaux retraités en provenance du site. Les opérations de remblaiement feront l'objet d'un monitoring précis afin de s'assurer que les mouvements de la structure restent dans les tolérances préconisées par la conception.

ORDONNANCEMENT DES TRAVAUX

Du fait de la longueur des ouvrages et en conséquence des multiples con-

traintes liés à l'environnement, et aussi des nombreuses déviations de routes et réseaux, la livraison des 2 green tunnels est sur le chemin critique du chantier.

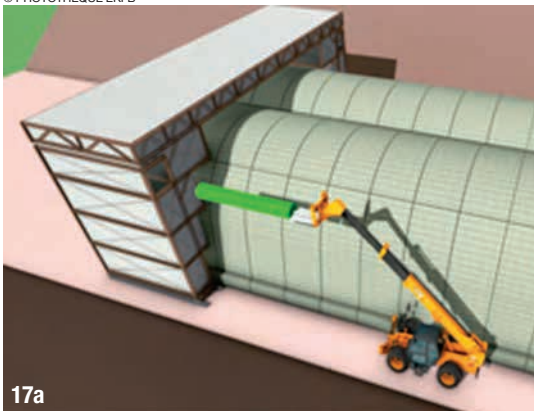
À Chipping Warden, la première section de tranchée couverte a été installée au milieu du tunnel (figure 1) en 2022 pour permettre le rétablissement d'une route à fort trafic (A361 reliant Banbury à Daventry). Les travaux vont se poursuivre vers le nord pendant toute l'année 2023. Un deuxième front en cours d'excavation sera ouvert pour une installation depuis le sud qui viendra se connecter à la première section début 2025.

Sur le même principe, à Greatworth, les travaux d'excavation de la première section au milieu du tunnel sont en cours de finalisation, et l'installation des éléments du tunnel démarrera au cours de l'été et se poursuivra en direction du nord pour atteindre l'extrémité du tunnel mi 2025. La section Sud sera construite après que les routes principales et les réseaux seront déviés sur la première section de tranchée couverte.

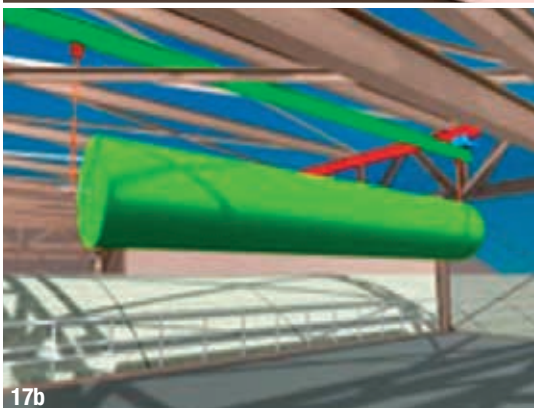
CONCLUSION

La solution choisie tente de répondre au mieux au contexte, notamment en intégrant les différentes contraintes du site et du planning.

© PHOTOTHÈQUE EKFB



17a



17b

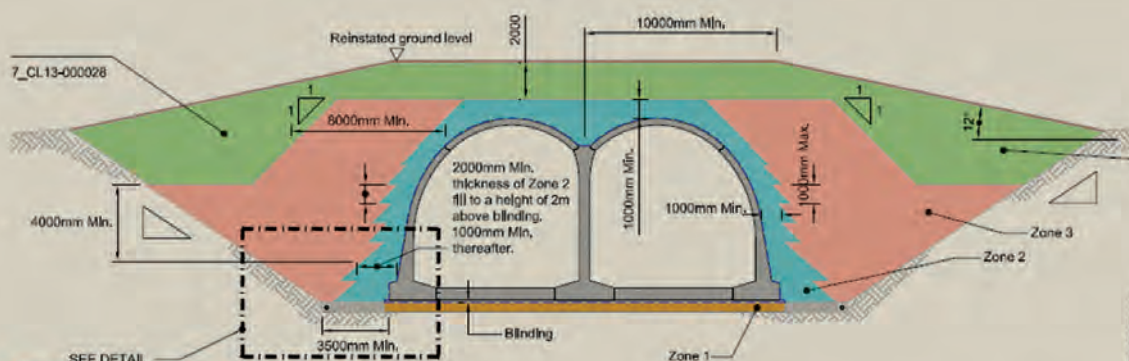
© PHOTOTHÈQUE EKFB



17c

© PHOTOTHÈQUE EKFB

MATÉRIAUX DE REMBLAIEMENT



Backfill Zone	General Class of Fill	Sub-Classes
Zone 1	Class 6	6N **
Zone 2	Class 6	6P
Zone 3	Class 1	1A, 1B
	Class 2	2F
Zone 4	Class 1	1A, 1B
	Class 2	2A, 2B, 2C, 2D

Table 2: Key Performance Criteria for Backfill
Refer to Table 6/1 of the Specification for all Material Properties Required for Acceptability

Backfill Zone	Effective Angle of Internal Friction ϕ' (°)	Effective Cohesion c' (kN/m ²)	Stiffness E_{PLT} (MPa)	Permeability (m/s)
Zone 1	35	0	30	10^{-4} to 10^{-5}
Zone 2	35	0	30	10^{-4} to 10^{-5}
Zone 3	26	0	25	N/A
Zone 4	20	0	20	N/A

18

© PHOTOTHÈQUE EKFB

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

High Speed Two (HS2) Limited

MAÎTRE D'ŒUVRE : groupement Arcadis, Cowi, Setec

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR :

Eiffage, Kier, Ferrovial, Bam (EKFB)

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

USINE DE PRÉFABRICATION DES CAGES D'ARMATURES :

Ersi Group

USINE DE PRÉFABRICATION DES ÉLÉMENTS BÉTONS :

Sateba Stanton Precast Ltd

TRANSPORT DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS :

Explore Plant and Transport Solutions

ÉTANCHÉITÉ :

VolkerLaser

18- Matériaux de remblaiement.

18- Backfill materials.

Elle permet de traiter convenablement la problématique de tension sur le marché de la main d'œuvre au Royaume-Uni. Sa mise en œuvre a nécessité une phase de réglage avec une courbe d'apprentissage de quelques mois avant d'atteindre le régime de croisière qui est en cours. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS : 140 000 m³

BÉTON DU RADIER : 70 000 m³

ACIERS DE BÉTON ARMÉ ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS : 45 000 t

ACIERS DE BÉTON ARMÉ DU RADIER : 32 000 t

EXCAVATION : 5 500 000 m³

ABSTRACT

CUT-AND-COVER TUNNELS OF WORK SECTION C23 OF HIGH SPEED TWO (HS2)

EMMANUEL ROSSIGNOL, GROUPEMENT EKFB - JÉRÉMIE MARTIN, GROUPEMENT EKFB - PAUL CABIN, SATEBA STANTON PRECAST LTD

Work section C23 of HS2, phase one, has a sophisticated environmentally-friendly design which led the designer to propose two cut-and-cover tunnels (Green Tunnels) in order to mitigate the acoustic and visual impact of the line on extremely sensitive sites of the project. Planning constraints and pressure on labour resources led the EKFB consortium to develop a precast arch solution. Thanks to the experience acquired by Eiffage (a member of the EKFB consortium) on the Brittany-Pays de la Loire high-speed rail line project in France where this technology has already been used, the consortium was able to implement this design, which is a first in the UK market. □

TÚNELES EN ZANJA CUBIERTA DEL LOTE C23 DE LA HIGH SPEED TWO (HS2)

EMMANUEL ROSSIGNOL, GROUPEMENT EKFB - JÉRÉMIE MARTIN, GROUPEMENT EKFB - PAUL CABIN, SATEBA STANTON PRECAST LTD

El lote C23 de la HS2, fase 1, cuenta con un elaborado diseño medioambiental que ha llevado a los diseñadores a proponer dos túneles en zanja cubierta (green tunnels) para reducir el impacto acústico y visual de la línea en puntos especialmente sensibles del proyecto. Dadas las limitaciones de la planificación y la tensión en recursos de mano de obra, el consorcio EKFB ha desarrollado una solución en bóveda prefabricada. Fruto de la experiencia adquirida por Eiffage (miembro del consorcio EKFB) durante la realización del proyecto de la línea de alta velocidad Bretaña-País del Loira, en Francia, donde ya se utilizó esta tecnología, el consorcio ha podido aplicar con éxito este diseño, que constituye una primicia en el mercado británico. □



En 2023,
votre assureur unit
toutes ses forces sous
une nouvelle identité



Retrouvez tous nos produits
d'assurance sur smabtp.fr



**VOTRE ASSUREUR
PARTENAIRE**

Engineering a Better Solution

Rejoignez notre communauté technique !



MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr



Protection contre les risques naturels :

En haut : Carcassonne Ligne SNCF (11)
Géomatelas tridimensionnel MacMat R-Acier

En bas : Ligne SNCF de la Côte Bleue (13)
Écrans pare-blocs, grillage double torsion

