

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

ENERGIE. EPR HINKLEY POINT C, UK : PREFABRICATION LOURDE - CAGES D'ARMATURES PREFABRIQUEES - USINE DE FABRICATION DE TREILLIS LOURDS - FABRICATION DES PISCINES. PRODUCTION DE FROID EFFICIENTE AU CHRU DE STRASBOURG-HAUTEPIERRE. STATION DE STOCKAGE ET VAPORISATION DE PROPANE DE LA VILLE D'AJACCIO. PIEUX GEOTHERMIQUES - VALIDATION DE COMPORTEMENT SUR LA STEP DE SEPT-SORTS. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LE BARRAGE DES BENI-BAHDEL

N° 959 AVRIL/MAI 2020



EPR DE HINKLEY
POINT C
© EDF ENERGY





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

PréventionBTP

 **En direct**

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



preventionbtpendirect.fr



PASSEZ SIMPLEMENT À LA PRÉVENTION

OPPBTP
La prévention BTP

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@fnfp.fr

Comité de rédaction
Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard
Datry (Setec tpi), Olivier de Vriendt
(Spie Batignolles), Philippe Gotteland
(Fnfp), Florent Imberty (Razel-Bec),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis), Véronique
Mauvissau (Ingerop), Stéphane Monleau
(Soletanche Bachy), Jacques Robert
(Arcadis), Solène Sapin (Bouygues
Construction), Claude Servant (Eiffage tp),
Philippe Vion (Vinci Construction Grands
Projets), Nastaran Vivian (Artelia), Michel
Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

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

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

Publicité
Rive Média
10, rue du progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée
Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux).

Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même
partielle (loi du 11 mars 1957, qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

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

FACE À L'URGENCE CLIMATIQUE SORTONS DU NUCLÉAIRE HONTEUX !



© DR

Avec ses 57 réacteurs, la France dispose du 2^e parc de production électronucléaire au monde. Ce parc a d'abord fait notre fierté nationale : indépendance énergétique, innovation technique, puissance industrielle, développement économique de la France.

Puis les accidents de Three Miles Island aux USA en 1979 et surtout Tchernobyl en 1986 et Fukushima en 2011, dont un seul a fait des victimes, ont rappelé que cette industrie, comme toute industrie, pouvait présenter des risques pour l'environnement et les hommes.

De la fierté industrielle à la honte nucléaire : une perception déraisonnée du risque

La perception et l'acceptabilité du risque est une notion éminemment subjective. Si monter dans sa voiture présente objectivement un risque bien plus élevé que de vivre à côté d'une centrale nucléaire, ce dernier est néanmoins jugé inacceptable par certains de nos concitoyens. De même pour ce qui est des déchets : aucune industrie n'est autant surveillée et ne traite avec autant de soin et d'anticipation ses déchets que l'industrie nucléaire. Pourtant ce point est souvent pris comme argument, respectable mais probablement pas raisonnable, pour tourner le dos au nucléaire.

Ce parc électronucléaire qui faisait notre fierté est ainsi, au fil des années, devenu honteux. Mais l'urgence climatique devrait rebattre la donne.

Le changement climatique plaide pour le nucléaire

Il faut le rappeler, car 70 % des français sont convaincus du contraire, le nucléaire est la source d'énergie produisant l'électricité la plus décarbonée. Dans ses 4 scénarios à destination des décideurs, le GIEC considère ainsi une augmentation de la production d'électricité d'origine nucléaire entre +100 % et +500 % d'ici 2050 pour respecter la trajectoire 1,5°.

Alors, à moins de s'inscrire dans un monde décroissant et finissant, les inconvénients du nucléaire doivent être mis en balance des avantages indéniables et opportunités qu'il offre à notre planète : permettre de réduire drastiquement la consommation d'énergie fossile (charbon, gaz, pétrole) et fournir, en complément des énergies renouvelables intermittentes (éolien, photovoltaïque), une électricité décarbonée.

Côté construction, en France, le programme EPR lancé dans les années 2000 connaît les difficultés d'un prototype de réacteur qu'il faut certainement traiter avec la plus grande vigueur et rigueur. EDF a d'ailleurs récemment annoncé un plan ("Excell") pour retrouver cette excellence opérationnelle dans la construction des centrales. Mais quelles que soient ces difficultés, il serait contreproductif pour le climat et négatif pour l'économie française de tourner le dos à une filière riche en emplois qualifiés, exportatrice, porteuse d'innovation (SMR, ITER...) et capable d'apporter une électricité abondante, pilotable* et décarbonée au monde entier.

Retrouver la fierté : pour un nouveau nucléaire, compétitif, sûr et répondant aux enjeux de la planète

La France a su être performante et innovante avec son programme nucléaire (illustration du fameux "on n'a pas de pétrole mais on a des idées"), elle a la capacité de le redevenir pour peu qu'elle croie en elle-même, en la capacité de ses ingénieurs, réputés parmi les meilleurs au monde, de relever le défi d'un nouveau nucléaire toujours plus sûr, compétitif et apportant une solution concrète, immédiatement disponible, pour répondre à l'enjeu universel et urgent du climat.

(*) Par comparaison aux énergies renouvelables intermittentes.

FRANÇOIS MARTIN
DIRECTEUR GÉNÉRAL
EGIS INDUSTRIES



ÉNERGIE

PRODUCTION DES FONDATIONS D'ÉOLIENNES SUR LE SITE DE HOBOKEN © SHULDEERS





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

ENTRETIEN AVEC JEF VERDICKT
SMULDERS : EOLIEN OFFSHORE, INTÉGRATION TOTALE DE LA CONCEPTION À LA CONSTRUCTION

24 PUY-SAINT-ANDRÉ - SEVE : TRANSITION ÉCOLOGIQUE, L'AUTONOMIE POUR LEITMOTIV

32 EPR HINKLEY POINT C, UK



32

PRÉFABRICATION LOURDE
EPR Hinkley Point C



38

CONSTRUCTION SANS PLANS 2D DES CAGES D'ARMATURES PRÉFABRIQUÉES
EPR Hinkley Point C



43

USINE DE FABRICATION ROBOTISÉE DE TREILLIS LOURDS (MESH FACTORY)
EPR Hinkley Point C



49

FABRICATION MODULAIRE DES PISCINES
EPR Hinkley Point C



54

PRODUCTION DE FROID EFFICIENTE
au CHRU de Strasbourg-Hautepierre



60

STATION DE STOCKAGE ET VAPORISATION DE PROPANE
de la ville d'Ajaccio



66

PIEUX GÉOTHERMIQUES
Validation de comportement sur la STEP de Sept-Sorts



74

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE BARRAGE DES BÉNI-BAHDEL EN ALGÉRIE
Numéros 40, 42, 45, 47, 51, 57 et 70





LA PLUS GROSSE GRUE TERRESTRE DU MONDE EN SERVICE À HINKLEY POINT C

BOUYGUES ET LAING O'ROURKE, en joint venture sous le nom de Bylor pour la construction de l'EPR de Hynkley Point C dans le Somerset, ont opté pour la préfabrication lourde. À cet effet, le levageur Sarens a installé sa grue SGC250 capable de lever des colis de 1 100 t. Cet appareil hors norme est mobile, monté sur rails, pour couvrir le chantier.

(Voir article page 32).



© BYLOR





COUP DE FROID À HAUTEPIERRE

INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE, est maître d'œuvre tous corps d'état pour la réalisation de la nouvelle production de froid dans le cadre de l'extension et de la rénovation lourde du Centre Hospitalier Régional Universitaire de Strasbourg-HautePierre. Les technologies utilisées visent l'efficacité énergétique maximale, la fiabilité et l'intégration architecturale.

(Voir article page 54).



© INGÉROP

LE TRAIN LÉGER AU SECOURS DES PETITES LIGNES

Des petites lignes de train sont sauvegardées grâce aux efforts d'entretien des Régions. Le ministère des Transports aimerait que le train léger, moins coûteux, ait sa place sur ce réseau.



La ligne métrique Blanc-Argent qui passe à Romorantin (Loir-et-Cher), sera pérennisée sous la responsabilité de la région Centre-Val-de-Loire.

Les michelines diesel seront peut-être remplacées par des trains dits légers. Jean-Baptiste Djebbari, secrétaire d'État chargé des transports, y voit une solution pour que les régions puissent prendre en charge les lignes les moins circulées. Le train dit léger pèsera moins à l'essieu, d'où une usure moindre de la voie. En même temps, il est fait appel à de nouvelles techniques de construction de voie, de rame avec, à la clé, une diminution des coûts d'entretien et de maintenance. Par exemple, les traverses ne reposeraient plus sur du ballast mais sur du bitume. Le potentiel du train léger est évalué 1 000 km. L'État envisage dix expérimentations au moins. Le Grand-Est, l'Occitanie et le

Centre-Val-de-Loire sont partantes. L'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF) est chargé d'organiser cette nouvelle filière. Un des enjeux est d'élargir l'éventail des sources d'énergie pour ces modèles : traction hybride, batteries électriques seules, train à hydrogène, etc. → **Financements partagés** Les trains légers font partie d'un ensemble d'actions que l'État encourage à adopter à travers les protocoles régionaux sur l'avenir des petites lignes. Deux ont été signés le 20 février avec le Grand-Est et le Centre-Val-de-Loire. « Ces plans d'actions régionaux de soutien aux petites lignes ferroviaires s'inscrivent dans la dynamique initiée avec la loi d'orientation des mobilités qui vise à

réinvestir en priorité dans les transports du quotidien, » écrit le ministère des Transports⁽¹⁾.

Dans ces protocoles, l'État s'engage à financer à 100 % des portions du réseau structurant, comme les lignes Nancy-Épinal ou Bourges-Montluçon. Il y réintègre environ 1 500 km qui seront pris en charge par SNCF Réseau.

→ Navettes autonomes

Des contrats sur douze ans pourront être établis en cas de cofinancement avec les Régions et SNCF Réseau. Ce qui s'applique à 6 500 km, selon le ministère. D'autres modes de financement sont

sous la responsabilité des Régions. Par exemple, le Centre-Val-de-Loire assume à 100 %, dès cette année, les lignes Tours-Loches et Tours-Chinon (Indre-et-Loire), et la ligne métrique du Blanc-Argent entre Valençay (Indre)-Salbris (Loir-et-Cher).

Le gouvernement n'exclut pas d'avoir recours à d'autres modes de transport comme des tramways ou des navettes autonomes quand « la pertinence du service ferroviaire existant n'est plus démontrée. » ■

⁽¹⁾ Loi 2019-1428 du 24 décembre 2019.

9 137 km DE VOIES À MODERNISER

Une petite ligne de train est une ligne de desserte fine du territoire. Cela représente un tiers du réseau voyageurs, soit 9 137 km sur un total de 28 364 km.

Les petites lignes accueillent 17% de trafic de trains régionaux (TER). Elles sont à 78 % à une seule voie et à 85 %, non électrifiées (locomotives diesel). Le gros de la signalisation est mécanique, manœuvrée par du personnel.

Ces lignes sont en mauvais état. Les ralentissements affectent 2 700 km. En l'absence d'investissements massifs dans les dix ans, selon le ministère des Transports, 6 500 km sont susceptibles d'être ralentis dont 4 000 km sous la menace d'une fermeture.

Jusqu'à présent, l'État et SNCF Réseau assuraient près de 85% de la maintenance de cette desserte fine. Pour parvenir à pérenniser ces trajets en train, il est nécessaire que d'autres financements entrent en jeu, d'où l'appel à ceux des Régions.

NOUVEAU RÉSEAU FERRÉ EN RÉGION PROVENCE/ALPES/CÔTE-D'ASUR

La ligne nouvelle Provence-Côte-d'Azur va désaturer les nœuds ferroviaires de Marseille, Toulon, Nice et sur la côte. L'axe de Marseille à Vintimille (frontière italienne) fonctionne mal. Les retards sont fréquents. La pertinence de la nouvelle liaison avait été confirmée par le Conseil d'orientation des infrastructures. Un comité de pilotage regroupant l'État et les collectivités locales a validé les propositions de SNCF Réseau suite à une concertation en 2019. Les travaux consistent à faciliter la circulation et le stationnement des trains : création de nouvelles lignes, augmentation du nombre de voies à quai, voies de remisage, etc. Quatre phases sont envisagées. Les deux premières seront en enquête publique en 2021.

La phase 1 concerne, notamment, une gare TGV à Nice Aéroport, des voies supplémentaires en gare de Toulon, le réaménagement et l'agrandissement du plateau de la gare de Marseille-Saint-Charles. Celle-ci devient un pôle d'échange multimodal. Une nouvelle gare s'ajoute à l'est avec quatre voies à quai de plus. À l'ouest, les voies d'arrivée en gare sont doublées.

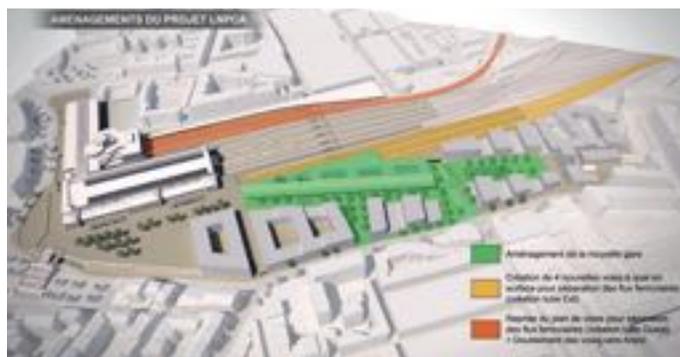
→ Cannes-Nice par l'arrière-pays

La phase 2 regroupe des aménagements entre Cannes et Nice (Alpes-Maritimes) pour la navette azurée et la traversée souterraine de Marseille.

Les phases 3 et 4 en sont au stade des études et de la maîtrise du foncier. Elles concernent le secteur d'Aubagne (Bouches-du-Rhône) dont la nouvelle

ligne vers Toulon, une autre liaison entre Le Muy (Var) et Cannes, la gare TVG Cannes-la-Bocca, un nouveau tracé entre

Cannes et Nice en passant par Sophia Antipolis, et de nouvelles voies au pôle d'échanges à l'aéroport de Nice. ■



Aménagements futurs en gare de Marseille-Saint-Charles : en vert, la nouvelle gare qui s'ajoute à l'ancienne. En jaune et en orange, les voies d'arrivée créées.

© SNCF RÉSEAU PACA

DIX ANS APRÈS XYNTHIA

Le Conseil de défense écologique du 12 février a fait le point sur les mesures post-Xynthia. La tempête avait pris de court nombre de territoires dont la côte vendéenne, le 28 février 2010.

Le Conseil, réuni pour la 1^{re} fois en mai 2019, a été créé par le Président de la République suite au grand débat national pour élargir à tous les ministères la protection du climat et de la biodiversité.

Parmi les changements en dix ans, l'État s'est engagé à diviser par deux la durée d'élaboration des programmes d'actions pour la prévention des inondations (Papi). Il garantit que le Fonds de prévention des risques naturels (Fonds Barnier) sera suffisant pour couvrir les dommages.

Les travaux ont été importants en Charente-Maritime avec 49,2 km de digues traitées à fin 2019* et en Vendée, 28 km de digues.

Conformément à la directive européenne sur les inondations, n°2007/60/CE du 23 octobre 2007, 124 territoires à risque important d'inondation (Tri) ont été identifiés avec diagnostic d'exposition au risque.

Autre bénéfice de la tempête : la mise en place de la compétence de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations (Gemapi) qui fait converger politique d'urbanisme et prévention.

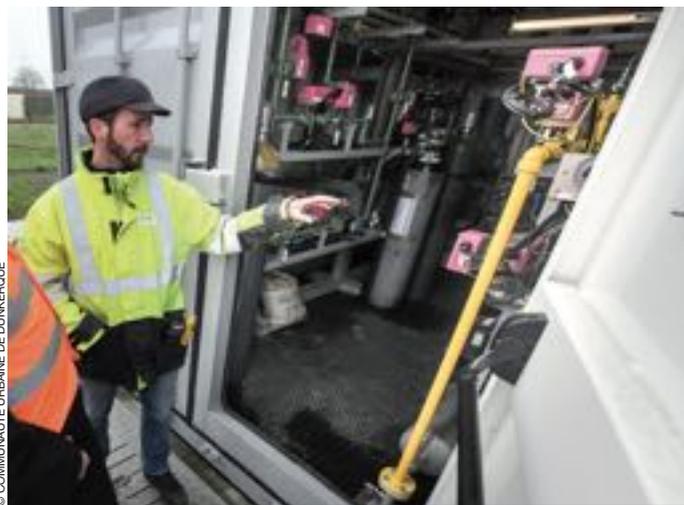
* Cf. Travaux n°930, janvier-février 2017, pp 14-17.



© MERCERON

Travaux par la société Merceron à La Gachère (Vendée), suite à la tempête Xynthia du 28 février 2010.

20% D'HYDROGÈNE DANS LE GAZ NATUREL



© COMMUNAUTÉ URBAINE DE DUNKERQUE

Équipement de production et d'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz naturel à Capelle-la-Grande (Nord).

La région des Hauts-de-France s'investit dans l'hydrogène depuis près de dix ans, dans le cadre de sa 3^e révolution industrielle.

Le projet "Gestion des réseaux par l'injection d'hydrogène pour décarboner les énergies" (Grhyd), implanté dans la Communauté urbaine de Dunkerque (Nord), est le premier retenu dans

l'appel à manifestation d'intérêt de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (AMI 2011). Il est évalué à 15,3 millions d'euros dont 4,5 millions réglés par les Investissements d'avenir.

L'hydrogène est produit à partir d'électricité verte (abonnement), puis il est injecté dans le réseau de gaz naturel qui sert

de moyen de stockage et de transport vers les usagers.

Au départ, en 2014, Grhyd comprend deux volets : transports et habitat. Le volet transport a été abandonné car la réglementation européenne n'autorise pas d'introduire 20 % d'hydrogène dans le carburant GNV des bus.

À mi-juin 2019, le démonstrateur "habitat" a réussi à injecter 20 % d'hydrogène dans le gaz naturel alimentant un nouveau quartier de Capelle-la-Grande, commune de la Cud. Une centaine de logements et un centre de soins sont raccordés.

→ Trois paliers

Les 20 % ont été atteints après trois paliers à 6 %, 10 % et 15 %. C'est le maximum injectable sans avoir à modifier les procédures d'exploitation du réseau et les appareils à gaz. Jusqu'à juin 2020, la pertinence technique et économique de cette filière sera étudiée, avant de la déployer.

La solution, baptisée Power to gaz, a été coordonnée par le centre de recherche Engie Lab Crigen et dix partenaires : la Cud, Areva H2Gen, le CEA, le Cetiat (centre technique), Ineo, GNvert, GRDF, Ineris, McPhy Energy et la STDE (exploitant de transport). ■

L'HYDROGÈNE LANCÉ À GRANDE ÉCHELLE

Le ministère de la Transition écologique et solidaire a lancé en janvier deux appels à manifestation d'intérêt (AMI) sur l'hydrogène décarboné de façon à préparer un nouveau programme de soutien à cette filière énergétique⁽¹⁾. Il s'agit « d'initier une dynamique territoriale ambitieuse et de permettre à l'écosystème français de se structurer davantage pour se positionner sur les marchés d'avenir de la production et de la distribution d'hydrogène tant pour l'industrie que pour la mobilité, en France et à l'export. »

Le gaz hydrogène décarboné est produit par électrolyse de l'eau dont l'électricité est d'origine renouvelable, au lieu qu'il le soit à partir d'un hydrocarbure⁽²⁾.

Le 1^{er} AMI, baptisé "Projets d'envergure sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène", vise à « identifier les projets structurants de la filière et à accélérer le développement à grande échelle de briques technologiques innovantes industrielles ou d'infrastructure. »



© ENGIE

Station de recharge d'hydrogène Engie/Compagnie nationale du Rhône au port Édouard-Herriot de Lyon.

Le programme et les financements associés dépendront des projets soumis dans ce cadre.

→ 2^d AMI de 22 millions d'euros

Le second AMI s'intitule "Aide à l'émergence de la mobilité hydrogène dans le secteur ferroviaire"⁽³⁾. Mis sur les rails le 20 janvier, il s'accompagne de 22 millions d'euros à destination des transports régionaux.

Enfin, la Direction générale des entreprises va identifier les entreprises de la filière qui auraient besoin de soutien financier ou réglementaire. ■

⁽¹⁾ Cf. communiqué du ministère de la Transition écologique, 20 janvier.

⁽²⁾ Cf. https://complements.lavoisier.net/9782743024772_J-hydrogene-decarbone_Sommaire.pdf.

⁽³⁾ AMI hydrogène ferroviaire : <https://appelsaprojets.ademe.fr/aap/EMHYSFER2020-21>.

1^{re} PHASE DES JO DE 2024 : DÉCONSTRUIRE POUR S'INSTALLER



© MANUEL LAGOS-CID/COLAS

Déconstruction d'un parking dans le nord de Paris pour faire place à une salle omnisports.

Le chantier des Jeux olympiques 2024 commence par des démolitions. En témoigne la déconstruction d'un parking à Paris 18^e, Porte de la Chapelle, débutée le 10 mars.

La Ville de Paris a confié l'opération à Premys (groupe Colas). Le parking aérien de 5 niveaux, construit en 1976, devra avoir disparu en juin.

Le désamiantage a duré dix mois, après curage du second œuvre dont un bowling, des vestiaires, etc. 19 000 m² de béton ont été mis à nu avant que les pelles croqueuses de béton et coupeuses de fers n'entrent en scène. Deux à trois machines devaient mettre à terre 24 000 tonnes en trois semaines auquel il fallait ajouter un mois et demi pour l'évacuation des matériaux vers une plateforme de Colas à moins de 6 km. 99 % du béton sera réutilisé.

En 2020, a lieu également l'injection des sols et la dépollution éventuelle pour accueillir l'Arena, salle omnisports et de spectacles, qui devra être prête en 2023. S'y tiendront des matchs de badminton ou de basket pendant les JO (été 2024). L'opération s'inscrit dans une Zac de

20 ha entre Paris 18^e et Saint-Denis, avec logements, locaux d'activités, équipements sportifs de proximité, pour 2030.

→ La Solideo aux manettes

Plus au nord, à Saint-Denis et à Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis), les villages olympiques et paralympiques ont été lancés, en novembre 2019. Ils sont de la responsabilité de la Société de livraison des ouvrages olympiques (Solideo). L'établissement public d'aménagement, créé le 28 février 2017, est chargé de financer, superviser et livrer tous les ouvrages et opérations d'aménagement sans oublier leur reconversion après les Jeux.

La Solideo était présidée par Anne Hidalgo, maire de Paris, à l'heure où nous rédigeons cet article. Le conseil d'administration compte 38 personnes : 19 représentants de l'État, 12 des collectivités territoriales, les présidents des 3 comités d'organisation, 2 membres désignés par le Premier ministre et 2 représentants des salariés.

→ Lignes électriques à enfouir

Le conseil départemental de Seine-Saint-

Denis construit une passerelle sur la Seine entre Saint-Denis et l'île Saint-Denis. Réseau de transport d'électricité enfouit des lignes à haute tension. L'État dresse un mur antibruit le long de l'autoroute A86.

Les voiries, places, espaces verts et berges de Seine seront aménagés entre 2021 et 2023, en même temps que seront bâtis logements, bureaux et équipements (écoles, gymnase, crèches, etc.).

Les travaux de réversibilité seront enclenchés dès le 1^{er} novembre 2024 pour se terminer en 2025.

→ Bâtiments en bois

Les villages olympiques se doivent d'être exemplaires vis-à-vis de l'environnement : déconstruction et réemploi des matériaux sur place ; recours au bois dans les bâtiments jusqu'à 28 m de haut ; emploi de béton à ciment faiblement émetteurs de carbone ; conception climatique, etc.

Les JO de 2024 créent 22 600 emplois en travaux publics et 46 000 en bâtiment, selon les chiffres des Contrats d'études prospectives 2019-2024. ■

ÉVITER D'IMPERMÉABILISER LES SOLS

Ne pas confondre artificialisation des sols et imperméabilisation. Un sol artificialisé peut rester perméable. C'est un des 10 points du manifeste de l'Ordre des géomètres experts qui veut accompagner les élus dans l'application de l'instruction "Zéro artificialisation nette", parue en juillet 2019.

L'Ordre recommande aussi de promouvoir auprès des habitants, des espaces de nature moins domptée, de façon à ne pas alourdir l'entretien des espaces verts. La non-artificialisation des sols et la lutte contre l'étalement urbain passent aussi par la remise en état ou la densification des zones d'activités.

En savoir plus :

www.geometre-expert.fr



© CEMEX

Les prairies demandent moins d'entretien que les parcs et jardins.

DE L'UNED À L'UNEV

Afin de mettre en avant l'économie circulaire, l'Union nationale des exploitants de déchets (Uned) devient l'Union nationale des entreprises de valorisation (Unev). Cette union est une branche de l'Union des industries des carrières et matériaux de construction (Unicem).

PONT FERRÉ CONFORTÉ

Le pont de Koblenz (Suisse) au-dessus de la rivière Aare a besoin d'être renforcé pour que les trains puissent y rouler à vitesse normale.

Construit en 1892, il porte une seule voie ferrée.

Autour de chaque pile du pont, sont implantés quatre pieux de 1,5 m de diamètre descendant à 12-20 m de profondeur. Les têtes de pieux sont reliées par une lierne ancrée sur la pile.

Le béton est coulé entre des palplanches et la pile. Le revêtement en granite est enlevé puis replacé une fois le renforcement terminé. Le béton est acheminé depuis la rive par un tuyau de 280 m.

Le forage des pieux a été réalisé par une machine Liebherr LB 36 montée sur une plate-forme en rivière.

Étant impossible sur l'eau de marquer des repères, un dispositif GPS spécifique a été utilisé. Il a fonctionné sous le pont et près d'une ligne électrique, sans perturbations, selon Liebherr qui l'a conçu.



© LIEBHERR

Chaque pile est renforcée par 4 pieux.

MÉCANISME DE CAPACITÉ ÉLECTRIQUE : PLUS DE STOCKAGE QUE D'EFFACEMENT



© VOLTALIS

Boîtier Voltalis, solution d'effacement de la consommation électrique.

Le ministère de la Transition écologique et solidaire a publié le 26 février les résultats des deux premiers appels d'offres du mécanisme de capacité électrique⁽¹⁾.

Le mécanisme de capacité électrique, mis en place en 2017, sert à éviter les pointes d'appel de production qui obligent à faire démarrer des centrales au charbon, au gaz ou autre énergie fossile. En 2013, le ministère de l'Écologie avait confié à Réseau de transport d'électricité

(RTE) le soin d'élaborer les règles de ce mécanisme⁽²⁾.

→ **Entreprises rémunérées pour 7 ans**

Les entreprises qui proposent des dispositifs pour baisser quelques instants la consommation d'un client ou pour stocker l'électricité en heure creuse dans une batterie, sont rémunérées pour le service rendu. Ainsi, Voltalis installe-t-elle gratuitement des boîtiers d'effacement dans des logements tout électriques.

Pour trouver des offreurs de capacité, le ministère avait lancé le 12 juin 2019, 4 appels d'offres pour des périodes de sept ans pendant lesquels il rémunère le service : 2020-2026, 2021-2027, 2022-2028 et 2023-2029.

Voltalis est la seule société à proposer de l'effacement de 2022 à 2028. On trouve aussi SGE en 2021-2027. Les autres sociétés retenues proposent du stockage de kilowattheures en batterie.

Pour la période 2022-2028, la capacité d'effacement, source d'économie d'électricité, se limite à 2 MW contre près de 160 MW en batteries. Pour 2021-2027, l'écart est moins grand avec 58 MW d'effacement et 93 MW en stockage en batterie.

→ **Un tiers d'effacement**

Au total, le ministère vise 124 MW de capacité d'effacement et 253 MW de stockage, « en cohérence avec la programmation pluriannuelle de l'énergie. » ■

⁽¹⁾ Détail des lauréats des deux appels d'offres sur le site du ministère de la Transition écologique, communiqué du 26 février.

⁽²⁾ Cf. Travaux n°894, janvier-février 2013, page 12.

DES PISTES POUR DÉVELOPPER L'AGRICULTURE DE SUBSISTANCE

L'Établissement public foncier et d'aménagement de la Guyane (EPFA) aide au développement agricole à travers sa mission de société d'aménagement foncier et d'établissement rural (Safer). Elle crée un parcellaire et les pistes d'accès, puis sélectionne les projets d'agriculteurs qui veulent s'y installer. Environ 7 000 hectares ont ainsi été mis à disposition (bails emphytéotiques) depuis 2015 pour assurer l'autosuffisance alimentaire tout en préservant la biodiversité, et 5 000 autres le seront prochainement dans différents secteurs.

Dans ce cadre, une piste de 2,5 km a été inaugurée en février pour desservir 300 ha et 21 agriculteurs, à Cacao, au nord-ouest de Cayenne. La région concentre la majorité des cultures vivrières de la région-département française. Des fouilles archéologiques ont eu lieu à cette occasion.

L'EPFA a réalisé les études topographiques avec Altoa, et pédologiques avec Socaz.

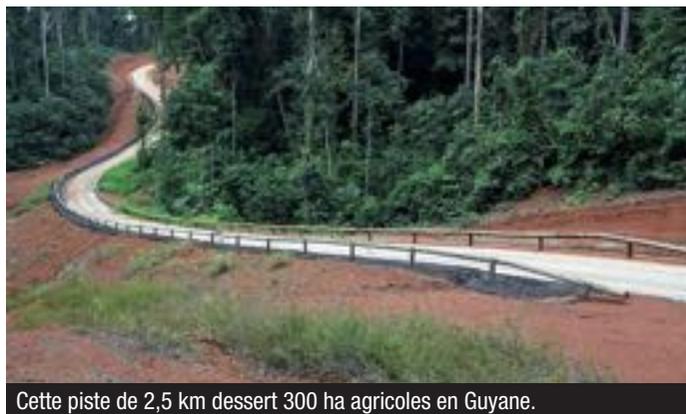
La maîtrise d'œuvre a été assurée par Artelia. Le chantier s'est déroulé en 2018-2019. Apta a été chargée des terrassements et de l'assainissement pluvial et Eiffage TP a réalisé le revêtement des zones à forte pente.

→ **1,33 millions d'euros**

L'EPFA Guyane a déboursé 1,327 million d'euros, soit 85 % du montant des tra-

vaux, dans le cadre d'une convention avec le Fonds européen agricole pour le développement rural. La Communauté territoriale de Guyane a payé les 15 % restant.

Parmi les autres projets, citons celui au sud de Cacao : une piste de 10 km mènera à une cinquantaine de parcelles, soit 1 300 ha. ■



© EPFA GUYANE

Cette piste de 2,5 km dessert 300 ha agricoles en Guyane.

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

ÉNERGIE

943

OUVRAGES D'ART

948

INTERNATIONAL

953

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

944

SPÉCIAL GARES ET STATIONS

949

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

954

INTERNATIONAL

945

SOLS ET FONDATIONS

950

OUVRAGES D'ART

955

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

946

ÉNERGIE

951

TRAVAUX SOUTERRAINS

956

TRAVAUX SOUTERRAINS

947

VILLE ET PATRIMOINE

952

SPÉCIAL INNOVATION

957

*Offre valable jusqu'au 31/12/20



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

JE COMMANDE LES NUMÉROS

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 943 x | <input type="checkbox"/> 948 x | <input type="checkbox"/> 953 x |
| <input type="checkbox"/> 944 x | <input type="checkbox"/> 949 x | <input type="checkbox"/> 954 x |
| <input type="checkbox"/> 945 x | <input type="checkbox"/> 950 x | <input type="checkbox"/> 955 x |
| <input type="checkbox"/> 946 x | <input type="checkbox"/> 951 x | <input type="checkbox"/> 956 x |
| <input type="checkbox"/> 947 x | <input type="checkbox"/> 952 x | <input type="checkbox"/> 957 x |

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

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

*Offre valable jusqu'au 31/12/20 et hors frais porteur (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 10,00€ d'envoi Europe et 12,50€ d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « Informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

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

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

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

CONSTRUCTION MÉTALLIQUE DYNAMIQUE

La construction métallique est dynamique depuis cinq ans, fait savoir le Syndicat de la construction métallique de France (SCMF). Son chiffre d'affaires a augmenté de plus de 3,5% en 2019 par rapport à 2018. Le premier semestre 2020 s'annonce prometteur avec un carnet de commandes représentant six mois de production.

« Les marchés de la rénovation et de la réhabilitation progressent significativement, précise Roger Briand, président. Les constructeurs métalliques français disposent d'une longue expérience dans ce domaine. »

À titre d'exemple, le magasin n°3 de la Samaritaine, situé au coin de la rue de Rivoli et de la rue du Pont neuf à Paris 1^{er}, est renforcé pour accueillir des commerces et des bureaux.

À cause de charges plus importantes, CCS International renforce la charpente de 1930, ainsi que des poteaux intérieurs et de façade.

Par endroits, les poutres sont remplacées. 300 tonnes de métal sont ajoutées au total.

De nouveaux noyaux en béton traversent les planchers métalliques pour que le magasin transformé soit conforme aux normes de sécurité.

Les travaux ont commencé en 2019 et devaient se terminer en avril 2020.



Le magasin 3 de la Samaritaine à Paris est renforcé par 300 tonnes de métal.

LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION PRENNENT D'AVANTAGE LE BATEAU



© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

Péniche de sable dans une écluse du canal Saint-Denis (Île-de-France).

En 2019, les matériaux de construction comptent pour 45% des volumes transportés par voie fluviale et 34% des tonnes-kilomètres (masse transportée par la distance parcourue).

Cette filière utilise davantage les péniches qu'en 2018 : hausse de 14% du tonnage à 25,2 millions de tonnes et de 11,6% en t.km à près de 2,5 milliards. Le bassin Seine-Oise transporte le plus

de matériaux, avec 15,6 millions de tonnes, en hausse de 14%, et un tonnage-kilomètre en hausse de 10%.

→ Bassin mosellan en forte hausse

Le bassin mosellan - une grande partie de l'ancienne région de Lorraine, la moitié des Ardennes et la Haute-Marne - enregistre la plus forte augmentation : +32% en volume à 1,4 million de tonnes et +50,5% en t.km.

Ces chiffres incluent les minéraux bruts. Par les ports rhénans - Lauterbourg, Beinheim, Fort-Louis Stattmatten, Strasbourg, Marckolsheim, Colmar-Neuf-Brisach, Ottmarsheim, Huningue et Mulhouse - passent 5 millions de tonnes (+27% et +24,4% en t.km).

Le réseau du Nord-Pas-de-Calais fait transiter 1,8 million de tonnes (+18% et +15,6% en t.km).

Le transport fluvial est stimulé par les grands travaux dont ceux en Île-de-France et la demande des maîtres d'ouvrage d'y recourir dans les appels d'offres. Ainsi, 500 000 tonnes de terres seront-elles évacuées sur la Seine en quarante-huit mois de travaux des villages olympiques⁽¹⁾.

→ 56,3 tonnes sur la voie d'eau

Au total, le transport de marchandises toutes filières confondues connaît « une très forte croissance en 2019 », selon Voies navigables de France. Il progresse de 9% en tonnage à 56,3 millions de tonnes transportées par voie d'eau, et de 10% en tonnes-kilomètres, à 7,4 milliards. ■

⁽¹⁾ Cf. actualité Travaux n°958, mars 2020.

TESTS DE TRANSPORT SUR PÉNICHE À TOULOUSE

Spie Batignolles Malet teste l'évacuation et l'apport de matériaux sur le canal du Midi qui relie la Méditerranée à l'Océan atlantique. Le groupe a plusieurs chantiers dans la région de Toulouse (Haute-Garonne).

Du 28 février au 11 mars, une péniche de 30 m, à vide ou chargée à 120 tonnes, a parcouru 56 km du Canal latéral entre Castelsarrasin (Tarn-et-Garonne) et le port de l'Embouchure, un des deux ports de Toulouse. Un second tronçon, de 11 km, a été emprunté sur le canal du Midi entre ce port et la zone technique de Ramonville.

→ Bande transporteuse

Les tests servent à révéler les difficultés, que ce soit les écluses, les tranches horaires, les cycles de rotation, les dragages nécessaires, etc.

Le groupe prévoit par ailleurs l'utilisation d'une bande transporteuse entre un chantier et le chargement de la barge.

La péniche de 30 m, adaptée au canal du Midi, transporte l'équivalent de 5 à 6 camions.

→ Soutien financier de VNF

Ces tests sont soutenus financièrement par Voies navigables de France dans le

cadre du Plan d'aide au report modal (12,5 millions, 2018-2022). Spie Batignolles Malet collabore aussi avec Agir pour le fluvial, collectif créé par la Chambre nationale de la batellerie artisanale. ■



© SPIE BATIGNOLLES MALET

Une péniche de 30 m expérimente le transport de matériaux de travaux publics sur le canal du Midi, ici à Toulouse.

FAIRE AVEC LA MONTÉE DES EAUX, VIVRE EN MER OU SUR LA LUNE



La Coast Breakwater Community, village de pêcheurs dont les structures en bois brisent l'énergie des vagues.

La fondation "Jacques Rougerie Génération Espace Mer" a décerné 9 prix d'architecture pour des projets répondant à la montée du niveau des océans, en faveur de la mer ou encore dans l'Espace.

Cette compétition est ouverte aux architectes, designers et ingénieurs du monde entier. Trente-six propositions ont été présentées au jury sur 127 retenues dans un 1^{er} temps. Les noms des lauréats ont été publiés le 22 janvier.

Les équipes étaient invitées à adopter une démarche de mimétisme vis-à-vis de l'environnement et à faire appel à d'autres disciplines comme la physique-chimie, la sociologie, la géographie, etc. Étaient également bienvenus les matériaux innovants, les techniques avancées, la sobriété en ressources naturelles et l'économie circulaire.

Alejandro Moreno (Mexique) et Charles Chiang (Taiwan) ont imaginé des bâtiments brise-lames en bois sur pieux à Saint-Louis (côte sénégalaise). La Coast Breakwater Community limite l'érosion par la mer et fournit des lieux de travail

et un habitat aux pêcheurs dont les maisons sont emportées par la mer. Le jury leur a attribué le grand prix "montée du niveau des océans".

→ Poches de sédiments

Dans la même catégorie, Coralie Brival (France) et Martin Garcia Perez (Espagne) ont reçu le prix Focus. Ils proposent de contenir les sédiments résultant de la déforestation à Madagascar, dans des poches souples. Ainsi, forment-ils des îles déposées au large, protectrices de la côte. Lieu d'implantation : estuaire de Betsiboka.

Le jury a accordé son coup de cœur à la reconversion du Delta du Mékong (Vietnam) devenu trop salé pour abriter des rizières, en lieux d'aquaculture et de dessalement, idée de Nabila Pranoto (Indonésie).

→ Observatoire immergé

La fondation Rougerie a décerné un prix Chine d'architecture du littoral et de la mer au Sea Line Park de George Zhuo, Daniel Dong, Simon Zhao, Yu Chen, Jing Peng. Ce village mobile autonome est « adapté à toutes les villes côtières à

travers le monde (...). Il ne s'agit pas seulement d'une question de survie pour les êtres humains mais aussi d'étendre la vie sur Terre et sous la mer, » écrivent ses concepteurs.

Dans la catégorie "pour la mer", le grand prix est attribué à l'observatoire océanographique immergé à proximité de l'île volcanique d'Ischia, près de Naples (Italie) de Paul Laminie et Isaac Barbet (France). Ils s'intéressent à l'acidification des eaux marines. La peau en calcaire du bâtiment en acier s'altère au fil du temps et atténue l'acidité. Une fois nu, le bâti se décompose.

→ Vivre sous l'eau

Le prix Focus "village sous la mer" a été décerné au projet de Katarzyna Przybyla (Pologne).

Le coup de cœur "pour la mer" va à la transformation du pétrole d'une marée noire en des formes viables à la surface de l'eau (Chrysanthi Vasileli et Chrysi Vrantzi, Grèce).

Les propositions pour l'Espace consistent à trouver de l'eau sur la Lune pour y vivre, et des ressources autres sur place. ■

SUITE DE LOGICIELS BIM

Trimble a apporté des modifications à sa suite de logiciels Bim Tekla dédiée à l'ingénierie structurelle et à la gestion de la fabrication de structures en acier.

Dans Tekla Structures 2000, ont été améliorées la géométrie, les fonctionnalités de modélisation des armatures, la modélisation des coffrages, l'exécution d'éléments alvéolaires et les plans.

Par ailleurs, la plateforme de collaboration Trimble Connect est désormais accessible à partir de téléphones mobiles et d'ordinateurs, portables ou non. Ce qui inclut le chantier.

Les autres logiciels Tekla comme Structural Designer, Teds, Tekla, Structural Design Suite et Powerfab ont été également revus.



© TRIMBLE

Tekla Structures peut être partagé sur téléphones mobiles et ordinateurs.

VINCI, MÉCÈNE DE PARIS TECH

Vinci a signé un partenariat de mécénat avec Paris Tech, réseau d'écoles d'ingénieurs auquel appartient l'École des ponts, l'École des mines, etc., fin janvier. Le groupe apporte 5 millions d'euros à la fondation Paris Tech jusqu'en 2023. Les deux partenaires créent le Lab recherche environnement.

Les programmes de recherche auront trait aux impacts environnementaux de bâtiments et de quartiers, à l'intégration de l'environnement dans la digitalisation des métiers (BIM), au confort et à la santé des usagers (îlots de chaleur urbains).

La fondation Paris Tech a été créée en 2010.

1^{er} TRAIN À HYDROGÈNE AUX PAYS-BAS

Engie se lance dans l'hydrogène pour les trains avec Alstom. Il espère en fournir en grande quantité en 2024 à son partenaire Gazunie, société d'infrastructure de transport et de stockage de gaz aux Pays-Bas.

1^{re} étape : des essais sur un vrai train de passagers (vide). Il a parcouru 55 km, avec des pointes à 140 km/h, entre Leeuwarden et Groningue dans le nord des Pays-Bas, du 27 février au 11 mars. Il a été ravitaillé six fois en hydrogène par une station mobile. Une pile à combustible a produit l'électricité de traction.

Par ailleurs, Engie a pris une participation minoritaire dans H2site, entité créée par Technalia, centre de recherche et de technologie espagnole et par l'Université de technologie d'Eindhoven (Pays-Bas). Objectif : commercialiser, dans l'industrie, un réacteur à membrane qui produit de l'hydrogène de haute pureté à partir de méthane, en particulier du biométhane ou de l'ammoniac, ou d'autres énergies non fossiles.



Le train a été testé pendant deux semaines.

PARKINGS CHERCHENT ACTIVITÉS



La lumière naturelle pénètre dans le pôle d'échanges multimodal, à travers un toit de verre au milieu de la chaussée, à Séoul (Corée du Sud).

© DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTURE

Certains parkings parisiens ne sont remplis qu'à 50-60 %, selon Indigo, opérateur de parcs de stationnement (ex-Vinci Park). Ces espaces souterrains peuvent donc servir à autre chose. Le groupe s'est allié à Dominique Perrault, l'architecte de la Bibliothèque nationale de France, semi-enterrée, pour imaginer le parking de demain.

Dans le futur, le stationnement persiste mais il est relégué aux étages les plus bas d'un parc. Le niveau -1, juste sous le trottoir ou la chaussée, peut accueillir des livraisons, des aires de dépose minute, de la logistique (coffres à colis, etc.). Il fait ainsi disparaître de la surface ces activités qui l'encombrent. La rue d'où la circulation n'a pas disparu, offre davantage d'espace aux piétons et, éventuellement, aux vélos.

Au niveau le plus profond, sont installés des centres de stockage de données (data centers). Ils dégagent des calories qui sont récupérées pour le chauffage et l'eau chaude des bâtiments. Des caves de stockage sont logées en sous-sol. Le parking reste utile aux automobilistes avec des ateliers de maintenance et des stations de recharge électrique. Ils peuvent y emprunter des vélos en libre-service, etc. Indigo est actionnaire de Vélib Métropole.

L'accueil d'autres activités que le stationnement sera d'autant plus facile que le parking communiquera en souterrain sur ses côtés. Ainsi, les usagers pourront-ils rejoindre une gare ou le sous-sol de bâtiments ou lieux de loisirs voisins.

→ PLU dédiés au souterrain

« La lumière est l'enjeu de la transformation du parking », souligne Dominique Perrault. Qu'elle soit naturelle ou artificielle, elle est incontournable pour que des humains se sentent à l'aise en sous-sol⁽¹⁾. À Séoul (Corée du Sud), l'architecte français envisage « une ligne de verre » en milieu de chaussée. Elle éclairera, en 2024, une galerie multimodale fréquen-

tée par 600 000 personnes par jour. La transformation d'un parking suppose que les différents maîtres d'ouvrage de l'espace souterrain se mettent d'accord. La réglementation diffère selon les profondeurs et les pays. « Il faudra des opérateurs du sous-sol et des plans locaux d'urbanisme dédiés au souterrain, explique Dominique Perrault. Il sera aussi nécessaire de dresser une cartographie du sous-sol. Une reconnaissance de la performance des parkings serait souhaitable. » ■

⁽¹⁾ Voir aussi les travaux de l'Association française des tunnels et de l'espace souterrain, Travaux n°939, janvier-février 2018, page 7.

INDIGO, HÉRITIÈRE DES PARKINGS VINCI

Le groupe Indigo est l'héritier des parcs de stationnement Vinci.

Vinci Park, créé en 2001 par la fusion de Sogeparc et de Parcs GTM, devient Indigo en novembre 2015 après l'ouverture de son capital à Ardian et Crédit agricole assurances (CAA). En 2016, Vinci cède 25% des actions qu'il avait conservées.

Aujourd'hui, Indigo est détenu à 49,2% par Ardian et à 49,2% par CAA, le reste étant aux mains du management.

Le groupe, français, exploite 5 440 parkings dans le monde et gère 3 000 km de stationnement en voirie de surface. Il emploie 23 000 personnes dont 2 000 en France.

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu.

• 7 ET 8 JUILLET

Bim World

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

• 23 ET 24 JUILLET

Assises de l'économie circulaire

Lieu : Paris
www.ademe.fr

• 2 AU 4 SEPTEMBRE

Technologies de résilience pour infrastructures durables

Lieu : Christchurch (Nouvelle-Zélande)
www.iabse.org

• 6 AU 9 SEPTEMBRE

Eurogeo 7, conférence européenne géosynthétiques

Lieu : Varsovie (Pologne)
https://eurogeo7.org

• 21 AU 23 SEPTEMBRE

Le souterrain, espace d'innovations

Lieu : Paris
www.aftes2020.fr

• 29 ET 30 SEPTEMBRE

10^e assises Port du futur

Lieu : Paris (FNTP)
www.portdufutur.fr

• 29 ET 30 SEPTEMBRE

Congrès Idrrim

Lieu : Rennes
www.idrrim.com

• 6 AU 9 OCTOBRE

Congrès de la Sim

Lieu : Angers (Maine-et-Loire)
www.lasim.org

• 9 ET 10 NOVEMBRE

Analyse du risque en infrastructures

Lieu : Séoul (Corée du Sud)
www.iabse.org

• 1^{er} AU 4 DÉCEMBRE

Pollutec

Lieu : Lyon
www.pollutec.com

• 8 AU 10 DÉCEMBRE

Transport sédimentaire : rivières et barrages réservoirs

Lieu : EDF Lab à Saclay (Essonne) et à Chatou (Yvelines)
www.barrages-cfbr.eu/Colloque-2020-Transport-sedimentaire.html

• 16 ET 17 MARS 2021

Biennale des territoires

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

• 14 AU 16 AVRIL 2021

Changing skyline and underground structures

Lieu : New Delhi (Inde)
www.iabse.org

• 19 AU 24 AVRIL 2021

Intermat

Lieu : Paris Nord-Villepinte (Seine-Saint-Denis)
https://paris.intermatconstruction.com

NOMINATIONS

CITALLIOS :

Vincent Franchi a été désigné président de Citallios, société d'économie mixte d'équipements de cadre de vie urbain à la suite de Pierre Bedier.

EGIS :

Claude Le Quéré, membre du comité de rédaction de la revue *Travaux*, a été nommée directrice du pôle ouvrages d'art d'Egis, en mars. Elle remplace Olivier Bonifazi qui prend sa retraite. Entrée chez Egis en 2010, elle était responsable expertises et grands ouvrages depuis 2018.

Par ailleurs, Matthieu Loussier dirige dorénavant la Business Unit et Frédéric Mor est directeur général d'Egis Airport Operation, depuis fin 2019.

ÉNERGIES

RENOUVELABLES :

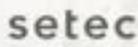
Jérémy Simon est délégué général adjoint du Syndicat des énergies renouvelables en remplacement de Marion Lettry.

SNPB :

Damien Cousin succède à Dario Agosto à la présidence du Syndicat national du pompage du béton.



terrasol



setec
L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée
www.terrasol.com



INGÉNIERIE
FORMATIONS
LOGICIELS

»» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise
Développement, Assistance technique ««

Terrasol est un leader reconnu dans le domaine de l'ingénierie géotechnique, en France comme à l'étranger.

Parmi nos références récentes en France : Grand Paris Express, Eole, Port de Brest, Barrages Aisne et Meuse, Liaison ferroviaire Lyon-Turin, Kourou Ariane 6, Projet Lyon Part-Dieu, Projet Cigéo...

Et à l'étranger : Réservoirs Al-Zour, Projet hydroélectrique Banda Azúl, EPR Hinkley Point, Usine de valorisation des déchets de Sharjah, Ligne à Grand Vitesse HS2, Tour BMCE, Pénétrante de Tizi Ouzou, TER de Dakar...

	<p>Paris</p> <p>Tél : +33 (0)1 82 51 52 00 Fax : +33 (0)1 82 51 52 99 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Lyon</p> <p>Tél : +33 (0)4 27 85 49 35 Fax : +33 (0)4 27 85 49 36 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Maroc</p> <p>Tél : +212 (0)51 25 53 89 Fax : +212 (0)51 03 64 00 Email : tarik.elmalki@setec.com</p>
			<p>Tunisie</p> <p>Tél : +276 71 23 63 14 Fax : +256 71 75 32 88 Email : info@terrasol.com.tn</p>

SMULDERS

EOLIEN OFFSHORE : INTÉGRATION TOTALE DE LA CONCEPTION À LA CONSTRUCTION

Smulders est une entreprise belge ayant plus de 50 années d'expérience dans l'ingénierie, la production, la fourniture et le montage de constructions en acier. Smulders emploie plus de 1 000 collaborateurs répartis sur des sites en Belgique, en Pologne et en Angleterre. Elle réalise un chiffre d'affaires de plus de 400 M€ avec des projets uniques et exigeants sur trois marchés : Civil & Industry, Offshore Oil & Gas et Offshore Wind. **Entretien avec Jef Verdickt, directeur commercial de Smulders.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON

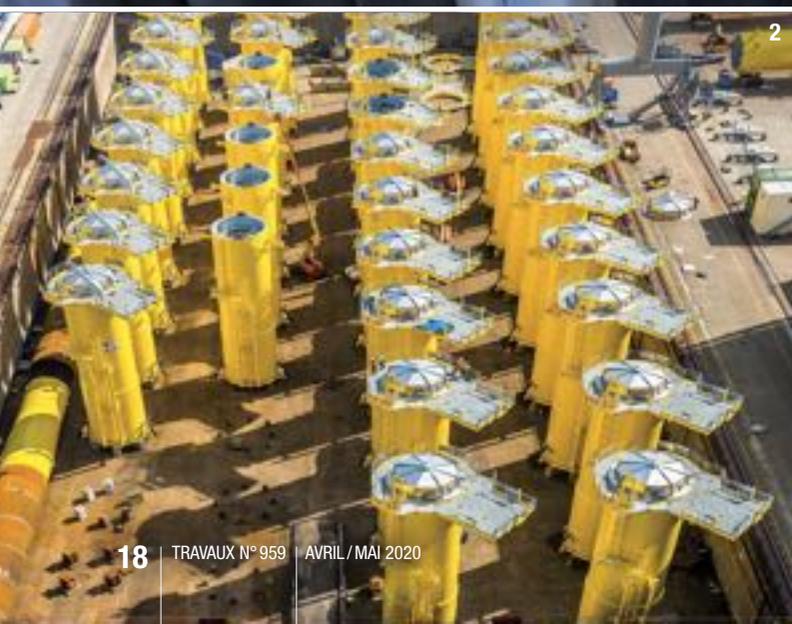


JEF VERDICKT, DIRECTEUR COMMERCIAL DE SMULDERS, NOUS RETRACE LES GRANDES ÉTAPES DE CE QUI EST DEvenu AUJOURD'HUI UN GROUPE, EN METTANT EN LUMIÈRE SES SPÉCIFICITÉS, SES ÉVOLUTIONS POUR LES ANNÉES À VENIR ET QUELQUES-UNS DE SES PROJETS EMBLÉMATIQUES EN COURS OU À VENIR.

Quelles sont les grandes caractéristiques du groupe Smulders aujourd'hui ?

Le groupe Smulders est le résultat de l'acquisition et de la fusion des entreprises Iemants à Arendonk, Smulders Project à Hoboken, Willems à Balen et

Spomasz à Zary. Il est spécialisé dans la conception, l'ingénierie et la construction des fondations jacket, des pièces de transition et des sous-stations de raccordement au réseau électrique des parcs éoliens offshore. L'entreprise dispose de nombreuses références en



mer du Nord à l'instar des parcs éoliens Merkur ou Deutsche Bucht au large de l'Allemagne, Aberdeen Bay et Beatrice au large de l'Écosse, Norther et Sea-Made au large de la Belgique et Gemini au large des Pays-Bas.

Aujourd'hui, Smulders est un leader sur ce marché et a déjà produit plus de 1 900 pièces de transition, 100 jackets et 30 sous-stations. Nos projets se situent le long des côtes de toute l'Europe occidentale.

Comment Smulders est-il organisé au niveau des unités de production ?

Le groupe exploite actuellement cinq unités de production à Arendonk, Hoboken et Balen en Belgique, Zary en Pologne et Newcastle upon Tyne en Angleterre. Le siège du groupe, aussi l'entreprise lemants, est situé à Arendonk, au nord de la Belgique, à proximité de l'autoroute E34 Eindhoven-Anvers, un emplacement idéal pour le transport routier de composants gros et lourds avec des dimensions exceptionnelles jusqu'à 7,5 x 40 m et 130 tonnes. Son histoire est riche puisqu'elle remonte à 1883. Ce qui était autrefois une petite entreprise de transformation de l'acier, fabricant à l'origine des charrettes agricoles, est devenu une entreprise de construction en acier, avec une expérience désormais éprouvée dans l'ingénierie, la production, la livraison et l'assemblage de complexes principalement lourds et techniques sur les marchés de Civil & Industry, Offshore Oil & Gas et Offshore Wind.

À Arendonk sont regroupés le siège social, la direction, les services administratifs et commerciaux, un bureau d'études et l'une des unités de production du groupe, soit un ensemble de 385 collaborateurs.

JEF VERDICKT : PARCOURS

Jef Verdickt est ingénieur civil "construction navale" de l'Université de Gand (1984) après avoir soutenu une thèse sur l'évaluation des épreuves de rupture sur plaques en acier de grandes dimensions avec défaut mécanique.

Il est également titulaire d'un MBA "Industrial Engineering" sur les techniques de décision pour sélectionner le type de structure des navires chasseurs de mines en polyester armé de verre.

Il a passé ses premières années d'ingénieur dans la construction navale jusqu'en 1995 ou il a rejoint Fabricom (filiale d'ENGIE) où il était entre autres en charge du développement du marché des sous-stations de l'éolien offshore.

Jef Verdickt est directeur commercial de Smulders depuis 2017.

L'une des caractéristiques du site d'Arendonk est qu'il dispose d'un bureau d'études intégré dont la particularité est de concevoir des projets directement réalisables dans les diverses unités de production du groupe.

1- Jef Verdickt, directeur commercial de Smulders.

2- Sur le site de Hoboken, Smulders produit notamment des "pièces de transition" (les fondations des éoliennes).

3- À Hoboken, Smulders produit aussi les fondations "jacket" qui peuvent peser jusqu'à 1 000 tonnes.

4- Les cabines de sablage du site de Hoboken.

5- Le hall de peinture de Hoboken.

Le site de l'usine couvre environ 8 hectares et dispose d'un hall de production de 50 000 m². Sa logistique interne est conçue de manière à ce que la fabrication et le transport de pièces très volumineuses et très lourdes ne pose pas de problème avec, notamment, des portiques ayant une capacité de levage allant jusqu'à 105 tonnes.

Arendonk est équipé d'une cabine de sablage/grenailage de 40 mètres de long, 10 mètres de large et 8 mètres de hauteur ainsi que de plusieurs grenailleuses automatisées et d'un hall de peinture de 7 200 m². lemants a une capacité de production de 20 000 tonnes par an.

Pour poursuivre avec les unités de production, quelques caractéristiques sur Hoboken, deuxième site historique du groupe ?

À Hoboken, en bordure de l'Escaut, Smulders Project dispose d'un site de 130 000 m², un ancien chantier naval transformé depuis 2001 pour produire notamment deux types d'équipement :

d'une part, les fondations en acier des éoliennes offshore, plus spécialement la pièce de transition entre les monopieux et le socle de l'éolienne et, d'autre part, les fondations jacket. Il s'agit là, dans le premier cas, de pièces de 300 à 500 tonnes et, dans le second, d'éléments pouvant peser jusqu'à 1 000 tonnes.

L'une des particularités du site d'Hoboken est d'assurer la production en série de telles pièces en dépit de leurs dimensions et de leur poids : 50 à 100 unités, voire plus, pour les parcs éoliens.

Smulders Projects a deux halls de production avec une superficie totale de 30 000 m².

Le site est équipé d'un portique de levage d'une capacité jusqu'à 560 tonnes (matériel de levage exclu) couvrant une surface de 60 000 m². Le premier hall de production de 12 000 m² comporte une cabine de sablage et un hall de peinture.

La cabine de sablage a 15 mètres de haut, 15 mètres de large et 44 mètres long. Quatre sableurs y travaillent manuellement, mais il y a aussi un robot qui peut les remplacer pour les dimensions les plus courantes.

Le deuxième hall de production a une superficie de presque 15 000 m² et une capacité de levage de 500 tonnes. Il dispose d'une cabine de sablage et d'un hall de peinture de 56 mètres de long, 25,5 mètres de large et 22,5 mètres de hauteur qui sont utilisés pour les pièces les plus grandes. Entre 4 et 6 sableurs peuvent travailler en même temps.

En 2001, l'équipe de Smulders Projects d'Hoboken fit figure de pionnière avec la production de pièces de transition pour le premier parc éolien offshore au monde de Horns Rev. ▶

© SMULDERS

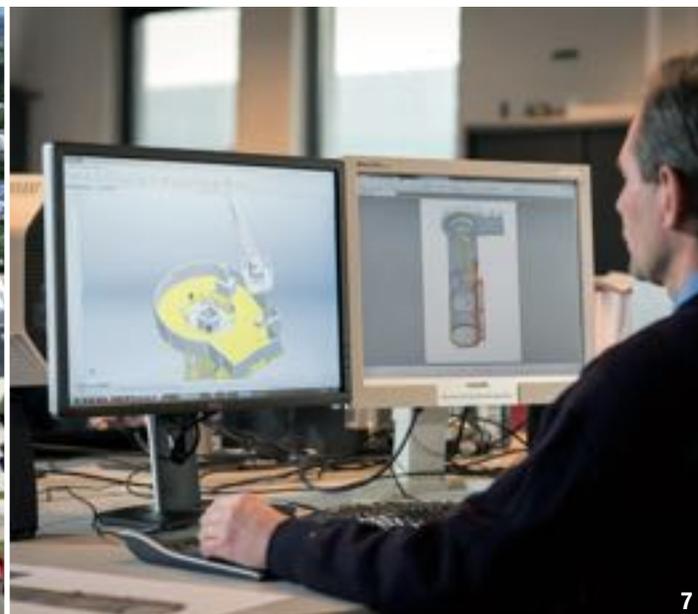


© SMULDERS





© SMULDERS 6



© SMULDERS 7

Au fil des ans, elle est devenue le leader du marché avec un historique de plus de 1 900 pièces de transition et 100 jackets. Aujourd'hui, Smulders Projects emploie près de 300 personnes.

En ce qui concerne Balen ?

Willems, notre site à Balen, également en Belgique, a plus de 60 années d'expérience dans l'ingénierie, la production, la livraison et l'assemblage de constructions en acier. Son emplacement, à côté du canal Dessel-Kwaadmechelen, est idéal pour le transport de charges extrêmes - 22 m x 77 m -, par exemple pour les ponts et les sous-stations. Via le canal Albert, Balen dispose d'un accès direct au port d'Anvers et au-delà, à l'ensemble des pays avec lesquels travaille le groupe Smulders. Le site industriel s'étend sur plus de 34,5 acres et abrite une zone de production de 30 000 m² équipée des

machines les plus récentes, y compris de cabines de sablage et de pulvérisation. Grâce à la superficie disponible et à une capacité de lavage allant jusqu'à 150 tonnes, la manipulation de composants volumineux et lourds n'est jamais un problème. Willems a une capacité de production annuelle de 15 000 tonnes et emploie 140 collaborateurs.

Quant aux unités en Pologne et en Angleterre ?

Spomasz à Zary, en Pologne, se concentre principalement sur la fabrication de gros éléments de structures secondaires à destination de Hoboken. Ces structures sont conçues pour l'exploration, le traitement et le transport d'installations adaptées à l'exploitation en mer dans des conditions extrêmes. Le site de Zary emploie 300 personnes. Il dispose de filiales de production à Opole et à Leknica. Les transports de

6- L'unité de production d'lemants et le siège de Smulders à Arendonk.

7- Lemants se distingue par son vaste département d'ingénierie interne.

8- L'emplacement de Willems à côté du canal, est idéal pour le transport de charges extrêmes.

9- Spomasz, en Pologne, se concentre principalement sur la fabrication de gros éléments de structures secondaires.

pièces de ces trois unités sont effectués par la route jusqu'en Belgique.

Newcastle upon Tyne, au nord-ouest de l'Angleterre, abrite l'usine de Smulders Project UK. Ouvert en 2016, le site est principalement destiné à la construction et l'assemblage des fondations jacket pour des éoliennes offshore. L'usine a un emplacement idéal à côté de la Tyne avec un accès direct à la mer.

Les installations de Newcastle couvrent 32 ha et ont une surface de production couverte de 16 500 m² ainsi qu'une surface ouverte de fabrication et d'assemblage de 104 000 m². Le chantier est équipé d'un ensemble de deux portiques de 600 tonnes et d'une grue à tour d'une capacité de 3 200 tonnes avec laquelle les fondations jacket sont chargées sur pontons. Alternativement, les fondations peuvent aussi être chargées en utilisant des remorques modulaires autopropulsées.



© SMULDERS 8



© SMULDERS 9

DES RÉFÉRENCES " OFFSHORE WIND "

Les références de Smulders en offshore wind sont évidemment multiples. Les quelques-unes retenues ci-après sont parmi les plus récentes.

Moray East, Mer du Nord, Écosse (2020) : Smulders, en groupement avec DEME Offshore, est en train de réaliser 55 fondations jackets pour le parc éolien Moray East. Les jackets de 85 mètres de hauteur et 1 000 tonnes chacune, seront construites dans les usines de Smulders et d'Eiffage Métal en Angleterre, en France, en Belgique et en Pologne. L'ensemble sera ensuite assemblé en Angleterre avant d'être acheminé et installé en mer par DEME Offshore.

Smulders travaille aussi à la construction de 3 sous-stations pour le parc éolien de Moray East, pour le compte de Siemens.

Triton Knoll, Mer du Nord, Écosse (2020) : Smulders est responsable de l'ingénierie, de la conception et de la construction des 90 pièces de transition et des 2 pièces de transition pour les sous-stations. Smulders, en groupement avec ENGIE Fabricom, est responsable de la conception, de la fabrication, du sablage et de la protection anticorrosion de ces 2 sous-stations.

SeaMade, Mer du Nord, Belgique (2020) : Pour le parc éolien SeaMade, Smulders est responsable de la construction des 58 pièces de transition et de la construction des 2 sous-stations et leurs fondations. SeaMade recouvre deux projets éoliens marins combinés : Mermaid et Seastar, deux parcs éoliens offshore dans les eaux belges de la mer du Nord. Le parc Mermaid, d'une capacité de 235 MW, est situé à environ 50 km au large de la côte belge. Le parc Seastar, qui se trouve plus

près des terres, à environ 40 km de la côte, a une capacité de 252 MW. **Deutsche Bucht, Mer du Nord, Allemagne (2019)** : La joint-venture Smulders-Eiffage était responsable de l'ingénierie, achat, construction et installation (EPCI) de la sous-station (2 720 tonnes) et du jacket (1 760 tonnes) pour le parc éolien offshore de Deutsche Bucht. Smulders s'occupait de la construction métallique, de la construction sur site, de l'assemblage et du load-out de la sous-station ainsi que la construction métallique et le load-out du jacket.

Norther, Mer du Nord, Belgique (2018) : Pour le parc éolien Norther, Smulders a produit les 44 pièces de transition et la sous-station. Le parc éolien est situé dans la mer du Nord belge, près des parcs Thornton Bank et Rentel et aura une capacité maximum de 370 MW. Ce parc est le plus important au large des côtes belges et fournira de l'énergie à près de 400 000 foyers. Il est installé à 23 km du rivage de Zeebrugge.

Beatrice, Outer Moray Firth, Écosse (2018) : Smulders était responsable de l'ingénierie, acquisition, construction et installation de 28 fondations jackets pour le parc éolien Beatrice. De plus, Smulders a construit 18 sections inférieures pour Bifab. Le parc éolien Beatrice contient 84 éoliennes Siemens d'une capacité totale de 588 MW. Il est construit dans l'Outer Moray Firth, sur la côte nord de l'Écosse.

Hohe See, Mer du Nord, Allemagne (2017) : Smulders était responsable de la production de 71 pièces de transition et de la conception, livraison et installation de la sous-station pour le parc éolien de l'EnBW Hohe See.

L'usine de Newcastle est conçue pour gérer des structures qui, en raison de leur taille et de leur poids, dépassent les capacités des installations de Hoboken. Elle assure la production 1,5 jacket de 1 000 tonnes par semaine. Au cours de ces dernières années, Smulders Projects UK a déjà construit 28 fondations jacket pour le parc éolien offshore Beatrice.

Le site de Newcastle travaille actuellement pour le projet de Moray East, qui comprendra 55 fondations jacket.

Pour le projet Moray East, ce sont d'ailleurs toutes les entités du groupe qui sont mises à contribution tant pour la fabrication des différentes pièces que

10- Smulders Projects UK à Newcastle upon Tyne est principalement destiné à la construction et à l'assemblage des fondations "jacket".

11- La sous-station de Deutsche Bucht est le premier projet pour lequel Smulders a coopéré avec Eiffage pour la partie électrique et non avec un partenaire extérieur.

pour leur transport d'une usine à l'autre pour assemblage final.

Pour respecter le planning et la fiabilité de production de cet énorme assemblage, Smulders s'appuie sur un système d'Entreprise Resource Planning (ERP) spécialement développé à cet effet qui est intégré à chacune des unités de production du groupe. Ce planning prévoit toutes les phases de réalisation du programme. Il permet de répondre aux exigences de qualité extrêmes requises pour la réalisation des constructions offshore. C'est ce que nous appelons la "Delivery Reability" qui exige de terminer dans les délais et avec la qualité requise.

Parmi les projets en cours, certains mettent-ils en évidence ce qui peut différencier Smulders sur le très concurrentiel marché offshore ?

Celui du parc éolien offshore de Saint-Nazaire est significatif de l'évolution qui s'est dessinée au sein du groupe Smulders.

Alors que nous étions spécialisés jusque-là dans la construction des éléments constitutifs d'une éolienne en mer, à l'exception du mât proprement dit de la machine, Smulders s'est orienté dans la conception et la construction des pièces qu'il fournit désormais à ses clients. ▶

© SMULDERS

10



© SMULDERS

11



À cet effet, Smulders a fait l'acquisition, courant 2019, d'un bureau d'études basé à Londres - Sea and Land Project Engineering (SLP) - spécialisé dans la conception des fondations des éoliennes offshore. Ce rachat permet à Smulders de présenter désormais une offre complète allant des fondations aux jackets supports des éoliennes. Cette acquisition a permis au groupe de réaliser en totalité le projet de Saint-Nazaire en fournissant une prestation "EPCI" (Engineering, Procurement, Construction and Installation). Il s'agit d'une forme classique dans la construction offshore. Dans le cadre d'un contrat EPCI, le contractant conçoit la ou les structures, se procure les matériaux nécessaires, entreprend la construction et le transport et les installe sur le site offshore. Smulders n'a pas la capacité de réaliser les monopieux de fondations ni l'installation en mer des différentes structures, alors nous nous associons à d'autres entreprises pour les opérations marines et pour les fondations.

Que pouvez-vous me dire concernant le projet de Saint-Nazaire ?

Le parc éolien offshore de Saint-Nazaire, le premier en France, se compose de 80 éoliennes d'une capacité unitaire de 6 MW. Les éoliennes seront localisées entre 12 et 20 km au large des côtes de la presqu'île de Guérande, en Loire-Atlantique, sur une surface globale de 78 km², à des profondeurs variant entre 12 et 25 m. La production envisagée équivaut à couvrir 20 % de la consommation en électricité de la Loire-Atlantique.

Les activités de conception sont en cours. La construction devrait commencer au cours du premier semestre de cette année.

12- Le site à Hoboken a aussi produit des éléments pour un pont à Rotterdam.

13- Pour le parc éolien Moray East, Smulders travaille actuellement à la construction de trois sous-stations.

14- En 2019, Smulders a construit un pont cyclable unique entre les arbres : "Pédalez dans les arbres".

15- La gare de départ de la ligne Erasmus à La Haye forme un nouveau terminus dans la gare centrale de La Haye.

16- Smulders était responsable de la production et de l'assemblage de la construction en acier pour les façades et les escaliers de la "Fondation Louis Vuitton" à Paris.

17- Smulders a livré et monté la construction en acier pour la Tour D2, un nouvel immeuble de bureaux de grande hauteur à La Défense.

18- Smulders est responsable de l'ingénierie, de la conception et de la construction des 90 pièces de transition pour le parc éolien Triton Knoll, qui sera construit en Mer du Nord au large de l'Écosse.

19- Pour le parc éolien Deutsche Bucht, Smulders a construit la sous-station et sa fondation "jacket".

RÉFÉRENCES " CIVIL & INDUSTRY "

Ainsi que le fait remarquer Jef Verdickt, l'activité de Smulders ne se limite pas à l'éolien offshore. Les quelques références ci-après donnent une idée de sa capacité de diversification, en restant toujours dans la construction "acier".

Pédalez dans les arbres, Hechtel-Eksel, Belgique (2019) : À proximité du point-noeud 272 au cœur du Bosland à Hechtel-Eksel, vous pouvez pédaler dans les arbres depuis le 14 juin 2019. Pour Visit Limburg, Smulders a construit un pont cyclable unique entre les arbres. Les cyclistes parcourent 700 mètres sur un ouvrage décrivant un double cercle de 100 mètres de diamètre, qui monte progressivement (de 3 à 4%) jusqu'à 10 mètres de hauteur, pour ensuite redescendre avec le même degré d'inclinaison. Ce nouveau pont cyclable repose sur une construction faite de 449 colonnes uniques en acier résistant aux intempéries, symbolisant les troncs. La construction en acier a été principalement réalisée dans l'usine de Balen et assemblée sur site par la suite.

Gare de départ ligne Erasmus, La Haye, Pays-Bas (2016) : Smulders était responsable de l'ingénierie et de la construction d'un viaduc, qui fait partie d'une nouvelle gare de départ pour la ligne reliant Erasmus à La Haye. La gare de départ de la ligne Erasmus à La Haye (HSE) forme un nouveau terminus dans la gare centrale à La Haye. Cette ligne de métro connecte Rotterdam avec La Haye. Les métros arrivent dans la gare par un viaduc d'une longueur d'environ 323 mètres.

Fondation Louis Vuitton, Paris, France (2014) : Smulders était responsable de la production et de l'assemblage de la construction en acier pour les façades et les escaliers de la "Fondation Louis Vuitton" à Paris. La Fondation est dédiée à l'art contemporain et ressemble aux voiles d'un voilier.

Tour D2, Paris, France (2014) : Smulders a livré et monté la construction en acier pour ce nouvel immeuble de bureaux à La Défense. La forme ovale de la Tour D2 est remarquable au cœur du quartier d'affaires de La Défense. La silhouette du bâtiment se compose de trois parties : une façade étroite orientée vers Paris, une façade orientée vers Courbevoie et une étroite, légèrement courbée sur la face arrière.

Les premières fondations devaient être installées, dans des conditions de fond rocheux, au printemps 2021. L'achèvement prévu est l'été 2022. Le projet de Saint-Nazaire sera constitué de monopieux forés, une première et une nouvelle étape dans l'industrie éolienne offshore.

Avez-vous un autre projet marquant ?

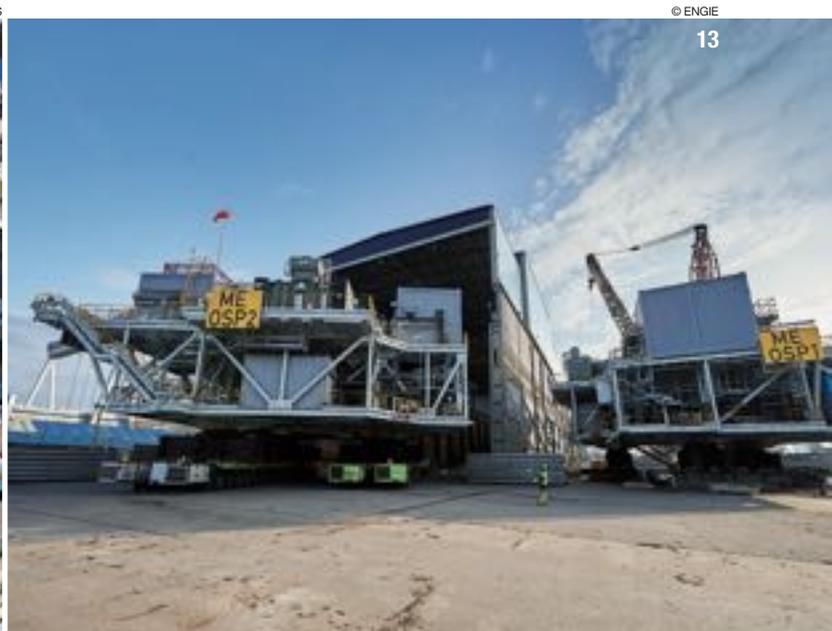
Oui, celui de Deutsche Bucht. C'était la première fois que Smulders réalisait un projet sans faire appel à un partenaire extérieur pour la partie électrique, ce dernier étant, en l'occurrence, Eiffage

Energie, l'une des sociétés du groupe Eiffage dont Smulders fait partie depuis 2013⁽¹⁾.

Pour ce projet, la joint-venture Smulders-Eiffage était responsable de l'ingénierie, l'achat, la construction et l'installation de la sous-station et du jacket. Le parc est situé dans la zone économique exclusive de la mer du Nord en Allemagne.

Quelle est la position de Smulders vis-à-vis de l'éolien flottant ?

C'est un marché sur lequel nous ne sommes pas encore présents mais que





14



15



16



17

nous étudions avec intérêt et sur lequel Smulders se prépare à intervenir. Notre spécialité est la fabrication en série de pièces pour éoliennes. Le problème avec l'éolien flottant est qu'il n'existe actuellement aucun design capable de permettre une production en série, ce qui ne permet pas d'envisager une production industrielle pour réaliser un parc éolien flottant.

Quels objectifs pour les années à venir ?

Smulders réalise actuellement près de 90 % de son chiffre d'affaires dans l'éolien offshore et donc seulement

10 % dans le génie civil, l'industrie, l'oil & gas...

Afin de se préserver contre les fluctuations éventuelles du marché de l'offshore, l'objectif est d'être moins dépendant d'un marché et de développer fortement le civil et l'industrie pour atteindre 25 % dans les années à venir. C'est ce que nous avons fait depuis fin 2018 où le marché de l'éolien a chuté pendant le deuxième semestre. Notre organisation très flexible va nous permettre d'y parvenir, tout en maintenant le niveau de qualité très élevé qui est le nôtre dans le marché de l'offshore, en prenant des projets significatifs tant

au niveau de l'ingénierie que de la réalisation industrielle.

La diversification est donc à l'ordre du jour et nous avons déjà plusieurs réalisations dont un pont à Rotterdam, produit dans l'usine d'Hoboken, précisément pendant "l'accalmie" du marché offshore du second semestre 2018. Une telle ouverture nous sera d'ailleurs facilitée du fait de notre appartenance au groupe Eiffage.

À côté de l'éolien offshore, pour les structures gazières et pétrolières offshore, Smulders propose déjà depuis longtemps des plateformes et des jackets que nous fabriquons ou que nous

livrons dans le cadre de projets EPCI complets.

Au fil des ans, nous avons acquis une précieuse expérience que nous partageons avec nos clients lors de chaque nouveau projet. Nous sommes à même de prendre en charge la production de plateformes complètes avec fondations. □

1- La branche Métal d'Eiffage a signé le contrat d'acquisition des principales sociétés du groupe Smulders : Smulders, Iemants, Willems et Spomasz en 2013. Par cette acquisition, Eiffage renforce son ancrage sur le marché offshore de l'énergie et plus particulièrement de l'éolien dont Smulders est un intervenant majeur.

18



19





© ALAMY STOCK PHOTO

PUY-SAINT-ANDRÉ - SEVE

TRANSITION ÉCOLOGIQUE : L'AUTONOMIE POUR LEITMOTIV

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE IMAGINÉE À L'ÉCHELLE LOCALE, C'EST UN VILLAGE QUI, SOUS L'IMPULSION DE SON MAIRE, PRÔNE LA SOBRIÉTÉ, PRODUIT SA PROPRE ÉNERGIE, MET LE TRAITEMENT DES DÉCHETS EN GESTION PUBLIQUE, RECHERCHE L'AUTONOMIE ALIMENTAIRE, CONTIENT SON ÉTALEMENT AFIN DE PRÉSERVER LES TERRES. LA LUTTE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE A PEUT-ÊTRE TROUVÉ SON SYMBOLE : PUY-SAINT-ANDRÉ, QUI LUTTE CONTRE LE GASPILLAGE ET LE RECOURS EXCLUSIF AUX ÉNERGIES FOSSILES. DÉCOUVERTE DE CETTE AVENTURE AVEC PIERRE LEROY, MAIRE DE PUY-SAINT-ANDRÉ ET PRÉSIDENT DE LA SEVE.

Pierre Leroy est également vice-président de la Communauté de communes du Briançonnais, un territoire de 13 communes regroupant 25 000 habitants avec plusieurs stations de sports d'hiver telles que Mont Genèvre et Serre-Chevalier. Il est aussi président du Pays Grand Briançonnais, un pôle d'équilibre territorial et rural, réunissant trois communautés de communes - Guillestrois-Queyras, Pays des Écrins et Pays du Briançonnais - soit un total de 36 communes. Cela correspond géographiquement au tiers du département des Hautes Alpes, avec le Parc national des Écrins, le Parc naturel régional du Queyras, un territoire d'assez grande ampleur mais très peu peuplé - 36 000 habitants - une zone extrêmement touristique dont la commune principale est la ville de Briançon, avec 12 000 habitants. Ce que l'on appelle un "territoire de projet" qui travaille essentiellement sur la transition écologique.

La Durance sert de limite naturelle au sud de Puy-Saint-André. L'ensemble de la commune s'étale dans la vallée du "Torrent de la Chenal", cours d'eau de 2,6 km, affluent de la Durance. Le sommet de la Condamine, dans la "crête de Serre-Chevalier", est le point culminant de la commune, à 2 950 mètres d'altitude.

C'est un petit village de 487 habitants, un lieu où l'énergie était importante

puisque les habitants avaient leur propre mine de charbon dans leur jardin avec des canaux d'irrigation datant de plus de 500 ans qui arrosaient l'ensemble du territoire pour l'agriculture locale.

1- Puy-Saint-André, avec de magnifiques couleurs d'automne.
2- Puy-Saint-André, lauréate de A.G.I.R. pour l'Énergie (2011-2014).

UNE ZONE D'EFFONDREMENT GÉOPHYSIQUE

Le territoire concerné est très fortement impacté par le changement climatique dans le sens où, dans la période actuelle où l'on constate une augmentation de température de 1° au niveau mondial, dans le Briançonnais, cette augmentation est supérieure à 2°. « Ici, nous sommes au cœur de l'effondrement géophysique avec la fonte du permafrost, explique Pierre Leroy, provoquant un tassement physique du sous-sol et donc des effondrements, avec de nombreux glissements de ter-

rain dus au réchauffement climatique. Certains villages sont coupés du monde dans le Briançonnais : notre territoire est un laboratoire pour une autonomie impérative tout en restant ouverts sur l'extérieur. »

Les scientifiques se sont penchés sur les raisons de cette disparité. Les hypothèses l'attribuent au caractère très "minéral" du territoire. Les zones de montagne captent la chaleur qui est stockée en fond de vallée, ce qui a pour conséquence une élévation de la température supérieure à celle mesurée, par exemple, en plaine.

« Nous avons ainsi constaté l'effondrement du tunnel du Chambon, à l'issue duquel deux communes - La Grave et Villar-d'Arène - ont été coupées du monde pendant une année. Il y a eu, en 2018, l'effondrement du Pas de l'Ours, dans le Queyras, dont le glissement de la montagne a également coupé du monde les villages d'Abriès et de Ristolas. Des dizaines de millions d'euros de travaux sont d'ailleurs en cours pour "sortir" ces villages de leur isolement géographique. Des glissements de terrain conséquents ont également été constatés dans la vallée de la Clarée qui l'ont coupée à plusieurs reprises. » Plus haut en altitude, plusieurs effondrements de pans entiers de montagne sont survenus à La Meije, la Barre des Écrins et sur la face nord du Mont Viso. ▶



2
© DR

D'autres aspects du changement climatique se traduisent pas une baisse de l'alimentation en eau dans les alpages, la baisse de l'enneigement dans les stations de ski de moyenne montagne, l'impact très préoccupant sur les forêts.

Au niveau touristique, les guides de montagne sont désormais contraints d'exercer leur activité sur le versant italien autour du Mont Rose car la pratique de l'alpinisme est devenue risquée sur le versant français de la Barre des Écrins.

« Très concrètement, à partir de ces constatations, poursuit Pierre Leroy, nous avons mobilisé le territoire à plusieurs échelles complémentaires sur lesquelles nous avons la capacité d'agir tant au niveau des mairies que des communautés de communes ou des pays avec des outils adaptés à chaque situation. »

À Puy-Saint-André, la consommation d'eau potable a baissé de 75% tandis que la consommation d'énergie des services publics était réduite de 30%. À l'échelle de la Communauté de communes du Briançonnais, la production d'ordures ménagères résiduelles a diminué de 42%, passant de 12 200 t à 7 500 t. Les 4 000 t ainsi "économisées" étaient transportées précédemment à 120 km par camions et enfouies en décharge. Elles ne le sont plus, ce qui est bénéfique pour l'environnement mais l'impact économique n'est pas non plus à négliger puisqu'il représente un différentiel de 1 million d'euros par an.

La collecte, le transport et le traitement des déchets représentent globalement un coût de 250 € la tonne. L'effort de tri ainsi réalisé va d'ailleurs permettre de baisser la taxe d'enlèvement des ordures ménagères sur le territoire du Briançonnais, grâce à l'adhésion des citoyens et des entreprises.

ÉNERGIE : QUASIMENT L'AUTONOMIE

Les résultats sont là. Puy-Saint-André produit plus d'énergie que ce que consomme la totalité des habitants grâce aux énergies renouvelables. 7 000 arbres ont été plantés sur le territoire de la commune.

La commune travaille aussi sur l'autonomie alimentaire des territoires qui permet de baisser la production de CO₂ : plus la production locale est importante, voire autosuffisante, moins le transport par camions est nécessaire. Des maraîchers ont ainsi été installés à 1 500 m d'altitude.



© MARC MONTAGNON

PIERRE LEROY : PARCOURS

C'est pendant un voyage en auto-stop, à 18 ans, que Pierre Leroy, natif de La Tranche-sur-Mer, près des Sables d'Olonne, en Vendée, découvre la beauté du Briançonnais.

Il s'y installe un an plus tard, comme berger, puis comme moniteur-éducateur, tout en faisant des études d'infirmier, pour devenir cadre de santé, ce qu'il est toujours : 10 ans au bloc opératoire de l'hôpital de Briançon, 3 ans au SAMU et aux urgences, quelques années en chirurgie orthopédique, enfin professeur à l'Institut de Formation en Soins Infirmiers (IS FI) du Centre hospitalier de Briançon.

Militant écologiste, il lance avec quelques amis en 2007 une initiative citoyenne en vue des élections municipales de Puy-Saint-André pour réfléchir à ce que les habitants voudraient faire de leur village. Elle se transforme en liste citoyenne, élue au premier tour avec 65% des voix. « Après avoir beaucoup milité contre des projets inutiles, j'avais envie de m'engager pour quelque chose. »

Briançonnais par choix depuis près de quarante ans, Pierre Leroy est maire de Puy-Saint-André, vice-président de la Communauté de communes du Briançonnais et président de l'Association du pays Grand Briançonnais. Son engagement écologiste non partisan est conforté par les leviers de l'action locale et par les bouleversements que vit ce territoire de montagne.

Dans ses fonctions actuelles, il considère qu'il prolonge son activité professionnelle dans le sens où il considère la fonction d' élu comme celle d'un soignant qui prend soin d'un territoire et d'une population.

Pierre Leroy a la sensation d'être dans cette dynamique professionnelle à travers la réalisation de projets qui ont pour objectif de prendre soin d'une population et d'un territoire à travers un objectif de résilience territoriale due au changement climatique.

Il utilise au quotidien sa formation en appliquant le concept de "l'empowerment" qui, en santé publique, renvoie à l'idée de donner des pouvoirs à des personnes ou à des groupes qui n'en ont habituellement pas. Il faut que le citoyen ou le patient, qui a l'expertise de lui-même, retrouve le pouvoir de décision. Ce n'est pas nécessairement le médecin ou l'infirmier, en dépit ou au-delà de leur expertise professionnelle qui doivent décider. Ce qu'il met en pratique depuis 2008.



© SEVE

3- Pierre Leroy, maire de Puy-Saint-André et président de la SEVE.

4- La maison de Pierre Leroy.

« L'une des particularités de la transition écologique est qu'elle est extrêmement transversale, ajoute Pierre Leroy : elle touche tous les domaines de la vie. Il faut donc s'attaquer à tous ces domaines pour essayer progressivement d'envisager la résilience des territoires afin de prévoir comment, demain, il sera possible de s'adapter à la fois au changement climatique et à la raréfaction des énergies fossiles. »

« Nombre de citoyens et d'entreprises sont prêts à franchir le pas. Encore faut-il qu'on leur en donne les moyens. En zone rurale, par exemple, si vous voulez vous séparer de votre voiture, comment faire en l'absence de transports en communs ? »

Pierre Leroy s'intéresse à ce que l'on désignait à l'époque par le vocable unique "d'écologie" depuis le début des années 80. Dans un premier temps, il s'insurge contre la création d'un incinérateur qui ne lui semble pas la solution la mieux adaptée avant de passer à l'énergie, particulièrement à l'énergie thermique - le chauffage - mais aussi à l'énergie électrique, hydro-électrique entre autres, mais aussi photovoltaïque. Il s'agissait à l'époque des premières installations photovoltaïques reliées au réseau.

DES DÉBUTS MODESTES

Dans les années 85/90, avec 6 copains et un pécule de 12 000 francs, il propose à la mairie de Puy-Saint-André d'installer une centrale photovoltaïque sur le toit de la mairie, à l'image de ce qui se faisait déjà en Autriche.

Le projet n'a pas abouti en particulier en raison de l'opposition, dans le conseil municipal, de l'un des élus.

Pierre Leroy fait alors construire sa maison qui reçoit en 1995 le deuxième prix des maisons économes en énergie en France.

Il s'agit d'une maison bioclimatique, constituant elle-même un capteur, équipée de capteurs thermiques pour le chauffage et de capteurs photovoltaïques, pour l'électricité.

Pour donner quelques chiffres, Pierre Leroy achète 600 € d'électricité par an pour l'ensemble de ses besoins de consommation en énergie - chauffage et électricité - et vend pour 2 600 €



d'énergie par an à EDF, dans le cadre d'un contrat de 20 ans. Le résultat est ainsi un bénéfice de 2000 € par an. Dès l'année 1995, il est d'ailleurs également propriétaire de l'un des premiers vélos électriques dans le Briançonnais. En 2007, il réunit un petit groupe de citoyens pour parler du "village désirable" de demain. À l'issue d'une année de travail, ils choisissent de se présenter aux élections, sans étiquette, et sont élus au premier tour avec 65 % des voix sur un programme de transition écologique.

À partir de là, est mis en œuvre le programme "énergie" de la commune. Lors d'une réunion publique à la mairie, Pierre Leroy et son groupe présentent leurs objectifs afin de parvenir à ce que Puy-Saint-André dispose d'une énergie qui soit "publique, renouvelable, citoyenne et locale".

Il choisit dès lors de créer une société et, à la suite d'une petite étude juridique lui permettant de choisir l'outil qui serait le plus adapté pour ce type de pratique, décide la constitution d'une SEM locale classique (SEML), constituée à 51 % d'argent public - celui des administrés - afin de permettre à la commune de conserver la maîtrise de sa gestion.

5- L'ancienne cure avec son toit équipé de panneaux photovoltaïques.

6- À Puy-Saint-André, la maison des Peyron.

7- Le skate parc de Briançon.

8- Les panneaux photovoltaïques du skate parc de Briançon.

"SEVE" : LA BIOMASSE EN PUISSANCE

Le nom de cette SEML (Société d'économie mixte locale) a été choisi avec l'accord de tous : SEVE pour "Soleil, Eau, Vent, Énergie", en quelque sorte, la biomasse en puissance. Puis il propose aux concitoyens de participer à son financement, sachant qu'il s'agissait de la première société d'économie mixte de production d'énergie en France associant des citoyens et une collectivité.

Rien de bien innovant si ce n'est que la SEVE ouvre la possibilité aux citoyens de souscrire des actions (300 € l'unité) au côté des collectivités locales (majo-

ritaires à 51 %) et des entreprises. Les gens ont joué le jeu : de 30 au départ, ils sont aujourd'hui 54 après augmentation du capital social de 102000 € à 871 500 € et ils détiennent 10 % du capital. Mieux, ils sont représentés au conseil d'administration au côté de 6 actionnaires représentant les collectivités locales et de l'EDSB, distributeur local d'électricité et filiale de la mairie de Briançon et d'EDF. Un mix intéressant bien que statutairement facultatif. Pour Pierre Leroy : « la participation des citoyens doit être une réalité. La lutte contre le réchauffement climatique ne peut réussir que si tout le monde s'empare du sujet et décide, avec toutes les

parties prenantes, des choix de société qui s'y rattachent. »

Des sociétés de ce type existaient déjà en Autriche, très en avance dans ce secteur, tout particulièrement dans la région du Vorarlberg, à l'ouest du pays. « C'était une région proche de la nôtre à tous les points de vue, précise Pierre Leroy, de petite montagne, plutôt pauvre, vivant essentiellement de l'élevage et souffrant déjà de la désertification agricole, avec de nombreux indicateurs similaires à ceux du Briançonnais. Elle est aujourd'hui l'une des plus riches d'Autriche, à l'issue de plusieurs années de travail sur la sobriété et sur la production d'énergie renouvelable. »



La SEVE est ainsi créée le 18 janvier 2011 avec un capital de 102 000 € (340 actions de 300 €). Elle va très vite concrétiser son activité avec une première centrale photovoltaïque opérationnelle dès le mois de mai 2011). Les trois premières centrales sont construites dans le village même de Puy-Saint-André sur les bâtiments publics puis la décision est prise de "polliniser" les voisins. La quatrième centrale est installée à Briançon, la cinquième à Saint-Martin-de-Queyrières.

UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE EN 2011...

Après deux ans d'activité, la SEML SEVE affichait un résultat positif. Elle disposait de 13 centrales photovoltaïques, dont 3 sur les toits de l'ancienne mairie, la mairie actuelle et l'ancienne cure. Cela représente 1970 panneaux produisant 573 kW revendus à EDF et réinjectés sur le réseau. Une petite manne pour les communes de Briançon, Puy-Saint-André et Saint-Martin-de-Queyrières qui, pour la location de leurs toitures, touchent 5% du chiffre d'affaires réalisé et qui, dans 20 ans, deviendront propriétaires des centrales, sans avoir investi un centime. Quant aux actionnaires, dès 2016, ils ont commencé à toucher une partie des dividendes, le reste étant intégralement réinvesti. Mais, pour Pierre Leroy, « *l'important n'est pas de toucher des dividendes mais de participer à la transition énergétique en substituant les énergies renouvelables aux énergies fossiles polluantes.* »

Les résultats étant très positifs, la situation a amené la SEVE, moins de 2 ans après sa création, à une augmentation de capital, avec un nouveau tour de



table des collectivités publiques et un élargissement à des actionnaires privés et à des entreprises.

Cette nouvelle opération financière (augmentation du capital de 769 000 €) a été officialisée le 17 octobre 2013 avec un capital porté à 871 000 €, répartis à hauteur de 53,1% pour les collectivités publiques et 46,9% pour les actionnaires privés⁽¹⁾.

...20 CENTRALES EN 2020

Des centrales peuvent désormais être installées dans plusieurs communes de la région et en 2020, la SEVE exploite 19 centrales photovoltaïques, toutes installées en toitures (publiques ou privées sur copropriété, commerces, maison individuelle), pour une puissance totale de 714,55 kWc (2856 panneaux posés). Ces installations sont réparties sur 5 communes du Pays Grand Briançonnais. La vingtième est en cours de construction.

Elle produit environ 765 000 kWh/an et son chiffre d'affaires est d'environ 164 000 €. Avec les dernières centrales mises en service en 2019 et une

9- Le lac des Partias dans la Réserve Naturelle Régionale.

10- Les jardins des "terres vivantes" en altitude.

vingtième en cours de réalisation, la production annuelle atteindra 1 GWh à fin 2020, soit la consommation électrique d'environ 310 foyers (alors que la Commune de Puy-Saint-André est composée de 250 foyers).

OUVERTURE PLUS LARGE AU PRIVÉ

Depuis le 1^{er} janvier 2020, La SEVE a fait le choix de transférer la vente d'électricité à Enercoop pour deux de ses installations :

→ Une centrale photovoltaïque installée sur le hangar des ordures ménagères de la Communauté de communes du Briançonnais à Puy-Saint-André. Puissance : 19,75 kWc pour un productible de 22 900 kWh/an.

Elle a été mise en service le 2 avril 2015.

→ Une centrale photovoltaïque installée sur la Maison de la Géologie à Puy-Saint-André. Puissance : 56,42 kWc pour un productible de 67 900 kWh/an. Elle a été mise en service le 30 juin 2015.

« *Le choix de transférer la vente d'électricité à Enercoop au 1^{er} janvier 2020 correspond à une plus grande diversification de nos distributeurs puisque nos ventes étaient faites jusqu'à présent à 2 sociétés : EDF-OA et E.D.S.B. (E.L.D. historique de Briançon, anciennement Régie municipale). Ce choix complémentaire d'une coopérative régionale permet de répondre à une attente des citoyens locaux de garantir une fourniture d'électricité 100% renouvelable aux clients d'Enercoop qui sont assez nombreux dans le nord des Hautes-Alpes, ce qui permet de contribuer à la relocalisation de la production et à la réappropriation par des citoyens de la question énergétique.* »

Pierre Leroy a choisi au départ le photovoltaïque car c'est celui qui est le plus simple à mettre en œuvre. En quelques heures, un logiciel spécifique permet de calculer la valeur actualisée nette sur investissement et, si le résultat est positif, de faire valider le choix d'une installation par le Conseil d'administration.

ÉNERGIES RENOUVELABLES : DÉMARCHE COMPLEXE

En revanche, pour les énergies renouvelables autres que le photovoltaïque, la démarche est tout autre. Cela nécessite d'abord des études pour évaluer la faisabilité financière du projet, qui sont suivies d'études d'impact environnemental beaucoup plus lourdes avec

des études de suivi annuel, tout cela pour présenter un projet dont on n'est pas sûr qu'il sera validé.

« On rentre alors dans une phase beaucoup plus complexe, explique-t-il, et c'est d'ailleurs l'une des difficultés en France qui freine le développement des énergies renouvelables autres que le photovoltaïque car ce travail préalable génère de l'immobilisation financière sans garantie de résultat final. »

Dans le domaine hydro-électrique, plusieurs projets sont en cours de développement.

En effet, dans le territoire de montagne que constitue le Briançonnais, il est très intéressant d'utiliser le dénivelé pour produire de l'électricité. Cela se fait classiquement sur les torrents mais avec un impact environnemental qui n'est pas négligeable : lorsque le volume d'eau d'un torrent est partiellement dérivé, en l'occurrence sur un trajet de 300 à 400 m de son cours naturel pour l'installation d'une centrale, il faut mesurer et contrôler la zone dérivée avec des obligations de respect d'étiage.

PRODUIRE DE L'ÉNERGIE... EN PRENANT SA DOUCHE !

Depuis deux ans déjà, la SEVE travaille sur l'équipement du torrent de Sachas, dans la commune même de Puy-Saint-André. Ce type de projet est long à mettre en place car les études sont plus lourdes, les autorisations plus complexes à obtenir, du fait de l'impact environnemental d'une telle installation sur un torrent, sur la faune et la flore. L'acceptabilité sociale est plus difficile à obtenir car plusieurs catégories de population sont concernées : les pêcheurs, les randonneurs, les amoureux de la nature... Par rapport à une intervention sur une canalisation, l'impact est plus important.

« Mais l'autonomie énergétique est à ce prix, ajoute Pierre Leroy. Notre objectif n'est pas de produire pour produire mais de faire en sorte que le territoire devienne autonome en énergie. Notre priorité c'est de travailler sur la sobriété énergétique, de réduire toutes les consommations territoriales et ensuite de produire l'équivalent de ce que nous consommons. Dans le plan-climat du Pays Grand Briançonnais, par exemple, nous sommes déjà à 52 % d'autonomie énergétique. »

Plus intéressant pour la communauté, un autre projet concerne l'eau potable. Dans ce territoire, on trouve fréquemment 400 à 500 m de dénivelé sur les conduites entre le captage d'eau et sa

© HRAFNKEL



11



12

© HRAFNKEL

11- Montage du mât expérimental du bureau d'études Hrafinkel au col du Prorel.

12- Le mât expérimental en vue de l'installation d'éoliennes au col du Prorel.

restitution dans le village. Ces conduites sont déjà équipées de brise-charge afin de réduire la pression. Le projet consiste à remplacer ces brise-charge par des turbines faisant d'ailleurs également partiellement office de brise-charge. Il existe déjà une installation de ce type à Briançon, comportant plusieurs turbines en série, fonctionnant sous l'égide de l'ESHD, c'est-à-dire la régie d'eau potable de la ville et sous

le contrôle de l'Agence Régionale de Santé. Les résultats sont très positifs. Le projet en cours, dont le dossier a été déposé en février 2020, concerne le réseau d'eau potable de la commune de Saint-Martin-de-Queyrières, en accord avec la Mairie qui touchera une redevance.

EOLIEN : LES PLUS HAUTES DE FRANCE

Après le photovoltaïque et l'hydro-électrique, il est un autre sujet sur lequel travaille la SEVE : l'éolien.

Le projet consiste à installer deux ou trois éoliennes au sommet de plusieurs des remontées mécaniques du col du Prorel, sur la commune de Serre-Chevalier.

La SEVE a missionné le bureau d'études spécialisé Hrafinkel pour étudier la rentabilité de ce projet. Pendant deux ans, Hrafinkel a travaillé à partir d'un mât de 50 m de hauteur implanté au sommet du col pour mesurer le potentiel éolien du site.

Si le projet est accepté, il aboutira à la mise en place des deux éoliennes les plus hautes de France dans une zone vierge de toute habitation, dans un lieu déjà très anthropisé, sans problème de nuisance de voisinage, avec un cône de visibilité très favorable, sans dénaturer le paysage, avec le bénéfice de l'effet venturi du col et l'avantage de la présence au pied de ces futures éoliennes de deux réseaux de 20 000 volts pour l'alimentation de Serre-Chevalier.

Les éoliennes culmineront sur des mâts de 50 m de hauteur à 2 300 m de hauteur et auraient une capacité totale de 2,5 MW.

ÉCLAIRAGE PUBLIC : SUPPRIMÉ ENTRE MINUIT ET 5 HEURES

Parmi les mesures prises par la SEVE dans la commune elle-même, l'extinction de l'éclairage public entre minuit et 5 heures est effectif depuis 2014. Cela a été l'une des premières actions du conseil municipal dès son élection en 2008. Dans un premier temps, un test a été réalisé sur le hameau de Puy-Chalvin qui fait partie de la commune de Puy-Saint-André. Le retour d'expérience a été très positif.

« Mais, poursuit Pierre Leroy, lorsqu'il s'est agi de généraliser l'expérience à l'ensemble de la commune, le conseil municipal, mis en confiance par le test de Puy Chalvin, s'est trouvé face à une véritable levée de boucliers d'une frange de la population qui ne l'a pas accepté, selon Pierre Leroy, pour des raisons pas vraiment rationnelles. ▽



© SEVE

13



© SEVE

14



© RH4 ARCHITECTES

15



© SEVE

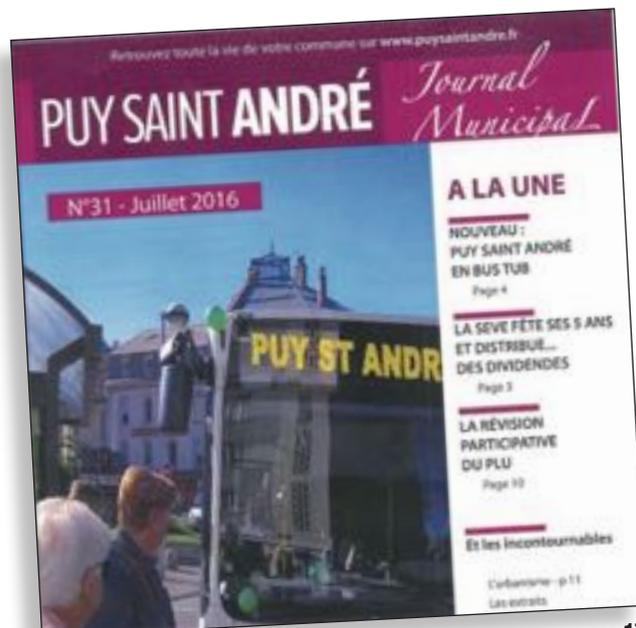
16

La municipalité a donc fait marche arrière et le projet a été abandonné tandis que, le temps passant et les mentalités évoluant, une nouvelle tentative entreprise en 2014 a été acceptée sans la moindre opposition. » Aujourd'hui, l'éclairage public, entièrement équipé de LED, est éteint de minuit à 5 heures du matin sur l'ensemble de la commune et des hameaux de Puy-Saint-André. Une telle mesure, en plus de son avantage au niveau énergétique, a un impact extrêmement favorable sur la biodiversité. De plus, dans ce territoire de montagne, voire de haute montagne, elle présente un intérêt indiscutable pour l'observation astronomique à telle enseigne qu'elle a donné naissance à la "Maison du Soleil" à Saint-Véran qui constitue désormais un lieu d'exposition exceptionnel fréquenté par de très nombreux astronomes professionnels et amateurs. Parallèlement, un travail intense a été mené sur la sobriété énergétique des bâtiments communaux, à la fois sur les pratiques, en faisant la chasse aux gaspillages mais aussi en décelant les pics anormaux de consommation

des bâtiments énergivores, ainsi qu'en réalisant un diagnostic complet suivi de travaux. « Nous avons revisité le patrimoine municipal, nous avons formé les agents techniques à l'analyse des factures énergétiques pour déceler

les problèmes potentiels. Nous avons réhabilité tous les bâtiments publics y compris les logements sociaux, la salle polyvalente, l'ancienne cure du village et nous avons d'ailleurs reçu entre 80 à 90% d'aide pour financer cette sobriété énergétique. »

La mairie est équipée d'une centrale photovoltaïque en toiture. L'ancienne mairie a été complètement réhabilitée et transformée en logement communal avec, en toiture, la première centrale photovoltaïque de la SEVE qui a été posée en 2011.

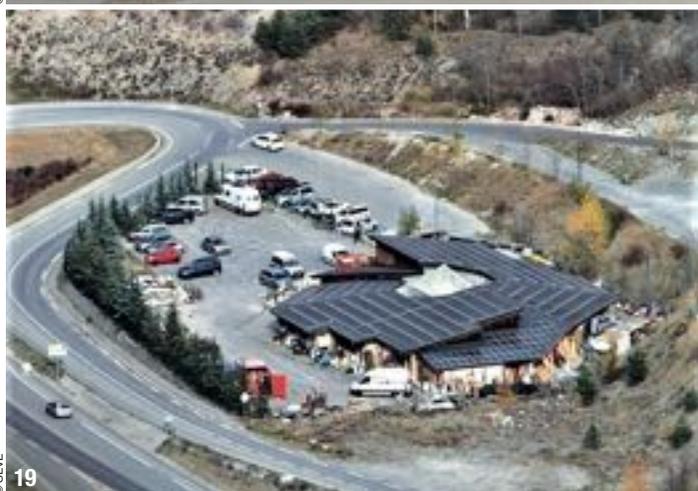


© DR 17

- 13- L'école de Mi-chaussée à Briançon.
- 14- Les services techniques de la ville de Briançon.
- 15- Maison de la Géologie et du Géoparc.
- 16- Toiture photovoltaïque de la Maison de la Géologie et du Géoparc.
- 17- Le journal municipal de Puy-Saint-André publié à l'occasion des cinq ans de la SEVE en juillet 2016.



© SEVE 18



© SEVE 19



20

© SEVE

Puy-Saint-André est la troisième commune de France de moins de 2000 habitants "solaire thermique" avec plus de 1 m² de capteurs thermiques par habitant.

Un autre aspect intéressant de cette démarche est souligné par Pierre Leroy : « nous avons utilisé, et ceci à plusieurs niveaux, la production d'énergie renouvelable pour financer la sobriété. La SEVE paie des loyers de toiture aux mairies ou aux particuliers, dans le cas d'installation sur un toit d'une centrale photovoltaïque. Elle distribue des dividendes en fonction des résultats de la société. Cet argent, pour la commune de Puy-Saint-André, est utilisé pour travailler sur la sobriété. Il en est de même pour la Communauté de communes du Briançonnais dont je suis vice-président : j'ai fait installer, financées sur fonds propres, deux centrales photovoltaïques qui rapportent autour de 70 000 €/an et qui sont utilisées, dans le cadre d'un engagement moral des élus, pour la sobriété énergétique qui va permettre de faire des économies d'énergie. On rentre ainsi dans un cercle vertueux où les bénéfices de production d'énergie renouvelable

18- Le hangar de traitement des ordures ménagères à Puy-Saint-André et son toit photovoltaïque.

19- La ressourcerie de La Miraille à Puy-Saint-André.

20- Maison d'habitation à Puy-Saint-André, participant à la démarche énergétique du village.

financent la sobriété. Ceci nous a permis d'isoler tous les bâtiments intercommunaux : la crèche, la Maison des Jeunes et de la Culture, le siège de la Communauté sont tous en cours de réhabilitation grâce aux bénéfices de la production d'énergie renouvelable. » Une démarche innovante qui a reçu l'approbation des élus à l'unanimité. Sur Puy-Saint-André, les bénéfices de la vente d'électricité ont permis de financer la navette qui emmène les citoyens au marché de Briançon, moyennant un abonnement annuel très modique, la différence étant prise en charge par la commune grâce à

la vente d'électricité. Cela permet à la commune de travailler sur la mobilité douce.

Selon Pierre Leroy, pour gagner la lutte contre le réchauffement climatique, tout le monde doit s'unir, citoyens, chefs d'entreprise, collectivités territoriales, élus... quel que soit son bord. « Nous n'avons plus le temps d'attendre car le temps nous est compté. Il nous faut être actifs tout de suite, à notre niveau. Ce que je fais dans le Briançonnais ne peut pas forcément être dupliqué ailleurs. Il faut s'adapter au contexte, étudier ses forces et ses faiblesses. Mais, ce qui est certain, c'est que, si on reste les bras croisés, les choses vont empirer. »

Et de citer, pour la région, la hausse des températures avec l'été caniculaire (du type de celui de 2003), la fonte des glaciers, les hivers plus chauds (sans neige pour les stations de sport d'hiver), l'élévation du niveau de la mer, la pression sur l'eau, sur l'alimentation... □

SEVE : L'ACTIONNARIAT

COMMUNE DE PUY-SAINT-ANDRÉ : groupe public
COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU BRIANÇONNAIS : groupe public
COMMUNE DE SAINT MARTIN-DE-QUEYRIÈRES : groupe public
COMMUNE DE L'ARGENTIÈRE-LA-BESSÉE PUBLIC : groupe public
E.D.S.B : groupe privé (personne morale)
HOLDING BÉRARD-ABELLI : groupe privé (personne morale)
ÉNERGIE PARTAGÉE INVESTISSEMENT : groupe privé (personne morale)
54 ACTIONNAIRES CITOYENS : groupe privé (personne physique)

1- Dans le cadre juridique d'une SEML, le capital minimum détenu par les collectivités publiques doit être de 50 % et au maximum de 85 %.



1
© EDF ENERGY

EPR HINKLEY POINT C, UK : PRÉFABRICATION LOURDE

AUTEUR : BERTRAND DE LAVARÈNE, INGÉNIEUR MÉTHODES, BOUYGUES TP / BYLOR JV

AU COURS DE L'ANNÉE 2020, SUR LE CHANTIER DE L'EPR HINKLEY POINT C, BYLOR RÉALISERA L'INSTALLATION D'UNE DALLE DE 18 m SUR 12 m, SURMONTÉE D'UNE SÉRIE DE VOILES FORMANT PLUSIEURS PETITES SALLES, POUR UN POIDS TOTAL DE 860 t. CE LEVAGE MAJEUR SERA EFFECTUÉ PAR LA SGC250 DE SARENS, LA PLUS GROSSE GRUE TERRESTRE EN SERVICE ACTUELLEMENT. RETOUR SUR LA STRATÉGIE DE PRÉFABRICATION LOURDE MISE EN ŒUVRE SUR CE PROJET.

CONTEXTE

Après la construction des centrales nucléaires d'Olkiluoto (Finlande) et de Flamanville 3 (Manche), Bouygues TP est impliquée dans la construction de son troisième EPR à Hinkley Point C (HPC), au sud de Bristol, Royaume-Uni. Le retour d'expérience de ces précédents projets a permis d'identifier plusieurs parties d'ouvrage dont la réalisation peut être optimisée en mettant en place une méthodologie spécifique. Différents facteurs sont en cause : géométries complexes, interfaces entre plusieurs zones ayant chacune leur propre rythme de construction, tolé-

rances fines sur les inserts, co-activité de sous-traitants multiples notamment pour le coulage des piscines, grand linéaire de soudures dans le cas de la peau étanche de l'enceinte interne (figure 1).

C'est pourquoi, lors de l'appel d'offres en 2012, le groupement Bylor (composé de Bouygues TP et Laing O'Rourke) a prévu la préfabrication lourde de certaines structures du bâtiment réacteur, dans le but de réduire de plusieurs mois la durée du chantier dans son ensemble. Par "préfabrication lourde", on entend le levage de dalles ou de voiles, bétonnés avec tous leurs inserts, leur poids

1- Levage du fond de cuve du réacteur, peau métallique de 170 t formant la base de l'enceinte étanche du bâtiment, par la grue SGC 250, le 18 décembre 2019.

1- SGC 250 crane lifting the reactor vessel bottom head, a 170-tonne steel liner forming the base of the building's sealed enclosure, on 18 December 2019.

allant jusqu'à à 1 100 t. Ceux-ci sont levés par une grue spécialisée (figure 2). En retour, le client EDF NNB a décidé de développer cette stratégie sur d'autres ouvrages de la croix nucléaire. Au cours d'une phase d'étude préliminaire, on est donc passé de quelques dizaines d'éléments préfabriqués à près de six cents, répartis sur une vingtaine de bâtiments.

Toutes ces nouvelles préfabrications n'impactent pas la date de fin du chantier, mais permettent une souplesse dans les séquences de construction et réduisent également la durée de mobilisation du matériel et de la main

d'œuvre. Elles présentent aussi des avantages en matière de sécurité et de qualité, car la construction peut se faire dans des zones isolées où l'activité et les survols de grue sont restreints.

PRINCIPE - IDENTIFICATION DES ZONES À PRÉFABRIQUER

Préfabriquer une partie d'ouvrage nécessite la mise en œuvre de méthodes spécifiques, plus complexes que pour une construction in situ. L'intérêt de cette technique est donc à évaluer en comparant les contraintes au gain espéré.

Certains éléments ont ainsi une très haute valeur ajoutée. C'est le cas des piscines, massives, composées de dalles supportant des voiles déjà bétonnés et

de leur cuvelage métallique (figure 3). Elles nécessitent des étalements et dispositifs d'ajustement lourds et impliquent de réaliser certains murs en sous-œuvre. Mais leur construction a pris plus d'un an sur les autres EPR et on espère ici être à même de les poser

2- Vue de la grue SGC 250 de Sarens installée sur le chantier HPC.

2- View of the Sarens SGC 250 crane set up on the HPC construction site.

et de les reconnecter aux structures environnantes en quelques semaines. Heureusement, la majorité des éléments préfabriqués n'a pas la même complexité : pas de voiles à claver en-dessous, géométrie simple, pas d'inserts aux tolérances draconiennes. Ceci offre plus de latitude pour l'installation. L'exemple classique est celui d'une dalle couvrant une pièce entière. Parfois, celles-ci abritent, en plus, des colis emprisonnés, c'est-à-dire des équipements stockés dans le bâtiment à l'avancement du génie civil. On s'affranchit ainsi des problèmes d'étalement au-dessus de ces machines fragiles (figure 4).

Des études planning ont été réalisées avant de valider définitivement la pré-

fabrication de chaque élément. Inutile, en effet, de construire un pan entier de dalle en quelques jours s'il faut ensuite attendre des semaines que les zones adjacentes soient prêtes pour poursuivre l'ouvrage.

GRUE LOURDE

Tous ces colis sont levés à la grue. La zone à couvrir, comprenant les bâtiments et les aires de préfabrication, correspond à un rectangle d'environ 250 m par 700 m. Elle est centrée principalement sur l'îlot nucléaire. Initialement, le groupement Bylor avait envisagé la possibilité d'utiliser une grue mobile à chenille, de très forte capacité, qui aurait circulé avec sa charge sur une piste en béton armé. Mais cette méthode n'était en réalité pas adaptée, d'abord parce que les vibrations du trajet entraînent des efforts dynamiques importants dans les inserts de levage, et ensuite parce que cela aurait créé de grosses contraintes logistiques.

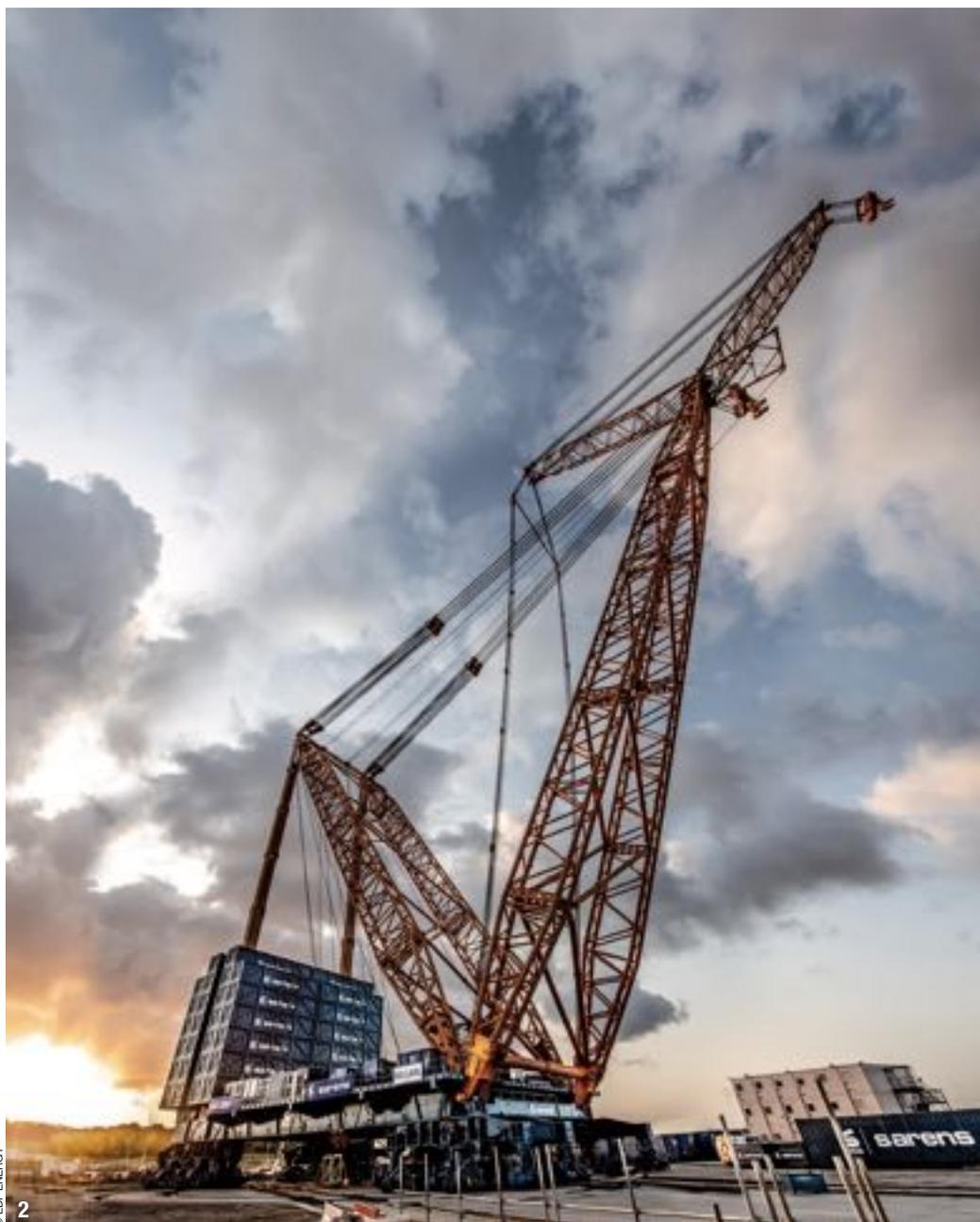
La topographie du site est sans cesse changeante en fonction de l'avancement des différents ouvrages et des terrassements et le sous-sol abrite des kilomètres de galeries souterraines. (figure 5). L'accès ne pouvait donc pas toujours être garanti, surtout avec la multiplication du nombre de levages prévus.

Cependant, aucune grue lourde fixe n'avait la capacité de couvrir 18 ha avec sa seule flèche. En installer deux à des emplacements stratégiques représentait un coût trop important et impliquait de faire l'impasse sur certains bâtiments.

Après consultation avec les levageurs spécialisés, il fut finalement décidé de développer un nouveau système : équiper l'engin de trains de roues linéaires rétractables, et la faire translater sur des rails entre trois positions. À chacune de ces positions se trouvent d'autres rails, en forme d'anneaux cette fois-ci (figure 6). Des roues circulaires prennent alors le relais pour effectuer le levage (figure 7).

Le marché a été attribué à Sarens, dont la SGC120 avait déjà installé le dôme sur la centrale de Flamanville 3 pour le compte de Bouygues également.

La toute dernière évolution de la grue, la SGC250, a ainsi été montée sur site à l'été 2019. Elle peut lever jusqu'à 5000 t au plus près, et un respectable 2000 t à 100 m. La configuration retenue pour HPC est une flèche de 118 m et une contreflèche de 52 m, avec un crochet principal de 1600 t et un secondaire de 1000 t.



La grue lourde est en interface avec une quarantaine de grues à tour utilisées sur le reste du chantier. Durant les levages, il faut mettre une partie de celles-ci à l'arrêt, ce qui a un impact sur la productivité des zones concernées. Pour cette raison, en plus des considérations classiques de survol de charge (interdit au-dessus du personnel), il a été décidé que les opérations auraient lieu principalement de nuit, lorsque les bâtiments sont déserts.

GESTION DES ZONES DE PRÉFABRICATION

Les structures préfabriquées sont construites dans des surfaces dédiées, adjacentes aux ouvrages à réaliser, directement sous l'emprise de la grue lourde. Malgré les dimensions importantes du site, la place est limitée. Faire tenir tous les éléments dans ces aires en fonction de leurs contraintes respectives est un véritable challenge : chacun ne peut être fait que dans un ou plusieurs espaces spécifiques, suivant sa position finale dans le bâtiment ; le poids impose une distance maximale à la grue ; le contour des zones de préfabrication est changeant au cours du temps ; certaines pièces peuvent éventuellement être transférées ailleurs ou même superposées, d'autres non. En plus de cela, les structures ont des formes souvent complexes, circulaires ou biscornues, qui s'emboîtent mal, et il faut garder des espaces libres pour la circulation et l'installation des coffrages.



3
© BOUYGUES TP

3- Construction des piscines du réacteur, EPR Flamanville 3, Manche.

4- Vue de trois dalles préfabriquées (en transparence) surmontant des cuves emprisonnées.

3- Construction of the reactor pools, Flamanville 3 EPR, Manche region.

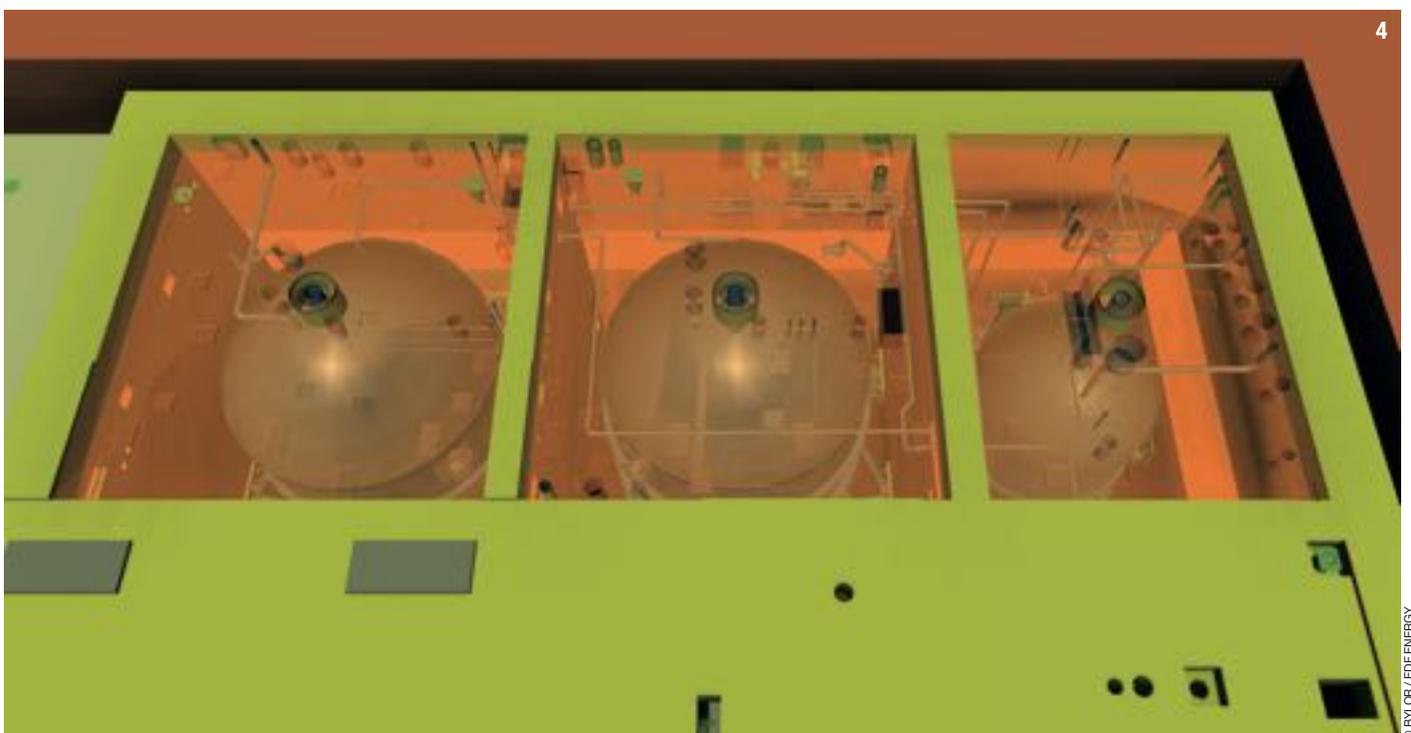
4- View of three precast slabs (transparency) on top of walled-in vessels.

Or, l'expérience des précédents projets a montré que le planning évolue en permanence, et un élément qu'on pensait devoir lever rapidement peut finalement rester plusieurs semaines

à son emplacement, ce qui oblige à une réorganisation générale du plan d'installation. Gérer la logistique de ces zones devient donc un travail à plein temps.

C'est pourquoi Bylor a fait développer un programme par des enseignants-chercheurs de l'Imperial College London, spécialisés en Intelligence Artificielle (IA) au service de l'industrie. Avec comme données d'entrée des fichiers cad et des listes directement extraites du planning du chantier, l'algorithme se charge de "paver" les surfaces en fonction de toutes ces contraintes. Il produit ensuite les plans correspondants.

Au bilan, bien qu'étant un bon outil d'aide à la décision, le logiciel n'est pas optimal. Parfois on n'arrive pas à trouver une solution satisfaisante sans



4

© BYLOR / EDF-ENERGY



5

© EDF ENERGY, AOÛT 2019

un guidage humain, par exemple en déplaçant soi-même un élément pour débloquer la machine. C'est donc une semi-réussite : le coût du développement sera amorti par le temps de travail économisé, mais cet exemple montre que, malgré l'engouement pour les IAs, il reste du chemin à parcourir avant qu'elles puissent remplacer totalement un ingénieur...

LEVAGE, INSTALLATION ET AJUSTEMENT

La détermination précise du centre de gravité des éléments est cruciale pour mettre en place l'élingage. Il faut en effet les lever le plus horizontalement

5- Vue d'une galerie piétonne reliant l'Unité 1 à l'Unité 2 de la centrale.

6- Plan d'installation montrant la voie de grue et ses trois positions de levage.

5- View of a pedestrian gallery linking the power station's Unit 1 to Unit 2.

6- Layout plan showing the crane track and its three lifting positions.

possible. D'abord pour faciliter leur installation, mais aussi pour éviter la création d'efforts non désirés, causés par des chaînes inclinées ou par un accostage pas totalement uniforme sur les supports temporaires. Cela passe donc en amont par l'utilisation de modèles 3D qui incluent le béton, mais également le ferrailage et les pièces noyées.

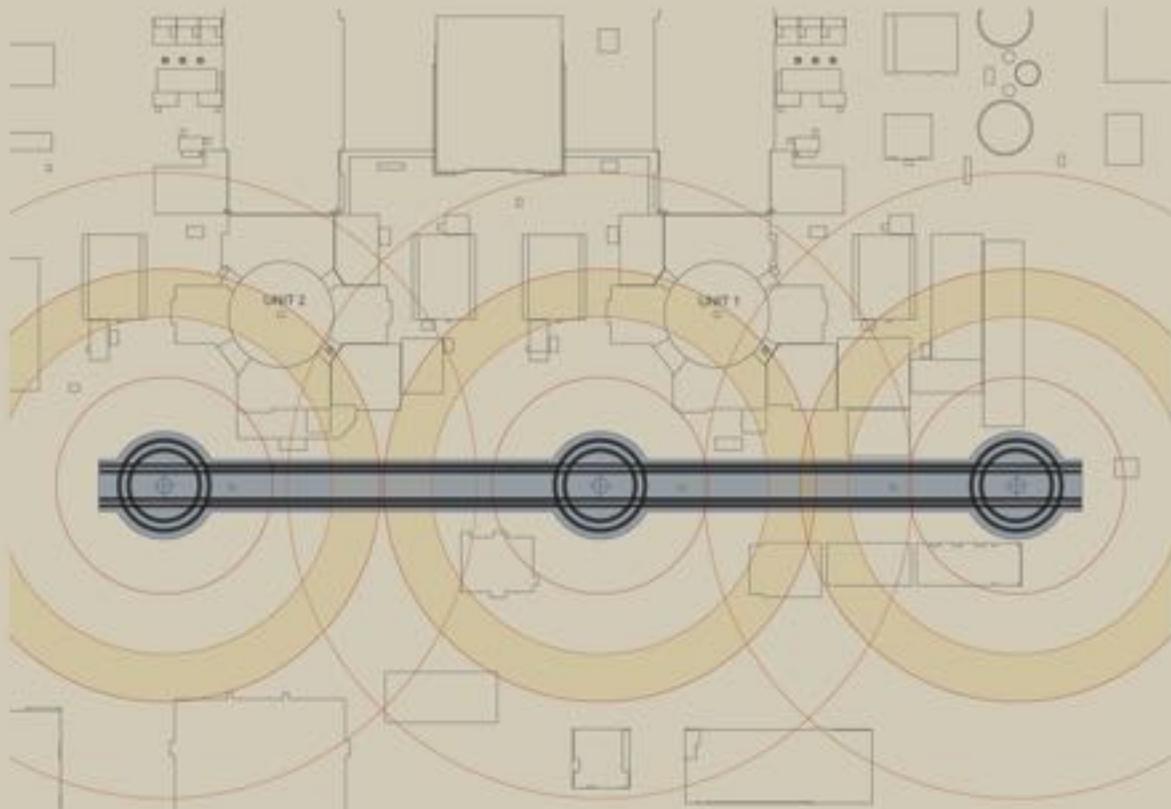
Avant le levage, les éléments préfabriqués sont pesés par un système de vérins hydrauliques, ce qui permet de déterminer avec encore un peu plus de précision le centre de gravité réel. Une éventuelle différence peut être compensée en rallongeant certaines élingues avec des manilles supplémentaires,

si l'écart est grand, ou par d'autres dispositifs adaptés type Sarspin, des élingues réglables de Sarens.

La plupart des levages sont ensuite effectués en utilisant des inserts et oreilles classiques, quoique dimensionnés pour de fortes capacités et ancrés par des goujons ou tiges précontraintes pour les structures les plus massives. Les élingues, très faiblement inclinées, sont reliées au crochet de grue par des palonniers standards modulaires fournis par Sarens.

Concernant le positionnement des éléments préfabriqués dans le bâtiment, deux stratégies sont adoptées suivant les tolérances demandées. ▷

PLAN D'INSTALLATION MONTRANT LA VOIE DE GRUE ET SES TROIS POSITIONS DE LEVAGE



© BYLOR

6

Pour les pièces peu critiques, des gabarits métalliques servent à guider doucement la charge à sa place, sur trois ou quatre tours d'étaie.

Pour les structures ayant des tolérances plus restreintes, on utilise un dispositif de vérins hydrauliques glissants sur une plaque de téflon, qui permet un ajustement fin dans les trois directions.

CLAVAGE

Le clavage consiste à reconnecter les éléments préfabriqués avec le reste de l'ouvrage, dans le but d'assurer un transfert de charge entre les supports temporaires et permanents.

Il faut donc recréer la continuité des armatures, ce qui peut se révéler complexe aux endroits où le ferrailage est dense, en particulier au sein des nœuds à la croisée de plusieurs voiles et dalles. L'utilisation de modèles en 3D est ici précieuse. Elle permet de vérifier que toutes ces contraintes sont prises en compte dès la phase de conception, en réalisant si nécessaire des cinématiques d'installation des barres dans la zone de clavage. D'autant plus qu'un certain nombre de règles sont à respecter, comme exposé ci-après.

Tout d'abord, on cherche à éviter les aciers en cotes bloquées, que les tolérances de construction peuvent rendre difficiles à insérer. On préférera les remplacer par des tirettes en recouvrement.

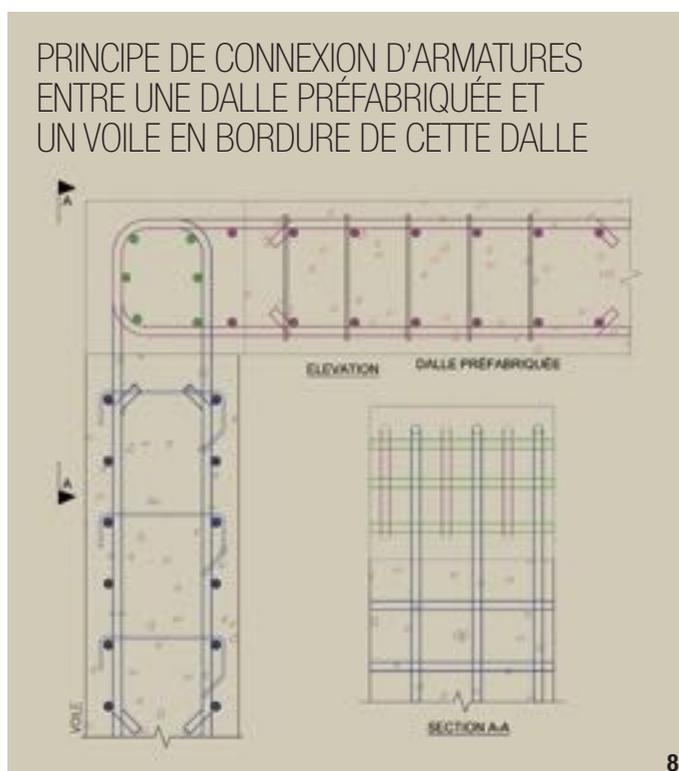
Ensuite, le principal problème est d'empêcher que certaines armatures soient en collision avec des attentes mal positionnées dépassant des structures déjà coulées. Ce point peut être anticipé dans les plans de ferrailage, en laissant autant de latitude que possible entre les barres horizontales et verticales. De préférence une demi-maille, soit 100 mm (figure 8).

Dans certains cas, on peut aussi mettre des aciers de plus gros diamètre que requis par le calcul, ce qui permet de ne pas reconnecter quelques barres isolées tout en respectant la section demandée.

Enfin, sur chantier, on utilise des gabarits pour poser les armatures au plus près de leur emplacement théorique. Et les attentes dépassant des éléments préfabriqués sont couplées, ce qui garantit qu'on arrivera dans tous les cas à installer la charge sur ses supports temporaires et libérer la grue. Si des conflits sont détectés, leur analyse et la mise en œuvre d'actions correctives peuvent se faire sans urgence. Il est par exemple possible de dévier les aciers grâce à leur élasticité, en se servant



7 © BYLOR



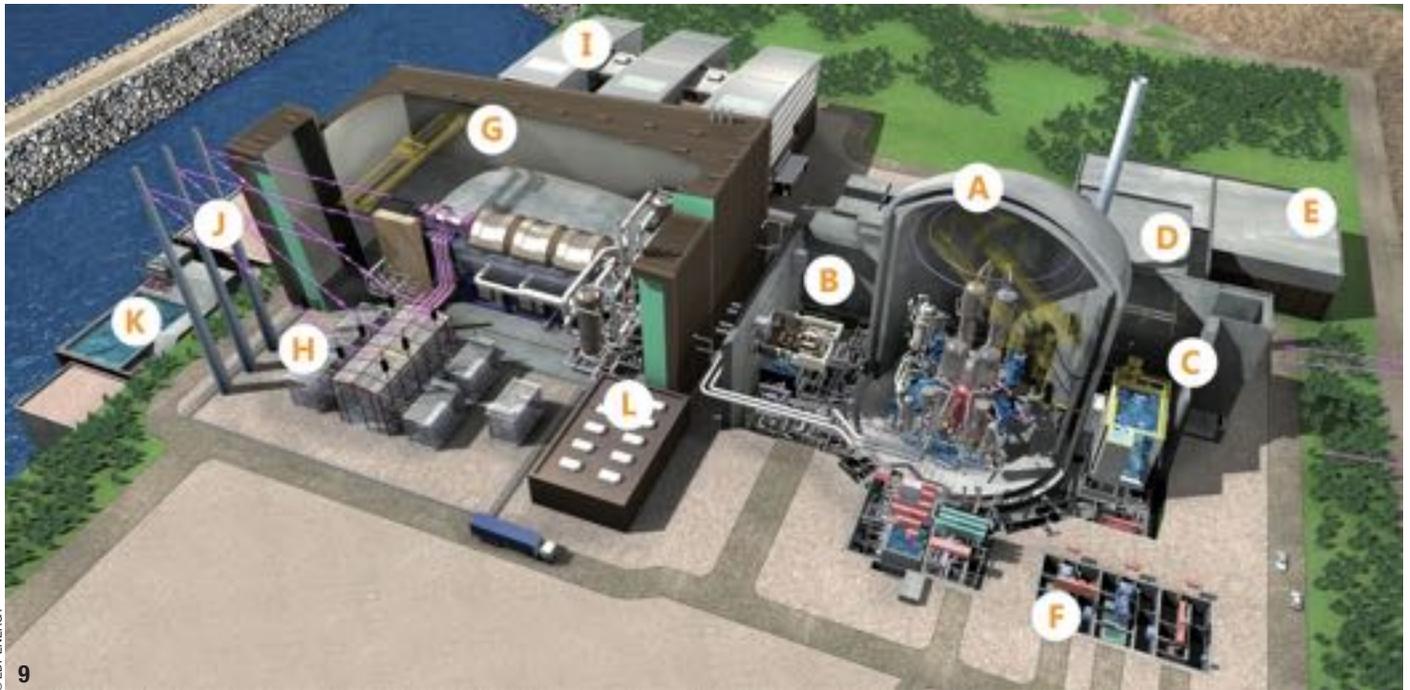
8 © BYLOR

7- Vue des deux trains de roues de la grue SGC 250, au croisement entre les rails droits et les rails circulaires.

8- Principe de connexion d'armatures entre une dalle préfabriquée et un voile en bordure de cette dalle.

7- View of the two wheel sets of the SGC 250 crane, at the junction between the straight rails and circular rails.

8- Technique for connection of rebars between a prefabricated slab and a shear wall on the border of the slab.



© EDF ENERGY

9

VUE GÉNÉRIQUE ÉCLATÉE D'UNE TRANCHE EPR

Les bâtiments A, B, C forment ce qui est couramment appelé la croix nucléaire (figure 9) :

- A - Bâtiment Réacteur
- B - Quatre bâtiments de sauvegarde
- C - Bâtiment combustible
- D - Bâtiment des auxiliaires nucléaires
- E - Bâtiment de traitement des déchets radioactifs
- F - Groupe Diesel de secours
- G - Bâtiment Turbine
- H - Plateforme de transmission
- I - Centre d'opérations
- J - Station de pompage
- K - Déversoir
- L - Bâtiment électrique conventionnel

si nécessaire de palans pour les plus gros diamètres.

Une fois la reconnexion du ferrailage effectuée, on coule le clavage. S'il y a un accès par le haut, cette activité est faite de façon traditionnelle. Dans le cas de voiles en sous-œuvre, on aura généralement prévu de laisser des traversées pour faire passer les goulottes

de bétonnage. Ce n'est pas toujours possible : dans ce cas, on utilise alors un système d'injection de béton sous pression. Ces méthodes permettent de s'assurer que le remplissage a été fait jusqu'au bout, sans formation de poches d'air.

Lorsque le béton a atteint sa résistance nominale, les vérins en tête des

9- Vue générale éclatée d'une tranche EPR.

9- Exploded generic view of an EPR unit.

tours d'étalement sont rentrés dans leur cylindre, et on démonte ensuite le matériel afin de l'évacuer par les ouvertures du bâtiment.

À ce stade, plus rien ne distingue alors les préfabriques du reste des structures. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 640 éléments préfabriqués lourds, dont 103 de plus de 200 t
- 23 000 m³ de béton préfabriqué sur les 475 000 m³ au total de l'îlot Nucléaire, soit environ 5%
- 2 300 m³ de béton préfabriqué sur les 16 250 m³ au total du Bâtiment Réacteur, soit environ 14%
- Grue SGC250 : capacité 2 000 t à 100 m. Environ 50 translations sur rails prévues

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : EDF NNB

CONSTRUCTEUR : Bylor : Groupement Bouygues Travaux Publics et Laing O'Rourke

LEVAGE LOURD : Sarens

ABSTRACT

HINKLEY POINT C EPR, UK: HEAVY PREFABRICATION

BERTRAND DE LAVARÈNE, BOUYGUES TP / BYLOR JV

More than six hundred heavy prefabrication operations are planned on the Hinkley Point C construction site, in order to accelerate the work schedule compared with previous projects. Components weighing up to 1100 tonnes will be installed by the Sarens SGC 250 crane. This crane is mounted on rails to travel across the site between three lifting positions. Using a 3D model containing all the rebars and inserts, it is possible to calculate structures' centre of gravity precisely and adapt the arrangement of reinforcing bars to these prefabrications far upstream. Other more specific developments were implemented, notably to facilitate the management of construction zones. □

EPR HINKLEY POINT C, UK: PREFABRICACIÓN PESADA

BERTRAND DE LAVARÈNE, BOUYGUES TP / BYLOR JV

Está previsto utilizar más de seiscientos prefabricaciones pesadas en la obra de Hinkley Point C con el objetivo de acelerar la planificación respecto a los anteriores proyectos. Se instalarán elementos con pesos de hasta 1.100 t utilizando la grúa SGC 250 de Sarens, montada sobre unos railes que permiten situarla en tres posiciones de elevación en la obra. Una maqueta en 3D que cubre la totalidad del armado y los insertos permite calcular con precisión el centro de gravedad de las estructuras y adaptar con mucha antelación el ajuste entre las armaduras y las prefabricaciones. Se han aplicado otros desarrollos más específicos, en particular para facilitar la gestión de las zonas de construcción. □



EPR DE HINKLEY POINT C : CONSTRUCTION SANS PLANS 2D DES CAGES D'ARMATURES PRÉFABRIQUÉES

AUTEUR : HÉLÈNE KERVRAN, RESPONSABLE DE LA COORDINATION DES ÉTUDES, BOUYGUES TP/BYLOR JV

DANS LE CADRE DU PROJET DE LA CONSTRUCTION DE DEUX TRANCHES D'EPR À HINKLEY POINT (SOMERSET, ROYAUME-UNI), L'ENTREPRISE DE CONSTRUCTION BYLOR (GROUPEMENT BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - LAING O'ROURKE) A DÉVELOPPÉ UN PROCÉDÉ INNOVANT CONSISTANT À UTILISER ET ENRICHIR LES MODÈLES 3D POUR CONSTRUIRE LES CAGES PRÉFABRIQUÉES D'ARMATURES SANS PLANS 2D. CETTE NOUVELLE MÉTHODE POURRA ÊTRE À L'AVENIR ÉTENDUE À D'AUTRES TYPES DE CONSTRUCTION D'ARMATURES, NOTAMMENT IN-SITU.

LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet de la construction de deux tranches d'EPR (European Pressurized Water Reactor) à Hinkley Point C (HPC) présente des enjeux majeurs pour le client NNB (Nuclear New Build, filiale d'EDF Energy au Royaume-Uni) et l'entreprise de construction Bylor responsable des travaux de Génie Civil Principal :

- La taille du projet et sa durée ;
- Les risques liés au planning (à la fois études et construction) ;

- La complexité technique du projet ;
- La prise en compte des retours d'expérience des projets EPR précédents (Olkiluoto 3, Flamanville 3, Taishan).

Aussi le client et l'entreprise ont pris le parti de développer deux axes innovants importants :

- La préfabrication d'un maximum d'éléments, notamment le pré-assemblage en cages ou en panneaux des armatures de tous les voiles ;

1- Avancement de l'îlot Nucléaire de l'Unité 1 fin 2019.

1- Work progress on the nuclear island of Unit 1 at end-2019.

- L'utilisation généralisée de la 3D notamment pour les armatures.

LA PRÉFABRICATION À HPC

Différents types de préfabrication sont prévus par Bylor pour répondre aux enjeux décrits ci-dessus :

- Ponctuellement, préfabrication dite "lourde" des éléments béton les plus complexes (voir article "HPC - Préfabrication lourde") ;
- Préfabrication des rondeaux de liner de l'enceinte du bâtiment réacteur ;
- Préfabrication quasi-industrielle des armatures :



2

© EDF ENERGY

- Atelier dédié pour la construction "manuelle" de cages et de panneaux,
- À terme (courant 2020), mise en place d'une usine automatique pour l'assemblage des panneaux préfabriqués (ces panneaux pouvant ensuite être assemblés en cages à l'atelier).

LES ARMATURES : UN ENJEU MAJEUR D'UN PROJET EPR

Sur la base de l'expérience acquise sur les projets d'EPR précédents, Bylor

2- Ferrailage du radier commun de l'Unité 1 de HPC.

3- Extrait d'un modèle d'armatures.

2- Rebars for the common foundation raft of HPC Unit 1.

3- Excerpt from a reinforcing bar model.

a identifié le montage des armatures comme un des facteurs déterminants pour la réussite de Hinkley Point C (figure 1). Ceci est dû à la complexité et à la densité du ferrailage rencontré sur un tel projet (figure 2), qui découlent des normes strictes nécessaires à une structure nucléaire ; de plus, la présence de très nombreux inserts dans la structure génie civil (pour les équipements de la centrale) crée une interface très forte qui impacte le ferrailage. Pour Bylor, les axes d'amélioration liés à cette problématique sont les suivants :

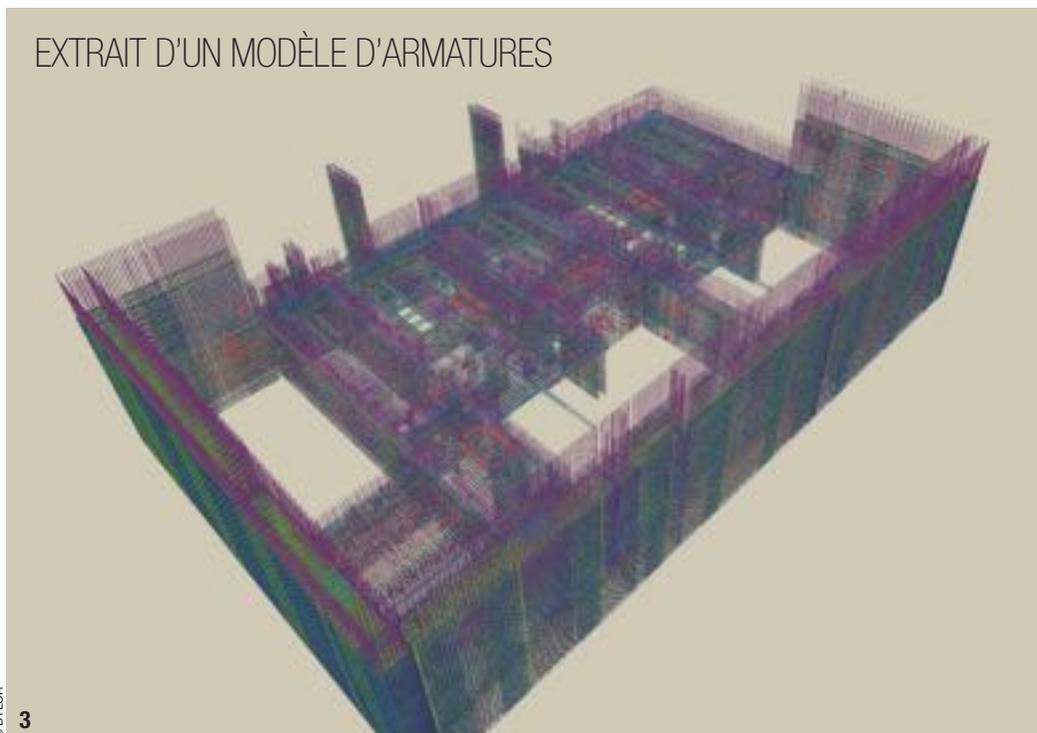
- Préfabriquer le ferrailage de façon quasi-industrielle ;
- Optimiser les cycles de production dans leur globalité ;
- Tirer le meilleur profit des modèles 3D et de leur intelligence (voir "Structuration des modèles 3D") pour améliorer la productivité et la qualité.

RÉALISATION DES ÉTUDES

Le client a en charge les études du génie civil, elles-mêmes réalisées par différents bureaux d'études externes. Ceux-ci réalisent à la fois les calculs structures et la préparation des documents nécessaires à la construction (plans de coffrage, de ferrailage, etc.). Tous les éléments de la centrale sont modélisés en 3D : béton, armatures, inserts, ... et centralisés dans une maquette développée conjointement par les différents bureaux d'études du client. Un cahier des charges développé par le client et l'entreprise a permis de définir les requis pour rendre la maquette intelligente et exploitable au mieux le long de la vie du projet, notamment en phase de construction (voir "Structuration des modèles 3D").

S'agissant des armatures, les bureaux d'études utilisent le logiciel Tekla de la société Trimble pour dessiner les barres (figure 3) et le béton en 3D, et également générer les plans en deux dimensions ; ces deux livrables sont émis officiellement par le client à l'entreprise pour la phase de réalisation. La préparation des plans 2D d'armatures issus de la maquette numérique pose différents problèmes :

EXTRAIT D'UN MODÈLE D'ARMATURES



© BYLOR

3

- Manque d'automatisation du logiciel Tekla de la 3D vers la 2D (nécessité d'opérations manuelles d'édition des plans), engendrant des risques d'erreurs se répercutant en retards sur le chantier ;
- Durée de production élevée (pour la même raison) ;
- Une perte d'intelligence par rapport au modèle 3D.

Sur le chantier, on constate régulièrement des incohérences entre modèle 3D et plans 2D, qui génèrent des retards dus au temps de clarification par les bureaux d'études.

INNOVATION DÉVELOPPÉE POUR LA CONSTRUCTION SANS PLANS

Sur chantier, l'équipe en charge de la préfabrication des cages et panneaux d'armatures (figure 4) doit préparer pour chaque élément à construire des documents d'exécution contenant toutes les informations nécessaires à la réalisation des pré-assemblages à l'atelier (cotes par rapport aux masques...) non présentes initialement dans les plans fournis par les bureaux d'études. Ceci est fait manuellement sur le modèle 3D pour chaque élément et chaque cote, et transmis sous format papier à l'équipe de production.

Pour optimiser les cycles de production de la préfabrication, la direction technique de Bylor a décidé de développer un nouveau processus permettant de construire les pré-assemblages d'armatures sans plans, directement à partir de modèles 3D enrichis. L'objectif est d'éliminer la phase de préparation des plans de préfabrication, gagner en qualité en éliminant l'étape de conversion 3D/2D, et enfin gagner en qualité sur chantier grâce à l'utilisation directe des outils 3D.

La procédure résumée est la suivante :

- Réception des modèles d'armatures du client (modèle géométrique, sans annotations) :
 - Ces modèles contiennent toutes les armatures et les inserts présents dans la structure béton (une vérification des clachs a été faite au préalable par le bureau d'études).
- Extraction des métadonnées de ce modèle dans une base de données.
- Génération automatique d'un modèle enrichi comprenant toutes les annotations nécessaires pour la construction :
 - Celui-ci présente à la fois les informations d'un plan d'armatures classique, ainsi que des informations supplémentaires selon



4
© BYLOR

un cahier des charges défini par l'équipe de préfabrication, correspondant à leur méthode d'assemblage.

- Utilisation des modèles à l'atelier de pré-assemblage comme support autoportant lors de la pose des aciers :

- Élimination des plans sur papier.

La procédure de génération des modèles "d'exécution" est détaillée ci-dessous.

Les modèles préparés par les bureaux d'études du client sont dessinés dans le logiciel de modélisation Tekla, et livrés à l'entreprise en format IFC (Industry

4- Cage préfabriquée d'armatures.

5- Modèle enrichi SketchUp (exemple 1).

4- Prefabricated reinforcing cage.

5- Enriched SketchUp model (exemple 1).

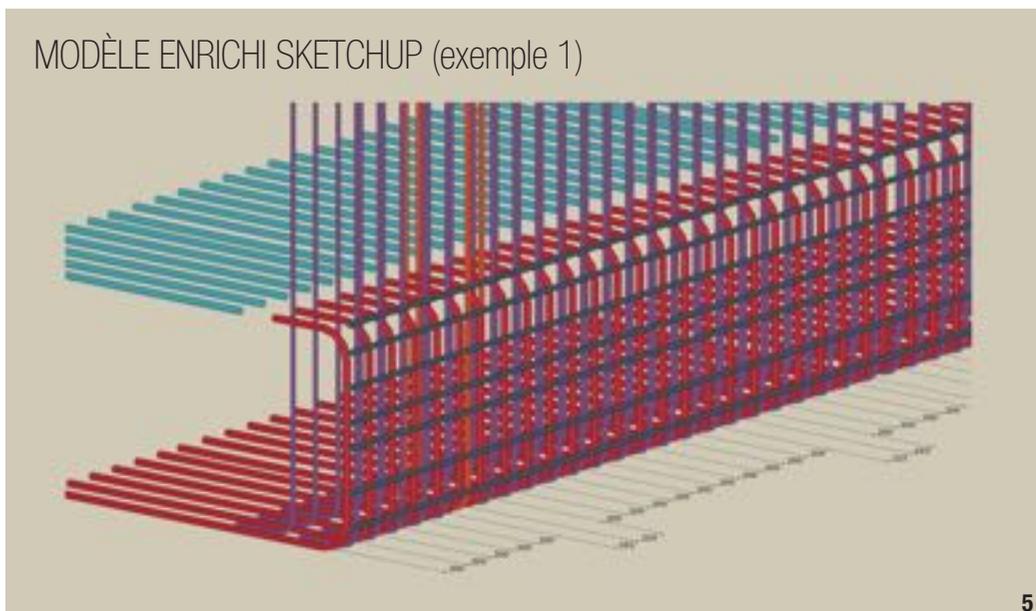
Foundation Classes, format d'échange international).

La direction technique de Bylor a développé un programme codé en Python (langage de programmation) permettant l'extraction des données nécessaires à la construction contenues dans les fichiers IFC (métadonnées) : nombre de barres, diamètres, lits... Certaines de ces données sont directement accessibles dans le fichier IFC (par exemple, diamètres des barres), et certaines, non présentes dans les métadonnées, sont calculées géométriquement par le programme développé par Bylor (espacements...). Ces informations sont stockées dans une base de données. Bylor a ensuite développé une extension du logiciel de dessin SketchUp écrit en Ruby (langage de programmation) permettant de lire cette base de données, de calculer toutes les cotes requises par l'équipe de préfabrication, et de générer un nouveau modèle annoté dans SketchUp.

Le modèle final obtenu est donc généré automatiquement suite aux actions effectuées par les deux programmes développés par Bylor, et contient toutes les cotes nécessaires à la pose des armatures à l'atelier de préfabrication (figures 5 & 6). Ce modèle remplace donc les plans de ferrailage 2D traditionnels.

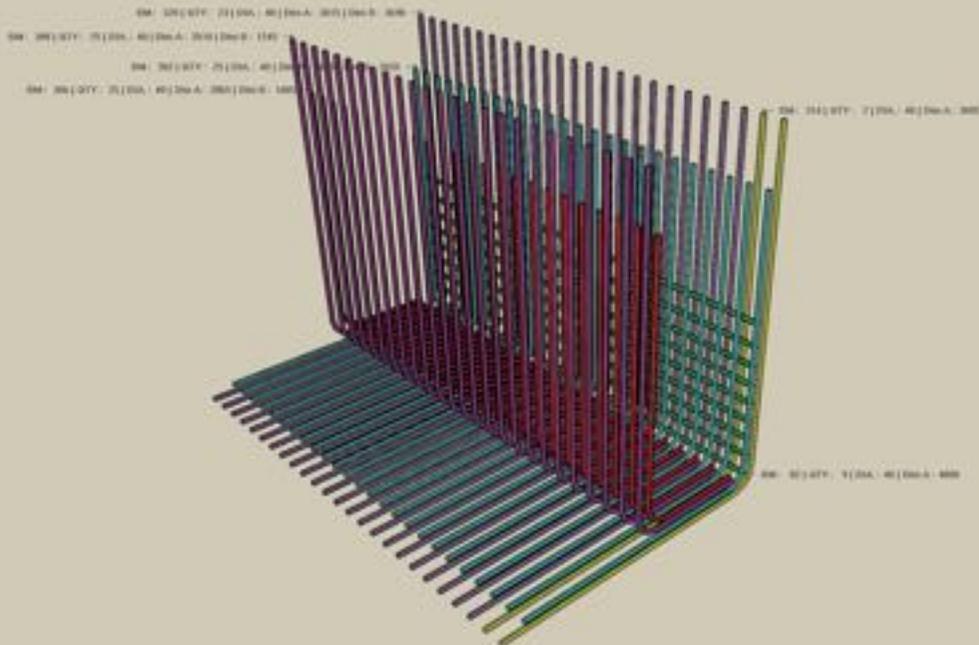
Les avantages principaux constatés sont les suivants :

- Élimination du risque d'incohérence entre les plans 2D et le modèle 3D :
 - Le modèle d'exécution est automatiquement généré à partir du modèle 3D, sans intervention manuelle.



5
© BYLOR

MODÈLE ENRICHİ SKETCHUP (exemple 2)



© BYLOR
6

→ Aucun travail nécessaire par l'équipe de préfabrication pour ajouter des cotes nécessaires au montage des barres.

Le cahier des charges des informations et annotations nécessaires dans les modèles a été défini en amont en interne Bylor entre l'équipe de production et la Direction Technique en charge des développements. L'innovation peut être résumée comme suit :

- Enrichissement de la maquette numérique de ferrailage par l'ajout de cotations générées automatiquement ;
- Prise en compte des besoins de la production ;
- Utilisation directe des modèles 3D pour la construction.

UTILISATION SUR CHANTIER

Les modèles reçus du bureau d'études du client sont d'abord subdivisés entre éléments à pré-assembler (typiquement, une cage). Ces modèles sont ensuite traités comme expliqué précédemment pour générer des modèles SketchUp annotés automatiquement (la manipulation prenant au plus quelques minutes). Dans les bureaux de chantier, les ingénieurs utilisent le logiciel sur ordinateur SketchUp Pro qui permet de naviguer plus facilement dans les arborescences de sélection, et de préparer des vues utilisables directement pour le montage des armatures (par exemple, un lit particulier avec un type de cote particulier).

6- Modèle enrichi SketchUp (exemple 2).

7- Utilisation du modèle sur tablette sur chantier.

6- Enriched SketchUp model (exemple 2).

7- Use of the model on a tablet on site.

Sur chantier, les superviseurs et compagnons utilisent sur tablette le logiciel SketchUp Viewer (figure 7), qui a des fonctionnalités moins avancées que SketchUp Pro ; ils peuvent alors travailler à partir des vues préalablement enregistrées par les ingénieurs qui leur permettent de poser les armatures, mais aussi de naviguer dans le modèle, sélectionner/désélectionner des éléments ou des côtes, prendre des mesures, zoomer/dézoomer...

AVANTAGES PRINCIPAUX POUR L'ENTREPRISE

De façon générale, l'utilisation de la 3D pour la construction a pour avantage principal de faciliter la visualisation des

éléments à construire, des interfaces, et également de naviguer en sélectionnant les éléments à visualiser souhaités.

Le montage des barres d'armatures sur la base de modèles 3D plutôt que de plans 2D comme fait habituellement a pour avantages principaux :

- Facilité de manipulation, visualisation aisée :
 - possibilité de naviguer dans le modèle géométriquement, de zoomer, mais aussi cacher/montrer des éléments à l'envi.
 - Flexibilité de l'affichage des informations ;
 - Accessibilité assurée à l'information (tous les documents sont accessibles tout le temps par tous, depuis tous les terminaux) ;
 - Garantie d'utiliser le dernier indice de tous les documents (amélioration de la qualité) ;
 - Vitesse de partage de l'information/synchronisation automatique ;
 - Possibilité de prendre des informations complémentaires directement sur le modèle (cotes, etc.) si nécessaire ;
 - Économie de papier ; garantie de non destruction des plans papier.
- Après une période d'apprentissage nécessaire pour les différents utilisateurs de l'équipe de préfabrication (ingénieurs, chefs de chantier, compagnons), tous sont maintenant satisfaits du résultat obtenu et préfèrent désormais ce mode de travail plutôt que les plans 2D utilisés traditionnellement, pour les raisons citées ci-dessus. Le travail est facilité pour tous les intervenants, la qualité est améliorée, il y a moins de perte de temps en recherche d'informations.

STRUCTURATION DES DONNÉES

La bonne définition du cahier des charges des modèles 3D (béton, armatures, inserts, etc.) dès le début du projet a permis l'exploitation au mieux de cette ressource.

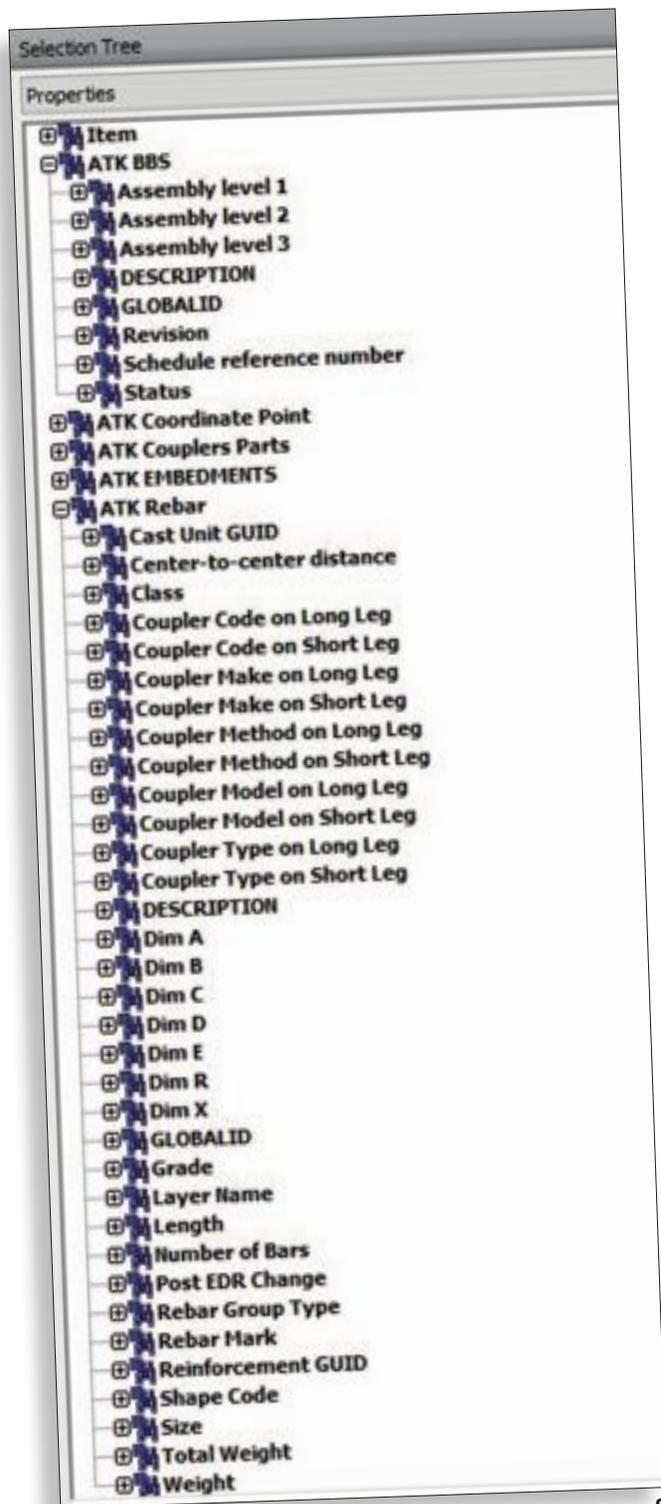
Notamment, les modèles 3D peuvent être utilisés pour :

- Le programme "4D" : lier le planning et les modèles ;
- La commande des matériaux via la 3D (gain de temps et de fiabilité) ;
- La prévision et le suivi des quantités (volumes, tonnages...) ;
- Les fournisseurs de matériel pour développer leurs études (coffrage...).

Concernant la construction sans plans, la bonne structuration des modèles est primordiale et essentielle pour parvenir à les exploiter sur le chantier (figure 8) : ▷



7
© BYLOR



© BYLOR 8

- Niveaux d'assemblage correspondant à la séquence de construction (référence de plot béton, panneau ou cage préfabriquée, zones in-situ...);
- Définition des différents lits d'armatures;
- Définition de la fonction des barres;
- Etc.

PERSPECTIVES

Bylor travaille maintenant pour étendre la construction sans plans à d'autres types de ferrailage sur le projet HPC, notamment dans les zones dites "in-situ".

Il s'agit là d'une problématique plus complexe que celle déjà résolue des

cages préassemblées car cela oblige à passer d'un problème quasi bidimensionnel à un problème tridimensionnel. De plus, les éléments à construire peuvent avoir des formes plus variées, plus complexes; il faut également prévoir de positionner les éléments préassemblés entre eux et par rapport aux bords béton et aux axes géométriques de référence du projet, et ce dans les 3 dimensions. Des essais seront menés en 2020 à ces fins.

La base de données créée à partir des modèles 3D d'armatures pour la construction sans plans servira aussi de donnée d'entrée pour l'usine automatisée des panneaux d'armatures (*mesh factory*). En effet, les informations nécessaires sont les mêmes pour un modèle annoté automatiquement utilisé par un opérateur à l'atelier de préfabrication manuelle, comme pour le robot de la *mesh factory*: nombre de barres, espacement, etc. □

8- Arborecence d'un modèle.

8- Tree structure of a model.

PRINCIPALES QUANTITÉS (2 tranches)

TONNAGE D'ARMATURES TOTAL : 210000 t

TAILLE MAXIMALE D'UNE CAGE PRÉFABRIQUÉE STANDARD : 13 m x 9 m

NOMBRE DE CAGES PRÉFABRIQUÉES ATTENDUES : environ 10000 u

DIAMÈTRE MOYEN DES ARMATURES PRINCIPALES : 32 mm

DURÉE PRÉVUE DU PROJET (GÉNIE CIVIL) : 7 ans

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : NNB - EDF ENERGY

RESPONSABLES DU DESIGN : EDF ; Edvance pour l'îlot nucléaire, Cnepe pour le reste des structures

BUREAUX D'ETUDES : Icos (Egis, Tractebel, Setec tpi), Atkins, Ingerop

ENTREPRISE GROS OEUVRE : Bylor (Bouygues Travaux Publics + Laing O' Rourke)

ARMATURIER : Express

ABSTRACT

HINKLEY POINT C EPR: CONSTRUCTION OF PREFABRICATED CONCRETE REINFORCING CAGES WITHOUT 2D DRAWINGS

HÉLÈNE KERVRAN, BOUYGUES TP/BYLOR JV

Reinforcement is a major construction issue for an EPR project. For the two units undergoing construction at Hinkley Point C (United Kingdom), the Bylor construction consortium has established a novel process consisting of constructing reinforcement pre-assemblies directly from the 3D computer model, without using conventional two-dimensional drawings. This results in time savings (in the design engineering and construction phases) and improved quality, and in particular it makes work easier for the teams on site. Bylor now wants to extend this practice to in-situ construction, and not confine it to prefabrication. □

EPR DE HINKLEY POINT C: CONSTRUCCIÓN SIN PLANOS EN 2D DE LAS JAULAS DE ARMADURA PREFABRICADAS

HÉLÈNE KERVRAN, BOUYGUES TP/BYLOR JV

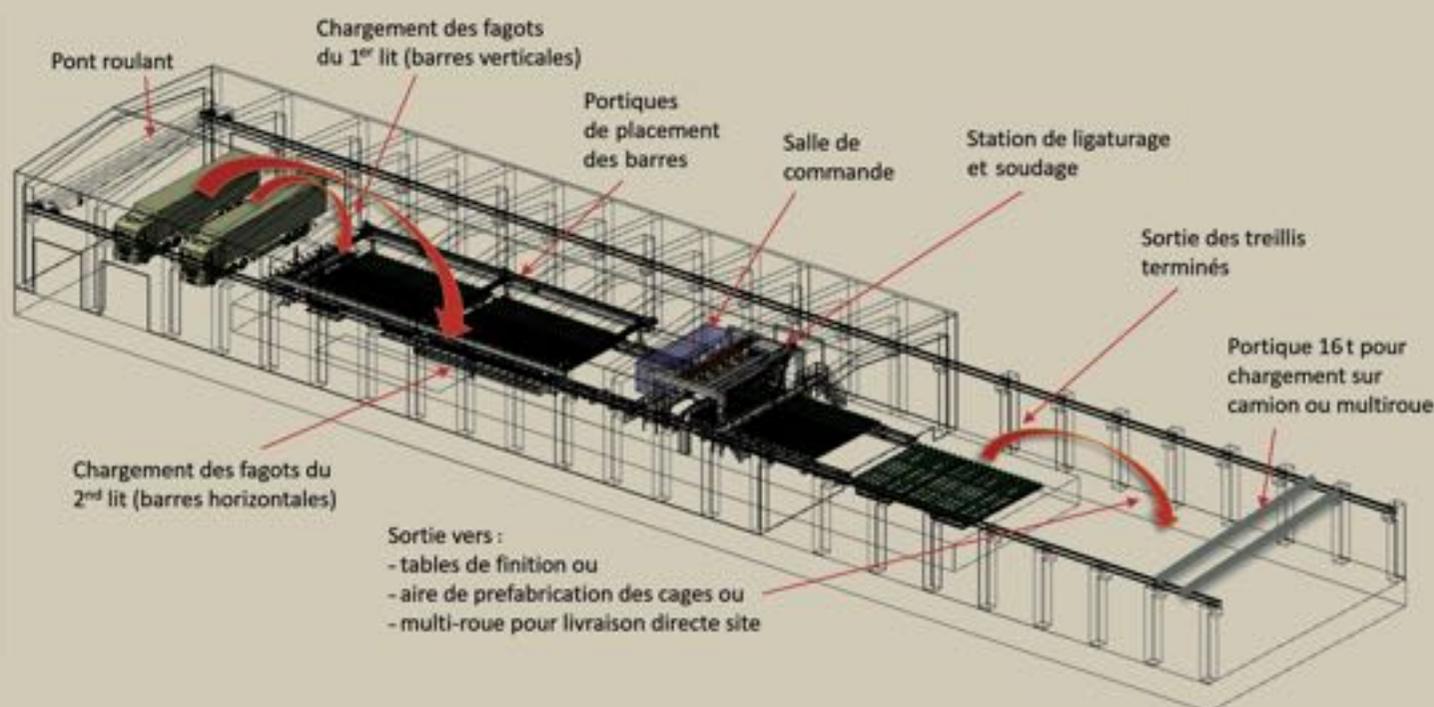
El armado es un reto clave en la construcción de un proyecto de EPR. Para las dos unidades en fase de realización en Hinkley Point C (Reino Unido), el consorcio de construcción Bylor ha ideado un procedimiento inédito que consiste en construir los preensamblajes de armaduras directamente a partir de la maqueta digital en 3D, sin utilizar los planos en dos dimensiones tradicionales. Esto permite ahorrar tiempo (en estudios y en la construcción), mejora la calidad y, sobre todo, facilita el trabajo de los equipos de obra. Bylor desea ahora extender esta práctica a la construcción in-situ, y no únicamente a la prefabricación. □

EPR DE HINKLEY POINT C : USINE DE FABRICATION ROBOTISÉE DE TREILLIS LOURDS (*MESH FACTORY*)

AUTEUR : FRANÇOIS PELAYO, RESPONSABLE MATÉRIEL, BOUYGUES TP/ BYLOR JV

DANS LE CADRE DU PROJET DE LA CONSTRUCTION DE DEUX TRANCHES D'EPR À HINKLEY POINT C (SOMERSET, ROYAUME-UNI), L'ENTREPRISE DE CONSTRUCTION BYLOR (GROUPEMENT BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - LAING O'ROURKE) A DÉCIDÉ DE METTRE EN PLACE UNE USINE DE FABRICATION DE TREILLIS LOURDS. EN EFFET, SUR UN TOTAL D'ENVIRON 210 000 t D'ARMATURES À INSTALLER, ENVIRON 30% SONT DÉCOMPOSABLES EN TREILLIS PLATS RECTANGULAIRES ASSEZ RÉGULIERS (DANS LES ARMATURES DES VOILES), DONC PROPICES À LA PRÉFABRICATION.

SCHÉMA GLOBAL DE L'USINE



1

© BYLOR (BOUYGUES TP - LAING O'ROURKE) - RJ INDUSTRIES

LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet de la construction de deux unités de réacteur EPR (European Pressurized Water Reactor) à Hinkley Point C (HPC) présente des enjeux techniques et des opportunités pour le client EDF NNB dont les principaux actionnaires sont EDF et Cgn (Chine) et l'entreprise

1- Schéma global de l'usine.

1- Overall diagram of the factory.

de construction Bylor responsable des travaux de génie civil principal : Dans le cadre du développement de la préfabrication, Bylor utilise une méthode innovante qui consiste à automatiser le plus possible le montage des panneaux de treillis. Ces panneaux plans 2D sont soit utilisés directement sur site pour

les ferrillages des voiles, soit utilisés comme composants plans de cages d'armatures préfabriquées volumiques. Les plans d'armatures étant entièrement créés sous forme de modèles 3D, cela a naturellement conduit au développement d'un logiciel utilisant directement ces modèles 3D.

En conservant cette information numérique de la conception à la fabrication, en évitant toute ressaisie des informations de définition des treillis, le bénéfice d'une fabrication automatisée s'en trouve augmenté.

LES ARMATURES : UN ENJEU MAJEUR D'UN PROJET EPR

Les enjeux sur ces treillis sont de trois ordres :

1- Enjeu sécurité/santé

La fabrication de treillis avec des barres aussi lourdes (jusqu'à 130 kg par barre) en manuel peut comporter des risques de manutention et, à terme, générer des troubles musculo-squelettiques (TMS) pour les ouvriers. Cette méthode innovante de mécanisation et d'automatisation diminue la manutention manuelle et limite la pénibilité et les accidents potentiels. Le seul travail manuel restant est l'étalement de fagots d'armatures sur des tables après chargement à l'aide du pont roulant, et à hauteur de travail (environ 1,20 m du sol).

2- Enjeu qualité

- La fabrication par machine permet :
- Une réduction du facteur d'erreur humaine dans l'assemblage ;
 - Une vérification intégrée de la conformité des barres (diamètre, longueur, type de terminaison) ;
 - Un marquage automatique par peinture des barres nécessitant une action manuelle en sortie (décalage de barre ne respectant pas le pas de 200 mm, ajout de petites barres non traitable par la machine...);
 - Une traçabilité des opérations d'assemblage et un suivi qualité (contrôle de la fabrication) : chaque treillis fabriqué possède sa "fiche de suivi fabrication" comportant : la référence, les composants, les éventuels événements fabrication intervenus pendant la fabrication (ex : une ligature non faite, une barre mesurée hors tolérance mais acceptée par l'opérateur, etc.) ;
 - La fiabilité, la répétabilité et le contrôle continu pour le soudage et le ligaturage.

3- Enjeu économique

- La mécanisation de la fabrication amène :
- Une économie de main d'œuvre (équipe réduite par rapport à une fabrication traditionnelle) ;
 - La flexibilité en adaptant la production aux besoins du chantier, avec

peu d'impact sur la main d'œuvre (exemple : ajout d'une troisième équipe de nuit pour augmenter significativement la production).

LA CONCEPTION DE LA MACHINE

Si les usines de treillis soudés existent déjà en France ou en Angleterre, elles s'arrêtent toutes aux diamètres 14 mm ou 16 mm. Or la particularité des treillis du chantier HPC est en premier lieu la dimension des barres, typique du génie

2- Schéma d'un treillis type (régulier).

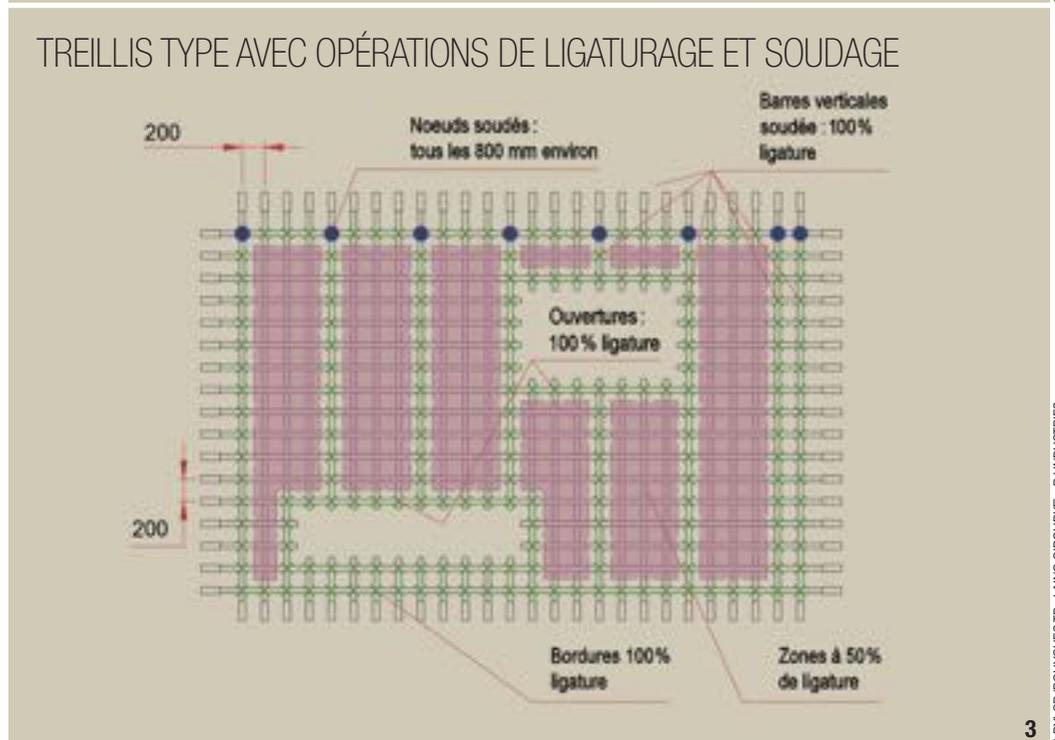
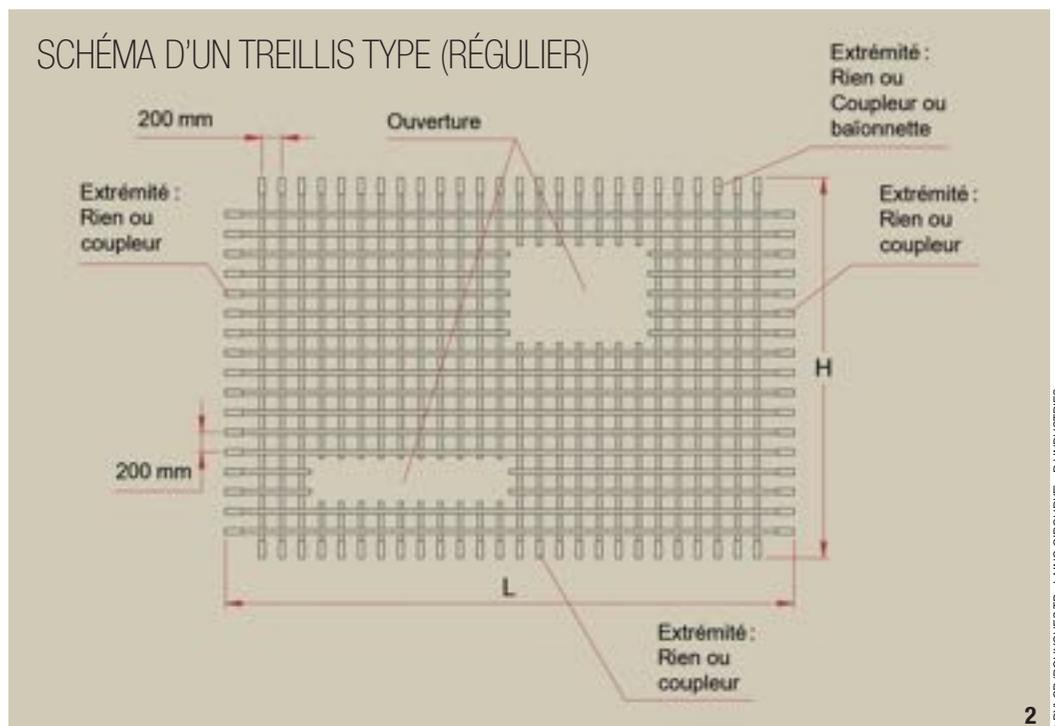
3- Treillis type avec opérations de ligaturage et soudage.

2- Diagram of a standard mesh (regular).

3- Standard mesh with binding and welding operations.

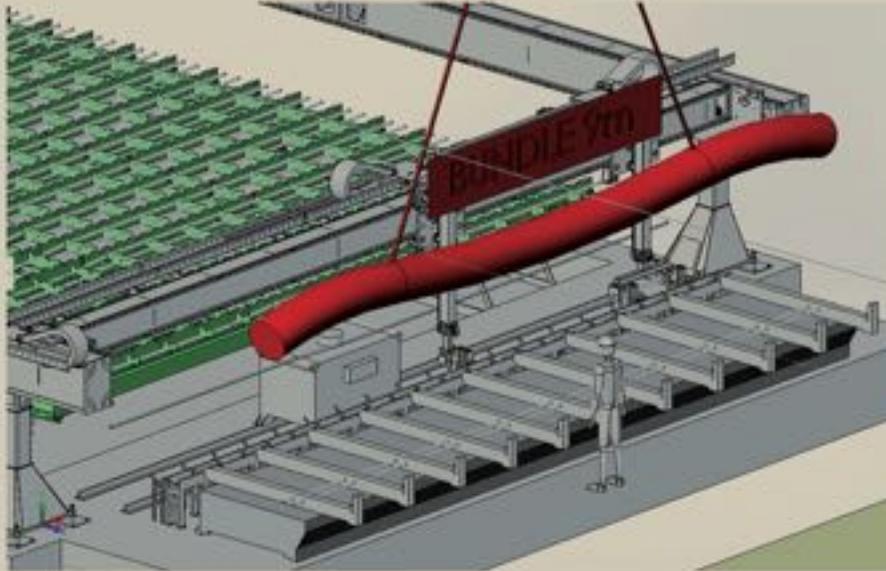
civil nucléaire : Les treillis sont composés de barres allant du diamètre 20 mm au diamètre 40 mm et dont le poids varie de 2,5 kg/m à 9,9 kg/m. La conception d'une machine traitant des objets si lourds (jusqu'à 130 kg la barre et 13 t le treillis) est donc partie d'une feuille blanche.

Bylor a donc d'abord produit un cahier des charges préliminaires pour consulter puis trouver un fournisseur ayant la capacité de produire une telle machine et établir un budget enveloppe.



POSTE DE CHARGEMENT FAGOT

(barrières de protection non représentées)



4- Poste de chargement fagot (barrières de protection non représentées).

5- Détail de la station de ligature.

4- Bundle loading station (protective barriers not shown).
5- Detail of the binding station.

CARACTÉRISTIQUES DES TREILLIS FAIT PAR CETTE MACHINE (figure 2)

→ Treillis plan (2D) d'armature, en HA20/25/32/40 de voile (mur béton) ;

→ Dimensions maxi : 13 m x 9 m, mini 3 m x 3 m ;

→ Poids du panneau/treillis : de 250 kg à 13 t ;

→ Extrémités des barres avec ou sans coupleurs ;

→ Possibilité d'extrémité haute en baïonnette ;

→ Espacement horizontal/vertical 200 mm ;

→ Nœuds (croisement de barre) ligaturés ;

→

© NNB - BYLOR (BOUYGLIÈS TP - LAING O'ROURKE) - RJ INDUSTRIES

4

Après la sélection du fournisseur (RJ Industrie), Bylor a choisi de passer par une phase de co-rédaction du cahier des charges final avec le fournisseur et les Méthodes Bylor, de façon à bien définir un avant-projet détaillé de la machine en accord avec le bureau d'études et la production (période d'environ 6 mois).

Grâce à cette phase de co-conception, la phase suivante (conception détaillée) a peu dévié de l'avant-projet détaillé et a permis d'orienter très tôt les bureaux d'études vers une conception des armatures favorisant au mieux la préfabrication (par exemple : respect de la trame de 200x200 au mieux, respect des dimensions maxi, etc.).

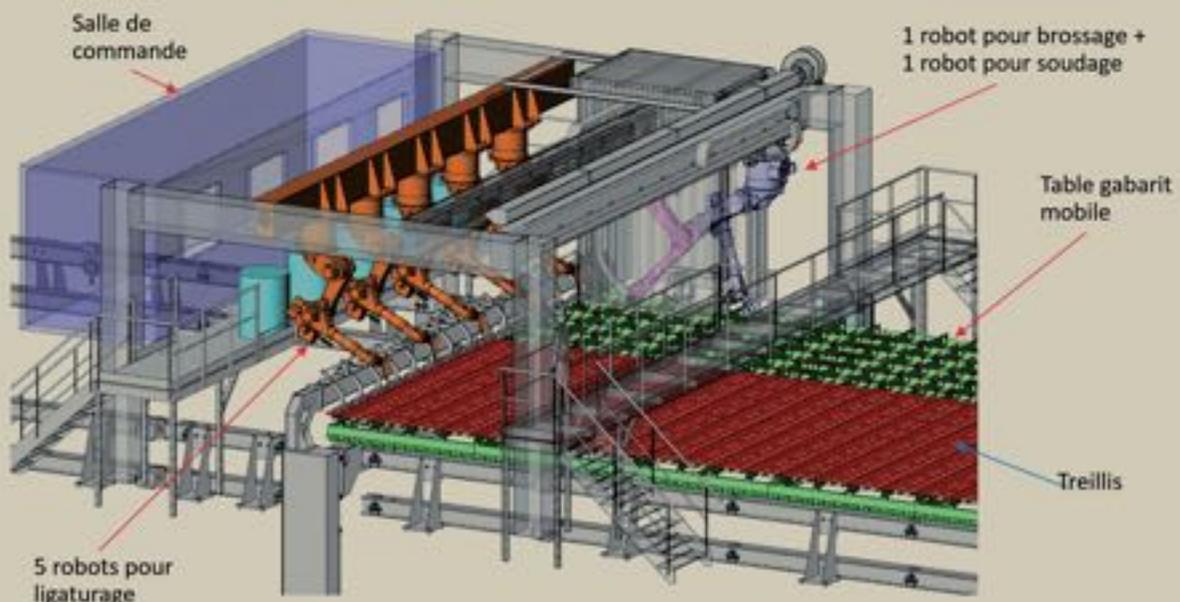
PRÉSENTATION DE L'USINE (figure 1)

L'usine est installée sur le site, dans la zone de préfabrication des armatures.

Elle mesure globalement 140 m de long et 28 m de large.

La machine elle-même mesure 75 m x 14 m, abritée dans un atelier.

DÉTAIL DE LA STATION DE LIGATURE



© BYLOR (BOUYGLIÈS TP - LAING O'ROURKE) - RJ INDUSTRIES

5

- Nœuds soudés (croisement de barre, mais uniquement sur la barre supérieure pour raison de levage) ;
- Possibilité d'ouvertures dans les treillis (correspondant à une porte ou un passage d'équipement dans un voile) ;
- Possibilité de diamètres de barres différents au sein d'un lit (avec 1 cran d'écart, par exemple HA40/HA32).

LES ÉCHANGES D'INFORMATION / PRÉPARATION DONNÉES D'ENTRÉE USINE

Même si les informations du ferrailage sont reçues numériquement en 3D, un traitement manuel reste à faire par l'équipe Méthodes du chantier :

1- Sélection du treillis.

Le premier travail est la sélection des panneaux d'armatures éligibles à la préfabrication par la machine (Mesh Factory). Cette sélection est

faite dans les plans 3D des voiles où figurent les armatures complètes. Les cages de ferrailages sont déjà repérées dans les modèles 3D (repère unique), ce qui permet une extraction facile.

- 2- Puis, parmi les treillis choisis, il arrive que quelques barres ne respectent pas les contraintes de la machine. Il faut donc faire un choix. Par exemple, si quelques barres du treillis ne respectent pas le pas (rythme) de 200 mm, un choix "Méthodes" doit être fait : Soit les barres ne sont pas posées en phase préfa par la machine (alors elles seront ajoutées en phase de finition), soit ces barres sont posées provisoirement dans la trame de 200 mm puis elles sont ripées en phase de finition. Ce second choix est plus judicieux car il est plus facile de riper une barre déjà présente qu'en apporter une nouvelle. Dans ce cas, la routine modifie l'emplacement ori-

ginal de la barre pour "rentrer" dans le pas de 200 mm, et ajoute un tag dans les données du treillis afin que la machine marque physiquement (à la peinture) la barre à déplacer. Ainsi, après fabrication du treillis, le travail de finition est plus facile et il est plus fiable (les barres à modifier se voient).

- 3- Enfin, l'équipe méthodes doit choisir quels nœuds seront ligaturés et quels nœuds seront soudés (pour raison de levage). Cette opération est manuelle, mais assistée par des routines qui suivent quelques règles (figure 3) :

- Ligature de 100 % des nœuds du contour du treillis ;

- Ligature de 100 % des nœuds autour des ouvertures ;
- Ligature de 100 % des nœuds des barres verticales qui seront soudées (pour reprise des efforts de levage) ;
- Ligature de 50 % du reste des nœuds.

Après ce travail de pré-traitement informatique du treillis, un fichier est généré automatiquement par une routine (un fichier par treillis), incluant toutes les données définissant le futur treillis (codification unique du treillis, géométrie et type des barres, choix des barres à déplacer, types de traitement des nœuds).

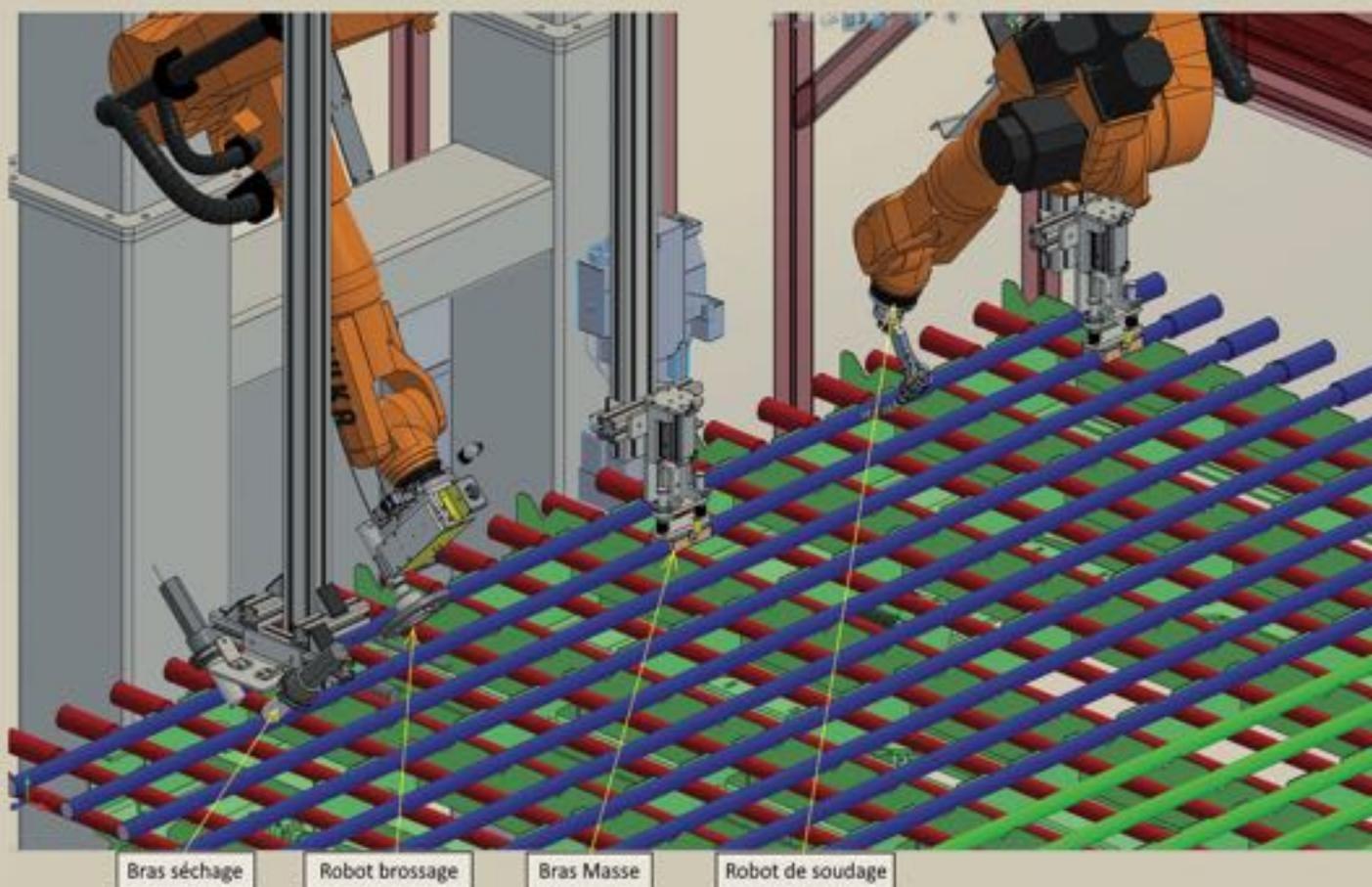
Aucune ressaisie de définition géométrique n'est requise, c'est un énorme gain de temps et de fiabilité.

Ce fichier constitue la carte d'identité du treillis. Il est la donnée d'entrée pour la machine. Ce fichier sera même complété pendant la fabrication du treillis par les données de fabrication (par

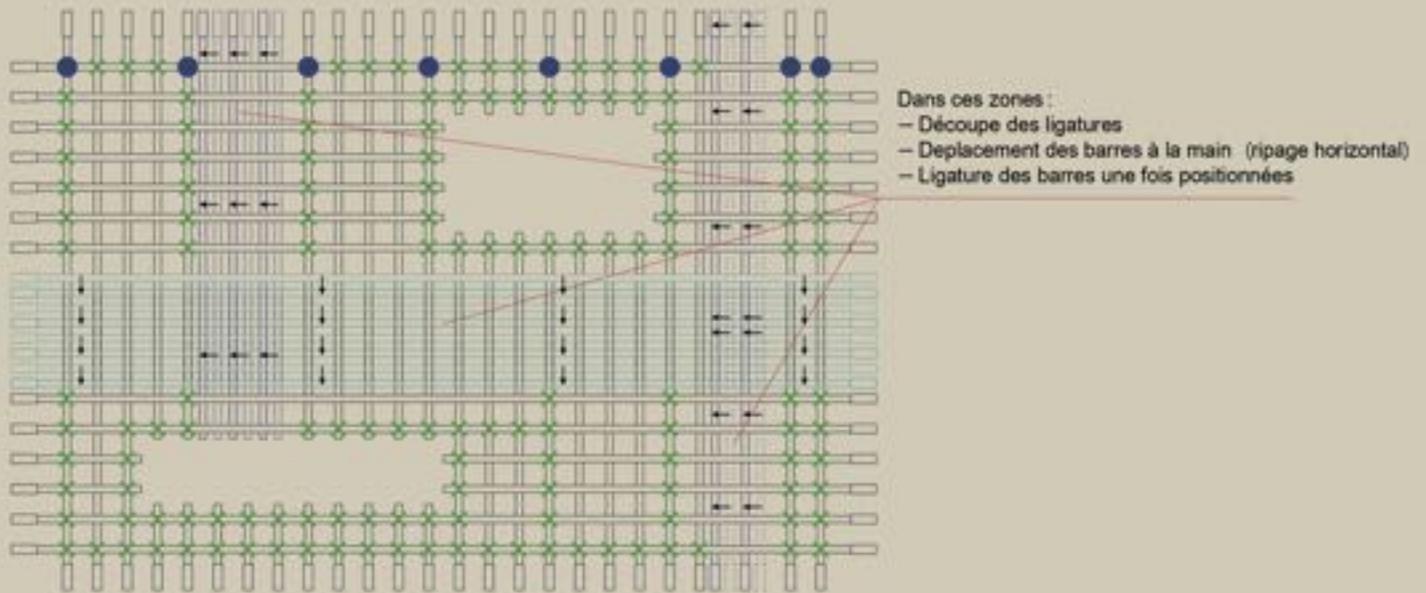
6- Poste de soudage.

6- Welding machine.

POSTE DE SOUDAGE



EXEMPLE D'UN TREILLIS À MODIFIER EN SORTIE D'USINE



7

© BYLOR (BOUYGUES TP - LAING O'ROURKE) - RJ INDUSTRIES

exemple date, opérateur, événements machine, etc.) pour assurer une traçabilité complète.

Après génération, ce fichier "treillis" alors est transmis au responsable de la fabrication des armatures qui procède aux commandes des armatures selon l'avancement du chantier (qui peut être différent de l'avancement des études).

7- Exemple d'un treillis à modifier en sortie d'usine.
8- Poste de sortie.

7- Example of a mesh for alteration leaving the factory.
8- Exit station.

Après livraison des fagots, le responsable production treillis introduit le fichier dans la machine (avec un système pile d'Ordres de Fabrication) et lance les fabrications au rythme des besoins du chantier.

À noter, la partie "treillis préfabriqués" n'est qu'une partie du traitement informatique des données 3D effectué par

Bylor (Voir dans ce même numéro l'article "Construction sans plans 2D des cages d'armatures préfabriquées").

FONCTIONNEMENT DE L'USINE

1- Les camions livrent les fagots préparés en fonction des treillis à fabriquer (maximum 3t par fagot) (figure 4).

Ces fagots sont préparés par le sous-traitant armature ("Express Reinforcement Ltd").

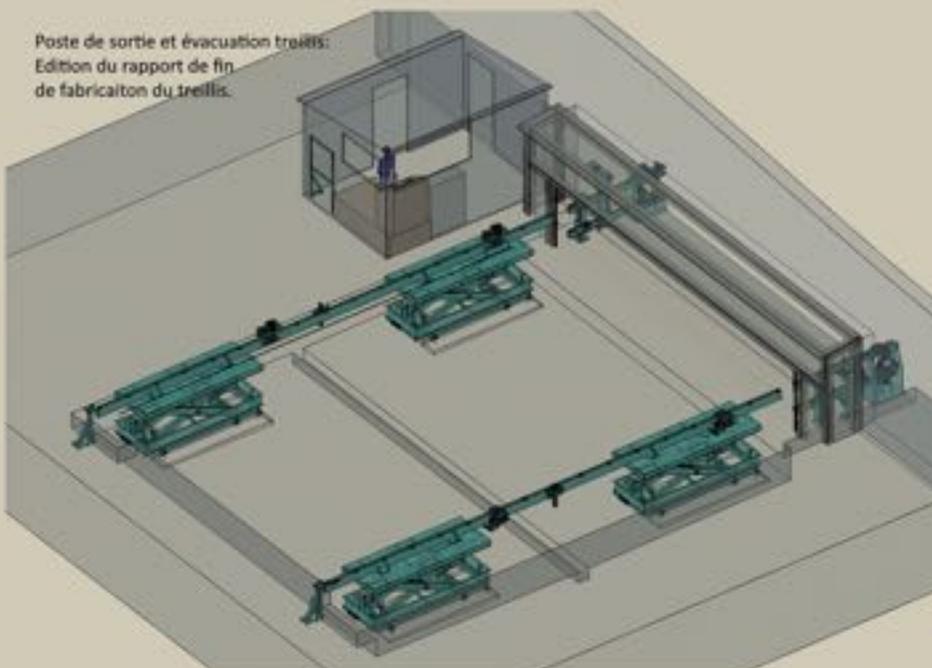
À noter, ces fagots ne diffèrent pas qu'ils soient destinés à la fabrication par la mesh factory ou à la fabrication traditionnelle manuelle sur tables au sol.

La règle est : "un fagot par repère" pour faciliter les opérations de contrôle avant utilisation du fagot. Le responsable fabrication introduit le "fichier treillis" dans la machine dans une file d'attente. Lorsque la fabrication du treillis démarre, la machine affiche la liste de barres à introduire ("la liste des ingrédients de la recette" en quelque sorte) aux 2 postes d'entrée des barres (table à étaler les fagots).

Nota : Le treillis, destiné à être posé verticalement en définitif (dans un mur ou voile) est fabriqué dans la machine à plat. Les futures barres verticales (9 m maxi) sont posées en premier puis les futures barres horizontales sont posées par-dessus.

POSTE DE SORTIE

Poste de sortie et évacuation treillis:
Edition du rapport de fin de fabrication du treillis.



8

© BYLOR (BOUYGUES TP - LAING O'ROURKE) - RJ INDUSTRIES

2- À l'aide des deux ponts roulants de l'atelier, les opérateurs déchargent les fagots sur les deux tables : une table pour les barres de 9 m maximum (les verticales du futur treillis) et une table pour les barres de 13 m maximum (les horizontales du futur treillis).

Sur un pupitre à écran tactile, les opérateurs valident le type de barres qu'ils viennent de poser sur la table ("l'ingrédient de la recette") par rapport à la liste affichée à l'écran ("la recette du treillis"). À noter, il peut y avoir plusieurs types de barres (plusieurs repères), donc plusieurs fagots, dans un même lit de treillis, en fonction des ouvertures, des changements de diamètres, des terminaisons qui peuvent varier...

3- La machine, par l'intermédiaire d'un portique *pick and place* (saisie et placement) va d'abord mesurer le diamètre et la longueur de la barre et vérifier qu'elle correspond bien à un repère présent dans la liste des barres du treillis à fabriquer. En cas de non-conformité (par exemple erreur de manipulation au chargement ou une erreur de fabrication de la barre qui est hors tolérance...) le responsable production de l'usine (le pilote de la machine) est prévenu. Il peut alors accepter ou refuser cette barre. En cas de refus, cette barre est écartée automatiquement dans une goulotte "rebut" pour être remplacée ultérieurement, mais le responsable peut décider de continuer quand même à fabriquer le treillis. En effet, si un treillis est fabriqué avec une barre manquante, il est facile de l'ajouter ultérieurement manuellement et l'opération

de préfabrication reste encore efficace et rentable.

4- Après cette phase de vérification, le portique *pick and place* pose les barres au bon endroit sur la table mobile (la table est un gabarit mobile, avec des encoches espacées de 200 mm en X et en Y). Les premières barres posées sont toujours les verticales (9 m maxi), puis les barres horizontales (13 m) sont posées au-dessus des verticales.

5- La table mobile sur laquelle se trouve le treillis déjà constitué se déplace alors au poste de ligaturage + soudage.

6- À ce poste, 5 robots industriels équipés de pistolets de ligature (*tying guns*) effectuent l'ensemble des ligatures prévues (figure 5).

À noter, les outils de ligature *tying guns* permettant de ligaturer du HA40 sur du HA40 n'existent pas dans le commerce (maximum existant : 32/32). Ils ont été développés par RJ Industrie.

7- Un robot de soudage effectue les soudures prévues (limitées à la barre haute du futur treillis, les soudures sont requises pour le levage des treillis lourds).

Un robot est dédié au brossage et séchage par air chaud avant soudage (figure 6).

8- Une fois les ligatures et soudures effectuées, la table circule jusqu'à l'extérieur de l'atelier, à portée de grue et de portique.

9- Après évacuation du treillis à la grue, la table vide est recyclée par-dessous la machine.

10- À la sortie de l'atelier (à l'extérieur), 3 tables de finition de treillis permettent d'effectuer les éventuelles

opérations non prises en compte par la machine si le cas se présente (figure 7) :

- Déplacement (ripage) des quelques barres hors trame de 200x200 mm.
- Ajout des barres hors capacité (par exemple petites barres < 1,20 m)
- Ajout des barres de contreventement pour levage si nécessaire.
- Le cas échéant, ajout des ligatures manquantes (par exemple en cas de défaillance d'un pistolet de

ligature durant la fabrication d'un treillis).

Et surtout, le contrôle visuel final obligatoire après finition.

À noter : Pour chaque treillis sortant, une imprimante édite la "fiche d'identité" récapitulant toutes les données de fabrication et listant les opérations à faire en manuel. Cette fiche, à signer après le contrôle visuel du treillis, sert de rapport de fin de fabrication du treillis (figure 8). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Tonnage total d'armatures du chantier : 210 000 t
- Taille maximale d'une cage préfabriquée dans cette usine : 13 m x 9 m. Minimale : 3 m x 3 m
- Treillis composés de barres HA 20/25/32/40, espacement 200 mm
- Quantité prévisionnelle de treillis préfabriqués : 68 000 t
- Diamètre moyen des armatures principales : 32 mm
- Équipe de production : 6 à 10 personnes/poste
- Production moyenne 1 000 m² de treillis par jour (63 t en barre moyenne HA32)
- Travail en 2 postes (15 h de travail effectif)
- Durée prévue du projet (génie civil) : 6 ans

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : EDF NNB

RESPONSABLE DE LA CONCEPTION DU GÉNIE CIVIL (RD) :

EDF ; Edvance pour l'îlot nucléaire, Cnepe pour le reste des structures

BUREAUX D'ÉTUDES : Icos (Egis, Tractebel, Setec tpi), Atkins, Ingerop

ENTREPRISE PRINCIPALE GROS ŒUVRE :

Bylor (Groupement Bouygues Travaux Publics + Laing O' Rourke)

S/T ARMATURIER : Express Reinforcement Ltd.

S/T FOURNISSEUR PRINCIPAL ET CONCEPTEUR USINE : RJ Industrie, groupe Roux-Jourfier

ABSTRACT

HINKLEY POINT C EPR: AUTOMATED HEAVY MESH FACTORY

FRANÇOIS PELAYO, BOUYGUES TP/BYLOR JV

As part of the project for construction of two EPR reactor units at Hinkley Point C (UK), Bylor (Bouygues Travaux Publics - Laing O'Rourke consortium) decided to set up a heavy mesh factory on site. A production of 68,000 tonnes is planned over six years. The factory is supplied with bundles of straight or bayonet bars and produces finished mesh of weights 250 kg to 13 tonnes. All production (placing the bars in jigs, bar binding and welding) is completely automated, performed by industrial robots. The programming for production of these meshes, excerpted directly from the reinforcement 3D models, preserves the digital information from one end of the chain to the other, from design to manufacturing, avoiding any re-entry of the mesh specification information. This factory allows gains to be achieved in terms of reliability and productivity. □

EPR DE HINKLEY POINT C: UNIDAD DE FABRICACIÓN ROBOTIZADA DE MALLAS PESADAS (MESH FACTORY)

FRANÇOIS PELAYO, BOUYGUES TP/BYLOR JV

En el marco del proyecto de construcción de dos unidades de reactor EPR en Hinkley Point C (Reino Unido), Bylor (consorcio formado por Bouygues Travaux Publics y Laing O'Rourke) ha decidido instalar una unidad de fabricación de mallas pesadas (mesh factory) en el emplazamiento de la obra. Se prevé que producirá 68.000 t a lo largo de 6 años. La unidad se abastecerá con haces de barras rectas o en bayoneta y producirá mallas acabadas de 250 kg a 13 t. El conjunto de la fabricación (colocación de las barras en gálibos, ligado de las barras y soldadura) está totalmente automatizada mediante robots industriales. La programación de la fabricación de las mallas, extraída directamente de los modelos en 3D del armado, conserva la información digital de un extremo a otro de la cadena, del diseño a la fabricación, y evita cualquier reintroducción de datos de definición de las mallas. Esta unidad mejora la fiabilidad y la productividad. □

FABRICATION MODULAIRE DES PISCINES DE L'EPR HINKLEY POINT C

AUTEUR : PAUL ESLAMI, INGÉNIEUR PROJET, BOUYGUES TP/BYLOR JV

L'EPR, COMME LES CENTRALES NUCLÉAIRES DES PRÉCÉDENTES GÉNÉRATIONS, COMPORTE EN SON SEIN DE NOMBREUX RÉSERVOIRS EN ACIER INOXYDABLE POUVANT JOUER UN RÔLE DIRECT DANS LE FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE, OU ALORS SERVIR UNIQUEMENT EN CAS D'INCIDENT. IL A ÉTÉ DÉCIDÉ POUR LA CONSTRUCTION DE L'EPR HINKLEY POINT C D'ADOPTER UNE APPROCHE MODULAIRE. CETTE APPROCHE PERMET DE LES PRÉFABRIQUER AU MAXIMUM À L'EXTÉRIEUR DU SITE ET D'INSTALLER LE MOMENT VENU L'OUVRAGE COMPLET À SON EMPLACEMENT DÉFINITIF.



CONTEXTE

Les piscines et bâches en acier inoxydable sont importantes dans une centrale nucléaire, pour plusieurs raisons. Les piscines principales des bâtiments réacteur et combustible sont remplies d'eau qui assure un rôle de radioprotection lors du transit du combustible depuis l'extérieur de la centrale jusqu'à la cuve au sein de laquelle a

1- Panneau inox en cours de construction sur son cadre rigide.

1- Stainless steel panel undergoing construction on its rigid frame.

lieu la fission et le même rôle lors de la désactivation du combustible avant sa sortie. Les bâches, quant à elles, sont des réservoirs d'eau aux caractéristiques bien spécifiques. Ces réservoirs sont sollicités en cas d'incident, pour réinjecter de l'eau dans tel ou tel circuit ou alors pour inonder le bâtiment réacteur en cas d'incident majeur. Le passage à la génération EPR a eu

des effets sur ces ouvrages en termes de design, car les différents codes et standards en constante évolution ne sont évidemment plus les mêmes que ceux utilisés pour construire les centrales du parc nucléaire français à la fin du vingtième siècle. Les pièces servant à ancrer l'acier inoxydable dans le béton sont plus nombreuses, plus complexes, plus massives. ▷

Cela a aussi eu des impacts en termes de quantité.

C'est lors de la phase d'appel d'offres et suite au retour d'expérience de projets précédents - notamment celui de l'EPR Flamanville 3 - qu'il a été décidé de préfabriquer ces piscines. Les contraintes liées à l'environnement de soudage, ainsi qu'au contrôle des soudures sont en effet peu compatibles avec les activités de génie civil et avec la vie d'un chantier en général : zones d'exclusion pour les tirs radios, zones de propreté à mettre en place et hors d'eau/hors d'air sont par exemple quelques-unes des contraintes lors de l'installation sur chantier des piscines et bâches en inox.

Le développement d'un principe de construction modulaire de ces ouvrages permet une réalisation des travaux dans de meilleures conditions que sur site et de travailler en parallèle des travaux de génie civil.

DÉFINITION DES MÉTHODES ET DES INSTALLATIONS DÉDIÉES

La première étape de ce processus fut de définir le *scope* de ces éléments préfabriqués : est-il possible d'intégrer ce voile ou cette dalle, peut-on déjà souder le revêtement inox à cette étape du processus ? À l'issue de ce processus de réflexion mené conjointement avec des représentants de l'entreprise sous-traitante en charge des ouvrages inox, une solution a été mise sur papier pour être ensuite affinée et présentée au client.

Ainsi, l'entreprise sous-traitante en charge de la fabrication assemble dans ses ateliers hors-site des panneaux en inox comprenant le revêtement, les pièces servant de point d'ancrage aux autres contrats et le système d'ancrage dans le béton (figure 1). Ces sous-ensembles seront ensuite acheminés jusqu'au chantier où ils seront connectés et soudés formant ainsi la piscine ou bâche complète, qui sera ensuite levée directement à son emplacement définitif (figure 2).

L'étape suivante fut de réfléchir aux installations chantier nécessaires à la bonne réalisation de ces ouvrages. Le plan d'installation chantier n'était pas encore figé, le moment était donc parfait pour planifier la construction de bunkers dédiés dans les zones de pré-fabrication.

Ces bunkers en béton sont assez grands pour abriter les colis préfabriqués les plus volumineux et sont situés à portée de grues à tour permettant d'y introduire facilement les sous-

ensembles et matériaux nécessaires. Les voiles, de par leur épaisseur, assurent une fonction de radioprotection qui permet de contrôler les soudures par radiographie en s'affranchissant des zones d'exclusion et des tirs de nuit uniquement. Le toit de ces bunkers, amovible ou rétractable, permet d'ouvrir une ou plusieurs cellules indépendamment des autres pour ne pas interrompre les travaux à chaque levage (figure 3).

Enfin, la proximité de moyens de levage lourds est cruciale pour installer les colis à leur emplacement définitif une fois les travaux terminés.

En effet, le poids des éléments - les plus lourds pesant plus de 1 000 t - et la distance à parcourir ne permettent pas d'utiliser des grues à tour traditionnelles.

À ce jour la construction du premier bunker sur les deux prévus est presque achevée, la dernière étape avant la mise en service est l'installation des services nécessaires aux travaux à l'intérieur des locaux, par exemple : tableaux électriques, portes, petits moyens de levage.

2- Vue simplifiée d'un compartiment de piscine après assemblage des panneaux inox.

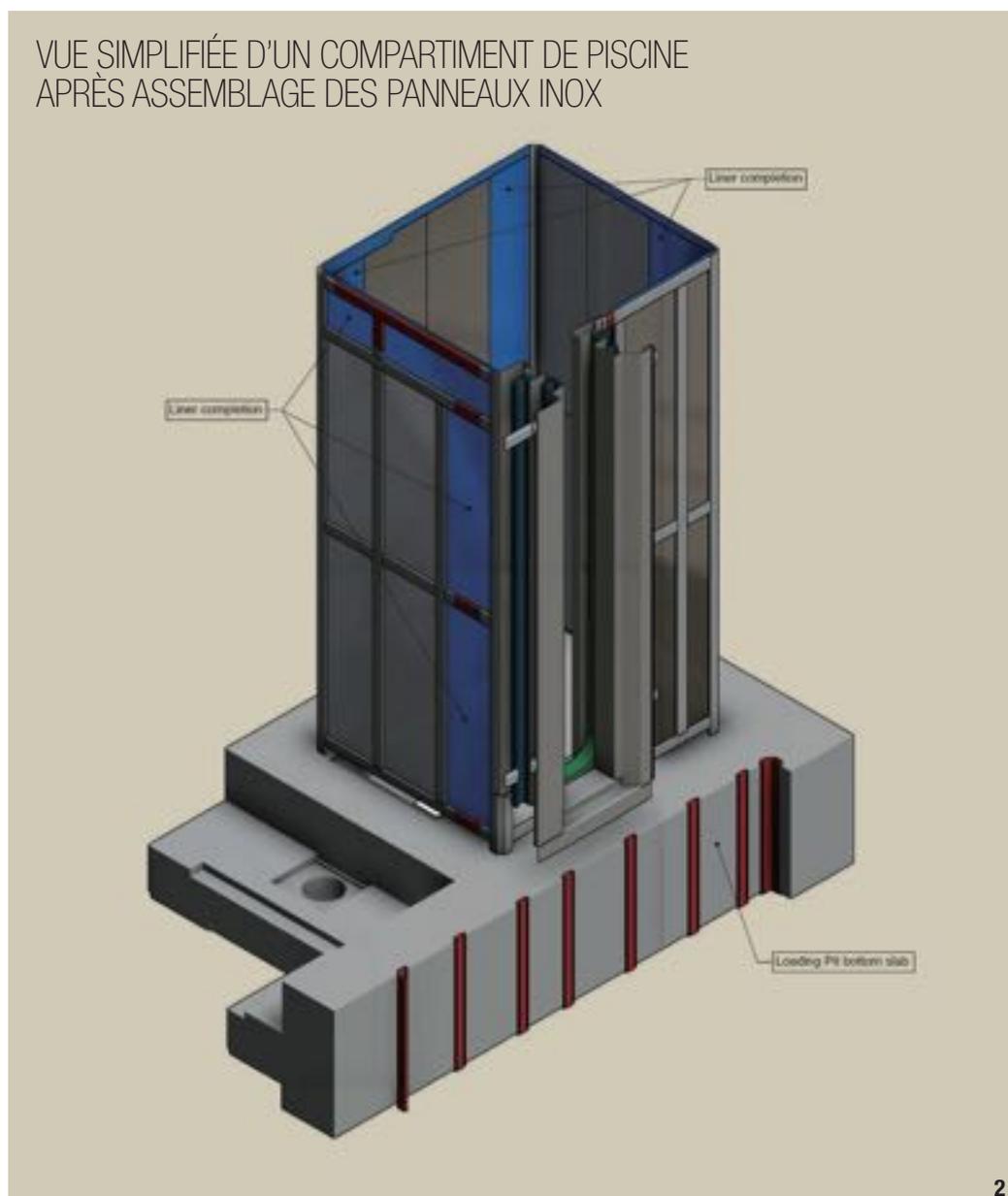
2- Simplified view of a pool compartment after assembling the stainless steel panels.

MAQUETTES

Afin de tester ce mode de construction n'ayant pas encore concrètement fait ses preuves, plusieurs maquettes échelle 1:1 ont été construites en amont des travaux principaux.

La première d'entre elles, déjà achevée, consiste à reproduire une portion de la piscine appelée IRWST (*In-containment Refueling Water Storage Tank*). La particularité de cette piscine est sa géométrie : bien qu'elle soit peu haute comparée aux autres ouvrages - environ 4 m - sa forme de croissant est un challenge en termes de pré-fabrication.

La majorité des voiles de cette piscine est arrondie avec un rayon de 18 m environ. La séquence de fabrication est la suivante : les ossatures d'ancrage du revêtement sont d'abord fabriquées et

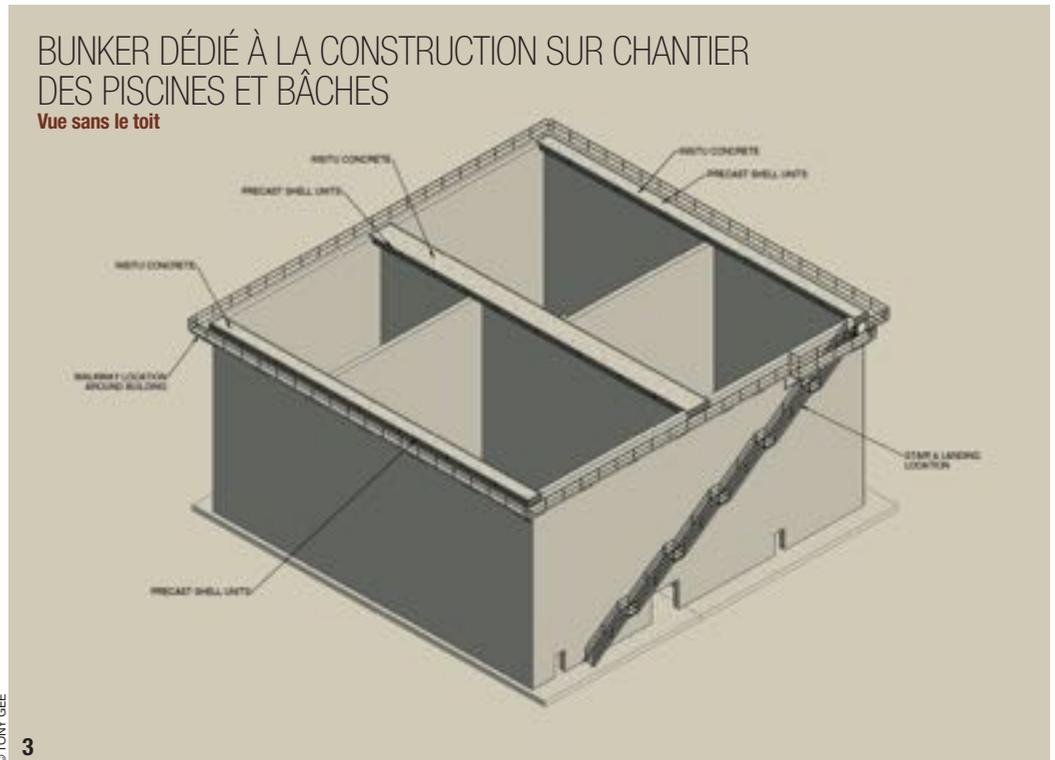


3- Bunker dédié à la construction sur chantier des piscines et baches, vue sans le toit.

4- Approche du coffrage spécial vers la maquette de l'IRWST sur son cadre de fabrication.

3- Bunker dedicated to on-site construction of pools and tanks, view without the roof.

4- Special formwork moving closer to the IRWST model on its production frame.



fixées sur un cadre de fabrication rigide, après quoi le revêtement - tôle d'inox de 4 mm d'épaisseur - est soudé sur ce système d'ossatures. Les contraintes liées à ces dernières opérations de soudage sont telles que, malgré les systèmes de cadre et de soutien mis en place, la forme arrondie des voiles est compromise et les ensembles préfabri-

qués tendent à vouloir se rapprocher d'un voile droit. Pour contrebalancer ce phénomène, la première piste explorée est celle du coffrage. Un coffrage spécial est en effet nécessaire pour acheminer les panneaux préfabriqués depuis l'usine jusqu'au chantier, puis reprendre la pression du béton lors du coulage

directement contre les panneaux préfabriqués inox. Ce coffrage, suffisamment rigide, vient se fixer sur le panneau inox avant qu'il ne soit détaché de son cadre rigide de fabrication, réduisant les effets de déformation induits par le soudage lors du desserrage. Ce coffrage n'est retiré qu'après bétonnage, permettant au panneau inox de garder la forme

correcte jusqu'à ce qu'il soit ancré dans le béton et ayant donc sa forme finale (figure 4). La seconde piste est plus classique et consiste à ajuster la séquence de soudage et les procédés de soudage pour apporter le moins de chaleur possible au panneau lors du soudage des tôles de revêtement de 4 mm. ▷



Il est possible aussi de jouer sur la rigidité du cadre de fabrication et son rayon, afin de construire les panneaux avec un rayon légèrement plus grand que nécessaire.

La fabrication de cette première maquette est achevée et l'utilisation du coffrage contre le panneau en inox offre une rigidité satisfaisante, de telle sorte que le panneau courbe garde son rayon pendant son transfert du cadre de fabrication vers le coffrage. La rigidité des cadres de fabrication peut être renforcée et cela devrait permettre d'améliorer la planéité des panneaux préfabriqués. Cependant, de nouvelles problématiques plus générales ont été soulevées sur les tolérances de fabrication et sur la résolution des conflits entre ferrailage et pièces en inox noyées dans le béton. Ces sujets seront abordés plus bas après une brève description de la seconde maquette et de ses buts.

La seconde maquette échelle 1:1, toujours en cours de construction, est, quant à elle, focalisée sur la séquence entière de fabrication des piscines, du début à la fin, englobant les aspects inox et les aspects purement génie civil. Deux panneaux en inox mesurant environ 3 m de large et 14 m de haut sont fabriqués dans un atelier. Ces panneaux sont complets : système d'ancrage dans le béton, pièces spéciales, tôle de revêtement inox. Une fois terminés, ils sont acheminés sur chantier où ils sont installés à la verticale dans un abri dédié ayant un rôle de protection contre les intempéries - la construction des bunkers béton n'étant pas achevée, un autre abri plus léger a dû être construit spécifiquement pour cette maquette. Après réglage des deux panneaux dans leur abri, les équipes de l'entreprise sous-traitante pourront s'atteler à la connexion entre ces deux ensembles pour reconstituer un pan entier de piscine. Les activités purement inox s'arrêtent là mais un des buts de cette maquette est également d'aller jusqu'au bout de la séquence de fabrication. Les étapes suivantes peuvent alors démarrer : installation d'un coffrage spécial côté intérieur piscine - même principe que pour le coffrage spécial de la maquette IRWST, mais cette fois-ci droit et non pas courbe pour coller à la géométrie des voiles - puis mise en place du ferrailage des voiles au droit des panneaux inox, côté extérieur piscine. Des précautions particulières en termes de propreté doivent être prises à ce stade de la fabrication afin d'éviter toute contamination du

revêtement inox par le ferrailage, via notamment des chocs ou rayures. Pour éviter cela, une étude est en cours afin d'appliquer une peinture spéciale et qualifiée sur la face béton de tous les éléments inox pour les travaux principaux. Une fois le ferrailage installé, le reste de la séquence est plus classique : coffrage extérieur et coulage du béton pour finalement obtenir, après décoffrage, un pan de piscine "complet" (figure 5).

5- Coupe de la maquette de piscine montrant le coffrage et les deux phases de bétonnage.

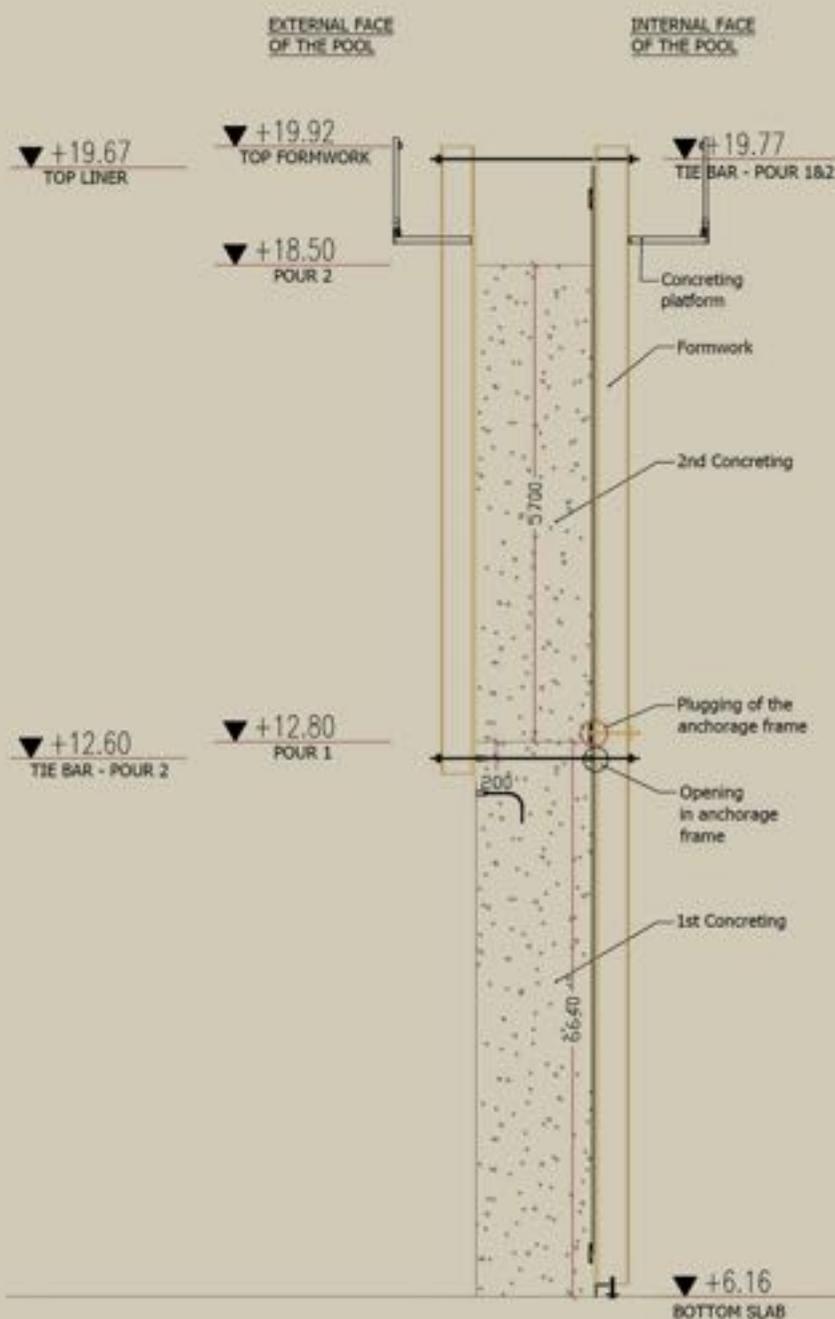
5- Cross section of the pool model showing the formwork and the two concreting phases.

DES PROBLÉMATIQUES TRÈS SPÉCIFIQUES

Même si la fabrication de cette seconde maquette n'est pas encore achevée, plusieurs points de vigilance ont déjà pu être mis en évidence lors des premières étapes et lors de la fabrication de la maquette IRWST.

De par la méthode de fabrication retenue, il est plus difficile d'atteindre les strictes tolérances de fabrication imposées par le contrat.

COUPE DE LA MAQUETTE DE PISCINE MONTRANT LE COFFRAGE ET LES DEUX PHASES DE BÉTONNAGE



Lors de la fabrication des panneaux en atelier, les différents éléments composant un panneau sont déjà soudés entre eux et certaines pièces peuvent déjà être très proches de la limite de positionnement.

À cela s'ajoute la tolérance lors de l'installation et du réglage d'un panneau dans le bunker, puis la tolérance lors du levage et de l'installation à l'emplacement définitif. Pour les tolérances les plus serrées, ± 5 mm, et dans les endroits avec une grande concentration de pièces spéciales avec chacune leurs tolérances absolues, atteindre à la fin de la séquence la position absolue nécessaire s'avère très difficile. Étant donné qu'il est impossible d'installer ces pièces plus tard dans la séquence de fabrication, ce qui donnerait plus de marge de manœuvre, les seuls axes de progrès sont de redoubler de soin lors de la fabrication en atelier afin de coller dès le début à la position absolue des pièces et ainsi laisser plus de marge aux étapes de levage postérieures.

Lors de ces opérations de levage et d'ajustement de la position des panneaux, un soin particulier sera apporté aux vérins utilisés en plus des autres critères habituels afin de garantir la marge d'ajustement la plus précise possible.

Le fait de souder complètement tous les éléments inox avant l'installation du panneau sur chantier peut aussi créer des conflits importants avec le ferrailage.

Théoriquement les armatures et les pièces ancrées ne sont pas censées être en conflit les unes avec les autres, mais les tolérances de positionnement des platines d'ancrage en inox - faisant partie du système d'ancrage des piscines et bâches dans le béton - et le



PLATINE D'ANCRAGE INOX
avec bèches circulaires et goujons

6- Platine d'ancrage inox avec bèches circulaires et goujons.

6- Stainless steel anchor plate with circular cutoff devices and studs.

fait que le panneau soit complété en atelier font que, lors de l'assemblage de plusieurs panneaux de piscines entre eux, il est possible de ne plus respecter les distances prescrites entre platines d'ancrage et ainsi devoir ajuster la position des armatures en conséquence. Ces modifications sont gérables la plupart du temps, même si elles sont chro-

est tout autre car les connexions d'armatures sont réalisées à ces emplacements par des coupleurs déjà ancrés dans la dalle.

De par la proximité de ces coupleurs et des platines inox les plus basses - quelquefois pas plus de 200 mm - il est impossible de modifier l'armature venant se connecter au coupleur si celui-ci est pile en face d'une des bèches ou goujons soudés au dos de ces platines d'ancrage (figure 6). Bien que les travaux principaux n'aient pas encore débuté pour les piscines et les bâches inox, la réalisation des maquettes a indubitablement mis en évidence des points de vigilance cruciaux et a aussi validé une grosse partie des méthodes et principes élaborés auparavant. L'intégration en amont de la fabrication du retour d'expérience des maquettes, et un travail de préparation continu entre toutes les entreprises et équipes impliquées - inox, pré-construction, méthodes chantier, installation - est de mise pour assurer les travaux dans les meilleures conditions possibles. □

nophages. Par contre si ce problème de désalignement survient au plus près de la dalle sur laquelle seront installés les panneaux de piscine, le problème

PRINCIPALES QUANTITÉS (par unité)

- 10 bâches en inox
- 3 piscines, dont 7 compartiments
- 23 km de soudures radiographiées
- 8 000 m³ d'eau
- 8 levages lourds, allant jusqu'à 1 100 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : EDF NNB
GÉNIE CIVIL : Bylor
PISCINES ET BÂCHES : Edel

ABSTRACT

MODULAR PRODUCTION OF THE POOLS OF HINKLEY POINT C EPR

PAUL ESLAMI, BOUYGUES TP/BYLOR JV

To speed up the construction of stainless steel pools and tanks for the Hinkley Point C EPR, an extensive prefabrication approach was adopted. Most of the components are manufactured and assembled in factory and then, again, in dedicated zones on site. This makes it possible not only to take advantage of better conditions during these sensitive works on stainless steel, but also to gain several months relative to the overall production schedule for the power station. This new approach also creates new challenges, especially as regards compliance with the very strict tolerances and interfacing with the extremely dense reinforcing bars in some places. Several models were produced to validate certain aspects of this method and highlight the unknowns still existing. □

FABRICACIÓN MODULAR DE LAS PISCINAS DEL EPR HINKLEY POINT C

PAUL ESLAMI, BOUYGUES TP/BYLOR JV

Para acelerar la construcción de las piscinas y las cubiertas en inox del EPR Hinkley Point C, se ha adoptado un procedimiento de prefabricación avanzada. La mayoría de los componentes se fabrican y ensamblan en la fábrica y, seguidamente, otra vez en zonas específicas de la obra. Esto permite no solo optimizar las condiciones durante estos trabajos delicados con acero inoxidable, sino también reducir en varios meses la planificación general de construcción de la central. Este innovador procedimiento presenta nuevos desafíos, principalmente en términos de respeto de las tolerancias muy estrictas y de la interfaz con el armado extremadamente denso en algunos lugares. La construcción de varias maquetas ha permitido validar algunos aspectos de este método e identificar las incógnitas todavía existentes. □



1
© INGÉROP

PRODUCTION DE FROID EFFICIENTE AU CHRU DE STRASBOURG-HAUTEPIERRE

AUTEUR : JOËL ISSENBECK, CHARGÉ D'AFFAIRES FLUIDES, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE

DANS LE CADRE DE L'EXTENSION DU CENTRE HOSPITALIER RÉGIONAL UNIVERSITAIRE DE STRASBOURG-HAUTEPIERRE (67), AINSI QUE POUR PRÉPARER LA FUTURE RÉNOVATION LOURDE DES BÂTIMENTS EXISTANTS, UNE NOUVELLE PRODUCTION DE FROID CENTRALISÉE A ÉTÉ RÉALISÉE POUR ALIMENTER L'ENSEMBLE DES BÂTIMENTS DU SITE. DÈS LA PHASE DE CONCEPTION, UNE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE MAXIMALE, UN NIVEAU DE FIABILITÉ IMPORTANT ET UNE INTÉGRATION ARCHITECTURALE AU SITE ONT GUIDÉ LES CHOIX DES TECHNOLOGIES RETENUES.

Les HUS (Hôpitaux Universitaires de Strasbourg) comprennent plusieurs sites sur l'agglomération de Strasbourg, dont les principaux sont l'Hôpital Civil en centre-ville, et le CHRU (Centre Hospitalier Régional Universitaire) du quartier de HautePierre à l'ouest de la ville.

UN SITE COMPLEXE AU CŒUR D'UN QUARTIER UN SITE EN CROISSANCE

Le CHRU de HautePierre est un établissement de 916 lits ouvert en 1979, date depuis laquelle quelques transformations et extensions de faible ou moyenne ampleur ont eu lieu. Il est

**1- Une partie
des échangeurs
et pompes.**

**1- Part of the
heat exchangers
and pumps.**

situé en plein cœur du quartier du même nom, construit à l'ouest de l'agglomération entre 1969 et 1981. Le site, coincé dans une "maille" du quartier (le quartier est composé de mailles hexagonales juxtaposées), est en cours de développement, avec la construction récente d'un parking



© GROUPE 6
2

"silo" pour le public, et surtout la construction des bâtiments PMTL (Pôle Médico-Technique et Locomoteur) et IRC (Institut Régional du Cancer), d'une surface de 70 000 m².

L'ouverture de ces bâtiments, respectivement en janvier et novembre 2019, permet aux HUS d'envisager des restructurations lourdes des bâtiments existants (près de 130 000 m²), qui accusent le poids de leur âge.

DES INSTALLATIONS TECHNIQUES ANCIENNES

Le site existant était jusqu'en 2016 alimenté en eau glacée par une production centralisée de 4,5 MW, refroidie par des aéroréfrigérants et par plusieurs productions décentralisées refroidies par air, d'une puissance totale d'environ 2 MW. Ces installations ne permettent pas

d'alimenter tous les équipements de climatisation ou de rafraîchissement existants ; ce sont donc les utilisateurs "critiques" (salles d'opération, imagerie, etc.) qui sont privilégiées, des installations de rafraîchissement de confort prévues à la construction du site n'étant tout simplement pas utilisées !

- 2- Le bâtiment.
- 3- Supportage des tuyauteries.
- 4- Groupes centrifuges.

- 2- The building.
- 3- Pipe supporting structure.
- 4- Centrifugal units.

L'OBJECTIF VISÉ PAR LE PROJET

Au lieu de prévoir des installations de production de froid au niveau de chaque nouveau bâtiment PMTL et IRC (puissances de 5 et 3 MW respectivement), les HUS ont préféré envisager la construction d'une nouvelle production centralisée (figure 2), qui doit permettre d'alimenter les bâtiments neufs et les installations préexistantes, mais également de rafraîchir la totalité des locaux du site après les restructurations futures.

Les installations électriques centrales du site (TGBT, groupes électrogènes) sont renouvelées dans le cadre de la même opération.

Les HUS ont la particularité d'avoir leur propre service d'exploitation et de maintenance. De plus, contrairement au

froid "process" (comme pour les salles d'opération et l'imagerie médicale), le rafraîchissement de confort des locaux d'hébergement classique ne bénéficie d'aucune subvention supplémentaire de la part de l'État ; ce confort est donc en quelque sorte "offert" aux patients. Les principales caractéristiques demandées par les HUS pour la nouvelle production centralisée de froid sont donc :

- D'avoir les meilleures performances possibles (rendement élevé, coûts énergétiques limités) ;
- D'être très fiable ;
- D'être facile d'exploitation et optimisée.

LES PROBLÈMES À RÉSOUDRE

Une production d'eau glacée d'une puissance estimée à 18 MW (hors pertes des réseaux) par le maître d'ouvrage représente une dimension importante, d'autant plus qu'elle était accompagnée d'un objectif de 6 MW fournis sur toute la journée (pas uniquement lors d'une pointe de demande) par un dispositif de stockage d'énergie permettant de limiter la puissance installée. L'espace étant compté sur un site déjà bien encombré et inséré dans un tissu urbain dense, il y avait lieu de trouver une solution permettant d'occuper le moins de place possible au sol, tout en conservant les caractéristiques énoncées ci-avant.

L'emplacement choisi pour le bâtiment neuf, en prolongement de bâtiments de production existants, rencontre d'autres contraintes :

- Proximité immédiate de réseaux enterrés de fluides médicaux et de chauffage urbain, qui laissent peu de liberté quant aux dimensions du bâtiment neuf ;



© INGÉROP
3



© INGÉROP
4

- Proximité de l'héliport du CHRU, qui limite la volumétrie du bâtiment ;
- Voisinage des ateliers des services techniques, qui doivent pouvoir continuer à fonctionner pendant la totalité du chantier.

Le chantier devait de plus être réalisé dans un délai court : démarrage du chantier début 2016, et livraison du froid aux bâtiments neufs PMTL et IRC début mai 2017.

LE CONCEPT PROPOSÉ

Pour faire face à toutes les contraintes énoncées et prendre en compte les souhaits du maître d'ouvrage - exploitant, la solution mise en œuvre, d'une puissance totale de 19,2 MW, intègre les éléments détaillés ci-après.

LES GROUPES FRIGORIFIQUES

Premièrement, la construction d'un bâtiment limité à 1 000 m² de surface au sol et 6,5 m de hauteur, avec, dans un angle, une banquette permettant d'éviter un caniveau de chauffage urbain, destiné à accueillir la production de froid centralisée, les bâtiments existants libérés recevant les nouvelles installations de groupes électrogènes. Des rails métalliques ont été prévus dans les poutres pour faciliter la mise en place des supports de tuyauteries (figure 3).

Les groupes frigorifiques sont refroidis par l'eau de la nappe phréatique de la vallée du Rhin, avec un puisage en pointe d'environ 2 200 m³/h, dans deux puits répartis au sud du site (puits de 1 200 mm de diamètre et de 67,5 m de profondeur). Cela permet d'obtenir des rendements bien meilleurs qu'avec un refroidissement par air, et qui restent constants sur l'année.

Le rejet d'eau se fait dans trois puits situés au nord du site, la nappe s'écoulant dans une direction sensiblement sud - nord comme le fleuve. Ces puits ont un diamètre de 1 200 mm et une profondeur de 25 m.

Les installations envisagées en APS comportaient un total de 8 machines à compresseur à vis, ce qui imposait un bâtiment plus grand de 10 à 20%. Au vu des contraintes liées aux réseaux enterrés, il a été proposé en avant-projet définitif de fournir la majorité de la puissance par 3 groupes à compresseurs centrifuges à basse pression et à basse vitesse (et à vitesse variable) de 4,5 et 2x3,3 MW.

De plus, deux d'entre eux (figure 4) sont dimensionnés pour produire également de l'eau glycolée à température négative de -5°C (puissance



5a

de 2x2,5 MW dans ce cas). Ces machines utilisent un fluide frigorigène de dernière génération, de type HFO (HydroFluoro-Oléfines), ayant de multiples avantages par rapport aux fluides traditionnels : faible toxicité, non inflammable, ODP (potentiel de destruction de la couche d'ozone) négligeable, GWP (potentiel de réchauffement global) de 1 - soit extrêmement faible, et quantités de fluides plus faibles à puissance identique.

Les groupes centrifuges ont été installés avec l'option "boîtes à eau marine", de façon à permettre le gros entretien des échangeurs sans déposer des tronçons de tuyauteries, qui ont un diamètre nominal de 350 mm.

LE STOCKAGE DE GLACE

Concernant l'objectif de stockage d'énergie, il a été prévu l'implantation dans la butte de terre de l'héliport de deux cuves de stockage d'énergie (figures 5a & 5b) sous forme de glace, permettant de restituer une énergie totale de 41 MWh. Cette création a nécessité 520 m² de paroi clouée.

La technologie retenue, collecteurs et tubes capillaires en matériau de syn-

5a & 5b- Cuve de stockage d'énergie en construction.

5a & 5b- Energy storage tank under construction.



5b



6

© INGÉROP



7

© INGÉROP

thèse véhiculant l'eau glycolée et formation de glace externe aux capillaires (figure 6), permet d'optimiser la place nécessaire pour cette quantité d'énergie (cuves de 8x12x5,5 m - dont 4 m utilisés en hauteur). Les cuves sont totalement enterrées et n'altèrent en rien l'image du site (figure 7).

Pour éviter une baisse constante de la puissance restituable tout au long de la journée, un système d'agitation d'air (injection de bulles) est installé, ce qui permet de garantir une puissance restituée de 6 MW sur une durée de 8 heures (figure 8).

Cette installation permet de stocker du froid la nuit, quand l'électricité est moins coûteuse, et de récupérer cette énergie en journée. Cela permet de diminuer la consommation électrique, et d'installer moins de puissance en groupes froids, grâce à l'écrêtage des pointes (figure 9).

6- Tubes capillaires immergés.
7- Puits d'accès au stockage enterré.

8- Effet de l'agitation.

6- Immersed capillary tubes.
7- Underground storage access shaft.
8- Turbulence effect.

LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

Le complément de puissance est apporté par deux groupes à vis (figure 10) fonctionnant au fluide R134a, dont un groupe existant récupéré (pour

ne pas mettre au rebut une machine de moins de 15 ans parfaitement fonctionnelle), d'une puissance de 1 MW environ chacun.

Ces machines sont prévues pour fonctionner soit en refroidissement sur la nappe, soit en production d'eau chaude à un régime de 40/49°C. Ce dernier mode permettra de récupérer de la chaleur fatale pour préchauffer l'eau froide au niveau de la production d'eau chaude sanitaire des bâtiments existants, et économiser ainsi de l'énergie du réseau de chauffage urbain qui assure le chauffage du site (et du quartier).

LA DISTRIBUTION

L'eau glacée produite est distribuée selon deux circuits distincts :

→ Un réseau enterré qui alimente les sous-stations des deux bâtiments neufs ;

→ Un réseau enterré puis aérien qui, d'une part, réalimente le réseau existant dans les bâtiments anciens, et, d'autre part, chemine dans le vide sanitaire existant pour alimenter des colonnes en création ou à créer.

LA RÉGULATION

Grâce aux échangeurs de chaleur, vannes et groupes de pompes prévus (figure 1), les différentes possibilités de fonctionnement sont nombreuses :

- Production directe par la machine de 4,5 MW ;
- Stockage de glace par les deux machines de 2,5 MW ;
- Production indirecte par les deux machines de 3,3 MW ;
- Déstockage de glace à une puissance de 6 MW ;
- Production par les groupes à vis, en récupération de chaleur sur production ECS ou non.

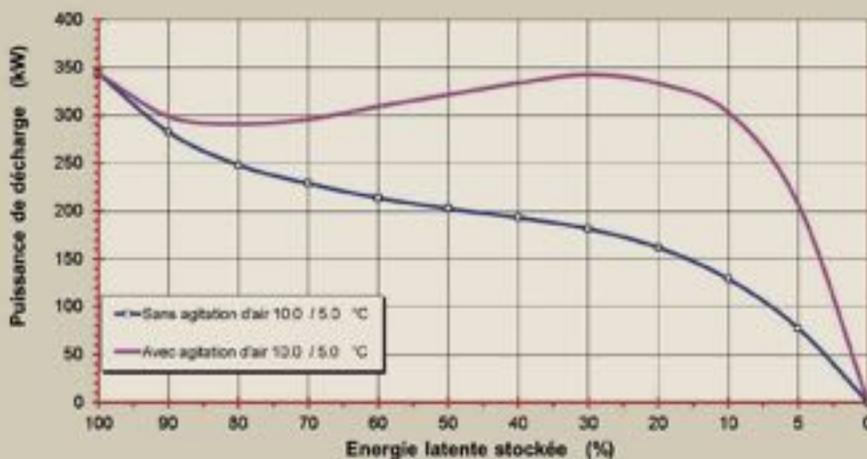
Ces différents modes de fonctionnement peuvent être combinés entre eux en fonction de la période et de la charge. Pour une faible charge de nuit, il est même possible de soutirer du froid sur le circuit de production de glace par l'intermédiaire des échangeurs de chaleur, pour éviter de démarrer un groupe à vis.

Cela impose l'utilisation de nombreuses vannes motorisées et une programmation adéquate de la régulation, mais permet d'optimiser au maximum le fonctionnement de l'installation.

Les puissances importantes en jeu et les contraintes de faibles pertes de charge (vitesse d'eau limitée à 2 m/s dans les tubes) impliquent la mise en place de collecteurs atteignant un diamètre DN 700.

Les diamètres de tubes importants impliquent ainsi d'avoir des espaces importants pour raccorder les machines. ▷

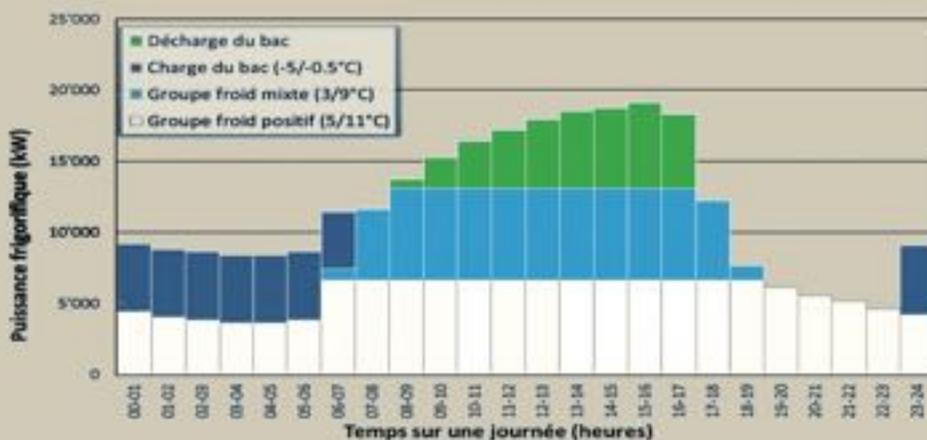
EFFET DE L'AGITATION



8

© FAFCO

PROFIL TYPE AVEC ÉCRÊTAGE



9 © FAFCO

9- Profil type avec écrêtage.
10- Groupes à vis.
11- Espace de maintenance.
12- Maquette numérique.

9- Typical profile with peak limiting.
10- Screw compressors.
11- Maintenance area.
12- Computer model.

Cela a également conduit à ne pas utiliser de vannes 3 voies (trop coûteuses et trop encombrantes), et à privilégier des vannes 2 voies travaillant en opposition. La totalité de l'installation est pilotée par une GTB fournie et optimisée par le fabricant des groupes froids. Cette régulation est entièrement remontée

sur la supervision PcVue du site, de façon à permettre une gestion courante à distance.

Cette GTB permet d'optimiser les consommations d'énergie de la centrale de production, en donnant la priorité à la récupération de chaleur sur la production d'ECS et en pilotant le stockage

et le déstockage d'énergie sous forme de glace.

La particularité du chantier à ce niveau est d'avoir intégré dans le contrat de l'entreprise un accompagnement des équipes d'exploitation des HUS pendant un an après la réception (à raison de 1,5 jour par semaine), de façon à les

aider à prendre en main l'installation et à optimiser ses paramètres.

DES INSTALLATIONS FIABLES ET AISÉES À EXPLOITER

Enfin, tous les équipements hydrauliques comme les vannes, clapets anti-retour, etc. installés sont de type



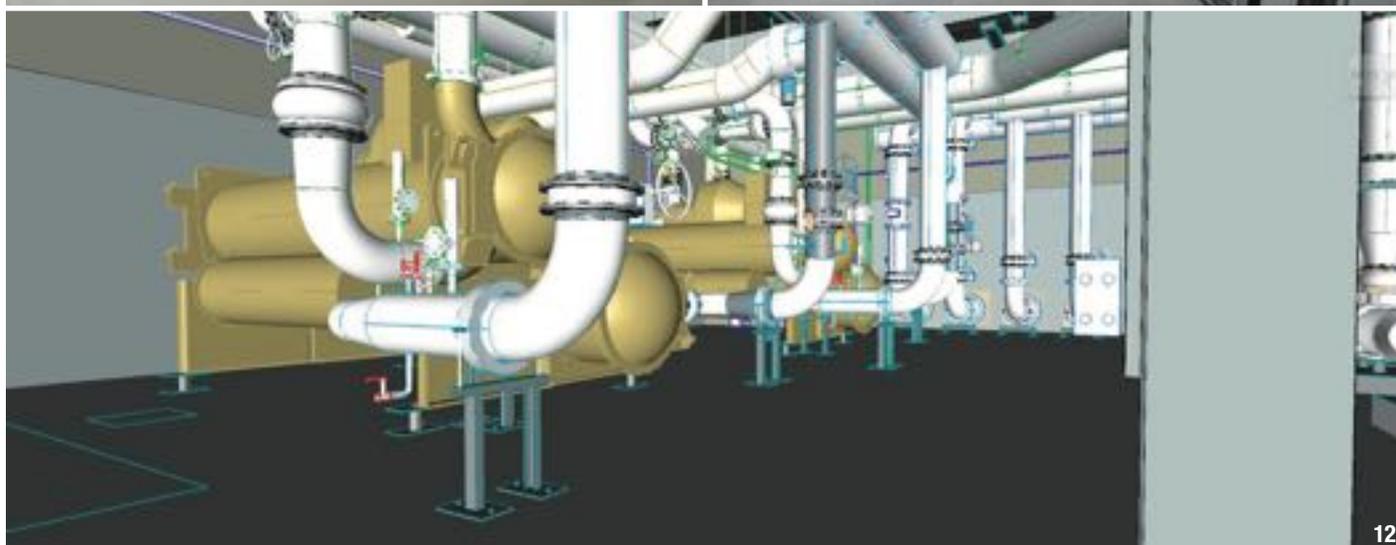
© INGÉROP

10



© INGÉROP

11



12

© ENGIE AXIMA

industriel "lourd", et sont donc extrêmement fiables (car fonctionnant en-deçà des conditions pour lesquelles ils sont prévus) et conçus pour faciliter leur maintenance.

Les réseaux hydrauliques à l'intérieur du local ont été réalisés entièrement en acier inoxydable 304, non pas pour des raisons de corrosion, mais essentiellement pour limiter les charges à suspendre à la toiture.

La conception a été réalisée par le maître d'œuvre dès l'avant-projet en BIM sur le logiciel Revit, ce qui a permis :

→ De vérifier que les installations prévues entrent dans le local et qu'il est possible d'assurer leur maintenance et leur remplacement

sans démontages supplémentaires (figure 11) ;

→ De limiter autant que possible l'impact du bâtiment neuf sur le terrain environnant et la proximité avec les réseaux existants, le bâtiment étant partiellement enterré.

13- Cuves à fioul avant pose de la dalle de couverture.

13- Fuel oil tanks before placing the cover slab.

La maquette numérique a été reprise en phase chantier par l'entreprise, qui l'a complétée avec tous les détails (notamment supportages, instruments de mesure et sondes), et qui a remis en fin de chantier une maquette "tel que construit" à l'exploitant des installations (figure 12).

Tous les compteurs d'énergie (frigorigène et électrique) et débitmètres ont été prévus pour permettre un suivi complet des consommations et de l'efficacité de l'installation.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES CENTRALISÉES

Les groupes électrogènes et transformateurs associés destinés à la

sécurisation de l'alimentation électrique du site sont répartis en deux installations distinctes "antenne" et "boucle".

Chaque bâtiment du site est ainsi alimenté par deux réseaux totalement distincts de façon à faire face à toutes les défaillances.

L'installation comporte trois groupes électrogènes neufs de 2000 kVA, et autant de groupes existants de même puissance.

Pour les alimenter en fioul, deux cuves de 80 m³ ont été mises en place dans des fosses en béton enterrées dans la cour logistique voisine du bâtiment, nécessitant la mise en place de palplanches (figure 13). □



PRINCIPALES QUANTITÉS

- Ensemble hospitalier de 197 800 m² SHON
- Production de froid de 19,2 MW comprenant :
 - Production directe : 4,5 MW
 - Production indirecte / de glace : 2 x 3,3 MW / 2 x 2,5 MW
 - Production indirecte avec récupération de chaleur : 2 x 1,05 MW
 - Déstockage de glace : 6 MW
- Terrassements : 10 400 m³, dont 3 500 m³ pour les VRD et 2 300 m³ pour les cuves à fioul
- Béton : 1 800 m³
- Armatures : 113 t
- 520 m² de paroi clouée et 60 m de palplanches

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Hôpitaux Universitaires de Strasbourg
MAÎTRE D'ŒUVRE TOUS CORPS D'ÉTAT : Ingérop Conseil & ingénierie
ARCHITECTE CO-TRAITANT : Groupe 6
ENTREPRISE LOT PRODUCTION FROID : Engie Axima

ABSTRACT

EFFICIENT REFRIGERATING SYSTEM AT STRASBOURG-HAUTEPIERRE CHRU

JOËL ISSENBECK, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE

The 19.2 MW refrigerating system designed for the Strasbourg-Haute-pierre regional university teaching hospital ("CHRU") comprises equipment capable of producing refrigeration at an optimal cost:

- Refrigeration via groundwater: peak drawoff of about 2,200 m³/h;
- One centrifugal unit, 4.5 MW in direct production;
- Two centrifugal units, 2.5 MW in ice production and 3.3 MW in indirect production;
- Two 1 MW screw compressors capable of simultaneously producing chilled water and hot water at 49°C;
- Two ice storage tanks capable of delivering 41 MWh of refrigeration energy with 6 MW power;
- Control and supervision system with optimisation of consumption. □

PRODUCCIÓN DE FRÍO EFICIENTE EN EL CHRU DE STRASBOURG-HAUTEPIERRE

JOËL ISSENBECK, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE

La producción de frío de 19,2 MW diseñada para el Centro Hospitalario Regional y Universitario de Strasbourg-Haute-pierre (67) incluye equipos capaces de producir frío al mejor coste:

- Refrigeración por capa freática: extracción máxima de unos 2.200 m³/h;
- 1 grupo centrífugo de 4,5 MW de producción directa;
- 2 grupos centrífugos de 2,5 MW de producción de hielo y de 3,3 MW de producción indirecta;
- 2 grupos helicoidales de 1 MW capaces de producir simultáneamente agua helada y agua caliente a 49°C;
- 2 depósitos de almacenamiento de hielo capaces de devolver una energía de 41 MWh de frío con una potencia de 6 MW;
- Sistema de regulación y supervisión con optimización de los consumos. □



1

© BOUYGUES TPRF

STATION DE STOCKAGE ET VAPORISATION DE PROPANE DE LA VILLE D'AJACCIO

AUTEURS : PASCAL ALBERTELLI, CHEF DE SERVICE ADJOINT TRAVAUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE -
MARIE COUVREUX, INGÉNIEURE TRAVAUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

LE PROJET LOREGAZ CONSISTE EN LA CONCEPTION / CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE STATION DE STOCKAGE VAPORISATION DU LORETTO À AJACCIO, EN REMPLACEMENT DE LA STATION EXISTANTE CONSTRUITE DANS LES ANNÉES 1970 AFIN DE MODERNISER ET SÉCURISER LA DISTRIBUTION DU GAZ DE VILLE POUR L'AGGLOMÉRATION AJACCIENNE. LE CLIENT ENGIE A CONFIE LA CONCEPTION, RÉALISATION ET MISE EN SERVICE DE CES NOUVELLES INSTALLATIONS AU GROUPEMENT CONSTITUÉ DE SPAC (MANDATAIRE), GELDOLF, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE ET VENDASI. L'ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE TECHNIQUE EST ASSURÉE PAR TRACTEBEL.

CONTEXTE ET ENJEUX DE L'OPÉRATION

La station du Loretto actuelle est un site Seveso seuil haut qui alimente en butane la ville d'Ajaccio et ses 16 000 clients. Le butane y est stocké dans des cuves sphériques à ciel ouvert mises en service en 1973 (figure 1).

La zone de danger (zone touchée en cas d'explosion des cuves) liée à cette conception impacte de nombreuses habitations ainsi que l'hôpital de Casteluccio, et elle gèle une importante zone foncière nécessaire au développement de l'agglomération ajaccienne.

1- Site existant
du Loretto.

1- Existing
Loretto site.

Engie a lancé en 2014 le projet Loregaz de modernisation de la station de stockage et vaporisation du Loretto : la réalisation d'une nouvelle installation en face du site actuel sur la base de deux sphères de 2 500 m³ chacune encoffrées dans des sarcophages en béton remplis de sable (figure 2).



© BOUYGUES TP/RF
2

Cette nouvelle conception va permettre de circonscrire aux limites du nouveau site la zone de danger et donc de sécuriser les populations voisines ainsi que de libérer les zones foncières gelées par la station existante.

La structure principale de cette nouvelle installation sera le sarcophage entourant les sphères métalliques : une cuve cylindrique en béton de 20 m de diamètre par 21 m de haut, pour un volume de 530 m³ de béton par cuve. Dans le cadre de cette opération,

2- Vue 3D de la future installation.

3- Sphère en cours de montage.

2- 3D view of the future facility.

3- Sphere undergoing assembly.

Bouygues Travaux Publics Régions France est en charge des activités de génie civil et terrassements.

LA CONCEPTION ET LE CHOIX DES MODES CONSTRUCTIFS

Les études d'ingénierie de base et les procédures administratives ont été portées par le client et ont abouti fin 2016. La conception détaillée, la réalisation et la mise en service ont été confiées au groupement d'entreprises conjoint avec les responsabilités suivantes :

- Spac (mandataire) : conception de la partie mécanique, tuyauteries, équipements sous pression ;
- Geldof : conception et réalisation des deux sphères métalliques de 2500 m³ ;
- Vendasi : Conception et construction des bâtiments administratifs et techniques ;
- Bouygues Travaux Publics Régions France : Conception et réalisation des terrassements, des réseaux d'assainissement et d'eaux pluviales, d'AEP et incendie, clôtures, voiries de la plateforme ; réalisation du génie civil des encoffrements des sphères.

Afin d'assurer la mise en service de la station en 2021, le groupement a pris plusieurs options sur les modes constructifs :

Geldof a opté pour la préfabrication des sphères par pétales préassemblés au sol, puis levés et soudés en place sur un échafaudage intérieur/extérieur (figure 3).

Spac a acheté les vaporisateurs sous forme de skid (éléments préfabriqués et préassemblés en usine par un industriel, fiables et réduisant le temps d'installation).

Pour Bouygues Travaux Publics Régions France, l'option la plus marquante prise par les équipes travaux porte sur le mode de réalisation des encoffrements : le choix a été pris dès le début de réaliser les sarcophages en coffrage glissant.

Ce mode constructif, pour cette application, présente de nombreux avantages par rapport à une solution en coffrage grimpant plus classique : ▷



© BOUYGUES TP/RF
3

- Un gain planning significatif : chaque encoffrement est bétonné en continu, 24h/24 pendant 6 jours pour arriver en haut des 21 m. Pour la même opération réalisée en coffrage grimpant, on peut estimer la durée de la tâche à 21 jours environ (7 levées en 3 jours par levée).
- L'absence de joint de construction qui offre une étanchéité supérieure de la structure. Le sarcophage étant par la suite rempli de sable, l'absence de joint évitera à l'eau contenue dans le sable de percoler jusqu'à la surface extérieure de la structure.
- L'encoffrement ne comportant aucune réservation ni insert, le plan d'armatures est simple et régulier sans point singulier, ce qui est un avantage pour une opération de coffrage glissant sur laquelle l'armaturier peut rapidement se retrouver sur le chemin critique du glissement.
- Le coût du coffrage et des moyens de levage/bétonnage.

L'ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET

La démarche environnementale poussée qu'a menée le client Engie sur ce projet montre la volonté de développer ses activités industrielles en Corse durablement et dans le respect de l'environnement encore préservé de l'île de Beauté. Dès les premières études du projet, plusieurs ingénieries spécialisées ont été mandatées pour analyser les impacts environnementaux du projet sur sa zone d'implantation :

- Un bureau géotechnique pour l'analyse réglementaire liée à la Loi sur l'Eau ;
 - Un écologue (Endemys) pour l'étude des incidences environnementales du projet sur la faune et la flore locales ;
 - Un bureau d'étude paysagiste pour l'intégration paysagère du projet dans son environnement (figure 4).
- Enfin, Engie s'est engagé à financer et mettre en œuvre les mesures compensatoires du projet sur une durée de 20 ans après la mise en service de la station, comme la gestion d'espace naturel en faveur de la biodiversité et notamment des tortues d'Hermann, espèce protégée endémique à la Corse.

LA PREMIÈRE PHASE : LES TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX DE LA PLATEFORME ET LES RÉSEAUX GAZ

La nouvelle station de propane est implantée sur le versant Nord de l'Arbitrone.



© BRITGAZ/ENGIE - NOTE PAYSAGÈRE

4

Le nouveau site présente une emprise d'environ 3ha, sur un versant à forte déclivité de l'ordre de 25 %, planté d'oliviers et aménagé en restanques constituées par des murs en pierre sèche (figure 5).

Les terrassements grande masse ont été réalisés à l'été 2018, et ont nécessité la mobilisation d'un échelon de terrassements conséquent à l'échelle de l'île :

- Une pelle Caterpillar 349 + BRH ;
- Une pelle Caterpillar 352 + dent de déroctage ;
- Une pelle Caterpillar 323 équipée GPS ;
- Un bulldozer Caterpillar D6R ;
- 13 camions 8x4 en pointe pour les mouvements de terre.

4- Intégration paysagère du futur site.

5- Localisation et déclivité du site.

4- Integration of the future site into the landscape.

5- Site location and gradient.

La réalisation de la plateforme a nécessité 70 000 m³ de déblai et 35 000 m³ de remblai.

Le phasage de terrassement a été modélisé en 3D pour simplifier la for-

mation au poste de travail des équipes Bouygues Travaux Publics Régions France (figure 6).

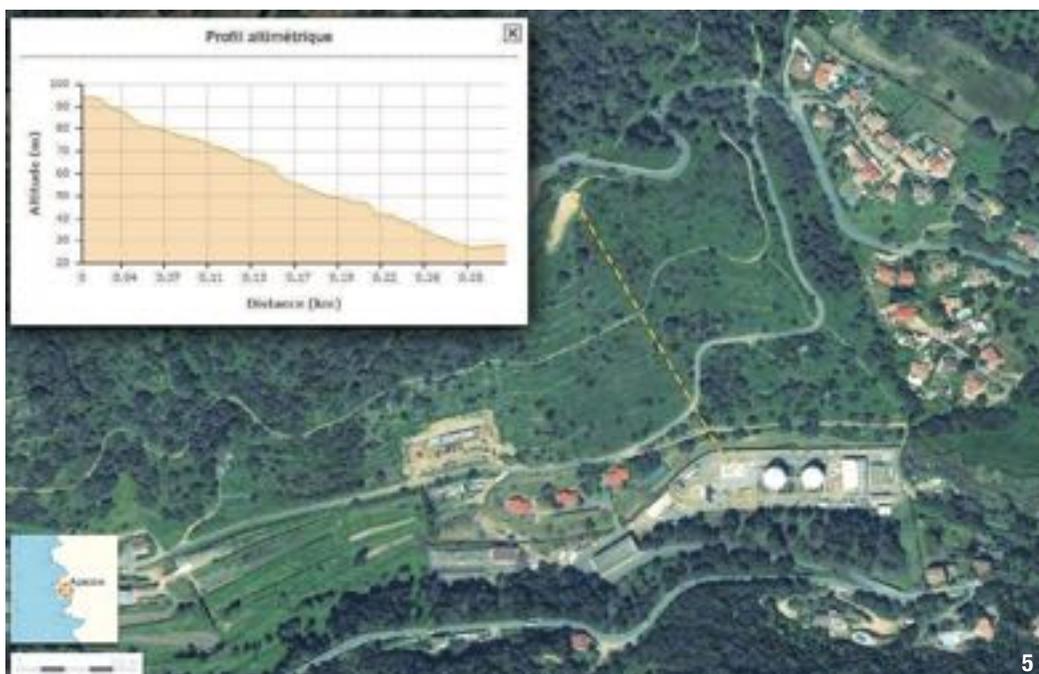
Le remblai a été réalisé à l'été 2018 (figures 7 et 8).

Plusieurs ouvrages remarquables ont été nécessaires pour assurer la pérennité des talus :

1- Une paroi clouée de 500 m² constituée de clous en barres Fe500 diamètre 32 et 40.

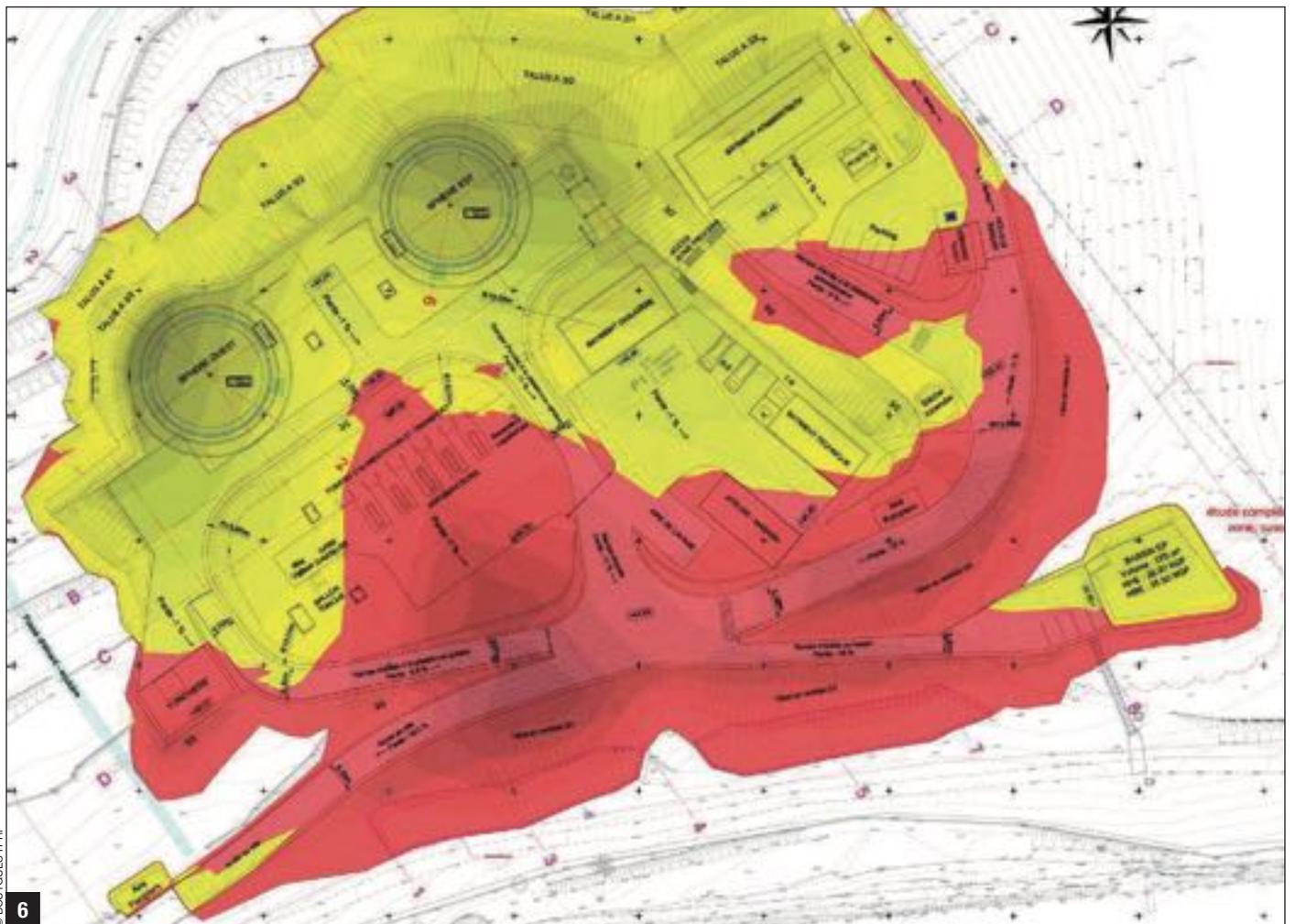
Le forage est effectué au marteau fond de trou 4" et 3".

Les têtes d'ancrage sont constituées de platines percées sur les parois en béton projeté et de plaques à griffe dans les zones grillagées. Les travaux ont été réalisés par



© EXTRAIT GEOPORTAIL - IGN

5



© BOUYGUES TP/RF
6

la société Apex spécialisée dans les travaux spéciaux sur la Corse (figure 9).

- 2- Un remblai de grande hauteur. La forte déclivité du site naturel à terrasser pour créer la plateforme industrielle nécessite la réalisation d'un remblai de grande hauteur en contrebas des plateformes sphères et vaporisateurs. Ce remblai, d'une hauteur de 12 à 15 m est un ouvrage particulier de terrassement qui a nécessité

6- Mouvements des terres / Limite déblai-remblai.

7- Terrassements généraux de la plateforme.

6- Earthmoving/ Earth cut-backfill boundary.

7- General earthworks on the platform.

une justification particulière par un bureau d'études géotechniques. Les nombreux sondages ont permis de déterminer les hypothèses géotechniques, géomécaniques et hydrogéologiques nécessaires à la modélisation de l'ouvrage sous le logiciel Talren 5. Les calculs de stabilité ont été réalisés suivant la méthode de Bishop en rupture circulaire. Afin d'assurer la stabilité du talus, une bêche a été créée en pied du

talus ancrée dans l'horizon granitique d'au moins 50 cm, profondeur variable selon la position du toit du granit. Un des sondages a notamment mis en évidence la présence d'une surprofondeur du toit de l'horizon de granite altéré dans la zone de thalweg à - 4,50 m par rapport au TN. Les remblais ont ensuite été mis en œuvre conformément aux recommandations du GTR 92 avec réutilisation des matériaux du site.

Dans la continuité des travaux de terrassement, les tuyauteries de liaison et distribution de gaz (deux pipes DN300 et un DN200) ont été réalisées par Spac après excavation des fouilles par Bouygues Travaux Publics Régions France (figure 10).

LA SECONDE PHASE : LE GÉNIE CIVIL DES ENCOFFREMENTS

Le principal organe de sécurité de la nouvelle installation pour maîtriser le risque en cas d'explosion/incendie des sphères est le sarcophage en béton autour de chaque sphère. Il est constitué :

- D'un voile en béton de 400 mm d'épaisseur, de diamètre 20,20 m et de hauteur 21,17 m.



© BOUYGUES TP/RF
7



8

© BOUYGUES TPFF



9



10

© BOUYGUES TPFF

→ L'espace entre la sphère métallique contenant le propane et la voile béton est rempli d'un sable 0/2 dont les caractéristiques sont définies dans la norme EEMUA 190 : 2000 : *Guide for the design, construction, and use of mounded horizontal cylindrical vessels for pressurised storage of LPG at ambient temperature.*

→ Au moment de l'offre, la réalisation du voile en béton avait été envisagée en coffrage grim pant classique par levées successives d'environ 4 m. Une alternative en coffrage glissant a été étudiée et retenue après analyse comparative des avantages et inconvénients entre les deux solutions dans le cas présent (voir tableau 1).

La formulation béton a nécessité la définition d'un cahier des charges très précis dès le mois de juillet pour s'assurer de la prise en compte de toutes les contraintes liées à la fois au mode constructif et à l'environnement urbain du chantier :
→ La Durée Pratique d'Utilisation

(DPU) doit atteindre un minimum de 2h30 aux heures creuses de la journée. Elle doit atteindre 3h30 minimum aux heures de pointe pour faire face au trafic de l'agglomération ajaccienne.

→ Le béton doit pouvoir être décoffré sans ralentir le rythme de montée du coffrage fixé à 16 cm/h. Le temps de prise doit donc être au maximum de 4h après mise en œuvre dans le coffrage.



11

© BOUYGUES TPFF

8- Terrassements généraux de la plateforme.

9- Réalisation de la paroi clouée.

10- Travaux de réalisation du réseau de tuyauterie gaz.

11- Réalisation de la maquette pour valider la formulation béton.

8- General earthworks on the platform.

9- Nailed retaining wall execution.

10- Construction work on the gas piping network.

11- Production of the model to validate the concrete mix design.

TABEAU 1 : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS ENTRE LES DEUX SOLUTIONS DE COFFRAGE

	Coffrage grim pant	Coffrage glissant
Conception - Fabrication du coffrage	Nécessite une conception et fabrication complète. Le poids du coffrage est plus important du fait de la hauteur des levées.	Conception partielle avec réutilisation d'éléments standards par entreprise spécialisée. Poids du coffrage plus faible (hauteur standard coffrée de 1,3 m).
Transport	Poids plus important donc plus de semi-remorques avec un surcoût significatif pour la traversée Corse - Continent.	Nombre de semi-remorques limité par le poids plus faible du coffrage.
Repli fin de chantier	Pas de centre de revalorisation de l'acier sur l'île, donc l'acier scrapé doit être renvoyé sur le Continent pour revalorisation.	Les panneaux standards sont récupérés par le fournisseur du coffrage pour réutilisation ultérieure après reconditionnement.
Moyens de levage	Le poids du coffrage impose l'utilisation d'une grue à tour conséquente type 20 t au crochet. Surcoût de mobilisation prohibitif car aucune grue de ce type disponible sur l'île.	Le poids limité du coffrage permet de recourir aux engins de levage disponible sur l'île (grue MK88 de Cnc Levage).
Armatures	Un recouvrement est nécessaire à chaque levée.	
Béton	Le critère dimensionnant est la résistance à jeune âge (20h) pour le décoffrage et le hissage du coffrage.	Le point critique de l'opération : deux critères antagonistes à respecter : DPU suffisante pour le transport, la mise en œuvre et résistance à très jeune âge suffisante pour le décoffrage et le glissement du coffrage en continu.

Une maquette a été réalisée en novembre (figure 11) pour valider la formulation béton et des essais avec différents dosages de retardateur ont été menés par le fournisseur du béton afin de déterminer le comportement du béton retardé pour s'adapter aux contraintes de temps de trajet rallongés.

Le coffrage glissant est réalisé par l'entreprise Gleitbau, comprenant les prestations de conception, fabrication et assistance technique pendant l'opération.

L'opération s'étalera sur 6 jours en continu pour chaque encoffrement, avec un rythme moyen de bétonnage de l'ordre de 5 m³/h et une vitesse de montée du coffrage de 16 cm/h.

L'opération de bétonnage en continu mobilisera en 3/8 les équipes de Bouygues Travaux Publics Régions France, Sendin, Cnc Levage ainsi que les fournisseurs de béton Sgbc et Bpai. Au total, une équipe de 50 personnes sera mobilisée en 3 postes afin d'assurer la réussite de cette opération critique pour le projet.

À la suite de cette opération sera effectué le remplissage en sable des encoffrements pour la protection de la sphère.

L'essentiel de l'activité génie civil et terrassement sera terminé à la fin de l'été 2020 pour laisser la place aux équipes de Spac et le montage des équipements pour un début des opérations de démarrage début 2021. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

VOLUME DE DÉBLAIS / REMBLAIS : 70 000 m³ / 35 000 m³

BÉTON DES ENCOFFREMENTS : 1 060 m³

QUANTITÉ DE SABLE DE PROTECTION DES SPHÈRES : 10 000 t

VOLUME DES SPHÈRES DE STOCKAGE DE PROPANE : 2 x 2 500 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Engie

ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE TECHNIQUE : Tractebel

ENTREPRISES : Groupement Spac / Bouygues Travaux Publics

Régions France / Geldof / Vendasi

BUREAU D'ÉTUDES MISSION G3 : Geoconcept

SOUS-TRAITANT PAROI CLOUÉE : Apex

SOUS-TRAITANT COFFRAGE GLISSANT : Gleitbau

SOUS-TRAITANT RÉSEAUX : Sotrarout

ABSTRACT

PROPANE STORAGE AND VAPORISATION STATION FOR THE CITY OF AJACCIO

PASCAL ALBERTELLI, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE -
MARIE COUVREUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

As part of the Loregaz project initiated by Engie in 2014 for modernisation of the Loretto storage and vaporisation station, a new facility will be built opposite the current site. The contract for construction of this new station, consisting of two steel spheres enclosed in concrete sarcophagi filled with sand, was awarded to a consortium formed by Spac, Geldof, Bouygues Travaux Publics Régions France and Vendasi. Bouygues is in charge of civil works and earthworks. The consortium has defined construction techniques enabling it to ensure station commissioning in 2021, making use of prefabrication for the spheres and vaporisers, and using sliding formwork for construction of the enclosures. □

ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y VAPORIZACIÓN DE PROPANO DE LA CIUDAD DE AJACCIO

PASCAL ALBERTELLI, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE -
MARIE COUVREUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

En el marco del proyecto Loregaz de modernización de la estación de almacenamiento y vaporización de Loretto, iniciado en 2014 por Engie, se construirá una nueva instalación frente al emplazamiento actual. La construcción de esta nueva estación, formada por dos esferas metálicas encofradas en sarcófagos de hormigón rellenos de arena, se han encargado a un consorcio formado por Spac, Geldof, Bouygues Travaux Publics Région France y Vendasi. Bouygues será la empresa responsable de las actividades de ingeniería civil y movimientos de tierras. El consorcio ha definido unos modos constructivos que permitirán la puesta en servicio de la estación en 2021, basados en la prefabricación para las esferas y los vaporizadores, y en el uso de encofrado deslizante para la construcción de los cerramientos. □

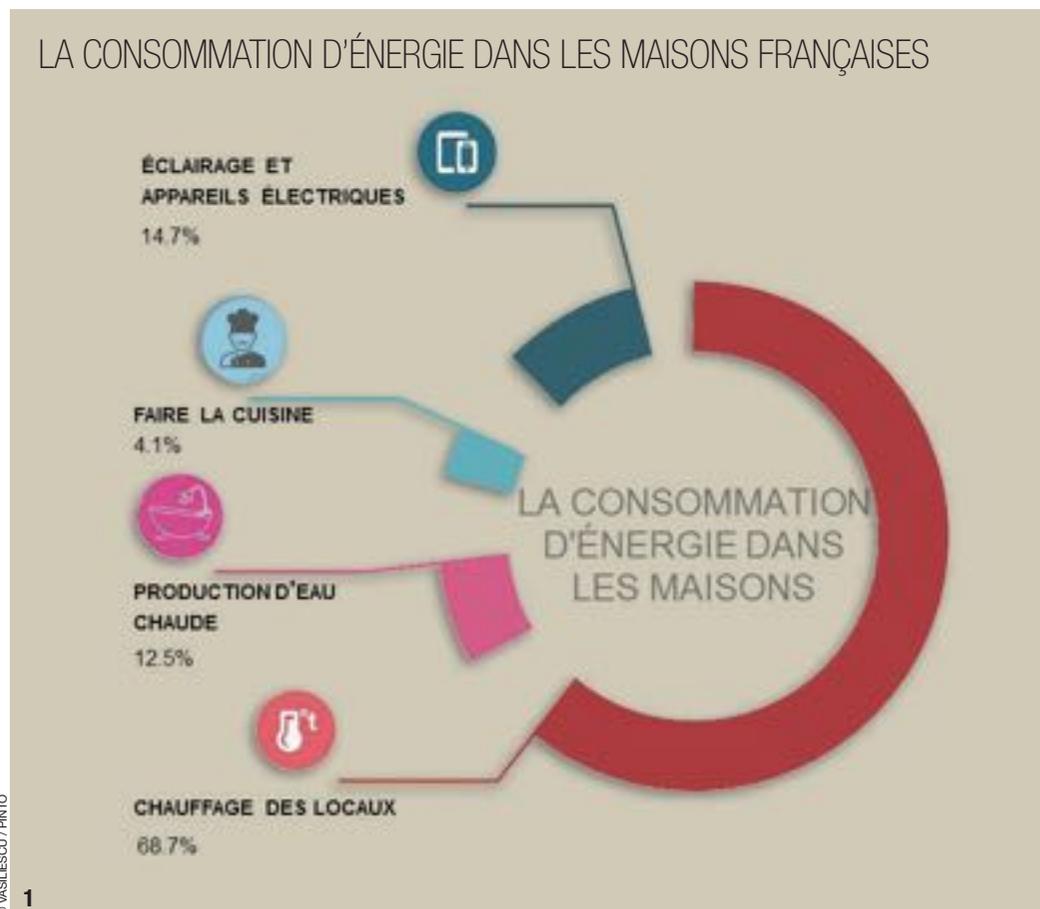


Cage d'armature
de pieu.
Pile reinforce-
ment cage.
© VASILIESCU / PINTO

PIEUX GÉOTHERMIQUES - VALIDATION DE COMPORTEMENT SUR LA STEP DE SEPT-SORTS

AUTEUR : ROXANA VASILESCU, INGÉNIEUR R&D, PINTO

LES PIEUX GÉOTHERMIQUES SONT DES FONDATIONS PROFONDES À DOUBLE FONCTION : ELLES REPRENNENT LES CHARGES DE LA STRUCTURE ET SONT DES ÉCHANGEURS THERMIQUES. AFIN DE VALIDER LE FONCTIONNEMENT DE CE TYPE DE FONDATION, UNE CAMPAGNE EXPÉRIMENTALE DE MESURES DE DÉFORMATION ET TEMPÉRATURE À L'ÉCHELLE RÉELLE A ÉTÉ RÉALISÉE EN APPUI DE TRAVAUX DE RECHERCHES SUR DES FONDATIONS ÉNERGÉTIQUES DESTINÉES À ASSURER 100 % DE LA CLIMATISATION D'UN BÂTIMENT DE BUREAUX DE 340 m².



QU'EST-CE QUE SONT LES PIEUX GÉOTHERMIQUES

Près de 70 % de la consommation énergétique du secteur du bâtiment en France (et près de 40 % dans le monde) dérivent des besoins en chauffage et climatisation (figure 1). Ces usages très gourmands en énergie sont la source

1- La consommation d'énergie dans les maisons françaises.

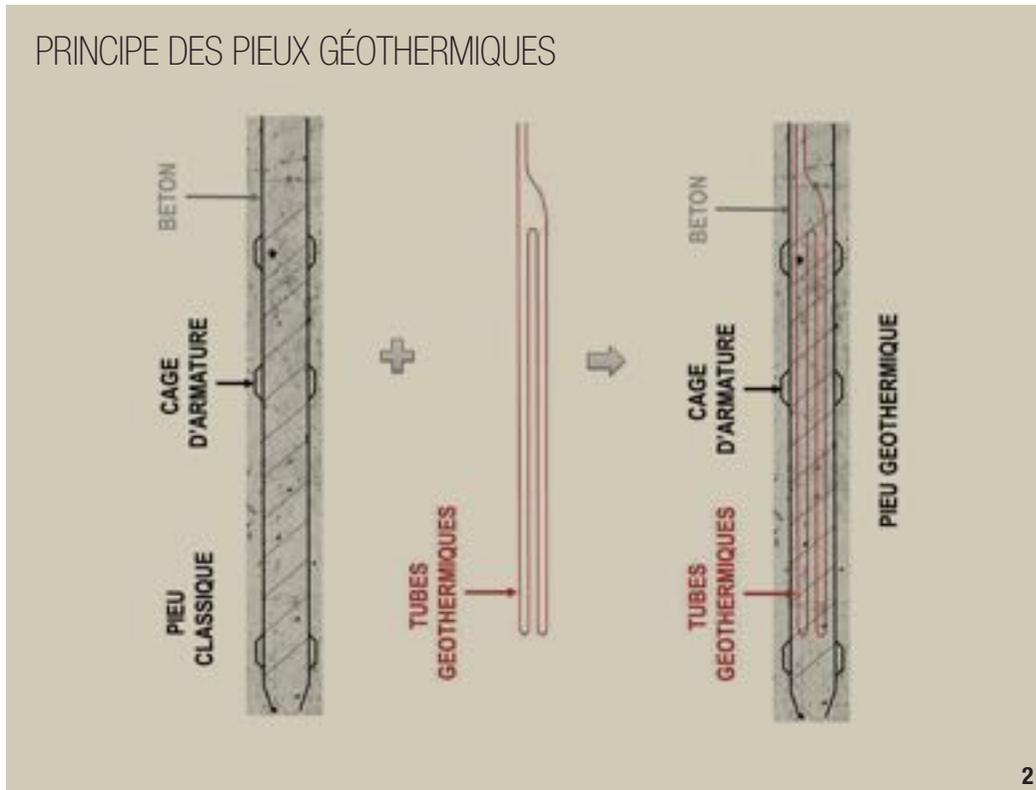
1- Energy consumption in French homes.

de multiples problématiques environnementales et économiques. Trouver des solutions de chauffage et climatisation respectueuses de l'environnement est donc plus que jamais d'actualité. Dans ce contexte, la géothermie apparaît comme une alternative très intéressante car elle représente une source

d'énergie écologique économique et quasiment inépuisable.

La géothermie désigne toutes les techniques qui permettent de récupérer la chaleur contenue dans le sous-sol terrestre (géothermie haute énergie/géothermie basse énergie). La géothermie de très faible profondeur (<100 m) qui fait l'objet de cet article repose sur le fait que, à partir de quelques mètres sous la surface du sol, la température est constante toute l'année (13°C dans la région parisienne). Cette température est supérieure aux températures extérieures d'hiver et de printemps et inférieure aux températures d'été et d'automne ; ainsi le sol peut être utilisé comme source de chaleur pour le chauffage en hiver et comme source de fraîcheur pour la climatisation en été. Les pieux géothermiques peuvent être une solution intéressante pour assurer le chauffage et/ou rafraîchissement des bâtiments qui nécessitent des fondations profondes. En effet, en plus de reprendre les charges de la structure, les pieux peuvent également être utilisés comme échangeurs de chaleur. Le principe est simple : à l'intérieur de ces fondations un réseau de tubes connecté à une pompe à chaleur est installé (figure 2) de manière à pouvoir faire circuler un fluide caloporteur pour échanger de l'énergie thermique avec le terrain. Cette technologie ne génère pas de surcoûts excessifs mais, pour assurer un retour d'investissement rapide, nécessite une intégration dès le début du projet et une réflexion globale sur les aspects de la construction et de la consommation de l'énergie. ▷

PRINCIPE DES PIEUX GÉOTHERMIQUES



2

© VASILESCU / PINTO

2- Principe des pieux géothermiques.

3- Pieu énergétique instrumenté à l'École des Ponts Paris Tech.

4- Machine de cisaillement direct d'interface permettant l'étude du comportement thermo-mécanique des interfaces sol-structure.

2- Principle of geothermal piles.

3- Instrumented energy pile at École des Ponts Paris Tech school.

4- Direct shear device for interface testing, to study the thermomechanical behaviour of soil-structure interfaces.

Les caractéristiques du bâtiment et du sol comme par exemple le nombre, la dimension et le type de pieux, les caractéristiques thermiques du sol, les besoins énergétiques du bâtiment et l'hydrogéologie locale doivent être connus le plus précisément possible pour une intégration optimale des pieux énergétiques. Une pompe à chaleur appropriée garantit que l'énergie dépensée soit inférieure à un quart de l'énergie produite (Coefficient de Performance >4). Cependant il est fortement recommandé d'utiliser cette technique de production de chaleur dans des bâtiments bien isolés et avec un système de distribution à basse température.

À partir de leur apparition dans les années 80 en Autriche, de nombreux projets ont déjà été réalisés au niveau européen dans des écoles, des bâtiments privés ou des constructions publiques. L'exemple probablement le plus connu est celui de Dock Midfield, un terminal de l'aéroport de Zürich où 306 pieux en béton de gros diamètres (90 à 150 cm) ont été équipés sur une longueur moyenne de 27 m de réseaux géothermiques couplés à une pompe à chaleur, pour couvrir une fraction significative des besoins de chaleur en hiver et d'évacuer une partie des charges thermiques du bâtiment en été : 2700 MWh/an en chauffage et

1240 MWh/an en refroidissement (Source : Proceedings European Geothermal Congress 2007, Measured Thermal Performances of the Energy Pile System of the Dock Midfield at Zürich Airport, Daniel Pahud and Markus Hubbuch).

En France, il existe aujourd'hui environ une cinquantaine d'ouvrages équipés de pieux énergétiques. Un exemple est le centre de maintenance du tramway urbain de Tours, où cette méthode fait ses preuves depuis 2013. 54 pieux thermoactifs ont été placés tous les 10 m, sous les 2500 m² de la zone de bureaux. Les pieux thermoactifs sont reliés à une pompe à chaleur.

Pendant une grande partie de l'année, elle couvre l'ensemble des besoins en chaleur des bureaux et des ateliers. À ce jour, les retours d'expérience disponibles sur le comportement mécanique et thermique des géostructures thermiques en phase exploitation sont pourtant peu fréquents. Ces données seraient très utiles dans le cadre de la diffusion de cette technique, notamment pour améliorer la qualité des modèles prédictifs utilisés pour la conception, ou encore pour identifier et diagnostiquer d'éventuels écarts de fonctionnement ou de rendement. L'objectif de notre étude est ainsi de lever des incertitudes sur le comporte-



3



4

© VASILESCU / PINTO

ment in-situ d'une fondation sur pieux en comparant sa réponse avant et après son activation géothermique.

Cette étude fait partie d'un projet de recherche qui concerne la validation par des essais in situ et en laboratoire du comportement des pieux géothermiques, mené dans le cadre d'une thèse CIFRE encadré par l'École Centrale de Nantes, l'entreprise Pinto et la Fntp (voir encadré).

L'étude est complétée par des essais de portance des pieux énergétiques après des cycles de température 0-30°C à l'École des Ponts Paris Tech (figure 3) et d'une campagne expérimentale à l'échelle du laboratoire sur une nouvelle machine de cisaillement direct d'interface permettant l'étude du comportement thermo mécanique des interfaces sol-structure (figure 4).

EXEMPLE DE LA STATION D'ÉPURATION DE LA COMMUNE DE SEPT-SORTS (77) CONTEXTE DU PROJET

Dans le cadre de la restructuration de la station d'épuration (STEP) de la commune de Sept-Sorts dans le département de la Seine-et-Marne, on a mis en œuvre des fondations géothermiques pour assurer la couverture des besoins énergétiques de chauffage et refroidissement du bâtiment d'exploitation. À cette fin, 45 des 100 pieux structurels de fondation du bâtiment de prétraitement de la STEP ont été équipés des réseaux géothermiques (figure 5). Lors du chauffage du bâtiment, les pieux sont refroidis par rapport au sol

CADRE DE LA RECHERCHE

Thèse " Dimensionnement et exécution de pieux énergétiques : validation par essais in-situ et en laboratoire " (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02395284/document>) de Roxana Vasilescu, soutenue à l'École Centrale de Nantes le 8 juillet 2019. Directeur de thèse : Panagiotis Kotronis, professeur des universités à l'École Centrale de Nantes.

La thèse a été financée par l'entreprise Pinto et par la Fntp. Le suivi technique a été réalisé par Richard Manirakiza, entreprise Pinto, Jean Paul Volcke, Fayat Fondations, pour la Fntp, Marie Chrétien, Nge Fondations, pour la Fntp, et Philippe Gotteland, Direction Technique Recherche Fntp. Ce travail scientifique a contribué à la formalisation des " Recommandations pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des géostructures thermiques " du Cfms/Syntec Ingénierie/Soffons-Fntp (2017) (<http://www.cfms-sols.org/documentation/normes-et-recommandations>).

5- Mise en place des pieux énergétiques :
(a) Forage des pieux, (b) Installation des cages équipées des tubes géothermiques, (c) Recépage des pieux géothermiques.

5- Installation of energy piles:
(a) Pile drilling; (b) Installation of reinforcing cages fitted with geothermal tubes; (c) Cutting-off geothermal piles.

avoisinant. À l'inverse, lors d'un rafraîchissement du bâtiment, les pieux sont réchauffés par rapport au sol avoisinant. Sous l'effet de réchauffement/refroidissement la fondation se dilate/contracte en interaction avec le sol et le bâtiment, ce qui peut engendrer des déplacements verticaux et/ou l'évolution de la contrainte verticale dans les pieux. Afin de mieux comprendre l'influence de ce type de chargement sur le comportement du pieu et du sol avoisinant trois pieux (les pieux énergétiques P18 et P29 et un pieu conventionnel, P15) ont été instrumentés.

SITE DE CONSTRUCTION DE SEPT-SORTS

Le site est localisé sur un terrain en pente en bordure de la plaine alluviale de la Marne et comprend des couches d'alluvions modernes, de marne et

caillasses et du calcaire grossier. À partir des résultats issus des essais pressiométriques les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés sous le projet sont présentées dans le tableau 1 et la figure 6.

Au regard des hypothèses géotechniques retenues, des descentes de charges et des règlements en vigueur, des solutions de fondations différentes ont été retenues pour chaque ouvrage de la STEP. Ainsi une fondation sur inclusions rigides a été réalisée pour le bâtiment d'exploitation (bureaux) et des pieux pour les bâtiments de prétraitement. Ce choix explique la particularité du captage géothermique : des réseaux géothermiques ont été installés dans les pieux du bâtiment de prétraitement afin de répondre aux besoins énergétiques du bâtiment des bureaux.

Le bâtiment de prétraitement a une empreinte au sol d'environ 15x40 m et est fondé sur 100 pieux forés à la tarière creuse de diamètre 420 mm et 9 m de profondeur sous le radier, équipés de cages d'armature 6HA14 sur toute la hauteur. Quarante-cinq de ces pieux sont équipés de tubes en PEHD 25x3 mm installés dans des configurations en W (figure 2) fixés sur les armatures.

LA POMPE À CHALEUR GÉOTHERMIQUE

Les 45 pieux énergétiques ont été organisés en 15 groupes de 3 pieux installés en série et reliés par des réseaux horizontaux à un collecteur dans la limite Est du bâtiment. ▷



TABLEAU 1 : PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DU SOL SOUS LE BÂTIMENT DE PRÉTRAITEMENT

Géologie	Pression limite nette p_l^* (MPa)	Module Pressiométrique E_M (MPa)	Cohésion effective c' (kPa)	Angle de frottement ϕ (°)	Conductivité thermique λ (W/m°C)	Capacité thermique du terrain C_s (J/Kg°C)
Alluvions modernes	0.5	5	0	30	0.6-1.8	1.8-2.0
Marne et caillasses altères	1	11	5	25	1.5-2.5	2.2
Marne et caillasses	2	30	10	25	1.5-2.5	2.2
Calcaire grossier	>5	100	50	30	1.2-2.5	2.1-2.4

La particularité du captage géothermique a nécessité des dispositions particulières avec la mise en place des liaisons dites «principales» afin d'acheminer le fluide caloporteur, un mélange de 10% de glycol et 90% d'eau, du niveau des collecteurs jusqu'au local chaufferie du bâtiment d'exploitation. Une pompe à chaleur RWEYQ8T de Daikin a été mise en place afin d'assurer une puissance de 25 kW en chauffage et 22,4 kW en refroidissement pour assurer 100% des besoins en chauffage et de climatisation du bâtiment de bureaux de 340 m².

INSTRUMENTATION

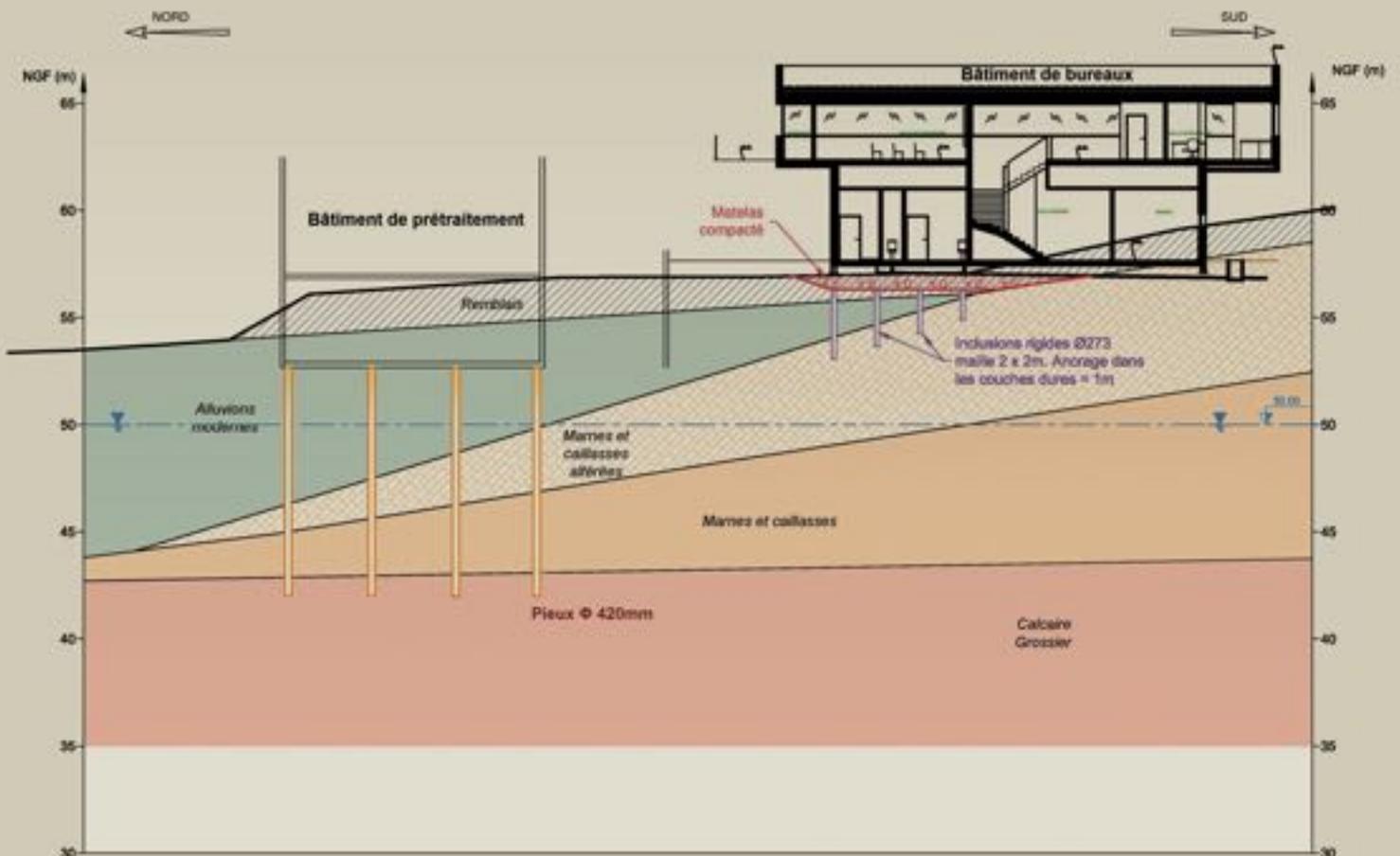
Trois pieux (deux pieux géothermiques et un pieu conventionnel) ont été instrumentés lors de la construction. Les pieux géothermiques P29 et P18 ont été instrumentés par le Cerema avec 7 extensomètres à corde vibrante (modèle ECV 150, fournis par Glötzl France Géotechnique). Les extensomètres, placés en position longitudinale par rapport à l'axe du pieu, ont été accrochés aux cages d'armature et noyés dans le béton frais lors du coulage (figures 7 et 8). Chaque corde vibrante est équipée d'un capteur de

6- Coupe géotechnique du terrain au-dessous des bâtiments de prétraitement et de bureaux.

6- Geotechnical cross section of the ground below the pretreatment buildings and offices.

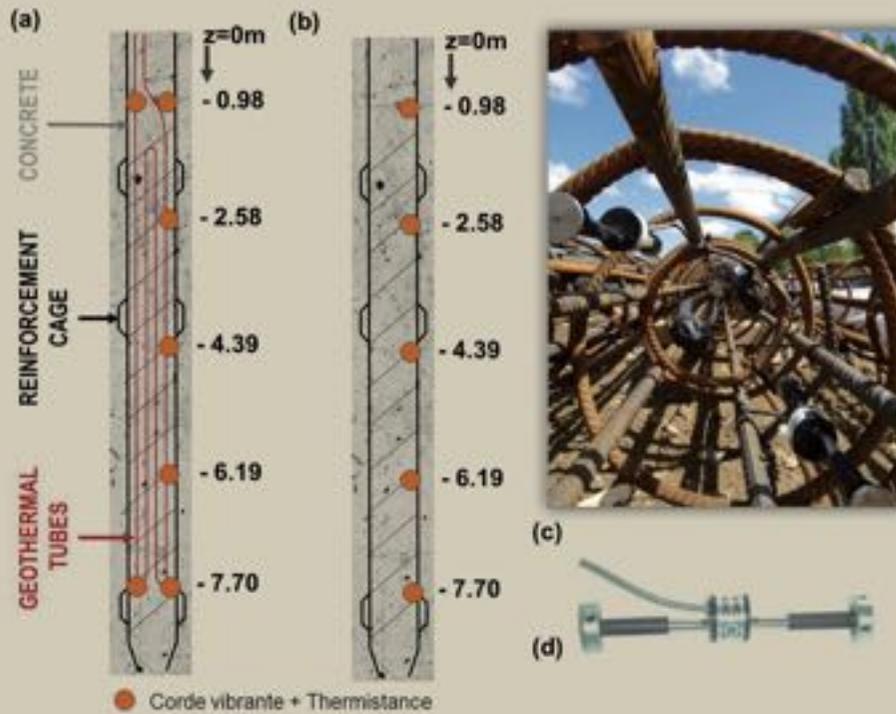
température afin de pouvoir suivre l'évolution de la température au cours du temps. Le pieu conventionnel P15, non géothermique, a également été instrumenté pour servir de référence aux deux pieux géothermiques, ainsi que pour évaluer l'effet de la température et des déformations de pieux géothermiques sur les autres pieux de fondation. La précision de mesure de chaque corde vibrante est de 10 µm/m et de 1°C pour la température. Des capteurs de température PT100 ont également été installés sur les circuits d'entrée et sortie du manifold respecti-

COUPE GÉOTECHNIQUE DU TERRAIN AU-DESSOUS DES BÂTIMENTS DE PRÉTRAITEMENT ET DE BUREAUX



INSTRUMENTATION

(a) La position des cordes vibrantes et thermistances dans les pieux géothermiques P29 et P18 et (b) dans le pieu classique P15, (c) la cage d'armature du pieu P29, (d) un extensomètre à corde vibrante

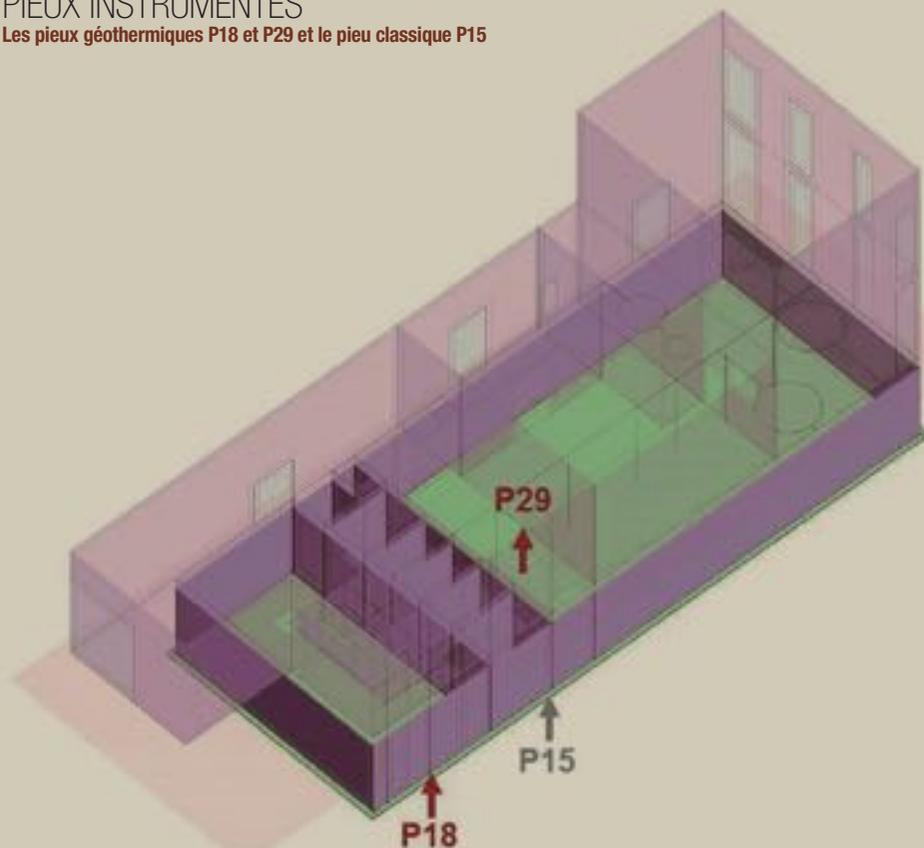


© VASILESCU / PINTO

7

PIEUX INSTRUMENTÉS

Les pieux géothermiques P18 et P29 et le pieu classique P15



© VASILESCU / PINTO

8

7- Instrumentation : (a) La position des cordes vibrantes et thermistances dans les pieux géothermiques P29 et P18 et (b) dans le pieu classique P15, (c) la cage d'armature du pieu P29, (d) un extensomètre à corde vibrante.

8- Pieux instrumentés : les pieux géothermiques P18 et P29 et le pieu classique P15.

7- Instrumentation: (a) Position of vibrating wire gages and thermistors in geothermal piles P29 and P18 and (b) in conventional pile P15; (c) the reinforcement cage of pile P29; (d) a vibrating wire extensometer.

8- Instrumented piles: geothermal piles P18 and P29 and conventional pile P15.

vement afin d'estimer la chaleur extraite avec la PAC. Un autre capteur PT100 a été utilisé pour enregistrer la température atmosphérique. Les capteurs PT100 ont une précision de 0,3°C.

RÉSULTATS DE DEUX ANS DE SUIVI

Suite au phasage des travaux de rénovation, le bâtiment de prétraitement a été terminé et mis en service en octobre 2017 alors que le bâtiment de bureaux à climatiser n'a été terminé qu'en décembre 2018. Ceci a permis une année complète de monitoring du comportement de la fondation thermoactive avant son activation géothermique pour une comparaison précise de l'effet de l'exploitation géothermique a posteriori de la fondation (figure 9).

Les résultats après la première année "non-géothermique" confirment des constats déjà signalés dans la littérature : une variation de température peut être enregistrée dans la couche des premiers 5 m de sol, mai au-dessous de ce niveau la température se stabilise et reste constante autour de 13°C. ▷

9- (a) Évolution de la température de l'air, (b) Évolution de la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur au niveau des manifolds et (c) l'énergie extraite dans une année d'exploitation géothermique.

10- Évolution de la température dans le pieu géothermique P18 selon les saisons (a) Avant, (b) Après l'activation géothermique.

11- Évolution de la déformation du pieu géothermique P18 selon les saisons (a) Avant, (b) Après l'activation géothermique.

9- (a) Air temperature; (b) Heat-transfer fluid entry and exit temperature at the manifolds level; and (c) energy extracted in one year of geothermal operation.

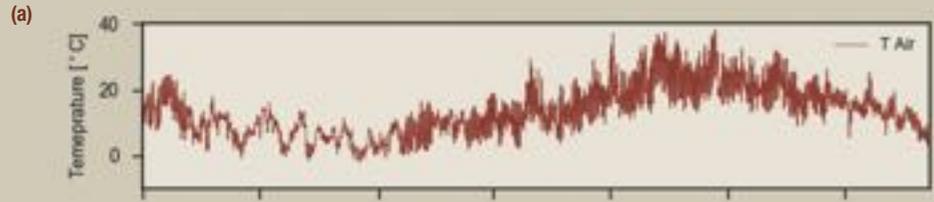
10- Temperature changes in geothermal pile P18 according to the seasons (a) before, and (b) after geothermal activation.

11- Strain changes in geothermal pile P18 according to the seasons (a) before, and (b) after geothermal activation.

Ces résultats confirment aussi l'hypothèse que le sol peut être utilisé comme source de chaleur l'hiver et source de fraîcheur l'été ; ainsi la température du sol est supérieure à la température moyenne hivernale de l'air et inférieure à la température estivale.

La mise en service de la pompe à chaleur dans ce cas engendre une modification du profil de température le long de pieu : en raison de la circulation du fluide caloporteur, la température est constante sur la longueur du pieu équipé des réseaux géother-

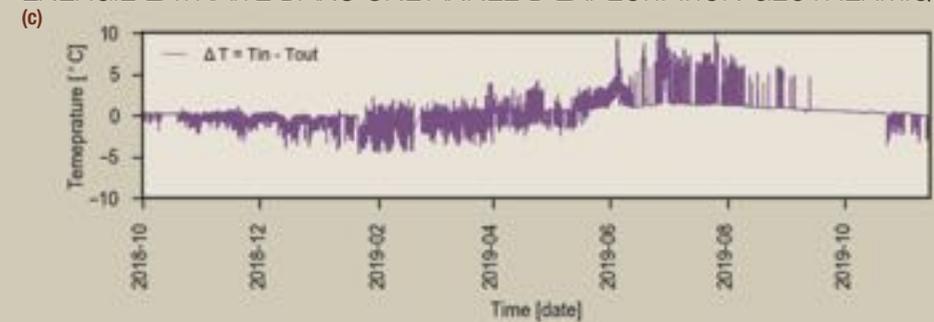
ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR



ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE D'ENTRÉE ET DE SORTIE DU FLUIDE CALOPORTEUR AU NIVEAU DES MANIFOLDS

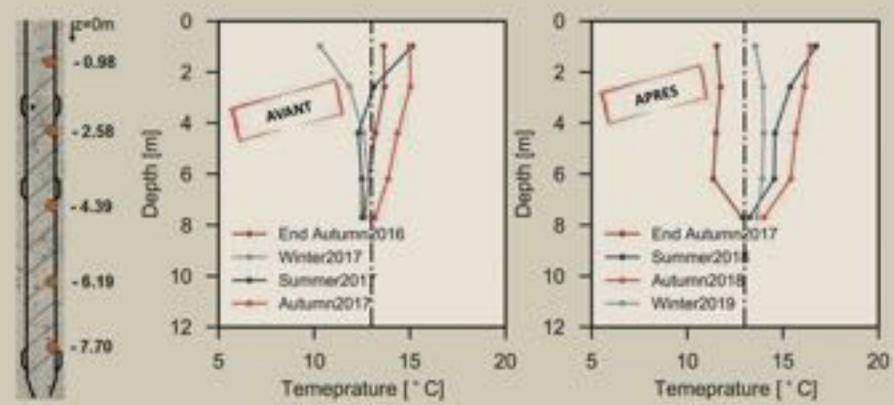


ÉNERGIE EXTRAITE DANS UNE ANNÉE D'EXPLOITATION GÉOTHERMIQUE



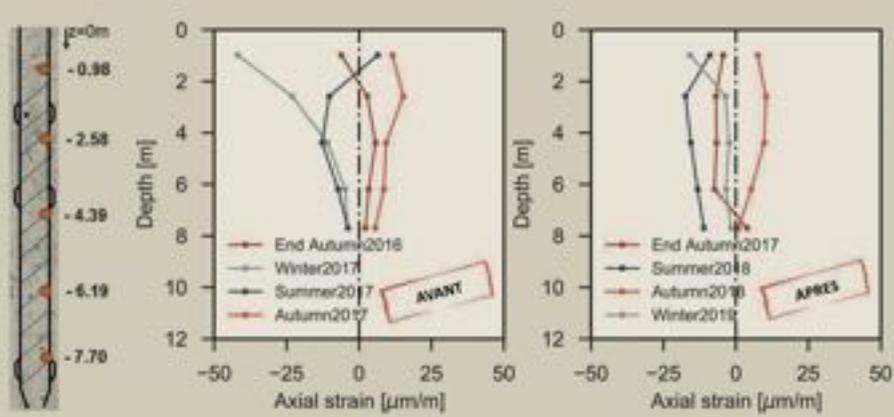
ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DANS LE PIEU GÉOTHERMIQUE P18 SELON LES SAISONS

(a) Avant, (b) Après l'activation géothermique

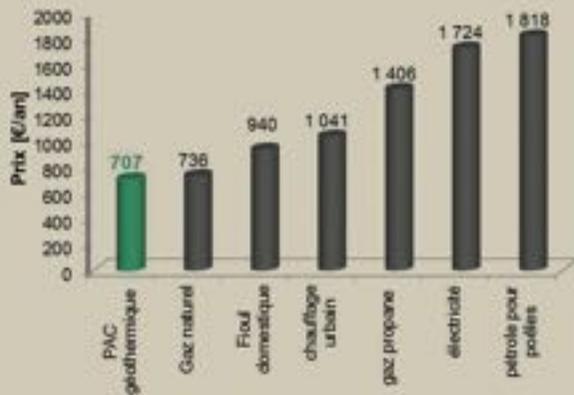


ÉVOLUTION DE LA DÉFORMATION DU PIEU GÉOTHERMIQUE P18 SELON LES SAISONS

(a) Avant, (b) Après l'activation géothermique

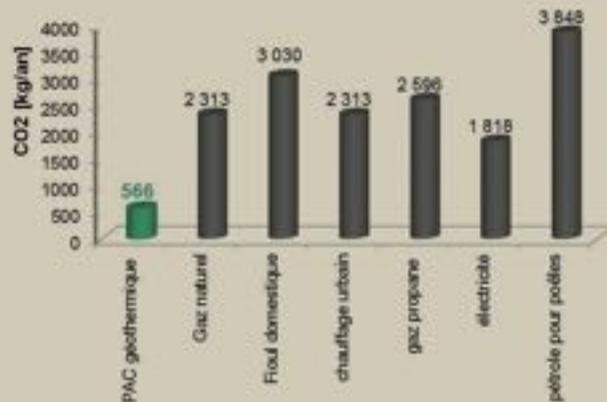


COÛT ANNUEL POUR CHAUFFER LE BÂTIMENT DE BUREAU



12a

BILAN CARBONE DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS DE CHAUFFAGE



12b

mique (le dernier capteur est situé à 7,7 m, en-dessous du niveau de captage géothermique qui s'arrête à 7 m). La variation de la température dans le pieu est par contre inférieure à 10°C. Elle a donc le même ordre de grandeur que la variation de température dans les pieux avant l'activation géothermique, due à la variation saisonnière de la température de l'air.

La même tendance peut être observée pour les valeurs de déformation des pieux. Des déformations dues à des changements saisonniers de température de l'ordre de $\pm 40 \mu\text{m/m}$ sur une variation linéaire avec la profondeur peuvent être observés avant l'activation géothermique de la fondation alors que, pendant l'année, selon les observations après la mise en service de la pompe à chaleur, la totalité de la longueur du pieu équipé des tubes géothermiques subit des déformations comprises entre $\pm 25 \mu\text{m/m}$. Ces valeurs de déformation sont cependant très faibles et restent bien au-des-

12- (a) Coût annuel pour chauffer le bâtiment de bureaux et (b) bilan carbone des différentes solutions de chauffage.

12- (a) Annual cost to heat the office building and (b) carbon balance of the various heating solutions.

PRINCIPALES QUANTITÉS

PIEUX : 100 u
PIEUX GÉOTHERMIQUES : 45 u

sous de la limite élastique du béton. L'exploitation de la géothermie permet la production d'une énergie respectueuse de l'environnement. Le surcoût engendré par la transformation d'un système de chauffage traditionnel reste faible et le retour sur investissement est estimé à environ 8 ans. Par rapport aux autres moyens de chauffage le coût d'exploitation géothermique de la fondation reste inférieur aux solutions classiques (figure 12), le prix total et le bilan carbone étant représenté par la consommation électrique de la PAC.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les pieux géothermiques sont donc une technologie prometteuse qui permet le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments en plus de leur rôle structurel en réduisant en même temps le coût environnemental de la mise en place d'une structure en béton (gain d'énergie propre produite). Cette solution durable et facile d'installation peut être réalisée avec un retour d'investissement rapide au regard de la durée de vie des ouvrages. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE OUVRAGE : Communauté de communes du Pays Fertois
ASSISTANT À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE : Egis Eau
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Cabinet Merlin
ENTREPRISE CONCEPTION : Aqualter
ENTREPRISES GROS ŒUVRE - GÉNIE CIVIL : Pinto / Lucas
ENTREPRISE DE FONDATIONS : Pinto

ABSTRACT

GEOTHERMAL PILES - PERFORMANCE VALIDATION ON THE SEPT-SORTS PSPS

ROXANA VASILESCU, PINTO

Energy geostructures are an interesting alternative solution to the increase in global energy requirements and the need to reduce the use of fossil energies. To exploit the energy contained in the ground, foundation piles are fitted with a system of pipes in which the circulation of a heat-transfer fluid in a closed circuit allows heat exchange between the piles and the ground. To better understand the impact of cyclic thermal loading due to geothermal exploitation of foundations, an experimental full-scale strain and temperature measuring campaign was carried out on instrumented piles under a Pumped Storage Power Station (PSPS). □

PILOTES GEOTÉRMICOS - VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN LA EDAR DE SEPT-SORTS

ROXANA VASILESCU, PINTO

Las geoestructuras energéticas constituyen una solución alternativa interesante frente al incremento de las necesidades mundiales de energía y la reducción del uso de las energías fósiles. Para aprovechar la energía contenida en el suelo, los pilotes se equipan con un sistema de tubos en el cual la circulación en circuito cerrado de un fluido caloportador permite el intercambio térmico entre los pilotes y el suelo. Para comprender mejor el impacto de las cargas térmicas cíclicas debidas a la explotación geotérmica de la cimentación, se ha llevado a cabo una campaña experimental de mediciones de deformación y temperatura a escala real en dos pilotes instrumentados bajo una estación depuradora de aguas residuales (EDAR). □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE BARRAGE DES BÉNI-BAHDEL EN ALGÉRIE

PAR L'ENTREPRISE CAMPENON BERNARD

TRAVAUX N°40 (AVRIL 1936), N°42 (JUN 1936), N°45 (SEPTEMBRE 1936), N°47 (NOVEMBRE 1936), N°51 (MARS 1937), N°57 (SEPTEMBRE 1937), N°70 (OCTOBRE 1938)

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



À une époque où les constructeurs français réalisaient 45 % de leur activité en Afrique du Nord, ce barrage important a été construit en Algérie par l'entreprise Campenon Bernard et l'ingénieur-conseil Stucky, entre 1935 et 1940, sur l'oued Tafna, dans ce qui était à l'époque le département d'Oran, aujourd'hui la wilaya de Tlemcen, tout près de la frontière avec le Maroc. C'est un aménagement destiné d'abord à l'irrigation de la région de Maghnia (célèbre pour ses carrières de bentonite), et ultérieurement à l'alimentation en eau potable d'Oran. Il est doté de trois usines hydroélectriques de modeste puissance, une en pied de barrage et les deux autres au fil des conduites

avec des chutes de 110 m et 260 m. C'est donc une illustration quelque peu antinomique de la production d'énergie que nous donnons ici. L'énergie d'origine hydraulique n'était pas au premier rang des préoccupations des autorités coloniales de l'époque dans l'ouest algérien. La conception aurait peut-être été différente aujourd'hui.

Le matériel et les matériaux arrivaient par la gare de Sidi Médjahed. Un long téléphérique, qui marchait continuellement, les apportait au chantier.

En 1935, complètement isolé par la neige pendant 15 jours, le chantier n'a vécu que par le téléphérique qui lui apportait, en plus, le ravitaillement. Le barrage principal à voûtes et contreforts, long de 307 m en crête,

semblait fini en 1937/1938. Les voûtes et les contreforts atteignaient la hauteur prévue de 47 m. C'est alors que la ville d'Oran réclama une adduction urbaine. Pour augmenter la retenue d'eau, une surélévation de 7 m devenait nécessaire.

La solution technique fut l'œuvre d'Eugène Freyssinet, par utilisation de la précontrainte qui constituait une innovation technique. Les deux digues de col prévues en barrages poids de 8 m de haut furent remplacées par des voûtes de 15 m et des becs de canard. Une conduite de 170 km en diamètre 1,10 m fut construite pour acheminer l'eau pure des Béni-Bahdel, où elle ne coula qu'en août 1952 au robinet des cuisines oranaises.

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: BÉNI-BAHDEL DAM IN ALGERIA

TRAVAUX N°40 (APRIL 1936), N°42 (JUNE 1936), N°45 (SEPTEMBER 1936), N°47 (NOVEMBER 1936), N°51 (MARCH 1937), N°57 (SEPTEMBER 1937), N°70 (OCTOBER 1938)

ENTREPRISE CAMPENON BERNARD

At a time when 45% of French contractors' operations were carried out in North Africa, this large dam was built in Algeria by the firm Campenon Bernard and consulting engineer Stucky. The dam was built between 1935 and 1940, on the Tafna wadi, in what was at that time the Oran department, now the wilaya of Tlemcen, right next to the border with Morocco. The project was designed first for irrigation of the Maghnia region (famed for its bentonite quarries), and subsequently for the potable water supply of Oran. It has three hydropower plants of modest capacity, one at the base of the dam and the other two on the pipelines, with water heads of 110 and 260 metres. What we have here is therefore a rather atypical illustration of power production. Hydroelectric power was not the primary concern of the colonial authorities in western Algeria at that time. The design would possibly have been different nowadays. The equipment and materials arrived via Sidi Médjahed Station. A long cableway, operating continually, conveyed them to the construction site. In 1935, completely isolated by the snow for 15 days, the project survived only thanks to the cableway, which also brought it supplies. The main buttress arch dam, with a crest length of 307 m, was apparently finished in 1937-1938. The arches and buttresses reached the planned height of 47 m. It was then that the city of Oran demanded an urban water supply. To enlarge the reservoir, 7 metres had to be added to the height. The technical solution was the work of Eugène Freyssinet, using prestressing, which represented a technical innovation. The two saddle dykes planned as gravity dams 8 metres high were replaced by 15-metre arches and duckbill spillways. A 170 km pipeline of diameter 1.10 m was built to convey the pure water from Béni-Bahdel, where it flowed only in August 1952 to the kitchen taps in Oran. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LA PRESA DE BÉNI-BAHDEL EN ARGELIA

TRAVAUX N°40 (ABRIL DE 1936), N°42 (JUNIO DE 1936), N°45 (SEPTIEMBRE DE 1936), N°47 (NOVIEMBRE DE 1936), N°51 (MARZO DE 1937), N°57 (SEPTIEMBRE DE 1937), N°70 (OCTUBRE DE 1938)

EMPRESA CAMPENON BERNARD

En una época en que los constructores franceses realizaban el 45% de su actividad en el norte de África, esta importante presa fue construida en Argelia por la empresa Campenon Bernard y la consultoría de ingeniería Stucky entre 1935 y 1940, sobre el oued Tafna, en lo que a la sazón era el departamento de Orán, y actualmente la wilaya de Tlemcen, muy cerca de la frontera con Marruecos. Se trata de una construcción inicialmente diseñada para el riego de la región de Maghnia (famosa por sus canteras de bentonita), y posteriormente utilizada para el abastecimiento de agua potable de Orán. Cuenta con tres plantas hidroeléctricas de baja potencia, una al pie de la presa y las otras dos en las líneas de flujo con caídas de 110 m y 260 m. El caso presentado es, por tanto, un ejemplo antinómico de la producción de energía, dado que la energía de origen hidráulico no era la principal preocupación de las autoridades coloniales de la época en el oeste argelino. Hoy probablemente se habría diseñado de un modo distinto. Los materiales llegaban a la estación de Sidi Médjahed, y un largo teleférico, que funcionaba de forma continua, los transportaba hasta la obra. En 1935, completamente aislada por la nieve durante 15 días, la obra estuvo únicamente aprovisionada por el teleférico, que además le aportaba el abastecimiento. La presa principal con bóvedas y contrafuertes, de 307 m de longitud en la cresta, parecía acabada en 1937/1938. Las bóvedas y contrafuertes alcanzaban la altura prevista de 47 m. Fue entonces cuando la ciudad de Orán reclamó un abastecimiento de agua. Para aumentar el volumen de agua represada era necesaria una sobreelevación de 7 m. La solución técnica, obra de Eugène Freyssinet, fue el uso del pretensado, que representaba una innovación técnica. Los dos diques de cuello previstos como presas de gravedad de 8 m de altura fueron sustituidos por bóvedas de 15 m y picos de pato. Se construyó un conducto de 170 km y 1,10 m de diámetro para enviar el agua de Béni-Bahdel, que no fluyó de los grifos de las cocinas oranesas hasta agosto de 1952. □

Barrage des Beni-Bahdel

Ce barrage à voûtes multiples situé à 28 kilomètres à vol d'oiseau au Sud-Ouest de Tlemcen-Sebdou-Mixte-Algérie, est actuellement en cours de construction ; nous exposons ci-après succinctement la situation et les caractéristiques de cet ouvrage. Par la suite nous publierons périodiquement des documents montrant les différentes phases d'avancement du chantier, puis, en temps voulu, des considérations techniques sur cette intéressante réalisation.

Rivière.

Nom de la rivière : Oued Tafna (l'Oued Khemis, affluent important de la rive gauche de la Tafna, se jette dans celle-ci, à 700 mètres environ en amont du barrage).

Superficie du bassin versant : 1 015 kilomètres carrés.

Débit moyen annuel : 85 millions de mètres cubes.

Débit d'étiage (moyenne sur neuf ans) : 1 mètre cube-seconde.

Débit instantané de la crue la plus forte observée depuis 1925 : 150 m³ : sec.

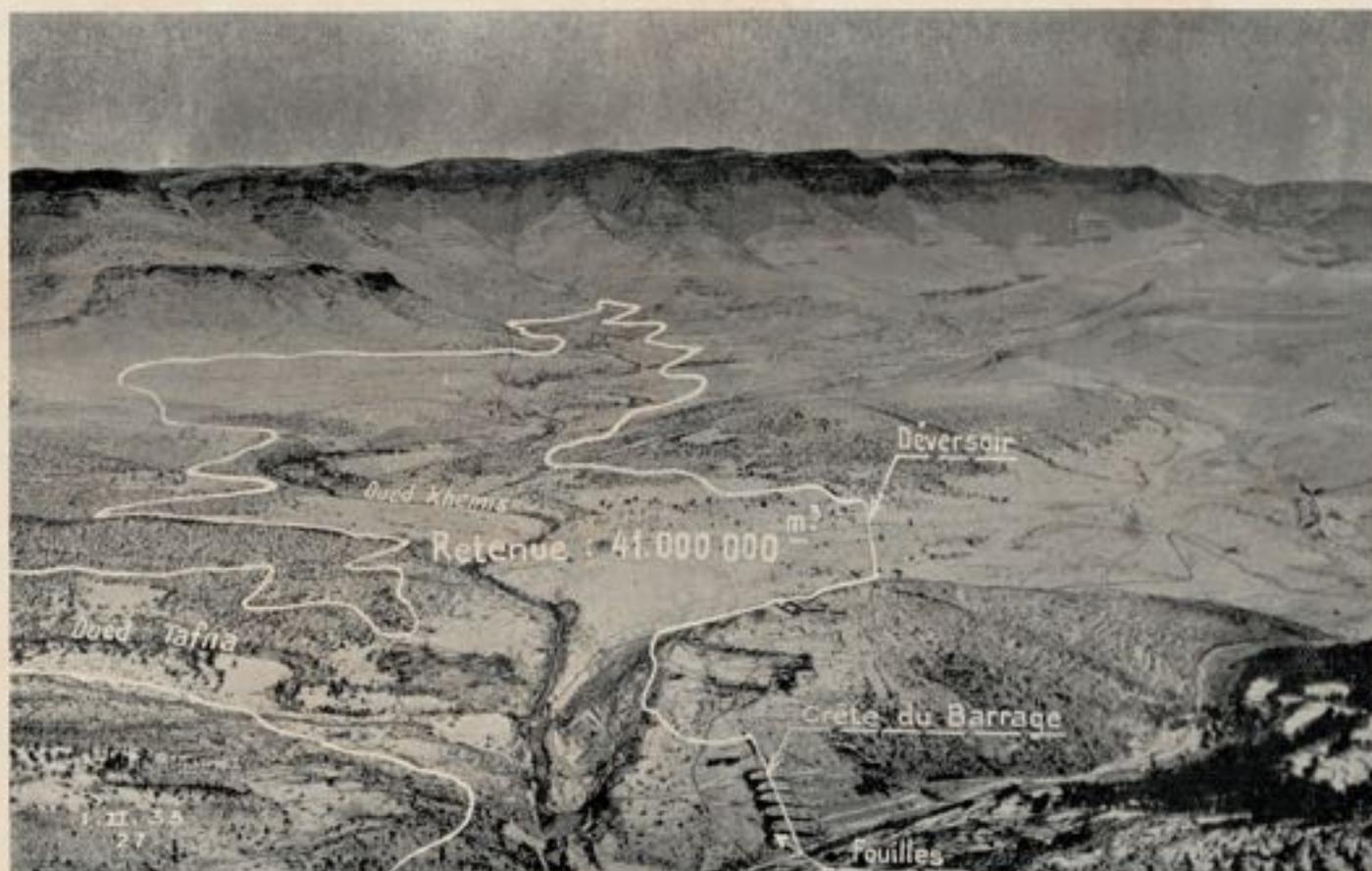
Réserve.

Cote maximum de la retenue : 647 mètres.

Cube emmagasiné : 41 millions de mètres cubes.

Surface de remous à la cote (647) : 210 hectares.

Fig. 1. — Vue de l'emplacement du barrage et de la cuvette de la retenue.



Barrage.

A. *Type.* — A voûtes multiples.

Cote de la crête : 647.

Cote primitive du thalweg : 600.

Hauteur maximum du barrage : 47 mètres au-dessus du fond de l'ancien lit.

Longueur en crête : 307 mètres.

Le barrage sera rectiligne. Il sera constitué, sur 220 mètres, par un ensemble de 11 voûtes s'appuyant sur des contreforts distants de 20 mètres d'axe en axe. Les extrémités du barrage seront formées par deux tronçons de barrage-poids de 65 mètres de longueur sur la rive gauche et de 35 mètres sur la rive droite. Une passerelle de 4 mètres de largeur entre garde-corps (chaussée de 2,50 m et 2 trottoirs de 0,75 m) régnera tout le long de l'ouvrage sur les contreforts à la cote 647.

B. *Fondations. Parafouille.* — Le terrain de fondation est constitué par des couches alternées de grès plus ou moins fissurés et de schistes. Le parafouille sera descendu jusqu'à la roche en place dans laquelle il sera encastré.

Le massif de fondation sera constitué par des voûtes à axe vertical encastrées dans le rocher en place.

C. *Contreforts. Contreventements.* — Les contreforts seront verticaux et normaux à la direction générale de l'ouvrage. Ils seront

pleins et en béton ordinaire légèrement armé sur les parements. Le parement amont qui recevra les voûtes sera incliné à 1 de base pour 0,95 m de hauteur. Le parement aval aura un fruit de 0,30 m de la base à la cote 637 et un fruit de 0,05 m de la cote 637 à la cote 647.

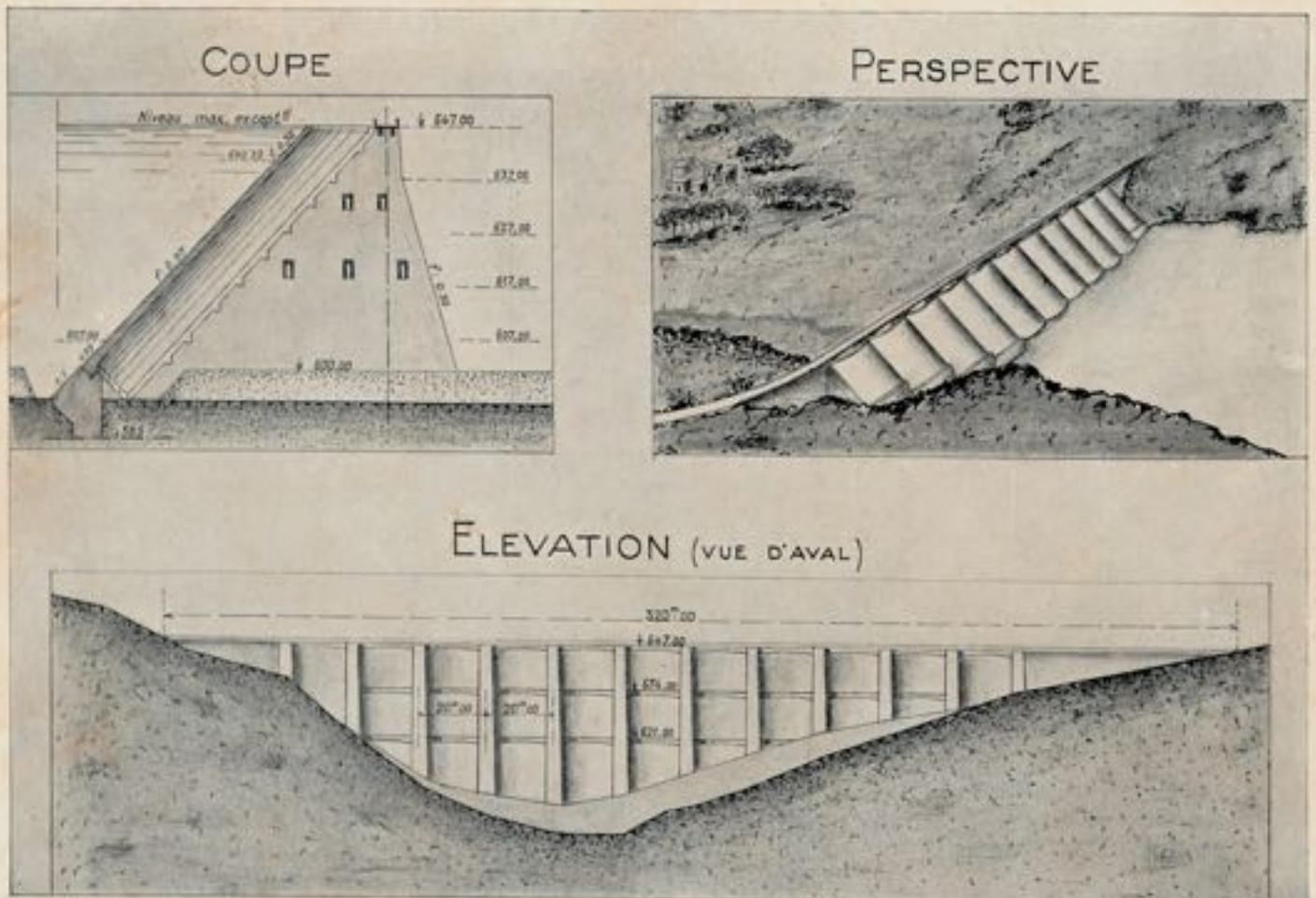
Ces contreforts seront contreventés par des entretoises en béton armé ayant la forme d'un U renversé mesurant 1,20 m de hauteur au milieu et allant en s'épaississant (rayon de 30 mètres) vers les contreforts ; leur largeur sera de 1,50 m.

Ces entretoises seront établies aux cotes 608, 621 et 634. Elles seront, soit encastrées dans les contreforts, soit articulées aux extrémités et à la clef. Le type, constant dans une même travée, changera d'une travée à l'autre.

D. *Voûtes.* — Chaque voûte, dont l'épaisseur sera constante dans une section droite, sera à section semi-circulaire. L'intrados aura un fruit de 0,95 par mètre. L'épaisseur des voûtes qui sera constante (0,70 m) du sommet à la cote 640,33 ira en augmentant de 0,015 m par mètre de profondeur en allant vers la base. Les voûtes seront encastrées à leur base au moyen d'armatures dans des semelles reposant sur le massif de fondation. Elles seront armées à l'aide d'arcs en charpentes métalliques profilées et de barres rondes disposées suivant l'intrados et l'extrados.

Le parement amont sera recouvert d'un écran de 0,50 m d'épaisseur moyenne en béton maigre, corps creux moulé d'avance en éléments.

Fig. 2. — Coups, perspective et élévation du barrage.



Ouvrage d'étanchéité.

Les ouvrages d'étanchéité dans le sol seront constitués :
 Par un mur parafouille de 6 mètres de largeur descendant jusqu'à la roche en place à des profondeurs variant de 8 à 20 mètres ;
 Par des écrans principaux et secondaires réalisés au moyen d'injections de ciment et peut-être de produits chimiques.

Ouvrage de dérivation.

Galerie de dérivation. — Pendant la construction du barrage, les eaux de la Tafna seront dérivées par une galerie capable d'évacuer un débit de 300 m³ : sec (plan d'eau à la cote 617,80). Ce souterrain recevra dans toute sa longueur un revêtement en béton de ciment de 0,70 m d'épaisseur. Ce revêtement sera, en outre, revêtu à l'extérieur, dans la traversée du terrain schisteux, d'anneaux en maçonnerie de 0,50 m d'épaisseur moyenne.

Après achèvement des travaux, l'ouvrage sera aménagé pour servir de vidange des eaux.

Batardeaux. — Le batardeau amont sera constitué par un massif en enrochements de grosseur décroissante de l'aval vers l'amont, in-

cliné à 1-1,5 à l'amont et à 1-1,1 à l'aval. Le massif sera recouvert d'un masque en béton de ciment. Il sera arasé à la cote 618.

Le batardeau aval sera constitué par les décharges.

Déversoir.

La digue déversoir de 180 mètres environ de longueur et capable d'évacuer un débit maximum de 1 200 m³ : sec. est à l'étude.

Rôle de l'ouvrage.

Possibilité d'aménager et d'étendre la zone d'irrigation de la plaine de Marnia (12 500 hectares).

Construction de 2 usines hydro-électriques (15 millions de kWh).

..

Le Barrage des Beni-Bahdel est actuellement en cours de construction. Les travaux, entrepris sous la direction de M. Vergneaud ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. Drouhin, ingénieur des Ponts et Chaussées, ont été confiés à la Société Campenon-Bernard de Paris.

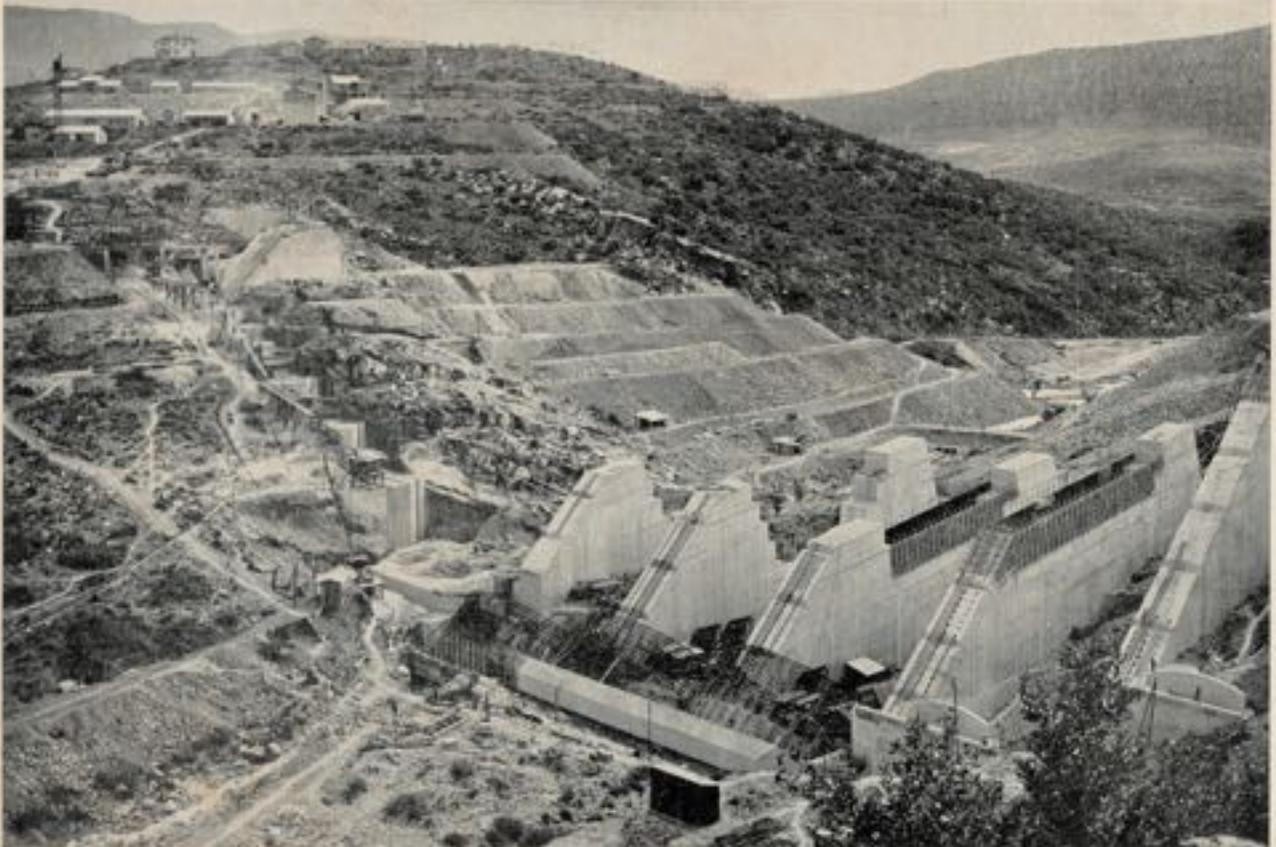
Fig. 3. — Fouille rive gauche du barrage.



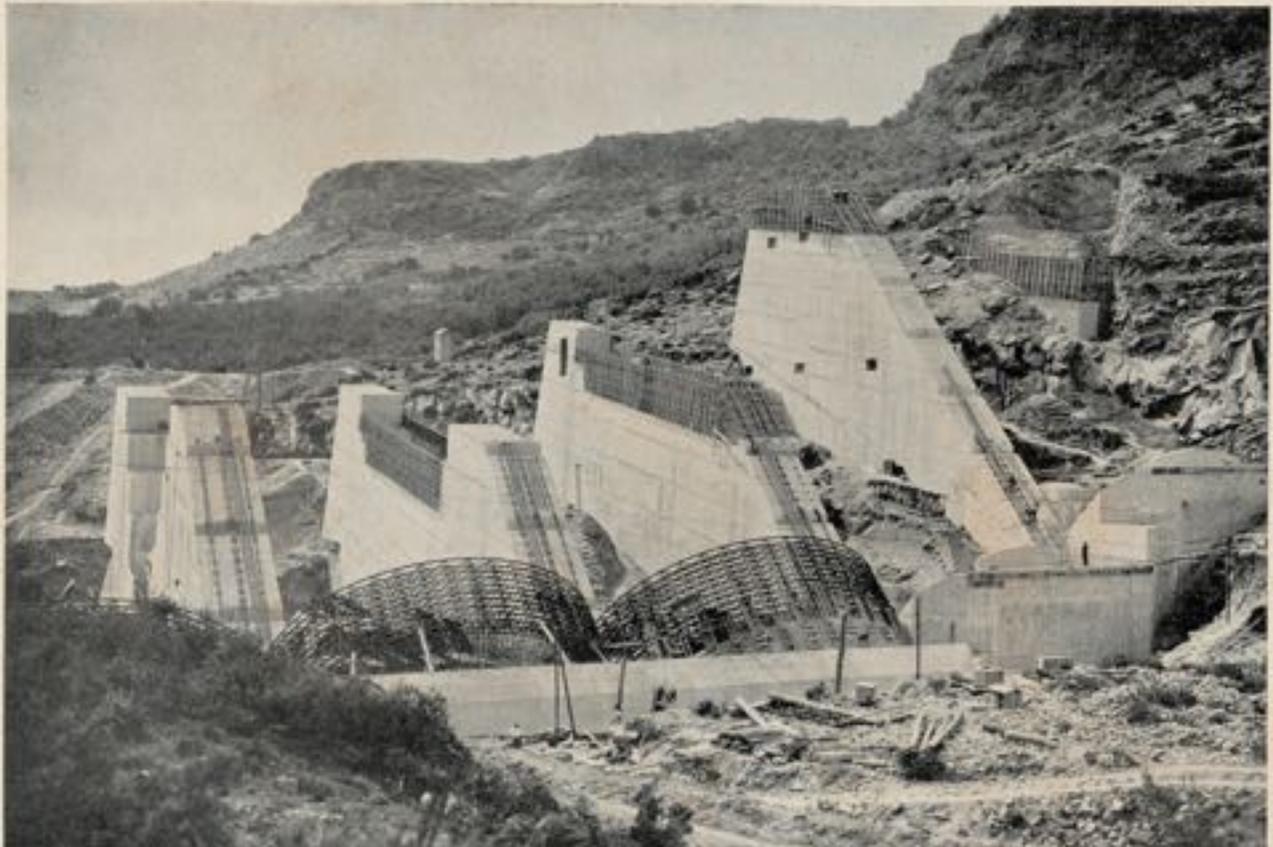
On remarque les fouilles des cinq contreforts rive gauche, puis immédiatement à gauche celles des poutres à axe vertical constituant le parafouille, à droite les décharges successives. A la partie supérieure, fouille du barrage-poids de la culée rive gauche.

Barrage des Beni-Bahdel

Constructeur : Société Campenon-Bernard.

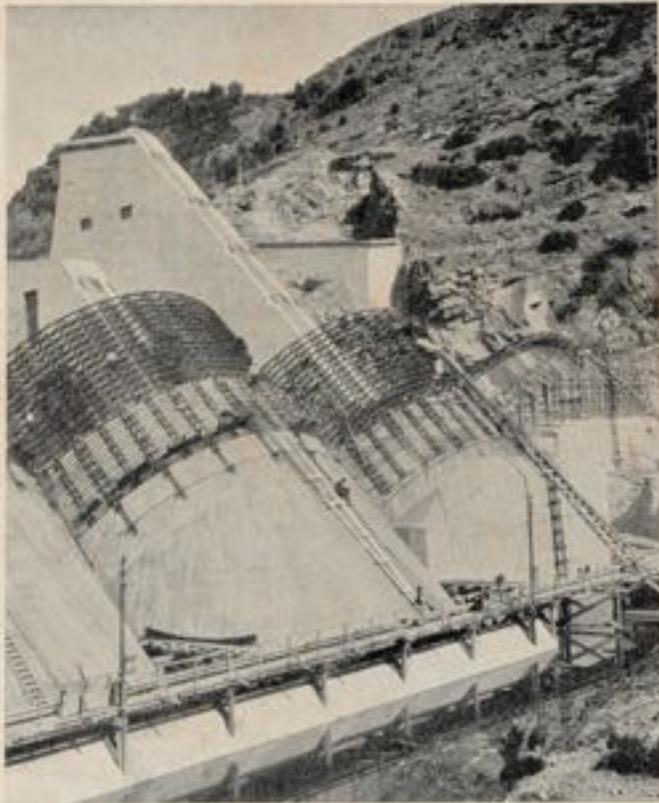


Vue générale des travaux et installations de chantiers (Avril 1936).



Bétonnage des contreforts et ferrailages de la base des premières voûtes (Avril 1936).

Voir *Travaux*, avril 1936. Le Barrage des Beni-Bahdel, pages 157-159.



Barrage des Beni-Bahdel

Constructeur : Société Campenon-Bernard

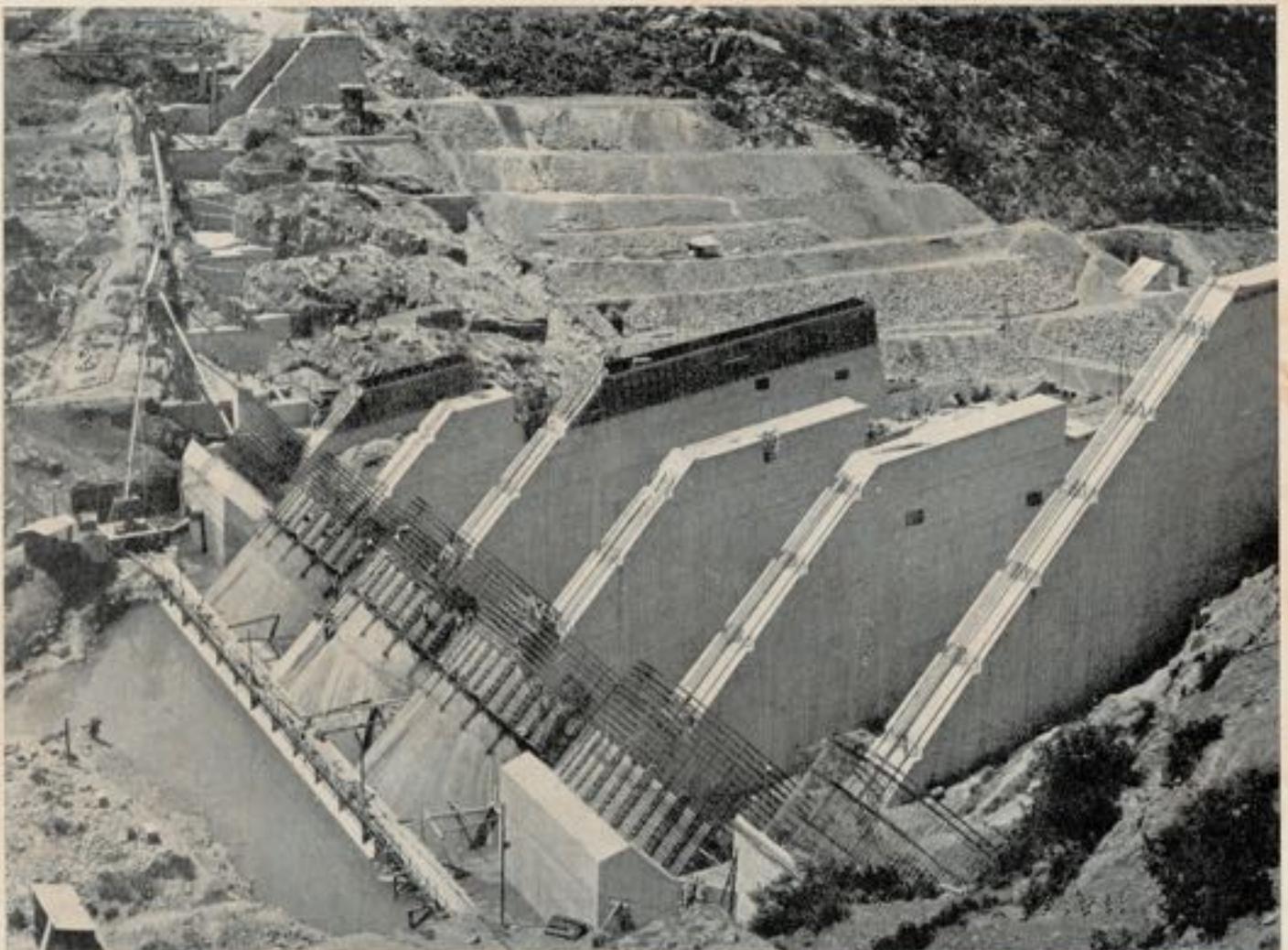
Voir « Travaux », avril 1936, pages 157-159
et juin 1936, page 268.

A gauche

Mise en place des fermes métalliques circulaires
supportant les cintres de coffrages des voûtes
(15 juillet 1936)

Ci-dessous :

Vue générale
du chantier et des installations de bétonnage
(1^{er} juillet 1936)



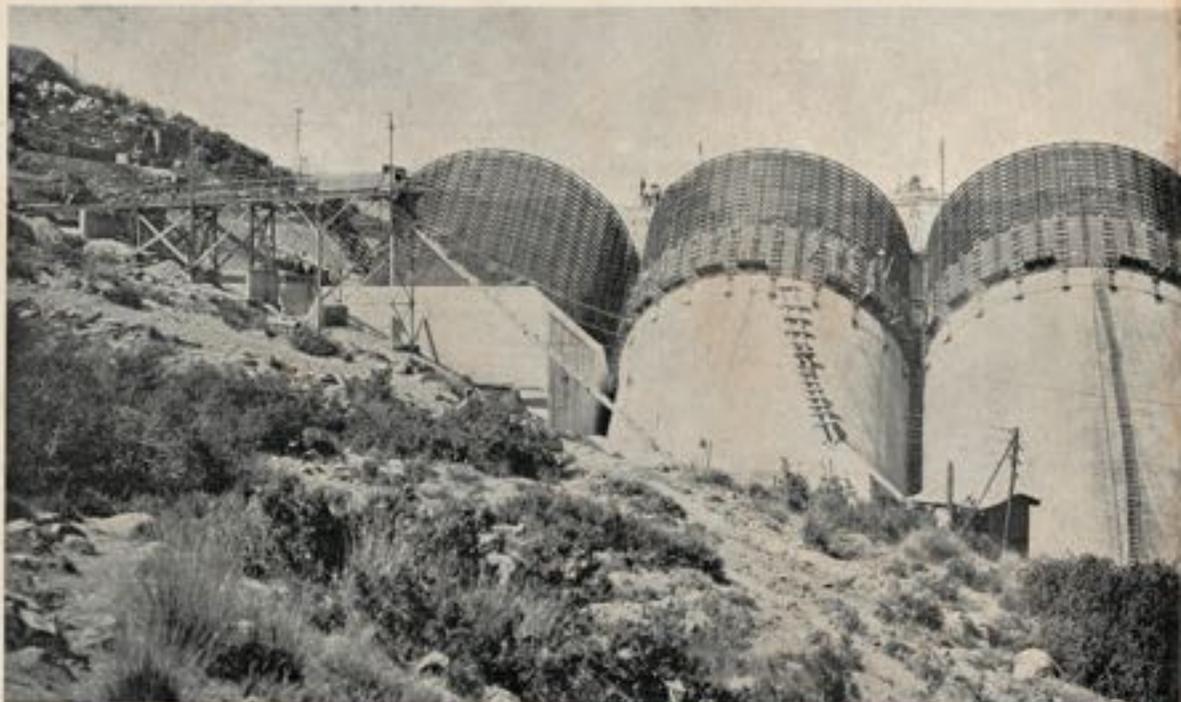
Le barrage des Beni

(Voir *Travaux*, avril 1936, pages 157-159 et juin 1936, pages 268)



Vue aval du barrage côté R. D.

On remarque l'ossature métallique des entretoises de contreventement entre contreforts. On distingue également les supports de coffrages intérieurs des voûtes qui se fixent sur les fermes métalliques circulaires et permettent la suppression de tout échafaudage



Vue amont côté R. G.

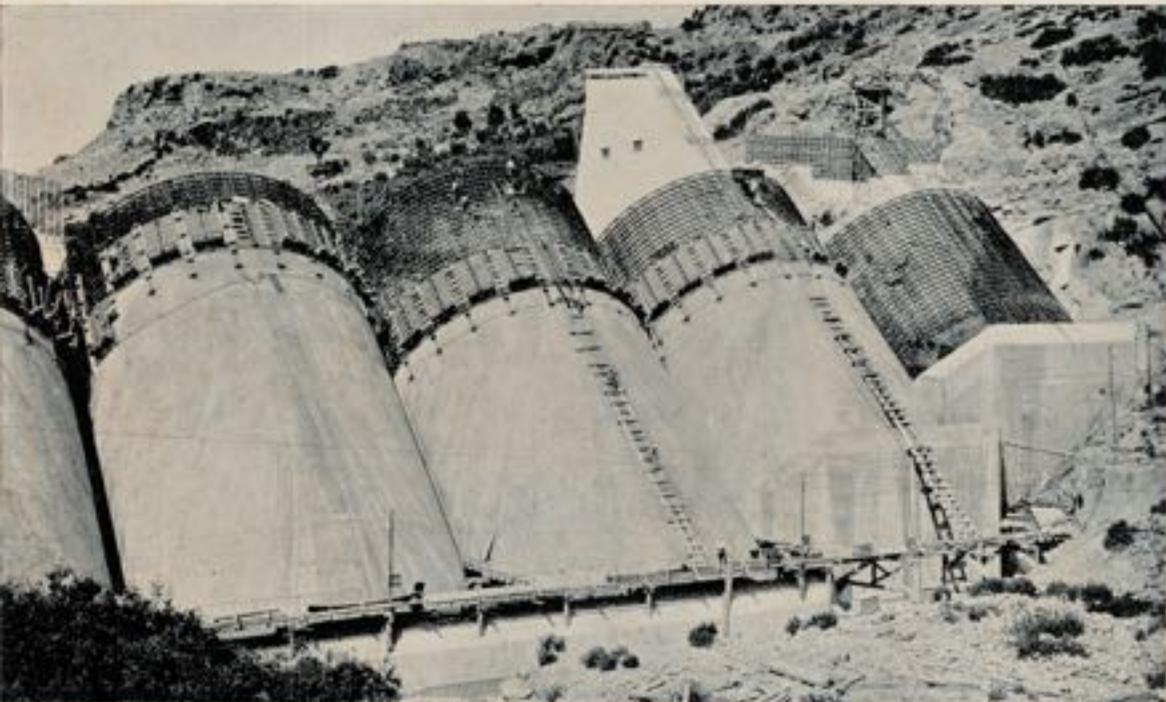
On remarque le tapis roulant et la goulotte d'alimentation de la pompe à béton servant au bétonnage des voûtes

-Bahdel (dép^t d'Oran)

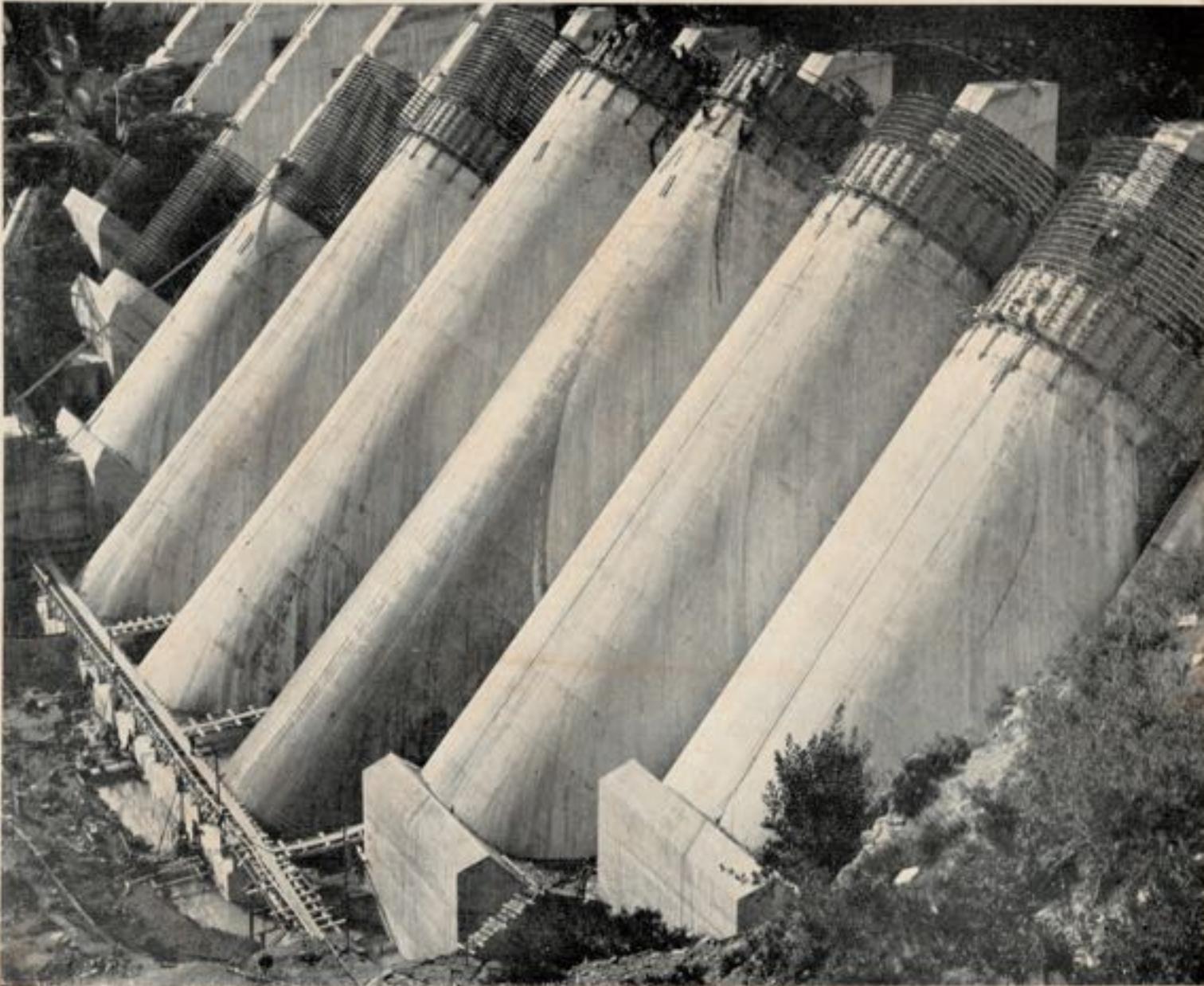
(Constructeur : Société Campenon-Bernard)



Vue générale des travaux et des installations de préparation et de mise en place du béton



Vue amont côté R. D

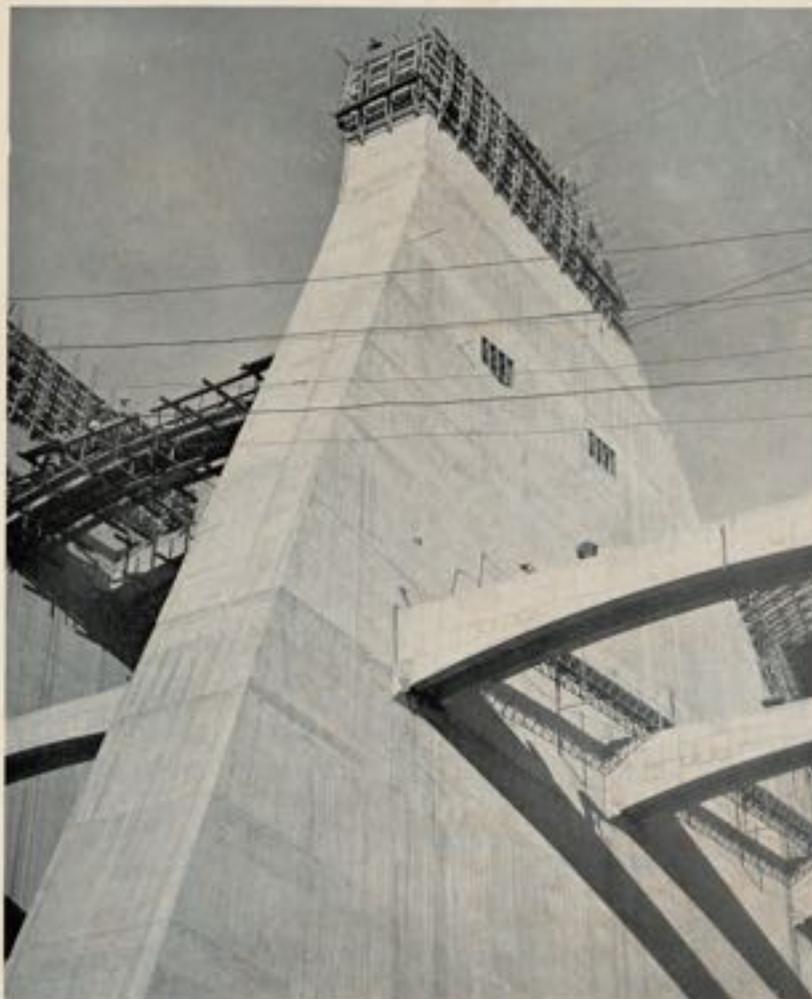


Le barrage des Beni-Bahdel (dépt d'Oran)

↑
Vue générale amont
des voûtes de la partie centrale

Voir Travaux
Avril 1936..... pages 157-159
Juin 1936..... — 268
Novembre 1936. — 518-519

Vue aval d'un contrefort en
achèvement. On remarquera le
premier étage de contreventement
terminé et le deuxième
→ en cours d'exécution



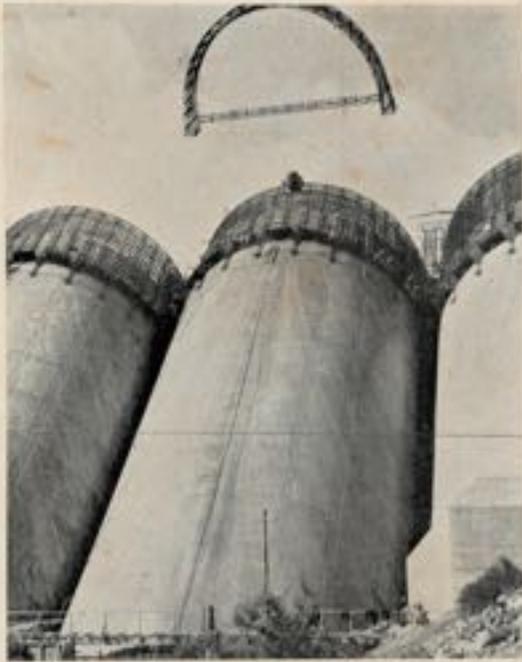
Le barrage des Beni-Bahdel (dép^t d'Oran)

(Constructeur : Société Campenon-Bernard)



Vue générale amont du barrage en mai 1937. Les 4 voûtes rive droite sont presque entièrement achevées
(Voir Travaux, avril 1936, pages 157-159 ; juin 1936, page 268 ; novembre 1936, pages 518-519 et mars 1937, pages 120-121)

Le barrage des Beni-Bahdel (dép^t d'Oran)



(Photos Henri Eicheler, Alger)

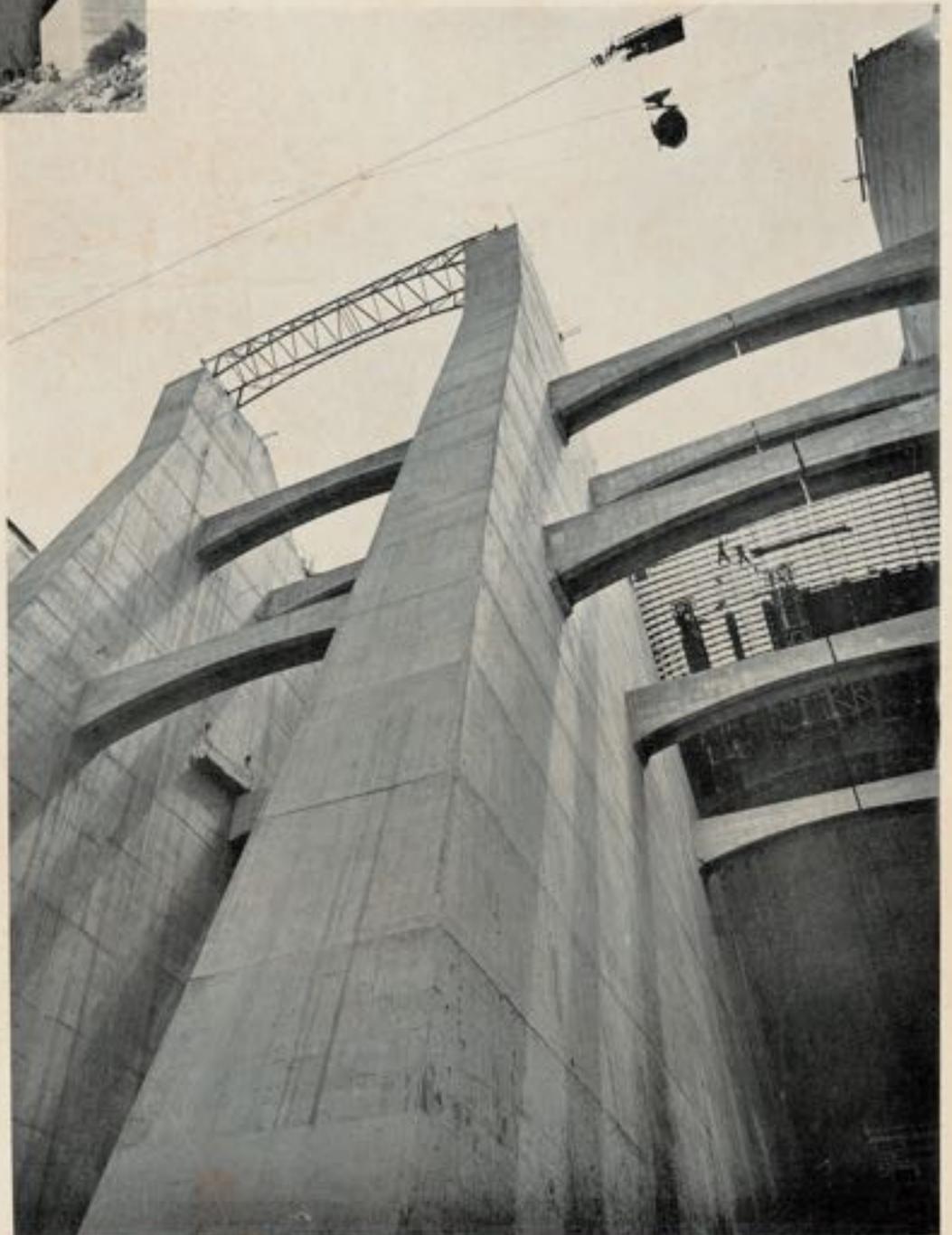
Voir Travaux

Avril 1936	pages 157-159
Juin 1936	— 268
Novembre 1936	— 518-519
Mars 1937	— 120-121

Constructeur : Entreprises Campenon-Bernard

↑
Vue amont d'une voûte de barrage. Mise en place d'une ferme métallique circulaire constituant l'armature maîtresse du béton de la voûte

→
Vue aval du barrage. Détail des contreforts d'appui des voûtes et de leurs contreventements. L'échelle de l'ouvrage est donnée par les deux ouvriers soudeurs que l'on aperçoit dans la travée de droite



PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ
PRÉVOYANCE
ASSURANCES
RETRAITE
ACTION SOCIALE
VACANCES



PRO BTP
GROUPE

SMAvie

VOTRE RETRAITE ET
CELLE DE VOS SALARIÉS
AVEC LE NOUVEAU PER⁽¹⁾



NOUVEAU

Vous vous préoccupez de votre avenir et de celui de vos salariés ? Découvrez le nouveau PER entreprise, une solution d'épargne pour la retraite simple et attractive pour les salariés des entreprises⁽¹⁾.

Parlez-en avec un conseiller SMAvie !

www.smavie.fr

✓ Les cotisations obligatoires versées par l'entreprise sont déductibles de son résultat imposable⁽²⁾.

✓ Une fois à la retraite, un complément de revenus est versé à l'assuré jusqu'à la fin de sa vie.

(1) PER Entreprise est un plan d'épargne retraite obligatoire et un contrat collectif d'assurance vie à adhésion facultative dont les garanties sont exprimées en euros et/ou en unités de compte. Les supports en unités de compte présentent un risque de perte en capital.

(2) Dans les limites et conditions de la législation en vigueur.

Informations basées sur la réglementation en vigueur au 01/01/2020