

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

ENERGIE. DECONSTRUCTION DE L'ANCIENNE RAFFINERIE SRD DE DUNKERQUE. RECONFIGURATION DU BARRAGE DE POUTES EN HAUTE LOIRE. RECONSTRUCTION DE L'USINE DE VALORISATION ENERGETIQUE D'IVRY-SUR-SEINE. CONSTRUCTION D'UN NOUVEL ENSEMBLE DE LANCEMENT POUR ARIANE 6 A KOUROU. CYCLE UP. UN CHU DE DERNIERE GENERATION POUR LA GUADELOUPE. VERS LA SOBRIETE ENERGETIQUE DANS LES TUNNELS ROUTIERS. DES DEVELOPPEMENTS EXPERIMENTAUX POUR LE PROJET ITER

N° 967 MARS 2021



PROJET ITER :
CRYOSTAT BEARINGS
© EGIS

LES TRAVAUX
PUBLICS
FEDERATION
NATIONALE

IL Y A MIEUX POUR SE PROTÉGER DU BRUIT !



CONTRE LE BRUIT, PROFITEZ D'OFFRES EXCEPTIONNELLES



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

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

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

www.contrelebruitjagis.com

* Offres du 11/03/2021 au 30/09/2021 chez : Auditech-Innovation, Cotral, Deltaplus, Earsonic, Groupe RG, Interson, MSA, 3M et Uvex.

OPPBTP Organisme professionnel de prévention
du bâtiment et des travaux publics



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), Olivier de Vriendt
(Spie Batignolles), Denis Etienne
(Bouygues), Philippe Gotteland (Fnfp),
Florent Imbert (Razel-Bec),
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis), Véronique
Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau
(Soletanche Bachy), Jacques Robert
(Arcadis), Claude Servant (Eiffage),
Nastaran Vivan (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. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

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

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

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

Site internet : www.revue-travaux.com

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

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

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

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

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
ISSN 0041-1906

VOUS AVEZ DIT « ÉNERGIE » ?



© DR

C'est une devinette. Elle est partout, et a irrigué chaque recoin de notre vie. Nous lui devons l'allongement de l'espérance de vie, la civilisation urbaine, les vacances, les études longues, les retraites, le pavillon et la voiture pour (presque) tous, la grande distribution, la consommation de masse, la viande à tous les repas, le digital, la conquête de la Lune, les bijoux à portée de toutes les bourses, l'hôpital, la quasi-disparition des agriculteurs (2/3 de la population active en 1800) et la tertiarisation de l'économie, et probablement la démocratie. Pourtant, son rôle dans tout ce qui précède reste invisible aux yeux de quasiment tout le monde. Qui est-elle ?

Evidemment, les lecteurs de ce billet trouveront facilement la réponse, puisqu'elle est dans le titre. Mais si cette question avait été posée à un(e) candide sans aucune assistance, il est très peu probable qu'il ou elle aurait facilement trouvé la bonne réponse. Faites le test autour de vous, vous verrez !

Dans le BTP, on le sait bien : en permettant de mettre en mouvement des exosquelettes puissants comme des milliers de fois nos bras (les pelles mécaniques), des milliers de fois nos jambes (les camions), voire des millions de fois tous nos muscles (les laminoirs, ou les usines de fabrication du ciment, du plastique ou du verre), le pétrole, le gaz et le charbon ont permis de bâtir des routes, des ponts, des bâtiments, des chemins de fer, des aéroports, et (surtout !) des

ronds-points à une vitesse dont les bâtisseurs des pyramides d'Égypte n'auraient pas osé rêver, même avec la potion magique d'Obélix.

Et, en élargissant le propos, il est facile de voir que tout ce qui est cité dans le premier paragraphe a été directement ou indirectement permis par une flotte croissante de machines travaillant pour nous, et donc absorbant une énergie tout aussi croissante. Là est l'importance de ces fameux kWh : ce sont des "croquettes pour machines", le démultiplicateur de notre puissance musculaire qui a permis à notre production matérielle d'être multipliée par plusieurs centaines en 1 siècle. Et toute l'organisation de la société a suivi.

Dans un monde infini, le propos pourrait s'arrêter là, et le lecteur serait content d'avoir appris quelque chose, comme il pourrait l'être en apprenant pourquoi le ciel est bleu, ou pourquoi nous avons des poils dans les narines. Mais le monde n'est pas infini. Les énergies dominantes, à savoir les combustibles fossiles (qui en France représentent 80 % des kWh absorbés par les machines qui nous rendent la vie si douce), sont actuellement utilisées à un rythme qui n'est durable ni au regard du climat, ni au regard des ressources restantes (le pétrole dit "conventionnel" est déjà passé par un maximum de production dans le monde en 2008).

Nous allons donc devoir "transitionner". La partie émergée de l'iceberg consistera à se crêper le chignon - et à perdre notre temps - pour savoir si il faut remplacer du nucléaire par du solaire. Mais c'est la partie immergée qui devrait nous inquiéter et nous mobiliser. Le monde qui nous attend va pour partie évoluer à rebours de ce que nous imaginons : les agglomérations urbaines auront de plus en plus de problèmes économiques, l'emploi de bureau aura de moins en moins de pertinence, se déplacer loin, vite et pour pas cher sera de plus en plus difficile, les objets neufs seront de moins en moins disponibles, et dans ce monde en contraction matérielle, nous serons 8 fois plus nombreux que nous ne l'étions au début de l'essor industriel.

Quelles infrastructures est-il pertinent de détruire, rénover, remplacer, créer dans ce contexte là, pour permettre à notre pays d'atterrir au mieux ? Là est le débat central pour la profession du BTP. Il est plus que temps d'y consacrer... beaucoup d'énergie.

JEAN-MARC JANCOVICI
ASSOCIÉ DE CARBONE 4 ET
PRÉSIDENT DE THE SHIFT PROJECT



ÉNERGIE

DECONSTRUCTION DE L'ANCIENNE RAFFINERIE SUD DE DUNKERQUE © MCD





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC
CÉDRIC LE BOUSSE**

EDF ENERGIES MARINES RENOUVELABLES -
EOLIEN EN MER :
LA FRANCE PREND UN NOUVEAU CAP

24 NUVIA : LE NUCLÉAIRE AU CŒUR
DE SOLUTIONS INNOVANTES



30

**DÉCONSTRUCTION DE
L'ANCIENNE RAFFINERIE SRD**
de Dunkerque



36

NOUVEAU POUTÈS
Reconfiguration du barrage
de Poutès en Haute Loire



43

**RECONSTRUCTION DE
L'USINE DE VALORISATION
ÉNERGÉTIQUE**
d'Ivry-sur-Seine



50

**CONSTRUCTION D'UN
NOUVEL ENSEMBLE
DE LANCEMENT POUR
ARIANE 6**
à Kourou



56

CYCLE UP
Le réemploi au service
d'une économie circulaire



62

**UN CHU DE
DERNIÈRE GÉNÉRATION**
pour la Guadeloupe



68

**VERS LA SOBRIÉTÉ
ÉNERGÉTIQUE**
dans les tunnels routiers



74

ITER
Des développements
expérimentaux au service
d'un grand projet



GRÂCE À EDF, LES POISSONS FRANCHIRONT SANS EFFORT ET DANS L'ALLÉGRESSE LE BARRAGE DE POUTÈS

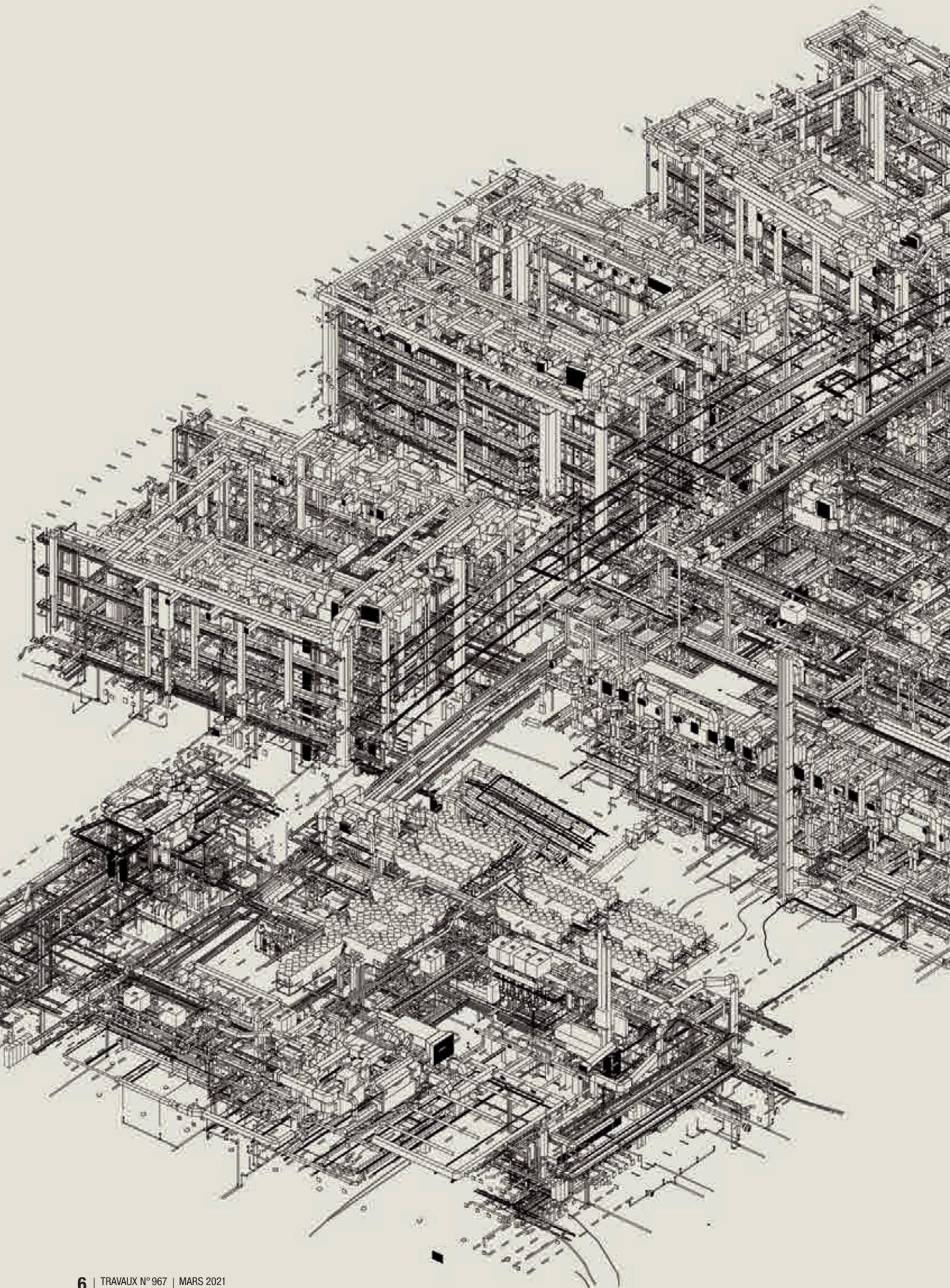
Demathieu Bard, pour le compte d'EDF Hydro Loire-Ardèche, a réalisé une lourde reconfiguration du barrage hydro-électrique de Poutès (1941) sur l'Allier, afin de permettre une transparence hydraulique complète pour son franchissement par les poissons. EDF est un des 20 partenaires actifs du programme *Adaptive management of barriers in European rivers* relevant de 11 pays, qui vise la reconstitution de la continuité écologique des cours d'eau pour la bonne circulation des organismes vivants et des sédiments.

(Voir actualité page 11 et article page 36).



© 3D VISION NIVALIS

© EDF HYDRO



UN HÔPITAL DE DERNIÈRE GÉNÉRATION S'AJOUTERA BIENTÔT AUX CHARMES DE LA GUADELOUPE

Ingérop est le bureau d'études techniques pour la réalisation du nouveau CHU de Guadeloupe. Cet hôpital de dernière génération, implanté aux Abymes, doté des toutes dernières technologies médicales, a été conçu pour être adapté non seulement au climat tropical et au mode de vie des Antilles, mais encore pour résister aux importants risques sismique et cyclonique. Il dispose des équipements nécessaires pour fonctionner temporairement en autonomie, notamment énergétique. (Voir article page 62).



© ARCHITECTURE STUDIO

ÉOLIEN ET PHOTOVOLTAÏQUE ONT BESOIN DES COLLECTIVITÉS LOCALES POUR SE DÉVELOPPER

La FNCCR, l'Ademe et l'association Observ'ER pointent le rôle moteur des collectivités locales, notamment comme médiatrices, dans les projets d'énergie éolienne et solaire photovoltaïque. Sans cela, les objectifs à 2030 ne seront pas atteints.

« Le solaire photovoltaïque au sol commence à voir poindre la contestation, » a fait savoir Vincent-Jacques Le Seigneur, président de l'Observatoire des énergies renouvelables (Observ'ER) à la présentation du 11^e Baromètre des énergies renouvelables électriques⁽¹⁾ que l'association réalise avec la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) et l'Agence de la transition écologique (Ademe). De quelques mètres carrés en toiture, le photovoltaïque est passé aux centrales de plusieurs mégawatts, sur des friches, des plans d'eau, etc., poussé par les appels à projets de la Commission de régulation de l'énergie.

« Le photovoltaïque et l'éolien tirent le marché des énergies renouvelables à cause de la baisse des coûts, et le marché a plutôt bien résisté à la crise sanitaire en 2020, » constate Vincent-Jacques Le Seigneur.

→ Repenser l'approche des projets

« L'acceptation sociale des projets est essentielle et les territoires sont des facilitateurs, des médiateurs, des lieux de débat avec les citoyens, » affirme Pascal Sokoloff, directeur général de la FNCCR. « La participation locale des citoyens, ça marche, ajoute Vincent-Jacques Le Seigneur. Il faut mettre l'accent sur ça avec les élus et faire au plus près du terrain. »

La réticence des habitants face à l'apparition d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques dans leur paysage freine leur développement. Selon les contributeurs du Baromètre, produire 40% de l'électricité grâce aux renouvelables dont l'hydraulique en 2030, objectif de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), semble hors de portée.

Les puissances installées en 2020 arrivent au même niveau qu'en 2019, autour de 2 800 MW.

Pour progresser plus vite, « il faut repenser l'approche des projets d'énergies renouvelables, identifier les barrières, faire que les solutions soient bien appliquées sur le terrain, » recommande Frédéric Tuillé, chargé du Baromètre⁽²⁾. L'Ademe et le ministère de la Transition écologique vont consacrer 5 millions d'euros à la création d'un réseau de conseillers en

énergie partagée dédié aux collectivités territoriales. Un appel à manifestation d'intérêt sera lancé au printemps.

→ Belles ambitions régionales

« Les régions ont de belles ambitions pour développer les énergies renouvelables notamment le photovoltaïque, observe Frédéric Tuillé après analyse des sections "énergies renouvelables" des Schémas de régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Srdet). Mais elles le font sans synergie claire avec la PPE à 2028. L'information manque sur les outils qu'elles mettent sur le terrain pour atteindre leurs objectifs. Nous observons que dix ans plus tôt, dans le cadre des Schémas régionaux climat air énergie (SRCAE), une partie non négligeable de la puissance à raccorder ne l'a pas été faute de moyens appropriés. »

L'Auvergne/Rhône-Alpes arrive en tête de toutes les régions en puissance installée d'énergies renouvelables, ce qu'elle doit à l'hydraulique, avec près de 12 GW. La région couvre près de 50% de sa consommation par les renouvelables. L'Occitanie s'en approche avec 48,7%. L'hydraulique y dispose de 5,4 GW. Ici, le photovoltaïque est plus puissant que l'éolien, avec 2,146 GW contre 1,654.

PRÈS DE 16 MILLIARDS D'EUROS DE CHIFFRE D'AFFAIRES

À fin 2020, la puissance raccordée en énergies renouvelables électriques devait atteindre 57,7 GW. Elle était de 56,5 GW, à fin septembre, selon le 11^e Baromètre des énergies renouvelables électriques en France (cf. ci-contre).

Selon le document de 180 pages publié par Observ'ER, les énergies renouvelables électriques, tous types confondus, ont produit 124 TWh (sur douze mois au 30 septembre) et auront couvert un peu plus de 27% de la consommation d'électricité.

L'hydraulique assure la moitié de la production d'ER à 63 500 GWh, devant l'éolien à 39 200 et le photovoltaïque à 12 900.

Ces filières renouvelables employaient directement, en 2019, 46 500 personnes à temps plein pour 15,76 milliards d'euros de chiffre d'affaires.

Le Grand-Est suit à 42,3% de la consommation d'électricité assurée par des renouvelables. La région offre une autre configuration avec une puissance en éolien supérieure à l'hydraulique, à 3,775 GW contre 2,31. L'éolien a fourni, au 30 septembre sur un an, 8 878 GWh contre 7 562 en hydraulique.

→ Hauts-de-France : éolien dominant

Les Hauts-de-France frappent par l'importance du parc éolien à 4,776 GW, soit 93% de la puissance en électricité renouvelable dont ils disposent, et 92% de la production de kilowatt-heures. Ce qui aide à comprendre que cette région ait moins d'ambition dans ce domaine. Pourtant, « il y a encore des possibilités

même dans les régions qui ont déjà de l'éolien, assure Stephan Louillat, chef de service adjoint réseau énergies renouvelables de l'Ademe. Pour progresser, il faut expliquer et accompagner plus, mieux choisir les sites, et les conseillers aux collectivités sont importants dans ce cadre. »

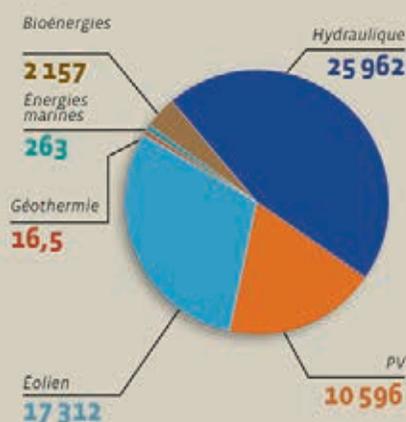
Baromètre à retrouver sur :

www.energies-renouvelables.org ■

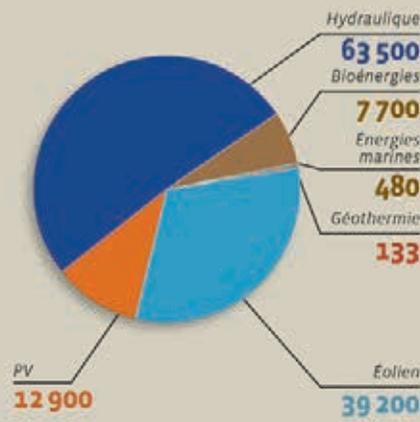
⁽¹⁾ Par manque de moyens, la chaleur renouvelable n'est pas traitée en tant que telle bien qu'elle soit abondamment évoquée. Sur ce thème, cf. Travaux n°965, décembre 2020, page 11 ; n°949, mars 2019, page 8 ; n°942, juillet 2018, page 12.

⁽²⁾ Cf. Travaux n°931, mars 2017, page 7 : n°951, juin 2019, page 6.

RÉPARTITION DU PARC EnR ÉLECTRIQUE (MW) AU 30 SEPTEMBRE 2020



PRODUCTION ÉLECTRIQUE DES FILIÈRES EnR (GWh)



SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques. Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas de besoin. Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP, nous ferons toujours route commune.



PRO BTP
GROUPE

www.probtp.com

EXPO SUR PARIS-SACLAY

L'EPA Paris-Saclay a mis sur pied une exposition itinérante sur l'histoire et l'évolution du territoire qu'il aménage. "Paris-Saclay paysages" se tient dans différents lieux en 2021. À Gif-sur-Yvette (Essonne) : École normale supérieure et Point F dans le Campus urbain, et au château du Val-Fleury. Autres lieux dans l'Essonne : Espace Allende à Palaiseau, La Crypte à Orsay, Opéra de Massy. Dans les Yvelines : Carré à la Farine de Versailles et Salle d'exposition à Guyancourt.

Sept artistes y exposent : Miguel Chevalier, Céline Clanet, Florence Gilard, Arno Gisinger, Fabrice Hybert, Alain Leloup et Bernard Moninot. Arno Gisinger (photo) s'intéresse au passé du site militaire Satory de Versailles.

« Comment nous souviendrons-nous de ce territoire après les transformations ? », s'interroge-t-il.

Ouverture sur :
www.paris-saclay-paysages.fr



Satory, point aveugle : une des photos d'Arno Gisinger.

BUDGET AFITF : 3,4 MILLIARDS

Le budget initial 2021 de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (Afitf) a été validé à mi-décembre.

Il s'élève à 3,4 milliards d'euros dont 2,2 consacrés au ferroviaire, aux voies navigables, aux ports et aux transports collectifs urbains.

ALLER VERS 100 % D'ÉLECTRICITÉ RENOUELABLE : FAISABLE TECHNIQUEMENT



Une production d'électricité sans coupure avec les énergies renouvelables est possible à certaines conditions développées dans l'étude RTE-AIE. Ici, centre de dispatching national de l'électricité en Seine-Saint-Denis.

La France se prépare à la neutralité carbone en 2050. En matière de production d'énergie, la décision doit être prise de recourir au nucléaire associé à

des énergies renouvelables (EnR) dont la part pourrait aller jusqu'à 100%. Pour éclairer cette décision, le ministère de la Transition écologique a commandé à RTE et à l'Agence internationale de l'énergie (AIE) une étude de faisabilité technique de scénarios à 2050 avec plus ou moins d'EnR, publiée le 27 janvier.

« Cette étude conclut à la faisabilité technologique d'un système électrique tendant vers 100% d'électricité renouvelable, écrit le ministère. Si un tel scénario repose sur des conditions structurantes, en particulier le développement à grande échelle de solutions de flexibilité (stockage, effacement...), le renforcement du réseau et l'augmentation du nombre de sites de production électrique, le rapport n'identifie pas d'obstacle techniquement infranchissable. »

Les sources de flexibilité peuvent être développées comme le pilotage à la demande, le stockage d'électricité à grande échelle, les centrales de pointe et l'interconnexion transfrontalière.

Pour maintenir la stabilité du système électrique, 2^e condition à une forte proportion d'EnR, les solutions technolo-

giques existent sans production conventionnelle.

→ Évaluer 8 scénarios

Troisième ensemble de conditions préalables : améliorer les prévisions de production des renouvelables afin de mieux définir les réserves opérationnelles qui pallieraient les chutes de production ou les hausses de consommation, inattendues, et d'en définir les responsabilités. Enfin, les réseaux d'électricité devront être développés à partir de 2030.

Le rapport RTE-AIE ne chiffre pas les scénarios ni ne soulève les questions sociales et environnementales. RTE va publier l'évaluation de 8 scénarios lors de son bilan prévisionnel pour 2050, cet automne.

→ Baisse des consommations d'énergie

Le gouvernement exposera vers 2023 comment il voit le mix électrique en 2035. La Stratégie nationale bas carbone repose aussi sur une baisse de la consommation totale d'énergie de 1 600 TWh à 900 TWh.

En savoir plus sur :
www.rte-france.com/actualites

ÉNERGIES MARINES : BOND D'ICI 2050

La Commission européenne vise 300 GW en éolien offshore en 2050 contre 12 GW à fin 2020. Elle soutient aussi l'hydrolien avec comme objectif 100 MW en 2025, 1 GW cinq ans plus tard, et 40 GW au total en 2050. Les hydroliennes produisent de l'électricité à partir de l'énergie cinétique des courants marins. La Commission juge nécessaire ce bond en avant afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Elle estime à 800 milliards d'euros les investissements correspondants.

Le Royaume-Uni est en pointe dans le domaine. Citons le futur parc à 130 km au nord des côtes du Yorkshire (Angleterre, 3,6 GW, 2023). Smulders, filiale belge d'Eiffage Métal, en consortium avec Sif (Pays-Bas), va fournir les monopieux et les pièces de transition de 190 fondations (phases A et B du projet).

→ Concertation avec les usagers

La France est à la traîne malgré sa longueur de côtes. « Le développement des

énergies marines nécessite des ambitions et une planification de moyen et long terme pour prévoir et optimiser les zones d'implantation en concertation avec les usagers de la mer, » précise Frédéric Petit, président de la commis-

sion éolien offshore de France énergie éolienne (FEE).

La FEE élabore avec le Syndicat des énergies renouvelables une stratégie de développement de l'éolien en mer à 2050 qu'ils vont présenter au gouvernement. ■



L'assemblage des fondations d'éoliennes du parc de Dogger Bank (3,6 GW, 2023, Angleterre) aura lieu dans l'usine Smulders à Hoboken (Belgique).

TROP D'OBSTACLES SUR LES COURS D'EAU EN EUROPE



© EDF

Vue du barrage de Poutès (Haute-Loire) après reconstruction en 2022. Il aura perdu 10 m de hauteur.

Les barrières à la bonne circulation des organismes vivants, des poissons et des sédiments sont nombreuses sur les cours d'eau et largement méconnues. Nombre d'entre elles, d'origine humaine, ne servent plus et les enlever restaure la continuité écologique, selon Carlos de Garcia de Leaniz, coordinateur du programme européen Adaptative management of barriers in European rivers (Amber, 2016-2020) et professeur à l'université de Swansea (Pays-de-Galles). Reconnecter 25000 km de cours d'eau en 2030 fait partie de la stratégie de l'Union européenne vis-à-vis de la biodiversité.

L'étude d'Amber a recensé 630 000 grands et petits barrages, seuils, gués, écluses, etc., sur 2700 km dans 28 pays. Un tiers des obstacles n'étant pas répertoriés, selon eux, ils estiment à plus d'1 million, le nombre réel, soit un par mile (1,6 km) en moyenne.

→ Plein de petites barrières inutiles

Le programme de quatre ans a débouché sur la création d'un atlas de ces barrières, publié en juin 2020. Les chercheurs, en plus de longer 147 rivières, ont rassemblé et homogénéisé 120 bases de données, selon l'article paru dans *Le Monde* du 18 décembre.

Amber a aussi servi à développer une méthode de présentation et de validation des informations, ainsi que des outils pour restaurer la continuité écologique, autant d'aides à la décision pour les compagnies d'hydroélectricité et les gestionnaires de cours d'eau, qui ne peuvent pas supprimer centrales hydrauliques, stoc-

kages pour l'irrigation, plans d'eau, etc. Voies navigables de France a profité de la reconstruction du barrage de Vaux (Yonne) en 2019-2020 pour y implanter une passe à poissons.



© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

Passe à poissons installée fin 2019 sur le barrage de Vaux (Yonne) lors de sa reconstruction (5,5 millions d'euros).

Les chercheurs d'Amber estiment que la perte de continuité est rarement due aux plus hautes barrières. Plus de 90% des barrières artificielles mesurent moins de 5 m de haut et beaucoup sont à l'abandon (*Le Monde*). Déterminer lesquelles sont les plus perturbatrices conduira à les traiter en priorité.

→ Rampes à brosses pour anguilles

EDF est un des 20 partenaires actifs du programme Adaptative management of barriers in European rivers (Amber, 2016-2020) relevant de 11 pays.

Avec le Conservatoire national du saumon sauvage, le groupe organise un atelier sur la résolution des conflits, le management de barrières adaptatives et l'utilisation de l'eau. EDF s'appuie sur la reconstruction du barrage de Poutès sur l'Allier à Alleyras (Haute-Loire), opération commencée en 2019⁽¹⁾. Fin 2020, des rampes à brosses pour anguilles venaient compléter un ascenseur à poissons. ■

⁽¹⁾ Voir le site : www.nouveau-poutes.fr

EN SAVOIR PLUS

- <https://amber.international>.
- " Plus d'un million d'obstacles sur les rivières d'Europe ", Martine Valo, *Le Monde*, 18 décembre 2020.
- " More than one million barriers fragment Europe's rivers ", collectif, *Nature*, 16 décembre 2020.
- " European rivers are littered with barricades, but a movement grows to remove them ", Stefan Lovgren, *Natural Geographic*, 17 décembre 2020.

RAPPROCHEMENT

La Fédération des scop du BTP a adhéré à la Fédération nationale des travaux publics, en 2020, s'étant retrouvée sans représentation suite à l'application de la réforme de la représentativité patronale. Les sociétés coopératives conservent leur adhésion à la ScopBTP et sont membres de la FNTP sans cotisation supplémentaire. Chaque organisation conserve son réseau régional.

PARIS-LIMOGES EN 2h50

En 2025, le train Intercités Paris-Limoges mettra 2h50 au lieu d'au moins 3h15 actuellement. Cette accélération repose sur 385 millions d'euros de travaux dont 257 réglés par l'État. Ce montant s'ajoute à la modernisation déjà en cours de la ligne qui relie Paris à Toulouse en passant par Orléans et Limoges (Polt).

Des travaux de près de 2,2 milliards d'euros financés par l'État, sont déjà programmés ou effectifs. Ce montant comprend 1,6 milliard pour régénérer les voies d'ici 2025. De nouveaux trains seront livrés d'ici 2023 (450 millions d'euros). La fiabilité et la sécurité sont accrues dans le cadre d'un contrat de plan État-Région (140 millions) et la Wifi a déjà été installée à bord (5 millions).



© DIDIER BOY DE LA TOUR/ISNCF GARES & CONNEXION-AFEP

Orléans sur la ligne Intercités Paris-Toulouse en cours de modernisation.

TROIS ANS DE PLUS POUR FLOATGEN

L'éolienne flottante Floatgen d'Ideol a produit un peu plus d'électricité en 2020 qu'en 2019, soit 6,8 GWh contre 6. Grâce à ces bonnes performances, le partenariat avec l'École centrale de Nantes, concessionnaire du site Sem-Rev où est essayée l'éolienne, à 12 km au large du Croisic (Loire-Atlantique), est prolongé de trois ans.

* Cf. Travaux n°896, avril-mai 2013, p. 14 et n°891, octobre 2012, p. 13.



© IDEOL BY TP, EGON V. JONCHÉRAY

Éolienne flottante à 12 km de la côte.

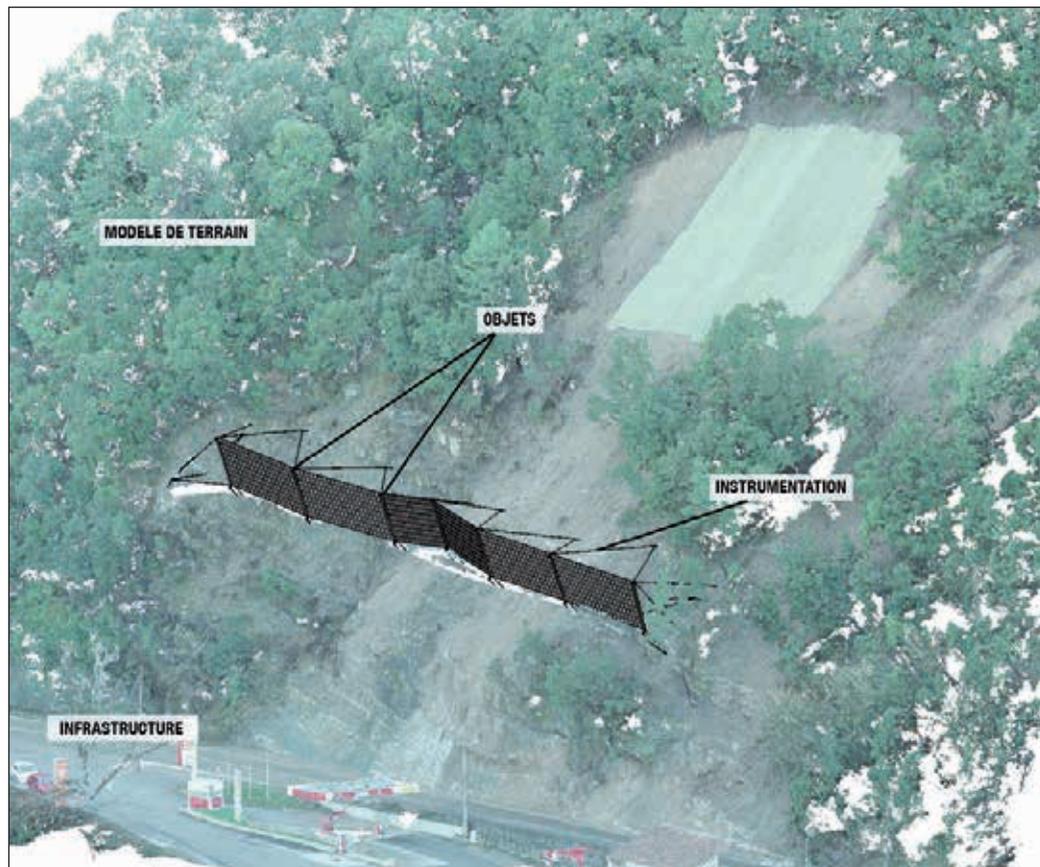
CSNE : SIX ÉCLUSES À L'ÉTUDE

Egis est mandataire du groupement chargé de la maîtrise d'œuvre de six écluses sur le Canal Seine-Nord-Europe (CSNE), avec Ingérop, ISL, SBE, Michel Desvigne Paysage et AEI Architecture. La hauteur maximale de ces ouvrages a été limitée pour que le temps de franchissement par les bateaux n'excède pas trente minutes.

Le CSNE comportera cinq écluses de grand gabarit de 13 à 26 m de hauteur de chute, et une de gabarit intermédiaire à Allaines (Somme) pour le raccordement avec le canal du Nord.

Le contrat porte sur les études de conception (trois ans) et la supervision des travaux (six ans).

DEUX EXEMPLES DE BIM PAS À PAS



© CAN

Le Bim de Can combine la modélisation du terrain à celles des ouvrages de protection et de l'infrastructure à protéger.

« Nous avons amorcé une transition numérique en intégrant de nouveaux outils de CAO, avec un des itinéraires qui mène au Bim infrastructures, » a indiqué Clément Galandrin, responsable innovation de Can, entreprise de travaux d'ouvrages de protection d'infrastructures qui vise un environnement "full bim". Can est intervenu aux côtés de Telt, lors du webinaire "Grands linéaires et petits Bims"⁽¹⁾.

La maquette Bim de Can combine le modèle numérique du terrain et ceux des ouvrages de protection et de l'infrastructure à protéger. Grâce à une maquette géoréférencée, chaque objet a son emplacement dans un système d'information géographique. « Il est important de bien localiser les ouvrages de protection car ils ne sont pas toujours à côté de ce qu'ils protègent, les maîtres d'ouvrage ont besoin d'y aller pour les surveiller, » souligne Clément Galandrin.

L'assemblage maquette terrain et ouvrages de protection permet d'incorporer au plus tôt dans les études d'exécution les spécificités d'adaptation à la morphologie du site : linéaires, longueurs des ancrages, angles de haubans, etc.

Aujourd'hui, l'entreprise se soucie d'être plus interopérable avec ses partenaires. Elle doit donc utiliser les IFC, formats standardisés d'export de données, recourir à des passerelles avec les SIG et avec les modèles du terrain. À l'avenir, le Bim chez Can intégrera le phasage (Bim 4D) et les coûts (5D).

→ 10-15 modèles différents en 3D

« L'avantage réel du Bim est d'avoir une base de données consolidée pour l'exploitation, représentative à la fin des travaux et qui sera réalimentée avec les changements pendant la vie de l'ouvrage, » informe Sylvain Bronner, chargé d'études équipements non ferroviaires chez Telt⁽²⁾. La société fait réaliser et exploiter le nouveau tunnel Lyon-Turin en s'appuyant, en partie, sur une organisation en Bim. L'Italie, actionnaire pour moitié de Telt avec la France, impose cette méthode aux projets de plus de 100 millions d'euros.

Le Bim chez Telt, créée en 2015, a d'abord figuré dans le travail de fin d'études d'un élève-ingénieur en 2017 sur une descendrie (secteur de Modane). Il couple la modélisation du terrain et celle des ouvrages.

En 2018, l'entreprise l'a appliqué aux lots maîtrise d'œuvre du tunnel de base, côté France. « Nous nous sommes retrouvés avec dix-quinze modèles en 3D différents, confie Sylvain Bronner. Nous nous sommes rendu compte que nous n'avions pas été assez clairs au stade de l'assistance à maîtrise d'ouvrage. Faire travailler ensemble les 3 maîtres d'œuvre a été une source d'améliorations pour nous. »

→ Limiter le Bim à certains sujets

L'étape suivante a été de limiter le Bim à certains grands sujets : optimisation de la conception, gestion de projet, simulations, analyse et quantités, gestion des installations, communication. En janvier 2021, Telt négociait les lots de travaux souterrains, et réfléchissait à comment faire travailler ensemble maîtres d'œuvre et entreprises, en Bim. À l'avenir, elle va appliquer la démarche à tous les travaux afin d'avoir une base de données consolidée pour l'exploitation. ■

⁽¹⁾ Organisé par Indura le 15 janvier.

⁽²⁾ Tunnel Euralpin Lyon Turin ferroviaire.

400 HA EN PHOTOVOLTAÏQUE

Cinq centrales photovoltaïques de 50 MW chacune vont être réalisées à Bonete (province d'Albacete), à 120 km au nord-ouest d'Alicante (Espagne).

Cela représente, au total, 400 ha couverts par 563 000 panneaux solaires, accompagnés de 67 onduleurs et 3 transformateurs.

Cet ensemble baptisé Campanario sera raccordé à un grand collecteur électrique situé à 3,4 km.

Eiffage Energia a remporté en octobre dernier le marché de conception et réalisation de 120 millions d'euros, pour Elawan Energy. Livraison : fin 2021.



© XAVIER BOYMOND

Cinq centrales solaires vont être installées dans le Sud-Est de l'Espagne.

COLAS ET PARSONS AU CANADA

Colas remporte avec Parsons le prolongement d'une ligne de métro léger à Edmonton, en Alberta dans l'Ouest canadien. Le contrat s'élève à 1 milliard d'euros (1,7 milliard de dollars canadiens), partagé entre les deux partenaires.

La Valley line se prolonge de 14 km entre le centre et l'Ouest de la ville. Elle gagne 16 stations dont 2 aériennes, avec plus de 2 km surélevés.

Les travaux commencent cet été et se terminent fin 2026. Colas est présent à travers Colas Canada, Standard General-Edmonton, Colas Rail Canada et Colas Projects Canada. Parsons assure la conception et une partie des travaux.

CANAL DANS LE DELTA DU FLEUVE ROUGE (VIETNAM)



© COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE

Le canal traversera en biais la zone entre les deux bras du Fleuve Rouge (partie gauche en bas de la photo), dans le Nord du Vietnam. La route passera sur un pont.

La Compagnie nationale du Rhône (CNR) est mandataire du groupement de maîtrise d'œuvre qui a remporté le contrat d'amélioration de la navigation dans le delta du Fleuve Rouge au Vietnam, à la mi-novembre. Ses cotraitants sont Egis et le bureau d'études vietnamien Vipo. Le projet, baptisé Day-Ninh Co connecting Canal (DNC) qui a débuté fin 2020, comprend trois ouvrages. Un canal va raccorder les deux bras du Fleuve Rouge au sud d'Haiphong, le plus grand port

proche d'Hanoi, dans le nord du Vietnam, à proximité de la Chine.

Les bateaux jusqu'à 3 000 tonnes pourront l'emprunter grâce à une écluse de 170 m de long par 17 de large. La route qui traverse actuellement ce secteur doit maintenant franchir l'infrastructure fluviale par un pont.

→ Raccourci pour les bateaux

Le canal fait gagner douze heures aux navires en reliant par le fleuve les ports de Ninh Binh et de Quan Ninh.

Ces travaux constituent la dernière partie de la modernisation des voies navigables du delta du Fleuve Rouge. Ils se montent à 71 millions d'euros (85 millions de dollars US). Le contrat d'ingénierie s'élève à 1,7 million d'euros (2 millions de dollars US).

CNR Ingénierie accompagne le ministère des transports vietnamien depuis 2011 dans le Northern Delta Transport Development Project (NDTDP) dont fait partie le DNC.

→ Aux normes de la Banque mondiale

À noter que le contrat impose les normes de la Banque mondiale et du pays. Au stade de la maîtrise d'œuvre comprenant le suivi des travaux, il inclut une coordination santé/sécurité des personnels. Le volet environnemental s'intéresse notamment à la lutte contre la salinisation des terres agricoles, à la restauration de zones humides.

Le volet socio-économique veille au respect des acquisitions foncières et des relocalisations et à la préservation du patrimoine culturel et religieux dans le secteur. ■

BÂTIMENT-PONT EN SECTEUR URBAIN DENSE

Le Stream Building construit à proximité du nouveau Tribunal de grande instance de Paris, doit enjamber les Lignes 13 et 14 du métro parisien, dans le secteur des Batignolles (Paris 17^e). D'où des fondations inhabituelles.

L'agence d'architecture PCA-Stream et Spie Batignolles Fondations ont conçu et vont réaliser un "bâtiment-pont". Une paroi berlinoise passe de chaque côté du tunnel de la Ligne 14. Pour cela, 76 pieux jusqu'à 1 m de diamètre ont été mis en œuvre en juin dernier. Un couronnement spécifique permet d'enjamber le tunnel de la Ligne 13 proche. Un radier de 2 m d'épaisseur, réalisé fin novembre, "ponte" le bâtiment indépendamment de la portance du sol.

La présence d'un fontis sur une partie du terrain a entraîné des injections de coulis de ciment dans le terrain.

Le Stream Building comprend 7 étages. Les 5 premiers sont à structure plancher en béton et charpente en bois, les 2 derniers sont tout en bois. La présence du bois est dictée par l'appel à projets

"Réinventer Paris" (ville de Paris, 2015) dont le bâtiment est un des lauréats.

→ Adaptable dans le temps

La construction se doit aussi d'être adaptable dans le temps avec peu de travaux lourds. À sa livraison, en 2022, il comprendra 9 500 m² de bureaux, 109 chambres d'hôtel, et un espace événementiel de 5 600 m². Il sera végétalisé à travers une "faille" et sa façade.

L'opération, réalisée en Bim, vise plusieurs certifications sur ses performances environnementales et énergétiques.

Montant : 50 millions d'euros. Maîtres d'ouvrage : Covivio avec Assurances du Crédit mutuel et Hines. ■



© SPIE BATIGNOLLES

Les travaux de fondations ont eu lieu en partie de nuit, notamment les injections de coulis.

PROGRAMME "PONTS" POUR 28000 COMMUNES



© JEAN-MARC DECOMTE/LESA

Larrau (Pyrénées-Atlantiques, 200 hab.) est éligible au programme du Cerema. Ici sa passerelle d'Holtzarte de 1920 à 200 m au-dessus des gorges d'Olhadubi.

Près de 28 000 communes peuvent être aidées par l'État pour mieux connaître leurs ouvrages d'art. C'est l'objet du programme Ponts piloté par le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) démarré en janvier et jusqu'en 2023.

Les collectivités locales devaient manifester leur intérêt pour entrer dans le programme. Citons parmi les premières communes éligibles : Braine (Aisne), Estaing (Aveyron), Bourdeilles et Limeuil (Dordogne), Saint-Guilhem-le-Désert (Hérault), Larrau (Pyrénées-Atlantiques) et Bazoilles-sur-Meuse (Vosges).

Les communes doivent avoir moins de 10 000 habitants et ne pas dépasser un certain potentiel fiscal, selon le décret n°2002-1209 du 27 septembre 2002 qui leur ouvrirait, à l'époque, l'Assistance technique par les services de l'État pour raisons de solidarité et d'aménagement du territoire. La suppression de l'Atesat fin 2014 avait mis à mal le suivi des ouvrages. De 90 000 à 100 000 ouvrages relèvent des communes.

→ Bureaux d'études mis à disposition

Le programme, décidé à la mi-décembre par le ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales, et celui des Transports, bénéficie de 40 millions d'euros (plan de relance).

Grâce à ces fonds, des bureaux d'études supervisés par le Cerema seront mis à disposition des collectivités.

Le Cerema a conçu une assistance en deux phases. Les ouvrages d'art seront d'abord recensés et dotés d'un carnet de santé avec les tâches d'entretien et de surveillance à réaliser. Des mesures d'urgence peuvent être prises à ce stade.

→ Ouvrages sensibles

Certains ouvrages auront pu être détectés comme sensibles voire à risques. Leur état sera détaillé si la collectivité le souhaite, et consigné dans le carnet de

santé. C'est la phase 2 jusqu'à fin 2022. Les ouvrages concernés sont « les ponts et les murs aval de soutènement portant une voirie communale, faisant partie du domaine public des communes », précise le livret à destination des communes.

En savoir plus sur : www.cerema.fr/programmenationalponts/communes



© HENRI FOISOLE/HF PHOTOS

Bourdeilles (Dordogne, 800 hab.) est éligible au dispositif. Ici le pont médiéval, à l'origine pont-levis, reconstruit en 1736, aujourd'hui sur la RD106.

PONTS CONNECTÉS

Le programme Ponts piloté par le Cerema en faveur des ouvrages d'art des communes les moins riches (cf. ci-contre), comprend un appel à projets de surveillance et gestion à distance, baptisé "ponts connectés".

Les projets retenus seront connus le 15 avril. Les solutions innovantes pourront être expérimentées sur des ouvrages publics. Des livrables seront remis en 2023.

Les dispositifs connectés n'éliminent pas le recours aux méthodes classiques d'inspection auxquelles ils seront reliés.

SITES INDUSTRIELS REVISITÉS

Arthur Dalloni a remporté le 1^{er} prix des trophées béton écoles avec la transformation du barrage électrique de Vezins (Manche). L'ouvrage, situé sur la Sélune, au sud d'Isigny-le-Buat, a été déconstruit en 2019-2020 car il n'était pas adaptable aux normes de protection de l'environnement (sédiments, poissons, qualité des eaux, etc.). Construit entre 1919 et 1932 sur une conception d'Albert Caquot, il mesurait 36 m de haut, 278 de long, et formait un lac de 19 km de long (200 ha).

Le lac est préservé dans le projet de fin d'études d'Arthur Dalloni, étudiant en architecture à l'Institut national des sciences appliquées de Strasbourg, qui y a imaginé un centre équestre, un hôtel, un restaurant et des bains.

Le 2^e prix va à Yannick Sürmely et Olena Dziuba, étudiants à l'École nationale supérieure d'architecture de Strasbourg. S'intéressant à la reconversion de centrales thermiques au charbon, ils ont planché sur celle de Charleroi (Belgique), désaffectée. Ils y installent un campus d'ingénierie et de géosciences et, profitant de la carrière de calcaire attenante, du béton peut être fabriqué sur place.

En savoir plus sur : www.trophee-beton.com



© ARTHUR DALLONI

Intérieur du barrage électrique de Vezins (Manche) imaginé par Arthur Dalloni, 1^{er} prix des trophées béton écoles.

INFRA BIM OPEN DÉPLACÉ

Les dates d'Infra Bim Open ont changé. Le congrès technique sur la transformation digitale du secteur des infrastructures est prévu du 30 août au 1^{er} septembre, à Lyon, au lieu de juin. Le congrès est organisé par Buildingsmart France, Indura (Innov'Infra) et Minnd (Irex).

INTERMAT EN 2024

Comexposium renonce à tenir Intermat du 19 au 24 avril 2021 au parc des expositions de Paris Nord-Villepinte. Comme le salon international de la construction et des infrastructures a lieu tous les trois ans, sa 8^e édition est repoussée à avril 2024. Sa dernière édition s'est tenue en 2018.



Intermat fait le grand saut entre 2018 et 2024.

JOURNÉES JAMI

Des journées pour l'accélération et la modernisation des infrastructures (Jami) vont être organisées d'ici cet été, a annoncé Jean-Baptiste Djebbari, ministre des Transports le 20 janvier. Les Jami accompagnent les projets de la Loi d'orientation des mobilités et du plan de relance.

PAS ENCORE DE LIEN ENTRE ENTRETIEN ET ÉTAT DES ROUTES ET DES OUVRAGES D'ART

Il faut participer davantage les établissements publics de coopération intercommunale dans l'Observatoire national de la route (ONR) est un des objectifs de l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrirm) qui le gère⁽¹⁾.

En 2019, sur 12 communautés de communes (CC) ou communautés d'agglomération (CA) avec les compétences "bandes de roulement" et "ouvrages d'art", 4 ont fourni des données financières utilisables sur 2016-2018. Les métropoles sont traitées à part. Dix ont fourni des données 2019 dans le rapport publié le 16 décembre (9 en 2019). Afin de faciliter la participation des collectivités territoriales, l'outil d'enquête a été modifié en 2020. Désormais, les gestionnaires entrent leurs informations en ligne, sur le site internet de l'Idrirm. Ils alimentent une base de données qui leur reste accessible. À terme, ils y trouveront des fonctions d'analyse.

Le 4^e rapport de l'Observatoire de la route ne révèle pas encore de lien entre dépenses d'entretien et état des voies et ouvrages d'art. « La qualité des données est encore insuffisante, la corrélation pourra peut-être être établie en 2021 sur certaines portions », entrevoit Tristan Hirel, chargé de projet ONR. En attendant, l'outil sert à connaître son patrimoine, à l'entretenir au juste coût, à prioriser les interventions et à se situer par rapport à la moyenne.

L'échantillon sur lequel se base les résultats varie au fil des domaines étudiés, à cause des différences de réponse des gestionnaires.

Les dépenses d'investissement de l'État en 2018, hors grands travaux, devraient se maintenir en 2019. Le niveau, en hausse depuis 2017, s'est élevé à 44 000 euros/km comme en 2016.

→ Charge pour les petits départements

Les départements remontent la pente depuis 2016 et dépassent de peu 2013, à plus de 6 000 euros/km investis en 2019 (moyenne sur 49 départements). « Les petits départements (moins de 250 000 habitants) consacrent 80 euros par habitant en 2019 contre 65 euros l'année précédente », pointe Didier Colin, directeur général de l'Idrirm. C'est deux fois plus que les grands (entre 500 000 et 1 million d'habitants).

En ce qui concerne les grosses réparations - entretien préventif et régénération (investissements) - en 2019, les chaussées accaparent toujours de plus gros montants que les ouvrages d'art, à respectivement 24 000 euros/km et plus de 5 000 euros/km pour l'État, et plus de 3 000 euros/km (chaussées) et moins de 1 000 euros/km (ouvrages d'art), en moyenne sur 52 départements.

→ Ponts en moins bon état

Les dépenses de fonctionnement pour les routes et les ouvrages d'art de l'État, hors personnel, grimpent de 19 500

euros/km en 2017 à 23 000, en 2018. Les départements stagnent à 2 000 euros/km en moyenne, stable depuis 2014. L'effort est plus important par habitant pour les petits.

« L'état global du patrimoine de ponts est moins bon en 2019 que les deux années précédentes, pour l'État et pour les départements », constate le 4^e rapport ONR. État : la proportion en "bon état structurel" (classe 1) est de 68,4 % alors qu'elle était de 70,3 % en 2017. En départements, elle est de 55,7 % contre 61,4 %.

→ Murs : bilan contrasté

L'état des murs de soutènement de l'État est moins bon en 2019 qu'en 2017 : 57,3 % en bon état contre 60,9 %. En revanche, les 22 158 murs de 18 départements pour lesquels les données sont fiables le sont à 69,5 % en 2019 contre 66 %, cette fois en 2018. Les murs en maçonnerie et en béton qui représentent 95 % de patrimoine des départements ont bien progressé.

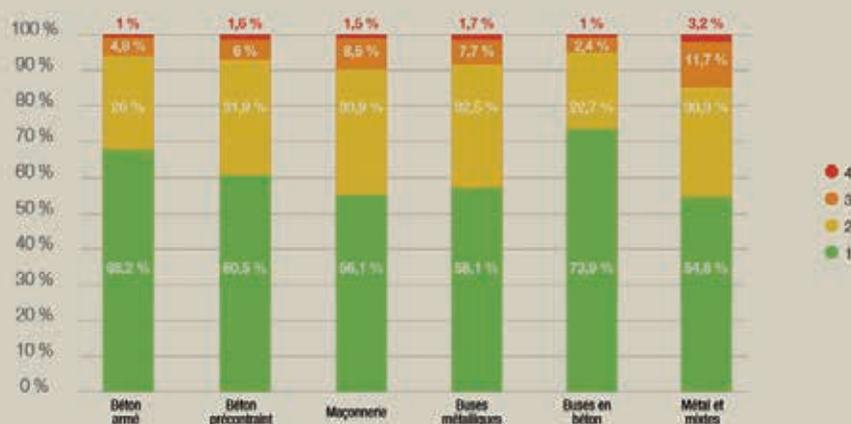
En savoir plus sur :

www.idrirm.com/actualites-presse/2020-12-16,8127.htm ■

⁽¹⁾ Comité de pilotage : ministère de la Transition écologique, Cerema, Assemblée des communautés de France, Assemblée des départements de France, Strres, Routes de France, Université Gustave Eiffel.

⁽²⁾ Rapports ONR dans Travaux n°922, mars 2016, page 10 ; n°948, janvier-février 2019, page 9 ; n°960, juin 2020, page 6.

ANALYSE DE L'ÉTAT DES PONTS PAR FAMILLE D'OUVRAGE POUR L'ANNÉE 2019 (40 DÉPARTEMENTS POUR 43 730 PONTS)



En rouge : mauvais état (capacité portante menacée) ; en orange : structure altérée ; en jaune : travaux d'entretien spécialisé ; en vert : bon état structurel.

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu, à quelle date et dans quelles conditions (à distance ou en présentiel). Reportés à 2022 : IS Rivers, RocExs, 20^e congrès de mécanique des sols.

Concours Innovations TP au printemps

Le concours de l'innovation dans les travaux publics, Innov Day TP, se tient en avril-mai, par internet. La 1^{re} édition avait eu lieu en 2017. Cinquante innovations seront retenues dans trois domaines : transition numérique et robotique ; sobriété énergétique ; green technologies. Les inscriptions se closent le 1^{er} avril. Du 19 avril au 16 mai, les internautes pourront choisir les innovations qu'ils préfèrent. Leur vote ainsi que celui d'un jury déboucheront sur la sélection de trois lauréats présentés le 25 mai et, finalement, du grand gagnant. Le concours est organisé par Indura, la FRTP Auvergne-Rhône-Alpes et Innov'Infra.

<http://innovdaytp.com/innovations/>

• 27 AVRIL

Solutions fondées sur la nature pour une prévention-protection durable des ouvrages et du bâti contre les risques naturels

Lieu : webinaire (11 h)
S'inscrire sur <http://indura.fr>

• 11 MAI

Comportement mécanique des géomatériaux : un monde de diversité et de modèles

Lieu : webinaire (11 h)
S'inscrire sur <http://indura.fr>

FORMATIONS

• 19 AU 21 MAI

Système ferroviaire : acteurs, organisation, évolutions

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

• 26 AU 28 MAI

Conduire des travaux sous exploitation (réseau ferré national)

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

• 7 ET 8 JUIN

Fabrication de la maquette numérique et les outils du Bim

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

NOMINATIONS

CÉRIB :

Bertrand Bedel préside le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton à la suite de Philippe Gruat.

LES CANALISATEURS :

Leslie Laroche remplace Clotilde Terrible en tant que secrétaire

générale de l'organisation professionnelle des spécialistes en pose, réhabilitation de canalisations d'eau potable, d'eaux usées, d'irrigation, gaz et fluides divers.

SNBPE :

Benjamin Bordonado succède à Oliver Stephan comme délégué régional Grand-Ouest du Syndicat national du béton prêt à l'emploi.

SYNAD :

Christophe Jeuneau a été élu président du Syndicat national des adjuvants pour bétons et mortiers. Il prend la succession de Claude Le Fur.

L'UNICEM EN RÉGIONS :

En Bretagne, Christian Corlay, parti en retraite, a cédé le secrétariat général de l'Union nationale des industries des carrières et matériaux de construction régionale à Sylvie Lebreton.

En Auvergne-Rhône-Alpes, Jérôme Montané a été élu président. Il prend la suite d'Alain Boisselon.



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs. Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 968 « Ville et patrimoine »
- TRAVAUX n° 969 « Travaux souterrains »



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31
b.cosson@rive-media.fr

EDF ENERGIES MARINES RENOUVELABLES EOLIEN EN MER : LA FRANCE PREND UN NOUVEAU CAP

EDF Renouvelables est un leader mondial de la production d'électricité renouvelable, avec une capacité installée éolienne et solaire de 13,2 GW bruts dans le monde mi 2020. Historiquement actif dans l'éolien terrestre et le photovoltaïque, EDF Renouvelables se positionne depuis une dizaine d'années fortement sur l'éolien en mer, en France et à l'export, réalisant aussi bien le développement, la construction que l'exploitation et la maintenance, ce qui fait du Groupe, par ailleurs, un acteur important au niveau de l'économie locale.

Cédric Le Bousse, Directeur Energies Marines France d'EDF Renouvelables nous en dit plus sur l'ensemble de ces activités. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



Comment se situe la direction des Énergies Marines Renouvelables au sein d'EDF Renouvelables ?

La Direction des Énergies Marines Renouvelables est l'une des divisions d'EDF Renouvelables, filiale à 100 % du groupe EDF. EDF Renouvelables participe activement à la stratégie CAP 2030 du groupe EDF qui vise à doubler ses capacités renouvelables, entre 2015 et 2030, de 28 à 50 GW nets dans le monde. EDF Renouvelables investit ainsi dans les énergies renouvelables avec, principalement, l'éolien terrestre, l'éolien en mer et le solaire, tout ce qui relève de l'énergie hydraulique étant de la responsabilité de la maison mère.

Dans le domaine des énergies marines, EDF est actif depuis un peu plus de dix ans, le premier projet éolien offshore dans lequel nous avons investi - C Power - se situant dans les eaux belges de la Mer du Nord, avec deux mises en service successives en 2009 et 2012. Sa capacité est de 325 MW. Nous avons continué à nous développer dans le monde et nous sommes aujourd'hui présents en éolien offshore dans sept pays : Belgique, Royaume-Uni, Irlande, Allemagne, États-Unis, Chine et, bien évidemment, en France. EDF Renouvelables est donc un acteur reconnu dans l'éolien en mer avec près de 6,5 GW de projets en exploitation, construction ou développement, mobilisant près de 500 personnes dédiées



FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © EDF EN DAVE EVANS - FIGURE 3 © GE RENEUVABLES

1- Cédric Le Bousse, Directeur Energies Marines France d'EDF Renouvelables.

2- Le parc éolien en mer de Teesside au Royaume-Uni.

3- Naissance de la première nacelle Haliade 150 de General Electric fabriquée à Saint-Nazaire.

4- Les fondations dites " monopieu " du parc de Saint Nazaire, fabriquées dans l'usine d'Eiffage à Hoboken, près d'Anvers.

5- La sous-station électrique en mer du parc de Saint-Nazaire est fabriquée par Chantiers de l'Atlantique.

CÉDRIC LE BOUSSE : PARCOURS

Titulaire d'un diplôme d'ingénieur de l'École nationale supérieure des Mines de Paris (ENSM), Cédric Le Bousse a débuté sa carrière chez EDF Renouvelables (anciennement Énergies Nouvelles) en 2006 au sein de la Direction des Affaires Nouvelles. En tant que chef de projet, il participe alors au développement de projets éoliens en mer en France, ainsi qu'au suivi de construction des projets en mer de C-Power en Belgique (325 MW) et de Teesside au Royaume-Uni (62 MW).

En 2009, il crée et structure la filiale d'EDF Renouvelables en Israël.

Nommé Directeur Technique de la filiale Polat Energy en Turquie en 2012, il pilote l'ingénierie, la contractualisation et la construction de projets éoliens locaux.

De retour en France en 2014, il devient Directeur adjoint Industrie pour les projets d'énergie marine. Il contribue à la structuration des équipes et des projets maritimes en France, ainsi qu'au lancement et à la construction du projet de Blyth au Royaume-Uni (41,5 MW).

Depuis 2016, il est Directeur de la zone Asie-Pacifique. Il a contribué à la croissance du portfolio d'EDF Renouvelables en Inde, en Chine, et a notamment travaillé à la création d'une co-entreprise avec China Energy Investment Corporation (China Energy) pour construire et exploiter les parcs éoliens en mer de Dongtai IV et V (500 MW de capacité totale). Ce succès a fait d'EDF Renouvelables le premier développeur étranger de l'éolien en mer à prendre position sur le marché chinois.

Depuis avril 2020, Cédric Le Bousse est Directeur Énergies Marines France d'EDF Renouvelables.

à l'éolien offshore en France et à l'international.

En France, en avril 2012, un consortium mené par EDF Renouvelables a été désigné lauréat, dans le cadre de l'appel d'offres lancé par le gouvernement français, pour la construction de trois projets éoliens en mer le long des côtes françaises : Saint-Nazaire (Loire-Atlantique), Fécamp (Seine-Maritime), Courseulles-sur-Mer (Calvados).

Avec 215 éoliennes, ces parcs représenteront au total une capacité installée de ~1 420 mégawatts soit l'équivalent de la consommation électrique de plus de 2 millions d'habitants.

Quelles sont les caractéristiques du projet de Saint-Nazaire ?

Le projet de Saint-Nazaire se compose de 80 éoliennes en mer de type Haliade 150 d'une capacité individuelle de 6 MW pour une puissance totale de 480 MW. Les éoliennes seront localisées entre 12 et 20 km au large de la Loire-Atlantique, sur une surface globale de 78 km², à des profondeurs variant entre 12 et 25 m. La production envisagée couvrira l'équivalent de 20 % de la consommation en électricité de la Loire-Atlantique.

Les travaux débiteront début mars avec l'installation des premières fon-

dations. À partir de l'été, une première partie des câbles sera installée ainsi que la sous-station électrique en mer. L'arrivée des premières éoliennes interviendra au printemps 2022. Le parc de Saint-Nazaire est le premier projet commercial éolien en mer à être construit en France.

Les éoliennes sont posées sur des fondations dites monopieu - c'est-à-dire qu'elles reposent directement sur les fonds. Les fondations sont fabriquées à Roermond et assemblées à Rotterdam par SIF, sous-traitant d'Eiffage Métal. Les pièces de transition faisant le lien entre la fondation et l'éolienne sont

actuellement en cours de fabrication, pour la structure principale à Roermond (SIF) et puis seront finalisées (installation des structures secondaires, peinture, équipements électriques) à Hoboken dans l'usine de Smulders, filiale d'Eiffage Métal. Une partie des fondations et pièces de transition sera ensuite acheminée et stockée, dès février, au port de la Rochelle avant leur installation en mer par Deme.

À Montoir-de-Bretagne (Pays-de-la-Loire), General Electric assemble les nacelles et génératrices des éoliennes. À partir de l'été 2021, les éoliennes seront stockées et visibles sur le site d'assemblage à côté de la forme Joubert à Saint-Nazaire. C'est à partir de là qu'elles seront embarquées, 4 par 4, sur le "Vole au Vent", navire jack-up de Sodrac (filiale de Jan de Nul) construit spécifiquement pour les parcs éoliens offshore et installées en mer à partir du printemps 2022.

Les éoliennes sont raccordées à une sous-station électrique en mer par des câbles électriques. Ces derniers ont déjà été fabriqués par la société Prysmian, dans ses usines de Montereau-Fault-Yonne (Île-de-France) et de Gron (Bourgogne-Franche-Comté) et vont être stockés à Saint-Nazaire

Le banc de Guérande étant un sol rocheux, les câbles seront posés directement sur le fond et protégés par des coquilles et des sacs d'encrochements. La fabrication des demi-coquilles moulées en fonte est réalisée par la Fonte ardennaise à Redon (Ille-et-Vilaine). Ces éléments seront installés en mer, via un navire câblé, à partir de l'été 2021 par Louis Dreyfus Travocean. À Saint-Nazaire, l'usine des Chantiers de l'Atlantique fabrique actuellement la future sous-station électrique en mer du parc. ▶

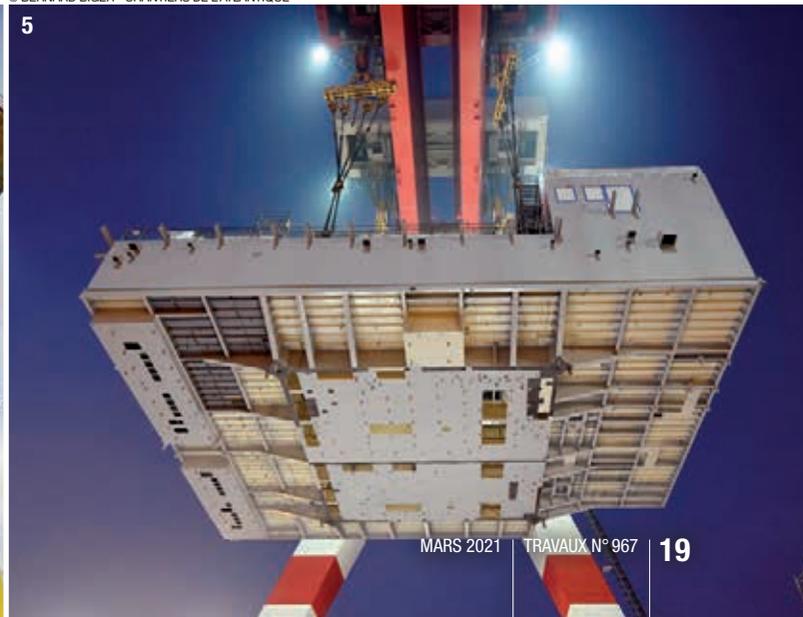
© EIFFAGE MÉTAL

4



© BERNARD BIGER - CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

5

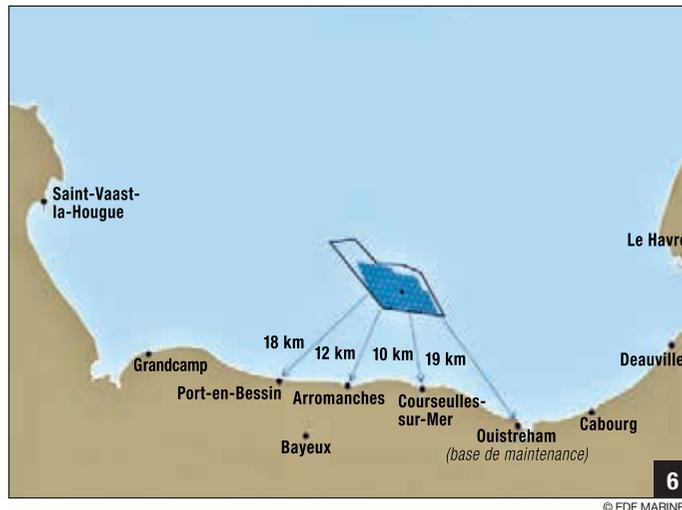


Cet ouvrage sera le point névralgique du futur système électrique. Il récoltera l'électricité produite par les 80 éoliennes via l'arrivée de 12 câbles et la transformera pour la transporter à terre via 2 câbles. Ces deux câbles d'export, propriété de RTE, ont été installés en 2020.

Lancée depuis septembre 2019, la fabrication de la structure en acier a été finalisée en septembre 2020 et la mise en peinture s'est récemment achevée. La sous-station est actuellement en train d'être équipée en matériel électrique par GE Grid Solutions avant d'être installée en mer à la fin de l'été 2021 par Deme. L'ensemble des opérations en mer sera coordonné depuis la base de construction située quai de Kribi à Saint-Nazaire. L'exploitation et la maintenance du futur parc éolien en mer se fera depuis la base de maintenance. Celle-ci, située sur le port de la Turballe, sera composée d'une salle de contrôle et télécommunications, de vestiaires, de bureaux et abritera une zone d'entrepôt pour stocker le matériel nécessaire à la maintenance du parc. Pour une production optimale, les opérations de maintenance auront lieu 7j/7 en fonction des conditions météo, ce qui mobilisera une centaine d'emplois locaux. Les travaux de construction de la base de maintenance ont débuté fin septembre 2020 et dureront près d'1 an.

Un autre projet très avancé est celui au large de Fécamp. Où en est-il ?

Le chantier du projet de Fécamp a été lancé juste à la sortie du premier confinement, le 2 juin 2020. Son planning est décalé d'à peu près un an par rapport au projet de Saint-Nazaire. Le projet se compose de 71 éoliennes en mer pour une puissance totale



d'environ 500 MW qui seront localisées entre 13 et 22 km au large de Fécamp, sur une surface globale de presque 60 km².

La production envisagée équivaut à couvrir la consommation domestique en électricité de plus de 770 000 personnes, soit plus de 60 % des habitants de Seine-Maritime.

La mise en service et le démarrage de l'exploitation sont prévus à l'horizon 2023.

Quelques travaux ont commencé à terre avec notamment une partie du raccordement électrique à terre, la préparation du site du Havre (Quai de Bougainville) pour la construction des fondations gravitaires, la construction au Havre (Quai Joannes Couvert) de l'usine de fabrication des éoliennes, et le début de la construction de la base de maintenance à Fécamp.

En 2022 et 2023, l'installation du parc éolien en mer s'effectuera au large des côtes normandes avec les fondations, le poste électrique en mer, les câbles puis les éoliennes.

La technologie est différente de celle de Saint-Nazaire : les fondations de type gravitaire sont constituées d'embase en béton fabriquées sur le quai de Bougainville au Havre par le consortium Bouygues / Saipem / Boskalis. Leur construction mobilisera près de 600 emplois locaux.

D'une hauteur d'une quarantaine de mètres, les fondations seront mises en place par un navire spécialisé - le Saipem 7000 - d'une capacité de levage de 7 000 tonnes.

Siemens Gamesa Renewable Energy fabriquera les 71 éoliennes dans une usine en cours de construction au Havre tandis que la construction de la sous-station électrique en mer a été confiée à Chantiers de l'Atlantique avec GE Grid Solutions et Sdi.

Comme pour le parc de Saint-Nazaire, RTE est responsable du raccordement, depuis la sous-station électrique jusqu'à la côte puis au réseau électrique normand.

Le chantier mobilisera au total plus de 1 400 emplois locaux et durant les

25 années d'exploitation, une centaine d'emplois locaux pérennes seront également créés dans le port de Fécamp pour assurer la maintenance des installations.

Pour en conclure avec les projets les plus avancés, quelques mots sur celui dit " du Calvados " au large de Courseulles-sur-Mer.

Le projet de Courseulles-sur-Mer d'une puissance totale d'environ 450 MW se compose de 64 éoliennes en mer, qui seront localisées à plus de 10 km des côtes du Bessin, sur une surface globale de 45 km².

La production envisagée couvrira l'équivalent de la consommation domestique en électricité de près de 630 000 personnes, soit plus de 90 % des habitants du Calvados.

La construction des différents ouvrages débutera en 2021, l'installation des fondations fin 2022/début 2023 pour une mise en service en 2024.

Les éoliennes, installées sur des fondations de type monopieu, seront produites par Siemens Gamesa dans une usine établie au Havre.

À noter que, pour les trois projets, les sous-stations sont produites à Saint-Nazaire par les Chantiers de l'Atlantique, les "jackets" de fondations de ces sous-stations étant réalisés par l'entreprise Smulders, filiale d'Eiffage Métal.

Quel est l'impact économique de l'éolien offshore ?

Si l'éolien offshore a mis longtemps à démarrer en France, il est désormais bien lancé. Les trois projets que je viens d'évoquer sont, soit en construction, soit sur le point d'y entrer. Plusieurs usines ont été construites sur le territoire et la filière des énergies marines

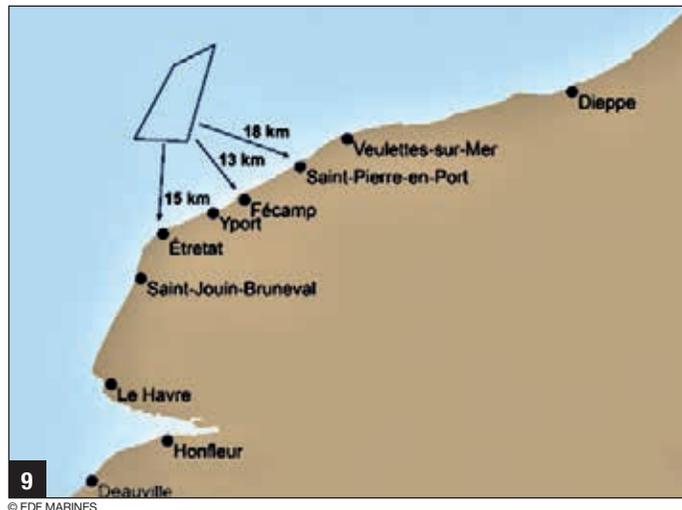


renouvelables mobilise près de 3000 emplois directs (chiffres de 2019 issus du rapport 2020 de l'Observatoire des Énergies de la Mer). Lorsque les trois projets seront en construction, on estime à environ 7000 le nombre d'emplois directs et indirects, principalement locaux, qui seront créés dans les Pays-de-Loire et en Normandie. Selon l'Observatoire : « La filière a connu un tournant en 2019 avec le début de la construction du 1^{er} parc commercial éolien posé français, au large de Saint-Nazaire. Les résultats de l'enquête laissent présager une capacité de croissance importante de l'emploi et du chiffre d'affaires avec le démarrage des travaux pour les parcs de Saint-Brieuc et Fécamp en 2020. » La France compte aujourd'hui trois usines de production d'éoliennes en mer avec les usines de General Electric à Montoir-de-Bretagne (nacelles et générateurs), et à Cherbourg (pales) ainsi que l'usine de Siemens-Gamesa en cours de construction au Havre (qui mobilisera près de 750 emplois directs).

Comment les entreprises locales sont-elles associées à ces projets ?

Si les appels d'offre sont attribués à des sous-traitants de rang 1 qui sont souvent de grands groupes industriels, il faut savoir que ces derniers font très largement appel à des PME régionales, voire locales et que l'ensemble des projets en cours ou à venir permettent de mettre en place une chaîne de valeur industrielle très significative.

Depuis plusieurs années, nous nous sommes impliqués localement afin de permettre aux entreprises du territoire de se préparer et de s'adapter aux techniques souvent nouvelles que



nécessite l'éolien offshore. Dans les Pays-de-Loire, en Normandie et en Bretagne notamment, une myriade de petites entreprises a été associée aux projets en cours. Derrière les grandes

6- Localisation du projet de Courseulles-sur-Mer.

7- L'usine de fabrication de la sous-station électrique en mer.

8- La base de maintenance de La Turballe.

9- Localisation du projet de Fécamp.

10- Structure inférieure en acier de la sous-station électrique.

11- Cette photo donne une idée des dimensions imposantes de la sous-station en mer.

entreprises, de très nombreuses entreprises petites et moyennes se sont créées ou ont évolué par rapport à leur cœur de métier, parce que les énergies marines représentent pour elles un relais de croissance.

Très tôt dans le développement des projets, nous avons favorisé les rapprochements entre les sous-traitants de rang 1 et les PME. Nous avons échangé avec ces PME et TPE concernant les procédures et attentes relatives aux appels d'offres en passant notamment par les portails d'information des associations professionnelles d'entreprises et des Chambres de Commerce et d'Industrie en place afin de les "embarquer" avec nous.

Nous avons veillé à ce que toutes les entreprises françaises locales aient accès à l'information lors des lancements d'appel d'offre et soient en mesure d'y répondre à hauteur de leurs compétences. Nous avons soutenu le développement de nouveaux cursus de formation pour que les PME et les TPE préparent leurs équipes à

construire et exploiter les nouveaux équipements. Nous accompagnons l'ensemble des sous-traitants des grandes entreprises et nous sommes chanceux en France d'avoir un grand nombre d'entreprises qualifiées sur ces domaines d'activité.

D'autres projets sont-ils prévus en France ?

Le 14 juin 2019, la société Éoliennes en Mer de Dunkerque (EMD) composée d'EDF Renouvelables, Innogy SE et du Groupe Enbridge, a été désignée lauréat, dans le cadre de l'appel d'offres lancé par le gouvernement français du projet éolien en mer de Dunkerque. Emd assure ainsi la maîtrise d'ouvrage du projet tandis que RTE est le maître d'ouvrage du raccordement électrique en mer et à terre du projet, dont fait partie le poste électrique en mer.

Le projet de parc éolien au large de Dunkerque en est actuellement au stade du débat public qui s'est clôturé fin 2020. Le débat public d'une durée de 3 mois est une phase essentielle pour nous, développeurs, en ce qu'il nous permet de présenter le projet localement et de l'adapter en fonction des remarques et enjeux identifiés par le public au cours du débat. C'est un moment de démocratie fondamentale. Le projet de Dunkerque aura une capacité totale et maximale de 600 MW pour une surface totale n'excédant pas 50 km².

Il sera localisé à environ 10 km au large de Dunkerque. Cette zone a été définie par l'État et nous sommes tenus d'y implanter les éoliennes en fonction des paramètres de sol, de vent, des contraintes majeures concernant les servitudes réglementaires, la compatibilité avec les enjeux environnementaux et leurs sensibilités. ▶

© BERNARD BIGER - CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE



© BERNARD BIGER - CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

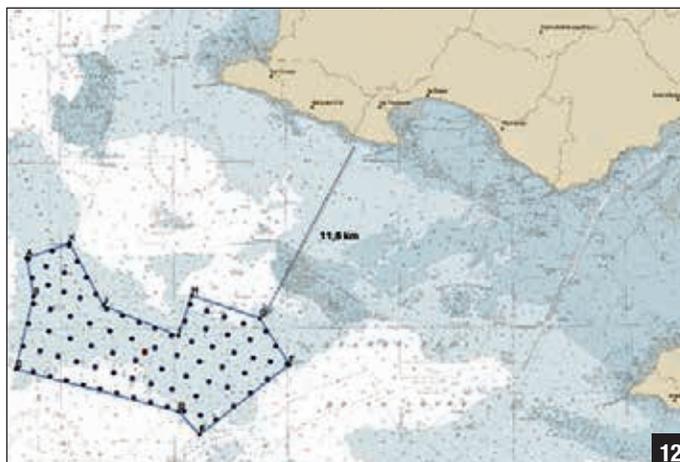


Il nous faut également prendre en compte les impératifs des acteurs économiques en place du milieu maritime ou terrestre sur le site ou à proximité : le transport maritime, la pêche, le tourisme, la Défense, l'aéronautisme...

Un projet d'infrastructure d'une telle taille doit intégrer l'ensemble de ces contraintes pour produire de l'énergie renouvelable dans les meilleures conditions techniques et économiques, sur les zones les moins impactantes pour l'environnement marin et les autres activités en mer. La cohabitation entre l'ensemble des usages en mer est pour nous primordiale et nous nous attachons, à travers chacun de nos projets, à mener une concertation exemplaire.

Le projet étant le premier à bénéficier du "permis enveloppe" introduit par la loi ESSOC (2018), l'agencement et les caractéristiques finales du parc seront définis une fois les autorisations obtenues et les études techniques réalisées afin de pouvoir retenir les meilleures technologies disponibles au moment de l'entrée en construction du projet. Le site est caractérisé par des conditions hydro-sédimentaires très spécifiques, en raison de nombreux bancs de sables, dont la forme évolue dans le temps. La mobilité des fonds marins a été appréhendée par les maîtres d'ouvrage dès la phase d'appel d'offres. La production attendue du parc éolien en mer de Dunkerque est estimée à environ 2,3 TWh d'électricité par an. Elle équivaut à couvrir l'équivalent de la consommation annuelle de près d'un million d'habitants, soit plus d'un tiers de la population du département du Nord.

Durant la période de construction, prévue à l'horizon 2025, nous mobiliserons comme pour l'ensemble de nos projets, le tissu industriel régional et national



12

© EDF MARINES

afin de faire profiter pleinement les territoires des retombées du projet.

EDF Renewables va-t-elle se lancer également dans l'éolien offshore flottant ?

Précisément, le dernier projet en cours de développement est "Provence Grand Large", un projet pilote éolien flottant de nouvelle génération.

"Provence Grand Large" sera composé de trois éoliennes de 8,4 MW chacune (25 MW de puissance cumulée), installées sur un système innovant d'embases flottantes reliées à des lignes tendues fixées à des ancrs dans le fond marin. Le système d'ancrage par des câbles en acier ou en polymère permet de dépasser les profondeurs actuelles maximum pour l'éolien posé, de l'ordre de 50 à 60 m et d'atteindre des profondeurs nettement supérieures. Ce projet lauréat de l'Appel à Projets de l'ADEME pour le développement de fermes pilotes éoliennes flottantes, a pour objectif de démontrer la viabilité de cette technologie et d'acquérir un retour d'expérience environnemental global

pour de futurs parcs commerciaux. Les trois éoliennes seront installées sur la zone dite de "Faraman", à 17 km au large de la plage Napoléon située sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Cette zone dispose des nombreux atouts évoqués précédemment pour accueillir ce projet pilote, que je rappelle pour mémoire : un vent fort et régulier, des infrastructures portuaires de qualité et une proximité avec le réseau existant, ainsi qu'une compatibilité avec les enjeux environnementaux.

La réalisation du projet s'appuie sur Siemens-Gamesa pour la fourniture et la maintenance des 3 éoliennes et sur SBM Offshore pour la conception, la fabrication et l'installation des flotteurs. L'électricité produite sera ensuite transportée grâce à un ensemble innovant de câbles dynamiques capable de suivre le mouvement des éoliennes, lui-même connecté à un câble d'export sous-marin puis souterrain, jusqu'au poste de raccordement électrique RTE installé, lui, sur terre. Le système de flotteurs a été développé

12- Localisation du parc éolien de Saint-Nazaire.

13- Simulation de la base de maintenance du Parc éolien en mer de Fécamp.

14- L'usine Siemens Gamesa Renewables Energy (SGRE) du Havre sur le quai de Bougainville.

15- Mise en place d'une turbine pour le parc de Blyth.

16- Situé au large de la côte du comté de Northumberland, le parc de Blyth est le premier parc éolien en mer à utiliser une technologie de "flottage et submersion". Les éoliennes reposent sur des fondations gravitaires transportées par flottage, ce qui permet de réduire les coûts de la phase d'installation.

17- Les coques de protection des câbles.

18- Fabrication des coques de protection des câbles chez AFC Redon.

par Sbm Offshore et Ifp Énergies Nouvelles. Il sera assemblé dans le yard d'Eiffage à Fos-sur-Mer. La mise en service du projet aujourd'hui prévue en 2023, dépendra des conclusions prises par le juge dans le cadre de la procédure de recours en cours.

La réalisation de ce premier projet-pilote de dimension encore modeste doit nous permettre de passer d'une phase de R&D qui est derrière nous à une phase industrielle de grands projets

© PARC ÉOLIEN EN MER DE FÉCAMP

13



22

TRAVAUX N° 967 | MARS 2021

© SGRE

14





© EDF MARINES

15



© EDF MARINES

16

SANS OUBLIER L'EXPORT

EDF Renewables est également présent à l'export dans l'éolien en mer. Au Royaume Uni, le Groupe exploite deux projets d'une capacité totale de plus de 100 MW (Blyth et Teesside) et a lancé la construction du parc de Neart Na Goithe en 2019, un parc de 450 MW.

Le Royaume Uni est très actif dans le domaine de l'éolien marin avec pas moins de 2200 éoliennes en mer installées et se prépare à lancer plusieurs appels d'offres très prochainement.

Il en est de même en Irlande où EDF a pris position en faisant l'acquisition début 2020 de 50 % du projet éolien en mer de Codling. Il est situé à l'est du banc de sable peu profond connu sous le nom de Codling Bank, à environ 13 kilomètres au large de la côte Est de l'Irlande, entre Greystones et Wicklow. Le projet, dont le développement a démarré en 2003, est réparti sur deux sites. Sa capacité devrait s'approcher d'1 GW installé.

En Allemagne, EDF a fait l'acquisition en 2017 d'une entreprise spécialisée dans l'exploitation-maintenance de parcs éoliens en mer : Ows Offshore Wind Solutions, aujourd'hui filiale d'EDF Renewables. Fondée en 2014, la société Ows assure l'exploitation et la maintenance du parc éolien en mer de Bard Offshore 1, situé à 95 kilomètres des côtes allemandes, en mer du Nord.

EDF Renewables se positionne également sur deux nouveaux marchés prometteurs à l'international. Aux États-Unis, le Groupe exploite un bail maritime avec Shell et a répondu à un appel d'offre pour obtenir un contrat d'achat d'électricité avec les exploitants locaux.

En Chine, où le groupe EDF est présent depuis une trentaine d'années, EDF Renewables a pris en 2020 des participations dans un projet de 500 MW aux côtés du géant chinois de l'électricité Shenhua, faisant de lui le premier acteur occidental à être présent sur le marché chinois de l'éolien marin. 300 MW sont déjà en exploitation et les 200 MW suivants en cours de construction.

de plusieurs centaines de mégawatts. À ce titre, l'État a annoncé, dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), l'attribution de trois appels d'offres éoliens flottants de 250 MW chacun en 2021 et 2022, ce qui correspondrait à une mise en service dans les années 2030.

La concrétisation du projet "Provence Grand Large" permettra de se préparer à ces futurs appels d'offre industriels en bénéficiant d'un premier retour d'expé-

rience et en permettant une montée en compétence des industriels en amont de la phase commerciale.

Comment entrevoyez-vous l'avenir de l'éolien offshore en France ?

Le marché en France est là. Les capacités industrielles sont déjà en place ou le seront très bientôt. La filière offshore a démarré. Il faut continuer sur cette lancée. Pour cela, les usines doivent

continuer à produire et il est donc important que ces appels d'offres prévus dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie soient lancés dans le calendrier initialement prévu de façon à disposer de volumes et d'une régularité nécessaires au maintien de l'activité industrielle de ces usines.

L'État a déjà annoncé en décembre dernier la zone sur laquelle le projet de futur appel d'offre éolien posé, d'une capacité de 1 gigawatt (GW) serait

installé : elle est située en Normandie, au large de Cherbourg et a donné lieu à un débat public de novembre 2019 à août 2020. Les consortiums vont être présélectionnés dans un premier temps et le dialogue concurrentiel devrait être lancé dans les premiers mois de 2021. En parallèle, l'État a également engagé le premier appel d'offres flottant avec le lancement d'un débat public au large de la Bretagne Sud qui s'est clôturé fin décembre. □

© PARC ÉOLIEN EN MER DE SAINT-NAZAIRE



17

© PARC ÉOLIEN EN MER DE SAINT-NAZAIRE



18



1
© ITER ORGANIZATION - JM HURON

NUVIA LE NUCLÉAIRE AU CŒUR DE SOLUTIONS INNOVANTES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

CRÉATEUR ET FOURNISSEUR DE SOLUTIONS INNOVANTES EN EPC (ENGINEERING, PROCUREMENT, CONSTRUCTION), INGÉNIERIE, SERVICES ET PRODUITS POUR LES ENVIRONNEMENTS NUCLÉAIRES, OU PLUS GLOBALEMENT, FORTEMENT RÉGLEMENTÉS, AVEC PLUS DE 60 ANS D'EXPÉRIENCE APPLIQUÉE AUX CENTRALES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET AUX INSTALLATIONS DE RECHERCHE NUCLÉAIRE, SON CŒUR DE MÉTIER, NUVIA PROPOSE DÉSORMAIS SES SERVICES À UN CHAMP PLUS LARGE DE CLIENTS, TELS QUE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE, LA DÉFENSE OU LA PROTECTION CIVILE. BRUNO LANCIA, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE NUVIA, NOUS EN DIT PLUS SUR L'HISTOIRE ET L'ÉVOLUTION DE CETTE ENTREPRISE DU GROUPE SOLETANCHE FREYSSINET.

Nuvia est l'une des entreprises du groupe Soletanche-Freyssinet, qui fait lui-même partie de Vinci Construction, une entité du groupe Vinci.

La marque Nuvia est relativement récente puisqu'elle a été créée en 2008 mais elle regroupe des sociétés fortes de plusieurs décennies d'expérience tant en France qu'à l'international.

1- Conception et pose des structures mécano-soudées pour soutenir le réacteur Tokamak (ITER).

« L'origine dans le groupe remonte à Freyssinet, indique Bruno Lancia, dont la technologie de la précontrainte a été mise en œuvre pour renforcer les bâtiments réacteurs dès les premières

générations de centrales nucléaires construites par EDF, notamment au Bugey et à Fessenheim avant d'être élargie à tous les réacteurs nucléaires en France et à l'international. »

La fin des années 90 ayant marqué la fin du programme nucléaire en France, Freyssinet est passé d'une activité de précontrainte sur les centrales en construction à une activité de maintenance des équipements de Génie Civil sous la marque "Freyssinet Nucléaire" pendant une dizaine d'années.

Plusieurs sociétés appartenant au groupe Vinci mais aussi à l'extérieur ont été acquises en France et au Royaume-Uni, et il s'est avéré rapidement nécessaire de communiquer sous une marque propre représentative des activités spécifiques de l'ensemble des sociétés constitutives de la nouvelle entité, positionnées toutes sur le nucléaire. C'est ainsi qu'est née Nuvia en 2008 tandis que Freyssinet Nucléaire devenait Nuvia Structures.

LA FRANCE ET L'INTERNATIONAL

Nuvia aujourd'hui, c'est 320 M€ de chiffre d'affaires, 2700 collaborateurs et des implantations dans 12 pays dans le monde.

Le chiffre d'affaires se répartit à 20% en EPC (Engineering, Procurement, Construction), 50% en services, 15% en produits et 15% en ingénierie.

« La France demeure la base principale de l'entreprise, poursuit-il, en raison de la taille de son parc nucléaire, mais Nuvia est également fortement implanté au Royaume-Uni, en Italie, en République Tchèque, en Slovaquie, en Allemagne, en Suède, aux Émirats Arabes Unis, en Inde et au Canada, ainsi qu'en Russie avec un bureau de représentation à Moscou. »

Du fait de son activité, Nuvia participe à la conception et réalisation de certaines installations neuves, dites "support" y compris le process associé, telles que des installations de traitement de déchets.

Nuvia vient de terminer une installation nucléaire en France pour le ministère de la défense britannique dans le cadre d'un traité de partenariat entre le Royaume-Uni et la France. Elle intervient aussi en construction neuve pour des cas spécifiques, par exemple des appuis parasismiques mis en place sur le réacteur ITER à Cadarache et le réacteur nucléaire de recherche Jules Horowitz (RJH), également à Cadarache. Dans les domaines proches du Génie Civil, Nuvia fabrique et pose des protections passives incendie permettant

© MARC MONTAGNON



BRUNO LANCIA : PARCOURS

Bruno Lancia est ingénieur de l'École Supérieure d'Arts et Métiers Paris-Tech (1990).

Dès sa sortie de l'école, il est embauché comme ingénieur d'affaires par Freyssinet, dans le département grands projets et a en charge la mise en œuvre de la précontrainte sur les centrales nucléaires françaises et étrangères.

Il opte alors pour être volontaire du service national en entreprise à Madrid (1991-1992). En Espagne, il participe au développement de Freyssinet dans le domaine nucléaire ainsi qu'à celui du bureau d'études de Terre Armée, également filiale de Soletanche Freyssinet.

En 1992, Freyssinet lui propose d'intégrer la direction de ses grands projets dans le domaine de la maintenance dans le génie civil nucléaire. En 1999, il prend la direction générale de cette business unit.

À partir des années 2000, les activités sont étendues, toujours dans le domaine du nucléaire et d'autres sociétés sont absorbées par croissance interne et externe en France mais aussi à l'international, dont celle, en 2007, de l'importante société britannique Nukem Ltd, très impliquée dans le nucléaire, pour aboutir, huit ans plus tard, à la naissance de Nuvia.

Depuis 2014, il assure la direction générale de Nuvia, avec un petit intermède entre 2016 et 2018 : au printemps 2016, le groupe lui demande de prendre également la direction générale de la toute nouvelle société Sixense dont il est à l'origine de la création et du lancement. Sixense, implanté sur 20 pays, propose ses services d'ingénierie, d'instrumentation, de numérisation et de solutions digitales tout au long du cycle de vie d'une infrastructure : autoroutes, ouvrages d'art, barrages, ponts, aéroports... Il s'agit de suivre des ouvrages depuis leur conception jusqu'à leur maintenance, avec un cœur d'activité basé sur le numérique.

Bruno Lancia est directeur général de Nuvia depuis 2014.

Très impliqué dans le nucléaire, il est également membre du conseil d'administration du Gifen (Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire), membre du bureau de la Sfen (Société Française d'Énergie Nucléaire) et président de la Fondation Talents For Nuclear.

2- Bruno Lancia, directeur général de Nuvia.

de protéger une structure, un équipement, contre le feu pendant un temps prédéfini suivant les exigences réglementaires.

Elle a développé une gamme de produits, assurant une protection "multiples facteurs" (incendie, étanchéité, ...) pour le rebouchage des trémies dans lesquelles passent des gaines de toute nature (ventilation, câbles, tuyauteries) afin d'assurer une sectorisation des lieux et éviter ainsi que le feu ou l'eau ne se propagent aux installations environnantes.

« Dans le domaine du Génie Civil ou des structures métalliques associées au Génie Civil, elle intervient dans tout ce qui peut concerner des modifications ou des renforcements de structure. »

Elle réalise aussi des opérations de radioprotection, associant services et fabrication d'équipements de mesure de la radioactivité, de mécanique et de logistique destinée à la prise en charge, dans un site industriel, des activités de contrôle, de manutention, de gestion des entrepôts, des magasins, des outillages, des échafaudages, en bref de l'ensemble des métiers au service de la gestion et de l'exploitation d'une installation nucléaire.

TROIS GAMMES DE PRODUITS SPÉCIFIQUES

Nuvia développe par ailleurs trois gammes de produits sous l'appellation générique NuviaTech : NuviaTech Instruments, NuviaTech Protection et NuviaTech Healthcare. Elle les conçoit, elle les produit, elle les teste, elle les qualifie et elle les met en œuvre et les commercialise dans le monde entier.

NUVIATECH INSTRUMENTS

De la modélisation à la mise en œuvre, NuviaTech Instruments utilise un savoir-faire exclusif et des technologies de pointe pour ses systèmes de surveillance dédiés à plusieurs domaines d'application majeurs tels que la surveillance environnementale, la géophysique, la sécurité du territoire, les laboratoires, la surveillance des radiations et la radioprotection, la gestion des déchets.

Avec NuviaTech Instruments, Nuvia propose aux propriétaires d'équipements nucléaires, aux opérateurs et aux parties prenantes des solutions de mesure standard et personnalisées pour toutes les étapes du cycle de vie des installations. « Nous pouvons fournir à la fois des composants (détecteurs, analyseurs et logiciels) et des systèmes de mesure complets capables d'intégrer des équipements de transport et de convoyage, un contrôle GPS, des unités de traitement de signaux. Par exemple, ▷



3 © JIM HURON

notre équipe tchèque a livré en 2020 un système de sécurité sur mesure à l'ELI Beamlines⁽¹⁾, un centre européen de recherche en République Tchèque. »
« Ce système de sécurité est basé sur une sonde à scintillation plastique conçue spécifiquement pour la détection des rayons X à basse énergie, afin d'assurer la sécurité de l'opérateur en zone chaude. »

Ceci est réalisé à l'aide des différentes briques technologiques : les détecteurs et sondes, les analyseurs numériques,

des caméras gamma spectrométriques et des solutions logicielles.

Ces équipements sont fabriqués au sein de trois entités basées en République Tchèque, Nuvia CZ, en Allemagne, Nuvia Instruments et au Canada, Nuvia Dynamics.

NUVIATECH PROTECTION

NuviaTech Protection conçoit des produits et des systèmes pour assurer la protection des ouvrages et des équipements face aux risques incendie, inon-

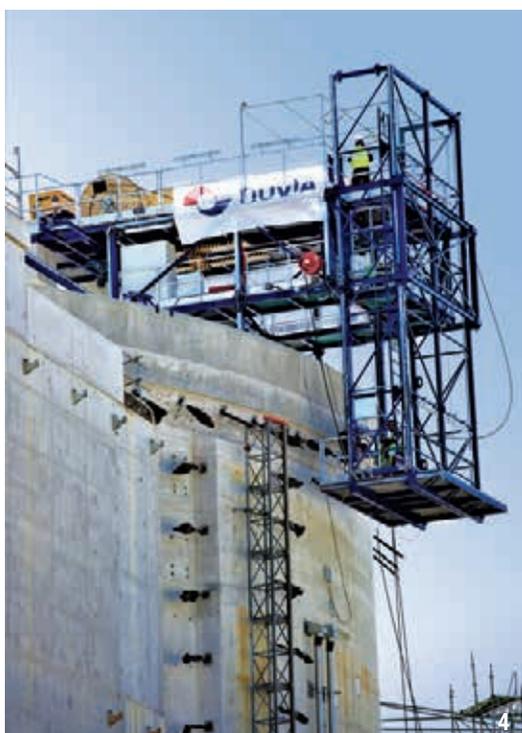
date, dissémination, radiologique, et sismique.

« Les solutions innovantes et performantes de NuviaTech Protection garantissent le contrôle des installations soumises aux risques accidentels pour une meilleure pérennité des investissements en prolongeant leur durée de vie et en assurant la sécurité du personnel intervenant en accord avec les réglementations. »

Les domaines concernés sont extrêmement diversifiés : acoustique, chutes,

dissémination, explosion, incendie, inondation, radioactivité, séisme. Il en est de même des ouvrages auxquels ils sont destinés : bâtiments, industrie, installations nucléaires, Oil & Gas, tunnels, ouvrages d'art.

Les produits de NuviaTech Protection sont fabriqués par Nuvia Protection à Morestel, en Isère, et par Compart, à Alès, dans le Gard. Créé en 2004, Compart est spécialisée dans la protection des secteurs conventionnels des ouvrages face aux risques d'incendie.



4 © JIM HURON



5 © JIM HURON

3- Installation d'une conduite en béton armé à âme tôle (CBAT) dans le canal d'amenée de la centrale nucléaire du Bugey pour éviter le risque FRASII (phénomène naturel de formation de cristaux de glace).

4- Mise en précontrainte du réacteur Jules Horowitz (CEA Cadarache).

5- Conception et construction des bâtiments de couvertures des bâches PTR de la centrale nucléaire de Fessenheim.



© JIM HURON

NUVIATECH HEALTHCARE

NuviaTech Healthcare fabrique des équipements, essentiellement de mesure, à destination de la médecine nucléaire, basés sur l'application des rayonnements ionisants dans les soins de

santé : automatisation pour la radiopharmacie et la radiochimie, équipements de laboratoire, instrumentation de médecine nucléaire, systèmes de surveillance des rayonnements, protection contre les radiations, gestion des déchets radioac-

tifs, construction de blindage pour la radioprotection, solutions logicielles. « La médecine nucléaire consiste à utiliser le rayonnement de certaines particules soit pour faire du diagnostic, soit pour faire du traitement et en par-

ticulier du traitement de cancers. C'est un secteur en développement important. À titre d'exemple, Nuvia fournit aux médecins des équipements qui leur permettent de mesurer avec une extrême précision la quantité d'isotopes radioactifs à injecter. »

« Ces produits sont fabriqués depuis 2014 en Allemagne, par notre filiale Nuvia Instruments et en République Tchèque, par notre filiale Nuvia CZ. »

DES RÉALISATIONS AUTOUR DU NUCLÉAIRE

« Au niveau des réalisations sur site ou en amont, dans le cadre du bureau d'études, poursuit Bruno Lancia, l'une des particularités de Nuvia est qu'elle intervient aussi bien en phase de conception et de construction des installations nucléaires et industrielles soumises à de la radioactivité que de maintenance et de démantèlement complet. Les opérations sur lesquelles nous intervenons mobilisent le plus souvent des compétences techniques très particulières. Nous sommes sur le cycle de vie complet de ces installations allant même jusqu'à la dépollution et la réhabilitation de sols contaminés, incluant la caractérisation et le traitement des déchets. »

En France, Nuvia réalise des travaux consistant à appliquer un revêtement composite stratifié à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments réacteurs pour accroître leur étanchéité en cas de fuite potentielle. ▷

6- Robot "Prédateur" pour le démantèlement des casemates de la centrale nucléaire de Chooz A.

7- Protection incendie de l'EPR de Flamanville.

8- Remplacement des conduites en béton armé à âme tôle (CNPE EDF).

9- Solution d'enrubannage coupe-feu des gaines de ventilation à l'EPR de Flamanville.

10- Conception-construction des appuis parasismiques du bâtiment réacteur Tokamak d'ITER.



© ITER ORGANIZATION - JIM HURON



11

© JM HURON



12

© NUVIA

Cela concerne une partie des réacteurs des centrales de 1300 MW actuellement en activité.

Au Royaume-Uni, sur le site de Sellafield, l'entreprise a procédé au démantèlement d'une cheminée de 61 m de hauteur à l'aide d'une plateforme auto-grimpante, conçue et construite en interne, qui vient s'accrocher sur le fût de la cheminée et à partir de laquelle on procède pas à pas par grignotages successifs à sa démolition, retirant ainsi du process un risque nucléaire ancien classé Catégorie 1.

« Sur le réacteur d'ITER, Nuvia est en charge de la fermeture de la totalité des trémies au travers desquelles passent les tuyauteries des câbles de ventilation. L'entreprise de génie civil a achevé la construction de l'ouvrage. Les électriciens et les mécaniciens vont installer les tuyauteries d'alimentation des équipements et Nuvia obture toutes les ouvertures subsistantes avec des requis feu, inondation et radiologie suivant les endroits où ces trémies sont positionnées. Ceci est réalisé à l'aide de plusieurs des produits spécifiques de la gamme NuviaTech Protection. »

Dans le cadre de la construction du réacteur de fusion ITER, Nuvia a réalisé la conception, l'installation et la mise en service des appuis parasismiques sur lesquels repose l'installation nucléaire. Les appuis parasismiques et méthodes de mise en service ont été soumis à des tests de certification afin de satisfaire aux exigences très spécifiques liées aux constructions nucléaires.

Elle vient également de terminer la conception-construction d'une installation nucléaire sur le site de Valduc (Côte d'Or), réalisée pour le compte du ministère de la défense britannique dans le cadre d'un accord de collaboration sur la dissuasion nucléaire entre la France et le Royaume-Uni signé en 2010.

NUVIA : 6 MÉTIERS

Les activités de Nuvia s'organisent autour de 6 métiers :

- **MÉCANIQUE & PROCESS** : maintenance et démantèlement de sites.
- **OPÉRATEUR INDUSTRIEL & LOGISTIQUE** : exploitation et gestion d'installations.
- **RADIOPROTECTION, SÉCURITÉ ET MESURE NUCLÉAIRE** : médecine nucléaire et sécurité.
- **INGÉNIERIE & EPC** : projets clés-en-mains de conception et construction.
- **PROTECTION INCENDIE** : solutions de pointe et expertise pour protéger les installations.
- **GÉNIE CIVIL & TRAVAUX SPÉCIAUX** : conception et construction d'installations du concept à la livraison.

Une autre activité est directement liée au génie civil : le remplacement des tuyaux servant soit à l'alimentation, soit à l'évacuation de l'eau des circuits secondaires des réacteurs pour assurer le refroidissement des centrales. Ces tuyaux de 1 m à 2 m de diamètre, le plus souvent en béton armé, subissent des sollicitations mécaniques, voire chimiques, entraînant peu à peu leur détérioration. Nuvia est appelée à les

remplacer au travers de ses produits spéciaux mettant en œuvre des moyens d'accès et de levage extrêmement complexes développés à cet effet.

« S'appuyant sur l'héritage historique de Freyssinet - de la mécanique appliquée au génie civil - Nuvia participe au démantèlement de la centrale nucléaire de Chooz, dans les Ardennes, qui nécessite de modifier certaines des structures existantes en pratiquant des

11- Conception et construction d'une cellule pour le traitement des déchets du démantèlement de la cuve (centrale nucléaire de Chooz).

12- NuviaTech Healthcare : cellule chaude et système de contrôle qualité des générateurs kryptons.

13- La cheminée de l'usine de retraitement de première génération (FGRP) de Sellafield au Royaume-Uni avec la plateforme auto-grimpante pour sa démolition.

14- Démantèlement de la cheminée de Sellafield depuis la plateforme auto-grimpante à l'aide d'un équipement manuel.



13



14

© SELLAFIELD LTD



15

© NUVIA



16

© MAGNOS LIMITED

15- ELI beam-lines monitoring system (systèmes de surveillance des rayonnements).

16- Suivi et surveillance des déchets caractérisés à l'aide du moniteur de contamination portable CoMo et du logiciel IMS (Information Management System) sur le site nucléaire de Harwell, au Royaume-Uni.

découpe, des trémies, des ouvertures pour faire passer des équipements. Il arrive également qu'elle soit amenée à construire des installations pour permettre aux équipes chargées du démantèlement de réaliser des opérations de mesure et de découpe. »

En effet, paradoxe du processus, il faut parfois construire de nouveaux équipements pour déconstruire les anciens. À Chooz, outre l'installation temporaire d'entreposage de gros composants créée en 2009, des travaux d'aménagement ont été nécessaires comme la création, entre 2007 et 2008, d'un nouveau système de ventilation. Ce n'est qu'ensuite que la déconstruction progressive des parties contenant de la radioactivité a pu démarrer.

Un travail mené en sous-étapes successives : fin 2009, EDF a chargé un consortium composé de Westinghouse Electric France et de Nuvia (Structure et Process) de réaliser le premier projet de démantèlement d'un réacteur à eau pressurisée (REP) en France : le réacteur de Chooz A ; en 2011, la déconstruction a été centrée sur la

DE L'INSTN À "TALENTS FOR NUCLEAR" : L'AVENIR DE LA FILIÈRE NUCLÉAIRE

Bruno Lancia est président depuis janvier 2019 de la Fondation Talents for Nuclear, précédemment Fondation Instn.

Talents for Nuclear axe ses projets et financements autour de 4 domaines liés au nucléaire : concourir à la création de chaires d'enseignement, contribuer à améliorer les conditions de vie des étudiants, financer la conception d'outils et d'installations pédagogiques, participer à la diffusion des connaissances sur les enjeux énergétiques auprès des étudiants, des professionnels, mais aussi du public au sens large. « Il est impératif, ajoute Bruno Lancia, que les enseignements dans le domaine nucléaire soient innovants, adaptés à l'environnement numérique dans lequel baignent les jeunes et que les compétences soient maintenues au meilleur niveau d'exigence. C'est le rôle de la Fondation Talents for Nuclear qui est là pour le soutenir dans cette démarche. »

L'Instn est l'École de spécialisation des énergies bas carbone et des technologies de la santé. Depuis plus de 60 ans, elle délivre en France et à l'international des enseignements de spécialisation et de la formation professionnelle continue pour former des opérateurs, techniciens, ingénieurs et chercheurs. L'Instn a pour principale mission de participer au développement des compétences individuelles afin de développer la compétitivité et la performance des entreprises dans ces secteurs d'activité.

Initiée par l'Instn, bien sûr, et trois partenaires industriels (Nuvia, Apave, Assystem), la Fondation a désormais plus de quatre ans d'existence. « Il est temps maintenant d'intégrer d'autres partenaires, précise à ce sujet Bruno Lancia. D'une part, pour apporter plus de financements et nous permettre d'augmenter nos ambitions. D'autre part, plus nous sommes nombreux, plus notre message rayonnera et c'est bien l'objectif. »

« En plus des missions qui sont les nôtres, précise Bruno Lancia, un autre aspect qui me tient à cœur est de soutenir l'attractivité de nos formations pour les étudiants étrangers. C'est en faisant rayonner la culture française, l'approche et le modèle nucléaire français que l'on participera au déploiement des technologies nucléaires à l'international. Une fois de plus, c'est bien l'avenir de la filière nucléaire qui est en jeu. »

caverne du réacteur, avec la découpe du circuit primaire principal et la préparation de l'extraction des quatre générateurs de vapeur de 110 t chacun. D'autres réalisations peuvent être citées :

- En Inde, solution de protection passive contre l'incendie pour le prototype du réacteur surgénérateur à Bhavini.
- À l'ISFSF (Ignalina Interim Spent Fuel Storage Facility), installation tempo-

raire de stockage de combustible usagé, conception, fabrication, installation et essais d'un équipement de manutention de combustible.

- Sur le site nucléaire de Harwell (Royaume-Uni), réhabilitation complète et caractérisation de terrains contaminés radiologiquement sur le site d'une ancienne station de traitement d'effluents liquides, puis retour à l'état d'espace vert.
- Sur le nouvel EPR de Flamanville, mise en place des joints coupe-feu, en conformité avec les normes les plus strictes. Le principal défi du projet est la réalisation des travaux dans les temps impartis, en toute sécurité et dans le respect de toutes les spécifications et normes. Et Bruno Lancia de conclure : « Nuvia s'affirme ainsi comme un partenaire-clef pour les industries aux exigences les plus strictes qui placent la sécurité et la réglementation en tête de leurs priorités. Avec ses trois gammes de produits NuviaTech, elle est au premier rang dans la conception et fourniture d'instruments sophistiqués de protection et de détection radiologique : des technologies stratégiques aussi bien en médecine nucléaire, qu'en protection ou en géolocalisation de radioactivité. »

Le génie civil fait partie de son ADN. Ses services incluent la conception, le dimensionnement, les études, la construction, la qualification, la mise en service de toutes sortes de structures complexes, mais également des travaux spéciaux et spécifiques tels que la précontrainte, les moyens d'accès ou les revêtements spéciaux... □

1- ELI Beamlines fait partie du projet paneuropéen ELI (Extreme Light Infrastructure) représentant un outil unique de soutien à l'excellence scientifique en Europe. ELI Beamlines vise à exploiter le système laser le plus intense au monde.



1
© MCD

DÉCONSTRUCTION DE L'ANCIENNE RAFFINERIE SRD DE DUNKERQUE

AUTEUR : LAURENT THOMAS, DIRECTEUR DE PROJET, INGÉROP CONSEIL & INGÉNERIE

LA TRANSFORMATION INDUSTRIELLE DE NOTRE SOCIÉTÉ TEND À GÉNÉRER DES FRICHES INDUSTRIELLES COMPLEXES, DONT LA RESTITUTION EN VUE DU RÉEMPLOI DES PARCELLES NÉCESSITE DES OPÉRATIONS DE DÉCONSTRUCTION DE GRANDE AMPLEUR ET D'UNE FORTE TECHNICITÉ. LA DÉCONSTRUCTION DE L'ANCIENNE RAFFINERIE SRD DE DUNKERQUE S'INSCRIT DANS CETTE DYNAMIQUE ET A ÉTÉ MENÉE EN VUE DE FAIRE RÉFÉRENCE DANS LE DOMAINE.

PRÉSENTATION DU PROJET

À la suite de la cessation d'activité de la raffinerie SRD de Dunkerque, la société Colas, propriétaire, a souhaité procéder à la déconstruction des installations en vue de rétrocéder les terrains au Grand Port Maritime de Dunkerque. Durant la seconde guerre mondiale, la Raffinerie des Pétroles du Nord (RPN) subit de nombreux bombardements

menant à sa destruction quasi-totale. Dès 1947 a débuté la reconstruction de cet outil industriel stratégique. Achevée au début des années 1950, l'installation de la société de raffinage de Dunkerque (Srd) démarre ses activités. La superficie du site principal est de 90 ha. La raffinerie se compose d'un ensemble d'unités de fabrication, d'utilités, de

1- Vue aérienne en cours de déconstruction.

1- Aerial view during deconstruction.

stockage et d'installations de réception-expédition de produits liés à la fabrication de lubrifiants (figure 2). Cette raffinerie de production de bases lubrifiantes sans distillation atmosphérique est la seule, en France, à opérer suivant ce schéma. Les différentes unités de fabrication, rattachées au site principal sont les suivantes :

- Une distillation sous vide (DSV) ;
 - Une unité de désasphaltage (PDA) ;
 - Deux unités d'extraction des aromatiques ;
 - Deux unités de déparaffinage ;
 - Deux unités d'hydrofinissage ;
 - Une unité de production de bitumes.
- Le site dispose également :
- D'une centrale thermoélectrique couvrant les besoins propres de la raffinerie en électricité, eau, vapeur et air comprimé ;
 - D'une boucle de fluide caloporteur appelée centrale gasoil chaud (HOB) ;
 - D'un parc de stockage de 280 réservoirs d'un diamètre allant de 12 à 46 m ;
 - D'un réseau de 290 km de tuyauteries.



2
© MCD

2- Vue aérienne avant déconstruction.
3- Colisage.

2- Aerial view before deconstruction.
3- Packing.

ENJEUX ET CONTRAINTES DES PROJETS DE DÉCONSTRUCTION INDUSTRIELLE DE GRANDE AMPLEUR

L'arrêt d'exploitation d'une installation industrielle classée pour la protection de l'environnement (ICPE) et classée Seveso seuil haut ajoute de nombreuses difficultés techniques aux enjeux habituels des projets de déconstruction classiques que sont la maîtrise des délais et des coûts. En effet la connaissance de l'objet du projet étant forcément partielle, il y a lieu de prévoir des modes opératoires et des organisations de chantier flexibles

et adaptables en vue de conserver un "coup d'avance" sur les aléas et découvertes en cours de chantier susceptibles de perturber le déroulement du chantier, voire le mettre en péril (figure 1).

Le premier enjeu, d'ampleur, dans le cas des déconstructions de grands sites industriels est d'assurer la sécurité des personnes. En effet aux risques habituels des opérations de déconstruction s'ajoutent les risques propres à l'objet du projet :

- Risques liés aux produits et résidus de produits encore présents dans les installations ;
 - Risques liés à la présence d'amiante ;
 - Risques liés aux nombreux obus non explosés présents dans le sol.
- En second lieu, la protection de l'environnement revêt une importance toute particulière, et ce à double titre :

- La maîtrise du risque de pollution du fait de l'activité passée du site ;
- L'optimisation du recyclage et de la revalorisation des différents déchets issus de l'opération, en vue de s'inscrire dans une démarche de développement durable.

Enfin, une des particularités des opérations de déconstruction de sites industriels en cessation d'activité est l'occurrence d'aléas techniques ou organisationnels. Ces aléas pouvant rapidement mener à des interruptions de travaux, voire à des arrêts de chantier, font peser un risque extrêmement fort sur la tenue des délais et des coûts. Toute la démarche de conception et le déroulement des travaux s'est donc organisée autour de ces 3 enjeux majeurs : sécurité, protection de l'environnement, maîtrise des délais et des coûts.

APPROCHE METHODOLOGIQUE SPECIFIQUE

L'ensemble des études d'ingénierie préalables aux travaux a porté sur la parfaite intégration de ces enjeux en vue d'en définir les procédures à suivre mais aussi les modes de suivi et de contrôle.

Afin de maîtriser au mieux les différentes opérations, il a été décidé d'être très prescriptif vis-à-vis du déroulement des travaux. Des modes opératoires ont donc été établis pour toutes les opérations à réaliser, et imposés aux sociétés réalisant les travaux. Par exemple, afin de maîtriser le risque occasionné par les engins explosifs non explosés présents dans le sous-sol, ces modes opératoires prévoyaient notamment la limitation stricte des charges tombant au sol et la mise en place d'interdictions formelles de certaines méthodes usuelles de déconstruction (utilisation du BRH, foudroyage, abattage...), ce qui a obligé à mettre en œuvre des opérations complexes tant d'un point de vue technique que dans l'ordonnement des tâches.

La réponse ainsi apportée est à la fois simple dans le principe et d'une grande complexité dans la mise en œuvre : pour limiter le risque de déclenchement intempestif d'un objet pyrotechnique, la masse maximale d'un objet issu de la déconstruction sera limitée à 200 kg.

Afin de conserver une cadence de travaux en ligne avec l'objectif de planning, il a été ensuite élaboré des modes opératoires spécifiques pour l'ensemble des ouvrages à déconstruire :



3
© MCD



4

© MCD

→ Dans le cas d'ouvrages massifs et hauts (colonnes de distillations, équipements de process), il a été conçu à chaque fois un plan de colisage, les modes de désaccouplement ou de désolidarisation (figure 3), ainsi que les plans de grutage (figure 4) permettant de maîtriser la chute des objets.

→ Dans le cas des cheminées, dont la plus haute culmine à plus de 100 m, il a été conçu un mode opératoire de déconstruction par grignotage au plus proche, sur une plateforme amovible, à l'aide d'engins télécommandés (figure 5). Le fût des cheminées servant à ramener les gravats au sol.

DÉSAMIANTAGE

En ce qui concerne l'amiante, la problématique est double :

- Bien cartographier la présence des matériaux contenant de l'amiante ;
- Mettre en œuvre des procédés efficaces permettant de garantir :
 - Des conditions de travail idéales pour les opérateurs,
 - Une sécurité totale,
 - Une productivité suffisante en lien avec les enjeux du projet quant au calendrier.

Du point de vue du repérage des matériaux contenant de l'amiante, il a été fait le choix de l'anticipation. Tout a été fait afin de limiter au maximum les découverts d'amiante en cours de chantier, car ces dernières sont sources de désorganisation, de surcoûts et de pertes de temps. Ainsi après une première campagne de repérage au sens de la

norme NF-X-46-020, l'ensemble des rapports a été analysé afin de déterminer quels étaient encore les risques de découverte d'amiante. À la suite de cette analyse, une seconde campagne a été menée afin de procéder aux levées de doutes. Ces investigations approfondies sont normalement réalisées en cours de chantier, au fur et à mesure de la création d'accessibilité. Le choix de les piloter et de les anticiper a permis d'aboutir à un dossier de

4- Grutage d'un tronçon.

5- Déconstruction de la cheminée de 100 m.

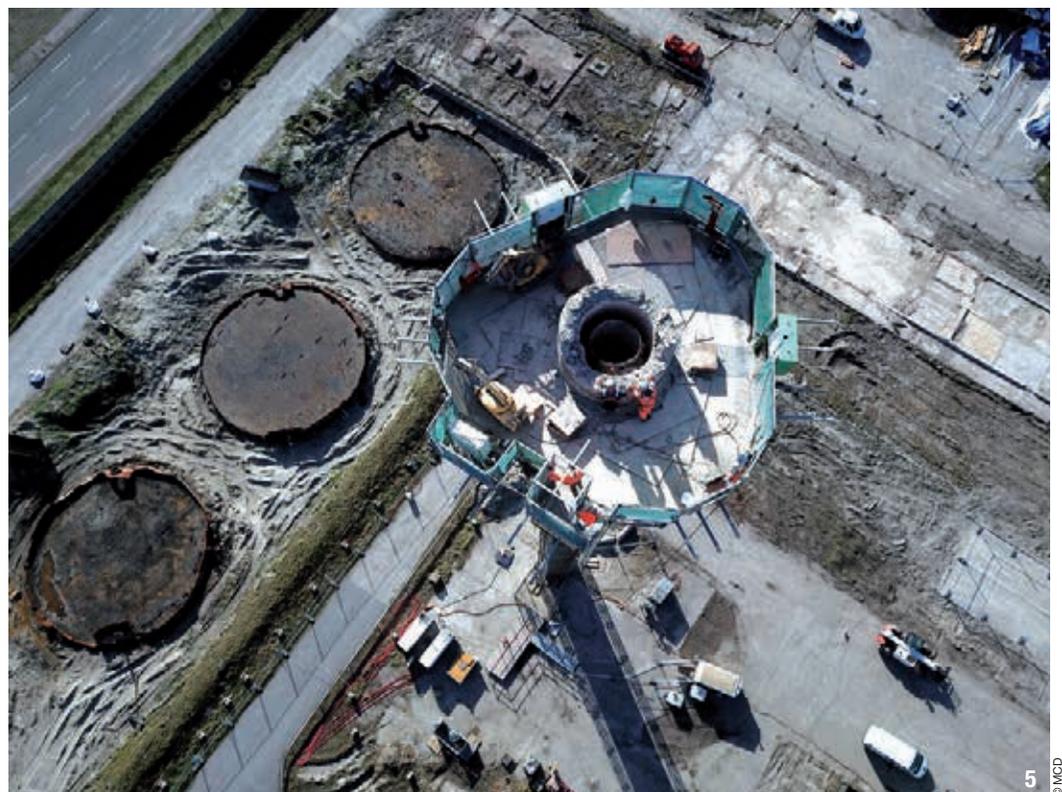
4- Crane handling of a section.

5- Deconstruction of the 100-metre fume stack.

repérage d'amiante complet et exhaustif d'un site de 90 ha. Le dossier, qui représente plus de 6000 échantillons prélevés et analysés, a nécessité près de 6 mois d'études et comporte près de 10000 pages.

Cela a permis d'obtenir un repérage mais aussi et surtout une quantification des matériaux à traiter.

Face à la très grande quantité de matériaux amiantés présents sur le site (120 km de tuyauterie à traiter), leur



5

© MCD

dangerosité (forte émissivité) et leur dispersion géographique, il a fallu trouver une solution en vue d'industrialiser ces opérations. Il apparaissait alors que ces opérations seraient nettement mieux maîtrisées, en termes de sécurité, de productivité et de cadence, si les matériaux étaient amenés au désamianteur plutôt que de déplacer les équipes partout sur le site.

Il a donc été créé sur place de véritables "ateliers de désamiantage", qui ont été alimentés en objets à désamianter depuis l'ensemble du site. Des procédures spécifiques, avec des outils dédiés, ont été créées et validées avec les autorités, de manière à pouvoir transporter les matériaux en toute sécurité jusqu'aux 2 salles blanches (figure 6) spécialement outillées pour réaliser les opérations dans des conditions optimales. Cela s'est traduit par des installations de désamiantage à demeure dans un bâtiment qui a été spécialement équipé à cette fin. Des outils spécifiques ont été conçus pour équiper les engins de chantier leur permettant de découper les objets à désamianter en tronçons manipulables. Un système de brumisation associé à une aspiration à la source ainsi qu'un encoffrement des extrémités ont ainsi été mis en œuvre. Les chantiers tests ont validé les procédures et modes opératoires et c'est donc un véritable process industriel qui a été mis en œuvre, mécanisant



6
© INGEROP

6- Une des salles blanches.

7- Plateforme de stockage/traitement des déchets.

6- One of the clean rooms.

7- Waste storage/treatment platform.

au maximum les tâches de débit et de manutention, et permettant aux opérateurs de travailler dans des conditions optimales de travail.

LA MAÎTRISE DES DÉLAIS

Afin de se prémunir des conséquences (coût, délai) d'éventuels aléas, il a été anticipé différents outils, et notamment la création sur site d'une plateforme de 2000 m² (figure 7) conçue de manière à pouvoir accueillir différentes activités liées à la déconstruction et la dépollution (stockage, pré-traitement de déchet, atelier spécifique, etc.) qui s'est révélée d'une importance fondamentale dans la tenue des délais en permettant de découpler les cadences et besoins de nettoyage des installations en vue de leur déconstruction d'avec les capacités d'accueil des filières spécialisées, dont certaines ont été saturées pendant près de 24 mois.

TRAITEMENT DES RÉSIDUS

Il est apparu dès le début de l'intervention qu'une quantité très importante de résidus de production était encore présente dans les installations.

Cette problématique a présenté 2 difficultés majeures :

- La saturation des filières ;
- La difficulté d'extraction des produits figés.

SATURATION DES FILIÈRES

Les fonds de bacs de stockages sont des "zones mortes" dans l'exploitation normale de la raffinerie et sont en fait constitués de résidus lourds, de sables et autres impuretés minérales qui s'accumulent par décantation et d'eau s'accumulant depuis la fin de l'exploitation. Ces produits sont délicats à manutentionner, mais surtout à retraiter du fait de la multiplicité des composants. La capacité de retraitement était de l'ordre de 40 t par semaine alors que la quantité à évacuer dépassait les 2000 t. Pour pallier le problème de saturation des filières, il a été mis en place des pré-traitements de déchets sur le site, afin de séparer les différentes fractions et donc de diminuer le volume de déchets à traiter et d'augmenter le panel des filières de retraitement.

Il a donc été mis en place sur le site une centrifugeuse pour traiter les boues issues des réseaux d'évacuation et des bassins.



7
© MCD



8 © INGEROP



9 © INGEROP

Cette centrifugation a permis de séparer la fraction liquide des hydrocarbures et donc de baisser le volume de déchets non inertes.

Les hydrocarbures issus de centrifugation étaient alors décantés pour faire baisser la fraction solide et obtenir un résidu pétrolier exploitable en incinération de déchets standard permettant une revalorisation énergétique des déchets.

DIFFICULTÉ D'EXTRACTION

Les produits bitumineux présentent des viscosités variables, certains allant même jusqu'à être solides à des températures inférieures à 120°C.

En exploitation, l'ensemble des tuyauteries et des bacs de stockage sont chauffés en permanence car le bitume présente l'inconvénient majeur d'être isolant une fois liquide. Il est donc très énergivore et cela prend longtemps de refondre du bitume figé.

Qui plus est, les chaudières ont été neutralisées au moment de la cessation d'activité. Il était donc impossible de refondre les produits encore en place avec les installations du site.

Identifier clairement l'ampleur du problème a été long car il s'agit d'un défaut de nettoyage, opération qui aurait dû être réalisée avant l'arrêt du site. Après une longue campagne d'investigation, il est apparu que le linéaire de tuyauteries (figure 8) concerné était de l'ordre de 50 km.

Il n'était pas envisageable de traiter ces tuyauteries comme un déchet dangereux car les filières acceptant ce type de déchets ne sont pas dimensionnées pour un tel chantier et surtout cela représentait une aberration tant économique qu'écologique. Il fallait donc absolument trouver une solution.

De manière empirique, plusieurs solutions ont été testées :

→ Extraction à la très haute pression in situ ;

→ Extraction à la très haute pression sur la plateforme de stockage des déchets.

Si, d'un point de vue du résultat, ces procédés se sont révélés efficaces (le retrait des hydrocarbures figés était effectif), ils ne donnaient pas satisfaction en termes de cadence mais surtout pas en termes de valorisation des déchets : les résidus se retrouvaient fortement mélangés à de l'eau, ce qui venait augmenter le volume de déchets alors que les exutoires étaient déjà en tension.

8- Tuyauteries avant traitement.

9- Préparation de la tuyauterie avant traitement.

10- Tuyauteries traitées avant envoi en filière de recyclage.

8- Piping before treatment.

9- Preparation of the piping before treatment.

10- Piping treated before sending to the recycling sector.

Il a donc été mis en place un véritable "centre de traitement" (figure 9) des tuyauteries contenant des produits figés sur la plateforme de stockage des déchets. Le mode opératoire était alors le suivant :

→ Découpage à l'engin mécanique des tuyauteries par tronçons de 8 m ;

→ Chaque extrémité est capsulée afin de prévenir tout épandage de produit (certains produits étant visqueux avec une liquéfaction autour des 30°C) ;

→ Transport et stockage sur la plateforme de stockage des déchets interne au site ;



10 © INGEROP



- Mise en étuve des tronçons et réchauffage ;
- Récupération des produits liquéfiés, mise en fût et envoi en filière de valorisation énergétique ;
- Récupération de tuyauteries et évacuation en filière de recyclage (figure 10).

La conception et le réglage du processus a requis une attention toute particulière. Compte tenu des risques

**11a & 11b-
Chargement
du fondoir.**

**11a & 11b-
Melter
charging.**

d'explosion et d'incendie d'une telle installation, il a fallu définir les réglages optimaux pour maximiser les cadences tout en maîtrisant les risques.

Ainsi, le fondoir (figures 11a et 11b) était alimenté par de la vapeur et instrumenté de manière à maîtriser les températures et rester constamment en dessous des limites d'explosivité.

Cette solution a permis de traiter les 50 km de tuyauterie en moins de 3 mois et de récupérer 95 % des hydrocarbures, l'ensemble des déchets étant revalorisé.

LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

La protection de l'environnement a été un souci constant durant l'ensemble de l'opération. De la conception aux opérations de réception, tout a été mis en œuvre afin de maximiser les quantités recyclées et valorisées.

Une opération d'une telle ampleur génère énormément de déchets, divers tant en quantité qu'en qualité. Les déchets

dangereux faisant l'objet d'une réglementation particulièrement contraignante, leur suivi est très encadré.

Cependant le suivi des déchets non dangereux est, lui aussi, nettement encadré. La taille du projet et les quantités en jeu nécessitant de multiplier les filières et les exutoires, le risque d'une dissémination de déchets était important.

Le maître d'ouvrage restant propriétaire des déchets jusqu'à leur traitement en centre agréé, il est apparu absolument nécessaire de maîtriser l'évacuation des déchets et de mettre en place un suivi administratif de ces derniers.

Il a été fait le choix d'une traçabilité totale de tous les déchets sortant du site. Un véritable poste de pesée a été installé, dont les pesées implémentaient directement le fichier de suivi des bordereaux de déchets. Tous les poids lourds quittant le site ont été suivi administrativement par bordereaux de déchets et géographiquement par GPS. En 18 mois, ce sont ainsi plus de 6 000 bordereaux qui attestent de la revalorisation des déchets et du suivi des quantités. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Parcelle de 100 ha
- 280 cuves et réservoirs
- 290 km de tuyauteries
- 40 000 t de ferraille
- 30 000 t de béton
- 2 000 t d'amiante
- 1 800 t de bitume
- 3 500 t de boues d'hydrocarbures

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société de Raffinage de Dunkerque
MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Management Conseil Dépollution
MOE : Ingérop
CSPS : Ateim
ENTREPRISES : Atd, Occamat, Occamiant, Sodi, Suez, Sitenord, Colas Ne

ABSTRACT

DECONSTRUCTION OF THE OLD SRD REFINERY IN DUNKIRK

LAURENT THOMAS, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE

Following the cessation of activity at the Dunkirk refinery SRD, the owner wanted to carry out deconstruction of the plant in order to sell the land. The plant is a classified facility for environmental protection (ICPE) and is Seveso classified, high threshold. One main difficulty common to all objects to be deconstructed is the knowledge of the existing situation and hence the risk of surprises during the operation. The adoption of flexible operating procedures and worksite organisations adaptable to contingencies and discoveries on the site made it possible to protect safety and the environment and ensure control of costs and deadlines. □

DECONSTRUCCIÓN DE LA ANTIGUA REFINERÍA SRD DE DUNKERQUE

LAURENT THOMAS, INGÉROP CONSEIL & INGÉNIERIE

Tras el cese de actividad de la refinera Srd de Dunkerque, el propietario ha querido proceder a la deconstrucción de las instalaciones para ceder los terrenos. La instalación posee una clasificación para la protección del medio ambiente (ICPE) y una clasificación Seveso de nivel alto. Una dificultad básica, común a todo proyecto de deconstrucción, es el conocimiento de la obra existente y, por tanto, el riesgo de sorpresas durante la operación. La aplicación de modalidades operativas y de organización del trabajo flexibles y adaptables a las contingencias y descubrimientos en la obra ha permitido garantizar la seguridad y proteger el entorno, así como controlar los plazos y los costes. □



1

© EDF HYDRO

NOUVEAU POUTÈS : RECONFIGURATION DU BARRAGE DE POUTÈS EN HAUTE LOIRE

AUTEURS : THOMAS BARBIER, RESPONSABLE DU LOT GÉNIE-CIVIL, EDF HYDRO CENTRE D'INGÉNIERIE HYDRAULIQUE -
JULIEN PLAY, RESPONSABLE DE TRAVAUX DU LOT GÉNIE-CIVIL, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
LUCAS ZAVALLONE, CONDUCTEUR DE TRAVAUX DU LOT GÉNIE-CIVIL, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
BENJAMIN FALALA, INGÉNIEUR MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION -
MAXIME VILLANI, RESPONSABLE SERVICE STRUCTURES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

AU CŒUR DE DISCUSSIONS ENGAGÉES DEPUIS LES ANNÉES 80 POUR LE RETOUR À UNE RIVIÈRE SAUVAGE SUR LA THÉMATIQUE DU SAUMON, LE BARRAGE DE POUTÈS FAIT EN CE MOMENT L'OBJET D'UNE RECONFIGURATION IMPORTANTE POUR CONCILIER ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION D'HYDROÉLECTRICITÉ. PROJET DE TERRITOIRE, LES TRAVAUX CONSISTENT À DÉCONSTRUIRE PARTIELLEMENT L'OUVRAGE EXISTANT POUR LE TRANSFORMER EN BARRAGE MOBILE EN RIVIÈRE ET AINSI AMÉLIORER SON FRANCHISSEMENT PISCICOLE ET SÉDIMENTAIRE, EN TENANT COMPTE DE NOMBREUSES CONTRAINTES DE CHANTIER : ENVIRONNEMENT, HYDROLOGIE, ARRÊT DE PRODUCTION, ETC.

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Le barrage de Poutès fait partie de l'aménagement de Monistrol-d'Allier, en Haute Loire (43), qui comprend deux chutes (Allier et Ance-du-Sud). La production moyenne des 20 dernières années sur les deux chutes est de l'ordre de 70 GWh.

Depuis 2002, dans un contexte de renouvellement de concession, le débat sur le maintien du barrage de Poutès est vif et divise la société (Élus, ONG, EDF, État), les uns prônant le démantèlement complet de l'ouvrage et les autres souhaitant au contraire son maintien. Un compromis, construit avec des acteurs du territoire, est finalement trouvé en

**1- Vue aérienne
du barrage de
Poutès avant
travaux.**

**1- Aerial view
of Poutès dam
before the
works.**

2015 et EDF Hydro procède, de 2019 à 2021, à la reconfiguration en profondeur du barrage pour en améliorer les performances environnementales (figure 1). Afin de diminuer la superficie de sa retenue, et ainsi améliorer la continuité piscicole et sédimentaire, le barrage est arasé de près de 10 m de hauteur sur toute sa longueur (hors culées).



© 3D VISION NIVALIS
2

Cet abaissement de cote de retenue permet de maintenir les ouvrages existants d'adduction de l'eau vers l'usine de Monistrol-d'Allier. Le seuil de la passe centrale est entièrement démolé jusqu'au rocher pour que soit reconstruit en lieu et place un barrage vanné (2 vannes wagon de 3,5 m de hauteur par 5 m de largeur), pouvant être mis en totale transparence. Cette nouvelle passe centrale permettra d'assurer le transit piscicole (transparence

durant 3 mois par an) et le transit sédimentaire (transparence lors des crues morphogènes). Les ouvrages piscicoles existants sont également modifiés pour en améliorer les performances : une nouvelle passe à rugosité permettra l'accès à l'ascenseur existant de montaison, modernisé ; le chenal de dévalaison est reprofilé et équipé d'un clapet abaissant de 2,5 m de hauteur par 2,5 m de largeur. Enfin, les accès piétons et véhicules légers sont recons-

titués suite à la démolition de la partie haute du barrage qui supportait les passerelles d'accès (figure 2).

DE NOMBREUSES CONTRAINTES À PRENDRE EN COMPTE

Les contraintes à intégrer lors de la réalisation des travaux sont nombreuses :

→ **Environnementales** : Planification précise de la vidange de la retenue contraignant le début des travaux,

2- Photomontage du nouveau Poutès.

3- Démolition partielle du barrage.

4a & 4b- Dépose des passerelles.

2- Photomontage of the new Poutès.

3- Partial demolition of the dam.

4a & 4b- Removal of the foot bridges.

interdiction de recourir à du matériel bruyant ou générant des vibrations (hélicoptère, engins de démolition, explosif) durant certaines périodes de l'année vis-à-vis de la présence d'espèces protégées à proximité du site ou encore garantie de franchissement piscicole durant les travaux.

→ **Hydrologiques** : Comme tous travaux en rivière, le risque de crue est à considérer. La planification des travaux en tient compte. En plus de cela, des batardeaux provisoires de protection de chantier sont nécessaires. L'implantation et le niveau de protection sont définis par EDF Hydro et Demathieu Bard est en charge de la conception-réalisation des ouvrages. ▷



© PHOTOTHÈQUE DBC



© PHOTOTHÈQUE DBC



© PHOTOTHÈQUE DBC



5

© PHOTOTHÈQUE DBC

Le chantier est protégé pour une crue de temps de retour d'un an (environ 120 m³/s). Un total de 45 jours calendaires de crue et intempéries est prévu durant la période de travaux, avec une estimation de 3 noyages de chantier.

→ **Techniques** : La présence d'ouvrages EDF conservés (prise d'eau, culées) et SNCF (voies avec plusieurs ouvrages d'art maçonnés au voisinage) engendre une contrainte technique sur les travaux générant des vibrations (démolition, vibrofonçage de palplanches, etc.), pour lesquels il convient de ne pas dépasser les seuils de vibrations fixés.

→ **Indisponibilité de l'outil de production** : Durant les travaux, le turbinage des eaux dérivées à Poutès est totalement arrêté. Il convient de maîtriser cette durée d'indisponibilité afin de limiter les pertes financières pour EDF Hydro.

DÉROULEMENT DU CHANTIER

Les principales étapes du chantier sont :

- Abaissement du barrage existant sur 10 m de hauteur ;
- Retrait des passerelles d'accès de l'ancien barrage ;

→ Création d'une échancrure (chenal de 8,80 m x 7,00 m de hauteur) pour abaisser le niveau d'eau de la rivière ;

→ Mise en place d'une grue à tour, scellée sur une pile du barrage existant ;

→ Réalisation du batardeau aval ;

→ Réalisation du batardeau amont ;

→ Démolition du seuil central jusqu'au rocher ;

→ Réalisation du barrage vanné sur la passe centrale ;

5- Grue sur pile.

6- Vidange du batardeau aval.

5- Crane on pier.

6- Emptying the downstream cofferdam.

→ Reconfiguration des accès piscicoles (montaison/dévalaison) ;

→ Mise en place d'une passerelle VL 5T de 50 m reliant les deux rives.



6

© PHOTOTHÈQUE DBC

ABAISSMENT DE 10 m DU BARRAGE EXISTANT

La vidange de la retenue au début du mois de juin 2020 donne le départ de la déconstruction partielle du barrage de Poutès.

Durant tout l'été, les équipes de Sdrtp, entreprise locale de démolition (sous-traitant Dbc), ont arasé, à l'aide de fraises hydrauliques et de BRH montés sur porteurs, une partie des piles et seuils de l'ancien barrage. Au total, ce sont environ 2500 m³ de béton qui ont été démolis durant cette phase.

Pour limiter les transmissions de vibration au sein des ouvrages EDF et SNCF, des sciages sont réalisés afin de désolidariser les parties à démolir. En complément, une planche d'essai valide les outils envisagés pour la démolition et des mesures de vibrations en temps réel permettent d'assurer le suivi vibratoire au fil de la déconstruction (figure 3).

RETRAIT DES PASSERELLES D'ACCÈS DE L'ANCIEN BARRAGE

Les accès de rive à rive de l'ancien barrage étaient assurés par trois passerelles en béton armé de 15 m de portée et de 50 t chacune.

Fin juillet 2020 une grue mobile de capacité 350 t a permis la dépose au

7- Déstructuration du sol.

7- Soil destructuring.

sol des trois passerelles qui ont été ensuite découpées à l'aide d'un croc à béton (figure 4).

RÉALISATION DE L'ÉCHANCRURE

Pour maintenir le niveau d'eau à l'amont du barrage le plus bas possible, une échancre est créée dans le seuil situé au plus près du lit naturel de la rivière. Ce chenal fait 8,80 m de large et 7 m de haut, ce qui permet, associé à la vidange de fond du barrage, un passage d'eau de plus de 120 m³/s avant de noyer le chantier. La première phase de démolition s'est achevée fin août avec la création de cette échancre.

MISE EN PLACE D'UNE GRUE À TOUR, SCELLÉE SUR UNE PILE DU BARRAGE EXISTANT

Le chantier étant exposé aux crues, la grue à tour a été positionnée en hauteur sur l'une des piles existantes. Pour garantir sa stabilité, les pieds sont scellés au barrage existant et des déflecteurs (HEA300) de 6 m de hauteur permettent de dévier les embâcles présents en cas de crue. L'installation de la grue début septembre marque le début des opérations de mise en place des batardeaux amont et aval (figure 5).

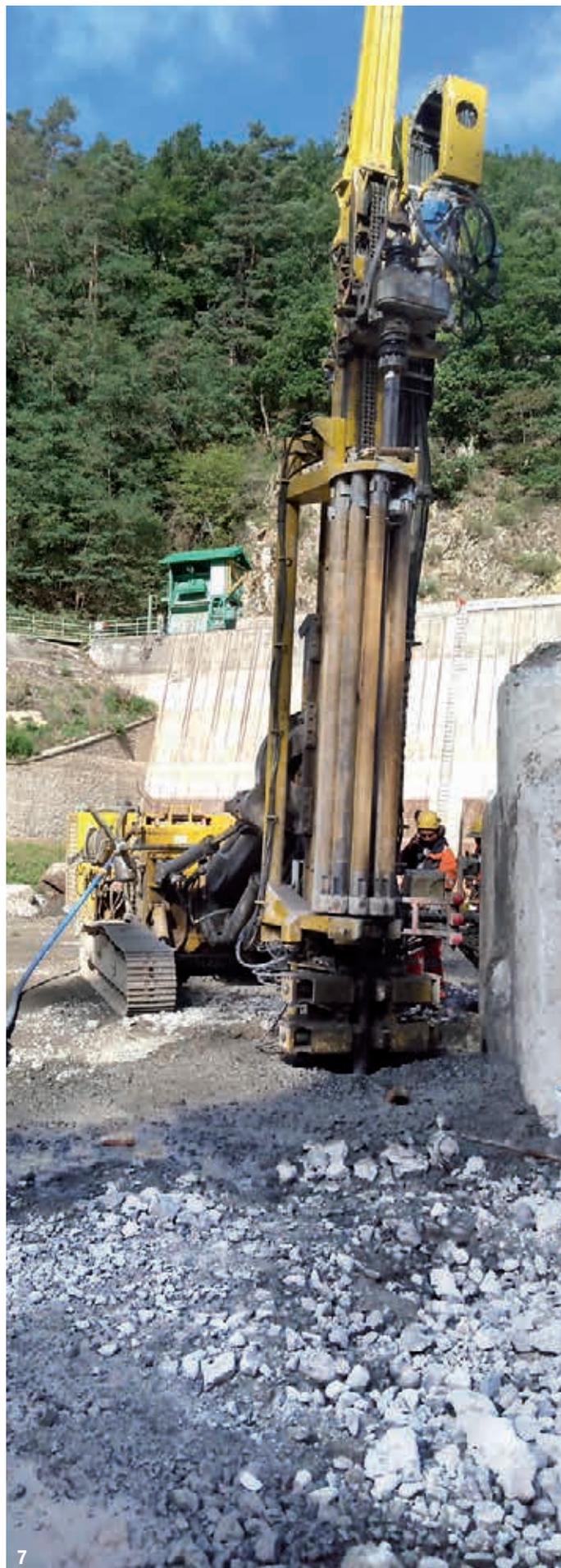
RÉALISATION DU BATARDEAU AVAL

À la fin août, le terrassement de la passe centrale du radier du futur barrage est au même niveau que celui de l'Allier à l'aval du barrage. La poursuite du terrassement est désormais conditionnée à la mise en place des batardeaux.

Les premiers travaux réalisés sont ceux du batardeau aval qui protège le chantier d'une crue de 120 m³/s. Cet ouvrage provisoire consiste en un rideau de murs en L posés et ancrés sur le tapis de réception du barrage. Sa longueur développée est de 40 m et permet de protéger une zone de 200 m² jusqu'à 3,50 m de hauteur d'eau derrière l'enceinte.

La réalisation du batardeau se décompose de la façon suivante :

1- Les murs en "L" ont été réalisés sur une aire de préfabrication aménagée sur chantier. Au total 40 m



7
© PHOTOTHÈQUE DBC

de mur ont été préfabriqués. Ces murs permettent une protection de 3,50 m de hauteur d'eau avec un encombrement au sol de 1,80 m de large sur le linéaire du batardeau.

- 2-** Avant la mise en place du batardeau définitif, un batardeau provisoire réalisé avec des "Rapid barrage" (big bags avec des jupes de connexion remplis de sable) est mis en place sur les 40 m de batardeau et sur une hauteur de plus de 2 m afin de s'isoler du cours d'eau.
- 3-** Une fois l'enceinte fermée et la zone protégée du courant, il est procédé à la mise en place des murs en L, la pose s'effectuant avec environ 1 m de hauteur d'eau.
- 4-** Pour assurer l'étanchéité entre les préfas et au niveau des jonctions avec le barrage existant, des tôles de jonction et des tôles d'étanchéité sont mises en place.
- 5-** La zone de protection est partiellement asséchée, ce qui permet de sceller les tiges d'ancrages dans le radier, permettant le maintien du batardeau pour son niveau maximum de retenue.
- 6-** Le batardeau est autostable, une longrine d'étanchéité amont est réalisée en pied de mur afin de permettre une étanchéité optimale.
- 7-** Les extrémités du batardeau sont réalisées avec des portiques métalliques adaptés à la géométrie de l'existant. Ces éléments de portiques s'appuient sur le génie civil existant et les voiles d'about du batardeau.
- 8-** Lorsque les venues d'eau en pied de batardeau sont quasiment stoppées le batardeau est asséché totalement (figure 6).

RÉALISATION DU BATARDEAU AMONT

La mise en place du batardeau amont est réalisée par la société Teecs (sous-traitant Demathieu Bard). Le batardeau se situe du côté de la piste d'accès au chantier et s'appuie sur les piles existantes, encageant ainsi la passe centrale. Cet ouvrage présente une longueur développée de 30 m et permet de contenir une crue de l'Allier jusqu'au niveau 642,00 NGF-O (environ 300 m³/s), permettant un noyage de la zone batardeée par l'aval, réduisant ainsi les impacts néfastes d'un déversement du batardeau amont.

Le batardeau est réalisé sur une plateforme tenue par des enrochements et constituée de matériaux à forte granulométrie. ▶



8
© PHOTOTHÈQUE DBC

Ces conditions imposent une déstructuration préalable des terrains (figure 7) pour le fonçage des palplanches. Ces déstructurations ont été réalisées par des préforages, avec utilisation d'un marteau fond de trou pour traverser les blocs constituant la plateforme.

Le barrage reposant sur un substratum rocheux dense, les palplanches ne peuvent pas être fichées au-delà du fond de fouille. Cette contrainte a conduit à concevoir un rideau de palplanche avec 3 niveaux de butonnage, le dernier étant en béton fibré posé sur le rocher (figure 8).

DÉMOLITION DU SEUIL CENTRAL JUSQU'AU ROCHER

L'isolement de la passe centrale par les batardeaux amont et aval permet le démarrage des travaux de démolition du seuil central et de son radier. La démolition est conduite jusqu'à atteindre le rocher sain. Le fond de fouille est réceptionné par les géologues d'EDF, cette opération nécessitant un nettoyage soigné des déblais (travaux réalisés avec une aspiratrice à déblais). 320 forages (diamètre 32 mm, profondeur 550 mm) sont réalisés dans les piles existantes afin d'ancrer le nouveau radier dans la structure existante.

RÉALISATION DU BARRAGE VANNÉ SUR LA PASSE CENTRALE

La réalisation du barrage vanné nécessite en premier lieu le coulage d'un béton de propreté (figure 9) permettant le réglage altimétrique du fond de radier. Le radier d'une épaisseur de 1,50 m présente une forme arrondie à son extrémité. Une nouvelle pile centrale est également à réaliser. Ces éléments ont nécessité la mise en

place de coffres en bois spécifiques, stabilisés sur le radier butonnant du batardeau (figure 10).

RECONFIGURATION DES OUVRAGES PISCICOLES (MONTAISON/DÉVALAISON)

Le reprofilage des ouvrages de montaison et dévalaison nécessite la réalisation de déroctage et de démolition de béton dans des zones exiguës et/ou pentues. Du fait de l'accessibilité res-

8- Batardeau amont.

9- Scellements et béton de propreté.

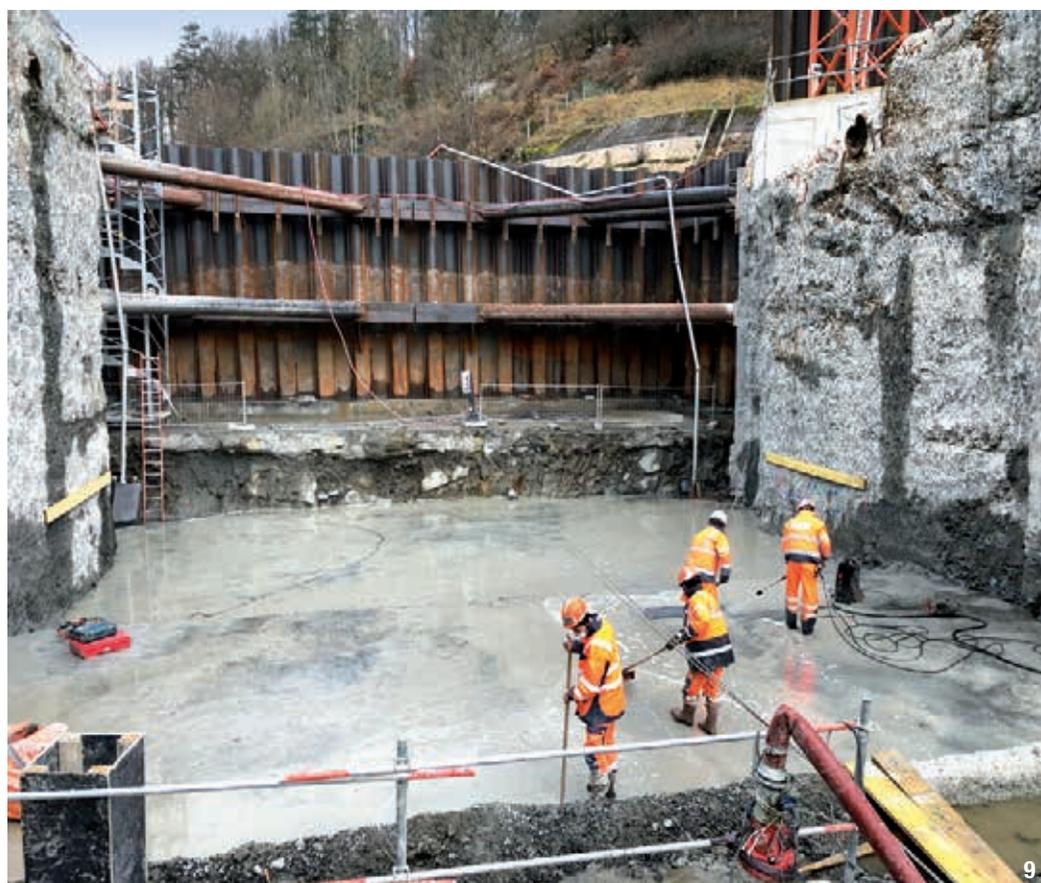
8- Upstream cofferdam.

9- Sealing and bedding concrete.

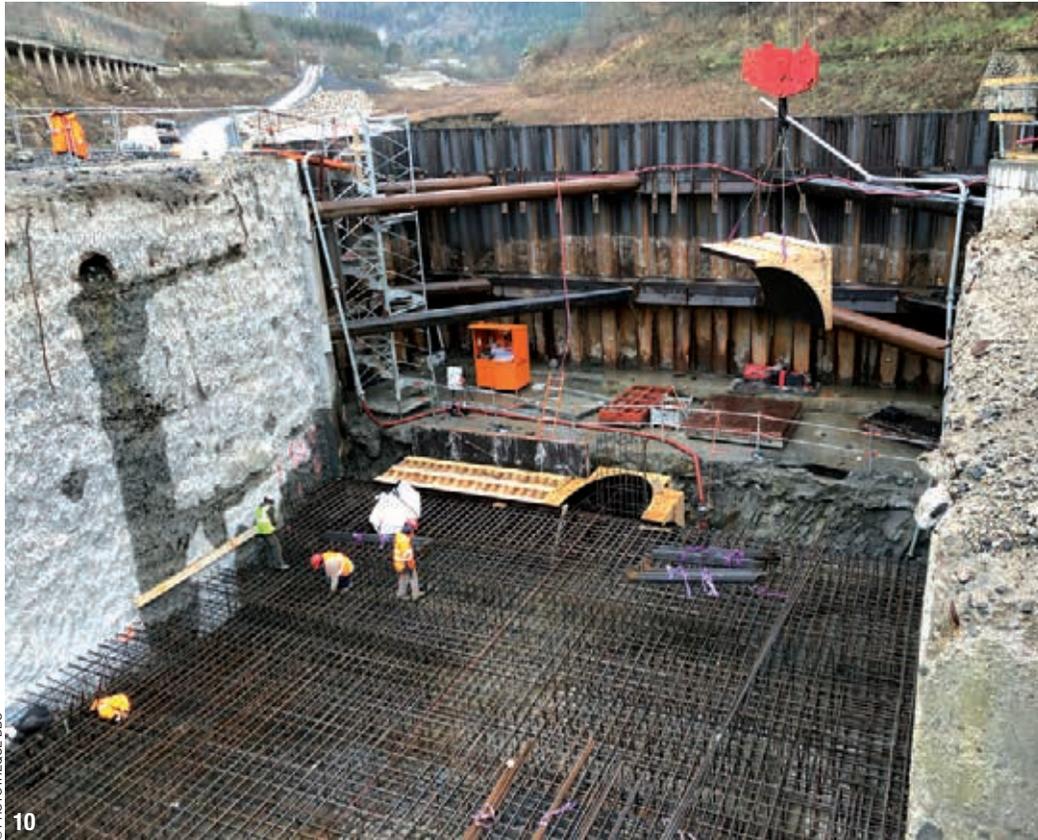
treinte de ces zones, les opérations de déroctage sont réalisées avec un engin électrique téléguidé de démolition, accompagné d'une mini-pelle de 2,5 t. Ces travaux de reprofilage seront suivis de la réalisation du génie civil des ouvrages de montaison et dévalaison.

LE BATARDEAU AVAL

Le batardeau aval a pour rôle de protéger une zone de l'aval du barrage afin de réaliser les travaux de restructura-



9
© PHOTOTHÈQUE DBC



© PHOTOTHÈQUE DBC
10

10- Coffrage et ferrailage du radier.

11- Réalisation du batardeau aval courbe.

10- Formwork and reinforcing bars of the foundation raft.

11- Execution of the curved downstream cofferdam.

tion sur la passe centrale, la passe rive droite et la montaison des poissons qui se situe également en rive droite. Il est entièrement situé sur la zone construite en aval du barrage qui permet de dissiper l'énergie de la chute d'eau des anciennes passes vannées et que l'on nomme tapis de réception.

Il permet de mettre hors d'eau une surface d'environ 200 m² et garantit une protection vis-à-vis des crues jusqu'à un niveau d'eau de 637,50 m NGF-O, le niveau d'eau courant de l'Allier dans la zone aval du barrage étant d'environ 635,50 m NGF.

Le batardeau est positionné sur le tapis de réception existant. Ce dernier est composé d'un radier en béton surmonté de moellons en granite de 40 cm d'épaisseur.



11

© PHOTOTHÈQUE DBC

La récurrence des crues ne permet pas de réaliser un batardeau en remblai, ce type d'ouvrage étant trop sensible à l'eau et à la submersion. Les difficultés d'accès à la zone aval rendent également l'entretien d'un tel remblai trop complexe.

La composition du tapis empêche la mise en place d'un rideau de palplanches similaire au batardeau amont. En effet, afin de fixer les palplanches correctement, il convient de traverser les moellons de granite ainsi que le radier en béton, ce qui nécessite une démolition trop lourde de ces derniers. Le batardeau aval finalement mis en place est composé de blocs de béton en forme de L préfabriqués sur site, posés à la grue puis scellés sur le tapis de réception existant. Leurs semelles sont moins larges que les voiles, ce qui permet de donner une forme courbe au batardeau. Quatre scellements par bloc sont nécessaires pour rendre l'élément stable vis-à-vis de la poussée hydrostatique (figure 11).

Le fait de poser directement les blocs sur de l'existant impose de suivre les différences d'altitude et de dévers de ce dernier. Des clefs métalliques sont donc placées entre chaque bloc béton pour garantir la continuité de l'étanchéité tout en conservant les degrés de libertés nécessaires.

Les liaisons verticales avec l'existant sont également gérées avec des pièces métalliques fabriquées sur mesure. L'étanchéité horizontale avec le tapis est gérée par un joint de béton coulé en place en face extérieure sur tout le linéaire du batardeau.

Les avantages de ce type de batardeau sont l'adaptation facile à l'existant, la rapidité de mise en œuvre et la bonne adéquation avec les engins légers utilisables sur le site.

LE BATARDEAU AMONT

Le projet prévoit la démolition partielle du radier du seuil central, la création d'un nouveau radier et la d'un barrage vanné au droit de la passe centrale. La réalisation du génie civil du barrage nécessite celle d'un batardeau amont. Ce batardeau présente des dimensions en plan permettant de libérer une zone de 5 m de largeur au-delà du génie civil à réaliser au droit de la passe centrale.

La principale contrainte technique de ce batardeau réside dans la proximité du socle rocheux. Celui-ci présente un toit à 633,50 NGF-O (variabilité +/- 1,50 m), correspondant à la côte de fond de fouille visée.

Ce substratum fracturé est relativement étanche dans sa masse. L'existence possible de failles induit de possibles résurgences d'eau avec des débits importants et l'entraînement de fines sous le niveau d'arasé inférieure. Ces particularités géologiques ont conduit à une conception offrant une certaine robustesse, quelle que soit la phase de réalisation ou d'exploitation du batardeau.

La méthodologie de réalisation choisie est un batardeau en palplanches "posées" sur le substratum, retenues par 3 niveaux de butons et liernes fixés aux piles existantes. Les deux premiers niveaux de stabilisation sont en métal. Ils sont dimensionnés pour stabiliser le batardeau dans toutes les situations prévues sur chantier. Ils sont donc conçus pour travailler en compression et en traction afin de prévenir tous les cas de chargement possibles du batardeau en cas de crue et décrue, avant, pendant et après terrassement. La problématique des éventuelles résurgences d'eau en fond de fouille est traitée par un radier butonnant

réalisé en période d'étiage. Ce radier butonnant (figure 12) crée un troisième niveau d'appui du batardeau, ce qui permet une redondance statique du batardeau et améliore donc sa sécurité. Il permet également de diriger les éventuelles résurgences d'eau du rocher vers des événements insérés dans sa masse, ou en sortie de radier. Le radier permet enfin de fermer les éventuelles fenêtres générées par des écarts de profondeur de battage entre 2 palplanches adjacentes et ainsi de bloquer les venues d'eau directes par ces ouvertures. Cette solution permet donc de gérer les eaux d'infiltration sous le batardeau tout en augmentant sa sécurité en stabilité. À la fin des travaux de génie civil de la passe centrale, ce radier butonnant est démoli ou arasé pour rétablir le profil hydraulique du projet. □

12- Préparation radier butonnant.

12- Preparation of the shoring foundation raft.



12

© PHOTO THÉOQUE DBC

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : EDF Hydro Loire-Ardèche

MAÎTRISE D'ŒUVRE : EDF Hydro Centre d'Ingénierie Hydraulique

PRINCIPAUX TITULAIRES DE MARCHÉS :

- Demathieu Bard Construction (marché principal génie-civil)
- Cma Hydro (marché électromécanique)
- Eiffage Energie Systèmes Industrie Tertiaire Loire Auvergne (marché contrôle commande)

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS DU MARCHÉ GÉNIE-CIVIL :

- Srdtp (démolition / terrassement)
- Tecs (préforages / palplanches)
- Fora (sciage de désolidarisation)
- Amsa (armatures)
- Berthold (passerelle métallique)

CHIFFRES CLÉS

COÛT DU PROJET : environ 18 M€ (Projet soutenu par l'Agence de l'eau (Plan Loire) pour 2,23 M€ et l'Europe (FEDER) pour 558 000 €)

DURÉE PRÉVISIONNELLE DES TRAVAUX : 22 mois

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE :

- Démolition béton : 3 700 m³, réutilisé à 100% sur site
- Surface développée de palplanches PU 18 : 260 m²
- Structure neuve béton : 1 300 m³

ABSTRACT

NEW POUTÈS: REMODELLING THE POUTÈS DAM IN THE HAUTE LOIRE REGION

T. BARBIER, EDF HYDRO CENTRE D'INGÉNIERIE HYDRAULIQUE - J. PLAY, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - L. ZAVALLONE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - B. FALALA, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - M. VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

The remodelling of the Poutès dam will be able to provide the Allier River with improved piscicultural and sedimentary continuity by comparison with the existing situation. The project involves constructing at the level of the current central fish pass a gated dam allowing complete hydraulic transparency. This project is complex due to its cramped space and accessibility, major environmental constraints and the need to adapt to the geology and existing civil works. It requires the installation of varied temporary equipment and reservoir structures adapted to these constraints. □

NUEVA POUTÈS: RECONFIGURACIÓN DE LA PRESA DE POUTÈS, EN ALTO LOIRA

T. BARBIER, EDF HYDRO CENTRE D'INGÉNIERIE HYDRAULIQUE - J. PLAY, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - L. ZAVALLONE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - B. FALALA, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - M. VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

La reconfiguración de la presa de Poutès permitirá ofrecer al río Allier una continuidad piscícola y sedimentaria mejorada respecto a la situación existente. El proyecto consiste en realizar frente al actual paso central una presa con válvulas que ofrezca una completa transparencia hidráulica. Se trata de una obra compleja por su exigüidad y su accesibilidad, unas fuertes restricciones medioambientales y la adaptación a la geología y la ingeniería civil existente. Precisa la utilización de distintos medios materiales y construcciones de represa provisionales adaptados a dichas restricciones. □



1

© AIA LIFE DESIGNERS

RECONSTRUCTION DE L'USINE DE VALORISATION ÉNERGÉTIQUE D'IVRY-SUR-SEINE

AUTEURS : SÉBASTIEN GUINET, DIRECTEUR DE PRODUCTION, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - RÉMI JOUANDOU, RESPONSABLE DU SERVICE STRUCTURE, BET ISC, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - DIDIER GALPIN, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

ARRIVÉ EN FIN DE VIE, LE CENTRE DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES DÉCHETS MÉNAGERS DU SYCTOM D'IVRY/PARIS XIII, PLUS GROS INCINÉRATEUR D'EUROPE, DOIT ÊTRE REMPLACÉ PAR UNE NOUVELLE UNITÉ DE VALORISATION ÉNERGÉTIQUE (UVE). DE NOMBREUX DÉFIS ONT ÉTÉ RELEVÉS AFIN DE TENIR UN PLANNING D'EXÉCUTION CONTRAINT PAR LA NÉCESSITÉ DE MAINTENIR PENDANT TOUTE LA DURÉE DES TRAVAUX UNE CONTINUITÉ DE SERVICE ET D'EXPLOITATION DU TRAITEMENT DES DÉCHETS MÉNAGERS.

OPPORTUNITÉ DU PROJET

L'Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UOM) du Sycotom, l'agence métropolitaine des déchets ménagers, à Ivry/Paris XIII, mise en service en 1969, doit être remplacée par une nouvelle installation.

Ce centre, situé au cœur de la métropole parisienne en bordure de boulevard

1- Perspective architecturale du projet.

1- Architect's perspective view of the project.

périphérique (figure 2) traite les ordures ménagères de quelque 1,4 millions d'habitants sur une zone couvrant une partie de Paris et 14 communes du Val-de-Marne. Le nouveau complexe devra s'adapter à l'évolution des enjeux :

- Sociétaux (baisse progressive à court, moyen et long termes de la production d'ordures ménagères

- au profit de la revalorisation des déchets et du recyclage) ;
- Environnementaux (amélioration des exigences en termes d'émissions atmosphériques, de réduction des émissions sonores et de maîtrise des odeurs) ;
- Politiques (développement du compostage particulier).



2- Vue d'ensemble avec UVE en construction au 1^{er} plan, l'UIOM existante au 2nd plan et Paris à l'arrière-plan.

3- Travaux de fondations et déconstruction de la rampe existante après réalisation d'une nouvelle rampe hors emprise UVE.

2- General view with energy recovery plant under construction in the foreground, behind it the existing refuse incineration plant, and Paris in the background.

3- Foundation works and deconstruction of the existing ramp after construction of a new ramp outside the energy recovery plant area.

2

© FRANCK BADAIRE PHOTOGRAPHE

La nouvelle unité traitera et valorisera par incinération une quantité annuelle de 350 000 t d'ordures ménagères résiduelles, soit 50% de moins que l'installation actuelle.

→ **Étape 3** (décembre 2023 à juin 2024) : transfert de l'incinération des déchets de l'usine existante vers la nouvelle et déconstruction de l'ancien incinérateur.

→ **Étape 4** (juillet 2024 à fin 2025) : déconstruction de l'UIOM.

Le parfait maintient en fonctionnement de l'UIOM existante durant les étapes 1 et 2 est requis.

L'UVE - UN OUVRAGE AUX GRANDES MENSURATIONS

L'ouvrage est une boîte semi-enterrée d'emprise au sol 144 m x 91 m (figure 4) pour les plus grandes dimen-

PRÉSENTATION DU PROJET

UNE TRANSFORMATION PHASÉE DANS UN PLANNING CONTRAINT

La principale contrainte de ce projet d'envergure réside dans le fait qu'une continuité de service public dans le traitement des déchets est indispensable tout au long des travaux, étant donné la place incontournable de l'usine actuelle.

Le projet est ainsi prévu en 4 phases :

→ **Étape 1** (novembre 2018 à juillet 2019) : travaux préparatoires (installations et accès de chantier, dévoiement des réseaux) et construction d'une nouvelle rampe d'accès des camions à l'usine existante pour permettre la destruction de la rampe actuelle située sur l'emprise de l'usine à construire (figure 3).

→ **Étape 2** (août 2019 à novembre 2023) : construction de l'UVE jusqu'à sa mise en service.



3

© FRANCK BADAIRE PHOTOGRAPHE

4- Maquette géométrique BIM du génie civil.

5- Maquette géométrique BIM globale tous corps d'état.

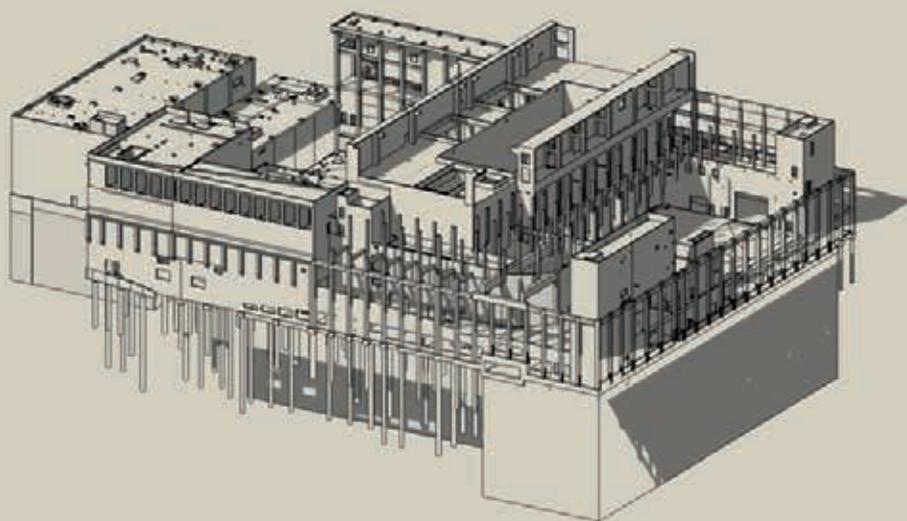
4- BIM geometric model of civil works.

5- Overall BIM geometric model of all trades.

LE BIM AU CŒUR DU PROJET

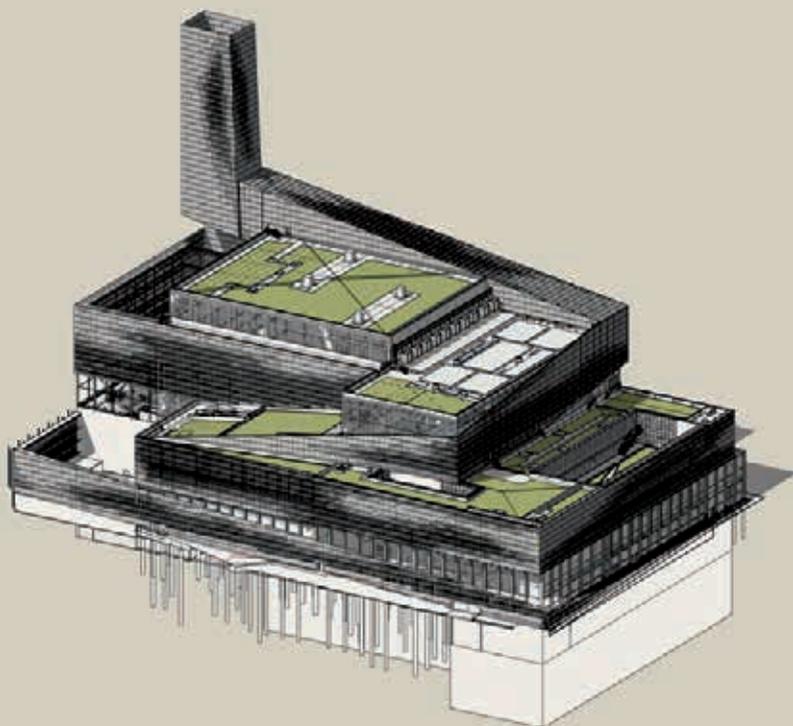
Le projet a été réalisé en BIM dès sa phase conception et jusqu'à l'exécution ce qui a permis une meilleure synthèse entre les différents corps d'état. Chaque spécialité a réalisé sa propre maquette indépendamment (fondations profondes et soutènements, gros œuvre béton (figure 4), charpente métallique, façades, process de l'incinérateur, électricité et contrôle commande, VRD, etc.) puis elles ont été assemblées (figure 5) et ajustées en fonction des différents clashes et modifications d'équipements observés au cours des différentes phases de conception et d'exécution du projet. En fin de processus, la maquette génie civil dispose d'un niveau de détail intégrant les éléments préfabriqués (poteaux, murs, planchers) afin d'assurer le découpage et de permettre un pilotage fin du phasage de l'opération.

MAQUETTE GÉOMÉTRIQUE BIM DU GÉNIE CIVIL



4

MAQUETTE GÉOMÉTRIQUE BIM GLOBALE TOUS CORPS D'ÉTAT



5

sions (environ 12200 m² d'emprise) avec une partie en infrastructure de 8 m maximum de profondeur et une partie en superstructure s'élevant à 48 m au-dessus du sol.

L'usine est réalisée en béton armé sur sa partie infrastructure ainsi que sur une grande partie de la superstructure - la couverture étant en charpente métallique. La fosse à ordures ménagères résiduelles dans laquelle les camions verseront leur contenu aura les dimensions imposantes de 45 m x 17 m x 31,5 m (hauteur) soit le volume d'un gymnase. Cette capacité permettra de stocker en tampon l'équivalent de 4 jours de collecte.

La cheminée d'évacuation des fumées épurées s'élève à 100 m au-dessus du sol (figure 5) et nécessite, pour sa mise en place, l'utilisation d'une des plus haute grue à tour d'Europe.

Compte tenu de la nature des sols, l'usine est assise sur une forêt de fondations profondes. Pas moins de 370 pieux et 520 m de paroi moulée ont été nécessaires pour reprendre les quelques 200 000 t de l'ouvrage en fonctionnement.

LE MONTAGE D'AFFAIRE ET LES CONTRAINTES DE SITE

Ce projet, qui est monté en conception-construction-exploitation, a démarré pour le groupement adjudicataire en 2011, début du dialogue compétitif, avec les phases de conception : un APS (Avant-Projet Sommaire) suivi d'un APD (Avant-Projet Détaillé) et d'un PRO (Projet) se sont succédé jusqu'à l'été 2018 qui a marqué le démarrage des travaux, phase EXE (Exécution) prévus pour durer jusqu'en 2023.

La partie travaux est découpée en deux avec le gros œuvre d'un côté et le process d'incinération de l'autre. Les deux facettes de la construction sont mêlées car l'installation des équipements lourds de process se fait au fur et à mesure de la réalisation des planchers ce qui implique un certain phasage de réalisation. Plusieurs contraintes techniques inhérentes à la localisation du site ont été appréhendées durant les phases de conception et d'exécution. Les principales sont décrites ci-après. Non seulement les couches de sols intermédiaires sur lesquelles repose l'ouvrage présentent des inconvénients (nappe captive à variabilité saisonnière dans les alluvions très perméables et couche d'argiles plastiques à potentiel gonflant) mais elles présentent également une importante variabilité d'épaisseur et de profondeur sur l'emprise du projet. ▷

De plus, la nappe des alluvions présente une perméabilité tellement forte que les parois moulées ont dû être approfondies et ancrées dans la couche géologique étanche sous-jacente afin de constituer une fiche hydraulique limitant les débits d'eau d'exhaure durant le terrassement des sous-sols de l'ouvrage⁽¹⁾. Concernant les argiles plastiques, leur potentiel gonflant a été caractérisé et a conduit le groupement à opter pour une solution Pecavoid® (figure 6) à base de polystyrène expansé permettant de constituer artificiellement un vide sanitaire en s'affranchissant des contraintes de réalisation : le radier est coulé sur ce dispositif (suffisamment résistant pour ne pas s'effondrer sous le poids des 100 cm de béton frais), qui est constitué d'une maille évidée permettant le gonflement du terrain et qui sert de fusible en cas de soulèvement (ne transmettant qu'une faible pression de gonflement résiduelle). La forte proximité de la Seine place l'usine en zone d'aléas forts à très forts dans le PPRI du Val-de-Marne (Plan de Prévention des Risques d'Inondation). Ceci conduit à mettre l'ouvrage à l'abri des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC).



6- Installation du Pecavoid® au niveau des radiers sur argiles gonflantes.
7- Schéma de fonctionnement de l'UVE.

6- Installation of Pecavoid® at the level of the foundation rafts on swelling clays.
7- Operating diagram of the energy recovery plant.

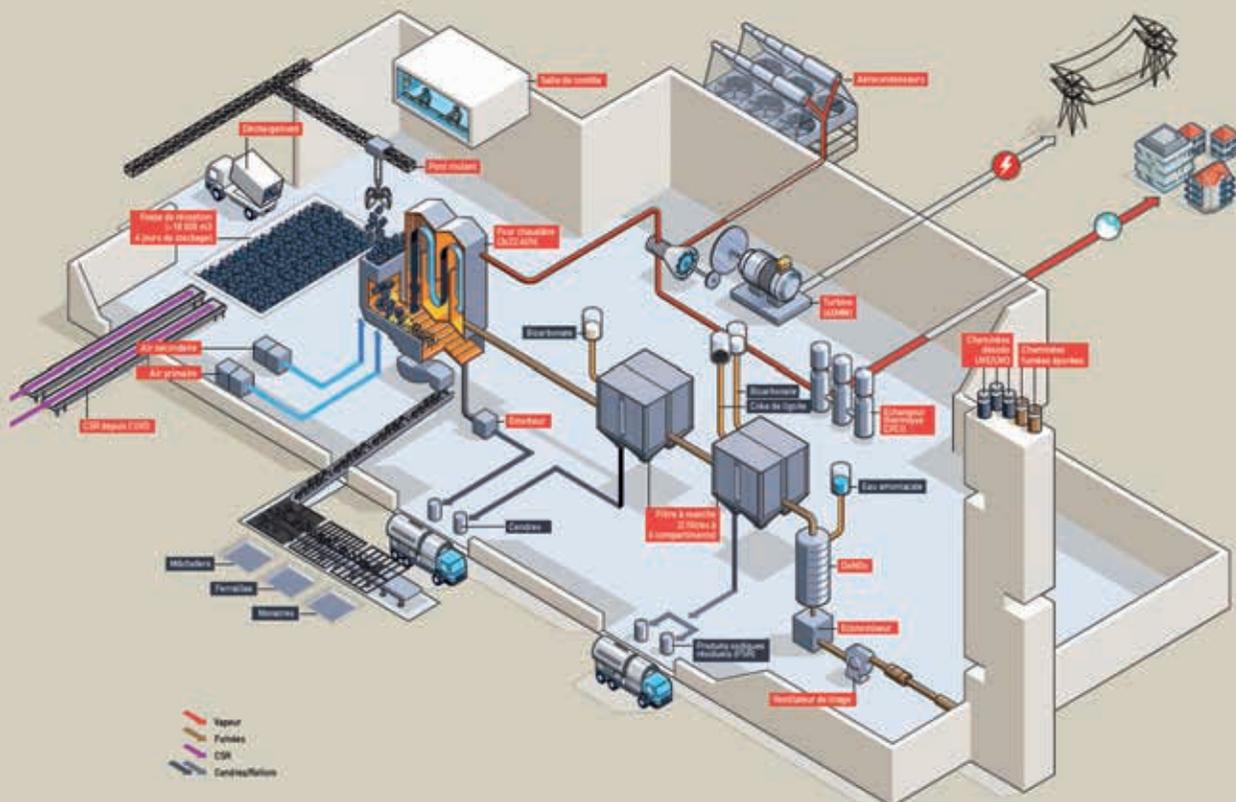
Cela s'est traduit par la réhausse des points d'entrée d'eau dans l'ouvrage à une hauteur supérieure à ce niveau ainsi que la prise en compte d'une forte sous-pression sur l'infrastructure en cas de crue exceptionnelle (prévention du soulèvement). La limite d'emprise de l'ouvrage côté Sud-Ouest se situe le long du faisceau de voies SNCF (figure 2) dont la plus proche est quotidiennement utilisée.

Une partie de l'ouvrage support du Groupe Turbo Alternateur a donc dû être réalisée de nuit sous interruption du trafic ferroviaire et coupure catenaires. Enfin, l'emprise du chantier étant identique à l'emprise de l'ouvrage, très peu de place est laissée pour des zones de stockage et de circulation, ce qui a imposé la mise au point de méthodes de réalisation intégrant cette importante contrainte de production.

BILAN ÉNERGÉTIQUE DE L'OPÉRATION

Le principe de fonctionnement d'une UVE est simple (figure 7) : il entre des déchets et en ressort de l'énergie thermique et électrique via un turbo-alternateur ainsi que des résidus de la combustion dans les fours-chaudières (des éléments recyclables comme les mâchefers et ferrailles et non recyclables comme les cendres et produits

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DE L'UVE





8

© FRANCK BADAIRE PHOTOGRAPHE

8- Vue du coffrage glissant arrivé au sommet.

9- Principe de fonctionnement du coffrage glissant.

8- View of the sliding formwork arrived at the top.

9- Operating principle of sliding formwork.

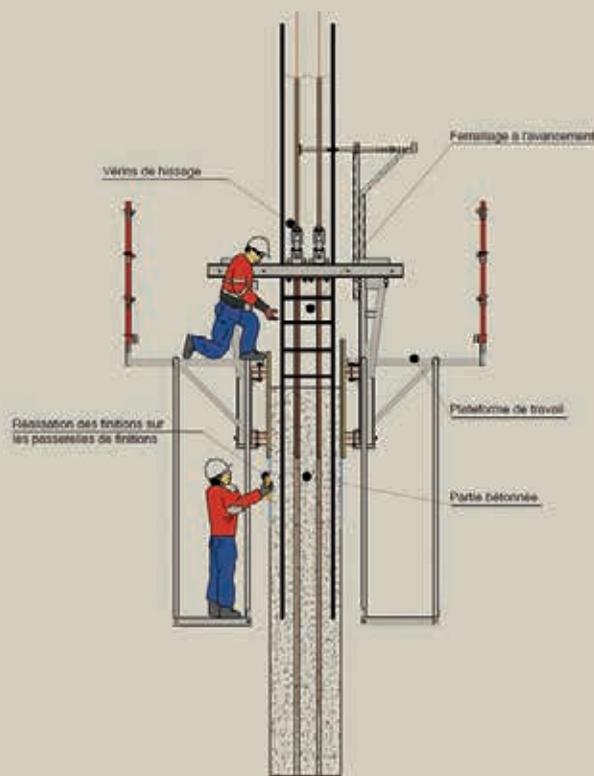
sodiques résiduels qui nécessitent un traitement par enfouissement pour déchets dangereux).

À sa capacité maximale de traitement (350 000 t d'ordures ménagères résiduelles par an), l'énergie générée par l'usine est estimée à 890 000 t vapeur/an ce qui permet d'alimenter le réseau de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) pour couvrir les besoins en chauffage et en eau chaude de l'équivalent de 100 000 logements. En ce qui concerne la production électrique associée, elle est de l'ordre de 116 000 MWh/an (soit l'équivalent de la consommation de 23 000 logements alimentés en électricité) ce qui permet de subvenir aux besoins électriques propres à l'installation, l'excédent étant revendu à EDF.

DES CHOIX DE MODES CONSTRUCTIFS AMBITIEUX UN COFFRAGE GLISSANT GÉANT

C'est la méthode du coffrage glissant qui a été sélectionnée pour réaliser la structure de 3500 m³ de béton armé

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU COFFRAGE GLISSANT



9

© GROUPEMENT IP13

ÉVACUATION FLUVIALE DES DÉBLAIS

Pendant la phase de terrassement, des économies d'énergie ont été réalisées en évacuant 60% des terres excavées par transport fluvial sur la Seine qui passe à 300 m du chantier, en lieu et place de milliers de camions qui auraient circulé en agglomération dense.

de la fosse des ordures ménagères. Cette solution a pour principal atout de minimiser le temps de réalisation de l'ouvrage, par rapport à une méthode plus traditionnelle.

L'ouvrage à réaliser mesure 62 m de long, 22 m de large et 31,50 m de haut (figure 8). La périphérie du coffrage glissant est de 230 m comprenant le contour de la fosse des ordures, les voiles de refends intérieurs et les contreforts de l'ouvrage (dont certains ont une épaisseur de 120 cm). C'est d'ailleurs principalement la géométrie de l'ouvrage qui s'est révélée être l'enjeu technique et méthodologique à surmonter.

La technique du coffrage glissant est un principe de coffrage équipé de vérins hydrauliques, qui monte continuellement par poussées successives de 2 cm en s'appuyant sur la structure fraîchement bétonnée (figure 9). La faisabilité structurelle de cette méthode réside avant tout dans la mise au point de la bonne formulation de béton, permettant d'avoir à court terme (entre 4 h et 6 h) une résistance de l'ordre de 0,5 MPa. Le chantier pilote la formulation du béton toutes les heures en faisant varier la température et le retardateur de prise pour compenser les variations de température et d'humidité ambiante sur un cycle de 24 h. Le résultat de ces prises de décisions sur la formulation ne sont connues qu'entre 8 h et 10 h plus tard, une fois que le béton sort du coffrage.

La hauteur du coffrage est de 1,20 m et le coffrage est présent sur l'intégralité du périmètre intérieur et extérieur de l'ouvrage.

Les travaux concernés ont été réalisés en seulement 19 jours de glissement, en travaillant 24h/24 et 5 jours/7 (du 18 février 2020 au 13 mars 2020). Ceci donne une moyenne de glisse de 9 cm/h hors arrêts de glissement. À noter l'intégration, dans le coffrage en cours de réalisation, de 270 mannequins et 120 inserts métalliques au fur et à mesure de la montée du coffrage.

UNE CONSTRUCTION EN TOP AND DOWN

Sur l'une des zones du projet avec une partie en infrastructure, il était initialement prévu un terrassement à ciel ouvert à l'abri des parois moulées jusqu'au fond de fouille puis une construction classique du génie civil en remontant. Compte tenu de la hauteur de fouille (environ 8 m), un butonnage métallique, sur deux lits, constitué de liernes et butons était prévu dans cette solution. Afin de sécuriser le planning en raccourcissant le délai global d'exécution, le groupement a opté pour une réalisation en *top and down* qui consiste à exécuter d'abord le plancher au niveau 0 puis à réaliser simultanément les structures situées au-dessus et en-dessous de ce plancher. Le niveau 0 devient alors un plancher butonnant et permet ainsi de se passer du butonnage provisoire lors du terrassement. Les porteurs définitifs du niveau 0 en infrastructure n'étant pas encore réalisés au moment du terrassement sous



10

© GROUPEMENT IP13

ce niveau, cette méthode nécessite donc la réalisation de poteaux provisoires sur fondations profondes appelés *préfondés* (figure 10) forés dans le sol avant la réalisation du niveau 0.

Ces *préfondés* seront détruits une fois les voiles et poteaux définitifs de l'infrastructure réalisés et une fois le transfert de charges entre ces porteurs provisoires et définitifs effectué via un

10- Préfondés provisoires soutenant le niveau 0.
11- Poteaux préfabriqués type Peikko®.

10- Temporary plunge-columns supporting level 0.
11- Peikko® type prefabricated columns.

vérinage. Ce phasage permet également de s'affranchir d'un étaielement complet pour la réalisation du niveau 0, ce dernier étant bétonné directement sur le sol. Le terrassement n'effectuant en taube, il en résulte néanmoins une cadence réduite de l'ordre de 50% par rapport à la solution "ciel ouvert".

QUELQUES CHIFFRES CLÉS DU COFFRAGE GLISSANT

- Surface de voile coffrée : 12 915 m²
- 278 vérins hydrauliques
- Poussée hydraulique totale : 1 668 t
- Pompage du béton avec 2 mâts de bétonnage de 36 m de hauteur
- 650 t d'armatures dans l'ouvrage
- 492 m² de surface de coffrage glissant
- 160 personnes mobilisées sur l'ouvrage

LE RECOURS MASSIF À DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS DE GRANDE HAUTEUR

Pour fiabiliser le planning du projet et limiter les séquences d'étaielements sur de grandes hauteurs (la partie béton mesurant 40 m de haut), l'intégralité des modes constructifs a été pensée pour construire l'ouvrage avec le maximum d'éléments préfabriqués "comme un Lego® géant" dont les principaux éléments sont :

- 240 poteaux avec inserts Peikko® intégrant dès la fabrication usine, les ancrages pour le process et les corbeaux béton. En moyenne, les poteaux font 15 m de haut et varient entre 12 t et 40 t (figure 11) ;
- Des prémurs de tout type allant jusqu'à 60 cm d'épaisseur et 10 m de hauteur (figure 12) ;
- Des voiles béton préfabriqués intégralement se posant comme des languettes entre poteaux eux même préfabriqués ;
- Des poteaux PRS remplis de béton (et de cages d'armatures vis-à-vis du dimensionnement au feu) de 25 m de hauteur et de section 1,6 m x 1,8 m ;
- Et tous les types d'éléments préfabriqués plus standards.

Ce n'est pas moins de 37% de la structure totale qui a été réalisée en éléments préfabriqués et, si l'on retranche le volume du glissant, des deux grimpants et des radiers, cela représente environ 60% des structures.



11

© GROUPEMENT IP13



12- Prémurs grande hauteur (10 m).

12- Very high precast concrete walls (10m).

AVANCEMENT DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

À fin décembre 2020, 85% de l'ouvrage béton est réalisé et plus spécifiquement toutes les zones devant accueillir les équipements du process. S'en suivra une séquence importante avec le démontage de 4 grues sur 5 et le remontage de 3 nouvelles grues dont deux pouvant assurer des levages de 100 t principalement pour la pose des équipements process. Les travaux de charpente métallique commenceront également début 2021 en parallèle des travaux du process. □

1- Plus d'information sur les fondations profondes de cet ouvrage dans l'article "SYCTOM D'IVRY / PARIS XIII : fondations spéciales d'un site industriel en activité" dans le TRAVAUX n°965 (décembre 2020).

© GROUPEMENT IP13
12

PRINCIPALES QUANTITÉS

COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION : 483 Millions d'Euros (dont 163 Millions d'Euros pour la partie Génie Civil)

DURÉE TOTALE DU CHANTIER : 62 mois (dont 20 mois pour la partie Génie Civil)

DIMENSIONS EN PLAN DE L'OUVRAGE : 145 m x 90 m environ

HAUTEUR DE L'OUVRAGE : 56 m (hors cheminée) dont 8 m en infrastructure

HAUTEUR DE LA CHEMINÉE : 100 m

QUANTITÉ DE BÉTON : 40 000 m³ (dont 15 000 m³ de préfabrication)

QUANTITÉ D'ARMATURES : 5 500 t

QUANTITÉ DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 2 500 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Syctom, l'agence métropolitaine des déchets ménagers

ENTREPRISE MANDATAIRE : Société Ivry Paris XIII^e (groupe Suez)

MAÎTRE D'ŒUVRE INTÉGRÉ : BG Ingénieurs Conseils

ARCHITECTE : AIA Life Designers

ENTREPRISES GÉNIE CIVIL : Eiffage Génie Civil (mandataire) / Chantiers Modernes Construction

ENTREPRISES PROCESS : Vinci Environnement / Hitachi Zosen Inova / Vinci Energies / Satelec

BET STRUCTURE : Isc / Biép

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE ENERGY RECOVERY PLANT AT IVRY-SUR-SEINE

SÉBASTIEN GUINET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - RÉMI JOUANDOU, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - DIDIER GALPIN, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

After seven years of design in-house, the new Ivry-sur-Seine energy recovery unit is under construction and will replace the existing incinerator by around 2023, when the incinerator will be deconstructed to rebuild a second household waste treatment plant on the site. This structure of imposing size will be completed in record time despite numerous constraints related to its location and using relatively unconventional construction techniques: sliding formwork over 31.5 m, top and down, high-rise prefabricated building. □

RECONSTRUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE IVRY-SUR-SEINE

SÉBASTIEN GUINET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - RÉMI JOUANDOU, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - DIDIER GALPIN, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

Tras siete años de diseño interno, la nueva unidad de aprovechamiento energético de Ivry-sur-Seine emerge de tierra para sustituir al incinerador existente en el horizonte 2023. Este último se deconstruirá y en su emplazamiento se construirá una segunda planta de tratamiento de residuos domésticos. Esta obra de imponentes dimensiones se habrá realizado en un tiempo récord, a pesar de las numerosas limitaciones que genera su ubicación y de que se han utilizado técnicas constructivas poco habituales: encofrado deslizante sobre 31,5 m, top and down, prefabricación de gran altura. □



1
© EIFFAGE

CONSTRUCTION D'UN NOUVEL ENSEMBLE DE LANCEMENT POUR ARIANE 6 À KOUROU

AUTEURS : SÉBASTIEN GRANDJEAN, DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT GRANDS PROJETS, EES-CLEMESSY AST -
OLIVIER QUIQUEREZ, RESPONSABLE DES ACTIVITÉS GRANDS PROJETS, EES-CLEMESSY AST -
FRÉDÉRIC AITA, CHEF DE PROJETS, EES-CLEMESSY AST

EN JUILLET 2016, LE CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (CNES), POUR LE COMPTE DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (ESA), A CONFIE LA RÉALISATION CLÉS EN MAINS DES INFRASTRUCTURES DE L'ENSEMBLE DE LANCEMENT D'ARIANE 6 AU GROUPEMENT ECLAIR 6 POUR UN MONTANT DE 200 MILLIONS D'EUROS. LE GROUPEMENT EST COMPOSÉ DE PLUSIEURS ENTITÉS DU GROUPE EIFFAGE, DONT EIFFAGE GÉNIE CIVIL, QUI EN EST MANDATAIRE. LE CHANTIER COMPREND LA RÉALISATION D'UNE VINGTAINNE DE BÂTIMENTS. EES-CLEMESSY EST EN CHARGE DES INFRASTRUCTURES ÉLECTRIQUES DU PAS DE TIR.

Au sein du groupement Eclair 6, Clemessy, la marque historique d'Eiffage Énergie Systèmes qui fédère les compétences et expertises dédiées au monde de l'industrie, s'est chargée d'électrifier les infrastructures de l'Ensemble de lancement Ariane numéro 4 (ELA 4), pas de tir du Centre spatial guyanais (CSG) d'où partiront les lanceurs de la catégorie Ariane 6. En

tant qu'électricien de la base, Clemessy a déjà participé au chantier du dernier grand ensemble de lancement Soyuz et assure la maintenance des installations du "port spatial de l'Europe".

VISITE GUIDÉE DU CHANTIER ELA 4

Le portique métallique est le bâtiment le plus haut de la zone de lancement

1- Illumination de la zone de lancement au crépuscule.

1- Illumination of the launch area at dusk.

(90 m de haut, 56 m de large et 8200 t). Construit par Seh, une filiale d'Eiffage Métal, il est pourvu de 128 moteurs montés sur bogies qui lui permettent d'avancer vers la table de lancement ou de reculer de 141 m pour dégager la fusée juste avant le décollage (figure 3). Partiellement assemblé à l'horizontale dans le Bâtiment d'assemblage



© EIFFAGE
2

du lanceur (BAL), le corps central de la fusée est guidé, dans cette position, jusqu'à la table de lancement, où l'attend le portique mobile. Une fois "verticalisé" à l'intérieur du portique, il reçoit ses ESR (*Equipped Solid Rocket ou boosters*), ainsi que sa coiffe contenant la charge utile (le ou les satellites). Selon le modèle retenu, A62 ou A64, Ariane 6 est équipée de deux ou quatre ESR. Elle mesure 70 m de haut et 14 m de diamètre (avec ses boosters). Elle est alimentée en électricité et en fluides par le mât ombilical qui se dresse à ses côtés pour permettre le remplissage de l'étage supérieur en hydrogène et oxygène pressurisés.

2- Vue d'ensemble de la zone de lancement depuis le château d'eau en décembre 2020.

3- Assemblage du portique et construction du château d'eau en septembre 2018.

2- General view of the launch area from the water tower in December 2020.

3- Assembly of the portal structure and construction of the water tower in September 2018.

Au niveau des tuyères de la fusée et des ESR, des carneaux ont été creusés sous la table de lancement à 35 m de profondeur pour évacuer les flammes et les gaz produits au décollage. Ils sont reliés à deux énormes tunnels en béton inclinés vers la surface et par lesquels sont évacués les jets des moteurs (figures 4 et 5). Ces carneaux d'évacuation permettent d'atténuer les vibrations produites au moment du lancement, tout comme le déluge créé grâce au château d'eau voisin. La très grande quantité d'eau déversée lors du tir permet de limiter les chocs thermiques et acoustiques du décollage pour mieux préserver le lanceur et ses charges utiles.

La table de lancement est encadrée par les quatre pylônes de protection foudre et les quatre mâts d'éclairage, deux systèmes élaborés par Clemessy.

ÉCLAIRAGE DE LA ZONE DE LANCEMENT

Le pas de tir est pourvu de quatre mâts d'éclairage, munis chacun de trois rampes équipées de cinq projecteurs (figure 6). Un mât comporte 15 projecteurs et le dispositif complet en compte 60 au total. L'éclairage doit permettre aux caméras rapides qui scrutent le pas de tir d'inspecter le lanceur sous tous les angles et dans les moindres détails, de jour comme de nuit (figure 1). Il rend aussi possible l'observation du moment crucial où les liaisons ombilicales se détachent du lanceur à quelques secondes du décollage (images utilisées en cas d'expertise), ainsi que les prises de vues de prestige à des fins de communication.

UNE HISTOIRE DE GÉOMÉTRIE

L'implantation des mâts d'éclairage, qui sont situés dans l'emprise des pylônes de protection foudre qui les protègent, ne doit pas interférer avec le mouvement de va-et-vient du portique métallique. Une implantation des quatre mâts en rectangle a donc été retenue à la place de la géométrie initiale en carré qui entraînait également en conflit avec les multiples réseaux souterrains. Le lanceur se trouve au centre de ce rectangle, dont chaque angle est équipé d'un mât.



© EIFFAGE
3



4 © EIFFAGE

Les 15 projecteurs de chaque mât éclairent un quart du rectangle et chacun d'eux se concentre sur une portion de la fusée, assurant ainsi l'uniformité de l'éclairage. Le lanceur est éclairé de haut en bas, à 360°, et les faisceaux de lumière qui sont orientés vers le ciel se croisent à 120 m d'altitude (figure 7), afin de pouvoir l'éclairer avant et pendant le décollage.

MINUTIE DES RÉGLAGES

Le réglage de chaque projecteur est unique et se fait selon trois dimensions. Chacun d'eux reçoit un premier réglage en fonction de l'élévation des rampes (à 20, 21 ou 22 m du sol), un second réglage par rapport à la verticale descendante (inclinaison 90) et un troisième réglage en regard de l'axe de l'objet cylindrique à éclairer (Rot. dans le plan X/Y). Le réglage de chaque projecteur se répercute symétriquement sur le mât opposé, ce qui signifie que le dispositif d'éclairage global nécessite 60 réglages différents dans l'espace. Les réglages se font sur mâts couchés, afin d'éviter les interventions à plus de 20 m du sol. Au moment du lancement, les mâts d'éclairage, comme l'ensemble des infrastructures, sont soumis à de violentes vibrations. Les platines sur lesquelles sont fixés les projecteurs sont donc reliées à un système de plots anti-vibratoires pour éviter la casse. Pour mesurer l'efficacité de l'éclairage et son uniformité à diverses altimé-

tries, un luxmètre a été installé sur un drone opéré par l'entreprise Sentinel, "photographe officiel" du chantier (figure 8). L'allumage et l'extinction de chaque projecteur se font à distance depuis le centre de lancement qui supervise les opérations, grâce aux automates programmés par Clemessy. L'Indice de rendu des couleurs (IRC) a également été pris en compte lors de l'étude d'éclairage.

SYSTÈME DE PROTECTION Foudre (SPF)

Présents sur toutes les bases spatiales du monde, les pylônes de protection

4- Construction de la zone de lancement en octobre 2018.

5- Vue d'ensemble de la zone de lancement depuis le château d'eau en juin 2019.

4- Construction of the launch area in October 2018.

5- General view of the launch area from the water tower in June 2019.

foudre et le SPF servent à évacuer la foudre, afin de protéger la fusée lorsque son portique mobile ne peut plus s'en charger.

En effet, quand Ariane 6 se trouve sur la table de lancement, à l'intérieur du portique en position avancée et portes fermées, elle est protégée contre la foudre par la structure métallique du portique (figure 9).

Mais, quelques heures avant le lancement, une fois que le portique métallique s'est retiré, la fusée chargée en propegol, hydrogène et oxygène devient vulnérable au risque de foudre.



5 © EIFFAGE



© EIFFAGE
6

CÂBLES DE CAPTURE ET CÔTTE DE MAILLES

Une cage conductrice, composée de pylônes interconnectés par un système de câbles tendus en acier (figure 10) est alors agencée autour du lanceur. Lorsque la foudre gronde et que l'amorçage ciel-terre se profile, les impacts sont capturés par l'équipement protecteur, les empêchant ainsi d'endommager le lanceur.

L'objet à protéger est placé entre les quatre pylônes qui sont reliés en partie basse par des câbles de cuivre enfouis dans le sol et munis chacun de pattes d'oeie chargées d'évacuer la foudre.

6- Tête d'un mât d'éclairage lanceur montrant l'orientation de chaque projecteur.

7- Illumination du pas de tir en pleine nuit.

6- Head of a launcher lighting mast showing the orientation of each projector.

7- Illumination of the launch pad in the midst of the night.

En partie haute, les pylônes sont aussi reliés entre eux par un système de câbles formant un carré (figure 11). Dans le cas d'Ariane 6, le Cnes, guidé par les recommandations de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onera), a préconisé de resserrer le maillage aérien autour du lanceur (les pylônes étant plus espacés qu'à l'accoutumée). Pour que ce maillage soit plus efficace, un losange a donc été incrusté à l'intérieur du carré. Afin de tester l'efficacité du dispositif, des essais à l'échelle 1/10, puis à l'échelle 1, ont été réalisés dans l'usine normande du fabricant

de pylônes (figure 12). Une partie d'un SPF y a été reconstituée pour vérifier les calculs, avant le montage définitif sur le pas de tir.

CALCULS STATIQUES ET DYNAMIQUES

Lorsqu'il s'élance dans le ciel, le lanceur s'arrache de la table de lancement en étant susceptible de s'éloigner légèrement de son axe, au sein d'un cône de déboîtement. Pour qu'il n'entre pas en collision avec les câbles du SPF, le dimensionnement, les calculs statiques et la position du losange prennent en compte une distance de sécurité avec les limites du cône de déboîtement de la fusée lors du décollage.

En résumé, ArianeGroup définit le niveau de protection et le cône de déboîtement à prévoir, tandis que le Cnes et Onera se chargent de mener l'étude de définition. Responsable du SPF, Clemessy doit réaliser la figure géométrique retenue, ainsi que les calculs statiques lui permettant de savoir comment la réaliser et avec quels matériaux.

À l'issue du montage *in situ*, les mesures de caractéristiques géométriques réalisées en fonction de l'emplacement dans l'espace ont permis de confirmer les calculs statiques des études menées en amont par Clemessy. ▸



© EIFFAGE
7



8 © EIFFAGE



9 © EIFFAGE

CHANTIER GLOBAL ET CONTRATS MULTIPLES

Outre l'éclairage du pas de tir et l'installation du SPF, Clemessy est en charge de la mise à jour des départs électriques existants, de la rénovation des groupes électrogènes sur lesquels repose le lancement (pour des raisons de sécurité et de sûreté), de la distribution haute et basse tension des bâtiments, de la sécurisation des alimentations électriques via un réseau ondulé (catégorie 3) et des automatismes. À ces missions fondamentales, viennent s'ajouter les installations de mise à la terre et la compatibilité électromagnétique des bâtiments.

Les études de Sûreté de fonctionnement (SDF), qui permettent d'analyser des modes de défaillance d'éventuelles pannes et la disponibilité des systèmes, font également partie des

prérogatives de Clemessy. L'objectif de ces études est de prévoir les comportements critiques et de garantir un haut niveau de fiabilité des équipements. Par ailleurs chargé de préserver le lanceur de cyberattaques éventuelles, Clemessy a appliqué les exigences de la Sécurité des systèmes informatiques (SSI), afin d'évaluer les risques et de sécuriser les différents systèmes informatiques.

Sur le chantier de l'ELA 4, l'intégralité des études a été modélisée en *Building Information Modelling (BIM)* sur maquette numérique 3D. Cette disposition imposée par le marché public a permis au groupement de mieux maîtriser la logistique, de mieux travailler en équipe (tous corps d'états : génie civil, climatisation, énergie), d'optimiser certains achats et de simplifier les contrôles.

BANCS DE CONTRÔLE ET HYPERVISION

À l'intérieur des infrastructures, les informaticiens Clemessy et leur partenaire barcelonais Gtd ont également mis en place le banc de contrôle qui permet de mettre en œuvre le lanceur jusqu'à son décollage. Ce système temps-réel déterministe utilise notamment une solution logicielle qui permet d'opérer un process complexe par des non-informaticiens.

Au-delà des travaux d'infrastructures, Clemessy a également réalisé le lot de sûreté-protection qui comprend, entre autres, l'installation de la clôture périphérique du site, l'électrification, la vidéosurveillance et le contrôle d'accès. L'hyperviseur, intitulé Contrôle-commande des servitudes (CCS), est aussi une réalisation de Clemessy. Ce système assure la supervision informatique

des servitudes et des moyens (comme l'énergie, l'eau et la climatisation), et respecte un très haut niveau de cybersécurité.

Maintenant que les travaux de l'ELA 4 sont achevés (les installations ont été

8- Mesures d'éclairage réalisées par un drone équipé d'un luxmètre.

9- Vue d'ensemble de la zone de lancement depuis la route du BAL en décembre 2020.

10- Tête d'un pylône de protection foudre.

11- Pylônes de protection foudre avec les câbles tendus au-dessus du portail mobile.



10 © EIFFAGE



11 © EIFFAGE

8- Illumination measurements taken by a drone fitted with a luxmeter.

9- General view of the launch area from the BAL road in December 2020.

10- Head of a lightning protection pylon.

11- Lightning protection pylons with cables stretched above the mobile portal structure.

réceptionnées le 15 décembre 2020), Clemessy va assister le Cnes durant une phase d'essais jusqu'à la qualification technique et opérationnelle des infrastructures.

À l'issue de cette étape, les équipes spécialisées se chargeront de la maintenance du pas de tir en conditions opérationnelles jusqu'au lance-

12- Assemblage d'un pylône de protection foudre.

12- Assembly of a lightning protection pylon.



© EIFFAGE

12

ment inaugural d'Ariane 6, prévu en 2022.

Ce marché, financé par les États membres de l'Esa, comporte une clause de retour géographique sous forme de contrats industriels. Dans ce cadre, Rmt et Clemessy Automatizare, filiales allemande et roumaine d'Eiffage Énergie Systèmes, ont participé aux travaux. Les filiales européennes d'autres membres du groupement ont également pris part au chantier.

Les guyanais ont été sollicités, eux aussi, pour le chantier de l'ELA 4, puisque 103 679 heures d'insertion ont été réalisées sur ce projet. Ce qui constitue 168 % de l'objectif fixé par le Cnes, chacun des partenaires ayant participé à cet effort social à la hauteur de ses prestations. □

CHIFFRES CLÉS DU SPF

- Le SPF est constitué de 1 330 m de câble en acier galvanisé à chaud
- 11 cantons/segments de câbles + 1 losange (soit 4 cantons/segments supplémentaires)
- 26 segments de câbles liaisons/connexions

ÉCLAIRAGE ELA 4 EN CHIFFRES

- Le lanceur est éclairé à 360°
- Éclairage moyen sur toute la surface du lanceur : 300 lux demandés avec un coefficient d'uniformité supérieur à 0,5 (même à 120 m de haut)
- 60 projecteurs de 2 000 W chacun (soit 120 kW au total) ou l'équivalent de la consommation d'un immeuble de 20 appartements
- Flux lumineux de chaque projecteur : 226 000 lumens (soit 13 560 000 lumens au total)
- 6 types d'optiques de projecteurs différents (pour un éclairage intensif, semi-intensif, semi-extensif, extensif ...)
- Lors des essais, le faisceau lumineux a été aperçu à 20 km de la zone de lancement

PRINCIPAUX INTERVENANTS

DONNEURS D'ORDRE :

- Agence spatiale européenne (Esa) : financement du programme. Le modèle européen d'Ariane 6 repose sur 13 pays : l'Autriche, la Belgique, la République tchèque, la France, l'Allemagne, l'Irlande, l'Italie, les Pays-Bas, la Norvège, la Roumanie, l'Espagne, la Suède et la Suisse
- Centre national d'études spatiales (Cnes) : maîtrise d'œuvre des installations sol d'Ariane 6 pour le compte de l'Esa, chargé de livrer à l'Esa l'ensemble des Moyens Sol Guyane Ariane 6

GROUPEMENT DE PRESTATAIRES ECLAIR 6 :

- Eiffage Génie Civil - mandataire du groupement (terrassement, construction du massif de lancement et des deux carreaux semi-enterrés)
- Seh - filiale allemande d'Eiffage Métal (infrastructures métalliques, dont le portique mobile)
- Eiffage Route (VRD)
- Eiffage Énergie Systèmes-Clemessy (électricité, énergie, automatisation)
- Engie Solutions - ex Axima Réfrigérations Belgique (climatisation)
- Icop - filiale italienne d'Eiffage Génie Civil (fondations profondes)

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF A NEW LAUNCH COMPLEX FOR ARIANE 6 AT KOUROU

SÉBASTIEN GRANDJEAN, EES-CLEMESSY AST - OLMIER QUIQUEREZ, EES-CLEMESSY AST - FRÉDÉRIC AITA, EES-CLEMESSY AST

Construction of the launch pad for the Ariane 6 launcher, begun in July 2016, was completed in December 2020 at the Guiana Space Centre, after four years' work. Eclair 6, the consortium in charge of the project, undertook to deliver this new launch complex to the national space research centre CNES on a turnkey basis. Clemessy, the brand of Eiffage Énergie Systèmes dedicated to industry, was responsible for the electrical engineering work, automation, lighting of the launch area and development of the lightning protection system. The inaugural launch of Ariane 6 is scheduled for 2022. Objective: to increase the number of commercial assignments and ramp up production for institutional customers. □

CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA BASE DE LANZAMIENTO PARA EL ARIANE 6 EN KOUROU

SÉBASTIEN GRANDJEAN, EES-CLEMESSY AST - OLMIER QUIQUEREZ, EES-CLEMESSY AST - FRÉDÉRIC AITA, EES-CLEMESSY AST

Iniciada en julio de 2016, la construcción de la plataforma de lanzamiento del Ariane 6 concluyó en diciembre de 2020 en el Centro Espacial de Guayana, tras cuatro años de obras. Eclair 6, el consorcio responsable de la obra, se comprometió a entregar llave en mano al Centro Nacional de Estudios Espaciales (Cnes) esta nueva base de lanzamiento. Clemessy, marca de Eiffage Énergie Systèmes dedicada a la industria, se ha encargado de los trabajos de electricidad, automatismos, alumbrado de la zona de lanzamiento y creación del sistema de protección contra los rayos. El lanzamiento inaugural del Ariane 6 está previsto para 2022. Objetivo: multiplicar las misiones comerciales y reforzar la capacidad ante los clientes institucionales. □



1
© CYCLE UP

CYCLE UP, LE RÉEMPLOI AU SERVICE D'UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE

AUTEURS : SÉBASTIEN DUPRAT, DIRECTEUR GÉNÉRAL, CYCLE UP - ELLIE DANA, CHARGÉE DE COMMUNICATION, CYCLE UP - CHRISTOPHE DUGOURD, FONDATEUR, CYCLE UP

ENTREPRISE SPÉCIALISÉE DANS LE RÉEMPLOI DE MATÉRIAUX ISSUS DU BÂTIMENT, CYCLE UP EST UNE MARKET-PLACE OÙ ACHETEURS ET VENDEURS DE MATÉRIAUX SE RETROUVENT. C'EST AUSSI UNE ÉQUIPE DE CONSEIL ACCOMPAGNANT SES CLIENTS DÉSIREUX D'APPORTER UNE PART DE RÉEMPLOI À LEURS PROJETS ET DE FORMATION AUTOUR DU RÉEMPLOI ET DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE. SUITE À LA LOI ÉCONOMIE CIRCULAIRE, ENTRÉE EN VIGUEUR DÉBUT 2021, CYCLE UP EST PLUS QUE JAMAIS TOURNÉE VERS DE NOUVEAUX PROJETS POUR PARTICIPER À LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES.

INTRODUCTION

Avec un chiffre d'affaires total dépassant 170 milliards d'euros, plus de 1,4 million de salariés et plus de 536 000 entreprises, l'industrie du bâtiment et des travaux publics est un poids lourd en termes de dépenses économiques et énergétiques.

D'après le dernier Plan National de Prévention des Déchets (PNPD), basé sur la directive européenne, 70% des

déchets de construction/déconstruction devront être valorisés à l'horizon 2020. Dans ce contexte, le réemploi des matériaux constitue l'une des réponses pour réduire la quantité de déchets de chantier et limiter l'impact environnemental du bâtiment. Pour cela, quatre grandes mesures ont été prises :

1- La mise en place d'une action de sensibilisation spécifique, à destination des maîtres d'ouvrage.

1- Image d'un chantier type.

1- Image of a typical construction site.

2- La création d'une charte d'engagement volontaire des secteurs d'activité pour encourager à la prévention des déchets.

3- L'identification et l'utilisation des leviers d'action pour développer le réemploi des matériaux du secteur du BTP.

4- Faire le bilan de la réglementation relative aux diagnostics de démolition et la faire évoluer le cas échéant.

En droite ligne de ces intentions, on a bâti avec Cycle Up (figure 2), un ensemble de solutions opérationnelles

pour répondre à ces quatre grands axes : formation, diagnostics et réemploi des ressources, voilà les grandes propositions de valeur de la plateforme.

LA RAISON DE LA CRÉATION DE CYCLE UP

POURQUOI CYCLE UP : LA PLATEFORME

Au lancement de la marketplace en 2018 (figure 3), l'ambition était d'apporter une réponse à l'immense défi de la préservation des ressources naturelles en proposant une meilleure valorisation des matériaux issus de la déconstruction. Face à la problématique des déchets qui nous encomrent et à l'urgence climatique, il était important de proposer un système simple permettant à la fois de réaliser des économies carbone et financières tout en démontrant que le système fonctionnait en passant du concept au modèle opérationnel.

Après trois ans d'activité, nous observons que la plupart des matériaux peuvent être réutilisés. Depuis les finitions intérieures jusqu'aux équipements techniques ou éléments de second œuvre. Tout est question de méthode, de créativité et de mobilisation des justes expertises. Pour des aménagements temporaires, l'urbanisme transitoire ou la construction bas-carbone, les composants issus de déconstruction peuvent trouver une deuxième vie.

Cela dit, on travaille à faire évoluer plus rapidement les mentalités. Dans la construction, le réemploi est une histoire ancienne. Dans l'Antiquité, les pierres d'un ancien bâtiment étaient utilisées pour un autre, comme à Rome.

Après-guerre, pour reconstruire il a fallu trouver des produits plus performants et plus rapides à travailler. C'est ainsi qu'ont vu le jour des produits industriels sophistiqués mais aussi plus de polluants. Alors que l'industrie a fait des efforts pour réduire son empreinte écologique, le secteur du bâtiment se transforme encore trop lentement. L'enjeu d'un monde post-carbone passe par une économie moins linéaire, davantage circulaire.

Il y a encore beaucoup de progrès à faire dans le secteur du BTP et de la construction, mais la transition est en marche.

C'est pourquoi il convient d'accompagner, former et aider les acteurs des métiers de la construction à adopter une démarche plus responsable.



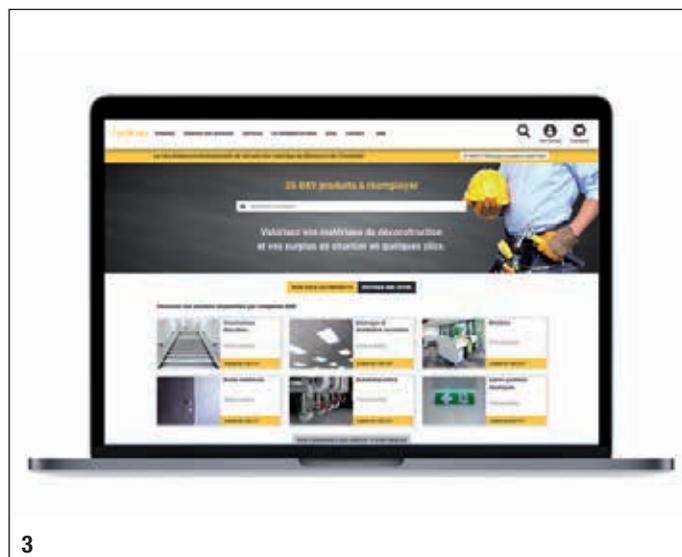
2
© CYCLE UP

- 2- Logo Cycle Up.
- 3- Marketplace.
- 4- Logo de la loi pour une économie circulaire.

- 2- Cycle Up logo.
- 3- Marketplace.
- 4- Logo of the law for a circular economy.

LOI ÉCONOMIE CIRCULAIRE

La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, promulguée en février 2020 (figure 4), entend également accélérer le changement de modèle de production et de consommation afin de limiter les déchets et de préserver les ressources naturelles, la biodiversité et le climat. Elle s'inscrit dans la mise en œuvre de la charte de l'environnement de 2004.



3
© CYCLE UP



4
© CYCLE UP

Publié au Journal officiel du 11 février 2020, ce texte de loi prévoit également que tout producteur ou vendeur de matériaux de construction contribue à la gestion des déchets engendrés (art. 62). Cette loi porte sur un grand nombre de secteurs dont le BTP.

L'objectif est de diminuer les décharges sauvages, de faciliter le réemploi et le recyclage et d'aboutir à une REP bâtiment (responsabilité élargie du producteur).

Le programme de cette nouvelle loi entrant en vigueur début 2021 est le suivant :

- Créer des fonds pour le réemploi ;
- Faciliter la réparation et favoriser l'utilisation de pièces détachées issues de l'économie circulaire ;
- Étendre la responsabilité des industriels dans la gestion de leurs déchets en créant de nouvelles filières ;
- Obliger les filières pollueur-payeur à créer des plans quinquennaux d'écoconception ;
- Optimiser la gestion des déchets du bâtiment ;
- Encourager les produits plus respectueux de l'environnement avec un système de bonus-malus.

CHANGER LES PRATIQUES, TROUVER UNE SECONDE VIE AUX MATÉRIAUX

Dans de nombreux secteurs, l'achat d'occasion et le réemploi sont entrés dans les habitudes. Dans la construction, cette prise de conscience commence tout juste, pourtant le BTP génère énormément de déchets : on évalue à 100 kg/an et par habitant de déchets ménagers, contre 4 t/an/habitant pour le BTP. La variable de progression est immense !

La dynamique actuelle semble être favorable au réemploi des matériaux porté par le cadre législatif. En complément, les labels stimulent aussi la construction bas-carbone.

Avec Cycle Up, cette évolution de fond est anticipée, en offrant une solution pertinente de gestion des ressources propice à redynamiser l'emploi local. Nous constatons une belle énergie du secteur, et une volonté affirmée d'avancer, aussi bien de la part des promoteurs, des utilisateurs, des concepteurs et des constructeurs. Parmi les clients de Cycle Up, non compte des acteurs privés et publics, des grands opérateurs de l'immobilier comme de petits artisans locaux, et les projets concernent aussi bien le luxe que l'hébergement d'urgence.

2 ACTIVITÉS PRINCIPALES CHEZ CYCLE UP

Cycle Up propose deux services complémentaires :

- Un pack d'outils digitaux permettant de mieux sourcer et échanger les matériaux (traçabilité, garantie, logistique...);
- Un accompagnement opérationnel : des missions de conseil et d'audit en réemploi, ainsi qu'une offre de formation.

UNE OFFRE DIGITALE COMPLÈTE

Marketplace

Sur Cycle Up, toutes les ressources de la construction sont les bienvenues, avec aujourd'hui un positionnement comme "place de marché" pour les matières premières secondaires.

En accès libre pour tous les professionnels (figure 6), la plateforme Cycle Up est conçue pour optimiser la rencontre de l'offre et de la demande en matériaux de réemploi et pour mettre en relation les acteurs de la filière : propriétaires, maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs, démolisseurs et constructeurs.

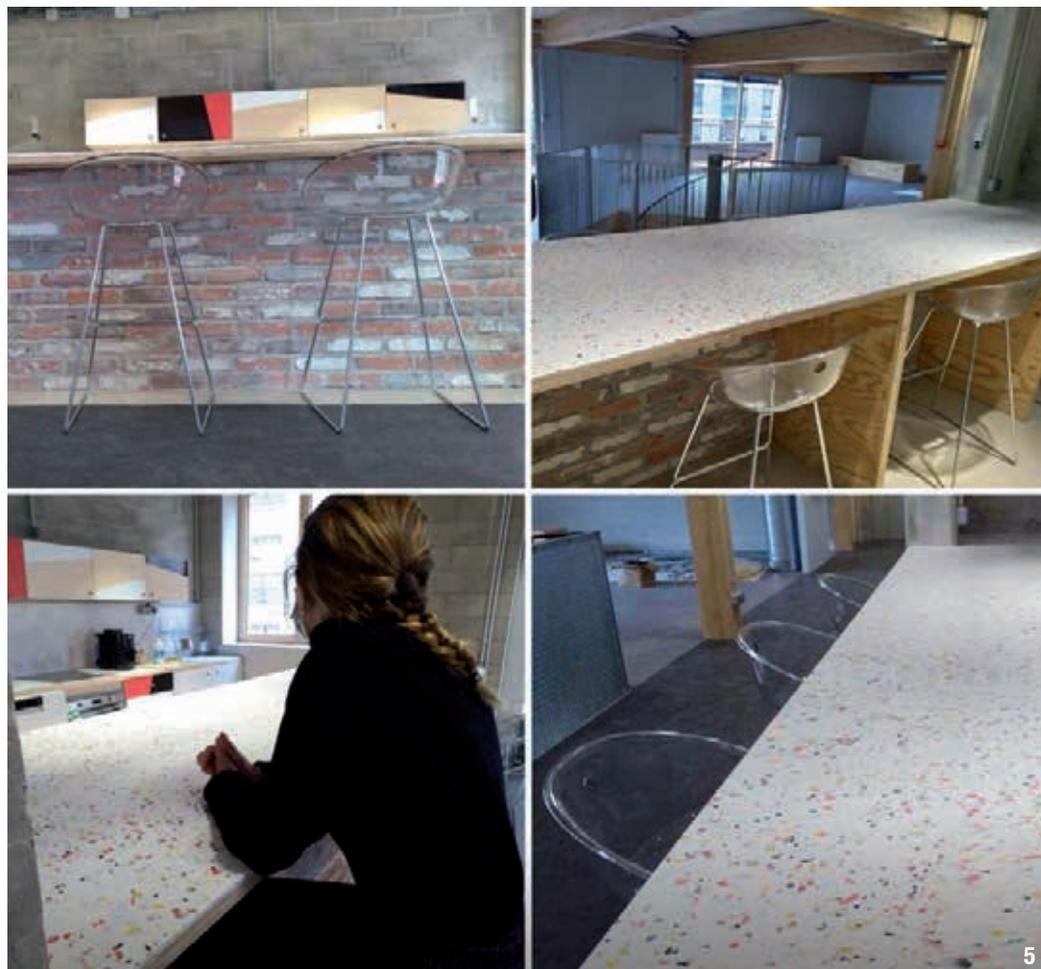
Les matériaux sont recensés selon leur disponibilité, leur origine et leur état : produits déposés, surplus de chantier, chutes de pose, invendus ou surplus de négoce, et ce, quelque-soit le stade de la vie de l'ouvrage : phases de construction, rénovation, déconstruction.

Les prix sont libres et fixés par les vendeurs et les contrats et conditions générales sont strictement les mêmes pour tous.

Les acheteurs entrent en relation avec les vendeurs pour planifier l'enlèvement des matériaux une fois l'achat réalisé. Après presque 3 ans d'existence, le modèle semble faire preuve de son efficacité, puisqu'il a été permis de faire réaliser près 3 millions d'euros d'économies aux utilisateurs et d'éviter l'émission de plus de 3400 t de CO₂. À ce jour, près de 45000 produits sont disponibles sur la plateforme, ce qui prouve l'engouement de la part des clients à préférer offrir une seconde vie aux matériaux plutôt que de les jeter, en en faisant profiter d'autres professionnels du secteur.

BIM

En 2019, les retours des utilisateurs ont amené à penser qu'une prise de conscience du secteur était véritablement en route : le réemploi et l'économie circulaire commençant à sortir du champ de l'expérimentation et du test, il devenait important de commencer



à réfléchir à une intégration massive dans les projets à venir. C'est de ce constat qu'est née l'idée de développer un module permettant une plus grande compatibilité entre les pratiques actuelles et futures du secteur et de la marketplace.

Un module BIM connecté à la marketplace (figure 7) a été développé afin de massifier la recherche de matériaux pour répondre au maximum aux enjeux de la construction aujourd'hui, c'est-

5- Exemples de réemploi.
6- Site Internet de la Marketplace.

5- Exemples of recycling.
6- Marketplace website.

à-dire de s'inscrire dans une logique d'économie circulaire massive. Ce qui est inédit ici, c'est bien l'alliance entre la recherche de matériaux de réemploi et la maquette numérique.

Après l'import et l'analyse de la maquette BIM et sur la base de critères que vous avez sélectionnés (pourcentage de matériaux réemployés souhaités, l'économie carbone souhaitée...), le module restitue la liste de matériaux de réemploi les plus pertinents disponibles sur www.cycle-up.fr correspondant le mieux aux objets contenus dans la maquette. Une fois les matériaux choisis, il est possible de les exporter facilement vers la marketplace dans une liste qu'on peut partager, ou directement dans le panier pour passer la commande.

Notre module BIM se veut être un facteur de traçabilité et de massification. Cette technologie permet aux utilisateurs d'investir dans l'économie circulaire en identifiant de manière rapide et précise toutes les ressources disponibles pour leurs projets.

Cycle Up est la première plateforme de réemploi à intégrer un module BIM. Souhaitant proposer des solutions à



l'ensemble des acteurs de la construction, et plus particulièrement aux grands comptes, le BIM est le meilleur moyen pour y parvenir.

Cette solution a été développée avec Egis Data & Solutions.

Appli d'audit ressources

Réalisé très en amont d'un projet, le diagnostic ressources permet d'identifier les gisements de matériaux présentant un potentiel de réemploi, in situ ou ex situ, et de valoriser au mieux les ressources.

Depuis plusieurs mois maintenant l'équipe Cycle Up développe une application adaptée à l'inventaire sur chantier et au post-traitement des informations (figure 8) afin de mener des diagnostics ressources complets et adaptés aux usages de chacun.

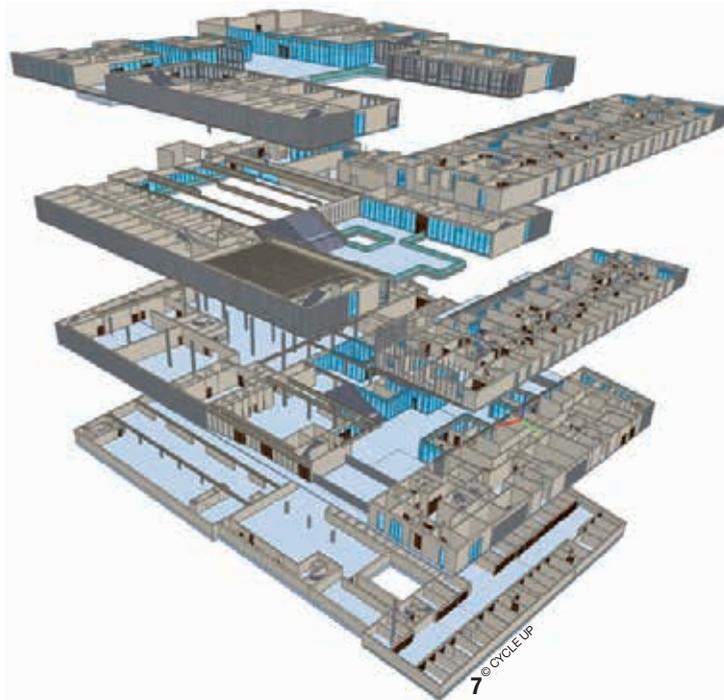
Réaliser un diagnostic ressources sera désormais très simple grâce au nouvel outil digital. Ce dispositif collaboratif d'inventaire et de diagnostic s'adressera à tous les acteurs du bâtiment : AMO réemploi, diagnostiqueurs, artisans, et autres professionnels du bâtiment...

Il permettra de dresser facilement une analyse économique et environnementale des projets.

Sortie prévue au 1^{er} trimestre 2021.

UNE ÉQUIPE OPÉRATIONNELLE

Des missions de conseil et d'audit en réemploi (figure 9) permettent d'aider vendeurs et acheteurs à valoriser au mieux leurs ressources inexploitées. Pendant la phase d'étude, les clients



7- Exemple de maquette BIM.

8- Application de diagnostic ressources développée par Cycle Up.

7- Example of BIM model.

8- Resource diagnosis application developed by Cycle Up.

sont accompagnés dans l'identification des lots et matériaux de réemploi et les opportunités de réemploi sont évaluées tout au long des études.

Pendant les travaux, l'ensemble des acteurs est accompagné sur :

- La programmation - Intégrer le réemploi dès le programme ;
- Le diagnostic ressources - Identifier le potentiel d'un projet ;
- Les pièces contractuelles - Accompagner à la rédaction des pièces contractuelles pour s'assurer de l'intégration du réemploi ;

→ Le suivi et le pilotage - Suivi des objectifs du programme de réemploi ;

→ L'étude de faisabilité - Réaliser une étude approfondie en vue du réemploi de certains matériaux identifiés ;

→ L'accompagnement des acteurs - Accompagner les acteurs dans les étapes de dépose et de pose ;

→ Le REX et le bilan réemploi - Mesurer les impacts et capitaliser sur le projet.

Cycle Up propose également des formations au réemploi et à l'économie circulaire (figure 10) en collaboration avec les partenaires afin de participer à la transformation du secteur. Parmi les sujets abordés, voici quelques exemples de thématiques. Comment intégrer le réemploi des matériaux de construction à son projet ? Quel est le contexte juridique et contractuel du réemploi ? Qu'est-ce que le diagnostic ressources ? ...

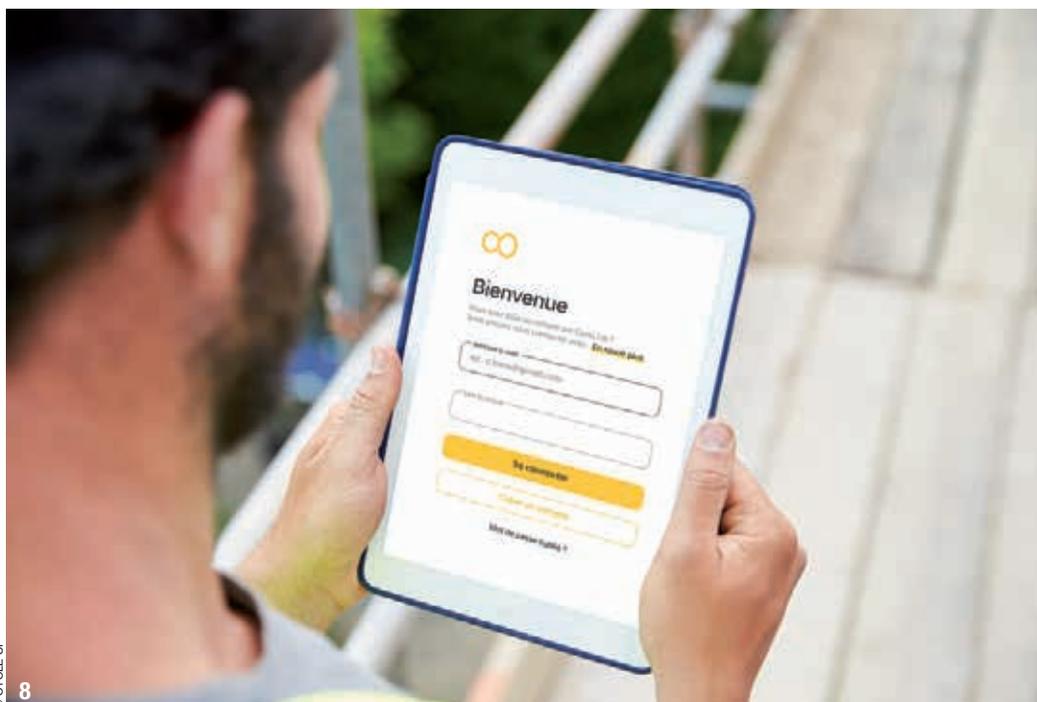
Il est proposé également un accompagnement personnalisé de la gestion des ressources à la mise en ligne des matériaux :

- La gestion pour compte de tiers grâce à laquelle est gérée la mise en ligne des annonces, le suivi des ventes et la coordination de chantier avec les acheteurs ;
- La recherche de matériaux répondant aux besoins.

LES DIFFÉRENCIANTS DE CYCLE UP

Cycle Up revendique une vision responsable du digital avec une solution propriétaire, développée et hébergée en France, et se différencie de ses concurrents par une gamme de services uniques (figure 11) :

- Garantie Cycle Secure : les matériaux achetés sont couverts pendant deux ans par une police d'assurance dédiée ;
- Traçabilité et sécurité opérationnelle : les transactions sont fiabilisées et les transferts de risques et de propriété sont actés notamment par la signature électronique ;
- La commission la plus basse du marché ;
- Des évaluations des économies en CO₂ et en euros réalisées et des déchets évités (par rapport à un matériau équivalent neuf) ;
- Des estimations des coûts logistiques associés (transport, stockage) ;
- La création de filières locales de reconditionnement.



8

Se voulant souveraine et fiable, l'offre s'est largement étoffée en trois ans mais doit aller encore plus loin pour sortir complètement d'une économie jusqu'ici alternative. Ce chemin de progrès passe par la traçabilité, la qualité opérationnelle et la démonstration répétée des bénéfices économiques pour les clients, pour atteindre une efficacité opérationnelle comparable aux géants de l'économie linéaire.

EXEMPLES DE RÉALISATIONS À PARTIR DE MATÉRIAUX DE RÉEMPLOI

STRUCTURE ET GROS ŒUVRE

Les principes du réemploi peuvent s'appliquer sur l'ensemble des typologies de matériaux de construction, avec il est vrai plus ou moins de complexité. L'un des grands enjeux aujourd'hui est de sortir d'une intégration uniquement esthétique et ornementale des matériaux de réemploi et d'aller vers des produits plus techniques afin de basculer dans une autre dimension environnementale (figure 12).

Ainsi, si l'on prend le lot gros-œuvre et en particulier les éléments de structure, ils sont responsables de plus de 30% des émissions de gaz à effet de serre dans la phase construction d'un bâtiment.

Au même titre que le clos-couvert, on touche ici à la solidité de l'ouvrage mais aussi à la sécurité des personnes et la première réponse juridique et assurantielle pourra être que le réemploi de ce type de composants est impossible. Les exemples (BedZED à Londres, Halle Eiffel à Issy-les-Moulineaux...) montrent cependant que des solutions existent. L'idée est aujourd'hui d'aller plus loin que le particulier, de l'utiliser, d'en faire des exemples et d'aboutir à une massification de la pratique, de la systématiser. Cela passe, comme pour un processus industriel, par la mise en place d'un protocole, d'un référentiel commun qui permet une démarche qualité à l'image de ce que l'on retrouve dans l'industrie. C'est donc vers l'acier et le bois que sont concentrés aujourd'hui les efforts.

Cycle Up travaille notamment avec le Cticm, des industriels et des constructeurs métalliques afin de mettre en place une véritable filière du réemploi des structures en acier. Et en parallèle on avance sur une première véritable expérimentation en 2021, menée de manière qu'elle puisse être répliquable et duplicable par la suite. Et aboutir un jour à des bâtiments 100% réemployés.



© CYCLE UP

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'AMÉNAGEMENT DE LA MAISON DU ZÉRO DÉCHET AVEC ZÉRO WASTE FRANCE

Créée en 1997, Zéro Waste France est une association citoyenne et indépendante dont le but est d'agir auprès de tous les publics : citoyens, élus, professionnels, entreprises.

Association sœur de Zéro Waste France, créée en 2017, La Maison du Zéro Déchet est le premier lieu dédié à la démarche zéro déchet, zéro gaspillage (figure 13).

Ce lieu accueille une programmation d'ateliers pratiques, de conférences, de formations, ainsi qu'une boutique dans laquelle on trouve tout ce qu'il faut pour vivre tout en protégeant l'environnement.

Début septembre, la Maison du Zéro Déchet a emménagé dans de nouveaux locaux situés dans le 12^e arrondissement de Paris. Ce déménagement n'a pas été anodin puisque l'aménagement de ce nouveau lieu a été en grande partie réalisé à partir de matériaux issus du réemploi.

L'objectif de cet aménagement a été d'appliquer la démarche de réduction des déchets et de limiter le gaspillage de ressources en recherchant des

matériaux déjà existants, destinés à la benne.

Cycle Up été contacté par Zéro Waste France pour leur trouver des matériaux à réemployer.

L'équipe commerciale s'est donné pour mission de répondre du mieux possible aux attentes. Les locaux ont donc été équipés en portes vitrées et non vitrées, en cloisons vitrées ainsi qu'en luminaires industriels.

LOTS ET SYSTÈMES TECHNIQUES

Si les équipements de production sont soumis assez régulièrement à une obsolescence performancielle, les réseaux et terminaux eux, présentent une large capacité de réutilisation. Une gaine se nettoie, une grille ou un radiateur se réutilisent. Dans une logique de rénovation, il faut maintenant penser à l'énergie grise dans une profession qui a beaucoup travaillé sur la sobriété de l'énergie "blanche". Sur la plateforme Cycle Up, les équipements techniques représentent 20% des ventes et on peut citer le réemploi des composants suivants : appareils de plomberie, radiateurs à eau ou panneaux radiants électriques, armoires électriques, luminaires, BAES. Les équipements plus spécifiques : groupes et production, sont plus souvent réutilisés in situ.

Éviter la benne pour rechercher des filières de réemploi ou de reconditionnement c'est une tâche bas carbone à part entière.

Préférer le réemploi de composants dont la valeur technique et/ou d'usage est parfois intacte malgré une première utilisation c'est le deuxième volet de la démarche. Les politiques de remplacement massifs de chaudières ou de

9- En plein audit réemploi.

10- Catalogue des formations Cycle Up.

11- Éléments et services différenciants.

9- In the midst of a recycling audit.

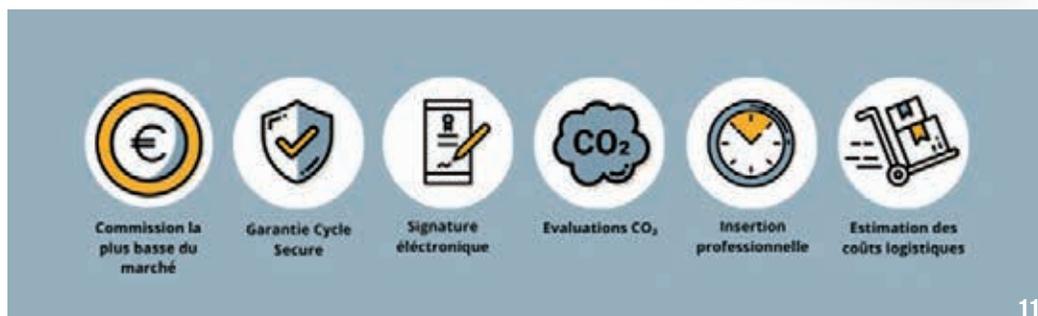
10- Catalogue of Cycle Up training courses.

11- Differentiating aspects and services.



© CYCLE UP

10



© CYCLE UP

11



© CYCLE UP

fenêtres, s'il n'existe pas de filière aval, contribuent à des aberrations carbonées.

Enfin, choisir des mises en œuvre qui permettront à terme de récupérer les matières et matériaux dans les meilleures conditions c'est la dernière touche à la démarche. Ainsi, en prévenant les encastresments inutiles, en évitant les collages démesurés et en choisissant des composants permettant une bonne maintenance et le remplacement des organes clefs, on permettra de multiples vies aux ouvrages réalisés aujourd'hui pour demain.

CONCLUSION

Afin de tirer parti de la valeur issue du réemploi, les clefs du succès se cachent dans la coopération, la transparence, la fiabilité et la valorisation des bénéfices sociaux et environnementaux. Les règles de la commande publique et les pratiques d'achat doivent largement évoluer pour sortir l'économie circulaire du champ de "l'innovation sympathique et créative" vers un modèle de développement économique local, véritable solution opérationnelle à la maîtrise des budgets dans une logique "bas carbone".



13
© CYCLE UP

12- Bâtiment 215 - Icade - Réemploi de charpente bois (en cours).

13- Luminaires achetés sur cycle-up.fr et réemployés dans les nouveaux locaux de la Maison du Zéro Déchet.

12- Building 215 - Icade - Recycling of wooden framework (in progress).

13- Luminaires bought on cycle-up.fr and re-used in the new premises of Maison du Zéro Déchet.

Par ailleurs, la logique de plateforme permet la mise en avant d'une communauté de partenaires experts et engagés dans l'économie circulaire de manière à offrir une gamme complète de solutions, depuis l'expertise scientifique jusqu'aux opérations logistiques. Le réemploi s'inscrit dans une logique de développement social et territorial, recensant des filières locales et des entreprises d'insertion. Pour accélérer la transformation circulaire des pratiques et aller vers une massification de la pratique, les liens avec le jumeau numérique et les applications d'audit in situ sont indispensables.

Déjà ouvert aux clients de Belgique et du Luxembourg, Cycle Up compte s'étendre en Europe. Encore petit comme les autres acteurs de l'économie circulaire, Cycle Up travaille en partenariat, dans une logique de coopération et développe des accords avec des acteurs de l'insertion pour développer de l'emploi local. □

ABSTRACT

CYCLE UP, RECYCLING AS PART OF A CIRCULAR ECONOMY

SÉBASTIEN DUPRAT, DIRECTEUR GÉNÉRAL, CYCLE UP - ELLIE DANA, CHARGÉE DE COMMUNICATION, CYCLE UP - CHRISTOPHE DUGOURD, FONDATEUR, CYCLE UP

Cycle Up, founded in 2018, is a response to an urgent need for conservation of natural resources. *By recycling materials from the building and real estate universe, Cycle Up contributes to a more circular economy. In three years, the company has evolved to serve its customers, establishing an online marketplace for materials recycling, providing support and advice on the circular economy, resource diagnosis and creation of a BIM module. The forthcoming release of a resource diagnosis application, "Diag It", will enable field personnel to identify materials suitable for recycling.* □

CYCLE UP, LA REUTILIZACIÓN AL SERVICIO DE UNA ECONOMÍA CIRCULAR

SÉBASTIEN DUPRAT, DIRECTEUR GÉNÉRAL, CYCLE UP - ELLIE DANA, CHARGÉE DE COMMUNICATION, CYCLE UP - CHRISTOPHE DUGOURD, FONDATEUR, CYCLE UP

Creada en 2018, Cycle Up responde a una necesidad urgente de preservación de los recursos naturales. *Gracias a la reutilización de materiales procedentes del mundo de la vivienda y el sector inmobiliario, Cycle Up contribuye a una economía más circular. En tres años, la empresa ha evolucionado al servicio de sus clientes: puesta en línea de una plataforma de mercado de materiales de reutilización, acompañamiento y asesoría en economía circular, diagnóstico de recursos y creación de un módulo BIM. La próxima aparición de la aplicación de diagnóstico de recursos Diag It permitirá a los equipos de campo identificar los materiales susceptibles de ser reutilizados.* □



1

© ARCHITECTURE STUDIO

UN CHU DE DERNIÈRE GÉNÉRATION POUR LA GUADELOUPE

AUTEURS : FRANÇOIS DUPIRE, DIRECTEUR DU PÔLE SANTÉ, INGEROP - LAURENT-LE DEVEHAT, DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT GÉNIE CLIMATIQUE, INGEROP

ADAPTÉ AU CLIMAT ET AU MODE DE VIE INSULAIRE, LE CHU DES ABYMES A ÉTÉ PENSÉ PAR SES CONCEPTEURS, COMME UN HÔPITAL DES EXTRÊMES. L'HÔPITAL DOIT POUVOIR RÉPONDRE PAR SA CONCEPTION TECHNIQUE AUX DANGERS CLIMATIQUE ET SISMIQUE QUI SONT AUSSI DES ENJEUX EN GUADELOUPE. AINSI, SES INSTALLATIONS DE PRODUCTION ET DE DISTRIBUTION DE FLUIDES ET D'ÉNERGIE ONT ÉTÉ CONÇUS POUR NE PAS ÊTRE ENDOMMAGÉS EN CAS D'ÉVÉNEMENTS EXCEPTIONNELS.

Le nouveau CHU de Pointe à Pitre en Guadeloupe (figure 1) est en chantier et sera un des établissements publics de santé les plus modernes de France lorsqu'il sera activé en 2023. Cela fera entrer pleinement le système de santé de la Guadeloupe dans une dynamique d'innovation tournée vers le futur.

Cet établissement sera non seulement doté des dernières technologies dans le domaine médical mais aussi des meilleures techniques architecturales et techniques pour faire face aux risques naturels et aux exigences de continuité de service.

Ce projet représente donc le renouveau du système de santé de la Guadeloupe. Le CHU de la Guadeloupe deviendra alors un plateau de haute technicité de référence et dans une dynamique de partenariat avec la Martinique et la Guyane, contribuera au rayonnement de la médecine française dans l'ensemble de la Caraïbe.

Il remplacera dès 2023 le CHU actuel sur un nouveau site et sera l'un des premiers établissements de santé français de nouvelle génération en termes de conception architecturale et le plus important bâtiment jamais construit sur l'archipel guadeloupéen.

1- Le projet du CHU des Abymes.

1- The CHU des Abymes project.

LA CONCEPTION GÉNÉRALE DU FUTUR CHU

Le futur CHU de la Guadeloupe regroupe sur 85 000 m² l'ensemble des services médicaux, chirurgicaux et obstétricaux sur un site au cœur de la Guadeloupe, à proximité de l'aéroport (figures 2 et 3). La conception de

l'équipe d'Architecture-Studio l'a structurée en plusieurs bâtiments interconnectés et il bénéficie d'une organisation simple, ouverte et lisible divisée en différents pôles, eux-mêmes répartis autour d'un axe urbain et structurant : la "rue Caraïbes", colonne vertébrale du projet. Centrale et abritée, elle est le point identitaire du CHU. Elle dessert l'ensemble des secteurs hospitaliers, offrant ainsi une véritable cité hospitalière, apportant un regard nouveau sur l'habitat guadeloupéen et monoblocs d'autrefois.

La conception générale du CHU a pris en compte les spécificités régionales en



© INGEROP
2

termes de risque sanitaire. Les afflux massifs de patients aux urgences sont gérés grâce à une grande salle pour les victimes des transports. Les pics d'activité liés aux épidémies saisonnières ou exceptionnelles (bronchiolite, Covid 19 par exemple) ainsi que les catastrophes sanitaires éventuelles dans une île aux alentours sont régulés par la création d'une unité "cocon".

Dans les services de réanimation et de soins intensifs, les installations techniques prévues en conception ont été renforcées pour prendre en compte les conditions particulières liées à une pandémie avec :

→ La possibilité de pression réversible dans toutes les chambres : mise en pression ou/dépression sur commande ;

2- Vue aérienne du chantier.
3- Vue d'ensemble du chantier.

2- Aerial view of the site.
3- General view of the project.

→ Des installations de prises de fluides médicaux et prises électriques supplémentaires pour l'adaptation de locaux à la demande (cas des afflux massifs).

Aux risques sanitaires gérés dans le futur CHU de la Guadeloupe, s'ajou-

tent des contraintes particulières qui ont dû être prises en compte lors des choix de conception architecturale et technique :

- Les contraintes du climat tropical ;
- Les risques sismiques ;
- Les risques cycloniques.

LA CONCEPTION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ET DE LA DISTRIBUTION DE FLUIDES

La production énergétique du site est centralisée et installée dans un bâtiment dédié.

Le système de production de froid retenu par le CHU est d'un type de dernière génération avec des fluides frigorigènes de type HFO R1233ZD et R1234ZE d'un très faible impact sur le réchauffement climatique. Le Potentiel

de Réchauffement Global de ces nouveaux fluides (PRG) a été divisé par 200 par rapport aux fluides actuellement utilisés.

La production énergétique comprend des groupes de production de froid et des thermo-frigo-pompes qui permettent la récupération de chaleur d'une façon pratiquement gratuite.

Cette récupération de chaleur est destinée pour la majeure partie à la production de l'eau chaude sanitaire, mais aussi au contrôle de température après déshumidification sur les centrales de traitement de l'air.

Depuis la production centralisée les différents bâtiments sont irrigués en froid et en chaud par des réseaux cheminant dans une galerie technique sous la rue Caraïbes.



© ARCHITECTURE STUDIO
3

PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES DU CLIMAT TROPICAL

Le rayonnement solaire est particulièrement intense sous ces latitudes. Ceci a conduit à concevoir des protections solaires, favorisant les ombres naturelles sur toutes les surfaces de façade, permettant ainsi de limiter la consommation énergétique.

Le climat des alizés de la région génère des températures clémentes tout au long de l'année, elles ont permis d'imaginer des espaces "ouverts", largement ouverts et naturellement ventilés, propices aux rencontres et à la déambulation. Ils s'ouvrent sur les jardins et le paysage extérieur (figure 4).

Le climat des alizés génère aussi de fortes hygrométries. Maîtriser la double contrainte de l'humidité tropicale environnante et des impératifs d'hygiène hospitalière a constitué l'un des premiers enjeux à résoudre. Le CHU est totalement climatisé et déshumidifié afin de garantir des conditions sanitaires optimales et répondre aux exigences actuelles de durabilité de l'équipement.

En complément et afin de réduire les possibilités d'infiltration d'air humide, les espaces intérieurs des bâtiments du CHU sont en surpression. Un taux d'hygrométrie idéal, empêchant la prolifération des bactéries, est assuré par des unités de traitement d'air alimentées en eau glacée depuis la production centrale du site qui dessert tous les bâtiments.

Ces installations sont regroupées dans des locaux techniques, eux aussi climatisés et déshumidifiés afin d'augmenter la durée de vie de ces matériels soumis à rude épreuve sous ce climat.

Si le contrôle de l'hygrométrie dans les locaux génère des besoins en froid très importants, des dispositions ont été prévues pour limiter la consommation globale d'énergie :

- Le centre hospitalier est équipé de luminaires à Led apportant le complément d'éclairage nécessaire pour une consommation énergétique très faible et une limitation des besoins de refroidissement pour traiter les apports internes ;
- La ventilation est prévue à débit variable. Les locaux seront maintenus en surpression mais le débit pourra être réduit lorsque possible ;
- Les thermo-frigo-pompes de la centrale d'énergie permettent la production d'eau glacée et une partie des besoins d'eau chaude sanitaire de façon simultanée ;



© ARCHITECTURE STUDIO 4

→ L'eau chaude sanitaire est également produite par 400 m² de panneaux solaires thermiques répartis sur les différents bâtiments.

Ces mesures complémentaires de maîtrise de la consommation d'énergie ainsi que les dispositifs de protection passive (protection solaire par exemple) permettront d'obtenir une consommation spécifique réduite tout en limitant les coûts d'exploitation du CHU.

4- Vue des espaces "ouverts".

5- Carte des derniers séismes.

4- View of available space.

5- Map of the most recent earthquakes.

LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Au-delà du séisme d'Haïti de 2010, chacune des îles des Petites Antilles a été victime de tremblements de terre majeurs au cours de ces derniers siècles (figure 5). Ils ont rappelé l'importance pour ces îles de savoir anticiper et répondre aux besoins de leurs habitants lors de ces événements.

La nature même des hôpitaux exige une fonctionnalité complète dans les instants qui suivent le séisme : accès du personnel médical aux patients, fonctionnement des ascenseurs, continuité des multiples réseaux (électriques, fluides, eau potable...), absence de chutes de plâtre, de plafonds-suspendus, stabilité des équipements... Il s'agit donc de vérifier que tous les corps d'état prennent en compte ces particularités.

De ce fait, le futur CHU, se situant dans une zone sismique d'aléa "fort" de niveau 5 - le plus élevé - a été conçu par les architectes et ingénieurs de manière parasismique avec un objectif de continuité de fonctionnement. Il résistera aux séismes les plus importants et conservera sa stabilité et ses équipements pour rester opérationnel pendant et après un séisme.

Le bâtiment peut fonctionner en autonomie pendant 72 heures après un séisme ou un cyclone, notamment

CARTE DES DERNIERS SÉISMES



5
© DR



en termes d'électricité et d'eau. La conception architecturale avec des formes simples et compactes des bâtiments est la première réponse parasismique.

Du point de vue technique, les bâtiments (hors plateau technique) sont équipés pour résister aux séismes de façon "traditionnelle" :

→ Les équipements de productions de froid, les transformateurs et les productions de fluides médicaux seront maintenus en position par un système de fixation au sol ou d'haubanage avec majoration des efforts d'ancrage.

6a & 6b- Pose des isolateurs parasismiques.
7- Maquette numérique des réseaux.

6a & 6b- Installing earthquake-resistant insulators.
7- Computer modelling of utilities.

→ Le supportage des réseaux intérieurs aux bâtiments a fait l'objet d'une étude sismique prenant en compte en particulier la proximité des réseaux les uns par rapport aux autres afin de s'assurer de la continuité de fonctionnement des installations.

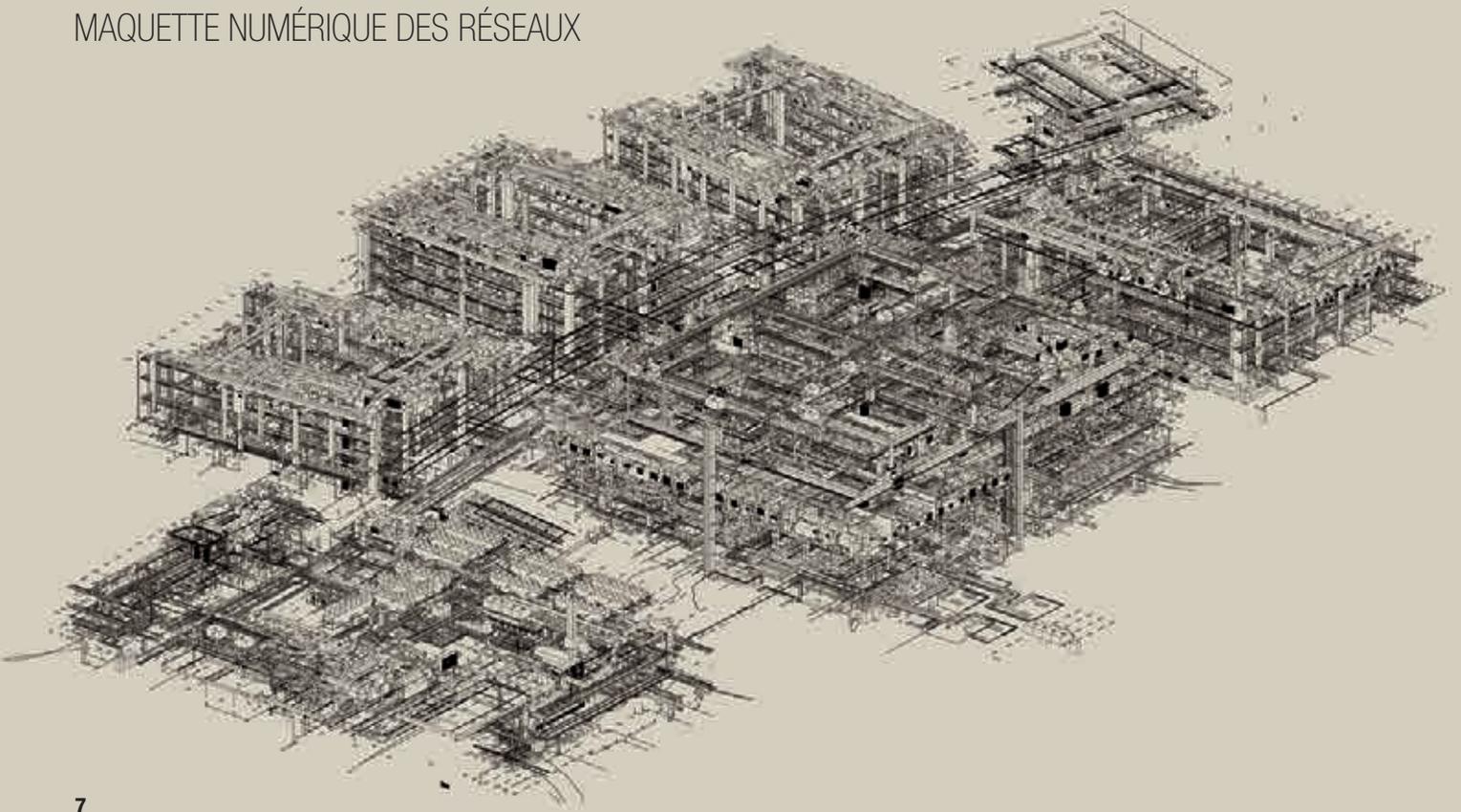
→ Les réseaux de distribution de froid et de chaud sont équipés de vannes motorisées 2 voies asservies à des détecteurs de mouvement. En cas de séisme, les bâtiments seront isolés du réseau principal.

Le plateau technique, au cœur du CHU, a été traité spécifiquement. C'est

un bâtiment qui mesure 77 m x 95 m x 32 m d'un seul tenant et pèse plus de 85000 t. Il regroupe des services du CHU particulièrement vitaux comme les urgences, l'imagerie, le bloc opératoire, la réanimation, la radiologie, la médecine nucléaire et les laboratoires. Tous ces secteurs utilisent des équipements lourds et sensibles aux accélérations sismiques, ne pouvant pas subir de trop violentes secousses. Ils ont besoin d'être isolés afin de ne pas sentir les effets du séisme.

Pour atteindre cet objectif, le bâtiment sera posé sur 216 "isolateurs" de type appuis pendulaires (figure 6). ▷

MAQUETTE NUMÉRIQUE DES RÉSEAUX



Il sera donc comme posé sur des roulements à billes, de sorte qu'il ne bouge pas lorsque la terre tremble. Ces isolateurs sont posés sur des plots en béton de 2 m de haut au deuxième sous-sol du bâtiment. L'utilisation d'appuis pendulaires mécaniques sans amortisseurs est une première en France.

Pour définir la solution, le bureau d'études Ingérop, associé à Dynamique Concept, a réalisé des études 3D, avec une modélisation informatique reproduisant une accélération de 2 g.

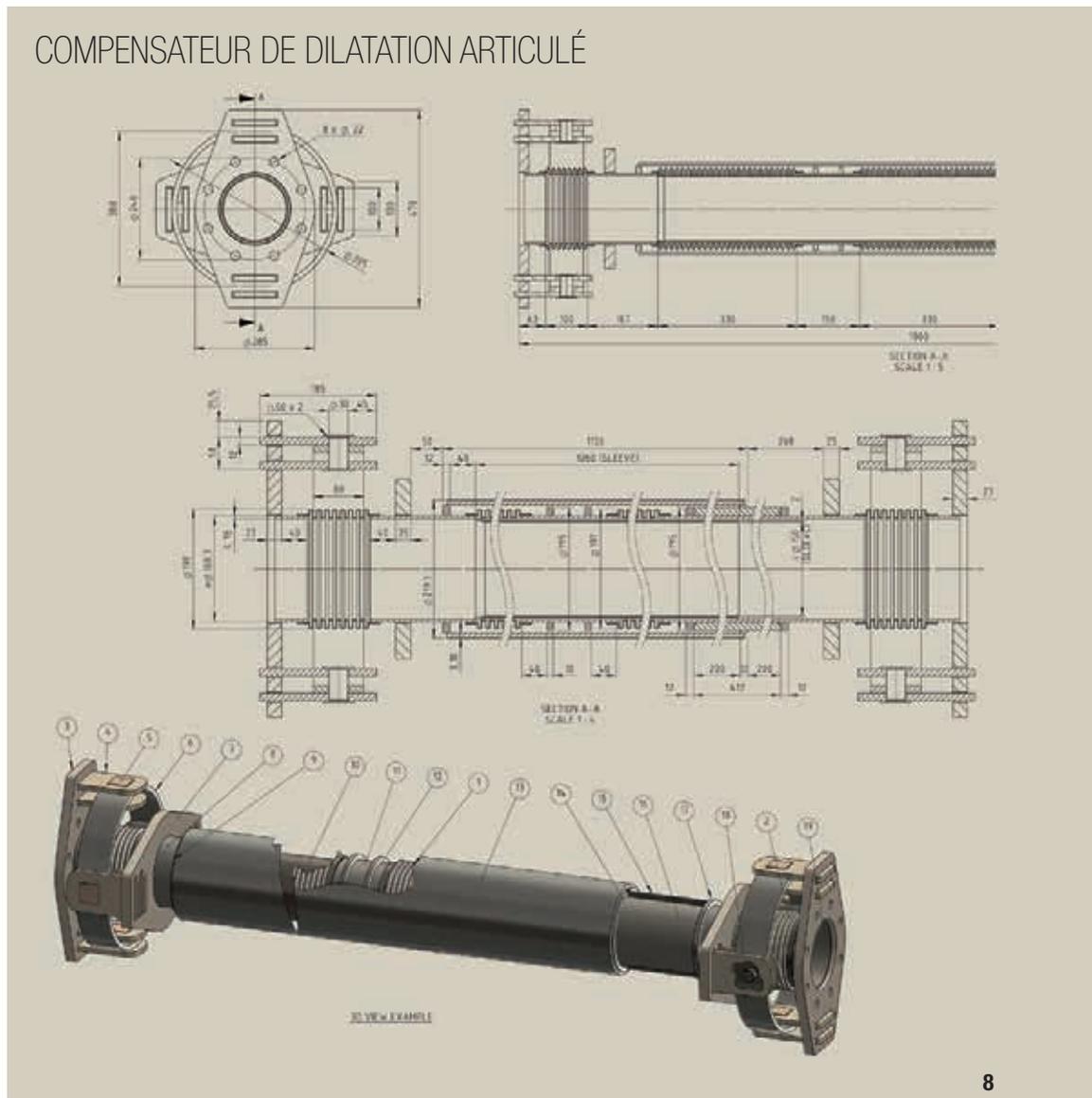
Une attention particulière a été portée aux passages entre bâtiments, de façon à les laisser libres en cas de séisme. La conception technique des réseaux desservant le plateau technique a été adaptée du fait de la présence des isolateurs parasismiques. En effet, les mouvements différentiels entre la terre et le socle peuvent atteindre 40 cm et nécessitent des précautions complémentaires pour la connexion des réseaux de fluides (figure 7) :

- Les réseaux chaud et froid sont équipés, en limite de bâtiment, de compensateurs de dilatation articulés 2D (figure 8).
- les réseaux de plomberie EF et ECS sont équipés de flexibles (figure 9).
- Les réseaux de fluides médicaux en limite de bâtiment sont équipés de tubes en cuivre spiralés pour suivre le mouvement au droit de la connexion entre la partie fixe et la partie mobile du bâtiment ou de lyres de dilatation selon les diamètres et localisations.
- Les réseaux d'eaux usées seront équipés de boîtes de compensation de mouvement (figure 10). Ces boîtes sont réalisées en PVC HD avec des jupes en accordéon, sangles et renforts de stabilisation et montées sur des supports en acier.
- le supportage des réseaux intérieurs au bâtiment est classique, les mouvements internes étant limités.

LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE CYCLONIQUE

Les cyclones présentent le seul avantage d'être annoncés quelques jours avant leur arrivée. Leurs effets sont variables, allant de vents particulièrement destructeurs et d'objets projetés à de grandes inondations et pluies torrentielles. Compte tenu de leur fréquence dans les Antilles, il est d'autant plus important de concevoir un hôpital en mesure d'assurer la continuité des services de santé en cas de cyclones. Le CHU est situé à 5 km de la mer,

COMPENSATEUR DE DILATATION ARTICULÉ



8

© CAPLFEK



9

© INGEROP

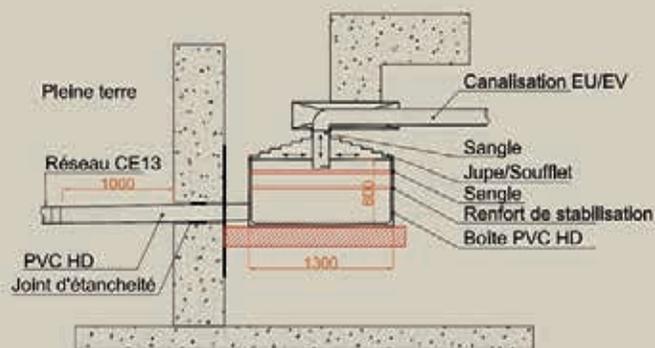
8- Compensateur de dilatation articulé.
9- Flexible sur Eau froide.

8- Articulated expansion joint.
9- Cold water flexible pipe.

hors zone inondable. Il est également à une quinzaine de mètres au-dessus de la mer, ce qui le protège déjà des inondations.

Afin de prendre encore mieux en compte la violence des derniers cyclones antillais, l'ARS a demandé à Architecture-Studio et Ingérop d'étudier avec le CSTB la résilience du CHU aux cyclones de catégories 5, au-delà de la réglementation actuelle.

BOÎTE DE COMPENSATION DE MOUVEMENT SUR EAUX USÉES/EAUX VANNES



10

© INGEROP

Des tests exceptionnels ont été réalisés par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) en vue d'assurer la résistance du projet pour des vents allant jusqu'à de 250 km/h. Ces tests ont été réalisés à Nantes, dans la plus grande entreprise de soufflerie de France. Le bureau d'étude a travaillé sur deux éléments majeurs :

- Une modélisation numérique du vent pour préciser son comportement qualitatif (effet venturi, analyse des filets) en fonction de ses caractéristiques et de l'environnement présent. Un modèle numérique pour des essais physiques y a été préparé.
- Des essais en soufflerie atmosphérique travaillés autour de soufflerie physique par palier de 15° afin de quantifier différentes pressions de vent. Ils en ont extrait des données numériques afin d'analyser la structure postérieure.

La résistance au cyclone justifie une attention jusque dans les petits détails de fixation et concerne beaucoup de

10- Boîte de compensation de mouvement sur Eaux usées/ Eaux vannes.

10- Movement compensation box on wastewater/black water.

corps d'état. Le CHU est hautement sécurisé dans ses alimentations en fluides (eau, électricité, fluides médicaux, téléphone). Les réseaux et branchements sont systématiquement enterrés et ne sont donc pas sensibles au vent cyclonique.

Cependant, des dispositions particulières sont prises pour que le CHU ne soit pas affecté en cas de cyclone. Pour exemple :

- Les équipements de productions de froid et les productions de fluides médicaux extérieure seront mainte-

nus en position par un système de fixation au sol ou d'haubanage avec majoration des efforts d'ancrage.

- Les équipements de ventilation sont protégés dans des locaux techniques ou abrités par des sur-toitures.
- Pendant les phases les plus critiques, les prises d'air et les rejets des installations de ventilation seront protégés par des registres motorisés asservis.
- Enfin, du fait de la sensibilité des réservoirs d'eau des concession-

naires et de la turbidité de l'eau collectée lors des cyclones, des dispositions de stockage en sous-sol du bâtiment plateau technique offrent 72h de consommation normale d'eau potable et une réserve d'eau incendie. En cas de cyclone : l'établissement ferme la vanne d'arrivée d'eau du concessionnaire 6 heures avant la prévision d'arrivée du cyclone. Un filtre à sable protège l'installation contre la turbidité lors de la remise en eau à l'issue de l'événement. □

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

SUPERFICIE : 85 000 m² SDO

CAPACITÉ : 618 lits et places

PLATEAU MÉDICOTECHNIQUE : 14 salles d'opération

HÉLISTATION

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : C.H.U. de la Guadeloupe

MANDATAIRE MAÎTRISE D'OUVRAGE : Groupement Icade/Semsamar

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Architecture-studio (architecte mandataire)

ARCHITECTES ASSOCIÉS : Babel, L'Agence

BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES : Ingérop

Ecocités, Agence Ter, Tess, Tecsol Antilles, DacAC Antilles, Acoustique Vivid & Associés, Tess, Vulcanéo, Les Éclaireurs Dynamique concept, Pierre Angulaire, Caraïbes Paysage, Etec, Vulcanéo, Guez Caraïbes

ENTREPRISES DE CONSTRUCTION

TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX : Groupement Edt / Stpa

PRÉPARATION DU PAYSAGE : Groupement Bac&Jardins / Jashi

INSTALLATION INITIALE DE CHANTIER : Icm

LOT D CONSTRUCTION, FLUIDES ET ÉQUIPEMENTS :

Groupement Pizzarotti / Sotradom / Axima

LOT E ESPACES EXTÉRIEURS :

Groupement Sgec / Urbaclo TP / Gaddarkhan

LOT F FINITIONS : Groupement Pizzarotti / Sotradom

ABSTRACT

A LATEST-GENERATION HOSPITAL FOR GUADELOUPE

FRANÇOIS DUPIRE, INGEROP - LAURENT-LE DEVEHAT, INGEROP

Guadeloupe's future university teaching hospital ("CHU") will replace the present establishment on a new site. It will be one of the first new-generation teaching hospitals. Adapted to the climate and the island's life style, CHU des Abymes was conceived by its designers as a hospital of the extremes. It will be equipped not only with the latest technologies in the medical field but also with the best architectural and engineering technologies. In particular, its fluids and energy production and distribution facilities must be able to respond to any health crisis of biological or epidemiological origin, seismic risks, cyclones and climatic stresses in a tropical region. □

UN HOSPITAL UNIVERSITARIO DE ÚLTIMA GENERACIÓN PARA GUADALUPE

FRANÇOIS DUPIRE, INGEROP - LAURENT-LE DEVEHAT, INGEROP

El futuro centro hospital universitario (CHU) de Guadalupe sustituirá al centro actual en una nueva ubicación y será uno de los primeros CHU de nueva generación. Adaptado al clima y al modo de vida insular, el CHU de Abymes ha sido ideado por sus diseñadores como un hospital que puede actuar en condiciones extremas. No solo estará dotado de las más avanzadas tecnologías en el campo médico, sino también de las mejores técnicas arquitectónicas y técnicas. En particular, sus instalaciones de producción y distribución de fluidos y energía deben poder responder a cualquier crisis sanitaria de origen biológico o epidemiológico, a riesgos sísmicos y ciclónicos, y a las circunstancias climáticas en zona tropical. □



VERS LA SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES TUNNELS ROUTIERS

AUTEURS : FLORENT GUIRAL, INGÉNIEUR CHARGÉ D'ÉTUDES EN SÉCURITÉ/EXPLOITATION, EGIS - OLIVIER MARTINETTO, EXPERT QUALIFIÉ AGRÉÉ EN SÉCURITÉ ET ÉQUIPEMENTS, EGIS

CONCERNANT LES BUDGETS D'UN TUNNEL, L'APPROCHE MAJORITAIRE CONSIDÈRE AUJOURD'HUI LE COÛT GLOBAL "INVESTISSEMENT + EXPLOITATION/MAINTENANCE". LES SYSTÈMES D'ÉQUIPEMENT SONT TOUJOURS PLUS NOMBREUX ET SOPHISTIQUÉS AU RISQUE D'ENGENDRER UNE DÉRIVE DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES. À L'HEURE DE LA SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE, IL EST ESSENTIEL DE RAPPELER LES PRINCIPAUX LEVIERS D'ACTION SUR LES CONSOMMATIONS, D'ÉLARGIR LE POINT DE VUE À L'ENSEMBLE DES CONSOMMATIONS DIRECTES ET INDIRECTES ET À L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE, DE PROMOUVOIR LES CONCEPTS D'ÉCOCONCEPTION, DE *LEAN-TECH* OU DE *LOW-TECH*.

CONTEXTE

Les tunnels routiers disposent, pour la plupart, de nombreux équipements d'exploitation et de sécurité imposés par les exigences réglementaires, les contraintes relatives à leur environnement spécifique et aux caractéristiques du trafic, ainsi que par les moyens d'exploitation et de maintenance (voir encadré).

La consommation électrique de l'ensemble de ces équipements, très variable d'un ouvrage à l'autre, peut être considérable (tableau A).

Dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique, on va montrer de quelles manières les acteurs du transport routier peuvent contribuer à la sobriété énergétique, quels sont les leviers d'actions qui permettraient d'aller encore plus loin et quelles sont les pistes envisageables pour les années à venir.

PÉRIMÈTRE

Un ouvrage, quel qu'il soit, entraîne des consommations énergétiques, directes et indirectes, tout au long de son cycle de vie.

En se limitant à la phase d'exploitation/maintenance, la plus longue du cycle, il faut garder à l'esprit que les orien-

tations prises dès la conception ont des conséquences extrêmement importantes sur les impacts environnementaux et les consommations énergétiques de toutes les phases qui suivront.

De nombreux maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre privilégient depuis

quelques années une approche plus globale des coûts d'investissement et d'exploitation/maintenance, approche qui mérite sans doute d'être encore généralisée et étendue pour mieux intégrer les opérations de maintenances lourdes/rénovations, voire de déconstruction.

TABLEAU A : CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

(extrait du Guide pour la maîtrise des coûts de fonctionnement des tunnels routiers - 2005)

Type d'ouvrage		Long.	Conso. annuelle	
Tunnel interurbain	Bidirectionnel	0,35 km	196 304 kWh	
Tunnel interurbain	Unidirectionnel	Bi-tube autoroutier	0,8 km	819 782 kWh
Tunnel interurbain	Bidirectionnel	4,8 km	2 118 000 kWh	
Tunnel interurbain	Unidirectionnel	Bi-tube autoroutier	3,2 km	1 659 363 kWh
Tunnel urbain	Unidirectionnel	Bi-tube	1,4 km	1 794 595 kWh
Tunnel transfrontalier	Bidirectionnel	12,9 km	16 504 143 kWh	



3
© EGIS

Une première approche consiste à passer en revue chaque famille d'équipements pour voir quels sont les paramètres sur lesquels il est possible d'agir et quels sont les moyens d'action qui permettraient d'éviter, de réduire ou de compenser les besoins en énergie, tant pour des ouvrages neufs qu'en exploitation :

ÉCLAIRAGE

- Les besoins en éclairage dépendent de nombreux facteurs parmi lesquels les caractéristiques du site et celles du trafic. Les techniques utilisées pour satisfaire lesdits besoins sont ensuite déterminantes.
- L'orientation, la géométrie et l'habillage extérieur des têtes d'un tunnel routier influencent le besoin en éclairage de renforcement. Il n'est pas toujours aisé de modifier l'orientation des têtes, nécessairement cohérente avec un tracé. En revanche, la géométrie et surtout l'environnement extérieur des têtes méritent une attention particulière. Les caractéristiques de la chaussée ont aussi un impact sur le besoin en éclairage tout comme la couleur des piédroits, sous réserve qu'ils soient nettoyés régulièrement (figure 3).
- Une diminution de la vitesse maximale autorisée permet de réduire très significativement le besoin d'éclairage de renforcement (en plus de réduire la consommation directe d'énergie - fossile - des véhicules et leurs émissions de polluants).
À titre d'exemple, réduire la vitesse de 90 à 70 km/h permet de réduire la puissance de l'éclairage de renfort d'environ 30% (et le gain est supérieur encore entre 110 et 90 km/h).
- La photométrie des luminaires, leur implantation et la technologie des sources lumineuses sont également dimensionnantes pour l'éclairage.

À titre d'exemple, une gestion fine des régimes d'éclairage par variation plutôt que par commutation de circuits peut permettre un gain de 20 à 30% environ.

- Enfin, un réglage fin des installations en luminance, au plus près des exigences du dimensionnement, permet d'éviter les surconsommations habituelles liées au réglage en éclairage⁽¹⁾. À titre d'exemple, une approche en luminance⁽¹⁾ peut permettre un gain de 10 à 20%, voire plus.

VENTILATION TUNNEL

- Les caractéristiques du trafic (nature, volume, vitesse, risques de congestion) et les caractéristiques géométriques de l'ouvrage (longueur, section, profil en long) sont les paramètres déterminants pour la ventilation d'un tunnel routier.
- La présence de véhicules de gabarit et tonnage importants influe négativement sur les pertes de charges et sur le type d'incendie de référence

3- Ouvrage équipé de luminaires LED avec piédroits peints en blanc - Tunnel de Baza (RN102 - DIRMC).

4- Les accélérateurs fixés en voûte permettent d'assurer la ventilation longitudinale du tunnel de Violay (A89 - ASF).

3- Structure fitted with LED luminaires with side walls painted white - Baza Tunnel (RN102 - DIRMC).

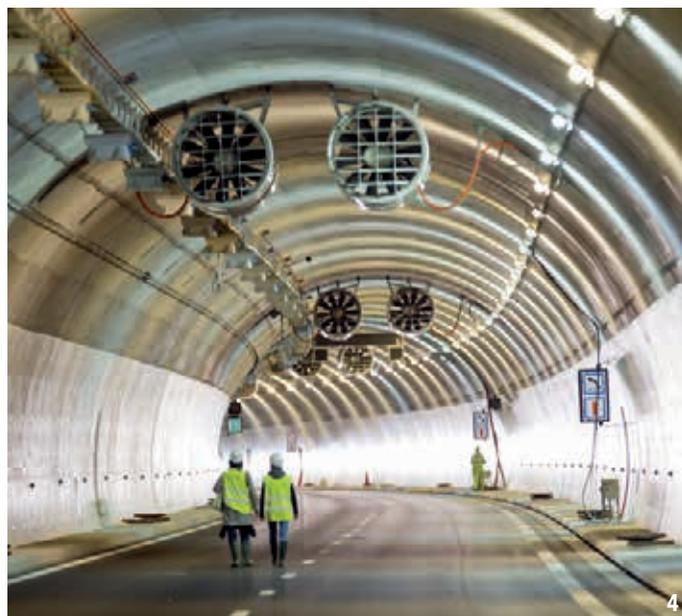
4- Roof-mounted circulators ensure longitudinal ventilation of Violay Tunnel (A89 - ASF).

à prendre en compte et demande donc des puissances de ventilation supérieures.

- La vitesse des véhicules a deux effets opposés :
 - Elle crée un effet de pistonement (dans les ouvrages unidirectionnels) qui contribue à l'évacuation longitudinale des polluants mais ...
 - Elle génère de manière proportionnelle des débits de pollution qui peuvent nécessiter un renouvellement en air frais, en particulier pour les ouvrages d'une certaine longueur.

De fait, la vitesse des véhicules est un enjeu de première importance.

- Une longueur importante entraîne plus de frottements pariétaux, donc une puissance de ventilation plus importante. Optimiser la longueur du tunnel peut donc avoir du sens sous réserve que cette réduction n'augmente pas la longueur à parcourir à l'air libre de façon disproportionnée.
- Une petite section offre un meilleur effet piston avec plus de vitesse mais comme c'est le débit de dilution qui nous intéresse ici, le produit "vitesse x section" est plus faible. En désenfumage, une section plus faible est préférable.
- Enfin, le profil en long joue un rôle important du fait de son impact sur les émissions de polluants (en ventilation sanitaire) et sur la dynamique des fumées (en désenfumage). De fait, les fortes déclivités sont à considérer de près.
- Un ouvrage unidirectionnel a en principe des besoins de ventilation sanitaire réduits grâce à un effet de pistonement des véhicules plus important. Les infrastructures de ventilation de désenfumage sont moins lourdes car une ventilation longitudinale est généralement suffisante (voir figure 4). À l'inverse, un ouvrage bidirectionnel nécessite en général une ventilation sanitaire



4
© EGIS

mécanique plus fréquente (en l'absence de courant d'air lié au pistonnement) et des infrastructures plus lourdes pour assurer une ventilation sanitaire et de désenfumage transversale (via des gaines sous voûte et des usines de ventilation aux têtes) (figures 5 et 6).

→ Une congestion récurrente du trafic fait apparaître des risques spécifiques et nécessite des dispositifs particuliers pour la ventilation sanitaire et de désenfumage. La ventilation sanitaire sera davantage sollicitée par l'accumulation de polluants et la gestion des cas d'incendie avec un trafic bloqué nécessitera une ventilation transversale (avec usines de ventilation, gaines de désenfumage, ...) ou longitudinale avec contrôle du courant d'air (pour conserver la stratification des fumées) plus conséquente et énergivore.

→ Un ajustement fin de la ventilation sanitaire et du niveau de pollution au plus près des seuils admissibles, grâce à des capteurs adaptés et à des algorithmes de contrôle, permet d'éviter une sur-ventilation de l'ouvrage.

CHAUFFAGE-VENTILATION-CLIMATISATION (CVC)

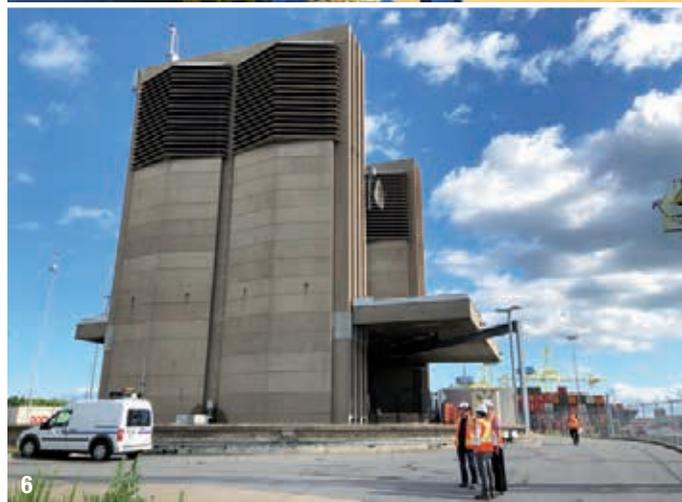
→ Le dimensionnement des installations de CVC est directement lié aux architectures systèmes (redondances matérielles, virtualisation, ...), au choix des équipements (rendements intrinsèques des matériels) et au cloisonnement des locaux techniques. Travailler sur chacun de ces paramètres permet à la fois de garantir des conditions de fonctionnement adaptées à chaque type de matériel et d'optimiser l'énergie consommée pour traiter les dissipations thermiques parasites.

À ce titre (figure 7) :

- Seules les batteries d'onduleur nécessitent d'être maintenues à environ 20°C, les autres matériels admettant des températures de fonctionnement supérieures.

- Un équipement de 80 kW avec un rendement de 0,93 dissipe environ 5,6 kW qui nécessiteront une climatisation d'une puissance électrique d'environ 2 kW.

→ Les renouvellements d'air hygiéniques dans les locaux techniques doivent également être adaptés au strict nécessaire en évitant la conception d'installation de ventilation trop énergivores.



5- La ventilation transversale est assurée via des gaines de ventilation par des ventilateurs d'extraction et de soufflage situés dans des usines de ventilation.

6- Une des deux usines de ventilation (extraction et soufflage) du tunnel Louis-Hippolyte-La-Fontaine.

5- Transverse ventilation is provided via ventilation ducts by exhaust and air blast fans located in ventilation plants.

6- One of the two ventilation plants (exhaust and air blast) of Louis-Hippolyte-La-Fontaine Tunnel.

→ La récupération d'énergie grâce à des centrales de traitement d'air double flux peut être mise en œuvre dans certains cas.

POMPAGE

→ La maîtrise de l'étanchéité d'un ouvrage limite les fuites parasites qui déterminent les volumes à pomper.

→ Les caractéristiques du réseau de refoulement (longueur, diamètre, HMT, ...), celles des pompes (type, puissance, rendement) et de leur gestion sont ensuite déterminantes. Pour mémoire, il peut être plus performant en exploitation comme en maintenance de mettre en œuvre plusieurs pompes de petite puissance plutôt qu'une pompe de forte puissance et, le cas échéant, de segmenter les réseaux.

DÉFENSE INCENDIE

→ La mise en œuvre de surpresseurs à demeure (figure 8) est à discuter avec les services de secours concernés qui peuvent parfois se satisfaire de leurs propres équipe-

ments moyennant quelques dispositions spécifiques passives telles que des conduites de liaison entre tubes ou entre tunnel et surface.

→ Sur le même principe, la mise en œuvre d'un système fixe de lutte contre l'incendie (SFLI) représente un coût énergétique très élevé (fabrication des infrastructures et équipements, consommation directe pour le maintien de la surpression, nombreuses opérations de maintenance et de tests réguliers) même si elle peut présenter un réel intérêt pour la sécurité des usagers dans certains ouvrages.

D'UNE MANIÈRE GÉNÉRALE

Une optimisation des puissances installées (quantité et rendements intrinsèques des matériels) et des modes de fonctionnement (durées de marche, possibilité de variation, ...) constitue la base. Chaque fois que possible, on cherchera en plus à réduire les besoins en actionnant les leviers propres à l'ouvrage lui-même et au trafic qui y transite. Enfin, les contraintes d'entretien - exploitation - maintenance seront obligatoirement prises en compte eu égard aux enjeux des coûts annexes et environnementaux.

CONSOMMATIONS INDIRECTES ET EXTERNALITÉS

En dehors des consommations énergétiques directes qui sont souvent électriques, il faut également considérer les consommations indirectes et toutes les externalités, qui sont majoritairement d'origine fossile.

On peut par exemple citer le carburant de tous les véhicules qui empruntent l'ouvrage : un ouvrage souterrain permet généralement, en particulier dans le cas des tunnels interurbains ou des tunnels de montagne, de réduire la distance et/ou le dénivelé parcourus par les véhicules, ce qui permet de réduire leur temps de parcours et leur consommation de carburant par rapport à l'itinéraire initial (sous réserve d'un différentiel de vitesse limité entre les deux itinéraires et d'une réduction suffisante de la distance à parcourir). Cependant, cette meilleure performance de l'itinéraire souterrain favorise les déplacements qui deviennent alors plus fréquents. Or le profil en long des ouvrages a des conséquences significatives sur la consommation unitaire des véhicules qui, multipliée par ce trafic accru, peut donner des surconsommations d'énergie (principalement fossile) très importantes. ▷



7 © EGIS



8 © EGIS

Il serait donc préférable de privilégier des ouvrages avec des déclivités les plus faibles possibles pour limiter ces surconsommations (fossiles) qui ne sont pas directement visibles, tout en restant vigilant sur la longueur des ouvrages qui entraîne des besoins plus importants en éclairage, en ventilation et autres équipements. In fine, il s'agira donc de trouver le meilleur compromis entre faible déclivité et longueur modérée des ouvrages. Une autre consommation d'énergie indirecte concerne les équipements (principalement électroniques et électromécaniques) qui sont installés dans les tunnels (figure 9).

Ces équipements demandent des quantités d'énergie relativement importantes pour extraire les ressources nécessaires, les fabriquer et les transporter jusqu'au lieu d'installation. Il faudra donc autant que possible favoriser le réemploi de matériel existant, l'utilisation de matériaux recyclés, l'origine locale des équipements utilisés et s'assurer du bon retraitement/recyclage en fin de vie.

La durabilité et la réparabilité des équipements installés est également un aspect important permettant de limiter le besoin de remplacement à neuf des équipements et les consommations énergétiques associées.

Ce sujet est d'autant plus important qu'en fonction du pays d'où viennent les ressources nécessaires et du pays de fabrication des équipements, les énergies utilisées ne sont pas forcément toujours aussi décarbonées. Il faut donc être vigilant sur le fait, par exemple, qu'un équipement LED fabriqué dans un pays à l'économie très carbonée peut avoir un impact carbone et énergétique indirect plus important que l'économie d'énergie directe qu'il permettra de faire pendant toute sa durée d'utilisation.

QUEL FUTUR ?

Deux démarches sont possibles :

→ D'une part, le recours systématique à la technologie et au développement de nouveaux systèmes pour espérer réduire des consommations directes ;

→ D'autre part, la mise en application concrète des concepts d'écoconception, de *Lean-Tech* (utilisation au plus juste de la technologie) ou de *Low-Tech* (recours à des solutions sobres, nécessitant le moins de *High-Tech* possible).

Les débats en cours et l'urgence climatique trancheront-ils pour l'une ou l'autre des démarches ? Probablement pas à court terme et c'est pourquoi, plutôt que de les opposer, il nous semble intéressant d'accompagner la première (tendance ancienne fortement ancrée) et de privilégier la seconde (tendance plus récente qui se développe) sachant que, dans chacun des cas, il s'agit :

→ D'élargir le point de vue en considérant l'ensemble du "système tunnel" (infrastructure et équipements)

7- Cellules haute tension et transformateurs HT/BT situés dans un local technique climatisé.

8- Local technique surpresseur pour alimentation du réseau incendie.

9- Mur d'image dans une salle d'exploitation.

7- High-voltage units and HV/LV transformers in an air-conditioned plant room.

8- Booster pump plant room for supplying the fire protection system.

9- Multiscreen show in an operations room.

et l'ensemble du cycle de vie (de la conception à la déconstruction) ;

- De s'intéresser aux causes plus qu'aux effets ;
- De faire dès aujourd'hui tout ce qu'il est possible de faire même si l'impact est limité.

La mise en application des concepts d'écoconception, de *Lean-Tech* ou de *Low-Tech*, (figures 10 à 12) est un sujet vaste et complexe qui mériterait de plus amples développements.

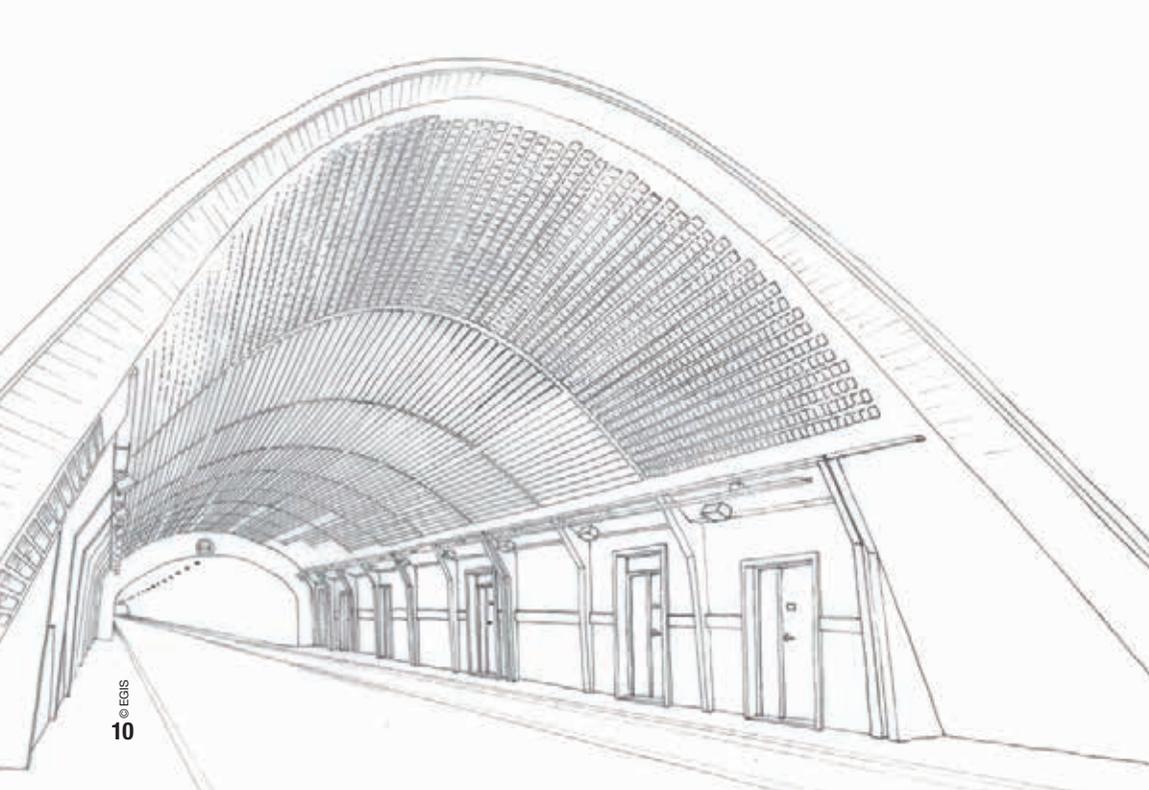
CONCLUSION

Avant toute chose, lorsqu'il n'est pas possible de se passer totalement d'une consommation énergétique, il est préférable de réduire les besoins et d'optimiser les systèmes existants. À ce titre, il est recommandé :

- De bien caractériser lesdites consommations en mettant en œuvre des outils de suivi fin, en particulier des sous-comptages par métier ;
- Idéalement, de faire varier les paramètres les plus impactants de chaque métier ;



9 © EGIS



© EGIS
10

10, 11 & 12- Les têtes du tunnel Jenner sont un exemple d'écoconception datant des années 50 : chaque tête est équipée d'une verrière évasée avec ajoutement progressif (densité croissante des carreaux de verre) permettant de réduire le besoin d'éclairage de renforcement (Tunnel Jenner - Le Havre Seine Métropole).

- A minima, de procéder aux optimisations les plus simples et rapides ;
- De traiter en priorité les causes plutôt que leurs effets ;
- De privilégier une approche globale du cycle de vie.

En plus des externalités et des consommations indirectes invisibles induites par la fabrication et le transport de nouveaux équipements, le recours systématique à la technologie et au développement de nouveaux systèmes pour espérer réduire des consommations directes pourrait relever d'une fuite en avant

ou d'une illusion sans garantie d'économies globales. En d'autres termes, le remède technologique peut être pire que le mal par les effets rebonds importants qu'il peut engendrer. D'autres pistes restent à exploiter pour éviter ou réduire encore les consommations énergétiques en tunnel parmi lesquelles une mise en œuvre concrète des concepts d'écoconception, de *Lean-Tech* ou de *Low-Tech*. Il faudra dans tous les cas s'interroger et chercher un juste équilibre entre les exigences suivantes :

- Niveau de sécurité (acceptation du risque) ;
- Niveau de service de l'infrastructure dont le tunnel est un maillon (adéquation entre les besoins et usages qui évoluent, acceptation des contraintes). □

1- Pour mémoire, l'éclairage, exprimé en lux, caractérise la densité de flux lumineux reçu par une surface et est indépendant de la nature de la surface, tandis que la luminance permet de quantifier l'impression lumineuse perçue par un observateur qui regarde cette surface, en tenant compte des différentes réflexions et transmissions.

10, 11 & 12- The portals of Jenner Tunnel are an example of eco-design dating from the 1950s: each portal is provided with a flared glass roof with gradually larger openings (increasing density of glass panes) to reduce the need for artificial lighting (Jenner Tunnel - Le Havre Seine Métropole).



11
© EGIS



12
© EGIS

ABSTRACT

MEASURES FOR LOW ENERGY CONSUMPTION IN ROAD TUNNELS

FLORENT GUIRAL, EGIS - OLIVIER MARTINETTO, EGIS

The electricity consumption of all the equipment of a road tunnel, highly variable from one tunnel to another, can reach very high levels. In the current context of efforts to prevent climate change and from a perspective of low energy consumption, there are means of action to reduce the energy consumption of a tunnel in the operating phase (the longest phase in the life cycle). We review the main factors, direct and indirect, influencing the energy consumption of a tunnel. Ideas for optimisation are proposed. □

HACIA LA SOBRIEDAD ENERGÉTICA EN LOS TÚNELES VIARIOS

FLORENT GUIRAL, EGIS - OLIVIER MARTINETTO, EGIS

El consumo eléctrico del conjunto de equipamientos de un túnel viario, muy variable de una construcción a otra, puede alcanzar niveles considerables. En el contexto actual de lucha contra el cambio climático y en una perspectiva de sobriedad energética, existen vectores de acción para reducir los consumos energéticos de una obra en fase de explotación (la más larga del ciclo de vida). Analizamos los principales parámetros que influyen en los consumos energéticos, directos o indirectos, de una construcción, al tiempo que ofrecemos pistas para su optimización. □



1
© EGIS

ITER : DES DÉVELOPPEMENTS EXPÉRIMENTAUX AU SERVICE D'UN GRAND PROJET

AUTEURS : GILLES SCHANTLE, DIRECTEUR DE PROJET, ENGAGE ARCHITECT ENGINEER, EGIS - MARC POSTOLLEC, CHIEF ENGINEER, ENGAGE ARCHITECT ENGINEER, EGIS - ALAIN BAUDRY, 3D MODEL MANAGER, ENGAGE ARCHITECT ENGINEER, EGIS - ANTOINE BRINGER GUERIN, CHEF DE PROJET, ENGAGE ARCHITECT ENGINEER, EGIS - ALEXIS BOMBARD, PLANNING/OPC, ENGAGE ARCHITECT ENGINEER, EGIS

ITER EST UNE EXPÉRIENCE SCIENTIFIQUE À TRÈS GRANDE ÉCHELLE QUI DOIT DÉMONTRER LA FAISABILITÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE DE L'ÉNERGIE DE FUSION, ET OUVRIR AINSI LA VOIE À SON EXPLOITATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE. DE FAIT, LA CONDUITE DU CHANTIER S'ACCOMPAGNE DU DÉVELOPPEMENT D'OUTILS ET DE MÉTHODOLOGIES SPÉCIFIQUES. QUATRE DE CES DÉVELOPPEMENTS SONT PRÉSENTÉS CI-DESSOUS : LA CAPACITÉ PORTANTE DES PLATINES SCELLÉES, L'INTÉGRATION DES MODÈLES, LA MAÎTRISE DU PLANNING ET DE LA GESTION DE LA COORDINATION, LE MANAGEMENT D'UN PROJET MULTI-ACTEURS.

P our en savoir plus sur l'objectif scientifique du projet ITER, on pourra relire l'article publié en 2018 dans le numéro 941 de la Revue Travaux. Le présent article traite plus des méthodes de suivi du chantier.

CAPACITÉ PORTANTE DES PLATINES SCELLÉES

Il a été décidé au démarrage du projet ITER que la totalité des équipements serait fixée au génie civil par l'intermédiaire de platines scellées, présentant

1- Cryostat bearings.

1- Cryostat bearings.

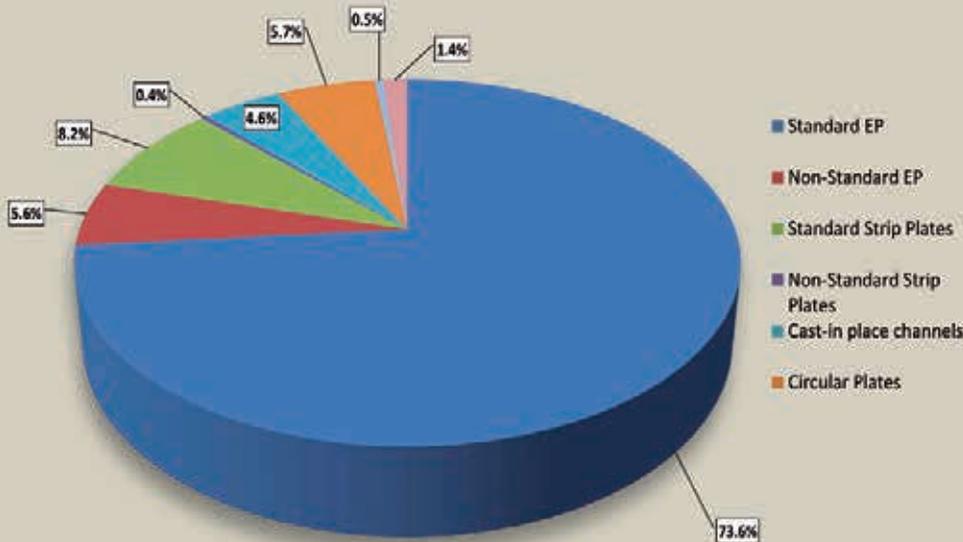
une plus grande capacité portante que les platines post-chevillées et une réduction du risque de dégradation des armatures du fait du chevillage. Cette contrainte était censée encourager l'étude des lots techniques en cohé-

ÉVOLUTION DU NOMBRE D'EP (Tokamak complex - Estimated number of EPs)



© EGIS 2

TYPLOGIE DES PLATINES (Plate types)



© EGIS 3

rence et en lien avec l'avancement du génie civil.

Nombreux sont ceux à l'origine du projet qui ont pu penser qu'une fixation dans une paroi de béton était d'une grande banalité. C'était sous-estimer l'exigence de qualité qui est l'une des grandes marques de ITER. D'une part, le contexte nucléaire imposait un degré de fiabilité et des justifications exceptionnels, mais, d'autre part, l'importance des charges à fixer (pouvant atteindre

2- Évolution du nombre d'EP.
3- Typologie des platines.

2- Growth in the number of EPs.
3- Type of plates.

plusieurs centaines de tonnes), la densité des équipements (et, de fait, le risque d'interaction entre leurs fixations), les incertitudes pesant sur la détermination des efforts en situation accidentelle, ainsi que des domaines insuffisamment couverts par le code de calcul initialement imposé, ont conduit l'Ingénierie à engager une démarche expérimentale sur un sujet a priori très traditionnel. C'est donc dans ce contexte et au sein du groupement d'Ingénierie Engage,

architecte-ingénieur de l'opération, qu'Engis a poursuivi le développement de solutions innovantes pour la conception, la mise en oeuvre et la justification de platines scellées dans le Tokamak Complex. Nous proposons aujourd'hui un zoom sur la vérification de la capacité portante des platines.

En effet, à l'origine du projet en 2011, Engage a mis à la disposition des équipementiers un catalogue de platines associé à des courbes d'interaction, leur permettant de pré-dimensionner la connexion au génie civil de leurs supports d'équipements.

La définition des équipements rentrant dans une phase d'exécution design et le génie civil étant en voie d'achèvement, il est apparu nécessaire de vérifier et valider la capacité portante des platines aujourd'hui installées vis-à-vis des charges normales et accidentelles générées par les supports d'équipement. Engage joue ainsi le rôle de vérificateur "tierce partie" sur un volume d'environ 120 000 platines de caractéristiques et typologies variables (figures 2 et 3).

Une procédure d'assistance aux utilisateurs a donc été développée qui est à la fois industrielle (de par le nombre de platines à vérifier et l'automatisation des outils créés) et expérimentale (en raison de l'interprétation des codes de calcul suite aux tests effectués au laboratoire européen de Ispra et grâce à l'optimisation du code de calcul par la prise en compte du ferrailage des parois).

Cette procédure est le LCC (Load Capacity Check) et s'articule comme suit :

- 1- Soumission d'un ticket : Validation des données d'entrée (charges et caractéristique des platines concernées) et détermination de leurs conditions de bord ;
- 2- Analyse de la capacité portante des platines ;
- 3- Synthèse (Validation ou recommandation lorsque la performance de la platine est jugée insuffisante).

Au-delà de la mise en œuvre d'une procédure sous le mode "guichet-service" et de la mise à disposition d'un outil de calcul de référence partagé par les utilisateurs du projet ITER, le développement a porté sur les points particuliers suivants :

- Extension du domaine d'application de l'outil de calcul à toutes les platines mises en œuvre : platines non standard ou très particulières (circulaires, avec clés pour effort tranchant, linéaires...) (figure 4).
 - Traitement automatique des tickets en "grande masse" : Des listes de plusieurs centaines de platines (figure 5), peuvent être analysées en un temps très court (moins de trois secondes par platine).
 - Création d'un outil dédié à la recherche automatique sur le modèle Catia des conditions de bord réelles de chaque platine (voisinage de platines ou proximité de discontinuités dans la paroi porteuse en béton comme dans les trémies). Ces *boundary conditions* sont ensuite reportées dans les attributs de chaque platine et associées à des coefficients réducteurs de la capacité portante de ladite platine (réduction du cône résistant de béton notamment).
- La séquence est la suivante :
- Capture du *tagging* des platines cibles constituant le ticket,

PÉRIMÈTRE DES PLATINES CONSIDÉRÉES

CBT V06.0 EPs Scope					
Standard Eps	NEW Tailor Made Eps	Special Eps <small>(with shear connectors / typical additional reinforcement)</small>	NEW Strip Plates (SP/ST 100)	NEW Cast-in place Channels	NEW Circular EP (NS-CT300)

4 © EGIS

- Récupération des paramètres des platines cibles,
- Boucle récursive (traitement de listes de platines multiples) déroulant l'arborescence de Catia (Dassault Systèmes) pour assemblage de l'environnement des platines cibles du niveau concerné,
- Analyse déroulée de *clash* par *scanning* entre platines cibles et voisines et mesure de distances entre platines cibles et arrêtes béton,
- Constitution des matrices de position,
- Compilation (distances, orientation) et synthèse (valeurs minimales),
- Report d'information sur le template.xls (VBA),
- Déroulement chaîné du calcul (vérification multi-critères).

Après six mois de fonctionnement en guichet-service, le bilan est très favorable pour l'ensemble des acteurs du Projet ITER (figure 1) : fiabilité, gain de temps, optimisation. Egis envisage d'ores et déjà d'intégrer ce savoir-faire dans la chaîne de valeur proposée sur les projets nucléaires à venir.

4- Périmètre des platines considérées.

5- Load Capacity Check Template.

4- Scope of plates considered.

5- Load Capacity Check Template.

ENCORE DU BIM ? NON, DU DESIGN PLUS PRÈS DE NOTRE RÉALITÉ L'INTÉGRATION DES MODÈLES À GRANDE ÉCHELLE

Comment faire travailler de nombreuses équipes d'ingénierie dans le monde entier, autour d'un large projet complexe et qui est en cours de développement ?

Cette expérience d'ingénierie simultanée est intimement liée à la conduite du changement digital dans les équipes ; celle-ci se concrétise et s'organise

autour d'un super-BIM, parfois européen comme sur le projet de l'EPR britannique, parfois planétaire comme sur le projet ITER, qui fait vivre en continu et en parallèle des dizaines de milliers de modèles 3D simultanément !

L'intégration des modèles à grande échelle, c'est maintenant. Elle nous donne une vision sur le déroulement futur de nos projets d'ingénieries complexes. Et elle s'organise autour d'une unité de trois grandeurs importantes (figure 6) : les ouvrages, le temps et les systèmes.

Sur le projet ITER, cette coordination de tous les jours et de tous les systèmes s'est centralisée autour d'un organe d'intégration total : la Holistic Integration Team.

LES MÉTHODES

Elle s'est également montée autour de méthodes nécessaires pour faire travailler en ingénierie simultanée plus de soixante représentants des quarante-cinq systèmes impliqués. Le noyau de cette méthode est représenté par le cycle d'intégration (figure 7).

© EGIS

5

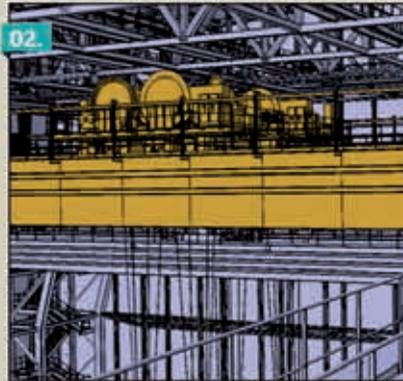
LOAD CAPACITY CHECK TEMPLATE

MODÈLES 3D



01. Le modèle sur l'intégralité des ouvrages

Exemple: infrastructures plateforme de 40 hectares (tunnels, eaux pluviales,...)



02. Le modèle dans le temps

Les entreprises réalisent les modèles détaillés



03. Tous systèmes inclus procédés

© EGIS
6

Elle comprend les étapes suivantes :

- Mise au point d'un référentiel commun de design ;
- Mise à jour des modèles ;
- Identification des problèmes ;
- Finalisation des *layouts* ;
- Et enfin finalisation des calculs, et cycle d'approbation des données.

Afin d'accéder aux derniers groupes de modèles BIM des systèmes, nous avons, par exemple, imaginé aussi un moyen d'accès rapide aux différentes configurations de chaque système (Work in Progress, Approved, ...). Nous avons également développé des outils de déclashage (environ 2000 clashes en instantané sur les bâtiments nucléaires) et de reporting de l'avancement de la modélisation BIM.

LE MULTI-MODÈLE

Nous avons également développé des modèles plus poussés sur la conception détaillée des phases de génie civil ; ces modélisations ont pour but d'anticiper

6- Modèles 3D.

6- 3D models.

en études des problèmes d'interfaces habituellement traités en phase chantier (figures 8 et 9).

Cette multiplication de modèles, le plus souvent sur des outils relativement lourds et spécifiques, pose de nouvelles problématiques.

L'AVENIR

Nous sommes désormais entrés dans une deuxième étape du développement digital des grands projets, dans laquelle l'utilisation du modèle ne fait plus débat, mais aussi dans laquelle les designers demandent une plus grande liberté et veulent sortir du mono-outil imposé pour tout le projet.

L'enjeu à venir va donc être dans la capacité à faire communiquer les

grands modèles (et les grands éditeurs), alors même que l'industrie digitale ne souhaite pas forcément faire ces choix, dans un objectif de conservation et de développement de leur propre marché.

MAÎTRISE DU PLANNING ET GESTION DE LA COORDINATION

Une autre spécificité inhérente à un projet comme ITER est la gestion d'un important volume d'activités, dispatché entre une myriade de parties prenantes et sur une zone géographique grande comme 180 terrains de foot. Au cœur du chantier, entre deux et trois milles compagnons œuvrent quotidiennement à la bonne progression du projet, pour le compte de deux maîtrises d'ouvrage, elles-mêmes appuyées par deux maîtrises d'œuvre de taille conséquente. Pour faire travailler ensemble un aussi grand nombre de personnes, Egis a été amené à développer de nouvelles façons de travailler sous les axes de

la gestion du planning et de la coordination de chantier (mission OPC). Cela s'est trouvé complexifié par un avancement hétérogène du projet, où certains bâtiments n'ont pas encore démarré les terrassements et le génie civil tandis que d'autres, comme le bâtiment réacteur, voient en ce moment même l'assemblage d'éléments mécaniques de grande précision, nécessitant des conditions environnementales proches de celles que l'on peut trouver dans les salles blanches de l'industrie.

Déjà à la baguette d'un planning projet composé de plus de 14000 tâches sous le logiciel Primavera, Egis fut à l'initiative d'une démarche de rapprochement des différents plannings du projet. Jusqu'à présent, ces plannings distincts ne permettaient pas l'inter-relation directe de l'ensemble des activités, afin de détecter automatiquement les impacts des périmètres des uns sur celui des autres et de faire ressortir aisément un chemin critique global pertinent. ▶

Date d'entrée										Date de sortie										Autre information									
ID	Nom	Statut	Plan	Localisation	Quantité	Unité	Unité	Unité	Unité	ID	Nom	Statut	Plan	Localisation	Quantité	Unité	Unité	Unité	Unité	ID	Nom	Statut	Plan	Localisation	Quantité	Unité	Unité	Unité	Unité
1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	6	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	9	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Au travers d'une équipe intégrée planning composée des équipes de contrôle projet des maîtrises d'œuvre et maîtrises d'ouvrage, de nouveaux processus et comités de revue communs ont été créés, en vue de mettre l'accent sur les interfaces et la *mitigation* de retards éventuels, avec pour objectif l'optimum commun projet. Cette démarche de synergie forte des plannings est d'autant plus pertinente dans le contexte d'un projet industriel expérimental à la pointe de la technologie de la fusion nucléaire. En effet, les nombreux ajustements nécessaires au bon fonctionnement ultérieur de la machine amènent en aval des modifications à l'interface process/bâtiments, devant être rapidement intégrés dans le planning et les impacts éventuels analysés et maîtrisés (figure 10). Concernant la gestion de la coordination chantier, la première difficulté fut de définir une stratégie de comitologie dont la granularité et les parties prenantes sont adaptés aux travaux de la zone géographique concernée. Le maillage retenu, qui s'adapte sans cesse aux besoins du chantier, permet à la fois la tenue de réunions de coordination quotidiennes avec les entre-

prises, assurant la gestion en toute sécurité des activités en cours, mais aussi de réunions avec participation plus étendue où est anticipée la bonne imbrication des séquences planning et où sont levés les problèmes éventuels. En complément de cette comitologie, un important effort a été apporté au cours de l'année 2020 en vue de rationaliser et perfectionner les systèmes de gestion des permis de travaux. Les deux logiciels qui coexistaient sur le chantier, gérant séparément les travaux des deux maîtrises d'ouvrage et les zones sous gestion des deux maîtrises d'œuvre, furent fusionnés en apportant les spécificités propres à chacun et en renforçant les circuits de revue et de validation des différents acteurs (entreprises, maîtrises d'œuvre, coordonnateurs HSE, exploitants de réseaux, maîtrise d'ouvrage pour bâtiments en opération...). Cet outil unique créé sur mesure permet de connaître d'un seul coup d'œil les activités en cours ou planifiées et de lister les permis associés avec leur statut d'approbation. De même, en adéquation avec la montée en puissance des phases d'essais et de mise en service, la gestion centralisée au travers de cet outil unique des consi-

gnations et déconsignations a démarré et va se poursuivre en 2021, en y intégrant l'ensemble des opérateurs de réseaux et équipements, qu'ils soient définitifs ou temporaires.

MANAGEMENT D'UN PROJET MULTI-ACTEURS INTERFACES

Le projet ITER présente une très grande diversité de champs techniques. La structuration de cette diversité a été faite en suivant un découpage en "PBS" (*Plant Breakdown Structure*) qui couvre aussi bien les aimants, la chambre à vide, les bâtiments que la surveillance radiologique et environnementale. Chacun de ces PBS, voire chacune des sous-catégories de chaque PBS, est piloté soit directement par ITER Organisation, soit par une des 7 agences domestiques - une pour chacun des partenaires du projet. À l'échelle globale du projet, chaque interface entre chaque PBS fait l'ob-

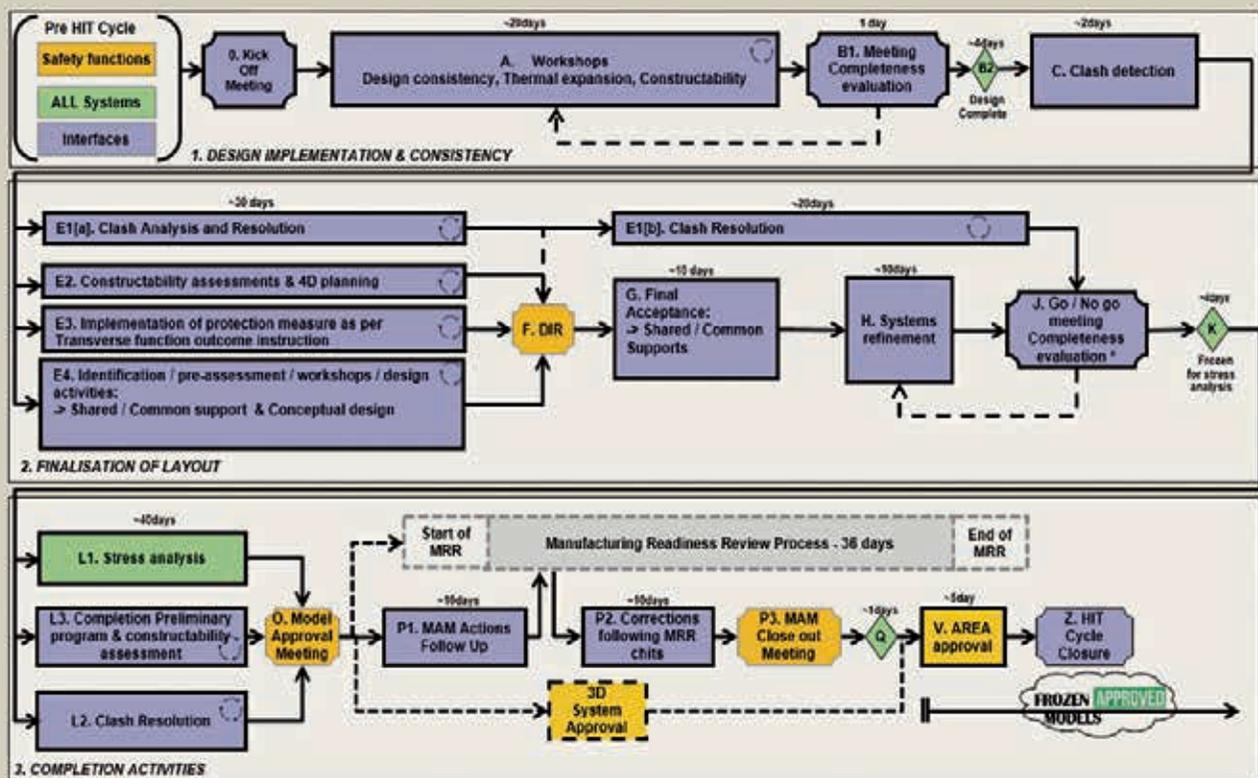
jet d'*Interface Sheet (IS)* qui sert de référence pour chacune des parties prenantes à l'interface. Celle-ci est ensuite déclinée dans les documents des conceptions et suivie au court de sa maturation. Des ajustements continuent d'être faits tout au long du développement de la conception, puis de l'exécution - avec au besoin une mise à jour des IS. Cette structuration formelle des interfaces fonctionnelles est complétée par de la synthèse volumétrique (opérée par une cellule d'intégration 3D) et par un pilotage fin et complexe des plannings des nombreux intervenants.

Si un grand nombre d'interfaces est géré de façon standardisée grâce à l'organisation décrite ci-dessus, restent quelques *happy few* qui ne sont pas si standards. Même si elles sont peu nombreuses au regard du volume global, leur nombre reste non négligeable et mobilise chef de projets, techniciens et experts. Ce nombre est accru par le très grand volume de modifications apporté tout du long du processus, ITER reste un projet expérimental, donc en perpétuelle évolution. Chacune de ces situations est particulière : urgente à résoudre, techniquement complexe et

7- Cycle HIT.

7- HIT cycle.

CYCLE HIT



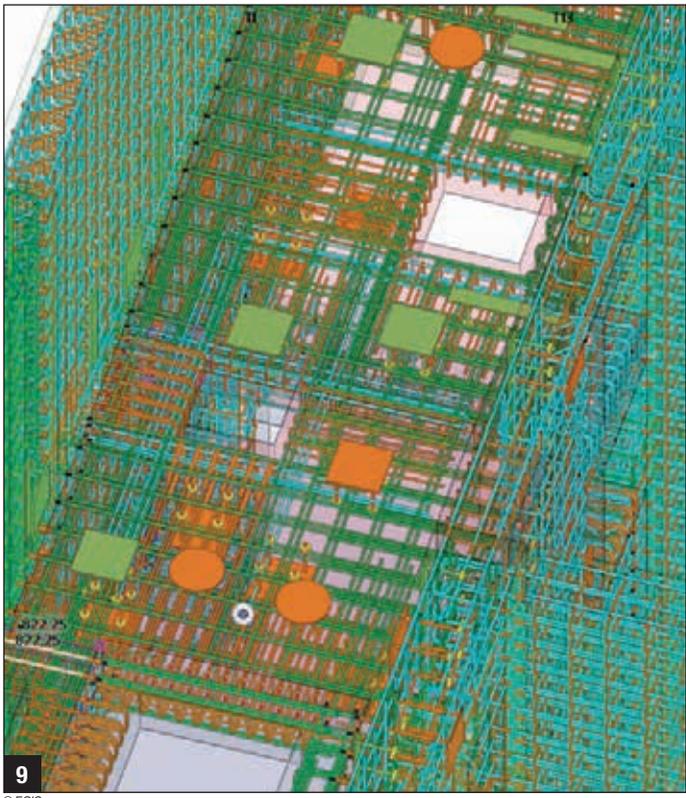


© EGIS 8

impliquant quasi automatiquement des interlocuteurs très variés. Pour la résolution de ces interfaces, le chef de projet se retrouve confronté à des problématiques importées de domaines techniques, souvent en dehors du champ standard de ses compétences - performance des systèmes sur des plages de fonctionnement non standard, tolérance d'installation ou de contrôle ultra-précise, séquençement d'installation fractionné, etc. Dans ces conditions, chaque chef de projet doit absorber les spécificités de chacun pour pouvoir explorer ensemble les solutions potentielles. La discussion qui s'ensuit - souvent animée au regard des enjeux - doit permettre de dégager un consensus acceptable pour le projet mais aussi par tous - le projet ITER est aussi une aventure humaine. Toute la saveur d'ITER apparaît quand on prend en compte l'environnement multiculturel. Tous ces échanges, pour aboutir, doivent tenir compte de la culture de chacun. En effet le langage de l'ingénierie, les pratiques projets et les modes de communication varient de façon importante suivant les cultures. Ne pas en tenir compte peut faire la différence entre le succès ou de l'échec du projet. Ainsi, pour gérer les interfaces multiples et complexes, chacun a dû passer par un apprentissage à la fois des procédures de fonctionnement nécessaires à un projet de cette ampleur mais aussi de la culture ITER : Experte, Transverse et surtout Multiculturelle !

- 8- Exemple 1 modélisation.
- 9- Exemple 2 modélisation.
- 8- Exemple 1 modelling.
- 9- Exemple 2 modelling.

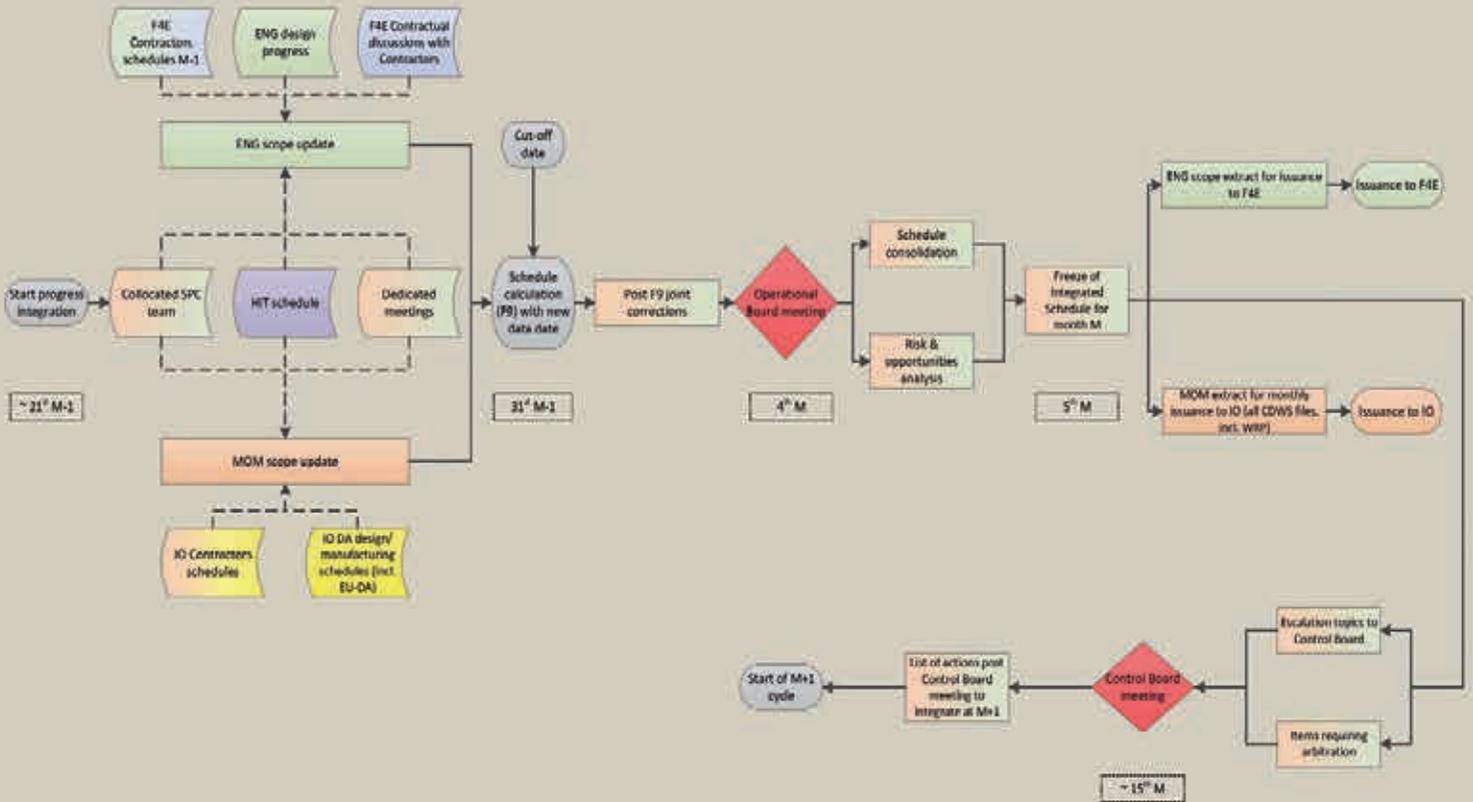
À PROJET HORS NORME, ORGANISATION HORS NORME !
 Si la complexité technique du *Process* ITER et de son assemblage est bien connue, celle des bâtiments et des infrastructures est plus confidentielle - quoi que tout aussi critique pour la bonne réussite du projet ! -. La maturité croissante des systèmes ITER liés au process engendre sur



© EGIS 9

les bâtiments un important niveau de modifications, que ce soit en étude ou en cours de travaux. Il peut s'agir de réévaluer les capacités portantes des platines, voire de bâtiments entiers, d'adapter les structures et les systèmes à un nouveau plan d'installation des équipements modifiant par exemple les charges calorifiques ou encore les charges au feu. De la même manière, la traduction des spécifications systèmes sur les bâtiments lors de la phase de conception, ou même de leur mise en œuvre en phase de chantier, peut se révéler si complexe que les spécifications doivent être réinterrogées en détail afin d'être satisfaites. C'est en particulier vrai pour des équipements spécifiques tel que des unités des traitement d'air ou des clapets fusibles. En tant qu'Architecte-Ingénieur des Bâtiments et des Infrastructures, les équipes d'Engage sont au cœur de ce dialogue qui est quasi permanent. Ce grand volume de modifications très techniques est complexifié par le grand nombre d'acteur : la maîtrise d'ouvrage des bâtiments et infrastructures (l'agence Européenne F4E - EU-DA), l'utilisateur final ITER Organisation ainsi que les autres Agences (DA) en charge de la maîtrise d'ouvrage des divers systèmes. Chaque entité est épaulée par des pôles techniques, maîtrise d'œuvre, assembleur, fabricants et installateurs. Et chaque famille de sujet appelle un pool d'acteurs différents. Bien sûr, aucune de ces discussions ne peut affecter la livraison des bâtiments, qui reste de la responsabilité d'Engage. Engage s'est donc structuré autour de cette contrainte pour garder la maîtrise technique et temporelle tout en discutant avec tous ces acteurs. Un pôle PMO fort, pilotant le planning et les modifications, permet de consolider ces forces contraires, de les analyser et de les synthétiser afin de pouvoir formuler rapidement des propositions à tous les acteurs. Des pôles d'expertise, que ce soit en étude, en supervision de travaux ou en sûreté nucléaire, agissent afin de pouvoir apporter des réponses approfondies et pertinentes aux problématiques soulevés par ces modifications. Un pôle de chefs de projet où chacun d'eux est focalisé sur un ensemble complet à livrer, que ce soit un bâtiment ou un système complet. Chaque chef de projet est le référent sur l'ensemble des sujets affectant sa livraison. Il porte ainsi la vision consolidée des enjeux de chacun.

CYCLE DE MISE À JOUR DU PLANNING INTÉGRÉ (Integrated schedule update cycle)



EN CONCLUSION

ITER est à la fois un projet en construction, avec un chantier faisant partie des plus grands chantiers européens, mais également un lieu d'expérimentations non seulement pour la partie du processus lié à la fusion mais aussi pour les innovations que nous devons apporter en tant qu'Architecte Ingénieur au quotidien pour optimiser le management de projet, gérer les contraintes conceptuelles, techniques, réglementaires et financières.

Expertise, Innovation, Optimisation sont les maîtres-mots d'un grand projet expérimental réussi. □

10- Cycle de mise à jour du planning intégré.

10- Integrated schedule updating cycle.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE / INDUSTRIEL EXPLOITANT :** ITER organisation
- AGENCE DOMESTIQUE EUROPÉENNE :** F4E
- ARCHITECT ENGINEER :** Engage
- BUREAU DE CONTRÔLE :** Apave
- ENTREPRISE GÉNÉRALE DE GÉNIE CIVIL :** Gtm - Vinci - Ferrovial - Razel
- ENTREPRISE DES LOTS TECHNIQUES :** Omega Axima, Ineo, Endel, M+W)
- ENTREPRISE PONTS SPÉCIAUX :** Nkm - Reel
- ENTREPRISE GÉNÉRALE BÂTIMENTS MAGNET :** Ferrovial

ABSTRACT

ITER: EXPERIMENTAL DEVELOPMENTS FOR A MAJOR PROJECT

GILLES SCHARTLE, EGIS - MARC POSTOLLEC, EGIS - ALAIN BAUDRY, EGIS - ANTOINE BRINGER GUERIN, EGIS - ALEXIS BOMBARD, EGIS

The ITER project is designed to demonstrate the scientific and technological feasibility of fusion energy, thereby opening the way for its industrial and commercial use. It is both a construction project on a construction site that is one of the largest in Europe, but also a place for experimenting not only for the part of the process related to fusion but also for project management. Indeed, the project's management entails the development of specific tools and methodologies to enable the engineering architect to manage everyday design, technical, regulatory and financial requirements. □

ITER: AVANCES EXPERIMENTALES AL SERVICIO DE UN GRAN PROYECTO

GILLES SCHARTLE, EGIS - MARC POSTOLLEC, EGIS - ALAIN BAUDRY, EGIS - ANTOINE BRINGER GUERIN, EGIS - ALEXIS BOMBARD, EGIS

El proyecto ITER debe demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la energía de fusión, y abrir así el camino a su explotación industrial y comercial. Es a la vez un proyecto en desarrollo, con una de las mayores obras de construcción europeas, y un centro de experimentación no solo en la parte del proceso relacionado con la fusión sino también sobre la gestión del proyecto. De hecho, la realización de la obra va acompañada del desarrollo de herramientas y metodologías específicas para, en tanto que arquitecto-ingeniero, gestionar a diario los problemas conceptuales, técnicos, reglamentarios y financieros. □

Villes intelligentes
Infrastructures innovantes
Réseaux performants



Bienvenue dans un monde qui se construit autrement.

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

Notre métier : assurer le vôtre.

www.groupe-sma.fr

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.
RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics - RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



Bureaux d'études,
économistes,
ingénieurs de
la construction,
assurez votre
expertise !

GLOBAL INGÉNIERIE

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

Notre contrat **GLOBAL INGÉNIERIE** s'adresse à
tous les professionnels de l'ingénierie
souhaitant bénéficier d'une protection
complète et **adaptée**.

Un seul et unique contrat pour couvrir
l'ensemble de vos responsabilités !

l'Auxiliaire
BTP
Entreprendre avec assurance

50, cours Franklin Roosevelt - BP 6402 - 69413 Lyon cedex 06
auxiliaire@auxiliaire.fr

Siret 77564905600014 - Code APE 6512 Z

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