



44 / RÉALISATION BPE



Les coffrages verticaux encerclant le futur réacteur permettront de couler des voiles de 6 m de haut.



Le béton, prélude à la fusion

DANS LES BOUCHES-DU-RHÔNE, L'ORGANISATION ITER S'EST LANÇÉE DANS UN PROJET AUDACIEUX : CONSTRUIRE UN NOUVEAU CONCEPT DE RÉACTEUR NUCLÉAIRE RECORANT À LA FUSION DE L'ATOME. Pour ce faire, un groupement emmené par Vinci va utiliser pas moins de 150 000 m³ de béton sur un périmètre de 40 hectares, à base de liant Ecocem.

Au beau milieu de la garrigue, le site d'ITER Organisation de Saint-Paul-lez-Durance occupe quelques 180 hectares. 42 d'entre eux se destinent à accueillir ITER (qui signifie en latin « le chemin »), un projet de réacteur nucléaire basé sur le principe de la fusion, à contrario des réacteurs construits jusqu'à aujourd'hui et qui, eux, recourent au système de la fission. L'organisation ITER est démesurée, à l'image du futur réacteur : 35 pays dont l'Union européenne, les Etats-Unis, la Russie, la Chine, le Japon, la Corée et l'Inde sont engagés dans la construction de ce site qui sera une première mondiale dans l'histoire des sciences et techniques, pendant que des milliers d'ingénieurs et de scientifiques ont planché sur la conception du tokamak, nom donné à une machine expérimentale pensée pour exploiter l'énergie produite par la fusion. Ce processus peut se traduire par la collision de noyaux d'hydrogènes qui se mélangent ainsi pour former des atomes d'hélium, ce qui a pour effet de libérer d'importantes quantités d'énergies. Un système qui doit permettre à ITER de produire de l'énergie nette, c'est-à-dire qu'il génèrera plus d'énergie qu'il n'en consommera.

Jusqu'à 2 300 ouvriers

A terme, l'objectif des chercheurs est de reproduire l'énergie solaire, puisque la fusion est la réaction nucléaire alimentant le Soleil et les étoiles. Il s'agirait d'une source d'énergie potentiellement inépuisable et qui n'émettrait aucune quantité de CO₂. Mais avant d'en arriver là, il faut d'abord bâtir cet imposant édifice ! Le chantier a débuté en 2010 sur une plateforme de 42 ha défrichée et nivelée. Après les fondations parasismiques et le coulage du radier, les équipes se sont lancées dans la construction du tokamak, qui comprendra le réacteur ainsi que trois bâtiments. En parallèle, une quarantaine d'autres édifices sortiront de terre pour accueillir différents services auxiliaires. Le consortium en charge de la construction du tokamak, baptisé VFR, est composé de Vinci Construction Grands Projets, Razel-Bec (groupe Fayat), Dodin Campenon Bernard, Campenon Bernard Sud-Est, GTM Sud et Chantiers Modernes Sud, sans oublier Ferrovia

Agroman pour la partie espagnole. Le chantier ITER est divisé en plusieurs lots et marchés, et c'est le lot TB03 (tokamak) qui nous intéresse ici : les travaux ont commencé mi-2014, et mobilisent

« La rhéologie du béton que nous utilisons est d'une heure et trente minutes. La formule autoplaçante est de plus en plus utilisée sur le chantier afin de réduire le pompage, car le béton est visqueux et les machines sont fortement sollicitées. »

aujourd'hui environ 750 personnes, sachant qu'un pic à 2 300 collaborateurs sera atteint sur la globalité du projet.

La coactivité, principale contrainte

« La principale contrainte que nous rencontrons est la coactivité, ce qui est assez logique vu la taille du chantier », explique Fabien Granger, animateur prévention sécurité et environnement chez Razel-Bec. « Pour le reste, il faut aussi noter les contraintes rigoureuses qui nous sont imposées en termes



de niveau sonore et d'émanations de poussières. De même, nous avons dû bâtir deux ICPE [Installations classées pour la protection de l'environnement, NDLR], à savoir une pour la production des centrales à béton et une autre dite « flottante », pour les matériaux qu'on ne peut pas réutiliser. Les deux installations sont implantées dans l'enceinte du site. » Au niveau des équipements, on trouve donc sur le site d'ITER deux centrales à béton Lafarge identiques mais indépendantes, qui possèdent en commun les stocks d'agrégats, les systèmes de traitement par eau et les postes de commandes. Leur rythme de production unitaire est de 50 m³/h. Les équipes ont veillé à ce que la plupart des matériaux soient réemployés ou valorisés sur site, grâce au concassage/criblage. Les matériaux non-revalorisables sont, quant à eux, envoyés aux ICPE mentionnées plus haut. Deux pompes fixes Putzmeister à fonctionnement électrique sont également de la partie. Les coffrages sont pour leur part estampillés Outinord, Doka et Sateco. Le constructeur Mills a fourni les échafaudages et les étaielements.

Deux pompes fixes Putzmeister à fonctionnement électrique sont de la partie.



150 000 m³ de béton

En vue de la construction du réacteur, le groupement VFR a d'abord réalisé un radier de 9 300 m² et d'environ 1,50 m d'épaisseur, puis 500 plots parasismiques en béton, avant de couler une dalle d'1,50 m d'épaisseur. Au total, le bâtiment du tokamak nécessitera 150 000 m³ de béton. Une quantité impressionnante qui se répartit de

la façon suivante : 35 000 m³ pour les fondations (réalisées en 2011-2012), 15 500 m³ pour la dalle (coulée en 2013-2014), et 100 000 m³ pour la superstructure. Le complexe tokamak affichera une longueur de 120 m, une largeur de 80 m, une hauteur de 80 m également (dont 20 m en-dessous du niveau de la plateforme) pour un poids total de 400 000 tonnes. Il comprendra

7 étages (dont 2 niveaux souterrains), avec à chaque étage, des levées de 6 m de haut, et des planchers dont l'épaisseur oscille entre 50 cm et plus d'un mètre. La densité de ferrailage est très importante, avec pas moins de 16 000 tonnes de fer et 7 500 tonnes d'acier utilisées.

Une durée de vie de 100 ans

Le béton choisi pour la construction du réacteur, du C40/50, est élaboré à base de liant fourni par Ecocem, qui livrera jusqu'à 20 000 tonnes pour le projet. Le matériau présente les caractéristiques suivantes : avec une durée de vie de 100 ans, sa porosité à l'eau est inférieure à 15% pendant que sa per-

« Nous avons sélectionné le laitier Ecocem pour sa faible chaleur d'hydratation, sa qualité et sa régularité, ainsi que la capacité du fabricant à fournir du laitier sur toute la durée du chantier. »



Tous © Planète B

1 - Ici les armatures du tokamak. La densité de ferrailage est très importante, avec pas moins de 16 000 t de fer et 7 500 t d'acier utilisées.

2 - Les équipes du groupement VFR s'affairent pour terminer le coulage de la dalle d'1,50 m d'épaisseur.



co-produit de la sidérurgie. Il est ensuite utilisé comme liant hydraulique dans les bétons, en substitution partielle des ciments conventionnels. « Nous avons sélectionné le laitier Ecocem pour sa faible chaleur d'hydratation », explique Yacin Najj. « Pour la phase de fondations, les bétons, qui comprenaient 30% de liant Ecocem, nous ont apporté satisfaction. Par la suite, la formule a été remise en cause car la production n'était plus assurée par Vinci mais désormais par Lafarge, donc on est passé à un taux de 40% de liant Ecocem. » Pour la fabrication du béton, Ecocem utilise des granulats en 4/16 et 11/22, des matériaux concassés et roulés, ainsi que du sable 0/4, le tout fourni par Durance Granulats. « L'autre raison qui nous a poussé à choisir Ecocem, c'était les contraintes de qualité et de régularité du produit, ainsi que la capacité à fournir du laitier sur toute la durée du chantier. »

Les premières opérations d'assemblage du tokamak devraient avoir lieu en 2019, tandis que la construction du réacteur et des bâtiments s'achèvera aux environs de 2021. Le tokamak procédera à ses premiers tests en 2024-2025, avant de lancer son opération intitulée « Premier Plasma » en décembre 2025.

méabilité au gaz est inférieure à 10-18 m². Le groupement a formulé d'autres exigences, notamment pour la température du liant : le ciment doit être stocké en-dessous de 50°C sur site. « Le C40 doit présenter une résistance mécanique à 70/80 Pa », détaille Yacin Najj, ingénieur travaux chez Campenon Bernard Construction (filiale de Vinci). « Quant au béton lourd, sa densité est de 3,8 m³. Il est utilisé pour les voiles confinantes – d'1,20 m d'épaisseur – et les dalles situées entre chaque méga-poteau du tokamak. Ni le sable ni le gravier ne rentrent dans sa composition ; en revanche, de la magnétite est utilisée. » 3 000 m³ de béton lourd seront utilisés pour construire le tokamak. Les autres bâtiments ne sont pas vraiment concer-

nés, dans la mesure où ils feront la part belle aux charpentes métalliques. Les méga-poteaux, au nombre de 18, font 6 m de haut. « La rhéologie du béton que nous utilisons est d'une heure et trente minutes », ajoute Yacin Najj. « La formule autoplaçante est de plus en plus utilisée sur le chantier afin de réduire le pompage, car le béton est visqueux et les machines sont fortement sollicitées. »

Le choix d'un ciment « écologique »

Ecocem France, société spécialisée dans la production de ciment « écologique », fabrique son matériau sur son site de Fos-sur-Mer, dans les Bouches-du-Rhône. Le laitier moulu Ecocem est issu de la transformation du laitier granulé,

Corentin Patrigeon