1

© TPI

CONSTRUCTION DU CENTRE DE DISTRIBUTION CIMENTS CALCIA

AUTEURS : NICOLAS METGE, RESPONSABLE DU PÔLE CONCEPTION ET MAÎTRISE D'ŒUVRE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - FRÉDÉRIC CHRUN, CHEF DE PROJETS ADJOINT STRUCTURES, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - PAUL ONFROY, CHEF DE PROJETS ADJOINT MÉTHODES, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - ALEXIS DURIEZ, DIRECTEUR DE TRAVAUX, SOGEA TPI (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - GUILLAUME HESLOUIN, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOGEA TPI (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - MOHAMED LAHRICHI, INGÉNIEUR TRAVAUX, CMC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE)

LE CENTRE DE DISTRIBUTION CIMENTS CALCIA RUE BRUNESEAU DANS LE XIIIE ARRONDISSEMENT DE PARIS A ÉTÉ INAUGURÉ LE 4 JUILLET 2014. CELA MET FIN À UN CHANTIER DÉMARRÉ EN SEPTEMBRE 2012 QUI AURA VU ÉCLORE AU BORD DU PÉRIPHÉRIQUE PLUSIEURS OUVRAGES DE BÉTON BRUT DONT LES PLUS HAUTS CULMINENT À 37 M DE HAUTEUR.

CONTEXTE DU PROJET

Afin d'aménager les terrains situés dans le prolongement de la ZAC Paris Rive Gauche entre le boulevard du général Jean Simon et le boulevard périphérique et de démolir les silos de stockage de ciment qu'y exploite la société Calcia, la Semapa a lancé en avril 2012 un appel d'offres pour la construction de deux nouveaux silos et de bâtiments annexes (laboratoire, bureaux, local technique) rue Bruneseau, en bordure immédiate du Périphérique (figures 1 et 2).

La réalisation de ces ouvrages conçus par le cabinet Vialet Architecture a été confiée en juillet 2012 à un groupement Vinci Construction France associant Sogea TPI (mandataire), Chantiers Modernes Construction et SDEL.

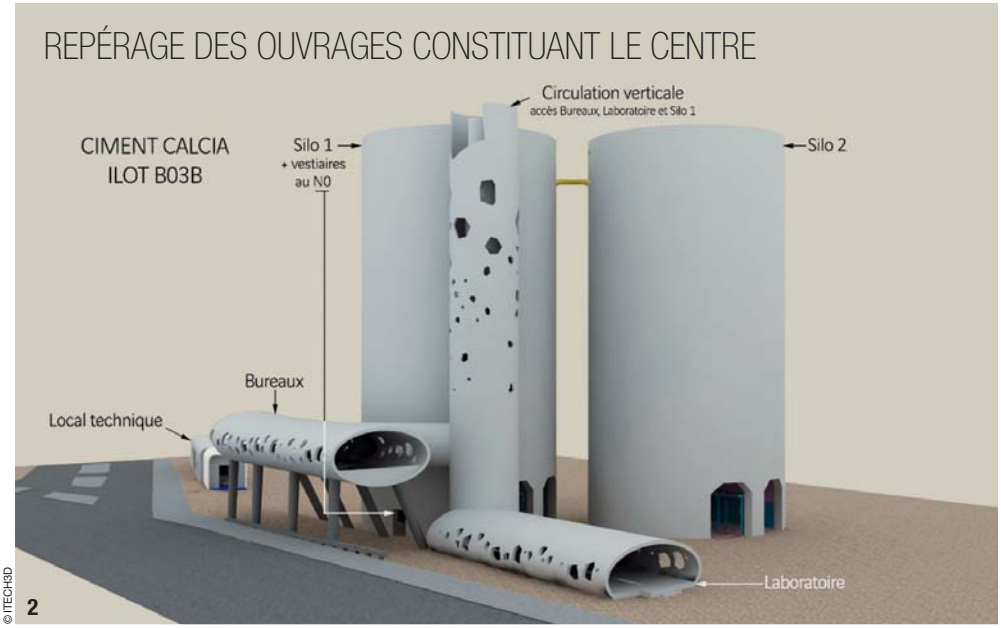
Un deuxième lot a été confié à Ibau et concernait les équipements nécessaires au fonctionnement du centre de distribution.

1- Vue d'ensemble du centre de distribution.

1- General view of the distribution centre.

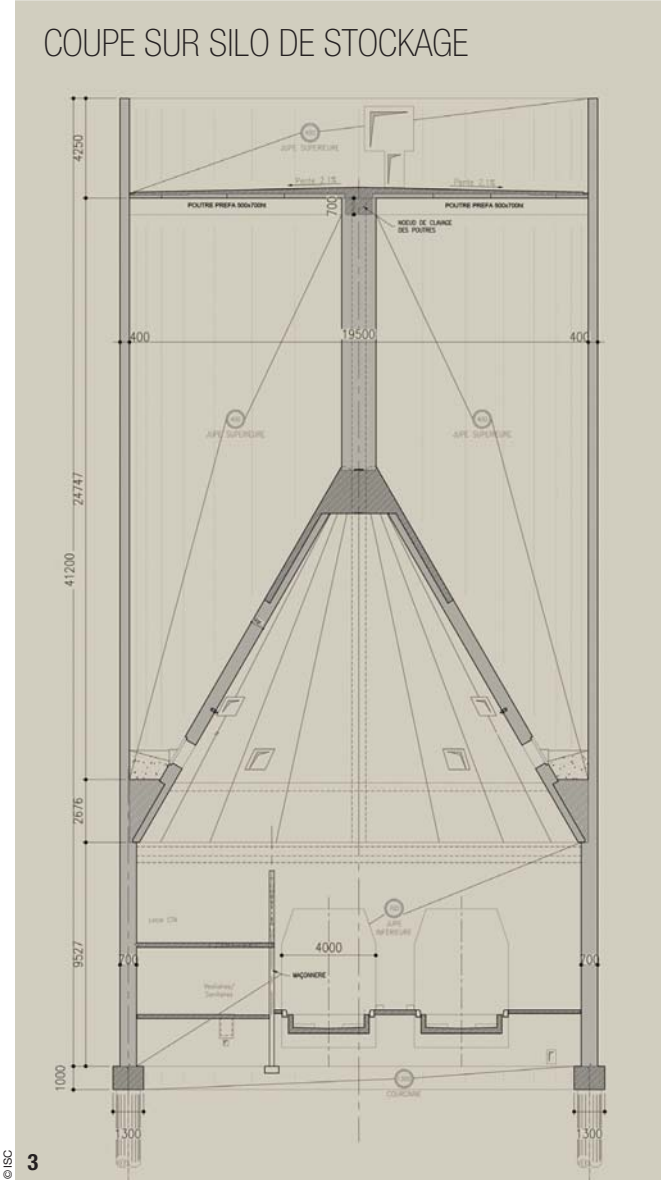
UN CHANTIER TRÈS CONTRAINT ET DES ATTENTES FORTES

Chaque chantier a ses contraintes, mais celui-ci en cumulait de nombreuses. Commençons par l'emprise de chantier, coincée entre les voies SNCF, le centre de tri du Syctom et son ballet de camions et le périphérique parisien. Il s'agissait donc de s'accommoder d'une emprise très réduite impliquant très peu de zone de stockage ou de



© ITECH3D

2



© ISC

3

2- Repérage des ouvrages constituant le centre.

3- Coupe sur silo de stockage.

2- Identification of structures forming the centre.

3- Cross section on storage silo.

zone de circulation et qui a amené le chantier à modifier sans arrêt son plan d'installation au fur et à mesure de l'avancée des ouvrages.

La deuxième contrainte était la contrainte de délai. Il était nécessaire de tenir un planning de 18 mois pour réaliser l'ensemble du gros œuvre et des corps d'état secondaires et permettre ainsi au lot 2 d'installer les équipements en vue d'une livraison le 29 avril 2014.

Cette course contre la montre a obligé ISC (Ingénierie des structures et des chantiers) à imaginer des méthodes innovantes en collaboration avec le chantier et le sous-traitant en charge du coffrage glissant pour gagner un temps précieux.

Enfin, les attentes du maître d'œuvre en termes de rendu esthétique étaient très fortes. En effet, pour ce « temple » du béton, la qualité d'exécution était capitale pour obtenir un béton brut de teinte uniforme et sans joint.

LES SILOS DE STOCKAGE

LES FONDATIONS

Le sol du site présentait une couche assez épaisse de remblai non compacté (le site ayant servi de décharge pendant de nombreuses années) et des travaux d'inclusions rigides avaient été effectués au préalable dans les zones de circulation des camions et au niveau du laboratoire et du local technique fondés sur radier. Les silos ont alors été fondés sur une couronne de 20 pieux de diamètre 1 020 mm atteignant une profondeur de 30 m et disposés uniquement sous la jupe extérieure où se concentrent toutes les descentes de charges du silo. Les pieux sont coiffés par une longrine périphérique de 1 m de hauteur et de 1,30 m de largeur. Les pieux ont été réalisés par forage à la tarière creuse continue et viennent s'ancrer dans la craie du Campanien. La foreuse Fundex F16 associée à une pelle mécanique de 24 t pour la mise en place des cages d'armatures permettait la réalisation de trois pieux par jour.

LA JUPE EXTÉRIEURE

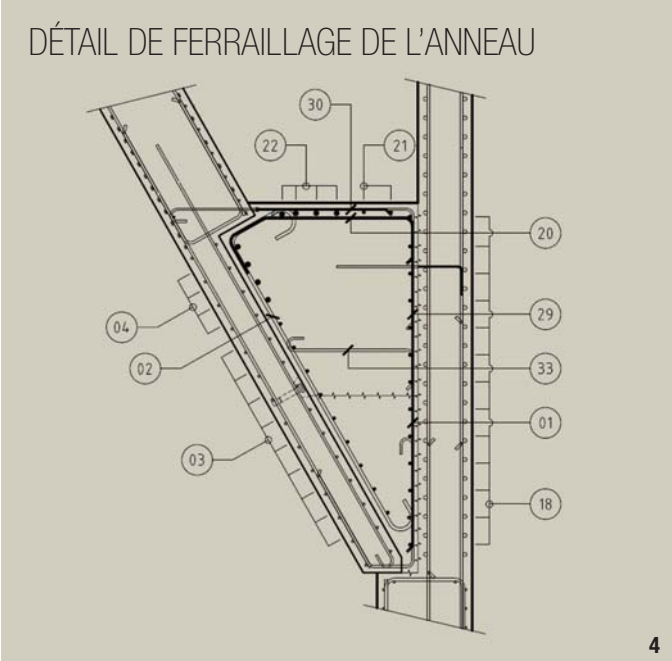
La jupe extérieure est un cylindre de 20,30 m de diamètre qui culmine à 41,20 m au-dessus de ses fondations. Sur le premier tiers de sa hauteur, la jupe a une épaisseur de 70 cm. À la jonction avec le cône intérieur, la jupe intègre un anneau de traction et se prolonge ensuite sur les deux tiers restants avec une épaisseur de 40 cm (figure 3).

LE CÔNE ET LES VOILES DE COMPARTIMENTAGE

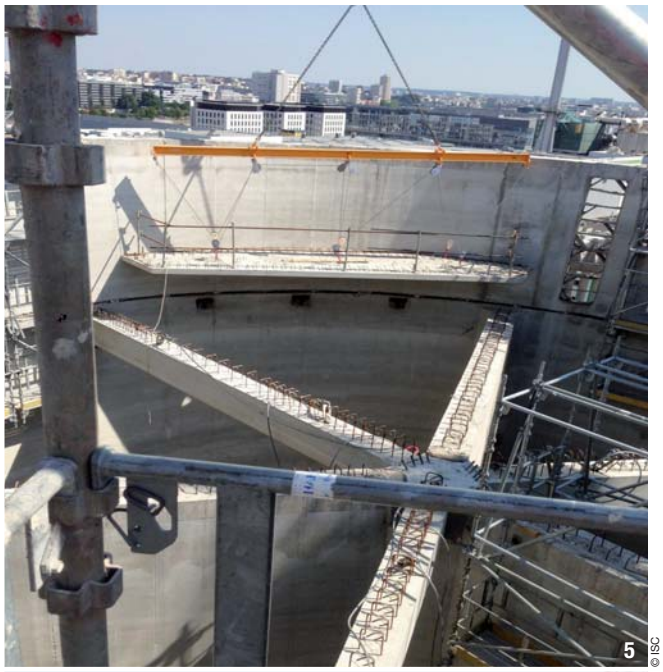
À l'intérieur d'un silo, la capacité de stockage est de 5 500 m^3. Trois types de ciment peuvent être stockés et on trouve trois compartiments de volume égal. Le compartimentage est réalisé par trois voiles verticaux en étoile de 60 cm d'épaisseur s'appuyant à leur base sur un cône intérieur qui permet de diriger la matière ensilée vers les points d'extraction en partie basse. Le cône, d'une épaisseur de 60 cm, vient s'appuyer sur la jupe extérieure pour se lier monolithiquement par le biais d'un anneau de traction (figure 4).

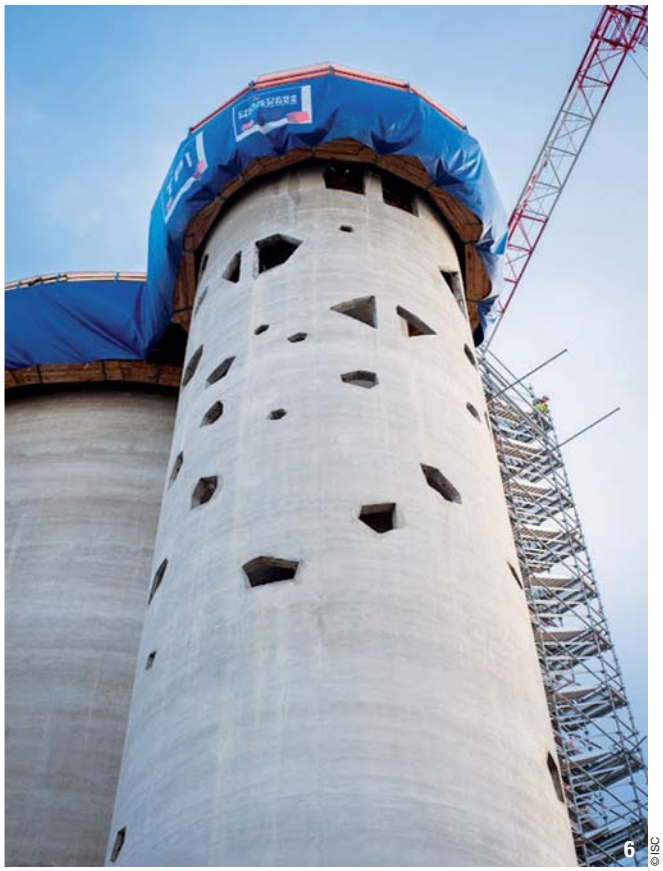
LA DALLE DE COUVERTURE

La dalle de couverture a pour but de refermer les compartiments et de fournir un plancher aux différents équipements qui serviront à l'exploitation du site. Cette dalle circulaire est portée par les trois voiles intérieurs de compartimentage et trois poutres qui permettent de couper la portée entre deux voiles. ▷



4


5 © ISC


6 © ISC

4- Détail de ferraillage de l'anneau.
5- Phase de pose des prédalles en toiture.
6- La circulation verticale et ses ouvertures.

4- Detail of ring reinforcing bars.
5- Phase of placing precast formwork units on the roof.
6- Vertical circulation and openings.

Les poutres s'appuient au centre du silo sur la jonction des trois voiles, eux-mêmes soutenus par le cône. Le plancher, d'une épaisseur variable de 25 à 40 cm, a été réalisé avec des prédalles participantes de 14 cm d'épaisseur (figure 5).

LES AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS (CHARPENTE)

Sous le cône, deux niveaux de planchers permettent l'exploitation.
Ces planchers métalliques sont constitués de poutres principales en PRS galvanisés qui s'appuient sur la jupe extérieure par le biais de platines métalliques disposées préalablement dans le béton au moment du bétonnage.
Les poutres secondaires sont des profilés standards et le plancher est constitué de tôle larmée.

LA CIRCULATION VERTICALE

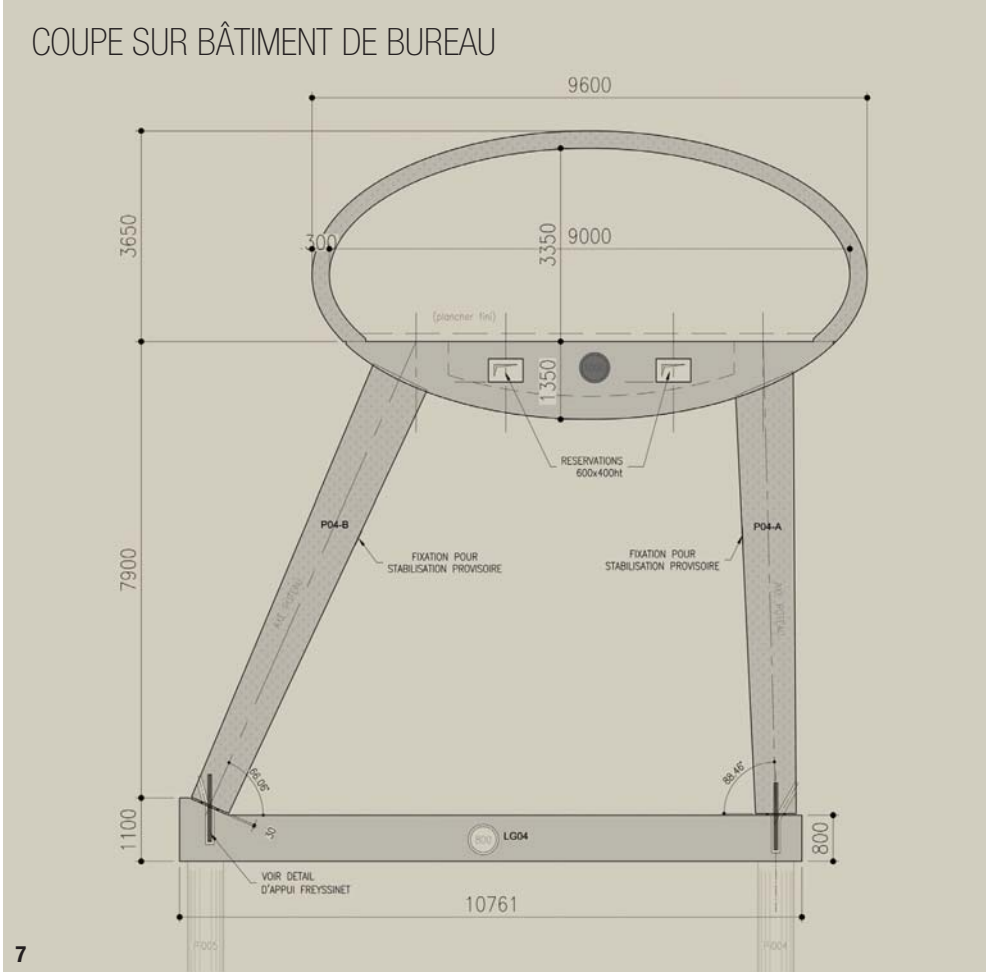
La circulation verticale permet d'accéder au bâtiment de bureau perché sur ses poteaux et permet également l'accès à la dalle de couverture des silos. Elle mesure donc 43,20 m de haut et elle est constituée de deux cylindres concentriques de 20 cm d'épaisseur chacun.
À l'intérieur du premier cylindre se trouve un ascenseur et l'espace entre les deux cylindres permet d'intégrer un escalier métallique. Le cylindre extérieur est percé d'ouvertures rappelant les granulats d'une carotte de béton. La circulation verticale est fondée sur 4 pieux de diamètre 720 mm et 24,50 m de profondeur surmonté d'une semelle circulaire de 1 m d'épaisseur (figure 6).

LE LABORATOIRE

Le laboratoire est un ovoïde de 3,86 m de hauteur, 9,60 m de largeur et 24,30 m de longueur. Fondé sur un radier général sur inclusions rigides, le laboratoire se glisse à moitié sous le pont du périphérique parisien à l'ouest et vient épouser la forme de la circulation verticale à l'ouest.
Les coques extérieures en béton de 30 cm d'épaisseur sont percées d'ouverture rappelant celle de la circulation verticale et permettant d'apporter la lumière aux occupants.

LE BÂTIMENT DE BUREAUX

Le bâtiment de bureaux présente la même forme ovale que le laboratoire à la différence près que celui-ci est perché sur 8 poteaux de forme conique et inclinés. Les poteaux sont reliés en tête par un réseau de poutres cachées entre la coque inférieure de l'ovoïde et le plancher intérieur des bureaux. En pied, les poteaux sont reliés deux à deux par une longrine-tirant qui permet la reprise des charges horizontales dues à l'inclinaison des poteaux.
La descente de charge verticale est, quant à elle, reprise par des pieux de 620 mm de diamètre et 23,10 m de



© ISC 7

profondeur situés sous chaque poteau. On accède aux bureaux via une passerelle également de forme ovoïde qui vient relier la circulation verticale et le bâtiment de bureaux. Les pignons sont ouverts et vitrés et les coques percées d'ouvertures permettant l'apport de lumière naturelle dans les espaces de travail (figure 7).

LE LOCAL TECHNIQUE

Bien que moins spectaculaire, le local technique n'en demeure pas moins un bel objet en béton brut. Bâtiment rectangulaire de 35,10 m de longueur et 5,40 m de largeur, il est constitué de voiles entièrement réalisés en pré-murs et surmontés de coques arrondies. Un gros travail a été fait sur le calepinage afin que les joints des pré-murs correspondent parfaitement avec les joints des coques de toiture. L'étanchéité est assurée par un joint hydrogonflant coincé entre deux joints en mastic. Un joint néoprène cuvelé mis en place dans l'espace laissé par le chanfrein permet l'application d'une couche de résine couleur béton.

7- Coupe sur bâtiment de bureau.

8- Coffrage glissant du silo 1 et de la circulation verticale.

7- Cross section of office building.

8- Sliding formwork for silo 1 and vertical circulation.

© TPI 8

UNE GRANDE DIVERSITÉ DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION

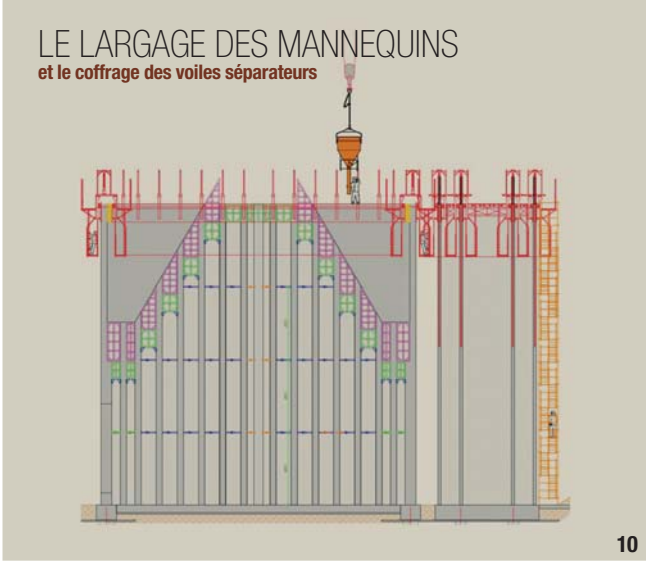
UNE MÉTHODE INNOVANTE POUR LA RÉALISATION DES SILOS

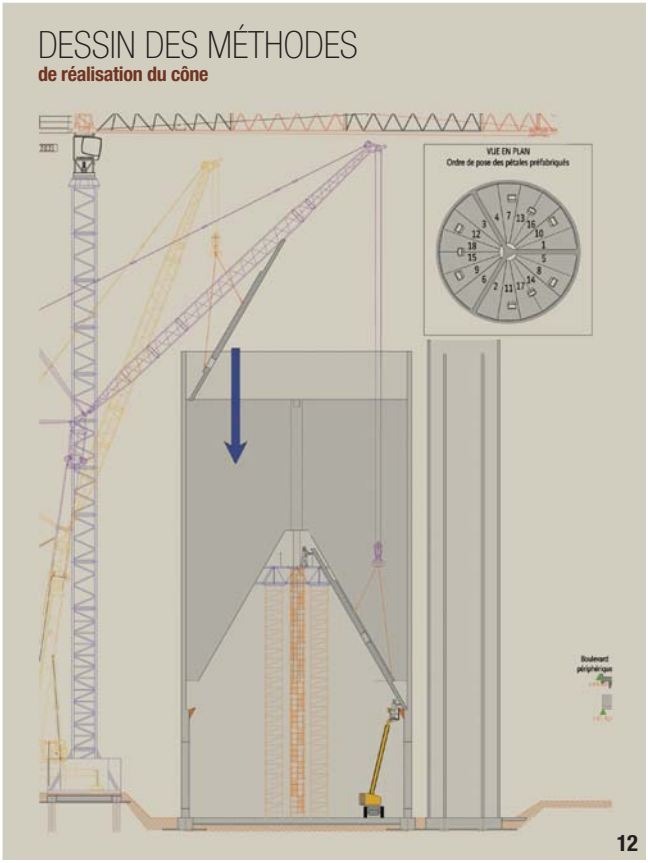
Les silos et la tour d'escaliers ont été réalisés en deux opérations de coffrage glissant. La première opération, lancée au mois de janvier entre deux épisodes neigeux, a duré 18 jours et a permis d'ériger simultanément un silo et la tour escalier (figure 8). La seconde opération a donné naissance aux 41 mètres du deuxième silo en 13 jours, au cours de l'été 2013. S'il est usuel de réaliser ce genre d'ouvrage en coffrage glissant, c'est la première fois que les voiles de compartimentage des silos sont coulés en même temps que la jupe, avant la réalisation du cône intérieur. En effet, ces voiles sont habituellement banchés depuis le dessus du cône, nécessitant un arrêt du coffrage glissant de la jupe pendant la réalisation du cône.

Les contraintes de délai et d'esthétique de ce projet ont obligé les ingénieurs à trouver une solution pour étayer les voiles de compartimentage au fur et à mesure de la montée du coffrage glissant et ainsi se passer de la présence du cône en phase provisoire. Le coffrage glissant a été fabriqué en forme d'étoile dès la base du silo (figure 8). Des mannequins en bois, solidaires du coffrage dans un premier temps, ont été mis en place dans les branches de l'étoile pour permettre de coffrer des poteaux BA de section 40 cm par 60 cm. Ces poteaux, contreventés par des étais à l'avancement depuis la plateforme inférieure du coffrage glissant, permettent de maintenir les 3 voiles de compartimentage avant que ces derniers ne se réunissent en clé de voûte. La sous-face des voiles est coffrée à l'aide de mannequins trapézoïdaux posés au-dessus des mannequins en bois qui ont été préalablement largués du coffrage glissant et fixés en tête des poteaux BA (figures 9 et 10).

La méthode des mannequins « largables » a été réemployée pour l'édification du deuxième silo et étendue pour la réalisation des 4 grandes ouvertures dans la jupe extérieure.

Les mannequins mobiles ont été renforcés et leur fruit accentué pour faciliter leur glisse en même temps que le coffrage. L'ergonomie du coffrage glissant a également été améliorée pour cette deuxième opération, avec une plateforme de circulation plus large et un poste de travail davantage à hauteur d'homme, facilitant l'enfilage des barres HA sous les chevalets. ▷





© ISC

© ISC

Ces améliorations ont permis d'augmenter la cadence de bétonnage et de passer de 10 cm/h pour le premier silo à 14 cm/h pour le deuxième, soit la vidange d'une toupie par heure.
La formulation du béton a fait l'objet d'une étude particulière menée par François Cussigh, l'expert béton de Vinci construction France, en collaboration avec Unibéton qui a fourni le béton en continu.
En effet, le béton devait avoir une prise suffisamment lente dans les premières heures pour rester fluide et permettre à la peau de coffrage de glisser le long des parois. Une fois à l'air libre, le béton devait monter très rapidement en résistance pour soutenir le coffrage glissant dans son ascension.
La prise du béton est dépendante de l'atmosphère environnante et notamment de la température et de l'hygrométrie. Lors des opérations, des bâches ont été installées autour du coffrage avec des radiateurs et des brumisateurs pour garantir une atmosphère maîtrisée et homogène pendant la durée de l'ascension.

LES MANNEQUINS DE LA CIRCULATION VERTICALE

Les ouvertures polygonales sont calepinées pour laisser au maximum les barres d'appui du coffrage glissant dans le béton. En effet, la résistance au flambement de ces barres en acier de 25 mm de diamètre est faible, ce qui oblige de les maintenir dans un poteau provisoire en béton lorsqu'elles traversent une réservation de grande hauteur. Pour permettre de créer la géométrie complexe de ces formes, les mannequins ont été découpés au fil chaud dans des blocs en polystyrène pleine masse. Les faces en contact avec le béton ont été enduites de résine pour améliorer leur résistance de peau. Une numérotation rigoureuse de chaque mannequin dans l'ordre chronologique de pose a facilité leur mise en place.

9- Les poteaux provisoires nécessaires à la montée du coffrage glissant.

10- Le largage des mannequins et le coffrage des voiles séparateurs.

11- Pose des pétales préfabriqués constituant le cône.

12- Dessin des méthodes de réalisation du cône.

9- Temporary columns needed for raising the sliding formwork.

10- Dropping jamb forms and formwork for separator walls.

11- Placing prefabricated petals forming the cone.

12- Drawing of cone execution methods.

LE RECOURS À LA PRÉFABRICATION POUR LE CÔNE ET LA COUVERTURE

Le cône est composé de 18 pétales préfabriqués en usine de 16,30 m de long par 3,20 m de large, pour un poids de 27 t. Ils ont été posés en une semaine à l'aide d'une grue mobile routière de 700 t déclassée en 400 t, munie d'une volée variable de 30 m. Les pétales sont appuyés en pied sur le rebord de 30 cm créé par le passage de la jupe de 70 cm à 40 cm et en tête sur une couronne métallique à 18 facettes reposant sur un ensemble de tours d'étaiement classiques (figures 11 et 12). L'effort horizontal sur la couronne dû à l'inclinaison des pétales est directement renvoyé dans les voiles de compartimentage à l'aide de bracons.
Les pétales ont ensuite été clavés à l'aide de béton projeté pour éviter d'avoir à coffrer et à travailler sur une surface inclinée à 60°.
La dalle de couverture devait nécessairement être préfabriquée pour s'affranchir de monter un étaiement de 22 m depuis le fond du cône. Un échafaudage négatif suspendu en tête de la jupe a été conçu pour pouvoir accéder aux abouts en U des 3 poutres de couverture.

© ISC

13

14

Il restait ensuite à poser les 6 x 4 prédalles, dont la plus grande, de 9,50 m de portée (pour seulement 14 cm d'épaisseur), nécessitait l'emploi d'un palonnier à poulies (figure 5). Les prédalles ont volontairement été dimensionnées les plus fines possible pour pouvoir être posées avec la grue à tour du chantier, une 245 EC-H 12 munie d'une flèche de 40 m. Des corbeaux métalliques soudés sur des platines laissées pendant la phase de coffrage glissant viennent casser la portée de 9,50 m des prédalles périphériques pour garantir une flèche acceptable lors du bétonnage du hourdis.

13- Pose des coques du laboratoire.

14- Vue générale des bureaux.

13- Placing laboratory shells.

14- General view of the offices.

DES COQUES SUR MESURE POUR LE LABORATOIRE ET LES BUREAUX

Les ovoïdes du laboratoire et des bureaux sont composés d'un alignement de coques préfabriquées de 2,46 m en béton armé. Ces éléments de 33 t ont été coulés à chant en usine, tous dans le même moule en bois pour assurer une homogénéité du parement. Ils ont été mis en place sur chantier à l'aide d'une grue mobile routière de 250 t, directement à leur position définitive pour les coques du bureau et sur des longrines de ripage pour les coques du laboratoire (situé sous le viaduc du boulevard périphérique). Des tirants assurent la stabilité de forme des coques pendant le transport et les phases de manutention. Les coques sont ensuite liaisonnées mécaniquement à l'aide de plats métalliques soudés sur des platines en attente du béton. Des réservations cylindriques en pied de coques permettent de les brêler à leur assise. Enfin, il faut noter que le calepinage des ouvertures a été rigoureusement étudié pour laisser dans chaque coque des bandes périphériques noyées renfermant la section d'armatures nécessaire à la résistance structurelle de la coque (figure 13). □

DONNÉES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

DÉLAI DE RÉALISATION DES TRAVAUX LOT 1 : 18 mois
VOLUME TOTAL DE BÉTON : 5 100 m³
RATIO D'ACIER MOYEN DANS LA JUPE BASSE ÉPAISSEUR 70 CM : 90 kg/m³
RATIO D'ACIER MOYEN DANS LA JUPE HAUTE ÉPAISSEUR 40 CM : 200 kg/m³
RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE CÔNE : 200 kg/m³
RATIO D'ACIER MOYEN DANS LA CIRCULATION VERTICALE : 110 kg/m³
RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES COQUES BÉTON : 140 kg/m³
DÉLAI DES OPÉRATIONS DE COFFRAGE GLISSANT : 18 jours pour le silo 1 et 13 jours pour le silo 2

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRE D'OUVRAGE : Semapa
EXPLOITANT : Calcia
MAÎTRE D'ŒUVRE : Vialet Architecture, Jacobs, Peutz
GROUPEMENT D'ENTREPRISE DU LOT 1 : Sogea TPI (Mandataire), Chantiers Modernes Construction, SDEL
ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE COFFRAGE GLISSANT : Zuccolo
ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE ÉTUDE D'EXÉCUTION STRUCTURES ET MÉTHODES GÉNIE CIVIL : ISC (Vinci Construction France)
PRESTATAIRE SYNTHÈSE TCE ET ERGONOMIE : I-TECH 3D (Vinci Construction France)
ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE PIEUX : Spie Fondations

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE CIMENTS CALCIA DISTRIBUTION CENTRE

N. METGE, ISC (VINCI) - F. CHRUN, ISC (VINCI) - P. ONFROY, ISC (VINCI) - A. DURIEZ, SOGEA TPI (VINCI) - G. HESLOUIN, SOGEA TPI (VINCI) - M. LAHRICHI, CMC (VINCI)

The Ciments Calcia distribution centre, *conceived by Vialet Architecture, was commissioned after 21 months of work carried out by a Vinci group consortium. This "concrete temple" of uncommon shape required diverse, complex and innovative methods for its creation.* □

CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE CEMENTOS CALCIA

N. METGE, ISC (VINCI) - F. CHRUN, ISC (VINCI) - P. ONFROY, ISC (VINCI) - A. DURIEZ, SOGEA TPI (VINCI) - G. HESLOUIN, SOGEA TPI (VINCI) - M. LAHRICHI, CMC (VINCI)

Diseñado por Vialet Architecture, *el centro de distribución de cementos Calcia se ha puesto en servicio después de 21 meses de obras realizadas por una agrupación de empresas del grupo Vinci. Un "templo del hormigón" con formas atípicas que para salir a la luz ha necesitado métodos innovadores, diversos y complejos.* □