



Chantier du CHU de Nantes © J. Gazeau

DOSSIER DE PRESSE – 14 septembre 2023

VINCI Construction généralise l'utilisation des bétons bas carbone sur ses chantiers, avec les solutions Exegy®.



Trois ans après le lancement des solutions de bétons bas carbone Exegy®, VINCI Construction a prouvé sa capacité à réduire l'impact carbone de ses réalisations et a multiplié les retours d'expérience sur ses chantiers. VINCI Construction envisage maintenant la massification de l'utilisation de ces bétons, grâce à des formules innovantes et à des matériaux adaptés aux besoins de ses clients.

Au cœur des solutions de construction durable de VINCI Construction, le béton, qui est présent dans la quasi-totalité des ouvrages, fait l'objet d'une attention particulière et d'innovations qui ont permis de belles avancées. En effet, depuis quelques années, des chantiers de VINCI Construction ont eu l'occasion de tester avec succès, différentes solutions de bétons bas carbone Exegy® répondant à leur besoin, dans leur région ainsi qu'aux objectifs environnementaux des maîtres d'ouvrage.

Pour la majorité de ces chantiers, VINCI Construction a développé des bétons substituant une partie du ciment et permettant de réduire d'environ 30% les émissions de CO₂. Mais VINCI Construction et ses filiales ont également démontré leur capacité à aller plus loin sur des chantiers d'envergure avec des bétons Exegy® très bas carbone (cf.Fig.1 : entre 125kg et 200kg de CO₂ Eq./m³) et ultra bas carbone (entre 80kg et 140kg de CO₂ Eq./m³), grâce à une R&D de pointe intégrée, à des partenariats avec des fournisseurs et des clients engagés dans cette démarche et à un accompagnement assidu des équipes travaux sur les chantiers. Ainsi, l'ensemble des solutions Exegy®, éprouvées grâce aux retours d'expérience des chantiers, sont à la disposition des filiales de VINCI Construction et de leurs clients et vont permettre d'atteindre l'objectif d'utiliser 90% de bétons bas carbone d'ici 2030.

SOMMAIRE

1. La démarche Exegy® au cœur de la stratégie bas carbone de VINCI Construction
2. Généralisation des bétons bas carbone sur les chantiers de VINCI Construction
3. Des bétons ultra bas carbone avec la solution EXEGY[®]_{ULTRA} à base de liant ECOCEM ULTRA
4. Des bétons très bas carbone innovants à base de filler calcaire et d'ultrafines comme le métakaolin

Annexes : Focus chantiers

- **Le CHU de Nantes (44)**, un exemple de construction 100% bétons bas carbone Exegy®
- Le village des athlètes au cœur d'Universeine à Saint-Denis (93)
- Immeubles de logements I3F à la Celle-Saint-Cloud (78)

1. La démarche Exegy® au cœur de la stratégie bas carbone de VINCI Construction

Dans le cadre de sa politique environnementale, VINCI Construction agit pour le climat, optimise les ressources grâce à l'économie circulaire et préserve les milieux naturels. A travers les solutions que VINCI Construction développe, l'entreprise réinvente ses activités de construction, afin de limiter sa propre empreinte environnementale. Et VINCI Construction repense pour ses clients les objets qu'elle construit afin d'en réduire l'impact dans la durée :

Utiliser

90%

de bétons bas carbone
d'ici 2030

« VINCI Construction peut agir concrètement en apportant des solutions opérationnelles et le béton est un bon exemple. Il est ainsi possible de réduire son empreinte carbone en substituant le ciment par des liants issus de l'économie circulaire tout en minimisant la ressource avec des granulats recyclés ou la valorisation des argiles de carrières ou des terres de déblais. Un des enjeux pour VINCI Construction est aussi de réduire sa consommation de béton avec des projets mixtes associant les matériaux biosourcés comme le bois mais aussi le métal ou la pierre. VINCI Construction bénéficie d'une expertise forte sur tous ces matériaux qui sont très complémentaires et s'imposent de plus en plus comme des solutions intégrées pour répondre aux enjeux réglementaires et environnementaux. » commente Rémi LEFEUVRE, Directeur des Ressources Techniques et Opérationnelles pour les activités Bâtiment France et Génie Civil France de VINCI Construction.



Ainsi, VINCI Construction s'est engagé dès 2020 à réduire ses émissions directes (scopes 1 et 2) de gaz à effet de serre (GES) de 40% d'ici 2030 par rapport à 2018. En 2022, VINCI Construction a annoncé vouloir réduire ses émissions indirectes (scope 3) de 20% d'ici 2030 par rapport à 2019, et notamment la part prépondérante de son scope 3 Amont que représentent les matériaux de construction, leur extraction, leur fabrication et leur transport.

Le béton est l'un des matériaux les plus utilisés sur les chantiers avec un poids carbone élevé, lié principalement au ciment (dont le clinker est le principal constituant). VINCI Construction s'est donc fixé l'objectif d'utiliser 90% de bétons bas carbone dans ses réalisations d'ici 2030 et s'est positionné, dès 2020 avec la démarche Exegy®, ouvertement en faveur du béton, avec l'ambition d'en faire un matériau d'avenir. En effet, la démarche Exegy® entend réduire drastiquement les émissions de GES liées aux bétons grâce à trois leviers :

- en diminuant les quantités de béton utilisées sur les chantiers,
- en travaillant avec l'industrie cimentière pour réduire l'empreinte carbone des ciments,
- en substituant le ciment dans les bétons par des additions minérales, dont les empreintes carbone sont plus faibles, tout en garantissant un même niveau de performance.

Exegy® en bref :

- Des matériaux à empreinte carbone réduite adaptés à toutes les réalisations, en fonction de la classe de résistance, du cahier des charges et des objectifs de réduction de CO₂ de chaque projet ;
- Des bétons conformes à la norme béton ;
- Des bétons bas carbone à prix équivalent aux bétons traditionnels ;
- Les bétons les plus bas carbone formulés en utilisant les ciments adaptés et/ou les liants de substitution du marché ;
- L'expertise béton de VINCI Construction construite depuis plusieurs années grâce à un laboratoire matériaux intégré, spécialisé dans la qualification, la formulation, la validation technique et la mise en œuvre sur chantier des bétons bas carbone ;
- Des solutions d'approvisionnement et d'optimisation de l'empreinte carbone de la logistique béton du chantier, privilégiant des matériaux sourcés localement ;
- Une capacité à développer la mixité des matériaux de construction pour répondre aux attentes des clients et aux enjeux de la réglementation ;
- Des solutions de méthodes chantiers disponibles grâce à un ensemble de Retours d'Expérience de chantiers livrés ;
- Un accompagnement sur mesure des méthodes et des équipes chantier ;
- Des solutions de mise en œuvre grâce à des matériels ad hoc, mis à la disposition des chantiers et la possibilité de les adapter aux conditions du chantier et en toute saison ;
- Une plateforme digitale e-Béton dédiée à la gestion des bétons sur les chantiers.

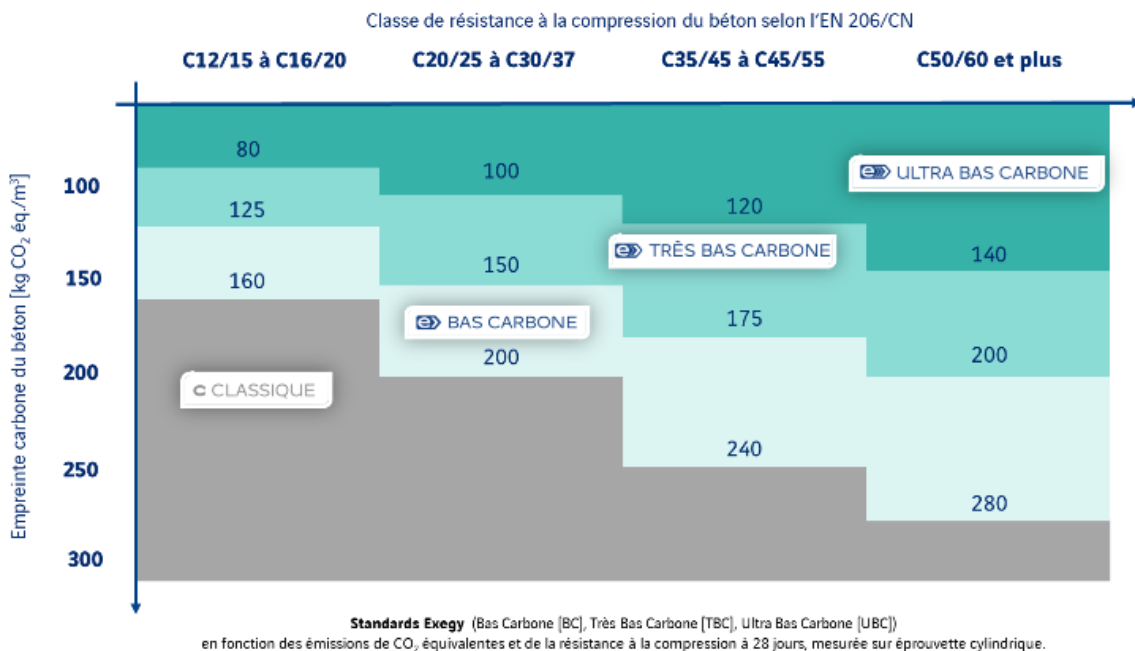


Fig.1 Standards Exegy®

« Exegy® est une démarche complète qui propose un ensemble de solutions bas carbone en béton, et de formulation dont les performances techniques et environnementales répondent à des standards précis qui classent les bétons bas carbone, très bas carbone et ultra bas carbone selon leur empreinte carbone et leur classe de résistance à la compression dans une matrice (Fig.1). Cette matrice Exegy® a été déterminante pour définir simplement ce qu'était un béton bas carbone et donner à tout le secteur de la construction la possibilité de poser les bases des bétons de demain... » explique Bruno Paul-Dauphin, Directeur des solutions Bétons Bas Carbone Exegy®.



Il ajoute : « La démarche bas carbone Exegy® ne se limite pas à développer des formules de bétons avec nos partenaires producteurs, mais elle implique dès la conception du projet la prise en compte des conditions météo et des cadences de chantiers pour mettre en œuvre du béton bas carbone dans les mêmes conditions que des bétons traditionnels et à prix compétitifs. Cette expérience acquise sur nos chantiers est essentielle pour optimiser les bétons d'un point de vue technique et environnemental, tout en se donnant la possibilité d'adapter nos méthodes d'exécution pour atteindre des critères carbone plus exigeants. Cette transformation du matériau béton passe par un accompagnement des chantiers, des formations de nos équipes, un programme R&D ambitieux et des partenaires qui ont compris la nécessité de décarboner les bétons. En résumé, c'est un ensemble complet de solutions qui va permettre de généraliser l'usage des bétons bas carbone en France et dans le monde ».

Depuis leurs créations, les solutions Exegy® ont été proposées aux clients de VINCI Construction afin d'accompagner la transition vers une construction durable. Partout où cela est possible, ces bétons nouvelle génération sont proposés en association avec d'autres matériaux durables comme le bois, afin de réduire au maximum l'empreinte carbone des ouvrages. C'est ce principe de mixité des matériaux qui permet à VINCI Construction de proposer et mettre en œuvre les solutions environnementales les plus performantes du marché.

La démarche Exegy® a bénéficié de l'expérience unique de VINCI Construction, qui élabore depuis plusieurs années des formulations de bétons bas carbone en cherchant à réduire la part de ciment dans les bétons.

VINCI Construction dispose ainsi de directions décentralisées de l'ingénierie du matériau, avec des laboratoires béton situés à Marolles-en-Hurepoix (91) et Montereau (77) et un centre de recherche à Mérignac (33). Ces experts bétons, qui participent aux instances normatives et à certains projets nationaux, portent ces innovations bétons pour VINCI Construction. François Cussigh, directeur ingénierie du matériau béton chez VINCI Construction (pour les activités Bâtiment France et Génie Civil France) qui a assuré la direction opérationnelle du projet national de recherche PerfDuB, a été le premier à travailler avec Ecocem pour développer la solution EXEGY®_{ULTRA} à base du liant alcali-activé ECOCEM ULTRA.

« Jusque-là, la norme béton NF EN 206 autorisait à ne pas respecter les limites de composition à condition de justifier les bétons par une approche performantielle mais sans indiquer comment. La mise en pratique de cette clause était donc très contraignante. Les travaux de PerfDuB ont permis de décrire une méthodologie de justification par cette approche et donc de faciliter la formulation des bétons et en particulier, pour aller vers des bétons à moindre impact environnemental. Le résultat final est donc beaucoup plus fin que les approches prescriptives classiques qui reposent sur la formulation du béton. Mais c'est aussi plus compliqué et cela demande des compétences techniques et un encadrement rigoureux de la production de ces bétons sur les chantiers. »



Ainsi, le principe des formulations de bétons bas carbone est de remplacer le clinker par différents substituts comme les cendres volantes, sous-produits des centrales thermiques, le laitier de haut-fourneau, sous-produit de l'industrie sidérurgique ou des additions minérales comme le filler calcaire, la fumée de silice, la pouzzolane, les métakaolins et les argiles calcinées dont les filières sont en train de se structurer.

Tous ces constituants sont conformes à la norme béton et permettent de substituer tout ou partie du clinker, à performance technique équivalente tout en restant à prix compétitif.

2- Généralisation des bétons bas carbone sur les chantiers de VINCI Construction

Les bétons bas carbone deviennent les bétons du quotidien sur les chantiers de VINCI Construction. Ils font l'objet d'une attention particulière auprès des collaborateurs avec des formations ad hoc, des outils digitaux mis à disposition des personnels, des guides d'utilisation et de mise en œuvre, des Retours d'Expérience chantiers partagés et des partenariats Exegy® avec des producteurs de béton prêt à l'emploi ou d'éléments préfabriqués. Cette dynamique autour des bétons bas carbone permet d'accélérer leur appropriation par toutes les équipes et de massifier leur utilisation.

30%

de bétons bas carbone mis en œuvre sur les chantiers de Bâtiment et de Génie Civil en 2022

Le mouvement progresse rapidement car les divisions Bâtiment France et Génie Civil France de VINCI Construction utilisaient plus de 30% de béton bas carbone sur l'ensemble de leurs chantiers en 2022. Tous ces chantiers démontrent qu'il est possible de changer les habitudes pour la plus grande satisfaction des équipes et des clients. Parmi ces chantiers, on peut citer :

- **L'hôtel Marriott de Roissy** (95) avec la construction de deux bâtiments hôteliers de 8 étages chacun. Les équipes de CBC, filiale de VINCI Construction, y ont réalisé le gros œuvre et ont installé sur site, une centrale à béton Exegy®. CBC avait la volonté de couler 80% de bétons bas carbone dont une partie de bétons très bas carbone, en substituant du clinker par du laitier de haut-fourneau et du filler calcaire. Six formules de bétons ont ainsi été réalisées sur le chantier pour chaque usage : fondations, planchers, voiles courants, voiles minces, rampes et poteaux.

Les méthodes ont été adaptées pour optimiser les cadences, avec plusieurs matériels : une chaudière installée à la centrale pour gâcher du béton avec de l'eau à 70° et faciliter sa prise. Le résultat obtenu a été très satisfaisant et a finalement permis de produire 92% de bétons bas ou très bas carbone et d'assurer une cadence de 50 mètres de voiles par jour (contre 35 mètres prévu) sans heures supplémentaires.

- **Le CHU de Nîmes (30)** qui est une restructuration de l'hôpital en un complexe unique comprenant un pôle gériatrique, un service d'hospitalisation de jour pédiatrique, un service SSR (Soins de Suite et de Réadaptation), et un SMIT (Service des Maladies Infectieuses et Tropicales). Les équipes de Sogea Sud Bâtiment, filiale de VINCI Construction, ont réalisé les travaux et ont décidé d'engager une démarche d'évaluation des bétonniers locaux sélectionnant ainsi un producteur de béton local : Béton du Gard, comme partenaire chargé de produire les bétons suivant les formules Exegy®. Au total, ce sont 10 000 m³ soit **90% des bétons de ce nouveau bâtiment qui ont été mis en œuvre en bétons bas et très bas carbone** avec, dès 2021, l'application de l'approche performantielle. Béton du Gard est ainsi devenu le premier partenaire Exegy® en Occitanie.

- **Le centre d'exploitation et de maintenance de la future ligne 18 du Grand Paris Express** réalisé par Chantiers Modernes Construction, filiale de VINCI Construction, comprend trois bâtiments principaux : un poste de commande et de contrôle de 4 000 m² permettant de piloter la ligne, deux halls de maintenance des matériels de 20 000 et 46 000m² comprenant des ponts roulants et des ascenseurs à métros. Ces bâtiments situés à Palaiseau (91), représentent une surface construite de 64 000 m² et comprennent jusqu'à 6 niveaux. Tous les ouvrages en béton sont réalisés à 100% en bétons bas carbone Exegy®, soit 28 000 m³. Une centrale à béton du partenaire Exegy®, Béton Solutions Mobiles, a été installée sur le chantier pour produire en tout 10 formules différentes.

Elles sont utilisées pour des bétons de structure, des bétons autoplaçants, des bétons spéciaux résistant aux agressions chimiques et aux agressions du sel. Ainsi les émissions de CO₂ de ces bétons ont été divisées par deux. Les mélanges utilisés remplacent une partie du clinker par du laitier de haut-fourneau et du filler calcaire. Les méthodes de construction ont pratiquement été inchangées ; seules quelques adaptations ont été nécessaires en période hivernale : chauffage de l'eau à la centrale à béton et par grand froid dispositif de chauffage des banches.

Ces exemples et tous les autres chantiers de VINCI Construction, réalisés ou en cours, illustrent la généralisation de l'utilisation des bétons bas carbone. Afin de faciliter leur appropriation, **des outils digitaux ont été mis à disposition des équipes :**

- Le configurateur « **MONA** » permet de mesurer l'empreinte carbone des bétons et d'éditer pour les chantiers de VINCI Construction des **Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire certifiées** tenant compte de tous les et des méthodes de production. C'est l'équivalent de l'outil BETie développé en interne et donnant accès à tous les détails.

- Le configurateur « **LISA** » permet **aux équipes Etude de Prix, dès la phase d'appel d'offres**, de proposer différentes solutions Exegy®, de la **plus simple à la plus ambitieuse** en tenant compte de l'impact financier de la logistique des matériaux, des méthodes de production et de leur implication sur la planification du chantier. VINCI Construction peut ainsi proposer en toute transparence **des variantes techniques en béton bas, très bas voire ultra bas carbone** et donner la possibilité à ses clients de **faire des choix en fonction de l'impact carbone et des coûts**.

Dans la continuité de ce travail d'optimisation de bout en bout, qui démarre dès la conception, la démarche Exegy® donne la possibilité aux équipes travaux d'accéder à des bétons bas carbonés à proximité de leurs chantiers de trois façons :

- 1- En s'adressant aux producteurs de béton du marché qui disposent de gammes de bétons bas carbone dont les critères de performances techniques et environnementales répondent aux standards Exegy® à des prix compétitifs, pour massifier leur utilisation sur les chantiers de VINCI Construction.
- 2- En s'appuyant sur le réseau de partenaires Exegy® comme pour les chantiers du centre d'exploitation et de maintenance de la future ligne 18 du Grand Paris Express, avec Béton Solutions Mobiles, ou du CHU de Nîmes avec Béton du Gard. En effet, depuis 2020, une vingtaine de producteurs partenaires ont ainsi rejoint Exegy® représentant près de 200 implantations sur le territoire national (V. Carte des partenaires sur : <https://exegy-solutions.com/carte-partenaires-exegy/>). Ils bénéficient d'un accord gagnant-gagnant comprenant le co-développement de formules bas carbone avec le laboratoire béton de VINCI Construction de Marolles-en-Hurepoix et l'accès au configurateur MONA. Ces partenariats permettent aux clients de bénéficier d'une complémentarité entre les producteurs de béton et VINCI Construction, pour mener conjointement les études et les essais nécessaires. Les bétons ainsi élaborés sont réservés en exclusivité à VINCI Construction sur une période donnée à un prix de vente compétitif. En contrepartie, le producteur partenaire devient capable de fournir les chantiers menés par VINCI Construction situés dans sa zone de chalandise.
- 3- En produisant en propre les formulations Exegy® développées par ses experts bétons. Outre la flexibilité donnée aux chantiers avec ces centrales à béton, elles permettent de pousser les innovations de la R&D Exegy® du prototype à l'industrialisation de la solution, comme ce fut le cas pour le projet Universeine en 2022 avec l'EXEGY®_{ULTRA} (cf. § 3) ou le CHU de Nantes (cf. §4) en 2023 avec l'EXEGY®_{L+C3}.

3- Des bétons ultra bas carbone avec la solution EXEGY[®]ULTRA à base de liant ECOCEM ULTRA

Après la pose des premiers voussoirs EXEGY[®]ULTRA sur le chantier de la ligne 18 du Grand Paris Express, l'utilisation de cette formulation Exegy[®] la plus eco-performante, a été déployée tout au long de l'année 2022, avec près de 20 000 m³ sur plusieurs projets de grande ampleur. EXEGY[®]ULTRA est une solution très innovante qui permet de réaliser jusqu'à 70% de réduction d'émissions de CO₂. Parmi les réalisations dont le gros œuvre a été achevé en 2022 :

20 000 m³

de béton de la formulation EXEGY[®]ULTRA coulés en 2022

- Le projet du Village des Athlètes au cœur d'Universeine pour VINCI Immobilier, avec le soutien de la SOLIDEO (Société de Livraison des Ouvrages Olympiques)¹, dans le cadre de son Fonds Innovation et Ecologie, dont les bâtiments tertiaires sont construits par Bateg à Saint-Denis (93).
- Un ensemble de deux immeubles regroupant 71 logements pour I3F, construit par Sicra Île-de-France à la Celle-Saint-Cloud (78).

Ces deux réalisations montrent que la solution est maintenant pleinement opérationnelle avec une formulation de béton à base du liant ECOCEM ULTRA et des méthodes chantiers éprouvées et reproductibles. (Voir Focus chantiers en annexes).

La solution EXEGY[®]ULTRA à base de liant ECOCEM ULTRA : toutes les étapes nécessaires à une utilisation courante franchies

VINCI Construction et Ecocem ont travaillé conjointement pour développer cette solution EXEGY[®]ULTRA, où le ciment est remplacé intégralement par le liant ECOCEM ULTRA, qui présente cinq fois moins d'émissions de GES que la moyenne des ciments du marché. Cette formule utilisée pour la première fois pour réaliser six poteaux structurels du siège social de VINCI (l'Archipel) à Nanterre en 2019, a depuis été mise en œuvre pour des fondations profondes et pour une trentaine de voussoirs de la ligne 18 du Grand Paris Express, en partenariat avec la Société du Grand Paris. Ces expérimentations sur chantier ont démontré en conditions réelles les performances techniques de la solution, qui confirment les

FOCUS sur l'empreinte carbone de l'EXEGY[®]ULTRA

Avec une réduction des émissions de CO₂ proche de 70% par rapport à un béton traditionnel, la solution EXEGY[®]ULTRA permettait d'obtenir, avant allocation économique du laitier, des bétons dont l'empreinte carbone était évaluée à 70kg de CO₂ Eq. /m³ pour des bétons de bâtiment, à comparer à des bétons traditionnels autour de 230 kg de CO₂ Eq. /m³.

Les 83 kg de CO₂ Eq. /t alloués économiquement au laitier de haut fourneau depuis septembre 2022 font passer l'empreinte carbone de la solution EXEGY[®]ULTRA autour de 110 kg de CO₂ Eq. /m³, ce qui en fait toujours une des solutions les plus bas carbone du marché.

¹La SOLIDEO est l'établissement public qui veille à la livraison et à la réalisation de plus de 60 ouvrages et opérations d'aménagement nécessaires à l'organisation des Jeux de Paris 2024, dans le respect d'un budget défini et d'un héritage ambitieux, durable et exemplaire. Ces ouvrages sont imaginés et conçus pour être reconvertis en 2025 en équipements, logements et bureaux. La SOLIDEO est notamment l'aménageur du Village des athlètes.

résultats obtenus lors des essais en laboratoire. Le liant ECOCEM ULTRA, qui constitue la base de ce béton, est un liant-alcali activé composé de laitier de haut-fourneau Ecocem, qui réagit en milieu alcalin avec le carbonate de sodium pour déclencher la prise du laitier. Ce liant n'étant initialement pas conforme à la norme, il a fallu justifier sa performance technique comme constituant du béton, mais aussi sa durabilité, avant de pouvoir le mettre en œuvre à grande échelle sur des chantiers de gros œuvre.

VINCI Construction et Ecocem ont donc initié et co-financé une thèse avec le laboratoire universitaire LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions) à Toulouse pour réaliser des essais complémentaires à ceux effectués par les équipes du laboratoire béton de VINCI Construction, en étroite collaboration avec les équipes de recherche d'Ecocem. **À l'issue de ces essais, VINCI Construction et son partenaire Ecocem ont obtenu une Evaluation Technique Européenne (référence : ETE-21/0746) pour le liant ECOCEM ULTRA, permettant de généraliser la solution EXEGY®_{ULTRA} à de multiples usages sur des chantiers de construction, tout en étant conforme à la norme béton NF EN 206+A2/CN (2022).**

« C'est une étape extrêmement importante qui a été franchie par VINCI Construction et Ecocem grâce une collaboration étroite de nos équipes de recherche et développement... Jamais un béton aussi bas carbone n'avait été utilisé sur un chantier de cette envergure, avec succès, pour couler des volumes aussi importants. C'est l'obtention de l'ETE qui nous a permis de passer les étapes nécessaires pour y parvenir » déclare Diane Achard, responsable Développements techniques et Applications d'Ecocem.



4- Des bétons très bas carbone innovants à base de filler calcaire et d'ultrafines comme le métakaolin

Le béton innovant EXEGY®_{L+C3}, à base de filler calcaire et de métakaolin, est le fruit de plusieurs années de recherche et de développement destinées à massifier les bétons bas carbone sans être dépendant du laitier de haut-fourneau ou des cendres volantes. Cette innovation consiste à substituer le clinker par des filler calcaires en forte proportion et des ultrafines fortement réactives comme la fumée de silice ou le métakaolin qui apportent les performances techniques attendues. **En faisant le choix du métakaolin dans ses solutions EXEGY®_{L+C3}, VINCI Construction privilégie la ressource régionale d'argiles kaoliniques et s'efforce d'accompagner le développement des métakaolins au travers de son réseau de partenaires Exegy®.** Ceci est rendu possible par un travail de R&D en amont mené conjointement par les experts béton de VINCI Construction et les fournisseurs de métakaolins.

300

volées d'escaliers réalisées avec le nouveau béton EXEGY®_{L+C3} et un impact carbone de 143 kg CO₂ Eq. /m₃ de béton

La solution béton EXEGY®_{L+C3} à base de filler calcaire et de métakaolin, est devenue possible grâce à l'évolution de la norme béton NF EN 206/CN. En effet, les mélanges et les formulations utilisés dans le cadre de cette norme fixaient un taux maximal de métakaolin et de filler de 20 %. À partir de 2021, la norme NF EN 206/CN est révisée et devient la norme NF EN 206+A2/CN. Avec ces évolutions, de nouvelles possibilités apparaissent concernant les granulats et les ciments, en particulier, avec l'évolution sur l'introduction des nouveaux ciments dits « bas carbone » conformes à la norme NF EN 197-5 de types CEM II/C-M et CEM VI **et surtout avec la prise en compte d'une approche performantielle de la durabilité du béton.**

En novembre 2022, il devient ainsi possible de déroger à l'approche classique uniquement basée sur sa composition, à condition de procéder à des essais ciblés et d'agir en toute transparence avec l'accord des parties prenantes que sont le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, ou tout autre acteur impliqué. La démarche à suivre est encadrée par le fascicule de documentation FD P 18-480.

« Les progrès réalisés concernant la compréhension du matériau béton et de ses constituants, ainsi que leurs caractérisations, permettent aujourd'hui d'aller plus loin dans la démarche en l'encadrant par une qualification de laboratoire représentative du comportement dans l'ouvrage. En effet, les conclusions du projet National PERFDUB, dirigé par François Cussigh, ont été intégrées à la nouvelle norme béton fin 2022, rendant possible l'utilisation des nouveaux bétons, à condition de prouver la durabilité de l'ouvrage construit. C'est ce qu'on appelle l'approche performantielle, qui repose sur l'évaluation par des essais des propriétés de résistance et de durabilité du matériau dans un environnement donné. Depuis ce progrès indéniable en la matière, il est possible de développer des bétons très innovants aux qualités environnementales incomparables. C'est le cas du béton EXEGY®_{L+C3} réalisé à base de filler calcaire et de métakaolin. Il est remarquable pour son faible impact environnemental et pour la disponibilité et l'accessibilité de ses composants. Pour VINCI Construction, c'est l'assurance d'atteindre son objectif de 90% de chantiers en bétons bas carbone en 2030, dans des régions où le laitier de haut-fourneau n'est pas disponible, que ce soit en France ou dans le monde. » Yvan Thiebaut, Ingénieur béton qui dirige les études sur les solutions à base de filler calcaire et d'ultrafines pour le compte du Comité scientifique Exegy®.



VINCI Construction a ainsi pu mettre au point des formulations innovantes brevetées où le ciment est substitué jusqu'à 70% avec un liant constitué de plus de 50% de filler calcaire et d'ultrafines comme le métakaolin. Les solution EXEGY®_{L+C3} obtenues sont donc conformes à la norme béton et permettent, à performances techniques équivalentes, de maintenir un prix compétitif.

Les métakaolins sont des silicates d'alumine déshydroxylés qui présentent de nombreuses qualités pour les bétons. Ils ont un effet accélérateur sur l'hydratation du ciment et ont donc une aptitude à augmenter significativement les résistances mécaniques des bétons en compression, notamment au jeune âge. De plus, ils rendent les bétons moins sensibles aux agressions de l'environnement et à la corrosion. Les métakaolins permettent en particulier une amélioration de la résistance des bétons à l'eau de mer et à l'alcali-réaction (une

pathologie du béton due à la présence de trois facteurs : des alcalins dans la phase liquide du béton, des granulats réactifs et de l'eau ou un environnement humide).

Les métakaolins sont issus de sources quasi-inépuisables que sont les argiles et pourraient permettre d'être récupérés en tant que déchets de carrières, permettant d'inscrire ce matériau dans l'économie circulaire. Il s'agit de filières de production locales qui ne dépendent pas d'une autre activité productive et dont l'impact carbone est relativement faible.

En effet, non seulement la température de chauffe pour produire du métakaolin est beaucoup plus basse que celle du clinker, mais il n'y a pas de phénomène de décarbonatation émetteur de CO₂ supplémentaire (comme pour le clinker) et la quantité nécessaire dans ces bétons est faible (entre 10 et 15 %). De plus, le mode de chauffe utilisé peut être facilement optimisé, grâce à la méthode de calcination flash qui dégage une centaine de kg de CO₂ Eq./t de moins qu'une chauffe au four rotatif et grâce à l'utilisation d'énergies durables. Plus cette filière va se développer, plus elle aura les moyens d'optimiser le bilan carbone de sa production. Les formulations de bétons ainsi obtenues présentent donc des caractéristiques techniques bénéfiques à la construction béton et à la préfabrication, ainsi qu'un bilan carbone faible et un prix compétitif.

Afin de s'assurer de la disponibilité de ce matériau, VINCI Construction a entrepris une valorisation des filières productives du métakaolin et développe des partenariats avec des fournisseurs en utilisant, depuis 2022, des métakaolins dans les formulations de solutions Exegy® en bétons coulés en place ou dans des applications de préfabrication. Grâce à l'augmentation de la demande de ces bétons sur les chantiers de VINCI Construction, la production de métakaolin va naturellement augmenter, rendant ce composant de plus en plus disponible.

Le partenariat avec IMERYS pour la fourniture de métakaolins de construction

VINCI Construction a identifié Imerys dès 2021 comme acteur de la construction durable en initiant une collaboration technique entre les experts bétons de VINCI Construction et l'Imerys Technology Center localisé en Isère (38). Ce partenariat a permis de réaliser des essais croisés afin de caractériser un grade de métakaolins adapté au marché de la construction et entrant dans la composition notamment de la solution EXEGY®_{L+C3}.

"Le partenariat avec VINCI Construction marque une étape majeure dans notre engagement en faveur du développement durable et de la réduction des émissions de CO₂ dans l'industrie de la construction. Imerys détient d'ailleurs les produits clés nécessaires en France pour produire du béton bas carbone tels que le métakaolin Argical, le carbonate de calcium ainsi que d'autres solutions innovantes pour la construction durable également produites en France. Le CHU de Nantes (44) est le premier chantier d'une telle ampleur avec plus de 80% de béton bas carbone mis en œuvre dont une partie avec notre métakaolin. Ce projet est notre première collaboration et notre partenariat s'inscrit dans la durée avec un engagement commun à développer des solutions plus durables dans le secteur de la construction sur de nombreux chantiers à venir", Jérôme de Lièvre, Vice-Président Imerys Construction.

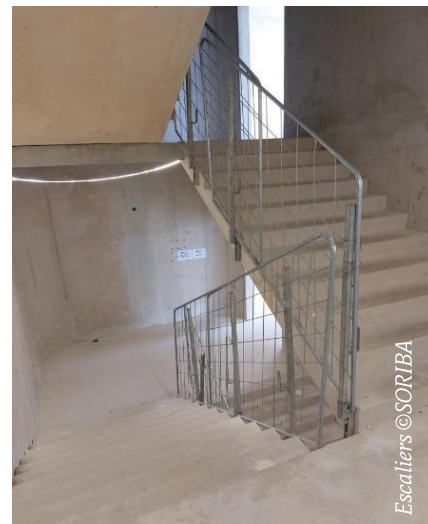


« VINCI Construction a su convaincre un acteur industriel comme Imerys que le marché des métakaolins pour la construction est amené à se développer dans les années qui viennent comme alternative essentielle au laitier de haut-fourneau dans la composition des bétons bas carbone. Avec ses nombreuses implantations en France et à l'international, Imerys a la capacité d'accompagner VINCI Construction dans sa démarche de généralisation du béton bas carbone sur ses chantiers. » déclare Bruno Paul-Dauphin.

Le partenariat avec SORIBA pour la fabrication d'escaliers très bas carbone

La société SORIBA est reconnue pour son savoir-faire dans la conception et la fabrication de produits préfabriqués béton depuis 1974. Elle a notamment développé une expertise dans le domaine de la préfabrication traditionnelle, les MCI/MCCI et du BFUP architectonique, dans le but de proposer des produits innovants.

Fin 2021, SORIBA décide de construire une nouvelle usine à Fontenay-le-Comte en Vendée (85), destinée à la fabrication d'escaliers en béton très faiblement carbonés. La construction de cette usine illustre la démarche environnementale de l'entreprise car elle est destinée à produire des matériaux à impact carbone réduit et possède des installations durables de réutilisation de l'eau, de géothermie et de panneaux solaires, permettant de produire environ 50 % de l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Aussi, l'usine est équipée d'une centrale à béton dernière génération et d'un étuvage des bétons chauffés avec pompe à chaleur géothermique renouvelable, nécessaire aux bétons très bas carbone.



En 2021, la révision de la norme NF EN 206/CN qui fixe les spécifications des bétons structurels applicables sur le territoire national permet d'envisager de nouveaux bétons. Elle devient la norme NF EN 206+A2/CN grâce à de nouvelles possibilités concernant les granulats et les ciments utilisés. La construction de cette usine ouvre alors de nouvelles perspectives pour des éléments préfabriqués. C'est alors que VINCI Construction se rapproche de SORIBA, un de ses fournisseurs historiques, pour développer ensemble des escaliers en béton Exegy®, encore plus innovant et en étant moins dépendant du laitier de haut-fourneau.

La solution Exegy® qui est envisagée par VINCI Construction consiste à substituer à plus de 50% le ciment par des métakaolins et du filler calcaire. Les équipes de la direction ingénierie du matériau béton de VINCI Construction, dirigées par François Cussigh, et celles du laboratoire de SORIBA ont collaboré sur ce projet pendant plusieurs mois.

L'ajout de métakaolin et de filler calcaire proposé par VINCI Construction a été possible grâce à la présence de fournisseurs de ces composants dans la région, déjà en relation avec VINCI Construction et SORIBA, qui pouvaient participer au projet et livrer l'usine SORIBA. Fin 2022, le nouveau béton EXEGY®_{L-C3} comptabilise un impact carbone de 143 kg CO₂ Eq./m³ de béton, comprenant le transport des matériaux ; un résultat remarquable pour des escaliers préfabriqués. Ainsi des volées d'escaliers ont pu être fabriquées en grande quantité afin de fournir les chantiers de VINCI Construction dès 2022 pour un bâtiment de bureaux dans la ZAC Cambacérès à Montpellier (34), et en 2023, pour le CHU de Nantes avec une commande de plus de 300 volées d'escaliers très bas carbone.

« SORIBA a souhaité participer à l'avancée des bétons bas carbone depuis plusieurs années et en a fait un cheval de bataille. Travailler en co-développement avec VINCI Construction sur ce béton très innovant a constitué un beau défi pour nos équipes de R & D et production. Nous sommes très fiers de réaliser ces escaliers béton très bas carbone qui dépasse nos objectifs en la matière et nous démarrons leur industrialisation avec beaucoup d'enthousiasme » déclare Valentin Garnier, Directeur activité escaliers de SORIBA.



« Nous allons au-devant de projets ambitieux, grâce à notre dynamisme et nous soutenons nos partenaires en les aidant à améliorer leurs formulations béton puis à les industrialiser. Nous accompagnons également nos équipes sur les chantiers afin de les convaincre de l'intérêt de ces nouvelles solutions. » explique Laurence Bourion, Directrice Achats de la délégation Bâtiment Sud-Ouest de VINCI Construction. Elle ajoute : « Nous choisissons des partenaires qui, dans leur politique environnementale, démontrent la même volonté à réduire leur empreinte carbone. Nous avons tout naturellement sélectionné SORIBA qui présente, à la fois, les infrastructures nécessaires à de tels projets et l'engagement managérial indispensable à l'évolution de son activité. Ainsi, nous démarrons plusieurs chantiers avec SORIBA et nous en sommes tous très fiers. »



Liens de téléchargement photos et graphiques :

Lien de téléchargement des illustrations du dossier de presse (poids total 100 Mo) :
<https://exegy-solutions.com/presse/selection.zip>

À propos de VINCI Construction

VINCI Construction est l'un des principaux acteurs mondiaux de la construction, dans le domaine des infrastructures de transport, des bâtiments, des réseaux et des aménagements urbains. VINCI Construction s'appuie sur un réseau d'entreprises de proximité, des réseaux de spécialité et une expertise spécifique sur les grands projets d'infrastructure. Les entreprises de VINCI Construction interviennent sur l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage (conception, construction, maintenance). Présentes dans plus de 100 pays, les 1 350 business units de VINCI Construction emploient plus de 115 000 collaborateurs qui ont réalisé plus de 75 000 chantiers et un chiffre d'affaires de 29,3 milliards d'euros en 2022.

www.france.vinci-construction.com

Contacts presse**VINCI Construction :**

Estelle COLLIER, estelle.collier@vinci-construction.fr, +33 6 13 21 81 94

EXGEGY® :

Cabinet becomegreen, info@becomegreen.fr, +33 6 60 72 33 39

Annexes Focus chantiers :

- **Le CHU de Nantes (44), un exemple de construction 100% bétons bas carbone Exegy®**
- **Le village des athlètes, au cœur d'Universeine à Saint-Denis (93)**
- **Immeubles de logements I3F à la Celle-Saint-Cloud (78)**

FOCUS CHANTIER : le CHU de Nantes (44), un exemple de construction 100% bétons bas carbone Exegy®

Sogea Atlantique BTP, filiale de VINCI Construction, réalise 7 des 13 bâtiments du CHU de Nantes : les blocs opératoires, l'imagerie, les urgences, les soins critiques, le laboratoire et l'ensemble mère-enfants-adolescents. Le CHU prend place sur l'île de Nantes à l'emplacement de l'ancien MIN (Marché d'intérêt national) qui a été déplacé. Sogea Atlantique BTP est mandataire de ces lots en groupement avec l'entreprise ETPO pour les bâtiments techniques, et s'appuie sur l'expertise de Botte Fondations, filiale de VINCI Construction, pour les fondations spéciales. Le chantier est actuellement en pleine production du gros œuvre avec 40 000 m³ de béton bas carbone déjà coulés sur les 115 000 m³ prévus fin 2024 ; la livraison finale des bâtiments étant prévue fin 2026.

115 000 m³

de bétons bas carbone coulés sur le chantier du CHU de Nantes

Tous les bétons mis en œuvre sur ce chantier, sont bas ou très bas carbone avec une substitution du clinker allant de 50 à 80%. Deux mélanges principaux sont utilisés pour couler l'ensemble des fondations, des radiers, des planchers et des voiles : un béton à base de filler calcaire et laitier de haut-fourneau et un béton à base de filler calcaire et métakaolin .

Les bétons sont coulés avec une centrale de VINCI Construction sur site, commandée à un fabricant local situé à Guérande (44), Europ' Equipement.



Les équipes du laboratoire matériaux de VINCI Construction ont participé à la mise au point des bétons EXEGY[®]_{L+C3} de ce chantier avec des essais en laboratoire réalisés en amont ainsi que des essais de convenance réalisés sur site qui ont attesté la conformité à la norme béton en vigueur. Les formules obtenues ont permis d'atteindre une substitution du clinker allant jusqu'à plus de 80% par du laitier, pour les pieux de fondations par exemple. Pour les autres bétons EXEGY[®]_{L+C3}, au moins 50% du clinker a été remplacé par du filler calcaire et du métakaolin.

« Il n'a pas été nécessaire d'adapter les méthodes de construction aux bétons bas carbone Exegy[®] sur ce chantier. Nous savons que les solutions Exegy[®] à base de laitiers de hauts fourneaux sont plus sensibles au froid et nous travaillons avec les ingénieurs bétons de VINCI Construction pour qualifier des solutions EXEGY[®]_{L+C3} avec un béton à base de filler calcaire et de métakaolin pour permettre une meilleure prise au jeune âge, notamment en période hivernale et permettre un décoffrage à 24h comme avec un béton classique. » témoigne Cédric Le Queré, Directeur Travaux, Sogea Atlantique BTP.



Cédric Le Queré ©YLHO

Avec la mise au point du béton EXEGY[®]_{L+C3} par les laboratoires matériau de VINCI Construction et sa mise en œuvre avec succès sur les premiers chantiers de VINCI Construction, l'utilisation du métakaolin est amenée à se développer rapidement. Imerys possède une carrière d'argile kaolinique et une usine de production de métakaolin à Clérac (33) près de Bordeaux qui livre le chantier du CHU de Nantes.

L'argile kaolinique prévu pour le CHU de Nantes est la partie extraite de la carrière qui est trop riche en fer pour être utilisée dans la fabrication des bétons réfractaires. Le chantier a démarré avec un métakaolin moins ferreux, l'ARGICAL M1000, qui était immédiatement disponible sur le site de Clérac. Il est prévu de basculer rapidement vers un grade de métakaolin adapté à la construction, l'ARGICAL M1000C, qui sera disponible au départ de Clérac, après des essais de convenance avec ce matériau.

« Nous sommes fiers de constater que sur le chantier du CHU de Nantes, nos métakaolins donnent pleine satisfaction dans la composition des bétons bas et très bas carbone. Ceci nous encourage à développer cette filière en France. Il s'agit d'un matériau qui présente plusieurs atouts : les bonnes performances des mélanges mis au point en collaboration avec les laboratoires matériau de VINCI Construction, la disponibilité de ce matériau dans plusieurs régions de France, sa résistance à jeune âge qui permet un coulage en période hivernale et la couleur esthétique qu'il donne aux bétons »



François Saucier

Déclare François Saucier, Infrastructure Project Specification Director Building & Infrastructure, Imerys Refractories, Abrasives and Construction.

Enfin, toutes les volées droites d'escaliers de ces bâtiments sont réalisées en béton très bas carbone grâce au partenariat avec SORIBA qui a permis de massifier la fabrication de ces éléments préfabriqués. En tout, plus de 300 volées d'escaliers EXEGY[®]_{L+C3} seront installées au CHU de Nantes qui profite de ce premier partenariat Exegy[®] avec un préfabricant et de la proximité avec l'usine SORIBA située à Fontenay-le-Comte (85).

FOCUS CHANTIER : le village des athlètes au cœur d'Universeine à Saint-Denis (93)

Ce programme immobilier situé sur la commune de Saint-Denis (93) et porté par VINCI Immobilier, en partenariat avec la SOLIDEO, Paris 2024, la Ville de Saint-Denis et Plaine Commune, est avant tout un programme durable composé de 78 600 m² de logements, de 63 000 m² de bureaux et de 4 300 m² de commerces et locaux d'activité. Les ambitions fortes de la SOLIDEO et de VINCI Immobilier en matière d'aménagement urbain et d'environnement, donnent l'opportunité à VINCI de déployer la palette de ses savoir-faire, notamment sur les deux bâtiments de l'îlot B1 et l'îlot B2 : Le Campus Maxwell et le bâtiment BOKKEN. Après la mise à disposition en 2024 de l'ensemble des bâtiments faisant partie intégrante du Village des athlètes, des travaux de réversibilité laisseront place à un quartier de vie durable. Les bâtiments réalisés par VINCI Construction seront donc réaménagés pour partie en bureaux pour accueillir 2 500 agents du ministère de l'Intérieur dès 2026 au sein du Campus Maxwell. Avant cela, la construction de trois bâtiments neufs, dont la destination première sera deux bâtiments de logement des athlètes et un immeuble de bureaux, a fait l'objet de solutions de construction très innovantes.

Ces bâtiments développés par VINCI Immobilier, initialement prévus en béton bas carbone, ont bénéficié d'une subvention du Fonds Innovation et Ecologie de la SOLIDEO pour mettre en œuvre du béton ultra bas carbone sur l'ensemble des planchers des bâtiments neufs tertiaires.

Pour ce projet développé par VINCI Immobilier, Bateg, filiale de VINCI Construction, a proposé un mix-matériaux aux performances environnementales optimales, en associant le bois et des bétons ultra bas carbone pour l'intégralité des radiers et planchers des bâtiments neufs du Campus Maxwell et de l'immeuble BOKKEN. La phase de gros œuvre s'est déroulée en deux temps, avec le coulage d'une solution EXEGY[®]_{UBC} à très fort taux de substitution de clinker jusqu'à l'obtention de l'ETE (Evaluation Technique Européenne) qui rendait la solution EXEGY[®]_{ULTRA} conforme à la norme béton et permettait de la généraliser à partir d'octobre 2021. Sur les 18 000 m³ de béton coulés, 12 000 m³ ont été coulés en béton EXEGY[®]_{ULTRA}. Les 6 000 m³ coulés en 2021, avant l'obtention de l'ETE, sont des bétons ultra bas carbone dont les performances ont été justifiées en laboratoire selon les préconisations du Projet National PERFDUB.



Il faut remarquer que les deux formulations de bétons mises en œuvre figurent parmi les plus bas carbone du marché, avec respectivement 70 kg de CO₂ Eq. /m³ pour le béton EXEGY[®]ULTRA et 90 kg de CO₂ Eq. /m³ (Cf. Fig.1) pour le béton EXEGY[®]UBC. Sébastien Carminati, directeur du projet chez VINCI Construction, témoigne de l'importance de l'avancée technologique réalisée sur ce chantier : *« Nous sommes tous fiers du travail accompli sur ce chantier en termes de béton à faible impact carbone. Nous avons travaillé ensemble dès la phase études pour produire ces bétons ultra bas carbone sur site, et les mettre en œuvre sur chantiers avec une équipe déterminée. Nous nous sommes challengés pour industrialiser cette solution de béton ultra bas carbone, afin de confirmer que le matériau béton a encore un bel avenir devant lui, et fait partie des solutions de construction bas carbone. »*



Sébastien Carminati
© Augusto Da Silva / Graphix

Quelques adaptations ont été nécessaires sur le chantier pour utiliser la solution EXEGY[®]ULTRA. Il s'agit d'une première technique dans le monde du béton, qui a nécessité beaucoup d'attention sur ce chantier. En effet, la prise du béton EXEGY[®]ULTRA dans des conditions de chantier réelles en région parisienne, avec des températures inférieures à 5°C pendant les premiers mois et supérieures à 30°C à la fin, a demandé une adaptation des méthodes de travail et du matériel utilisé.

Les spécialistes béton de VINCI Construction et d'Ecocem ont donc été très présents pendant toute la durée du chantier afin d'accompagner au mieux les équipes travaux de Bateg qui ont su s'adapter et faire preuve de créativité. Les premiers gros volumes de ce béton ultra bas carbone devaient être coulés pour réaliser des planchers et des radiers épais, ce qui représentait un défi technique pour Bateg après les premières étapes de tests en laboratoire et coulage d'éléments préfabriqués (voussoirs) en EXEGY[®]ULTRA. Cette étape a nécessité un calage continu avec les équipes pour tenir compte des conditions externes qui ont évolué tout au long des 10 mois de chantier.

Bateg avait fait le choix d'installer une centrale à béton opérée en propre sur site, ce qui a permis d'éviter les problèmes de temps de transport des bétons tout en maîtrisant le mode de fabrication des bétons EXEGY[®]ULTRA où l'ordre des constituants, la température et le temps de malaxage, sont prépondérants. Le béton à base de liant ECOCEM ULTRA se coule dans des conditions classiques mais présente des caractéristiques de prise et de durcissement très différentes nécessitant une température de 20°C. Il a donc fallu développer et tester des solutions d'accompagnement thermique des bétons pour respecter le planning pour la phase de gros œuvre. Après avoir prospecté, notamment en Europe du Nord, pour trouver des solutions, des bâches isolantes ont été tendues sur un cadre métallique avec un système de soufflage chauffant alimenté à l'électricité. Ce dispositif, appelé portique de chauffe, a permis d'accélérer la prise avec une empreinte carbone liée à la chauffe autour de 5 kg CO₂ Eq. /m³ du fait de l'électricité décarbonée utilisée. Une dizaine de ces portiques mesurant chacun 12 m sur 4 m ont été ainsi livrés sur le



Plancher ©Dorine Bouteiller

chantier. C'est dans ces conditions que la température idéale de durcissement du béton EXEGY[®]ULTRA a été atteinte et que le planning a pu être tenu pour la phase gros œuvre, avec un mois d'avance. Plusieurs portiques ont été assemblés pour former des surfaces plus importantes, allant jusqu'à 480 m². Pour améliorer encore l'empreinte carbone de la réalisation, la mixité béton ultra bas carbone, métal et bois a été proposée par VINCI Construction pour ces trois bâtiments.

FOCUS CHANTIER : Immeubles de logements pour I3F en béton ultra bas carbone EXEGY® à La Celle-Saint-Cloud (78)

Pour la réalisation de cet ensemble de deux immeubles d'habitation de quatre étages et d'un parking en sous-sol pour le compte d'Immobilière 3F, Sicra Île-de-France, filiale de VINCI Construction, a choisi de proposer la solution EXEGY®_{ULTRA}, à base de liant ECOCEM ULTRA, pour la quasi-totalité des structures en béton. I3F souhaitait que cette réalisation soit labellisée E+C- avec un niveau Carbone 2, et voulait en faire un exemple de construction durable. L'entreprise à qui a été confié ce chantier a donc été soigneusement sélectionnée par I3F et un bureau d'études externe, le CETAB, a été chargé de réaliser l'Analyse du Cycle du Vie des bâtiments et de valider les solutions proposées. C'est dans ce contexte que la proposition innovante de Sicra Île-de-France a été choisie car, non seulement la solution constructive proposée remplissait tous les critères nécessaires, mais par ailleurs, l'ACV (Analyse du Cycle de Vie) des bâtiments a été améliorée pour un résultat encore plus performant.

La phase de gros œuvre du chantier s'est déroulée entre mars et décembre 2022, avec un objectif d'utiliser le béton EXEGY®_{ULTRA} partout où cela était possible. Finalement sur 3 500 m³ de béton, les équipes ont coulé 2 536 m³ de ce béton très innovant dont la fabrication dégage seulement 85 kg de CO₂ Eq. /m³. Pour des raisons techniques, certains ouvrages comme les fondations et le dallage ont été réalisés avec une solution EXEGY® au standard très bas carbone dont les performances ont été justifiées en laboratoire. Les voiles par passes (ou voiles de soutènement) ont quant à eux été réalisés avec des bétons projetés, du fait de l'absence de solution bas carbone éprouvée à ce jour pour ce type d'application.

Comme ce chantier a été réalisé en parallèle du village des athlètes d'Universeine (93), les équipes travaux ont pu partager les bonnes pratiques. Ainsi, la réalisation des planchers était résolue grâce aux portiques de chauffe. Cependant les équipes de Sicra Île-de-France y ont apporté des améliorations et ont adapté ces portiques avec des panneaux sandwich et des rallonges latérales permettant d'obtenir la taille exacte des pièces souhaitées. Ce système a été utilisé à partir de fin septembre 2022 et le sera jusqu'à la fin du chantier. Avant cette date, les températures extérieures permettaient un coulage traditionnel, sans nécessiter de chauffer. Pour ce chantier, le béton a été livré sur site par la centrale Béton Solutions Mobiles de Nanterre, partenaire historique d'Exegy®, qui a apporté sa connaissance du béton pour produire cette solution EXEGY®_{ULTRA}.

Pour les voiles, il a fallu trouver le matériel de coffrage ad hoc qui allait permettre d'accélérer la prise en chauffant le béton. Sicra Île-de-France a été la première filiale de VINCI Construction à être confrontée au besoin de chauffer les structures verticales. Le laboratoire matériau de VINCI Construction a travaillé avec les équipes de Solumat, la direction du matériel de VINCI Construction, qui s'est rapproché de son fournisseur Outinord et a mis au point en codéveloppement des banches chauffantes à partir d'un cahier des charges élaboré avec le laboratoire béton de VINCI Construction. Après un essai à trop haute température, les équipes ont trouvé la température exacte qui a permis d'accélérer la prise des voiles dans les délais habituels. En ajoutant un module électrique (potentiomètre) permettant de brider la puissance et de rendre la chauffe plus lente et plus

progressive, il a été possible de décoffrer le lendemain matin. En tout, 5 496 m² de voiles ont été coulés en béton EXEGY[®]ULTRA.

Les équipes de Sicra Île-de-France ont aussi pu bénéficier de l'expérimentation réalisée par Citinea, filiale également de VINCI Construction, pour l'extension du centre de formation CESAME à Saint-Vulbas (01), intégralement construit en EXEGY[®]ULTRA. Citinea s'était rapproché du fournisseur PERI qui commercialise des banches chauffantes, notamment en Europe du Nord. Des essais croisés ont ainsi pu être réalisés entre les deux chantiers pour partager le retour d'expérience et s'efforcer de maîtriser au plus vite ces équipements qui sont amenés à se généraliser sur des chantiers bas carbone par temps froid. Il a cependant été nécessaire de surveiller l'impact carbone lié au chauffage des banches et des planchers. Sicra Île-de-France a donc disposé sur le chantier une installation électrique dédiée avec des bornes de comptage afin de mesurer la consommation électrique des matériels chauffants et d'en déduire le bilan carbone du chantier. Du fait d'une électricité décarbonée en France, cet impact a été de 5 kg CO₂ Eq. /m³ ce qui est négligeable au regard des émissions de gaz à effet de serre évitées par l'emploi d'EXEGY[®]ULTRA.

Enfin, pour la finition des façades, l'architecte avait prévu un béton matricé esthétique, ainsi qu'une lasure transparente mettant en valeur la couleur du matériau. Le béton EXEGY[®]ULTRA a donc été coulé dans les banches chauffantes mises au point et une matrice à motifs a été ajoutée. Pour un résultat parfait, les équipes ont choisi de couler le béton le vendredi et de le laisser sécher le week-end. Le résultat final est extrêmement esthétique car l'EXEGY[®]ULTRA a un rendu de couleur très clair. Partout ailleurs sur le chantier, une rotation rapide avec un décoffrage le lendemain a été possible. Afin d'améliorer le bilan carbone du chantier, Sicra Île-de-France a proposé de réduire les quantités de béton utilisées en remplaçant le radier traditionnel par un dallage béton moins épais (15 cm en moyenne). Ceci a été possible car le sol était sec et il n'y avait pas besoin de cuvelage. De plus, toutes les cloisons intérieures en béton séparant les logements, ont été remplacés par des cloisons formées de plaques de plâtre et d'un matelas d'isolant fibreux aux qualités d'isolation phonique équivalentes. Ces substitutions ont permis de diminuer les quantités de bétons de 200 m³.

Pierre-Edouard Bonneville, Responsable Travaux chez Sicra Île-de-France témoigne de cette expérience chantier unique : *« La direction de ce chantier a été une expérience innovante et très enrichissante. En tant que responsable de chantier, je trouve que ce béton ultra bas carbone est une des solutions pour l'avenir. Il est vrai que personne ne connaissait ce type de béton et que tout était nouveau pour nous, mais les compagnons ont été très motivés par ce challenge technique que nous avons tous relevé. Finalement c'est une réussite et elle est due à une coopération de tous les acteurs impliqués : les compagnons, le laboratoire béton de VINCI Construction, les équipes d'Ecocem et les équipes de Solumat et d'Outinord. »*

