

Métro de Toulouse - Connexion Ligne B

PREMIERE MONDIALE

Un projet souterrain entièrement réalisé en voussoirs

Très Bas Carbone

à base de filler et de métakaolin



Augustin MORANDO – Bessac

Le projet CLB Lot 2

Innovation et première mondiale

Economie circulaire et locale

Et demain ?

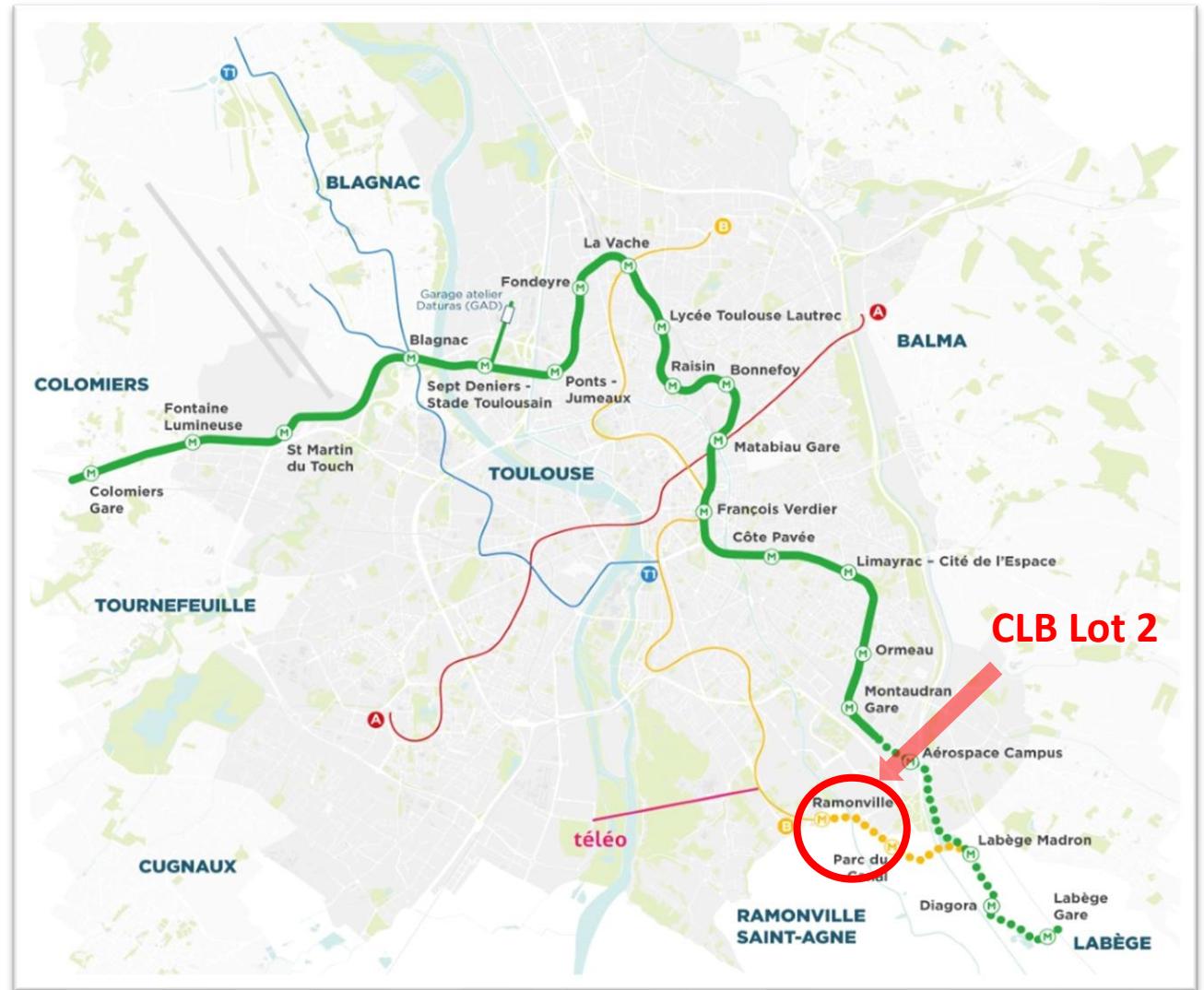
Le projet CLB Lot 2



Le projet CLB Lot 2

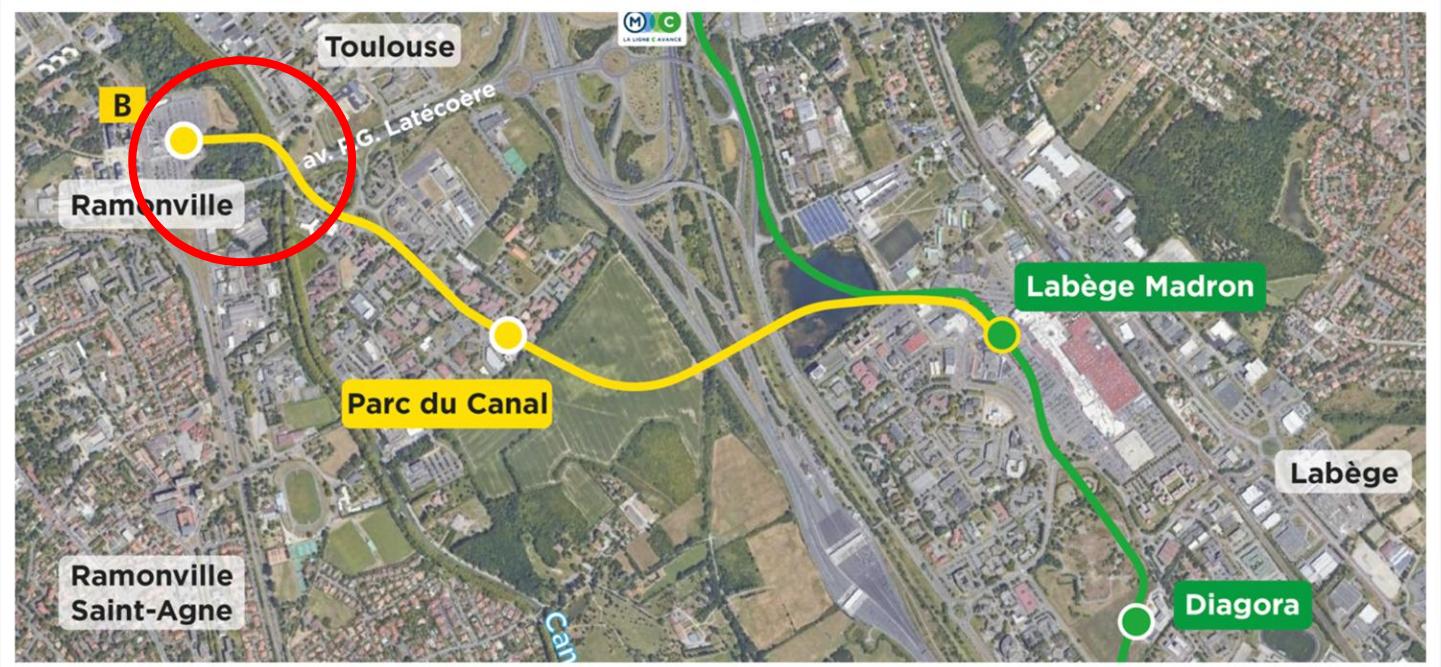


ARCADIS
séquences
architecture et urbanisme
SYSTRA
OTCE
MIDI-PYRÉNÉES



Le projet CLB Lot 2

Connexion Ligne B Lot 2
Génie civil des ouvrages
souterrains



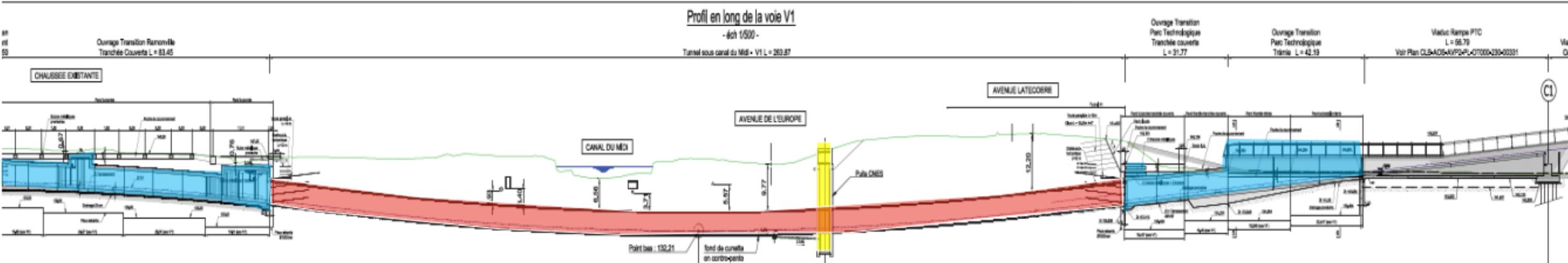
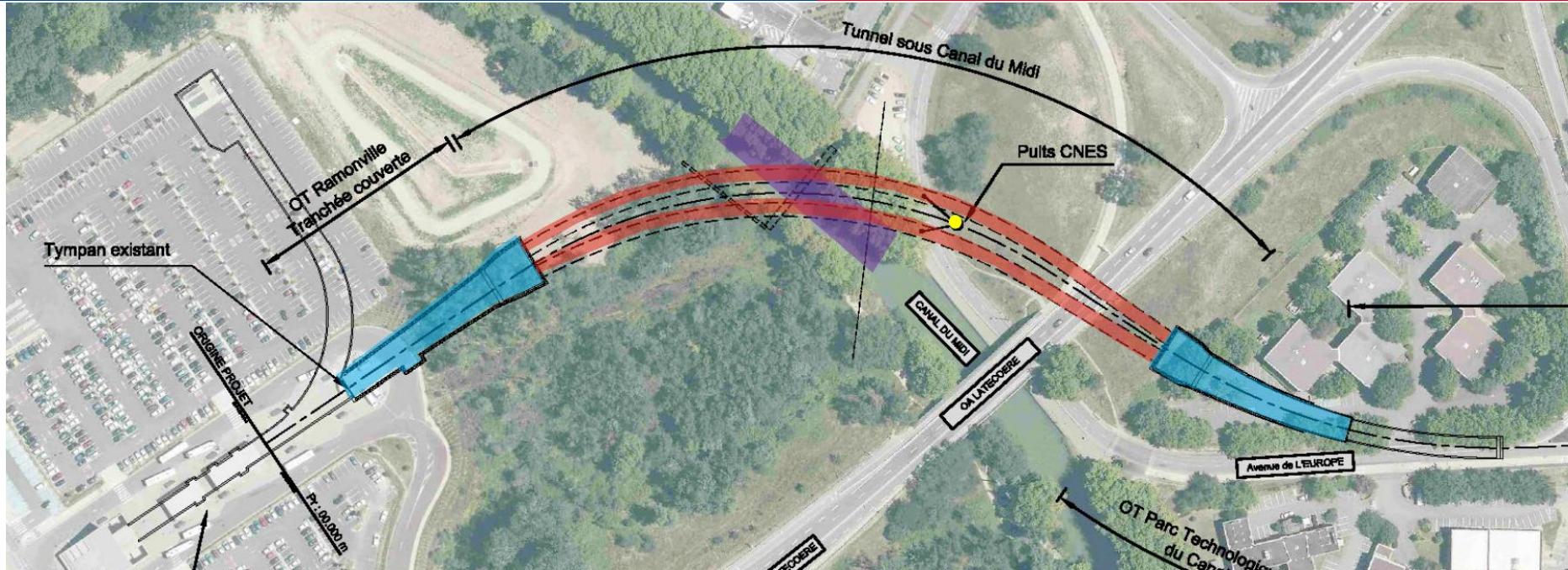
Mise en service
Septembre 2027

Le projet CLB Lot 2



- deux ouvrages de transition : le puits de départ et le puits d'arrivée qui assurent le raccordement en amont avec la ligne B, et en aval vers le viaduc en construction sur Ramonville et Labège.
- deux tunnels monotubes de 250 m de long et d'un diamètre intérieur de 4,66 m chacun, qui forment une voie double de circulation du métro avec une emprise réduite sous le canal du Midi.

Le projet CLB Lot 2



Le projet CLB Lot 2

La machine : tunnelier **BESSAC**

- à attaque ponctuelle et confinement par pression d'air
- diamètre 5,28 m
- Machine existante remise à neuf et modernisée pour CLB



Le projet CLB Lot 2

Le revêtement proposé par le groupement



Photo prise lors des journées du patrimoine le 21 septembre 2024



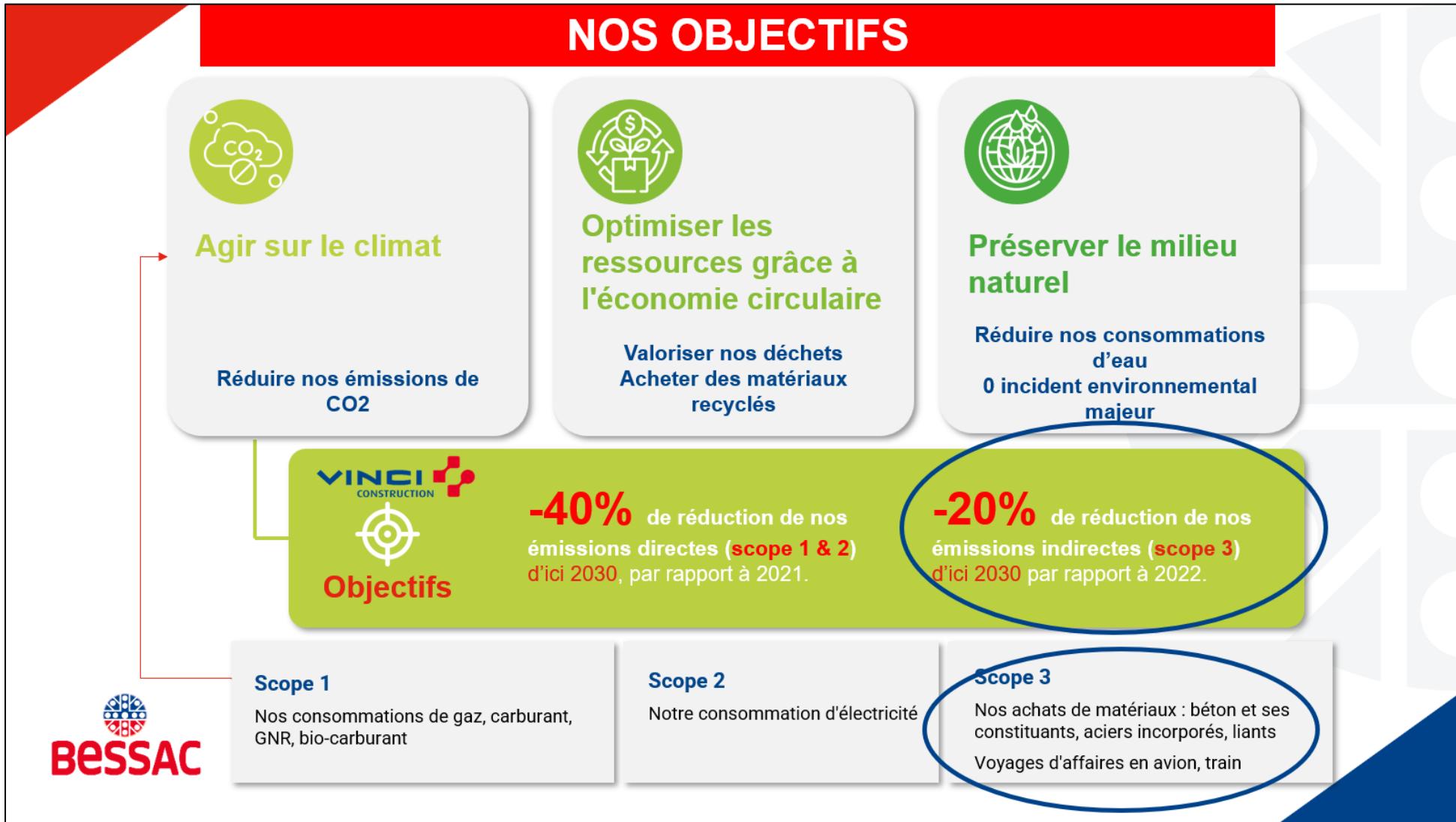
Voussoirs TBC à base de filler et de métakaolin > **Formule L+C3**

exegy
BAS CARBONE HAUTE QUALITÉ

Innovation et première mondiale



Innovation et première mondiale



Innovation et première mondiale

Dès la phase d'appel d'offre, en proposant la remise à neuf d'un tunnelier existant localement, le groupement a initié une démarche vertueuse en intégrant dans son offre les principes de ...

- > économie circulaire (recyclage et valorisation)
- > circuits-courts

... afin de **limiter l'impact environnemental du chantier.**

Dans la continuité, pour la réalisation du revêtement des tunnels, l'équipe a mis en œuvre les opérations suivantes :

- La remise à neuf d'un jeu de moules de voussoirs existants chez **BESSAC**.
- La construction des voussoirs dans une usine de préfabrication à 7 km, au plus près du puits de départ.
- La construction de ces voussoirs avec des matériaux sourcés à moins de 140 km de l'usine et en Occitanie.
- La mise au point d'une formule béton Très Bas Carbone à base de filler calcaire et de métakaolin.

La mise en œuvre de cette formule de béton innovante pour l'ensemble du revêtement définitif des tunnels constitue **une première mondiale**.

C'est la formule **EXEGY®L+C3**

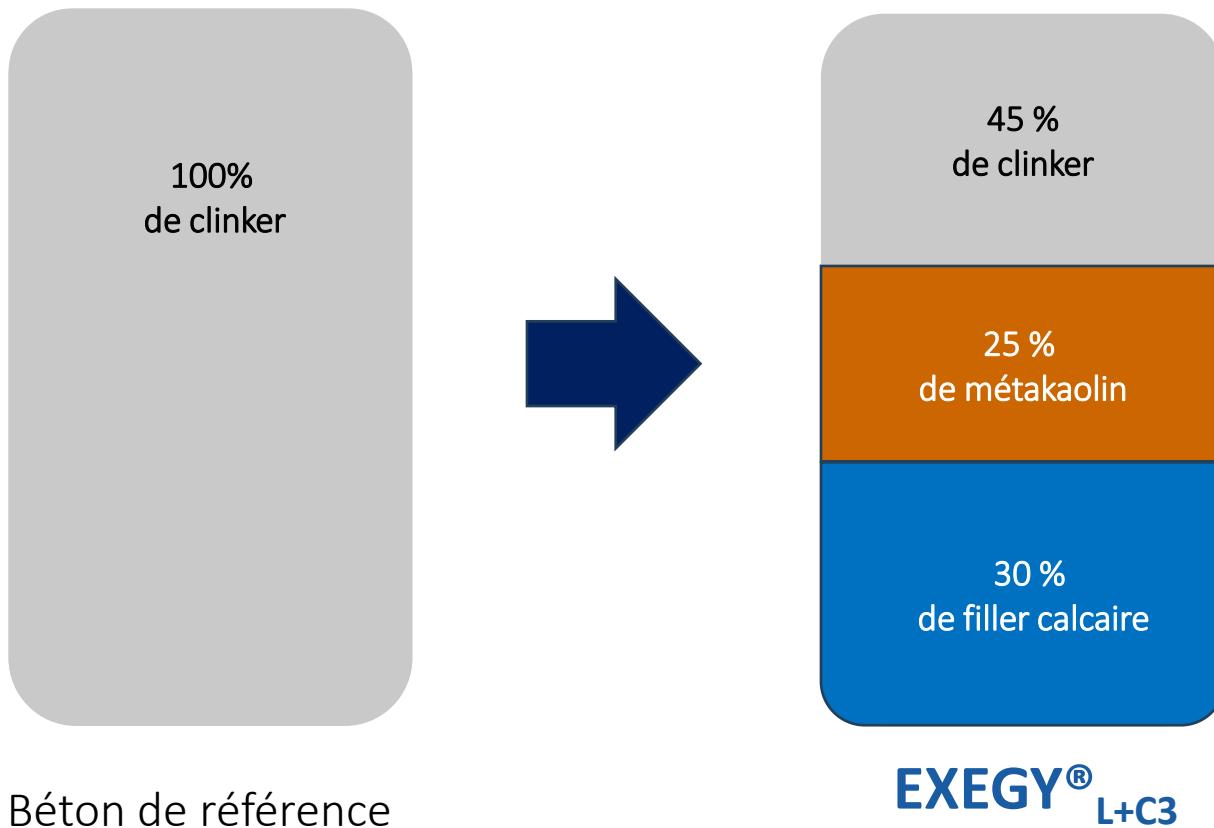
Innovation et première mondiale

EXEGY®L+C3 c'est quoi ?

Une formulation de béton bas carbone brevetée



Pour la réalisation de ces voussoirs, le clinker a été remplacé à hauteur de 55% par des additions minérales, mélange de filler calcaire et de métakaolin



L+C3 (Pour Limestone Calcined Clay Cement)

Innovation et première mondiale

La composition de ce béton Très Bas Carbone **EXEGY®L+C3** a été mise au point par le **laboratoire matériaux de VINCI Construction** grâce à **l'approche performantielle**.

L'approche performantielle est une procédure introduite dans la norme EN 206-1 en 2022. Elle permet de proposer des bétons innovants, fortement allégés en clinker, sous la condition de qualifier par des essais leur résistance et durabilité.

Il est nécessaire d'avoir l'accord et l'adhésion de tous les acteurs du chantier :



Les essais ont permis de qualifier un béton conforme aux performances techniques attendues :

- une conformité du béton à l'état frais
- une classe de résistance C40/50
- des classes d'exposition XC2 et XA1
- un prix équivalent à un béton conventionnel
- environ deux fois moins émissif en CO2 qu'un béton conventionnel

Innovation et première mondiale

Performances techniques obtenues conformes au cahier des charges :

BPPS C40/50 XA1p/XC2p D22,4 mm S1 Cl0,40

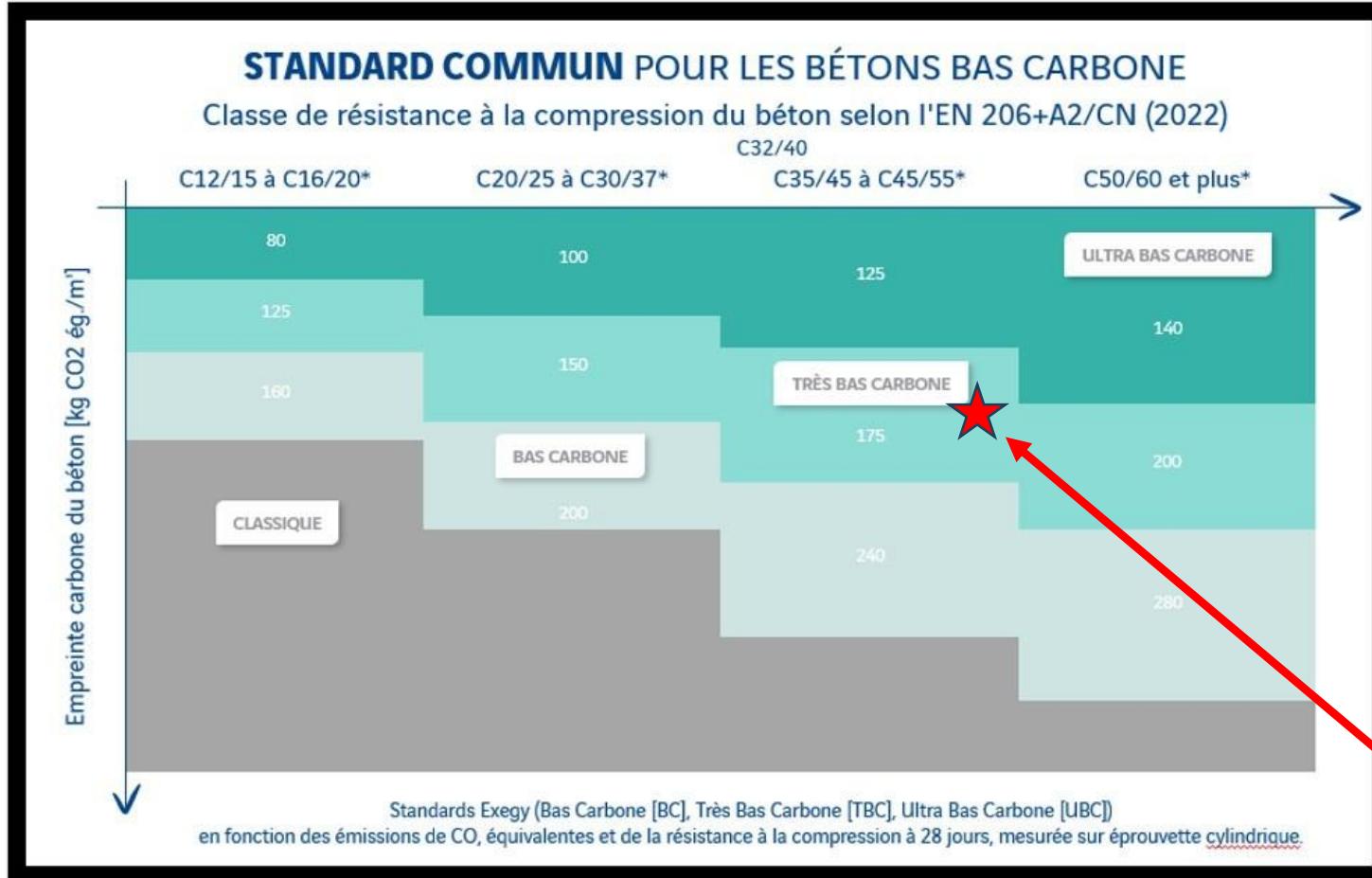
Propriétés du béton		Spécifications
Classe de consistance d'affaissement		S1
Durée Pratique d'Utilisation		30 min à 20°C
Résistance au jeune âge après étuvage		15 MPa sur cube @16h
Résistance à 28 jours		C40/50
Indicateurs généraux de durabilité	Porosité accessible à l'eau, %	$P_{\text{eau}(\text{contrôle})28} \leq 1,1 * P_{\text{eau}(\text{étude})28}$
	Résistivité électrique, Ω.m	$\rho_{(\text{contrôle})28} \geq 0,80 * \rho_{(\text{étude})28}$
Grandeurs associées à la durabilité	XC2, Porosité rapporté à la fraction volumique de pâte, %	$\frac{P_{\text{eau}(\text{contrôle})28}}{f/p} \leq 65 \%$ (ou 60 % si $\rho_{28} < 100 \Omega \cdot \text{m}$)
	XA1, Coefficient de migration accélérée des ions chlorure, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$D_{\text{XA1},28} \leq 1,3 \times D_{\text{XA1},28} \text{ du béton de référence}$

Les valeurs à 28 jours obtenues pour le béton d'étude¹ à prendre en considération pour la détermination des valeurs cibles des indicateurs généraux de durabilité sont :

- Porosité accessible à l'eau à 28 jours : $P_{\text{eau}(\text{étude})28} = 12,2 \%$
- Résistivité électrique à 28 jours : $\rho(\text{étude})_{28} = 264 \Omega \cdot \text{m}$

Innovation et première mondiale

Performance environnementale obtenue conforme à l'objectif de



Matrice des standards Exegy® de classification des bétons bas carbone

- 475 anneaux
- 2850 voussoirs
- 1 990 M3 de béton

305 tonnes Co₂éq.
gagnées sur ce
projet

149 KgCO₂éq./M3

Economie circulaire et locale



Economie circulaire et locale

- . Usine Préga idéalement située à 7 km du chantier
- . Usine rassemblant tous les critères demandés
- . Poste fixe installé dans l'usine sous les étuves Préga
- . Moules de réemploi fournis par **BESSAC** (comme le TBM)



Economie circulaire et locale

Matériaux revalorisés et sourcés à moins de 140 km de l'usine et en Occitanie.

. Métakaolin de Fumel

Argeco exploite les terrils (déchets de production) d'une carrière de kaolin pour les valoriser en métakaolin adapté à la construction, dans une logique d'économie circulaire



. Filler calcaire de Saint-Béat

Omya

. Ciment CEM II/A de Port-La-Nouvelle

Lafarge

Granulats de Portet-sur-Garonne

Malet



Et demain ?



Et demain ?

BESSAC met systématiquement à profit son expérience passée des ouvrages en Bas Carbone.

L'expérience **BESSAC** du chantier de la station d'épuration de Bonneil-en –France en 2022 avec des tuyaux de fonçage entièrement réalisés en **Ultra Bas Carbone** avec un Béton Performantiel Laitier a été un succès (et aussi une première mondiale en 2022).

Ces dernières années, la tendance était d'aller chercher des laitiers, mais ...

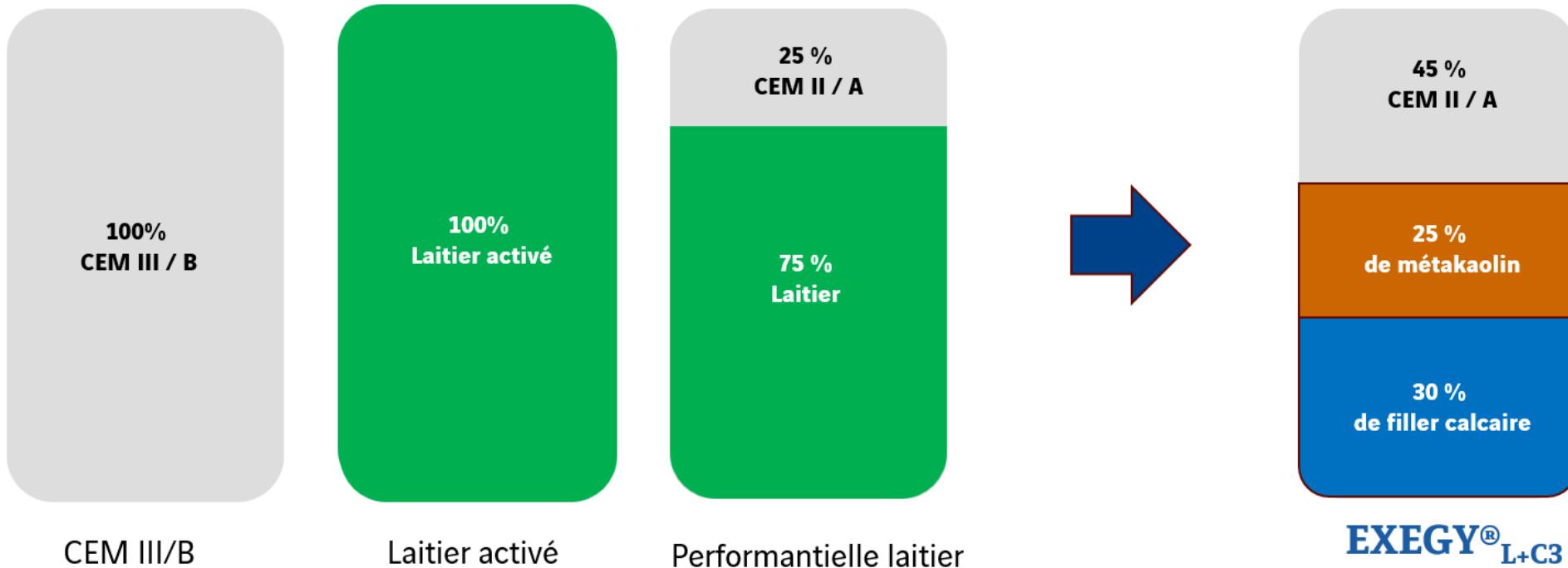
- Problème de la ressource
- Problème du prix
- Problème de la valorisation carbone du laitier

Il faut donc trouver d'autres solutions.

Le choix fait à CLB Lot 2 résulte de la volonté de faire de la valorisation et du circuit-court, mais aussi de ce constat que les laitiers ne permettent pas à Toulouse de résoudre l'équation { gain CO2 - prix – disponibilité }.

Et demain ?

✳ Solutions envisagées pour CLB Lot 2



✳ Conclusion : la solution « CLB Lot 2 » inaugure une excellente alternative aux laitiers pour l'avenir

Vidéo

merci

