

18^e
édition



JOURNÉE TECHNIQUE 2024

**Les matériaux alternatifs
dans les infrastructures
de demain**

AVEC LE SOUTIEN D'INFRA 2050

Pôle de compétitivité de la filière des Travaux Publics



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain



Diane Achard

Expert Technique Support

1 - DEFINITION

Le ciment sursulfaté est un liant hydraulique principalement constitué de laitier granulé de haut fourneau et de sulfate de calcium.

A la différence des ciments Portland traditionnel, le laitier granulé est principalement activé par le sulfate de calcium.

2 - UN NOUVEAU CIMENT ?

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, le ciment sursulfaté n'est pas nouveau et a été normalisé en France dès 1958.

Il bénéficie d'une norme Européenne NF EN 15743+A1

Il est cité dans la norme NF EN 206+A2 (et /CN) ainsi que dans le FD P18-011 (*Définition et classification des environnements chimiquement agressifs – recommandations pour la formulation des bétons*).

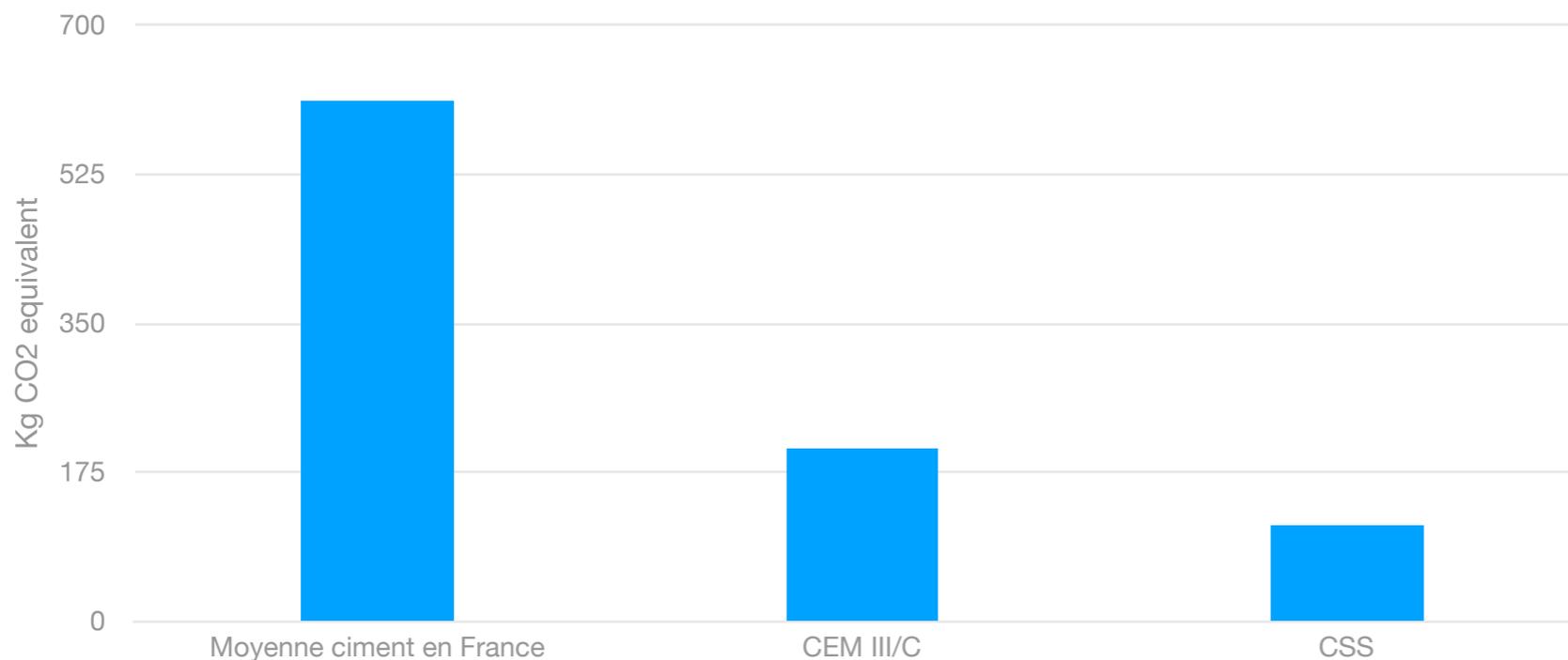
Le ciment CSS Ecocem est certifié



3 – COMPOSITION selon la NF EN 15743+A1

Type	Notation	Composition pourcentage en masse			
		Constituants principaux			
		Laitier granulé	Sulfate de calcium	Clinker Portland	Constituants secondaires
		S	Cs	K	A
SSC	Ciment sursulfaté	≥ 75	$5 \leq Cs \leq 20$	$0 < K \leq 5$	$0 \leq A \leq 5$

4 – IMPACT CARBONE



Données impact carbone calculées selon NF EN 15804+A2/CN

- Moyenne ciment et CEM III/C données site France Ciment 09/2024
- CSS donnée valeur ECOCEM 09/2024

5 – DOMAINE D'EMPLOI

Les ciments CSS conviennent à tout type d'emploi défini par la norme NF EN 206+A2/CN, mais ils sont particulièrement performant dans les environnements agressifs:

Milieu (définition FD P18-011)	Classe d'environnement
Milieu contenant des sulfates (solutions) à l'exclusion de l'eau de mer	XA2/XA3
Milieu contenant des sulfates (sols)	XA2/XA3
Milieus acides et eaux pures	XA1/XA2/XA3

6 – LIMITATION D'UTILISATION

Les ciments CSS ne doivent pas être mélangés avec les ciments Portland

7 – PROJET INDUSTRIEL : CAS DE LA VALORISATION DE DECHETS MINERAUX SULFATES

Les études visant à développer un béton bas-carbone innovant intégrant des Matières Premières issues du Recyclage (MPR).

Les MPR sont issues de la valorisation des déchets minéraux sulfatés (type briques plâtrières concassées et/ou fines de déchets de chantier), en substitution à des matières premières naturelles).

L'intégration de MPR prend en compte les contraintes industrielles :

- aspect esthétique,
- durabilité,
- résistance, etc.

Les différents essais de formulations doivent permettre de déterminer une granulométrie, un taux de sulfate acceptable et une humidité cible afin de mettre au point un futur cahier des charges.



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

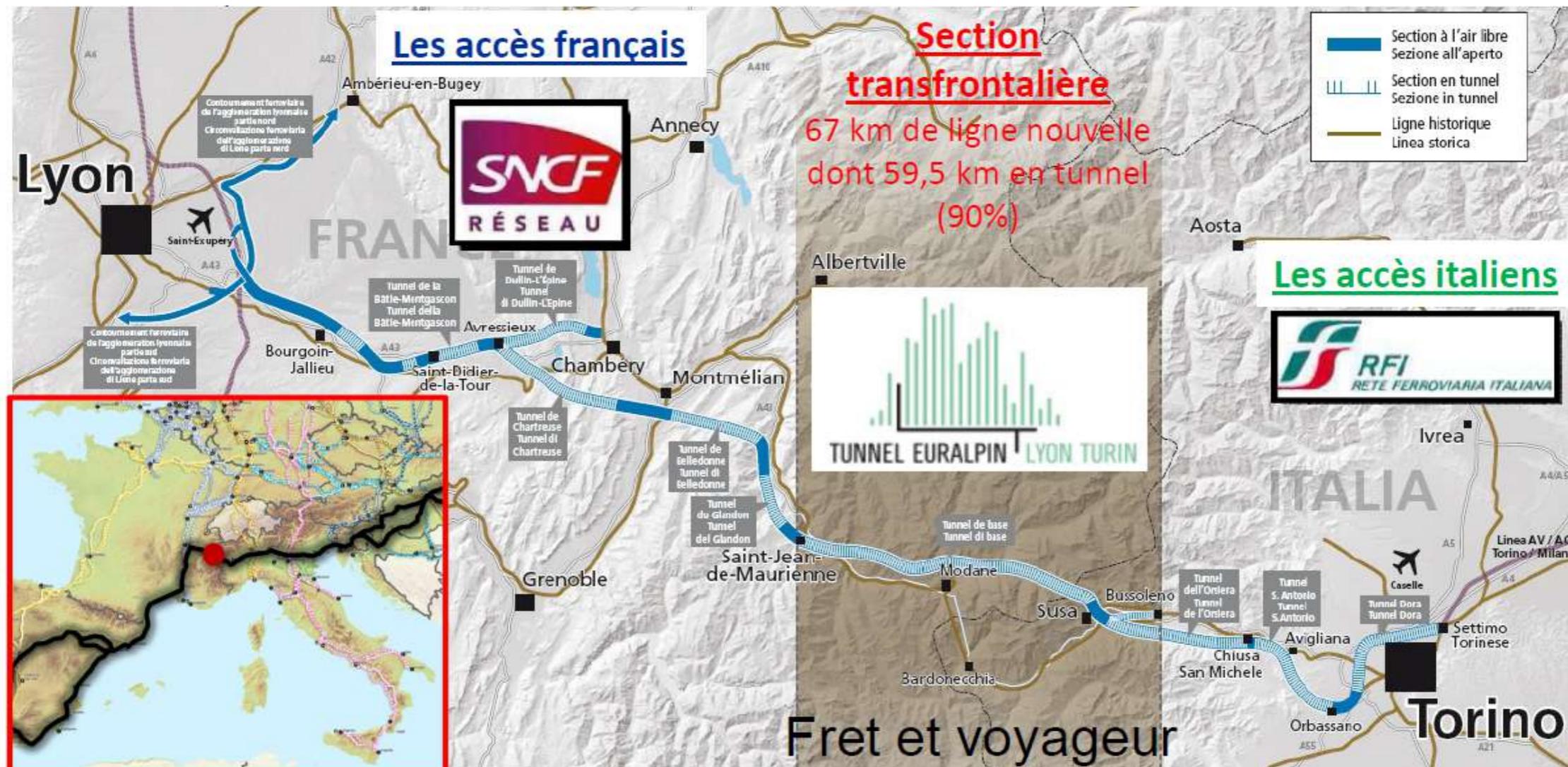
Les premiers essais de laboratoire et industriels ont permis de fabriquer des éléments de bordure à partir du béton étudié.

Les essais de performance, vieillissement et de durabilité sont en cours.



8 – CHANTIER D'INFRASTRUCTURE – PROJET TELT

- 270 km de Lyon à Turin : 70% en France et 30% en Italie
- 202 km de Tunnel (75%)



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

Marché

LOT 1 – Chantier Opérationnel 5 (CO5) du marché des travaux de construction du tunnel de base de la section transfrontalière de la liaison ferroviaire Lyon-Turin depuis les attaques côté France (2 x 18 km)

Maitre d'Ouvrage

TELT

Maitre d'Œuvre

GEIE ALTTI – Arcadis, BG, Neosia, Lombardi, Amberg

Titulaire du marché

EIFFAGE Génie Civil – Mandataire

SPIE BATIGNOLLES Génie Civil – Cotraitant Gérant

GHELLA – Cotraitant

COGEIS – Cotraitant

Infrastructure

Travaux de construction du tunnel à partir de l'attaque de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane

Département

Savoie (73)

Communes

Villarodin-Bourget/Modane



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

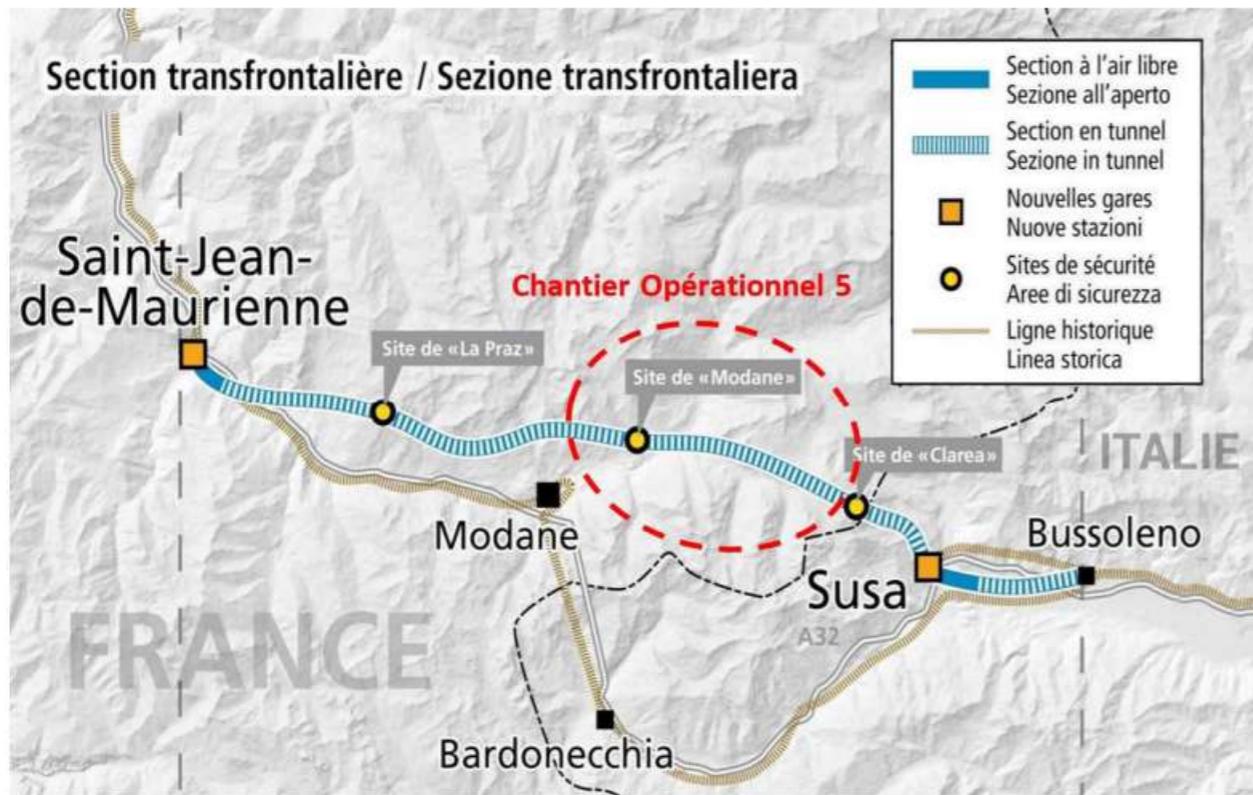


Figure 1. Situation du Chantier Opérationnel 05

Le CO5 excavera majoritairement dans la zone Briançonnaise interne, qu'elle soit rattachée à l'ouest au massif de la Vanoise (Site de sécurité), ou à l'est au massif d'Ambin.

Les Lithologies associées sont essentiellement :

- des micaschistes, quartzites et gneiss (formation de violet à rose sur la coupe géologique prévisionnelle).
- Une alternance de formations anhydritiques (jaune à vert clair);
- dolomitiques (vert foncé)
- carbonatées (bleu) seront également

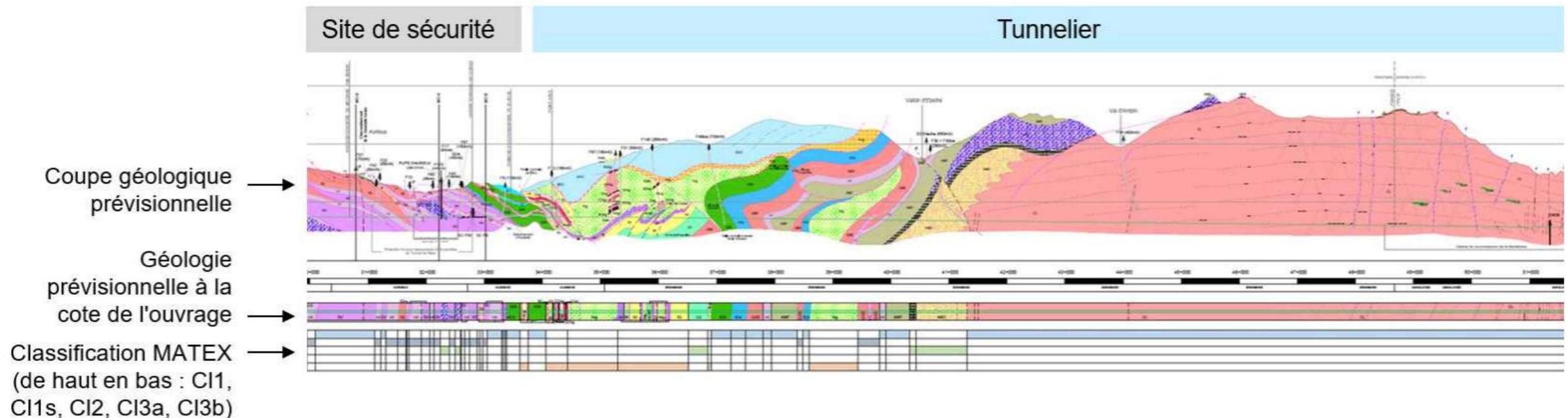


Figure 3. Coupe géologique prévisionnelle et classification des MATEX

Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

Dans le cadre du projet initial, TELT souhaite pouvoir utiliser dans les bétons du chantier les matériaux d'excavation issus du tunnel (MATEX).

Les lithologies rencontrées et la présence de Sulfates ont amené le Groupement d'Entreprise à proposer à TELT l'utilisation de ciment CSS pour permettre la valorisation des matériaux d'excavation de type CL1s.

Pour ce faire le Groupement s'est appuyé sur le FD P 18-473 « Recommandations provisoires pour l'utilisation dans les bétons de granulats dont la teneur en sulfates est supérieure aux seuils normalisés vis-à-vis de la formation d'ettringite secondaire d'origine interne et de thaumasite d'origine interne ».

Le fascicule permet de définir le niveau de prévention des ouvrages et dans ce cadre, l'ouvrage est classé en Catégorie III « Bâtiments et ouvrages exceptionnels » « Conséquences inacceptables ou quasi inacceptables »

En rappel, le taux normal de sulfate autorisé dans les bétons selon le fascicule 65 est de 0,2%.

Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

Le FD P 18-473, permet l'utilisation de granulats contenant des sulfates pouvant aller jusqu'à une valeur de 3,5%. Il définit 3 niveaux de seuils de sulfate :

- Catégorie L_AS0,8 ($0,2\% < SO_3 \leq 0,8\%$)
- Catégorie L_AS2,0 ($0,8\% < SO_3 \leq 2,0\%$)
- Catégorie L_AS3,5 ($2,0\% < SO_3 \leq 3,5\%$)

Le Groupement d'Entreprise a proposé de ne revaloriser que les matériaux allant jusqu'à la catégorie L_AS2,0.

De plus dans un souci de maîtrise des matériaux, des flux de production et éviter toute pollution accidentelle, le Groupement a proposé de limiter la valorisation des MATEX de type CL1s, à la production des bétons de radier sur un site dédié de préfabrication.



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

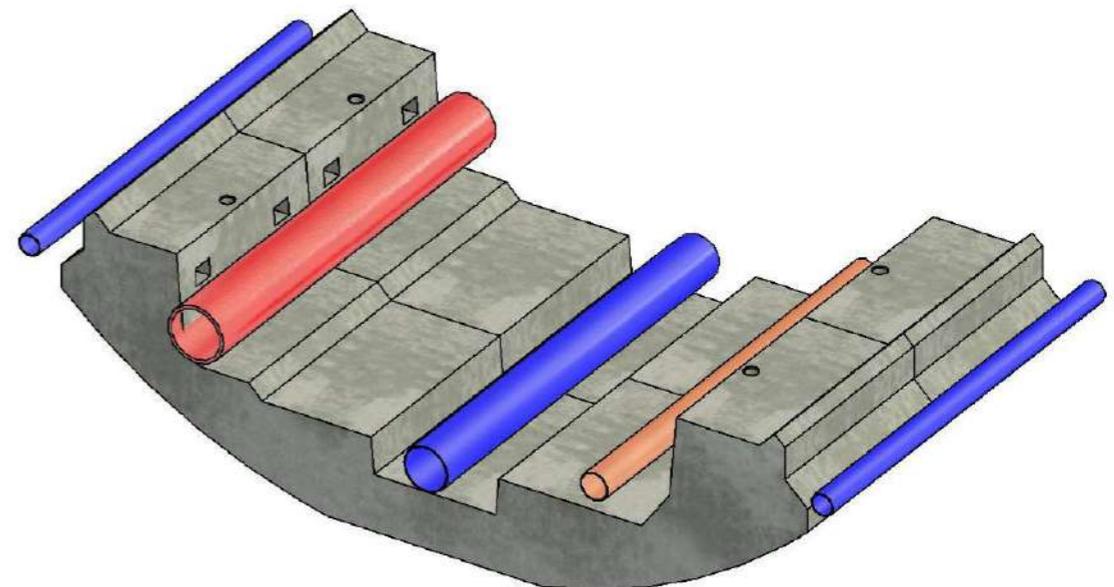
Le cahier des charges fixé par le Groupement doit permettre l'obtention de radier ayant les caractéristiques suivantes :

- Classe de Résistance C30/37
- Classe d'environnement XC3/XA3
- Granulométrie 0/16 mm (3 coupures 0/4 – 4/8 – 8/16)
- Granulats CL1s à 2,0% max de sulfate

- Plasticité S4 / Pompage 70 ml
- Rhéologie 1 h mini

- Traitement thermique : 30°C à 40°C
- Résistance à la compression à 20 heures = 15 Mpa

- Réalisation de l'essai de performance
Gonflement Ettringite Thaumasite selon
XP P 18-472 (essai long)



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

Les pré études ont été lancés en octobre 2023 et ont été finalisées en mars 2024.

Plusieurs lots de MATEX de type CL1s ont été utilisés.

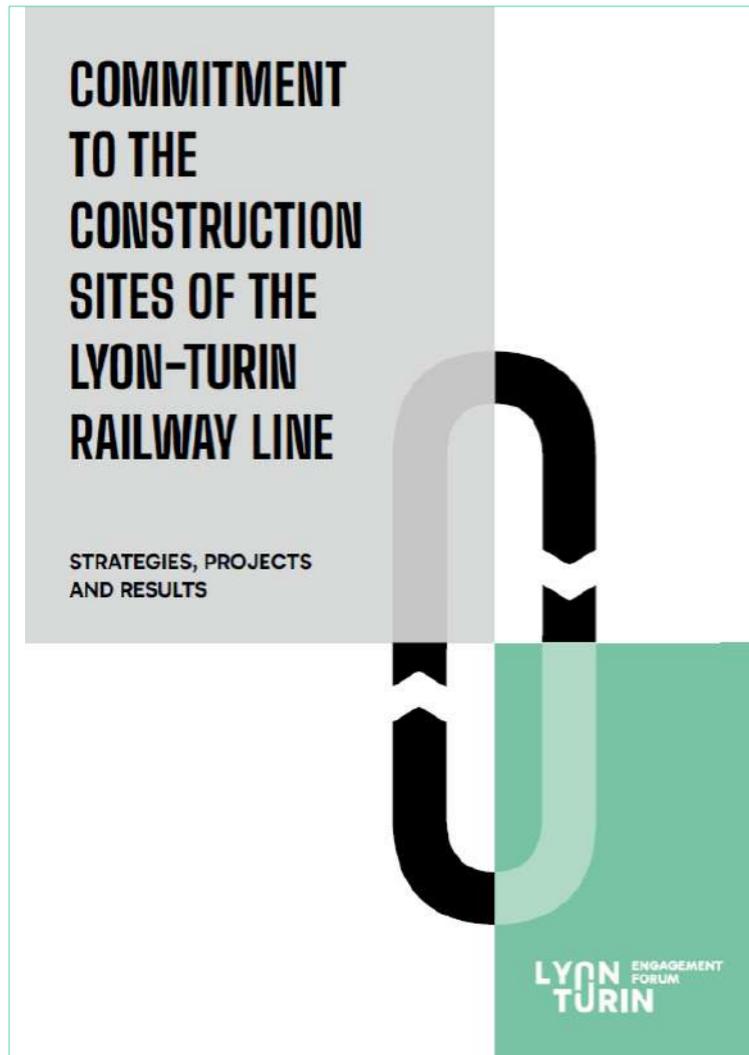
Plusieurs lots de CSS ont été produits spécifiquement et ont permis de proposer une évolution du produit afin de pouvoir satisfaire l'ensemble du cahier des charges.

De nombreux adjuvants ont été testés afin d'identifier la synergie d'adjuvant permettant d'absorber les différences constatées sur les MATEX, mais aussi permettre l'obtention des performances attendues au décoffrage.

Des optimisations du squelette granulaire du béton ont été apportées permettant non seulement l'obtention de la fluidité attendue mais aussi de diminuer la viscosité du mélange.



Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain



TELT - Juillet 2024



CO 05 Base Tunnel Started in 2021 Environmental measures by EIFFAGE

Reuse of Excavation Materials (MATEX)

The aggregates required for the concrete will be produced by the STM (Station de Traitement des Matériaux), managed by another operational site (CO_11) and located within the site's boundaries. The prepared aggregates will be stored in silos and transported by conveyor to underground concrete plants equipped with buffer silos set up by CO05.

Low-carbon concrete with CSS cements

CO_05 provides for the necessary resources to be put in place to encourage the use of MATEX aggregates in the construction of site concretes, in particular MATEX CIIs. These correspond to good-quality rocks, whose geotechnical and mineralogical characteristics make them suitable for use in aggregate production. However, they contain high levels of sulfates. These materials require the use of a specific cement, known as "Ciment Sur-Sulfaté" (CSS).

Aggregates from MATEX, CIIs with a high sulfate content (less than 2%) will be preferred for pre-fabricated inverts, using a dedicated concrete plant.

Sorting materials using the Carasol process

To secure the pre-classification of MATEX materials, CO_05 has decided to install a COFRAC-accredited CARASOL® chemistry laboratory on site at Villarodin-Bourget / Modane (VBM). In particular, it will enable MATEX to be tested for sulfur and sulfate content in less than ½ hour.

Le ciment sursulfaté, un matériau technique et alternatif au service des grandes infrastructures bas carbone de demain

Le Groupement d'Entreprise a reçu l'approbation sur les pré-études réalisées et a reçu l'autorisation pour le lancement de l'étude officielle qui est en cours.

Les corps d'épreuves pour les essais long de durabilité ont été lancés et il est prévu de faire les premiers essais industriels courant 2025 avec l'ensemble des essais de pompages.

Operative construction site

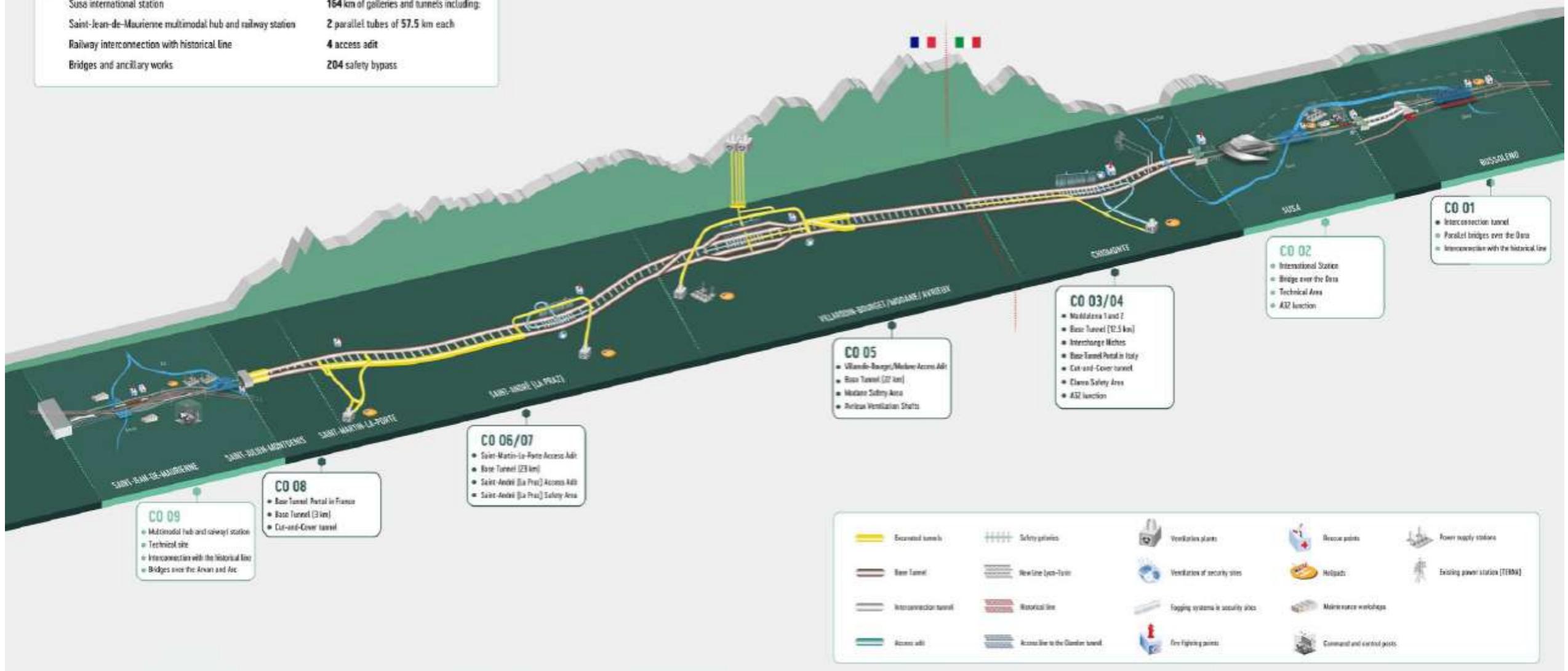
OPEN AIR WORKS

- Susa international station
- Saint-Jean-de-Maurienne multimodal hub and railway station
- Railway interconnection with historical line
- Bridges and ancillary works

UNDERGROUND WORKS

- 164 km of galleries and tunnels including:
- 2 parallel tubes of 57.5 km each
- 4 access adit
- 204 safety bypass

Le programme doit permettre la valorisation des granulats de MATEX sursulfatés à hauteur de la demande de TELT





MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Diane Achard

dachard@ecocemglobal.com

