

Valorisation de matériaux excavés riches en sulfates en granulats à béton pour le futur tunnel ferroviaire Lyon-Turin

Loïc DIVET¹, Stéphane LAVAUD¹, Mickaël SAILLIO¹, Elsa HUGOT², Jacques BURDIN²

¹MAST-CPDM, Université Gustave Eiffel, IFSTTAR, F-77447 Marne-la-Vallée

²TELT, Division technique, 13 allée du lac de Constances, CS 90281, 73375 Le Bourget du Lac Cedex

RESUME La gestion économe et durable des ressources naturelles est un des enjeux de la construction du tunnel de base du Mont-Cenis, principal ouvrage de la nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin. Le creusement de ce tunnel générera plus de 37 millions de tonnes de matériaux excavés. L'utilisation des ressources locales vise notamment à diminuer l'impact environnemental en limitant l'extraction et le transport de granulats issus des carrières. Les sondages géologiques ont mis en évidence la présence d'anhydrites sur certains secteurs du projet. Les sulfates, autres que ceux apportés par le ciment, sont à proscrire dans le béton car ils peuvent être à l'origine de désordres par formation de produits expansifs. Les travaux de recherche ont permis de développer un béton contenant ces matériaux excavés et présentant une bonne durabilité dans les conditions de fonctionnement du tunnel.

ABSTRACT The economical and sustainable management of natural resources is one of the issues at stake in the construction of the Montcenis base tunnel, the main structure of the new Lyon-Turin rail link. The excavation of this tunnel will generate more than 37 million tonnes of excavated material. The use of local resources aims in particular to reduce the environmental impact by limiting the extraction and transport of aggregates from quarries. Geological surveys have revealed the presence of anhydrites in certain project areas. Sulphates, other than those provided by cement, should not be used in concrete as they can cause disorders through the formation of expansive products. The research work has made it possible to develop a concrete containing these excavated materials that has good durability under the operating conditions of the tunnel

Mots-clefs Béton, durabilité, sulfates, excavation

Keyword Concrete, durability, sulphate, excavated materials

I. INTRODUCTION

Les besoins en granulats pour le tunnel de base sont de 11,4 millions de tonnes. La production locale de granulats étant insuffisante pour couvrir les besoins, la société TELT (Tunnel Euroalpin Lyon Turin) a engagé des études pour valoriser une partie des matériaux excavés en granulats à béton [1,2]. Entre 2009 et 2014, un partenariat de recherche entre TELT, Ifsttar, Vicat et Holcim a permis d'étudier la valorisation de ces matériaux excavés contenant des teneurs en SO_3

supérieures aux limites admises par la norme granulats EN 12-620. Ainsi, ces travaux [3-5] ont mis en évidence la possibilité d'utiliser des ciments d'une chimie particulière avec des granulats sulfatés tout en évitant l'apparition d'une réaction sulfatique : un ciment sursulfaté (dénommé CSS) et un ciment Portland de type CEM I ne contenant pas d'aluminate tricalcique C_3A (dénommé CEM I SR0). Ces solutions nécessitent d'être testées en vraie grandeur afin de s'assurer de leur faisabilité dans les conditions du chantier et d'évaluer le comportement à long terme par le biais d'essais permettant d'évaluer la durabilité des bétons retenus.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Formulation des bétons

Plusieurs formulations de béton ont été utilisées pour réaliser les démonstrateurs en variant la nature du ciment et des granulats (excavés ou issus d'une carrière) ainsi que la teneur en sulfates apportés par les granulats. Les résultats obtenus sont comparés à ceux d'une formulation de référence habituellement utilisée dans les tunnels. Ce béton de référence (F 1) est formulé avec un ciment Portland de type CEM I PM ES additionné de 25 % de cendres volantes (CV). Le tableau 1 présente les différentes formulations étudiées. Le dosage en liant est identique pour toutes les formulations de béton (400 kg/m^3).

TABLEAU 1. Formulation des bétons.

Bétons	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Liants	CEM I 25%CV	CEM I SR0	CEM I SR0	CEM I SR0	CEM I SR0	CSS	CSS	CSS	CSS	SR0 20%CV	SR0 20%CV
E/L	0,47	0,46	0,47	0,49	0,46	0,43	0,43	0,47	0,41	0,44	0,44
Nature Granulat	C	C	E	E	E+S	C	E	E	E + S	E	E
% SO_3 Béton	0,59	0,31	1,43	2,75	0,71	0,98	2,22	3,43	1,36	1,79	2,88

(SR0 : 0% C_3A , CSS : ciment sursulfaté; CV : cendres volantes; C : sables et gravillons de carrière; E : sable et gravillons de matériaux excavés; E+S : sable de carrière et gravillons de matériaux excavés)

B. Réalisation des démonstrateurs

Les démonstrateurs ont été confectionnés dans la descenderie de Modane. L'Unité de Production de Saint-Michel-de-Maurienne, située à environ 30 km de la descenderie a été utilisée. Les démonstrateurs sont des éléments de grandes dimensions, constitués d'une dalle armée représentant un élément de radier et d'un voile épais vertical représentant un élément de piédroit, pour un volume moyen de 6 m^3 . Ils ont été coulés en place dans des coffrages, puis soumis à une aspersion permanente d'eau par le biais de sprinklers après décoffrage.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Indicateurs de durabilité

Les résultats de la mesure de la porosité à l'eau sont présentés dans la figure 1. Les lettres « tf », « f », « m », « e » et « te » définissent les seuils pour lesquels la durabilité du béton est considérée

comme très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée, pour des séchages à 105°C. Ces seuils sont issus des recommandations stipulées dans l'ouvrage de l'AFGC. Ces valeurs seuil ont été établies pour des séchages réalisés à 105°C. Elles ne peuvent donc plus être prises en considération pour un séchage à 60°C, séchage plus adapté pour un béton à base de ciment sursulfaté qui comporte beaucoup d'ettringite qui perd son eau de constitution à partir de 60°C.

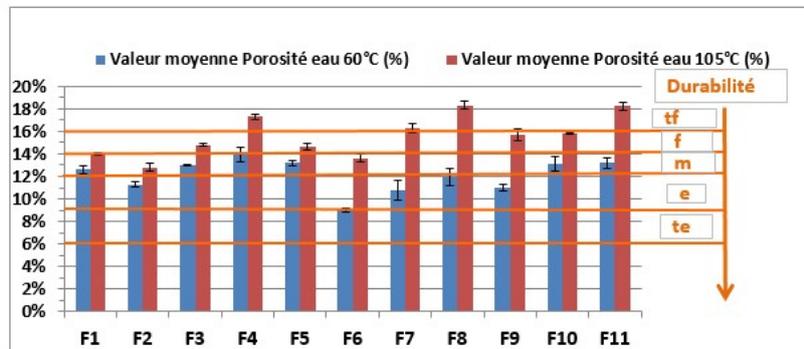


FIGURE 1. Valeurs moyennes de la porosité accessible à l'eau.

En prenant les valeurs obtenues à 60°C, à l'exception de la formule F4 (ciment CEM I SR0 avec granulats excavés), tous les bétons présentent des valeurs de porosité au moins équivalentes à la formule de référence F1. Si l'on compare les mesures de porosité obtenues à 105 et 60°C, on constate une différence très importante pour les bétons formulés avec du ciment sursulfaté (F6 à F9) ce qui justifie bien un séchage à 60°C pour ce type de matériau.

Les résultats obtenus par les tests de migration sont présentés dans la Figure 2.

Ces résultats montrent une disparité entre les formules. Si on se réfère à F1, il apparaît que certaines d'entre elles présentent un coefficient de diffusion plus faible, synonyme de meilleure durabilité. C'est le cas des formulations F6 à F9, à base de ciment sursulfaté, et de la formulation F10, à base de ciment CEM I SR0 avec cendres volantes. Ces formulations présentent une tortuosité importante au sein du réseau poreux, pour lequel il y a peu d'interconnexions. La progression des ions chlorure au sein du matériau compact est alors rendue difficile.

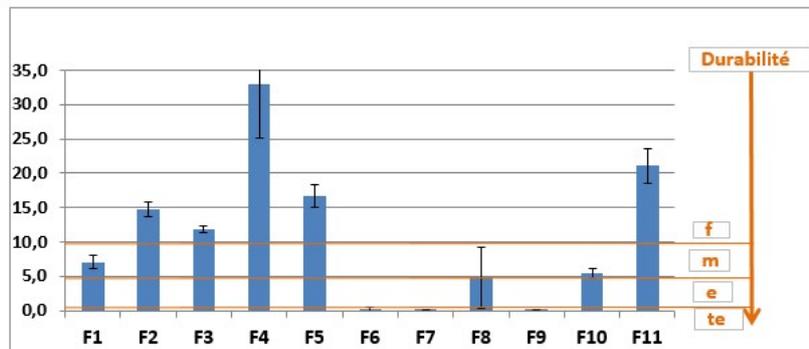


FIGURE 2. Valeurs moyennes des coefficients apparents de diffusion des ions chlorure ($D_{app,Cl}$)

B. Essai de performance vis-à-vis de la réaction sulfatique

Compte tenu des teneurs en sulfates dans les granulats, il est indispensable d'évaluer la réactivité des bétons vis-à-vis du risque d'expansion par formation d'ettringite et de thaumasite. La figure 3 présente uniquement les résultats relatifs au risque de formation de thaumasite.

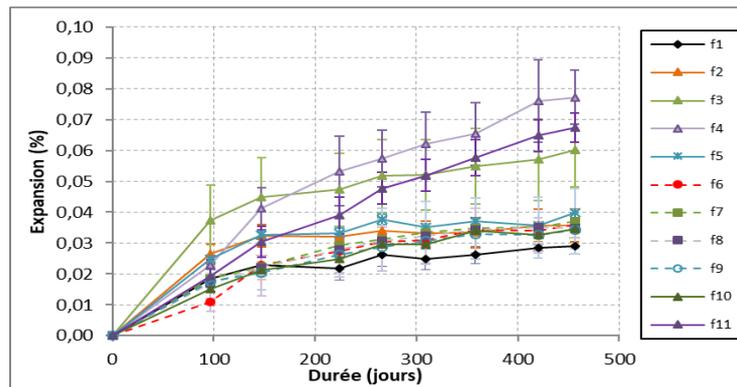


FIGURE 3. Mesure des expansions des éprouvettes vis-à-vis de la formation de la thaumasite.

Deux populations se détachent : la première, les formules comportant un ciment sursulfaté présentent des gonflements entre 0,02 et 0,04%, quelle que soit la nature des granulats. Le second groupe comporte des formules à base de ciment CEM I SR0 dont le gonflement est compris entre 0,04 et 0,08% après 450 jours de suivi.

IV. CONCLUSION

Cette étude montre la possibilité de valorisation de matériaux excavés riches en sulfates en granulats à béton, moyennant une très bonne maîtrise de l'ensemble des processus de fabrication des bétons et une parfaite connaissance des matériaux utilisés. Ainsi, une solution prometteuse s'oriente sur l'utilisation d'un ciment sursulfaté qui permet d'éviter le développement d'une réaction sulfatique. Ce bon comportement peut s'expliquer par le mode d'activation par les sulfates de ce ciment comportant une grande quantité de laitier de haut fourneau. Par ailleurs, le remplacement de la fraction sable des granulats excavés par une fraction sableuse issue d'une carrière est aussi une solution efficace pour diminuer la teneur totale en sulfates dans les bétons car les sulfates sont en plus grande quantité et plus facilement libérables dans la fraction fine des matériaux d'excavation.

REFERENCES

- [1] Darmendrail X., Rimey J., Brino L., Burdin J. (2003). Nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin – Une approche d'étude originale pour la valorisation de remblais des tunnels, Tunnels et Ouvrages Souterrains, n°176, pp.55-61, mars/avril 2003, France.
- [2] Darmendrail X., Brino L., Burdin J. (2008). Bilan et résultats des études sur la gestion et la valorisation de déblais du tunnel de base de la nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin, Congrès International AFTES 2008, pp. 45-53, Edition Spécifique, 6-8 octobre 2008, Monaco.
- [3] Colas J. (2012). Etude de la valorisation des déblais de chantiers de tunnels riches en sulfates en granulats à béton, Université Paris-Est, France.
- [4] Colas J., Chaussadent Th., Divet L., Lavaud S., Burdin J., Monin N. (2012). Innovative solutions for the use in concrete of excavated materials, International Conference Durable Structures: from construction to rehabilitation, Lisboa Portugal, june.
- [5] Colas J., Divet L., Lavaud S., Chaussadent Th., (2012). Study of the use of tunnel excavated materials from lyon-turin railway link as aggregates from concrete structures, 11th International Conference Engineering and Technology CONCET 2012, Putrajay, Malaysia.