

Séminaire histoire de la construction 26 mars 2024

Le béton, matériau de l'innovation

Université de Lausanne, salle Amphimax 414

9h. **Hélène Dessales** (UNIL – ENS, AOROC) : Introduction

9h30. **Sophie Krausz** (Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Arscan) : De l'usage de la terre crue dans l'architecture militaire des oppida celtiques : les exemples de Châteaumeillant (Cher) et de Bibracte (Nièvre)

10h30. **Stefano Camporeale** (Università degli Studi di Siena) : *Opus caementicium* et mortiers hydrauliques à l'époque romaine : histoire et applications

11h30. Pause de midi

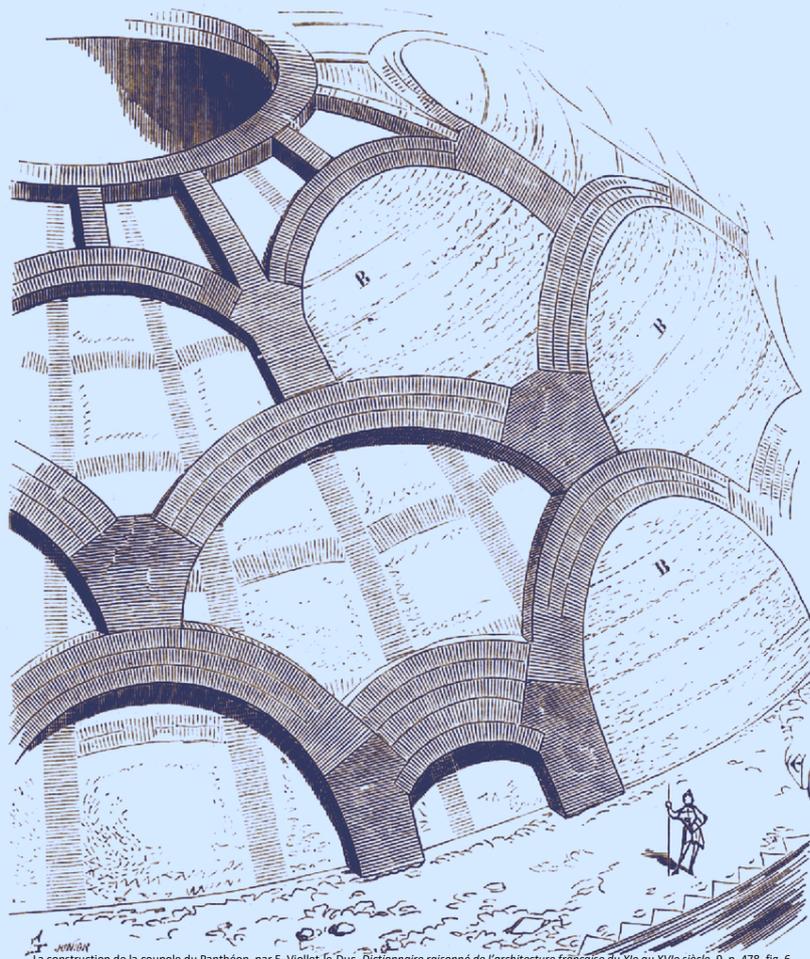
13h30. **João Mascarenhas Mateus** (Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa, CIAUD Research Centre for Architecture, Urban Planning and Design) : Le béton armé au Portugal. Innovation et réputation dans l'entre-deux-guerres

14h30. **Yvan Delemontey** (Office du patrimoine et des sites du canton de Genève) : Les premières utilisations du procédé de fabrication Baretts dans la construction de collèges suisses

15h30. **Karen Scrivener** (EPFL, Laboratory of Construction Materials) : Une solution pratique pour réduire l'empreinte CO2 du béton et de la construction

16h30. Revue de publications

L'Université de Lausanne, l'Ecole normale supérieure (laboratoires AOROC et CTAD) et l'Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne (laboratoire Orient & Méditerranée), avec le soutien de l'EUR Translitterae, s'associent pour proposer un séminaire d'histoire de la construction. Ce séminaire trans-périodes conjugue des recherches dans le domaine technique, social, juridique et économique afin d'explorer les évolutions de l'environnement bâti. Riche d'enjeux professionnels et pédagogiques, il accorde une large place à une approche comparative et à l'actualité des travaux dans ce domaine à l'échelle internationale, allant de l'Antiquité à la période contemporaine. Cinq séances ont été programmées sur l'année 2023-2024, dont une séance doctorale.



Unil
UNIL | Université de Lausanne

De l'usage de la terre crue dans l'architecture militaire des oppida celtiques : les exemples de Châteaumeillant (Cher) et de Bibracte (Nièvre)

Sophie Krausz est archéologue, Professeur à l'université Paris 1 Panthéon Sorbonne, chercheur à l'UMR8215 TRAJECTOIRES. Spécialiste de Protohistoire européenne, ses recherches portent en particulier les systèmes politiques et la naissance de l'État à l'âge du Fer. Elle a dirigé de nombreuses fouilles archéologiques en France et en Espagne, en particulier sur des fortifications, des agglomérations et des oppida de l'âge du Fer. Elle a été responsable des fouilles de l'oppidum de Châteaumeillant (2001-2018) et depuis 2019, elle coordonne un vaste programme sur les fortifications de l'oppidum de Bibracte (Nièvre, France).

Au printemps 52 avant J.-C., alors qu'il commence le siège d'Avaricum (Bourges, Cher), étonné par la conception des *muri gallici*, César rédige un chapitre technique sur ce type de rempart (BG, VII,15). Il remarque que leur construction requiert des matériaux divers, de la pierre, du bois et de la terre ainsi qu'une mise en œuvre complexe. Les nombreuses fouilles de *muri gallici* permettent d'observer qu'au sein de cette diversité, c'est bien la terre crue qui constitue le corps de ces remparts et leur matériau principal. La mise en œuvre de la terre est donc une problématique de première importance pour comprendre la conception et le fonctionnement de ces ouvrages militaires.

Ma présentation sera articulée autour de deux exemples : le premier concerne le *murus gallicus* B de Bibracte (enceinte interne) qui est actuellement en cours de fouille par mon équipe. La masse du *murus gallicus*, constituée à l'origine de terre crue et de bois est parfaitement conservée et encore debout sur toute sa hauteur, soit environ 4 m. Construite dans le courant du I^{er} s. avant J.-C., elle a un peu plus de 2000 ans et n'a pas bougé. En revanche les parties en pierre, parement externe et blocage du mur, se sont éboulés depuis longtemps.

Mon second exemple concerne un autre modèle de rempart gaulois connu dans le centre de la France. Il s'agit du rempart massif de Châteaumeillant (Cher). Sa fonction et sa conception sont radicalement différentes de celles du *murus gallicus*. En effet, les remparts massifs sont des talus énormes précédés de larges fossés à fond plat. La fortification de Châteaumeillant mesure 90 m de large, dont 45 m pour son fossé à fond plat. À Châteaumeillant, l'approche globale du système défensif révèle que le rempart massif n'est pas un simple tas de terre extrait du fossé. L'ouvrage est au contraire une construction complexe, aussi élaborée techniquement qu'un rempart à poutrage ou un mur en pierre. Ce rempart massif est composé de sédiments et de roches sélectionnés pour leurs propriétés mécaniques. On entrevoit également l'importance de la géométrie à travers les inclinaisons des pentes et les proportions cohérentes des différentes parties du système défensif. Les concepteurs du rempart massif connaissaient bien les qualités mécaniques des matériaux, de l'argile locale et des altérites provenant du socle métamorphique. Ils appréciaient également les propriétés de ces ressources minérales, leur réaction à l'état humide, leur capacité à durcir et à se compacter. Les ressources ont été soigneusement choisies et mises en œuvre avec un projet militaire et technologique s'intégrant dans une démarche poliorcétique.

Bibliographie sélective :

KRAUSZ S. 2014—Stratégie et défense des oppida celtiques : les remparts de guerre des Bituriges Cubi, in Buchsenschutz O., Dutour O., Mordant C. dir. : Archéologie de la violence et de la guerre dans les sociétés pré et protohistoriques, Congrès National du CTHS, Perpignan mai 2011, p.193-207.

KRAUSZ S. 2018— L'art de la fortification celtique : architecture et ingénierie des systèmes défensifs, in : Villard-Le Tiec A. (dir.) : Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale, Actes du 40e colloque international de l'AFEAF de Rennes, 4-7 mai 2016, p.239-255.

KRAUSZ S. 2019 — Julius Caesar's assault ramp at the oppidum of Avaricum in 52 BC, in Tanja Romankiewicz, Manuel Fernández-Götz, Gary Lock and Olivier Buchsenschutz (dir.) Enclosing space, opening new ground: Iron age studies from Scotland to mainland Europe, Oxbow, p.23-31.

KRAUSZ S. et Millereux C. 2019 — Les fortifications celtiques de l'oppidum biturige de Châteaumeillant-Mediolanum (Cher), Bulletin de l'Association Française pour l'Étude de l'âge du Fer, n°37, 71-74.

KRAUSZ S. 2019— Iron Age Fortifications in France, in G. Lock and I. Ralston (ed.) Hillforts: Britain, Ireland and the Nearer Continent, Papers from the Atlas of Hillforts of Britain and Ireland Conference, June 2017, Archaeopress Archaeology, Oxford, p.165-187.

BUCHSENSCHUTZ et KRAUSZ 2019— Buchsenschutz, Olivier, Krausz Sophie. « Agglomérations de plaine et oppida des Bituriges, Carnutes et Turons (IIIe-ler s. av. J.-C.). », in Fichtl S., Barral P., Pierrevelcin G., Schönfelder M. (dir.) : Les agglomérations ouvertes de l'Europe celtique (IIIe-ler s. av. J.-C.), Table-ronde internationale, Glux-en-Glenne, 28-30 octobre 2015, Strasbourg, Mémoires d'Archéologie du Grand Est, MAGE 4, p. 135-148.

KRAUSZ S. 2019—Gauls under siege: defending against Rome, in A. P. Fitzpatrick and C. Haselgrove dir. Julius Caesar's Battle for Gaul: new archaeological perspectives, Oxbow books, Oxford, p.159-178.

KRAUSZ S. — La rampe d'assaut de César devant l'oppidum d'Avaricum en 52 a.C., Revue d'Histoire Militaire Antique (HIMA), 9, 247-260.

KRAUSZ S. Les remparts de l'âge du Fer ont-ils été construits pour la guerre ou pour la paix ? in NECTOUX E., KURZAJ M.-C., GRUAT P., FÉLIU C., DELRIEU F. dir. Espaces fortifiés à l'âge du Fer en Europe, (actes 43e coll. int. AFEAF, Le Puy-en-Velay, 30mai-1er juin 2019), AFEAF no 3, Paris, p. 123-136.

KRAUSZ S. — Le dernier rempart des Bituriges. La poliorcétique à la fin de l'âge du Fer à Châteaumeillant (Cher) in NECTOUX E., KURZAJ M.-C., GRUAT P., FÉLIU C., DELRIEU F. dir. Espaces fortifiés à l'âge du Fer en Europe, (actes 43e coll. int. AFEAF, Le Puy-en-Velay, 30 mai-1er juin 2019), AFEAF no 3, Paris, p. 63-76.

KRAUSZ S.2022— Les remparts de l'oppidum de Châteaumeillant, Dossiers d'Archéologie n° 410, 56-59.

KRAUSZ S. — Dans la guerre et dans la paix : le rôle des fortifications gauloises, in Roure R., Dusseaux D. : Gaulois ? Gaulois ! Comment l'archéologie perçoit les identités celtiques, Snoeck, p.177-178

KRAUSZ S. —Les oppida, un programme de militarisation de la société celtique ? in Guichard V. dir. Continuités et discontinuités à la fin du IIe siècle avant notre ère dans l'espace celtique et à sa périphérie, Glux-en-Glenne (coll. Bibracte, 32), p. 331-342.

KRAUSZ S., FILET C. 2023 — Le système défensif de l'oppidum de Bibracte : Les Grandes Portes, In Vincent Guichard. Rapport annuel 2022 sur le Mont-Beuvray, Bibracte EPCC.

KRAUSZ S. 2023— Qu'on me donne un point d'appui et j'ébranlerai la Terre : À la recherche des savants celtes oubliés in Meunier E. et al. dir. Mines et métallurgies anciennes. Mélanges en l'honneur de Béatrice Cauuet, Pessac, Ausonius Éditions, collection DAN@ 9, p. 131-139.

KRAUSZ S.2023 — La guerra en el mundo celta, 500-50 a.C., Desperta Ferro (revue d'histoire militaire), p.6-14.

KRAUSZ S. coord. 2024 — Les Gaulois et la guerre, Dossiers d'Archéologie, n°421, Éditions Faton, janvier-février 2024.

KRAUSZ S., FILET C., FÉLIU C.2024 — Le système défensif de l'oppidum de Bibracte : Les Grandes Portes, In Vincent Guichard. Rapport annuel 2023 sur le Mont-Beuvray, Bibracte EPCC.

***Opus caementicium* et mortiers hydrauliques à l'époque romaine : histoire et applications**

Stefano Camporeale est professeur associé (maître de conférences) d'archéologie classique à l'Université de Sienne depuis 2016, il a été chercheur à l'Université de Trente (2014-2016), boursier Marie Curie à l'École normale supérieure de Paris (2011-2013) et il a obtenu le doctorat de recherche à l'Université de Sienne (2006). Ses recherches portent principalement sur les techniques de construction et les chantiers édilitaires de l'époque romaine, mais comprennent en général l'archéologie et l'architecture romaine, l'archéologie de la Méditerranée ancienne et des provinces romaines de l'Afrique du Nord, l'Étrurie romaine, la Rome impériale. Il a travaillé sur les anciens chantiers de construction du Maroc romain, d'Hephaestia (Grèce), Dionysias (Fayoum, Égypte), Mérida (Espagne), des palais impériaux de Rome (Domus Tiberiana). Il a été membre du comité organisateur d'un cycle de rencontres sur les chantiers antiques tenues à Mérida (2007), Sienne (2009), Paris (2009), Padoue (2012) et Oxford (2015). En collaboration avec le laboratoire AOROC de l'ENS-Paris, il a contribué à la création d'un atlas des techniques de construction romaines en pierre et terre cuite (<https://acor.huma-num.fr/>). Actuellement il dirige des fouilles archéologiques en Italie : une domus de l'acropole de Populonia et une villa romaine près de Sienne. Il est auteur ou co-auteur de deux monographies sur l'architecture de la ville romaine de Sala au Maroc, qui sont disponibles en Open Access :

<https://oa.torrossa.com/it/resources/an/5595202>

<https://oa.torrossa.com/it/resources/an/5595201>

Dans le monde romain, différents types de mortiers et de bétons étaient utilisés, en fonction de la période chronologique, des matières premières disponibles, ainsi que du type et de la fonction de la structure à construire. Quoi qu'il en soit, l'utilisation de ces matériaux fut intensive, permettant le développement d'une grande architecture monumentale, notamment de l'époque impériale. Comprendre comment est née et évoluée la technologie du mortier et du béton au fil du temps, c'est découvrir l'une des caractéristiques essentielles de la technologie de la construction romaine. Après avoir mis en lumière quelques expériences sur l'hydraulicité des mortiers de la fin de l'ère républicaine, l'intervention portera avant tout sur un type particulier de béton hydraulique : l'*opus caementicium*. Ces derniers temps, une série de nouvelles études se sont concentrées sur cette technique de construction particulière, mettant en évidence les raisons de sa naissance et de son succès, en relation avec l'évolution de la société romaine et à l'aide d'analyses archéométriques.

Bibliographie sélective :

Brandon C. J., Hohlfelder R. L., Jackson M. D., Oleson J. P., 2014, *Building for eternity. The history and technology of Roman concrete engineering in the sea*, Oxford.

Coutelas A. (éd.), 2009, *Le mortier de chaux*, Paris

DeLaine J. 2021, Production, transport and on-site organization of Roman mortars and plasters, *Archaeological and anthropological sciences*, 13: 195. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01401-5>

Le béton armé au Portugal. Innovation et réputation dans l'entre-deux-guerres

João Mascarenhas-Mateus, est Chercheur Principal au Centre de Recherche en Architecture, Urbanisme et Design (CIAUD) de la Faculté d'Architecture, Université de Lisbonne, depuis 2015. Docteur en Génie Civil (IST-ULisbonne) et MSc en Architecture (Katholieke Universiteit Leuven, Belgique). Depuis sa maîtrise, il a travaillé à la KULeuven comme assistant de recherche, à l'université de Rome La Sapienza, Italie, comme conférencier invité et à l'Université de Coimbra, Portugal, comme chercheur auxiliaire. Il a eu aussi des fonctions de coordination dans des projets internationaux de conservation architecturale à Lisbonne et à Rome. Ses recherches portent sur les techniques historiques de construction en maçonnerie et sur l'histoire des cultures de bâtir au Portugal (18-20ème siècles). Fondateur, président (2018-2021) et à présent vice-président de la Société Portugaise d'Études sur l'Histoire de la Construction, il fut le chairman du comité organisateur du 7ICCH - Congrès Internationale d'Histoire de la Construction.

L'introduction et la réception du ciment Portland et du béton armé ont marqué un changement significatif dans les pratiques de construction à l'échelle mondiale. La présentation vise à fournir un aperçu de différents aspects culturels, commerciaux, économiques, académiques, législatifs et institutionnels qui ont démontré ce changement au Portugal. La période d'étude débute dans la seconde moitié du XIXe siècle, avec les premiers efforts nationaux pour produire des chaux hydrauliques artificielles et du ciment naturel, ainsi que l'importation de ciment Portland. L'analyse prend en considération des revues spécialisées et des monographies portant sur les limites et les avantages du nouveau processus de construction, dans le but de comprendre la formation d'une réputation largement estimée pour le béton armé. L'étude se conclut avec le début de la Seconde Guerre mondiale, époque durant laquelle un deuxième code national pour le béton armé a déjà été publié, signifiant la solidification d'une nouvelle culture qui sera utilisée efficacement sous le nouveau régime autoritaire de l'Estado Novo.

Bibliographie sélective :

Mascarenhas-Mateus, João (ed.). *Changing Cultures: European Perspectives on the History of Portland Cement and Reinforced Concrete, 19th and 20th Centuries*. Boca Raton, FL, United States: CRC Press. 2023. DOI: 0.1201/9781003368656 .

Mascarenhas-Mateus, João. "The Reception of Cement and Reinforced Concrete in Portugal Before 1935". In *Changing Cultures: European Perspectives on the History of Portland Cement and Reinforced Concrete, 19th and 20th Centuries*, 9-41. Boca Raton, FL, United States: CRC Press, 2023. DOI: 10.1201/9781003368656-3.

Mascarenhas-Mateus, João (ed.); Pires, Ana Paula (ed.). *History of Construction Cultures Proceedings of the 7th International Congress on Construction History (7ICCH 2021). Volume 1&2 "*. Leiden, Netherlands: CRC Press/Balkema & Routledge. 2021. DOI: 10.1201/9781003173359 / 10.1201/9781003173434.

Mascarenhas-Mateus, João; Veiga, Ivo. "Portugal Builds: uma plataforma digital para a história da construção em Portugal nos séculos XIX e XX". *Estudos Históricos (Rio de Janeiro)* 33 69 (2020): 88-110. DOI: 10.1590/S2178-14942020000100006.

Mascarenhas-Mateus, João. "Construction History and the History of Construction Cultures: Between Architecture and Engineering in Portugal". *Buildings* 10 4 (2020): 65. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings10040065>.

Mascarenhas-Mateus, João. "Historia de la construcción y restauración arquitectónica: algunas reflexiones". *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura I n.s.*, 2019 (2020): 209-214. DOI:10.48255/1072.

Mascarenhas-Mateus, João. "The study of the History of Construction in Portugal: between the singular and the universal". In *L'histoire de la Construction / Construction History: relevé d'un chantier européen / Survey of a European building site*, edited by Becchi, Antonio (ed.); Carvais, Robert (ed.); Sakarovitch, Jöel, 325-356. Paris, France: Classiques Garnier. 2018.

Mascarenhas-Mateus, João. "A História da Construção em Portugal". In *A História da Construção em Portugal: consolidação de uma disciplina*, edited by Mascarenhas-Mateus, João (ed.), 7-28. Lisboa, Portugal: By the Book, 2018.

Mateus, João Mascarenhas. *Técnicas tradicionais de construção de alvenarias: a literatura técnica publicada entre 1750 e 1900 e o seu contributo para a conservação de antigos edifícios em alvenaria*. Lisboa, Portugal: Livros Horizonte. 2002.

Les cycles d'orientation genevois de première génération (1961-1968) : une expérience pionnière d'industrialisation de l'architecture scolaire en Suisse

Yvan Delemontey est architecte et docteur en architecture de l'Université Paris 8 et de l'Université de Genève. Engagé dans la recherche, l'enseignement et le service à la collectivité, il est l'auteur de nombreuses publications portant sur l'histoire des processus constructifs de l'architecture au XXe siècle et la sauvegarde du patrimoine moderne et contemporain. Longtemps enseignant et chercheur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), il est actuellement architecte à l'Office du patrimoine et des sites (OPS) du canton de Genève, au sein du Service de l'inventaire des monuments d'art et d'histoire (IMAH) où il est chargé de la protection du patrimoine récent.

En octobre 2023, le cycle d'orientation du Marais, à Onex, est inscrit à l'inventaire des monuments dignes de protection du canton de Genève, rejoignant ainsi le cercle restreint des établissements scolaires genevois de la seconde moitié du XXe siècle à être protégés. Conçu et réalisé entre 1966 et 1968, le cycle d'orientation du Marais s'inscrit dans le cadre d'une importante réforme de l'enseignement secondaire à l'origine d'une évolution majeure de l'architecture scolaire à Genève.

En effet, pour la première fois, une série de groupes scolaires vont être planifiés à l'échelle du territoire cantonal selon un plan type modulaire basé sur une organisation fonctionnelle des locaux et le recours à des techniques de construction industrialisées dans lesquelles la préfabrication en béton (système français Barets dont l'entreprise de construction Induni & Cie exploite alors la licence en Suisse) va jouer un rôle essentiel. C'est l'architecte Claude Grosgrain qui est chargé de mettre en œuvre ce programme architectural à travers la réalisation rapide, économique et coordonnée de cinq établissements préfabriqués (cycle de la Florence à Conches, de Budé au Petit-Saconnex, de Pinchat à Carouge, du Marais à Onex et de la Golette à Meyrin) édifiés entre 1961 et 1968.

Basée sur une étude inédite récente, cette contribution montrera comment, par son ampleur, son unité de conception et son caractère pionnier, cette expérience constitue un moment fondateur dans l'histoire de la construction scolaire en Suisse, autant qu'un jalon dans celle de préfabrication en béton dont l'essor à Genève est dès lors durablement stimulé.

Bibliographie sélective :

Y. Delemontey, Le cycle d'orientation du Marais à Onex, 1966-1968, étude patrimoniale, Genève, OPS-IMAH, 2023.

B. Marchand, L'Art de la préfabrication. Prelco 1972-2022, Gollion, Infolio, 2022.

C. Berthoud, Le Cycle d'orientation genevois. Une école secondaire pour démocratiser l'accès à la culture 1927-1977, Gollion, Infolio, 2016.

M. Di Nallo, Un'architettura educatrice. L'edilizia scolastica svizzera negli anni Cinquanta e Sessanta, thèse de doctorat en histoire de l'architecture et de l'urbanisme, Politecnico di Milano/Univesità della Svizzera Italiana, 2013.

Centre international de la Construction scolaire, « La préfabrication lourde pour des bâtiments scolaires », Werk, n° 9, septembre 1963, p. 189-192.

Une solution pratique pour réduire l'empreinte CO2 du béton et de la construction

Karen Scrivener est professeur et directrice du laboratoire des matériaux de construction au sein du département des matériaux de l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne) depuis 20 ans. Elle est membre de la Royal Academy of Engineering du Royaume-Uni et auteur de plus de 200 articles. Ses recherches portent sur la compréhension de la chimie et de la microstructure des matériaux à base de ciment et sur l'amélioration de leur durabilité. En 2008, elle conçoit l'idée du ciment LC3, un matériau qui peut réduire les émissions de CO2 liées au ciment de plus de 400 millions de tonnes par an.

Ciment, béton et CO2 : que pouvons-nous faire ?

Plus des deux tiers de TOUS les matériaux que nous utilisons sont à base de ciment. Cela représente une contribution annuelle d'environ 8 % aux émissions de CO2. Mais il y a beaucoup à faire pour parvenir à une diminution. Une plus grande coordination entre les différentes parties de l'industrie est nécessaire pour réaliser ces réductions dans la pratique. Cet exposé présentera les options disponibles et discutera de ce dont nous avons besoin pour les mettre en œuvre sur le terrain.

Bibliographie sélective :

K.L. Scrivener, *The Development of Microstructure during the Hydration of Portland Cement*, London, University of London, 1982.

K.L. Scrivener, R. James Kirkpatrick, « Innovation in Use and Research on Cementitious Material », *Cement and Concrete Research*, vol. 38, Issue 2, 2008, p. 128-136.

S. Bishnoi, K.L. Scrivener, « A New Platform for Modelling the Hydration of Cements », *Cement and Concrete Research*, Vol. 39, Issue 4, 2009, p. 266-274.

B. Lothenbach, K.L. Scrivener, R.D. Hooton, « Supplementary Cementitious Materials », *Cement and Concrete Research*, vol. 41, Issue 12, 2011, p. 1244–1256.

K.L. Scrivener, « Options for the Future of Cement », *The Indian Concrete Journal*, vol. 88, 2014, p. 11–21.

K.L. Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi, S. Maity, « Calcined Clay Limestone Cements (LC3) », *Cement and Concrete Research*, vol. 114, 2018, p. 49–56.