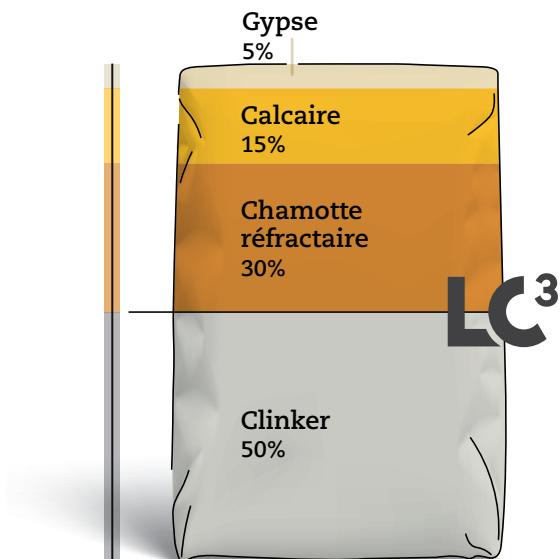




Une solution durable pour l'industrie du ciment





LC3 – Une solution « bas carbone »

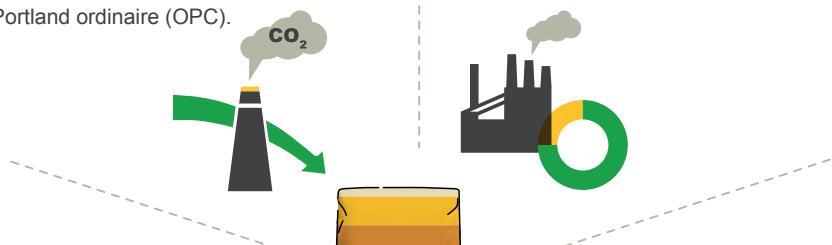
Le ciment mélangé aux argiles calcinées et au calcaire (LC3) est un nouveau ciment mélangé à empreinte carbone réduite qui permet aux cimentiers de réduire les émissions de CO₂ liées à la production. Le financement de l'Agence suisse pour le développement et la coopération (DDC) a permis de faire passer la technologie LC3 du laboratoire à la production commerciale à grande échelle. La DDC a soutenu le développement de la base scientifique du LC3 et les essais de production. Elle encourage l'adoption des normes régissant le LC3 et soutient son étendue à l'échelle mondiale.

Figure 1

Cinq bonnes raisons d'adopter le LC3

Carbone réduit

Le LC3 réduit la teneur en clinker¹ à forte intensité énergétique jusqu'à 50 %, réduisant ainsi les émissions de CO₂ jusqu'à 40 % par rapport au ciment Portland ordinaire (OPC).



Scalabilité

La disponibilité en abondance des matériaux appropriés signifie que le LC3 peut être produit **dans 75 % des cimenteries à travers le monde**.

Efficacité des ressources

Pour le LC3, **on peut utiliser à la fois du calcaire**, qui ne convient pas à la production de clinker, et **des argiles** ne se prêtant pas à la production de porcelaine, qui sont souvent des déchets.



Rentabilité

Parce que **calciner de l'argile** revient souvent moins cher que calciner du clinker, le LC3 permet de réduire les coûts de production jusqu'à 25 %.

Performances élevées

Le LC3 offre des performances égales ou supérieures à celles de l'OPC, avec l'avantage d'être plus résistant à la pénétration des ions chlorure, la principale cause de **corrosion des armatures**.

¹ Clinker : matériau nodulaire gris foncé obtenu en chauffant du calcaire et de l'argile à une température d'environ 1400-1500 °C.

Les défis de l'industrie du ciment pour atteindre la neutralité carbone

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde, et son principal composant est le ciment. Les processus de combustion chimique et thermique impliqués dans la production de ciment sont des sources majeures d'émissions de CO₂, dont 60 % sont des émissions directes provenant du chauffage du calcaire pour produire du clinker, avec 40 % provenant de la combustion des combustibles utilisés dans les fours à ciment (AMCC 2022). La production de ciment représente environ 8 % des émissions mondiales de CO₂.

Le monde est de plus en plus urbanisé, en particulier en Asie et en Afrique subsaharienne. En 2020, 56 % de la population mondiale résidait dans des villes et la population urbaine devrait doubler d'ici à 2050 (BM 2020). Le béton devrait jouer un rôle essentiel dans l'expansion de l'environnement bâti, en particulier dans les économies émergentes. L'augmentation de la production de béton nécessitera un accroissement de la production de ciment, qui passera de plus 4 milliards de tonnes par an, son niveau actuel, à plus de 5 milliards de tonnes par an d'ici 2050 (Chatham House 2018).

Parallèlement, la réalisation de l'objectif de l'accord de Paris visant à limiter le réchauffement climatique bien en dessous de 2 °C, de préférence à 1,5 °C, exige des efforts considérables pour décarboniser tous les secteurs. La neutralité carbone doit être atteinte dans l'ensemble du cycle de vie de la

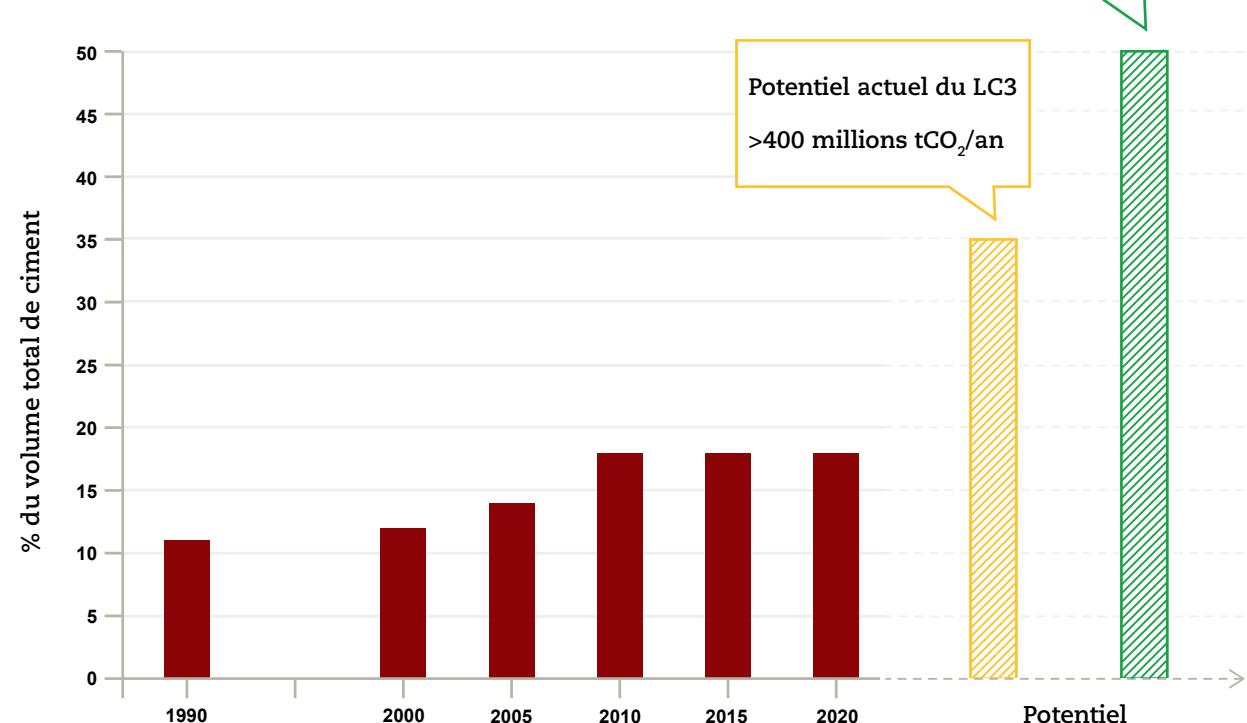
construction de bâtiments d'ici à 2050 (Global Climate Action Pathway 2021). L'intensité de carbone directe de la production de ciment a augmenté de 1,5 % par an entre 2015 et 2021. En revanche, des baisses de 3 % par an jusqu'en 2030 s'avèrent nécessaires pour atteindre le scénario de neutralité carbone d'ici à 2050 (AIE 2022).

LC3 sur la voie d'un avenir à empreinte nulle

Pour parvenir à un avenir à empreinte nulle, le secteur de la construction doit adopter des approches durables, économies en ressources et circulaires, notamment la réduction de la consommation de ciment et d'acier et l'utilisation de matériaux de construction durables. Les contributions de l'utilisation de ciment et de béton à l'objectif de neutralité carbone doivent inclure des améliorations d'efficacité de la conception et de la construction ; des économies de ciment et de liants ; des économies dans la production de clinker ; l'efficacité de la production de béton ; et l'utilisation de technologies de captage et stockage du carbone, d'utilisation et de stockage du dioxyde de carbone (AMCC 2021). Le LC3 contribue à réduire les émissions de CO₂, principalement en remplaçant le contenu en clinker à forte intensité énergétique, ce qui permet de réduire les émissions en matière d'économies de ciment et de liants. Selon le type de ciment remplacé par le LC3, la réduction de CO₂ peut atteindre jusqu'à 40 %.

Figure 2

Substitution du clinker dans le ciment



Bien que l'argile calcinée et le calcaire soient déjà couramment utilisés comme matériaux cimentaires additionnels, l'innovation majeure du LC3 consiste à réduire la teneur en clinker jusqu'à 50 % et à ajouter un mélange d'argile kaolinite de qualité inférieure (30 %), de calcaire (15 %) et de gypse (5 %). Les matériaux ont un effet synergique et se comportent de manière semblable à un ciment ordinaire (OPC). L'utilisation moindre de clinker permet de réduire les émissions de CO₂ (jusqu'à 40 % par rapport à l'OPC) libérées par le calcaire et la quantité de combustible utilisée pour la combustion du clinker. Cela permet d'importantes économies d'énergie, car les argiles calcinées sont plus malléables et leur combustion demande moins de chaleur que celle du clinker (environ 700-800 °C au lieu de 1400-1500 °C). Le LC3-50, avec 50 % de clinker, est largement favorisé et accepté dans le cadre des normes applicables au ciment en Europe, en Inde, aux États-Unis, à Cuba et dans une grande partie de l'Amérique du Sud.

La possibilité d'un LC3 avec moins de 50 % de clinker – ce qui réduirait davantage les émissions de CO₂ – est à l'étude.

Avec l'utilisation de déchets industriels tels que les déchets d'argile, le LC3 augmente l'utilisation efficace des ressources et réduit l'utilisation des matières premières rares nécessaires à la production de clinker. Les argiles calcinées et le calcaire sont disponibles en abondance, tandis que les cendres volantes – un composant des ciments chargés – se font rares dans certaines régions et risquent de se raréfier encore plus avec la fermeture progressive des centrales thermiques au charbon. De même, le laitier en tant que liant est déjà rare et le sera de plus en plus avec la décarbonatation de l'industrie sidérurgique. En outre, la résistance élevée aux chlorures et la microstructure dense avec une résistivité en surface élevée du LC3 font qu'il est adapté aux conditions météorologiques difficiles du milieu marin.

Figure 3

Production de LC3

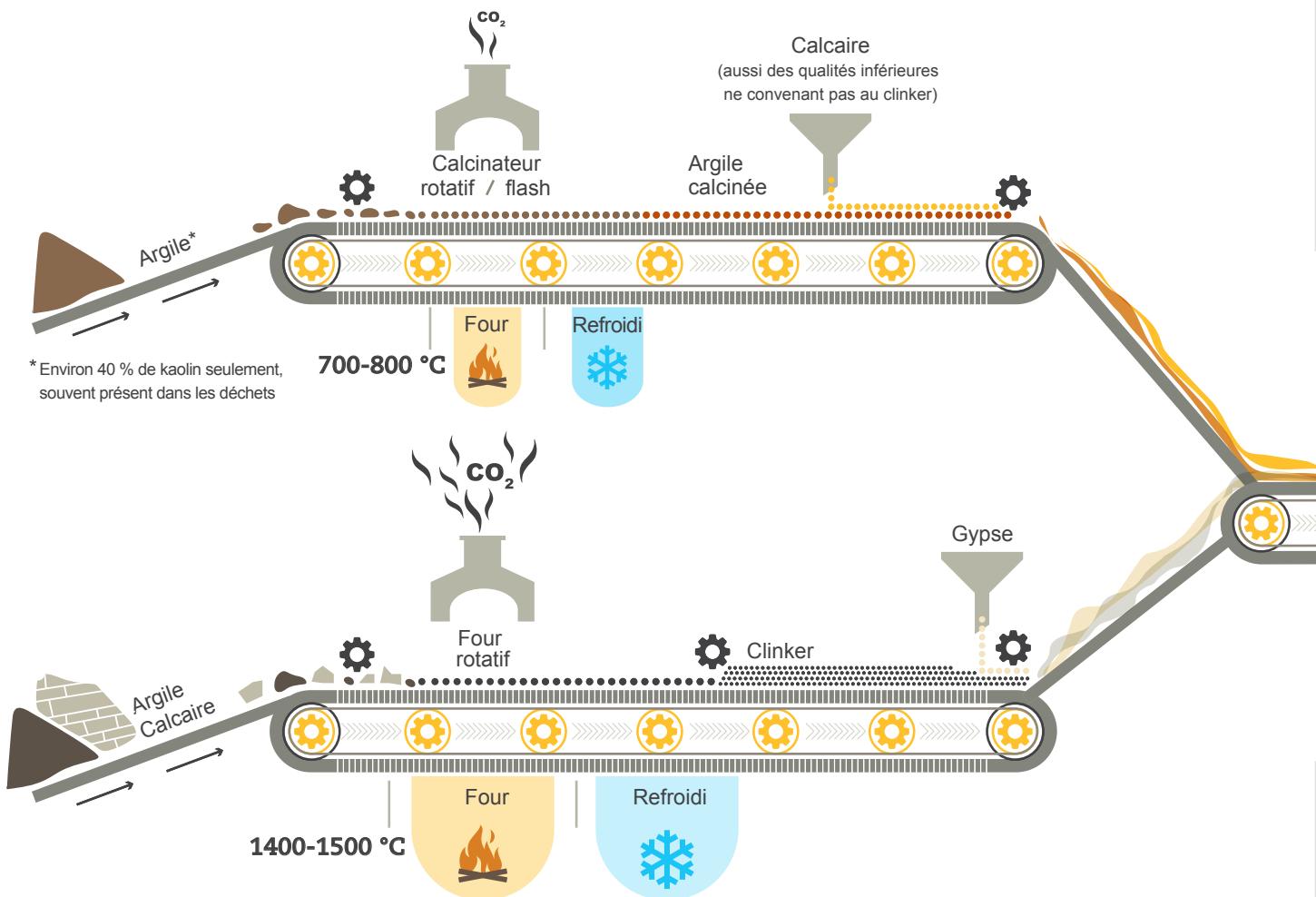
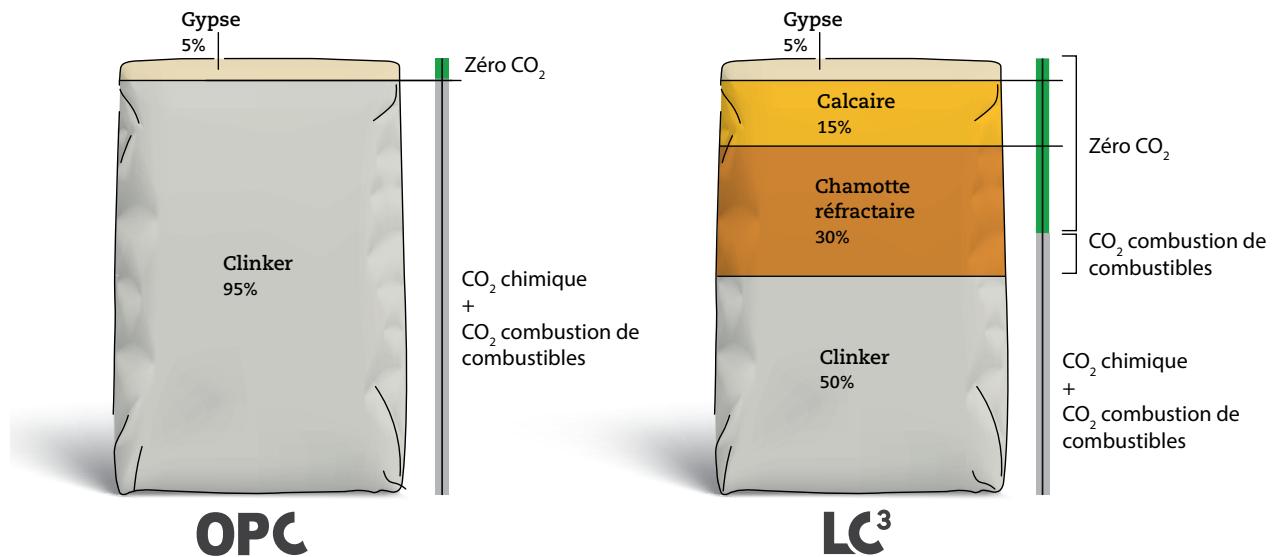


Figure 4

Réduction de CO₂ en utilisant le LC3



Le chemin vers le succès commercial



Source: Adapté du site Web LC3

Remarque : Le LC3 peut être produit de manière similaire à l'OPC. L'argile doit être chauffée dans un four rotatif, mais à des températures plus basses.



L'engagement de la DDC dans le développement et l'intensification du ciment « bas carbone »

Les coûts de production du LC3 peuvent être jusqu'à 25 % inférieurs à ceux de l'OPC grâce aux économies d'énergie et de matériaux. Lorsque le clinker doit être importé, les économies peuvent être encore plus importantes. Enfin, et surtout, la technologie LC3 est facilement disponible et peut être commercialisée. Environ 75 % des cimenteries à travers le monde peuvent produire du LC3 en modifiant légèrement leurs lignes de production et avec leurs infrastructures existantes et les matériaux disponibles en abondance. Aucune formation particulière n'est requise, et la conversion à une production de LC3 peut être combinée à d'autres technologies de décarbonation, disponibles ou en cours de développement.

En 2013, les Instituts indiens de technologie de Delhi, Bombay et Madras avec l'ONG indienne Technology and Action for Rural Advancement ont rejoint le partenariat de recherche financé par la DDC entre l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et l'Universidad de las Villas à Cuba, et ont contribué au développement, aux tests, à la production et à la diffusion du LC3. L'implication du Fonds national suisse (FNS) au stade initial a permis de renforcer le partenariat du projet, de s'appuyer de manière optimale sur la communauté de recherche innovante de la Suisse et d'étendre l'engagement au niveau mondial. L'approche open source et l'échange continu de connaissances entre la Suisse, l'Inde et Cuba stimulent la recherche internationale et l'avancement de solutions durables.

Figure 5

Contributions du LC3 dans la réalisation des Objectifs de développement durable





Normalisation, préparation des marchés et premières applications

2013

Première production industrielle de LC3 à Cuba

Maison à Santa Clara, Cuba, entièrement construite avec du ciment LC3

2014

L'ASTM approuve la norme C595 avec une nouvelle formulation de ciments chargés

Maison à Jhansi, Inde, utilisant la première production de LC3 pour les murs, les tuiles de toit et les sols

2015

Nouveaux bureaux de la DDC sur le site de l'Ambassade de Suisse à New Delhi, Inde, avec des blocs de ciment LC3

2017

Vérification des avantages économiques du matériau

2018

Cuba approuve la norme NC 1208 Cemento Ternario, qui inclut le LC3

2021

2021 : l'Union européenne approuve la norme EN 1975, qui inclut le LC3

Avancées et prospects – résultats concrets

Les actions novatrices de la DDC pour soutenir le lancement et la diffusion du LC3 ont donné lieu à des recherches et des publications scientifiques qui déterminent la viabilité environnementale et économique de la technologie, et ont contribué à l'intégration du LC3 dans les politiques et les feuilles de route visant à décarboner le secteur du bâtiment et de la construction. Les centres de ressources techniques à Cuba et en Inde assurent la liaison avec l'industrie et aident les cimentiers à adopter le LC3. De leur côté, les industries du monde entier mènent leurs propres recherches et contribuent à la révolution du ciment avec le LC3.

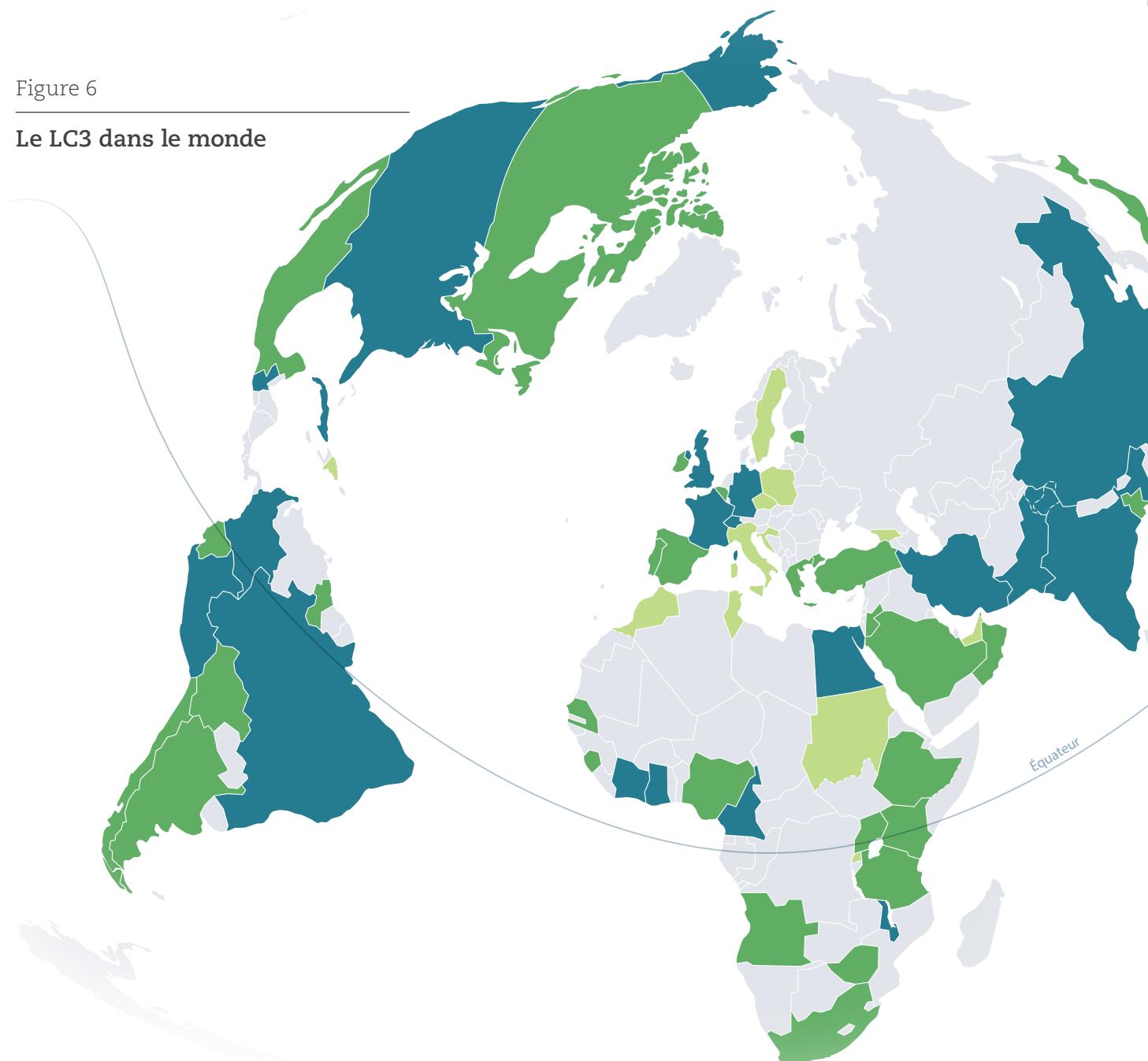
La carte ci-dessous montre la diffusion du LC3 dans le monde. En Afrique, la demande croissante, les coûts élevés du clinker importé et la grande disponibilité des matières

premières donnent lieu à de nombreux projets et initiatives de ciment LC3. En Europe, les analystes s'attendent à voir davantage d'usines d'argile calcinée en raison de l'augmentation des prix du marché des crédits carbone dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (CN Cement 2022)

Il faut cependant s'engager davantage – dans les pays d'Asie du Sud-Est qui connaissent une forte croissance et au sein des petites entreprises du secteur, qui desservent 70 % du marché mondial. Les gouvernements peuvent favoriser l'émergence d'un secteur du bâtiment et de la construction plus durable en adoptant des politiques de commandes publiques ambitieuses, en fixant des normes industrielles et d'émissions et en élaborant des feuilles de route de décarbonation.

Figure 6

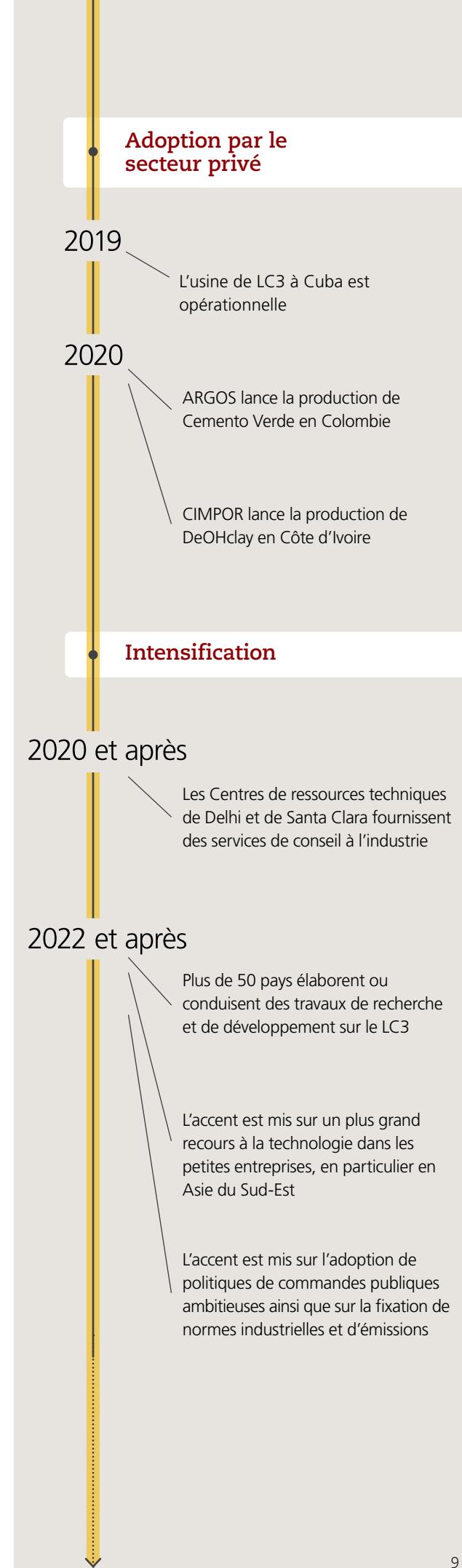
Le LC3 dans le monde





Légende

- Production permanente et expérimentale ou études de faisabilité réalisées
- Vif intérêt pour le LC3
- Premier contact ou échange académique



Engagement de la DDC

La DDC a soutenu le développement scientifique du LC3, et contribue à la diffusion de la technologie dans les pays à revenu faible ou intermédiaire et à la mise en œuvre de normes industrielles. Les résultats sont disponibles en tant que documents *open source*.

Références

[Chatham House 2018, Making concrete change, innovation in low-carbon cement and concrete.](#)

[CN Cement 2022, Calcined clays: making a global impact](#)

[IEA 2022, Cement – Analysis - IEA](#)

[United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2019, World Urbanization Prospects 2018: Highlights](#)

[Global Climate Action Pathways 2021, Human settlements: Vision and Summary](#)
[World Bank 2020, Urban Development](#)

[Global Cement and Concrete Association 2021, Concrete Future, The GCCA 2050 Ce-ment and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete.](#)

Liens

[www.lc3.ch](#)

[www.lc3trcindia.com](#)

[www.ecosolutions.gl/lc3-trc-latam](#)

Impression

Conçu et révisé par :
Zoï Environment Network

Contenu :
Développé en collaboration avec INFRAS

Photos :
© Bannafarsai // Shutterstock



EPFL

 **TARA**


CIDEM
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Direction du développement
et de la coopération DDC**