

# Evaluer la performance environnementale de nouveaux produits de construction à travers une Analyse de Cycle de Vie prospective territoriale

Eva Quéheille<sup>1</sup>, Anne Ventura<sup>1</sup>, Michel Dauvergne<sup>2</sup>, Lauredan Le Guen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MAST/GPEM Campus de Nantes, Université Gustave Eiffel, Bouguenais, France

<sup>2</sup> AME/EASE Campus de Nantes, Université Gustave Eiffel, Bouguenais, France

**RESUME** La responsabilité du secteur de la construction dans le changement climatique encourage au développement de nouveaux produits de construction moins néfastes pour l'environnement. Mais l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) classique ne permet pas d'évaluer convenablement la performance environnementale de ces procédés innovants. Pour y parvenir, une ACV prospective territoriale est proposée. L'application de cette démarche sur un projet réel témoigne de son potentiel au vu des résultats obtenus. La pertinence environnementale du procédé est estimée. En identifiant les meilleures alternatives, l'étude offre également une vision sur l'intégration future du procédé dans une industrie. Enfin, des leviers d'action peuvent être déterminés pour améliorer la poursuite du développement du procédé.

**Mots-clefs** Analyse de Cycle de Vie, matériaux de construction, économie circulaire, aide à la décision.

## I. INTRODUCTION

Le secteur de la construction est un important contributeur au changement climatique autant en France que dans le monde ; il représente près de 40% des émissions globales de CO<sub>2</sub> (United Nations Environment Programme, 2020). La responsabilité revient d'abord à la consommation d'énergie lors de la vie du bâtiment, puis à la construction de ce dernier et plus précisément à la fabrication des produits de construction. Ainsi, la production exclusive de ciment représente 6% des émissions globales de CO<sub>2</sub> (Andrew, 2018).

Un procédé innovant d'attrition carbonatation (Bourgeois et al., 2020; Julcour et al., 2015) est étudié en Nouvelle-Calédonie pour produire des matériaux cimentaires à partir de scories de nickel carbonatées avec du CO<sub>2</sub>. Deux bénéfices environnementaux sont envisageables. Premièrement, les scories, déchets minéraux à l'issue de la fusion du nickel, sont générées en Nouvelle-Calédonie à hauteur de 3 Mt par an, mais leur valorisation est actuellement limitée et de faible valeur. Deuxièmement, la composition minéralogique de ces scories leur permet de

minéraliser du CO<sub>2</sub> à des taux supérieurs à 70% (Bourgeois et al., 2020). Le CO<sub>2</sub> peut être capté à la sortie des centrales thermiques, alimentant en électricité l'industrie du nickel, ou des usines pyrométallurgiques. Les deux gisements (scories et CO<sub>2</sub>) sont ainsi disponibles en grande quantité sur le territoire. Par utilisation de déchets et de techniques CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage), nous rejoignons deux des voies identifiées par (Cao et al., 2021; Material Economics, 2019) pour atteindre l'objectif de la neutralité carbone en 2050 sur les produits cimentaires.

Deux matériaux cimentaires peuvent être produits avec ce procédé. La première est la fabrication d'addition minérale (AM), dont les caractéristiques techniques seraient comparables à celles de la pouzzolane pour un taux de carbonatation entre 30% et 70%, et qui permettrait de produire un ciment avec une substitution partielle du clinker, tel que le CEM IV. La seconde est la fabrication de ciment silico-magnésien (CSM) à partir de scories carbonatées à 70%. Cependant, dans ce cas, le CO<sub>2</sub> capté lors de la minéralisation, est relâché à la dernière étape de calcination.

Le procédé est actuellement au stade de laboratoire. La mise en place de l'industrie reposant sur ce procédé est estimée à l'horizon 2035. Plusieurs alternatives sont possibles sur le territoire de Nouvelle-Calédonie ; ci-après quelques exemples. Le captage du CO<sub>2</sub> peut s'effectuer directement sur les fumées brutes ou après concentration du CO<sub>2</sub> (par oxycombustion ou postcombustion). Le choix de combustible pour le séchage et la calcination peut se porter entre le gaz, le fioul ou le charbon. Enfin, les principaux marchés potentiels pour les deux produits sont la Nouvelle-Calédonie, l'Australie et le Japon. Ainsi, un nombre important de scénarios (plusieurs centaines) doit être étudié. Le taux optimal de carbonatation diffère selon les deux produits envisagés, ce qui influe directement sur la consommation électrique de la minéralisation.

À ce stade du développement du procédé, une étude ACV prospective territoriale est conduite afin de déterminer les conditions favorables pour une filière de valorisation des scories, garantissant la bonne performance environnementale des futurs produits par rapport aux matériaux cimentaires qu'ils visent à substituer. Après une explication de la démarche d'évaluation environnementale conduite, nous analysons les conditions favorables, concernant à la fois les scénarios de captage, d'approvisionnement, et de distribution, mais également les valeurs seuils du couple (consommation d'énergie ; taux de carbonatation) pour la minéralisation.

## II. L'évaluation environnementale de procédés innovants dans les produits de construction

### A. Les limites de l'ACV à l'échelle produit

Dans le cadre de l'évaluation d'un procédé innovant menant à fabriquer un nouveau (ou amélioré) produit de construction, une étude ACV à l'échelle produit estime que le procédé est environnementalement pertinent dès que les impacts liés à sa fabrication sont compensés par ceux du produit conventionnel à substituer. Cependant, cette démarche présente plusieurs limites.

La première est que la substitution du produit conventionnel répond en réalité à des problématiques de marchés : dépendance avec la disponibilité des matières premières (notamment lorsqu'un déchet à recycler est intégré dans le procédé), le volume du marché du produit conventionnel ainsi qu'avec la compétitivité (technique et économique) du produit innovant (Ventura and Antheaume, 2019; Ventura, 2022).

La deuxième limite concerne la prise en compte de la temporalité. Un procédé innovant en cours de développement peut subir de grandes transformations lors du passage de laboratoire à l'industrie, par l'évolution des sources énergétiques, la création de nouvelles technologies ou l'amélioration potentielle du produit concurrent. En conséquence, le procédé peut perdre l'avantage environnemental estimé lors de sa conception. L'efficacité du procédé innovant doit être évalué dans le futur, à un horizon temporel estimant la période de son industrialisation.

Enfin, l'approche à l'échelle produit conduit à imposer des règles de partition du système entre les produits issus d'un même procédé, ce qui revient à ignorer que leurs quantités respectives sont liées. Dans notre exemple, AM et CSM sont des quantités liées car tous deux produits en série à partir des scories. Seule une approche du site industriel dans sa globalité permet d'évaluer les possibles améliorations environnementales.

#### *B. L'opportunité de l'ACV prospective territoriale*

Une ACV prospective territoriale résoudrait les limites de l'étude ACV à l'échelle produit. En ACV prospective, la modélisation du système s'opère en projetant dans le futur le premier plan du système (i.e. le procédé innovant) et l'arrière-plan (i.e. le monde futur dans lequel le procédé innovant interagira) (Arvidsson et al., 2018). Peuvent être intégrées dans le premier plan les évolutions technologiques potentielles, afin d'étudier quelle direction le procédé devrait prendre.

La projection du procédé sur un territoire défini est alors primordiale. Ainsi, les évolutions potentielles sont adaptées au terrain : l'exploitation d'une source d'énergie locale, les limites des gisements, les relations physiques entre les quantités de produits, et les volumes de marchés. Une analyse de coûts et de flux de matières sur le territoire doit être réalisée en ce sens. De cette manière, la pertinence environnementale du procédé innovant est convenablement estimée et des leviers d'action peuvent être identifiés pour améliorer la suite de son développement.

### **III. Résultats sur chaque voie de production de ciment**

Sont comparées à un ciment Portland ordinaire (CEM I) les deux voies de production de ciment à partir de scories carbonatées : le CSM et un ciment avec 40% d'AM, 40% étant la substitution à viser dans le futur pour atteindre les objectifs climatiques de l'accord de Paris (Cao et al., 2021). Le ciment avec AM et le CSM proposent des performances environnementales meilleures que le produit conventionnel grâce à certains scénarios. Évalués sur la méthode ILCD 2.0 2018 midpoint, les meilleurs scénarios sont identifiés comme ceux dont le nombre maximum d'indicateurs d'impact respecte la contrainte d'avoir une valeur obtenue pour le produit innovant inférieure à celle du produit conventionnel concurrent. Ainsi, pour le CSM, 13 scénarios parmi les 216 possibles respectent la contrainte pour 12 des 16 impacts de la méthode ILCD. Pour le ciment avec AM, 8 scénarios sur l'ensemble initial des 108 possibles, respectent la contrainte pour la totalité des 16 indicateurs d'impacts. Parmi les meilleurs scénarios identifiés, les points communs sont de concentrer le CO<sub>2</sub> des fumées captées (i.e. ne pas utiliser les fumées brutes car le besoin en compression entraîne une surconsommation d'énergie trop importante), de privilégier le gaz comme combustible pour le séchage et la calcination, et de cibler les marchés de proximité (ne pas viser le marché japonais) afin de réduire les émissions liées au transport. Bien que les énergies

renouvelables devraient augmenter à l'avenir dans les mix électriques et donc réduire l'impact environnemental de production du kWh, la bonne performance de ces scénarios est grandement tributaire d'une réduction de la consommation électrique à l'étape de la minéralisation. Ainsi, dans le cas du CSM, la consommation actuelle par kg de produit (à l'échelle du laboratoire) devra être divisée au minimum par trois à l'échelle industrielle.

#### IV. Conclusion

Une nouvelle démarche d'Analyse de Cycle de Vie est proposée pour étudier la performance environnementale d'un produit innovant. Elle repose sur la projection du procédé dans un futur donné et sur un territoire précis, permettant une analyse pertinente du système et de ses alternatives potentielles. Des leviers d'action sont également identifiables afin d'améliorer le procédé en développement, comme montré dans l'application. Ainsi, la production de ciment à partir de scories de nickel carbonatées a un réel potentiel pour proposer des matériaux de construction à impact environnemental réduit. Les meilleures alternatives pour la mise en place de l'industrie sont identifiées. Une réduction de la consommation électrique est capitale pour la réussite du projet. Une étude subsidiaire est prévue pour évaluer, sur les meilleurs scénarios préalablement identifiés, l'industrie dans sa globalité (i.e. la production simultanée des co-produits) et déterminer avec précision sa relation avec les gisements territoriaux.

#### REFERENCES

- Andrew, R.M., 2018. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 195–217. <https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018>
- Arvidsson, R., Tillman, A., Sandén, B.A., Janssen, M., Nordelöf, A., Kushnir, D., Molander, S., 2018. Environmental Assessment of Emerging Technologies: Recommendations for Prospective LCA. *J. Ind. Ecol.* 22, 1286–1294. <https://doi.org/10.1111/jiec.12690>
- Bourgeois, F., Laniesse, P., Cyr, M., Julcour, C., 2020. Definition and Exploration of the Integrated CO<sub>2</sub> Mineralization Technological Cycle. *Front. Energy Res.* 8, 17. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00113>
- Cao, Z., Massanet, E., Tiwari, A., Akolawala, S., 2021. Decarbonizing Concrete: Deep decarbonization pathways for the cement and concrete cycle in the United States, India, and China. *Industrial sustainability analysis lab - Climateworks foundation.*
- Julcour, C., Bourgeois, F., Bonfils, B., Benhamed, I., Guyot, F., Bodénan, F., Petiot, C., Gaucher, É.C., 2015. Development of an attrition-leaching hybrid process for direct aqueous mineral carbonation. *Chem. Eng. J.* 262, 716–726. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.031>
- Material Economics, 2019. *Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry.*
- United Nations Environment Programme, 2020. *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.*
- Ventura, A., 2022. Valorisation des déchets et bénéfiques environnementaux : un long fleuve pas si tranquille. *Acad. J. Civ. Eng.* 10.
- Ventura, A., Antheaume, N., 2019. Environmental assessment of carbon capture and utilization: a new systemic vision – application to valorization of nickel slags, in: Djerbi, A., Omikrine-Metalssi, O., Fen-Chong, T. (Eds.), *Proceedings of the International Workshop CO<sub>2</sub> Storage in Concrete.* Presented at the CO<sub>2</sub> storage 2019, IFSTTAR, Marne La Vallée, France, pp. 73–79.