

Bibliographie

TOKALO BI TOKALO ARMEL
BARTHx Corporation

Capturer pour mieux survivre.

Table des matières

1	Introduction	2
2	Domaines et secteurs à forte émission de CO₂	3
2.1	Le secteur industriel	3
2.2	Le secteur des transports	4
2.3	Le secteur de la production d'énergie	5
2.4	Les secteurs extractifs et de transformation des ressources	6
2.5	Références	7
2.6	Solutions actuelles : Limites et impacts de celles ci	8
3	BARTHx Corporation : Plus qu'une simple solution	10
3.1	Présentation	10
3.2	Fonctionnement général du système	10
3.2.1	Capture chimique via le réducteur BARTHX	11
3.2.2	Stockage intermédiaire du CO ₂ capté	11
3.3	Prototype d'application industrielle (Automobile, ...)	11
3.3.1	Réception des gaz de combustion	11
3.3.2	Filtration des particules fines	11
3.3.3	Injection et traitement via le système BARTHX	11
3.3.4	Activation thermique et stockage intermédiaire	12
3.4	Business Model	14
3.5	Les applications ou utilisations envisagées	15
4	Prise de décision : Intérêt éventuel pour la solution	16
4.1	Protocole d'Accord / Lettre d'Intention	16
4.1.1	Article 1 – Objet	16
4.1.2	Article 2 – Engagements de l'Entreprise	16
4.1.3	Article 3 – Engagements du Proposant	16
4.1.4	Article 4 – Confidentialité	16
4.1.5	Article 5 – Durée	16
4.1.6	Article 6 – Caractère non contraignant	17

1 Introduction

Le dioxyde de carbone (CO) occupe aujourd’hui une place centrale dans les débats liés au changement climatique, à la transition énergétique et à la durabilité des activités économiques. Issu principalement de la combustion des énergies fossiles, il est massivement émis par des secteurs clés tels que l’industrie, le transport, la production d’énergie et certaines activités extractives. Bien que le CO soit un gaz naturellement présent dans l’atmosphère, son accumulation excessive due aux activités humaines perturbe les équilibres climatiques et représente un défi majeur pour les sociétés contemporaines.

Au-delà de son impact environnemental global, les émissions de CO posent également un problème direct de santé et de sécurité, en particulier pour les travailleurs évoluant dans des environnements fortement émetteurs. Les secteurs industriels lourds (cimenteries, aciéries, raffineries, usines chimiques), le transport routier et ferroviaire intensif, les tunnels, les zones portuaires ou encore certains espaces confinés exposent quotidiennement des employés à des concentrations élevées de gaz. Une exposition prolongée ou mal contrôlée peut entraîner des conséquences graves : troubles respiratoires, fatigue chronique, perte de vigilance, et dans les cas extrêmes, des accidents professionnels aux issues dramatiques. Ces réalités rappellent que la question du CO ne relève pas uniquement de l’écologie, mais aussi de la santé publique et de la justice sociale.

Face à ces enjeux multiples, la réduction des émissions reste essentielle, mais elle ne suffit plus à elle seule. Il devient nécessaire de développer et de proposer des solutions complémentaires, capables de capturer efficacement le CO à la source, directement dans les secteurs les plus émetteurs. La capture du CO apparaît ainsi non seulement comme un levier stratégique pour la lutte contre le réchauffement climatique, mais aussi comme une opportunité pour améliorer les conditions de travail, protéger les vies humaines et transformer un polluant en ressource potentielle au service d’un modèle économique plus durable.

2 Domaines et secteurs à forte émission de CO₂

Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) proviennent majoritairement de secteurs dont les activités reposent sur la combustion d'énergies fossiles, des procédés thermiques intensifs ou des systèmes de transport à grande échelle. Ces secteurs jouent un rôle essentiel dans le développement économique mondial, mais constituent également les principales sources d'émissions anthropiques de CO₂, avec des impacts environnementaux et sanitaires significatifs.

2.1 Le secteur industriel

Le secteur industriel figure parmi les plus grands émetteurs de CO₂ au niveau mondial. Les industries lourdes, telles que la production de ciment, d'acier, de verre, de produits chimiques et de raffinage pétrolier, génèrent d'importantes émissions liées à la combustion de charbon, de gaz naturel ou de fioul, mais aussi aux réactions chimiques intrinsèques aux procédés de production.



FIGURE 1 – Émissions de CO₂ issues d'installations industrielles lourdes, illustrant la contribution des centrales thermiques et complexes industriels aux rejets massifs de gaz à effet de serre.

Par exemple, l'industrie cimentière émet du CO₂ non seulement à cause de l'énergie utilisée, mais également lors de la décarbonatation du calcaire, un phénomène difficile à éviter par les seules mesures d'efficacité énergétique.



FIGURE 2 – Cheminées industrielles rejetant des gaz de combustion, représentant les émissions continues de CO₂ dans les secteurs de la chimie, de la métallurgie et du raffinage.

Les travailleurs de ces industries sont souvent exposés à des atmosphères chargées en gaz, en particulier dans les espaces confinés ou mal ventilés, augmentant les risques sanitaires et professionnels.

2.2 Le secteur des transports

Le transport constitue l'un des principaux contributeurs aux émissions de CO₂, notamment le transport routier, aérien et maritime. La dépendance aux carburants fossiles (essence, diesel, kérèsène, fioul lourd) explique la forte intensité carbone de ce secteur.



FIGURE 3 – Représentation symbolique des émissions de CO₂ issues des activités de transport, illustrant le rejet direct des gaz d'échappement dans l'atmosphère.

Les zones urbaines à forte densité de circulation, les tunnels routiers, les plateformes logistiques, les ports et les aéroports sont des espaces où les émissions sont particulièrement concentrées. Les conducteurs professionnels, mécaniciens, agents portuaires et travailleurs des infrastructures de transport sont exposés de manière prolongée aux gaz d'échappement, ce qui peut entraîner des troubles respiratoires, cardiovasculaires et une augmentation des accidents liés à la baisse de vigilance.



FIGURE 4 – Illustration de l'impact global du transport motorisé sur la planète, mettant en évidence le rôle du secteur des transports dans l'augmentation des émissions mondiales de CO₂.

2.3 Le secteur de la production d'énergie

La production d'électricité et de chaleur à partir de combustibles fossiles demeure une source majeure de CO₂. Les centrales thermiques au charbon, au gaz et au pétrole rejettent d'importantes quantités de CO₂ dans l'atmosphère. Malgré le développement des énergies renouvelables, de nombreuses régions du monde restent fortement dépendantes de ces installations. Les employés travaillant dans les centrales, les sites de stockage de

combustibles et les infrastructures associées sont exposés à des environnements à forte concentration de gaz, notamment lors des opérations de maintenance ou d'incident technique.

2.4 Les secteurs extractifs et de transformation des ressources

Les activités minières, pétrolières et gazières contribuent également de manière significative aux émissions de CO₂. L'extraction, le transport et la transformation des ressources fossiles nécessitent des équipements énergivores et génèrent des émissions directes et indirectes.

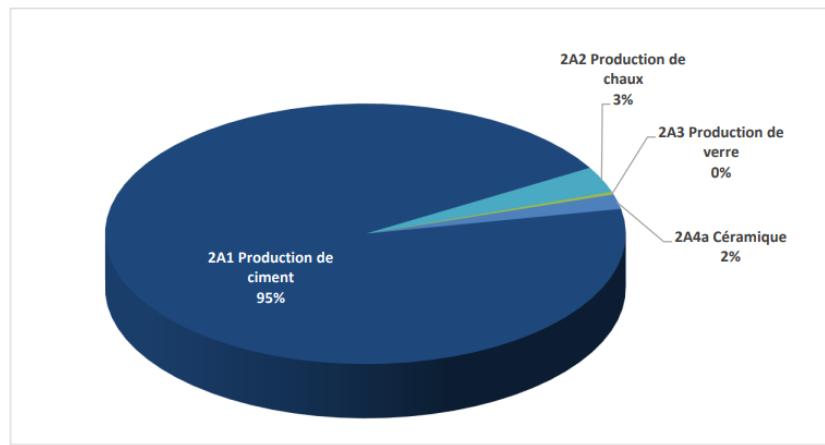


FIGURE 5 – Répartition des émissions de l'Industrie minérale.

Les travailleurs des mines, des plateformes pétrolières, des raffineries et des sites de stockage évoluent souvent dans des milieux confinés ou semi-confinés, où une accumulation de gaz peut survenir, augmentant les risques d'asphyxie, d'explosion et d'accidents mortels.

Catégorie	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2021	2022
2.A Industrie minérale	5 551,6	6 024,6	5 361,8	5 399,1	5 089,6	4 684,9	5 342,00	4 806,6
2.A.1. Production de ciment	5 305,8	5 779,3	5 119,8	5 153,0	4 840,6	4 433,2	5 088,82	4 546,9
2.A.2. Production de chaux	161,30	156,90	152,49	153,26	153,34	154,22	154,66	155,09
2.A.3. Production de verre	5,86	7,21	9,30	10,06	10,88	11,31	11,77	17,15
2.A.4.a Céramique	78,64	81,25	80,2	82,82	84,83	86,11	86,75	87,39

FIGURE 6 – EVOLUTION DES EMISSIONS DE L'INDUSTRIE MINERALE ENTRE 2010 ET 2022 (GgeqCO₂)

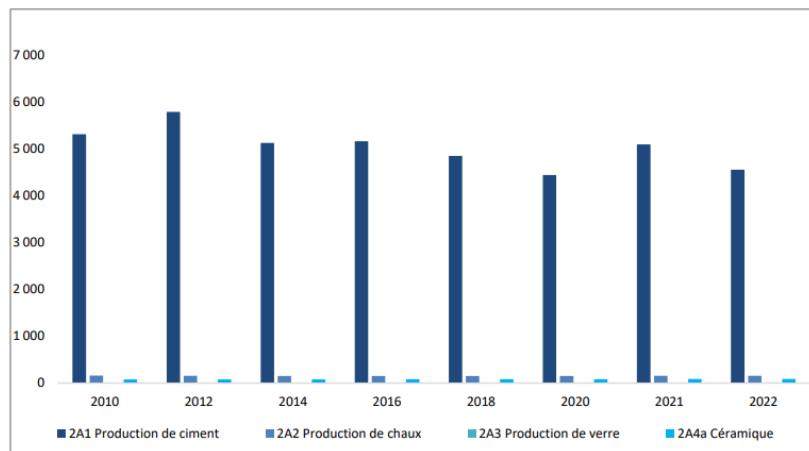


FIGURE 7 – Tendances des émissions de gaz à effet de serre l'Industrie minérale.

2.5 Références

GIEC (IPCC), *Climate Change 2023 : Mitigation of Climate Change*. Disponible en ligne : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

Agence Internationale de l'Énergie (IEA), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Disponible en ligne : <https://www.iea.org/data-and-statistics>

Organisation Mondiale de la Santé (OMS), *Air Quality Guidelines and Occupational Exposure*. Disponible en ligne : <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality>

Organisation Internationale du Travail (OIT), *Safety and Health at the Workplace*. Disponible en ligne : <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/>

2.6 Solutions actuelles : Limites et impacts de celles ci

Face à l'augmentation continue des émissions de CO₂ dans les secteurs industriels et des transports, plusieurs solutions ont été mises en œuvre au cours des dernières décennies. Ces approches visent soit à réduire les émissions à la source, soit à limiter leur dispersion dans l'atmosphère. Toutefois, bien que ces solutions aient permis certains progrès, elles présentent des limites techniques, économiques et environnementales qui restreignent leur efficacité globale.

Dans le secteur industriel, les principales solutions reposent sur l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'utilisation de filtres et de systèmes de traitement des fumées, ainsi que sur les technologies de captage et stockage du carbone (CCS). Les filtres industriels et les dispositifs de dépollution permettent de réduire les particules fines et certains gaz toxiques, mais restent peu efficaces pour le CO₂, qui n'est pas un polluant classique mais un gaz à effet de serre difficile à piéger sans procédés spécifiques. Les technologies de captage du CO₂ en sortie de cheminée (post-combustion) peuvent capter jusqu'à 85 à 95,

Dans le secteur des transports, les solutions actuelles incluent l'amélioration des moteurs thermiques, les normes d'émission plus strictes, l'électrification des véhicules et l'introduction de biocarburants. Bien que les véhicules électriques permettent une réduction significative des émissions locales de CO₂, leur impact global dépend fortement du mix énergétique utilisé pour produire l'électricité. De plus, ces solutions ne répondent pas directement au problème de l'exposition des travailleurs et des populations aux gaz dans les zones confinées comme les tunnels, ports ou plateformes logistiques.

Par ailleurs, des politiques de compensation carbone ont été mises en place, consistant à financer des projets de reforestation ou d'énergies renouvelables afin de neutraliser les émissions. Toutefois, ces mécanismes ne réduisent pas les émissions à la source et reposent sur des hypothèses à long terme, parfois incertaines, quant à l'absorption réelle du CO₂.



FIGURE 8 – Véhicules électriques et transition du transport.

Solution	Secteur	Impact estimé	Limites principales
Filtres et dépollution des fumées	Industrie	Réduction des particules > 90 %	Faible efficacité sur le CO ₂
Captage et stockage du carbone (CCS)	Industrie / Énergie	Capture jusqu'à 95 % du CO ₂	Coûts élevés, forte consommation énergétique, stockage risqué
Amélioration de l'efficacité énergétique	Industrie / Transport	Réduction de 10 à 30 % des émissions	Gains limités, effet plafonné
Véhicules électriques	Transport	Réduction locale quasi totale des émissions	Dépendance au mix électrique, coûts élevés
Biocarburants	Transport	Réduction de 20 à 60 % du CO ₂	Concurrence avec l'alimentaire, usage des terres
Compensation carbone	Tous secteurs	Neutralisation théorique des émissions	Effet indirect, résultats incertains

TABLE 1 – Impact et limites des principales solutions actuelles de réduction des émissions de CO₂.



FIGURE 9 – Compensation carbone / reforestation

Ces solutions, bien qu'utiles, montrent que la majorité des approches actuelles sont soit coûteuses, soit indirectes, soit insuffisamment adaptées aux environnements à forte concentration de CO₂. Elles mettent en évidence la nécessité de développer des technologies plus flexibles, moins énergivores et capables de capturer le CO₂ directement dans les zones d'émission et d'exposition humaine.

3 BARTHx Corporation : Plus qu'une simple solution

3.1 Présentation

BARTHX représente aujourd'hui bien plus qu'une simple alternative : il s'agit d'une solution capable non seulement de capturer le CO₂ généré par les transformations successives au sein des systèmes de dépollution, des filtres à particules et de bien autres systèmes et types d'environnement, mais également d'en assurer le stockage et, à terme, de permettre sa valorisation dans des usages pertinents.

3.2 Fonctionnement général du système

Le système BARTHX est conçu comme un **réducteur chimique modulaire** destiné au traitement des **émissions industrielles directes**. Il intervient en aval des dispositifs de filtration existants et vise spécifiquement la **capture du dioxyde de carbone (CO₂)** à la source, grâce à un mécanisme d'adsorption chimique reposant sur une solution active notée **solution X**.

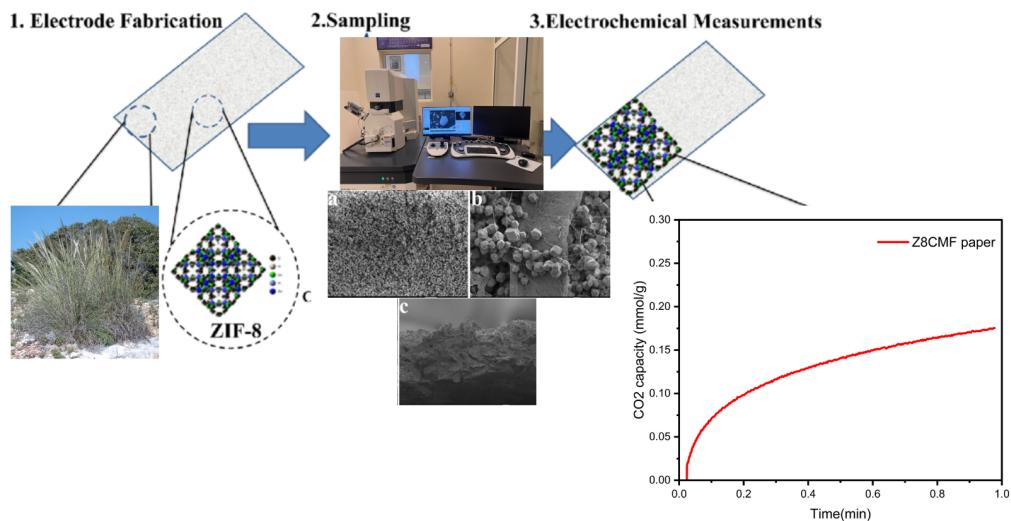


FIGURE 10 – Pipeline de conception et test du premier prototype d'essai

3.2.1 Capture chimique via le réducteur BARTHX

- Par un mécanisme d'adsorption chimique sélective, la solution X permet de **capturer et retenir les molécules de CO₂** au cœur du réducteur.
- Cette capture s'effectue de manière contrôlée, sans altérer la composition des autres gaz non ciblés.

3.2.2 Stockage intermédiaire du CO₂ capté

- Le CO₂ piégé au sein du réducteur chimique est maintenu dans un état stable au sein de la matrice adsorbante.
- Cette phase constitue un **stockage intermédiaire**, permettant une récupération ultérieure du CO₂ en vue de sa valorisation ou de sa transformation.
- Le système est conçu pour assurer une étanchéité chimique et une durabilité du matériau adsorbant sur des cycles prolongés d'exploitation.

3.3 Prototype d'application industrielle (Automobile, ...)

[Automobile] Ce prototype du système BARTHX est conçu pour une intégration directe dans les véhicules à motorisation thermique, en complément des dispositifs existants de post-traitement des gaz d'échappement. Il constitue une application expérimentale du réducteur chimique, visant la capture du dioxyde de carbone (CO₂) à la source, sans modification du fonctionnement du moteur.

3.3.1 Réception des gaz de combustion

- Les gaz polluants émis par le moteur contiennent principalement des particules fines, des oxydes d'azote (NOx), des hydrocarbures (HC) et d'autres composants polluants.
- Dans le cadre des systèmes SCR (Selective Catalytic Reduction), certains de ces gaz, notamment les NOx, sont transformés en azote (N), vapeur d'eau (HO) et dioxyde de carbone (CO₂) grâce à l'injection d'AdBlue.

3.3.2 Filtration des particules fines

- Les particules fines restantes sont capturées par le substrat céramique intégré au filtre à particules.
- Ce substrat assure une rétention efficace et stable des particules, même à haute température.

3.3.3 Injection et traitement via le système BARTHX

- Une portion de CO₂ produite lors de la réaction SCR est dirigée vers l'un des pores cylindriques du système.

- Le CO₂ pénètre dans le pot principal via des perçages spécialement conçus, où il est retenu dans les structures internes grâce à une **solution X**, intégrée lors de la conception du substrat.
- Cette **solution X** permet de piéger sélectivement les molécules de CO₂ et certains composés ciblés, assurant une séquestration temporaire et contrôlée.



FIGURE 11 – Vue intérieur du Substrat : SolidWorks

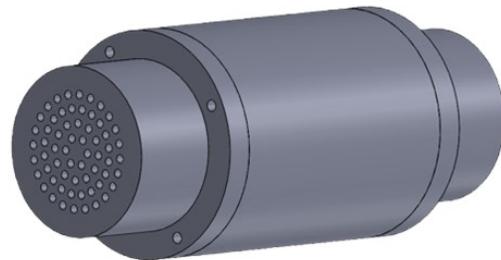


FIGURE 12 – Vue extérieure du Substrat : SolidWorks

3.3.4 Activation thermique et stockage intermédiaire

- La section du système ayant capturé le CO est chauffée par le mouvement rotatif du ventilateur, induisant une élévation locale de température.
- Cette action permet une **désorption contrôlée** du CO piégé, facilitant sa récupération sous forme gazeuse concentrée.
- Le CO récupéré est ensuite dirigé vers un compartiment de stockage intermédiaire, conçu pour assurer une stabilité physique et chimique du gaz capté.

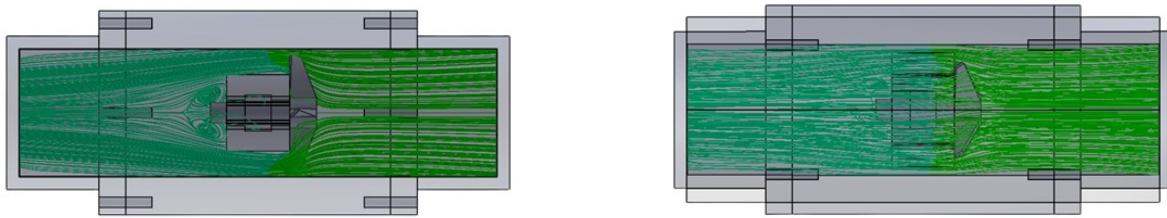


FIGURE 13 – Simulation du flux d'entrée dans le système BARTHX

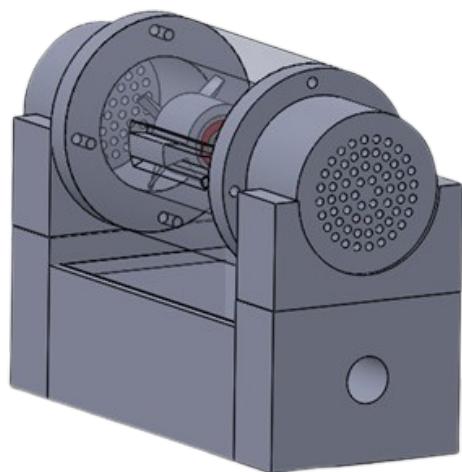


FIGURE 14 – Vue d'ensemble du système BARTHX intégré

3.4 Business Model

3.5 Les applications ou utilisations envisagées

4 Prise de décision : Intérêt éventuel pour la solution

4.1 Protocole d'Accord / Lettre d'Intention

Entre les soussignés :

- [BARTHX-Corporation], projet naissant au centre de l'UM6P et ayant pour représentant TOKALO BI TOKALO ARMEL, ci-après dénommé « Le Proposant ».
- [.....], dont le siège est situé à [.....], dénommée « L'Entreprise ».

Préambule :

Le Proposant a soumis à l'Entreprise une solution innovante permettant de capter voir reduire entièrement les émissions de CO2.

Dans le cadre de l'évaluation de cette solution, les Parties conviennent du présent protocole d'accord définissant les conditions préalables à une éventuelle collaboration.

4.1.1 Article 1 – Objet

Le présent accord a pour objet de formaliser l'intérêt manifesté par l'Entreprise pour la solution proposée et de définir les étapes préalables à la signature d'un partenariat définitif.

4.1.2 Article 2 – Engagements de l'Entreprise

L'Entreprise s'engage à :

1. Examiner la solution proposée par le Proposant.
2. Confirmer par signature du présent accord son intérêt pour la poursuite des discussions.

4.1.3 Article 3 – Engagements du Proposant

Le Proposant s'engage à fournir à l'Entreprise les informations nécessaires à l'évaluation de la solution, dans le respect de la confidentialité.

4.1.4 Article 4 – Confidentialité

Les Parties conviennent que toute information technique, commerciale ou stratégique échangée dans le cadre du présent accord restera strictement confidentiel et ne pourra être communiquée à des tiers sans l'accord écrit de l'autre partie.

4.1.5 Article 5 – Durée

Le présent accord est conclu pour une durée de [....] mois à compter de sa signature.

4.1.6 Article 6 – Caractère non contraignant

Le présent accord ne constitue pas un contrat commercial définitif mais une manifestation d'intérêt préalable. Tout engagement ferme devra faire l'objet d'un contrat séparé.

Fait à , le/...../.....

L'Entreprise

Nom, Signature

Le Proposant

Nom, Signature