



RAPPORT DE PROJET

PROJET : BARTH-X

Conception de substrat filtrant pour réduire le taux d'émission du CO₂ des gaz d'échappement des véhicules à essence et diesel.



01 JUIN 2025

PAR :
TOKALO BI TOKALO
ARMEL

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2
I- Projet Final : BARTH-X : Conception de substrat filtrant pour la réduction de CO2 des pots d'échappement	2
a. Contexte	2
b. Problématique.....	3
c. Méthodologie et réalisation	4
d. Partenariat et Programmes de découverte.....	7
II- Perspectives et vision globale	8
a. Objectif et Modèle d'intégration de la solution.....	8
b. Production et clientèle	9
CONCLUSION	10

Figure 4 : Réchauffement climatique	3
Figure 5 : Canicule accrue	3
Figure 6: Proceccus de transformation des gaz NOx, HC et CO dans les filtres à particules	3
Figure 7 : Fonctionnement du Direct Air Capture	4
Figure 8 : Modèle SolidWorks de la solution	5
Figure 9 : Eléments utilisés pour la synthèse	6
Figure 10 : Synthèse du ZIFs-8.....	6
Figure 11 : Premier Prototype de la solution	6
Figure 12 : Résumé du Processus de Conception	7
Figure 13 : Premier Modèle du résultat final	8

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'année académique 2024/2025, nous sommes encouragés à développer un esprit entrepreneurial en transformant une réflexion personnelle en un projet concret à fort potentiel de réalisation. Cette démarche ne vise pas uniquement à matérialiser une idée originale, mais surtout à concevoir une solution porteuse de valeur, capable d'avoir un impact réel sur notre environnement proche ou à une échelle plus large. C'est dans ce cadre que nous avons eu à entamer plusieurs idées de projet, dont certaines se sont révélées peu réalistes ou difficilement réalisables, tandis que d'autres ont progressivement mûri pour devenir des concepts solides, porteurs de sens et d'impact. Parmi ces dernières, une idée a particulièrement retenu notre attention par sa pertinence environnementale et sa faisabilité technique : la conception d'un système visant à réduire les émissions de CO₂ des véhicules thermiques grâce à l'intégration de matériaux innovants comme les *Metal-Organic Frameworks* (MOFs) et des substrats filtrants performants.

I- **Projet Final : BARTH-X** : Conception de substrat filtrant pour la réduction de CO₂ des pots d'échappement

a. Contexte

Le diesel, l'essence et le transport en générale constituent l'un des facteurs majeurs du réchauffement climatique et de la pollution de l'air. Malgré les avancées réglementaires comme la norme EN 590, les émissions de CO₂ des véhicules restent une source majeure de pollution dans certaines régions, représentant 34 % de l'émission totale du CO₂ mondial en 2023 d'après le [ministère territoire écologie du logement français](#).

Cette hausse de CO₂ dans l'atmosphère entraîne une réaction en chaîne car on a une hausse de la température couplée à la fonte des glaciers, la libération du méthane dans l'atmosphère, gaz beaucoup plus polluant. Ensuite on atteint une grande sécheresse qui engendre une famine et bien d'autre vice.



Figure 1 : Réchauffement climatique



Figure 2 : Canicule accrue

b. Problématique

La combustion de l'essence ou du diesel n'émet pas uniquement le CO₂ mais d'autres gaz comme les NOx, le CO et les hydrocarbures imbrulés. N'oublions pas aussi les particules fines dont la prolifération peut être la cause de divers cancers chez l'être humain. Pour éviter l'émission de tout ces gaz hyper dangereux pour l'homme et aussi dégradant la couche d'ozone, diverses conceptions ont été réalisées, notamment celle des filtres à particules.

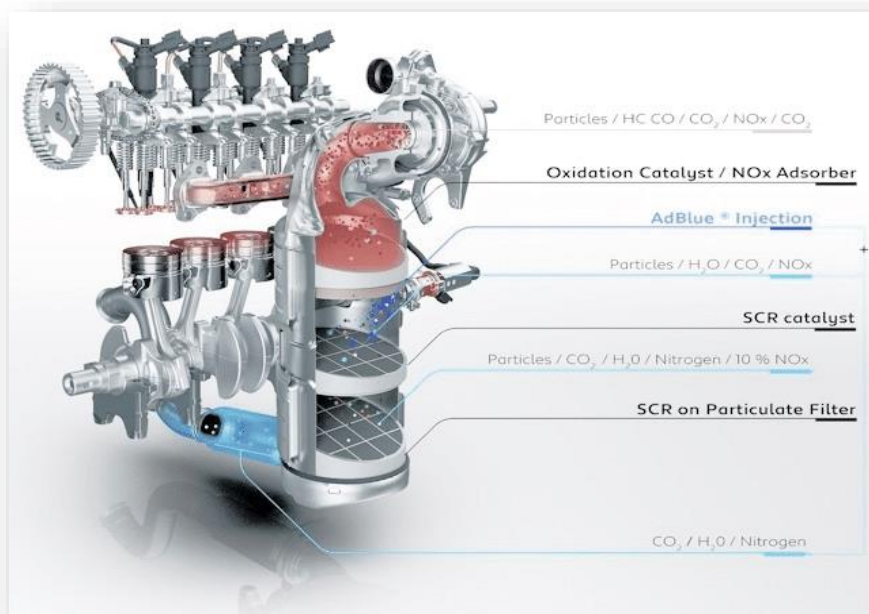


Figure 3: Processus de transformation des gaz NOx, HC et CO dans les filtres à particules

Malheureusement ces systèmes de filtration mettent l'accent sur la réduction de l'émission des gaz beaucoup plus nocifs en faible quantité et cela entraîne au fil du temps une émission beaucoup plus élevée de CO₂ dans l'atmosphère. C'est de là que surgit le problème auquel nous travaillons pour apporter une solution :

Comment peut-on parvenir à réduire d'avantage l'émission de CO₂ des moteurs diesel et essence dans l'atmosphère grâce à une stratégie autant écolo qu'innovatrice ?

c. Méthodologie et réalisation

Pour pallier au problème exposé nous nous sommes inspirés de deux systèmes, le système Direct Air Capture et les natures du substrat filtrant présent dans les filtres à particules des véhicules modernes.

✓ Le système Direct Air Capture (DAC)

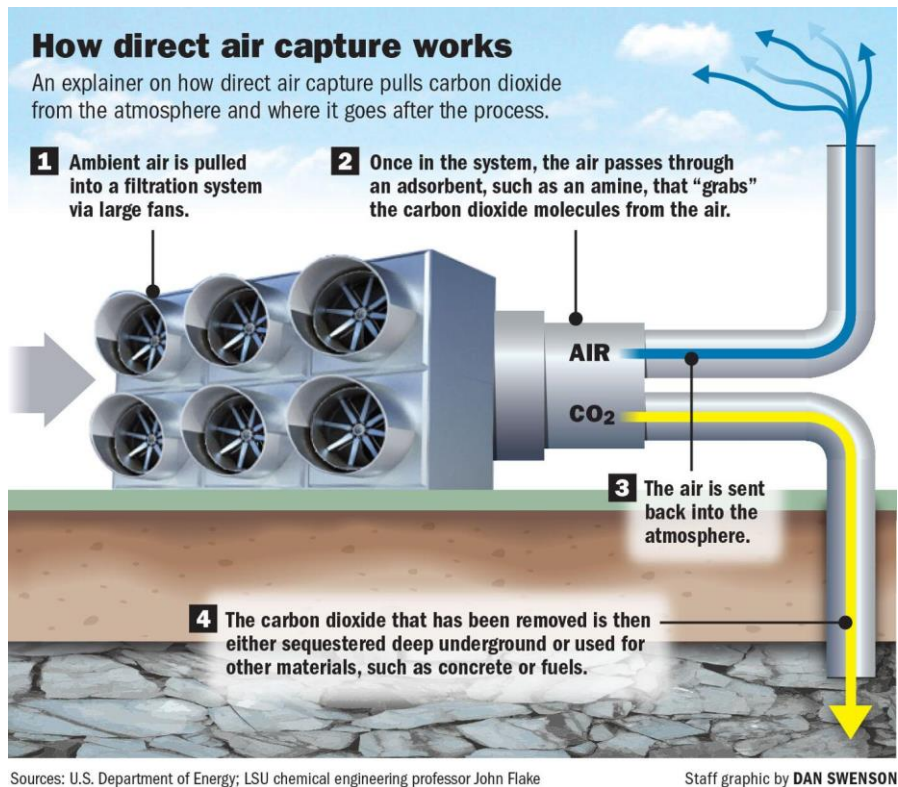


Figure 4 : Fonctionnement du Direct Air Capture

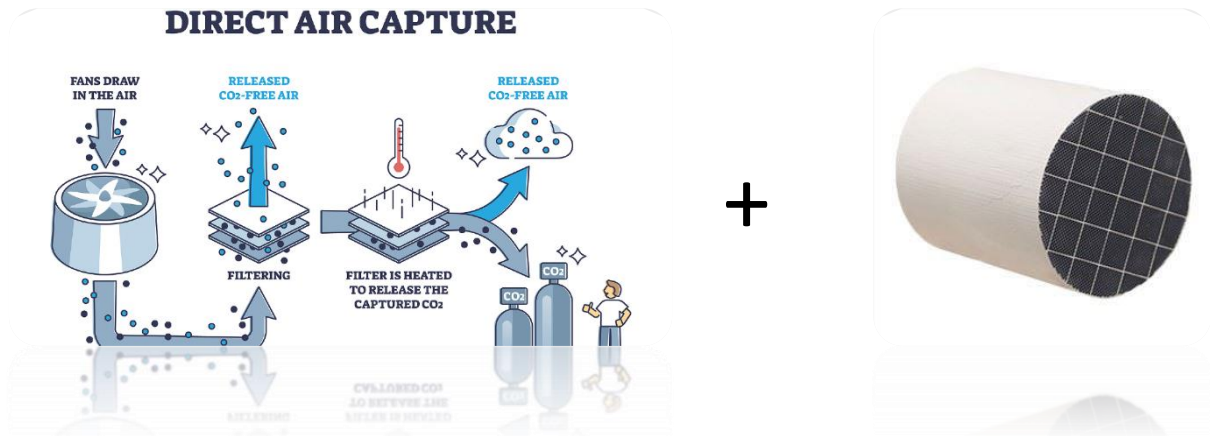
Le DAC récupère le CO₂ présent dans l'atmosphère par filtration grâce à des fanes rotatifs. Par l'utilisation de Metal-Organic-Framework : constitué de ligand ayant une forte attractivité avec le CO₂ et d'ion métallique comme l'ion zinc (majoritairement utilisé et l'ion cuivre) le système parvient à fixer le CO₂ et à le stocker dans le sol pour une utilisation au respect de l'environnement. C'est cette particularité de fixation qui nous a intéressé à première vue.

✓ Le substrat en céramique



Substrat filtrant en céramique principalement utilisé dans les filtres à particules a cette particularité de retenir les particules fines émises par le moteur et de résister à de très haute températures.

Ainsi en fusionnant ces deux modèles préalablement vus :



Nous sommes arrivés à designer le modèle de la solution que nous envisagions sur SolidWorks :

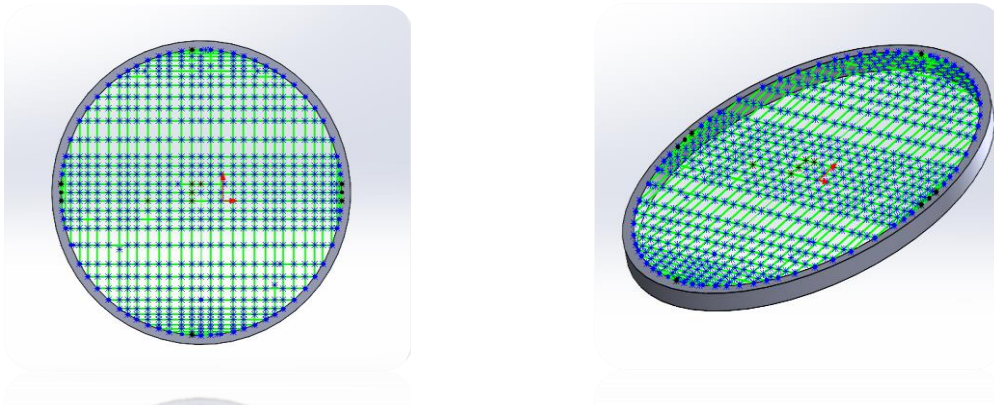


Figure 5: Modèle SolidWorks de la solution

Suite à la réalisation du modèle SolidWorks, nous sommes passés en laboratoire pour le premier prototypage et les premiers tests.

Pour le prototypage nous avons utilisé les composés suivants :

- ✓ Cellulose extraite de la plante Alpha (Dans la région d'Agadir)
- ✓ Eau distillée
- ✓ 2-diméthylimidazole
- ✓ PVP (Polyvinylpyrrolidone)
- ✓ Ion Zinc



Figure 6 : Éléments utilisés pour la synthèse

Le traitement c'est fait en effectuant une dissolution du Zn avec de 100mL d'eau distillé ensuite une dissolution du 2-diméthylimidazole avec 100mL d'eau distillé. Enfin nous avons effectué une agitation avec du PVP et de cellulose de 24h pour avoir le prototype.

Fig.1 Schematic representation for synthesis of ZIF-8 nanocrystals

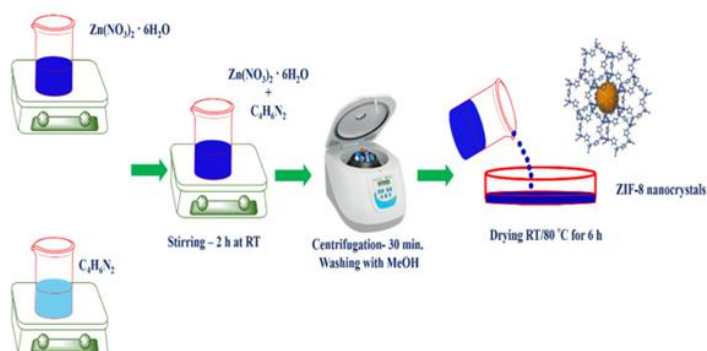


Figure 7 : Synthèse du ZIFs-8

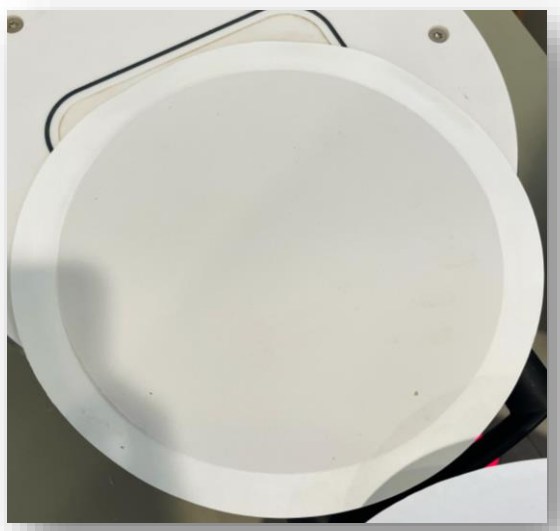


Figure 8: Premier Prototype de la solution

Suite à la conception nous avons effectués des observations au microscope et des tests de cinétique pour évaluer le niveau d'absorption du CO₂ par le filtre conçu et avons ensuite tracé le graphe en fonction du temps.

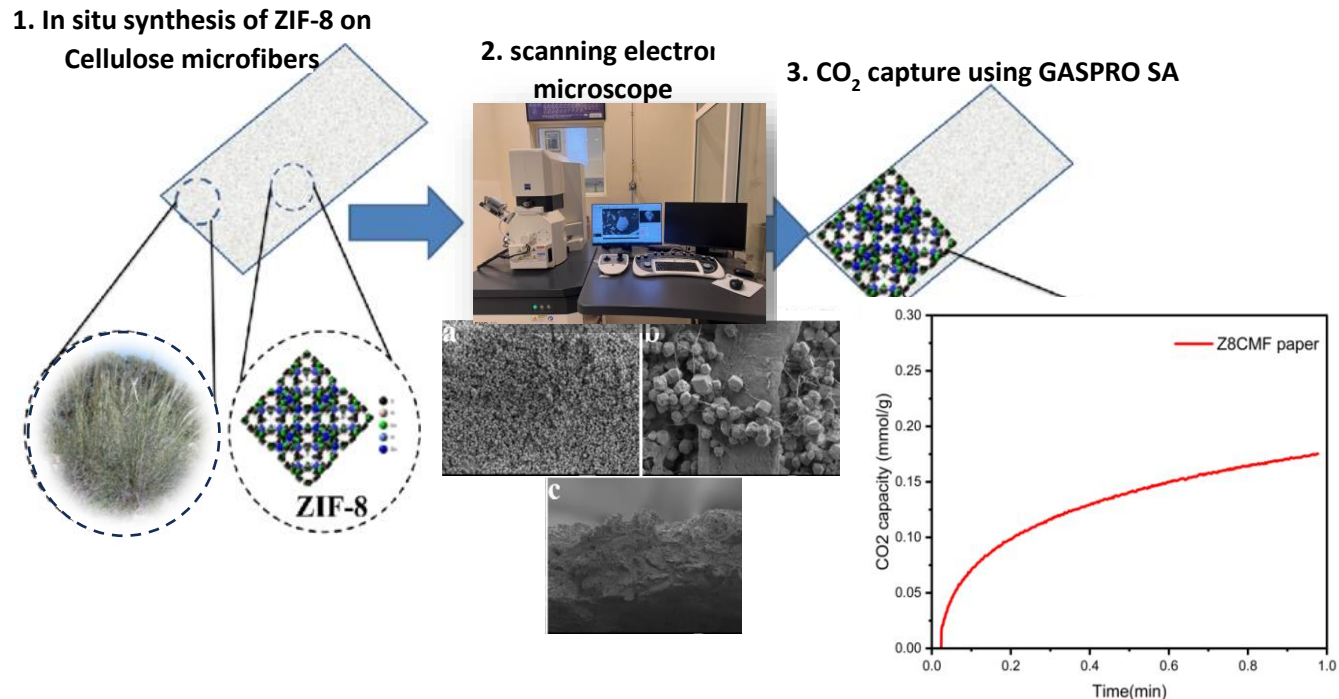


Figure 9: Résumé du Processus de Conception

Ce prototype ne constitue qu'un simple test. Grâce à ce dernier, nous sommes parvenus à mettre en lumière certaines préoccupations qui constituent la base de la réalisation effective du projet notamment :

- ✓ Le problème de stockage et de réutilisation du CO₂
- ✓ La durée d'utilisation du matériau (Saturation du filtre)
- ✓ La résistance des matériaux à une température de sortie avoisinant les : 400°C à 700°C
Moteur essence 200°C à 500°C Moteur diesel
- ✓ Le centre d'accumulation en cas de débordement

Répondre à ces interrogations nous permettra d'optimiser le modèle et de présenter le design idéal à mettre en assemblage ou à concevoir de façon fusionnelle avec les filtres à particules déjà présent.

d. Partenariat et Programmes de découverte

Pour parvenir à financer le déploiement du premier prototype nous envisageons d'effectuer des partenariats avec deux organismes principaux pour l'instant pour des raisons bien précises.

Le département de MSN présente de nombreux avantages pour nous :

- ✓ Nous disposons d'expertise à portée de main et de soutien technique
- ✓ La disponibilité des éléments ainsi que du cadre pour la conception
- ✓ Il est aussi important de mentionner que c'est avec ce dernier que nous avons débuté l'expérimentation donc il est préférable pour nous de continuer avec leur aide.

UM6P Venturing est un organisme particulièrement attentif aux projets à fort impact en matière de développement durable. Grâce à son soutien, il nous sera plus aisé de :

- ✓ Participer à des programmes d'incubation de projets innovants ;
- ✓ Atteindre plus facilement nos cibles, en particulier les entreprises de construction automobile disposant de filiales au Maroc.

II- Perspectives et vision globale

a. Objectif et Modèle d'intégration de la solution

Émettre l'idée d'un modèle définitif est une tâche relativement complexe, car il faut prendre en compte le temps de saturation et le remplacement progressif du filtre au fur et à mesure de son utilisation, comme nous l'a justement précisé notre encadrant.

L'objectif que nous souhaitons atteindre est d'intégrer notre solution, en cours de développement, dans un système fonctionnel.

Le premier design, élaboré à partir de l'étude des filtres à particules actuellement utilisés, adopte une forme cylindrique. Toutefois, ce prototype nécessite encore plusieurs ajustements pour être pleinement opérationnel.

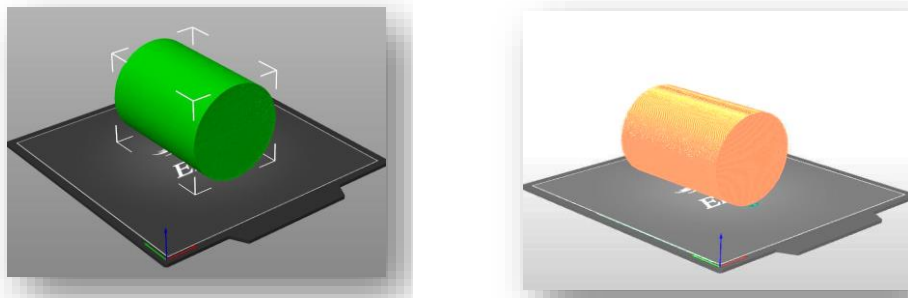



Figure 10 : Premier Modèle du résultat final

b. Production et clientèle

Produire et aboutir à un produit commercialisable constitue notre objectif principal. Pour ce faire, le premier marché que nous visons est le marché marocain.

Eléments chimiques	Quantité	Coût pour une unité de fabrication	Fournisseur
2-methylimidazolate (C ₄ H ₆ N ₂)	500g	\$104.70	
Chlorure de zinc (ZnCl ₂)	1kg	\$555.00	
Méthanol (CH ₃ OH)	500 mL	\$70.80	
Substrat (Cordiérite)	1	\$10.00-50.00	

Nous disposons de quelques estimations des coûts de production du ZIF-8, mais nous ne sommes pas encore en mesure de formuler une hypothèse crédible concernant le prix final auquel nous pourrions commercialiser le produit. Des recherches approfondies restent nécessaires pour évaluer l'ensemble des éléments entrant en jeu dans sa conception.

En ce qui concerne la clientèle, il est important de préciser que les automobilistes ne constituent pas notre cible commerciale directe, mais plutôt les bénéficiaires finaux de la solution. Nos clients principaux sont les constructeurs automobiles. Pourquoi ?

Parce que cette solution leur permettra de se conformer aux réglementations en vigueur sur les émissions de CO₂ des véhicules qu'ils produisent, tout en réalisant des économies substantielles sur les pénalités carbone.



CONCLUSION

Nous travaillons activement à la recherche d'une solution à tous les problèmes exposés, dans le but d'aboutir à un résultat plus qu'optimal pour ce monde en constante dégradation.

Par ailleurs, concevoir et développer un projet capable de tenir la route représente pour nous une grande satisfaction. La motivation ne cesse de nous animer, et nous espérons parvenir à un résultat concrètement implémentable.

À ce stade, nous tenons à remercier nos encadrants, Monsieur Hicham AKAYA ainsi que Madame Zineb OUZROUR, pour leur accompagnement, leur aide précieuse et leurs apports tout au long de cette première expérimentation.

Nous adressons également un grand merci à Monsieur Johan JACQUEMIN pour le soutien qu'il nous a apporté. Nous espérons avoir l'occasion de continuer à bénéficier de son expertise et de son accompagnement dans la suite de notre travail.