



RAPPORT D'ACTE D'ENTREPRENDRE

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

ENCADRANTS :
Mr. Nicolas CHEIMANOFF
Mr. Jamal FIFEL

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2
I- Les différentes orientations	3
a. Projet d'irrigation : Green Earth	3
b. Concours d'éloquence	4
c. CLUB : L'Afrique vue d'en haut	4
d. TB-PROTECT : Technologie d'Écran de Téléphone Déformable.....	5
II- Projet Final : BARTH-X : Conception de substrat filtrant pour la réduction de CO2 des pots d'échappement	6
a. Contexte	6
b. Problématique	7
c. Méthodologie et réalisation	8
d. Partenariat et Programmes de découverte.....	11
III- Perspectives et vision globale	12
a. Objectif et Modèle d'intégration de la solution	12
b. Production et clientèle	13
CONCLUSION	14
Figure 1: Pailles utilisées pour la Fanéoculture	3
Figure 2 : LA FRAGMENTATION DES ECRANS DES TELEPHONES.....	5
Figure 3 : Modèle SolidWorks de la solution	6
Figure 4 : Réchauffement climatique	
Figure 5 : Canicule accrue	7
Figure 6: Processus de transformation des gaz NOx, HC et CO dans les filtres à particules	7
Figure 7 : Fonctionnement du Direct Air Capture	8
Figure 8 : Modèle SolidWorks de la solution	9
Figure 9 : Eléments utilisés pour la synthèse	10
Figure 10 : Synthèse du ZIFs-8.....	10
Figure 11 : Premier Prototype de la solution	10
Figure 12 : Résumé du Processus de Conception	11
Figure 13 : Premier Modèle du résultat final	12

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- Les différentes orientations

Trouver une idée qui mérite d'être explorée en profondeur s'est avéré être une tâche difficile. Nous avons été confrontés à des défis de plus en plus complexes, dans un contexte où de nombreux modèles de production présentaient des similarités. La question de la faisabilité économique s'est imposée comme l'un des principaux facteurs nous ayant poussés à réorienter notre réflexion et à repenser notre projet initial.

a. Projet d'irrigation : **Green Earth**

Le projet d'irrigation visait à soutenir le secteur agricole, en particulier dans les zones arides et semi-désertiques. Il avait pour objectif de favoriser une transition de la **fanéoculture** – une méthode consistant à cultiver sur des buttes de foin et de déchets verts, sans perturber la structure du sol – vers une agriculture davantage axée sur l'irrigation. Cette évolution permettrait d'améliorer la productivité et d'augmenter significativement les rendements agricoles.



Figure 1: Pailles utilisées pour la Fanéoculture



Bien que nos ambitions fussent grandes, suite à une évaluation du point de vue économique et du processus d'acquisition de la clientèle (Savoir qui serait à même de payer le produit) la faisabilité du projet fut remise en cause faute.

b. Concours d'éloquence

Suite à l'échec du projet d'irrigation nous nous sommes dirigés vers quelque chose de plus simple mais mettant en jeu une multiplicité de valeur. Un événement ayant pour objectif de célébrer l'art de l'éloquence et de la communication persuasive, tout en offrant une plateforme aux participants pour démontrer leur maîtrise de l'art oratoire en français et en anglais. La difficulté était que nous étions indécis par rapport à la langue première d'évaluation car que ce fut en français ou anglais une difficulté résidait dans cette différence de base d'évaluation. Aussi un autre problème était malheureusement cette restriction qu'on faisait car seul une petite minorité se trouvait dans le canevas des profils que nous recherchions.

Bien que ce facteur ait ralenti notre progression l'ambition de continuer et de faire de cela une réalité réside toujours en nous. Nous avons déjà rédigé des documents sollicitant l'aide à la SOLE que nous n'avons pas encore transmis à ce jour.

<..\ART ORATOIRE\Art Oratoire.pdf>

<..\ART ORATOIRE\Courrier SOLE.docx>

<..\ART ORATOIRE\Liste des Besoins.xlsx>

<..\ART ORATOIRE\Programme détaillé.docx>

c. CLUB : L'Afrique vue d'en haut

L'Afrique vue d'en haut était pour nous un moyen de faire découvrir chacune des cultures des différentes nationalités présentes à l'UM6P à tout un chacun. Un club qui nous réunit tous avec toutes les communautés représentées et des activités mensuelles dédiées à chaque communauté. Une journée culturelle mais qui s'étant sur toute une année académique.



Les difficultés principales étaient de trouver des personnes voulant participer à ces activités (notamment le théâtre, la danse ainsi que les activités de cuisine). Certes nous n'avons pas contacté bon nombre de personnes mais avec le premier retour nous avons mis un terme aux investigations en cours.

d. **TB-PROTECT** : Technologie d'Écran de Téléphone Déformable

L'un des problèmes nous ayant orienté est le problème des dépenses incessantes suite à des chutes indésirées de nos appareils téléphoniques. Ainsi nous nous sommes orientés dans la conception d'un écran qui pourra garder ses propriétés en utilisation normale c'est-à-dire rigidité optimale mais deviendra flexible ou molle sous haute pression ou sous l'action d'une force de grande norme, augmentant ainsi la durabilité et offrant une protection contre les dommages accidentels. La mise en place de capteur adapté, nano ou micro capteur capacitif permettra de rendre ce changement de nature beaucoup plus fluide.



Figure 2 : LA FRAGMENTATION DES ECRANS DES TELEPHONES

Pour parvenir à cette solution nous nous sommes intéressés aux fluides non newtoniens. Ces fluides dont la viscosité ou les contraintes augmentent de façon exponentielle lorsque la vitesse à l'intérieur augmente (une matière ayant les caractéristiques d'un fluide normalement mais qui devient rigide, presque imperméable aux tirs de balles lorsque la vitesse d'impact devient élevée).

Un fluide Non-Newtonien peut être conçu à partir d'un mélange de maïzena et de l'eau. La maïzena est essentiellement composée de :

- Amidon
 - ✓ Amylose (polymère de glucose linéaire 20-30%)
 - ✓ Amylopectine (polymère de glucose ramifié 70-80%)
- Eau
- Lipides et Protéines
- Minéraux

Suite à cette observation, l'idée de la modification de cette propriété s'est révélée essentielle.

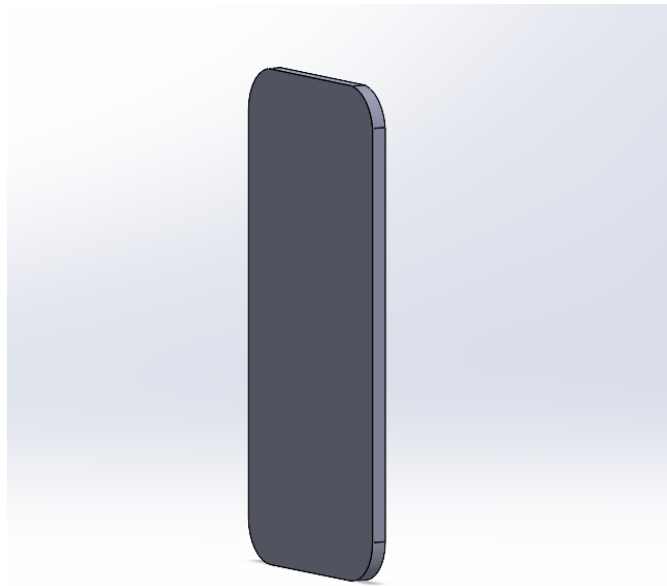


Figure 3 : Modèle SolidWorks de la solution

Suite à une analyse concurrentielle, il s'est avéré que de grande boîte travaillait déjà sur ce type de projet notamment Samsun, Itel et bien d'autre. De plus intégrer un laboratoire pour commencer les expérimentations fut tâche difficile malgré tous les efforts effectués. Ce qui nous a poussé à abandonner le projet.

II- 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 constitut 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 entraine une réaction en chaine 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 4 : Réchauffement climatique



Figure 5 : 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 tous 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.

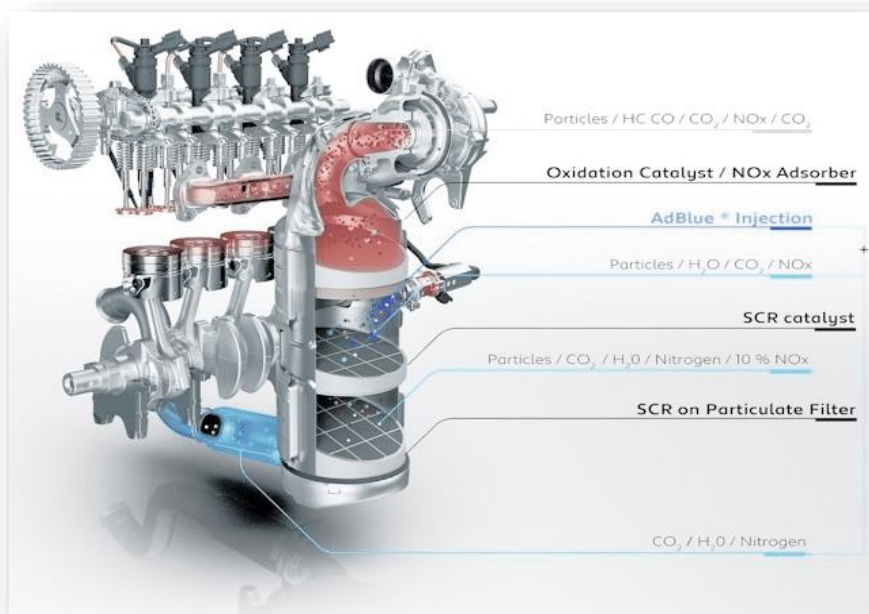


Figure 6: Processus de transformation des gaz NOx, HC et CO dans les filtres à particules

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 palier 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)

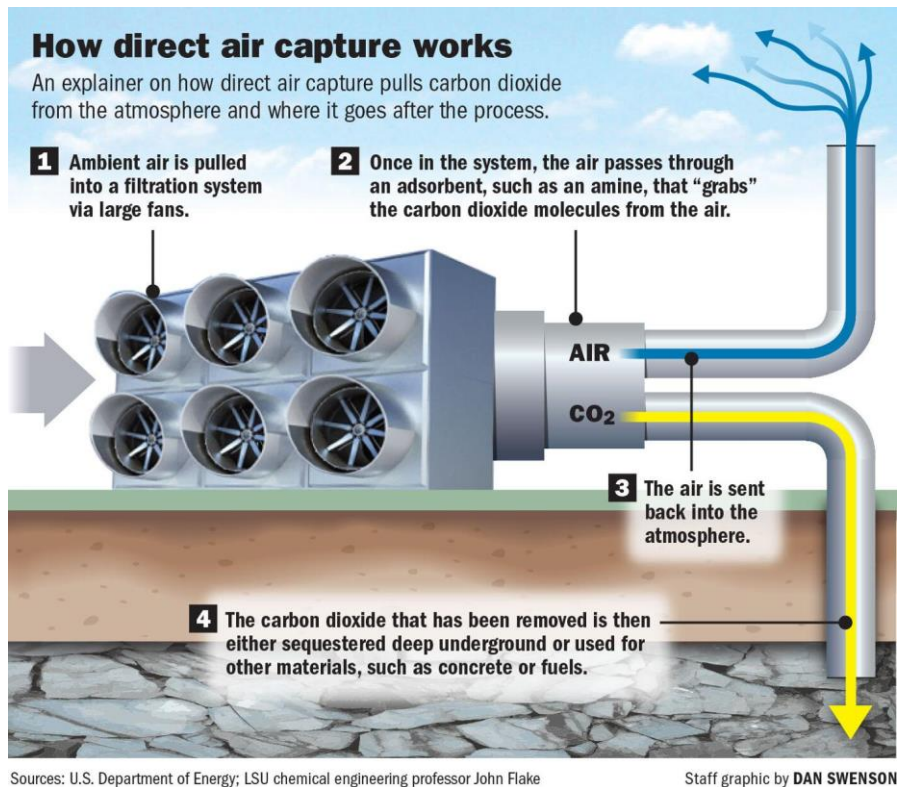


Figure 7 : Fonctionnement du Direct Air Capture

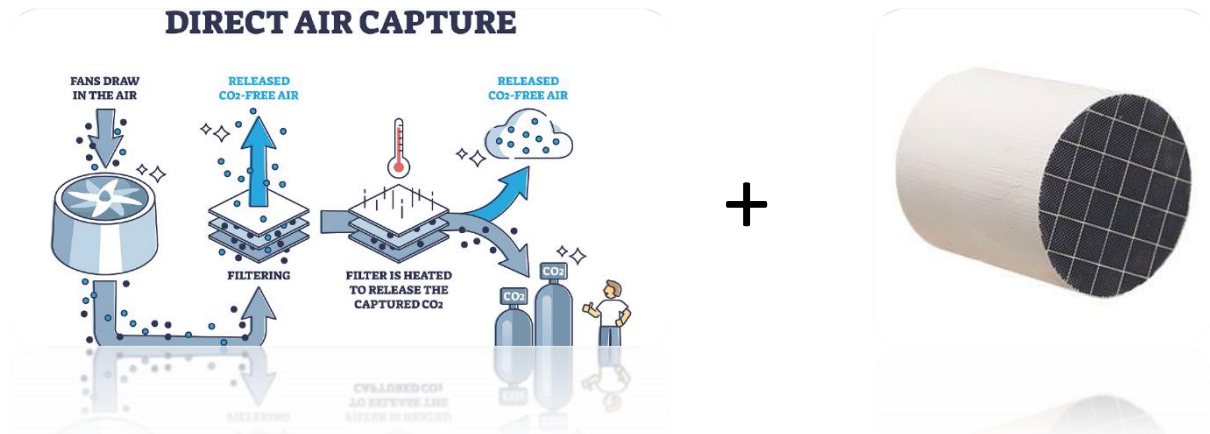
Le DAC récupère le CO₂ présent dans l'atmosphère par filtration grâce à des fanes rotatifs. Par l'utilisation de Metal-Organic-Framework : constitué de ligand ayant une forte attractivité avec le CO₂ et d'ion métallique comme l'ion zinc (majoritairement utilisé et l'ion cuivre) le système parvient à 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 :

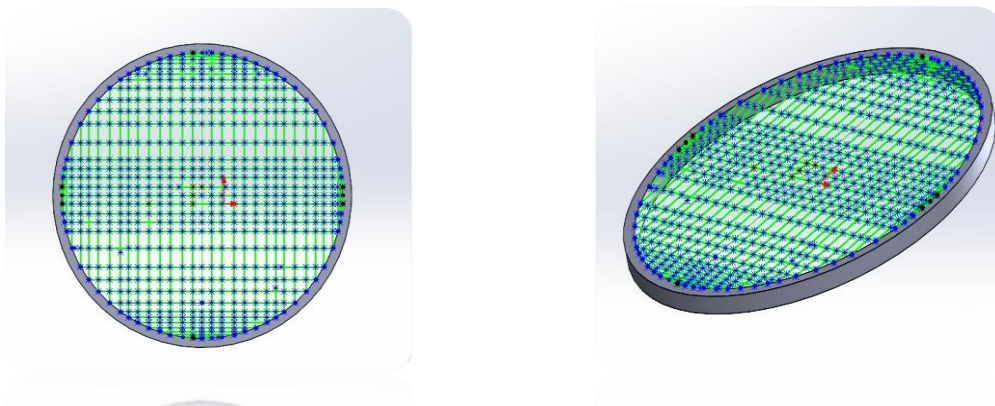


Figure 8: Modèle SolidWorks de la solution

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 9 : 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

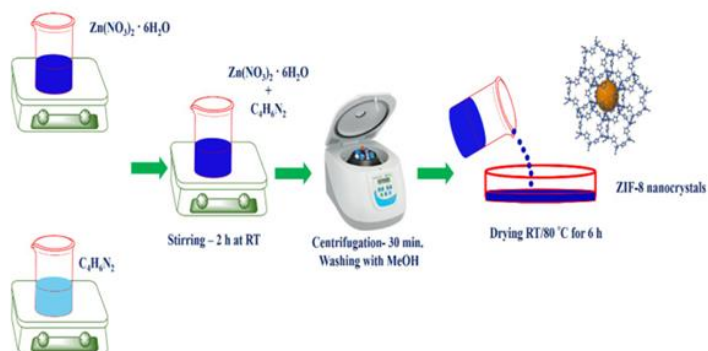


Figure 10 : Synthèse du ZIFs-8

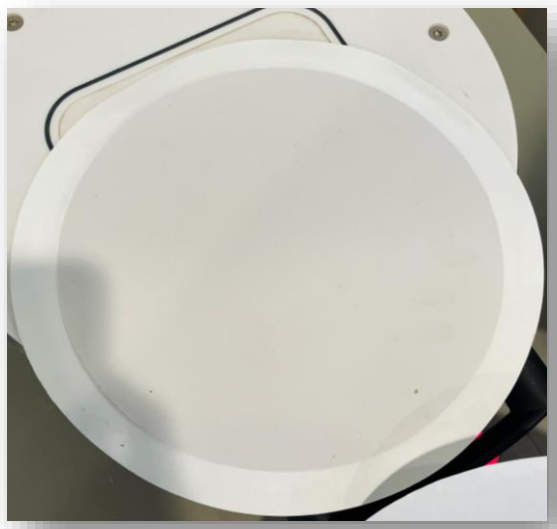


Figure 11: Premier Prototype de la solution

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.

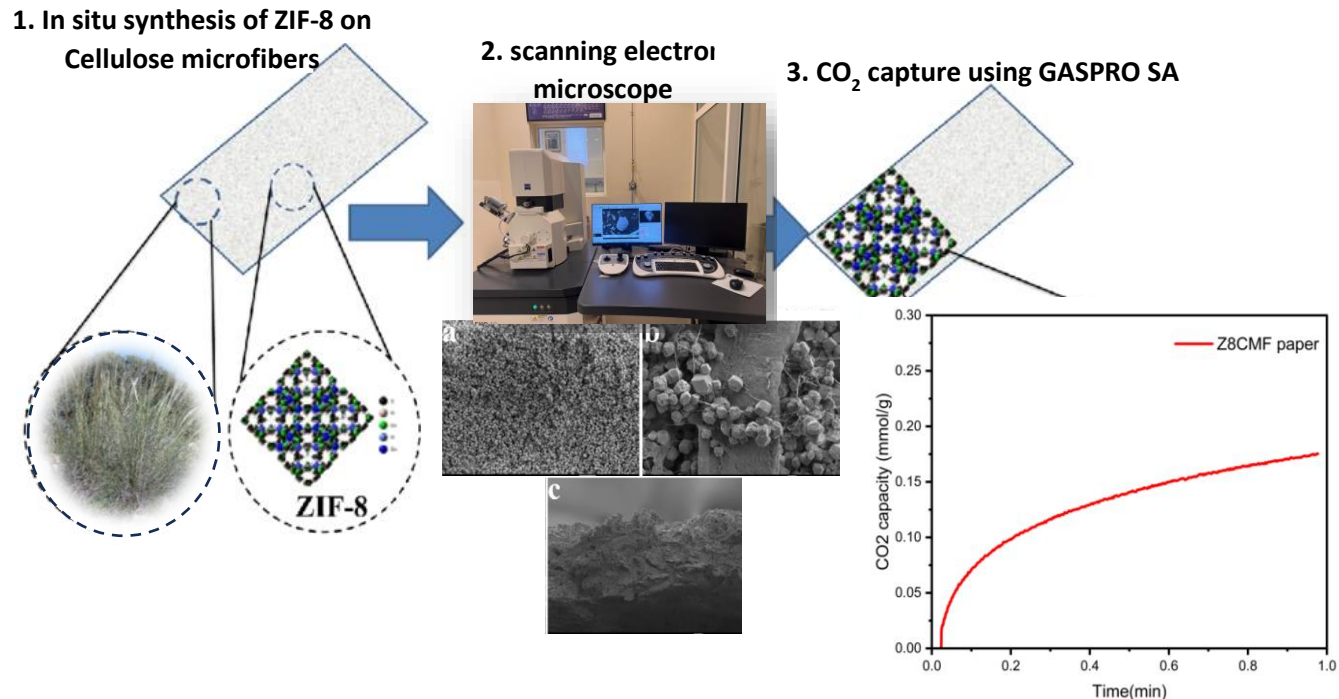


Figure 12: Résumé du Processus de Conception

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.

III- 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.

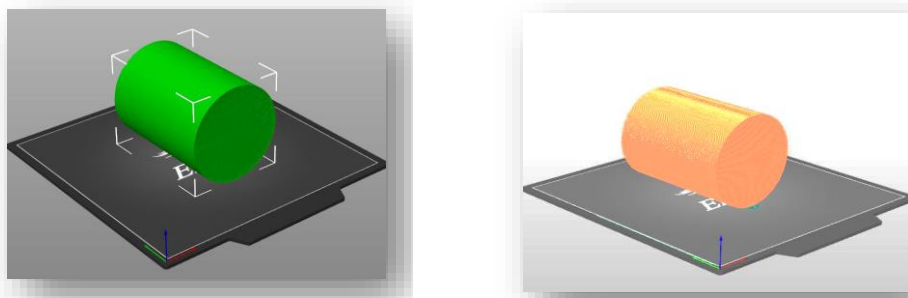



Figure 13 : Premier Modèle du résultat final

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 Nicolas CHEIMANOFF ainsi que Monsieur Jamal FIFEL, pour leur accompagnement, leur aide précieuse et leurs commentaires pertinents tout au long de notre initiation à cette discipline, qui a fait naître en nous le désir d'entreprendre et de produire un résultat à la fois utile pour la société et rentable pour nous.

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.