

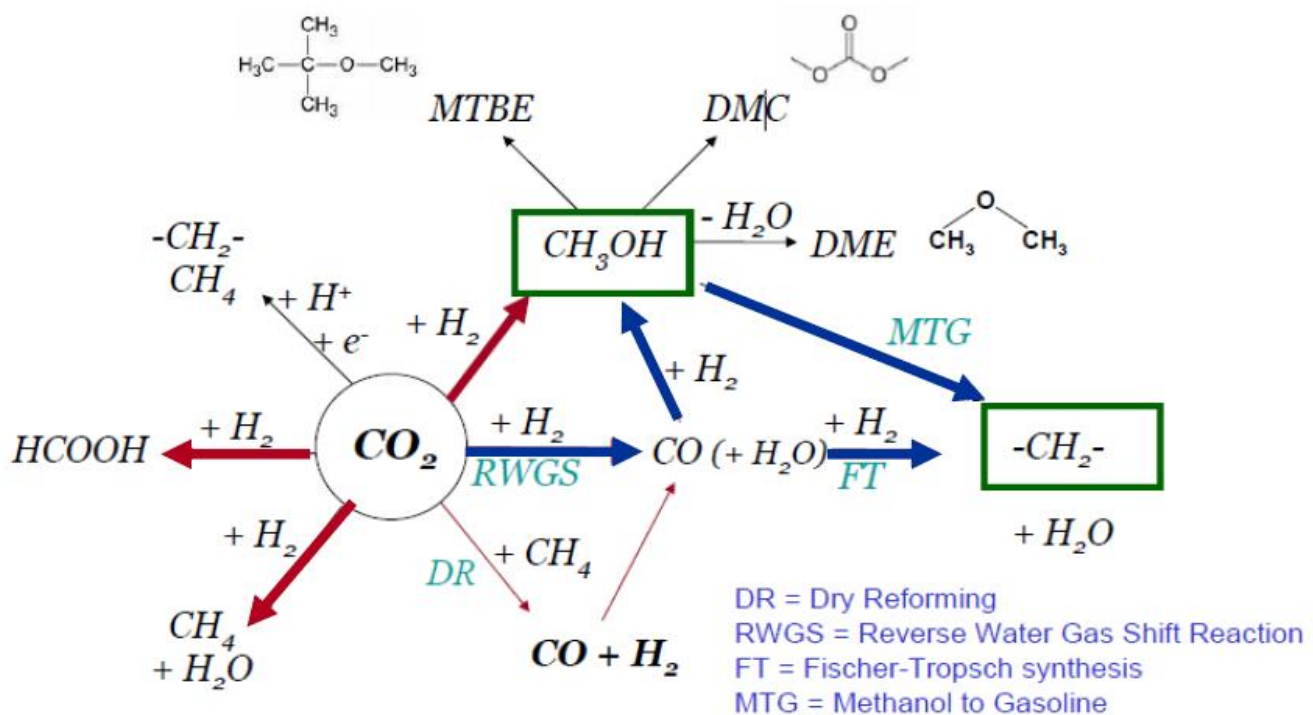
Valorisation du CO₂ par hydrogénation ou par électrolyse

Ces différentes techniques sont encore au stade de l'étude en laboratoire mais, elles seront sans doute un jour en application industrielle.

1. Hydrogénation du CO₂

1. Différentes voies de conversion du CO₂

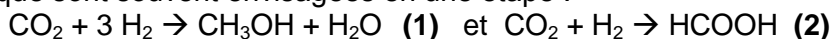
Il existe plusieurs voies de conversion du CO₂, elles sont représentées ci-dessous :



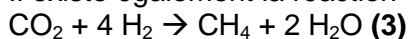
L'hydrogénation du CO₂ est la voie de conversion la plus étudiée. Elle peut se diviser en deux principales catégories :

1.1. L'hydrogénation du CO₂ en une étape (flèches rouges) :

L'hydrogénation conduit directement aux alcools et hydrocarbures. Les synthèses du méthanol et de l'acide formique sont souvent envisagées en une étape :



Il existe également la réaction de Sabatier qui mène au méthane :



Toutefois, cette réaction implique une large consommation de dihydrogène.

1.2. L'hydrogénation du CO₂ en deux étapes (flèches bleues) :

- Soit la première étape consiste à convertir le CO₂ en CO (et H₂O). Ensuite de l'hydrogène est ajouté pour former du syngaz (mélange de CO et d'H₂), qui est converti en hydrocarbures ou en méthanol.
- Soit la première étape consiste en la formation de méthanol qui est ensuite converti en hydrocarbure.

L'hydrogénation du CO₂ permet d'aboutir à une grande variété de produits à valeur énergétique ainsi que de produits chimiques.

2. Les principales applications

L'hydrogénation du CO₂ permet d'aboutir à une grande variété de produits à valeur énergétique ainsi que de produits chimiques.

2.1. Des composés oxygénés pour stocker de l'énergie

Le méthanol : l'intérêt du méthanol est qu'il est à la fois un intermédiaire pour l'industrie chimique et un produit à valeur énergétique (additif dans les carburants). Le marché du méthanol s'élevait à 40,4 millions de tonnes en 2007 (et 58,6 millions de tonnes prévues pour 2012). De nombreux composés dérivent du méthanol, comme les oléfines (éthylène, propylène, butène). Par ailleurs, le DME (Diméthyl Ester), est également synthétisé à partir de méthanol, et peut être utilisé comme un diesel de substitution.

L'éthanol : cet alcool est préféré au méthanol car il est plus simple à manipuler, à transporter et il se combine mieux avec le gasoil.

2.2 Des hydrocarbures

Le méthane : $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (4)

Autres hydrocarbures à plus longues chaînes : en utilisant le syngaz évoqué précédemment.

2. Valorisation du CO₂ par électrolyse

1. Principe de fonctionnement

La réduction électrochimique du CO₂ consiste à faire réagir le CO₂ avec plusieurs électrons et protons pour produire des hydrocarbures de synthèse et des composés oxygénés.

On distingue deux technologies :

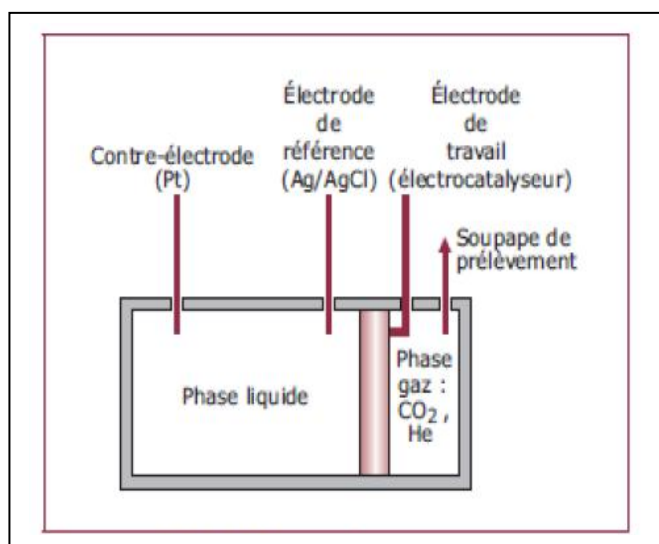
- L'électrolyse à haute température : co-électrolyse du CO₂ et de l'eau

L'eau et le CO₂ sont co-électrolysés à haute température (700-800°C) pour produire du syngaz (CO + H₂) qui aboutit, par réaction catalytique, à des hydrocarbures ou des alcools.

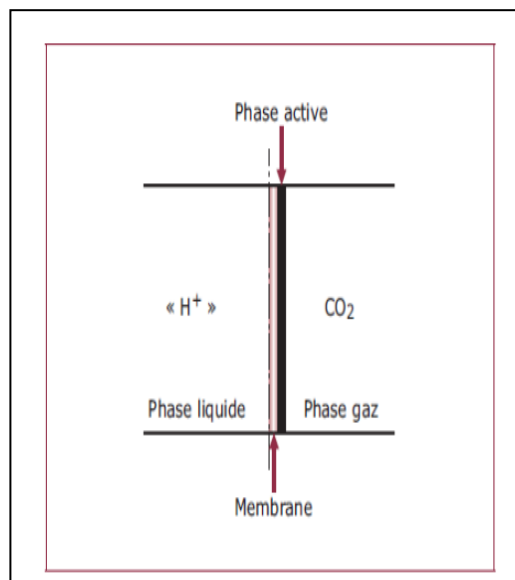
Ce système utilise à la fois de l'énergie électrique et de la chaleur pour casser la molécule de CO₂.

- L'électrolyse à température ambiante en cellules électrocatalytiques

Dans cette réaction, les électrons sont fournis par l'énergie électrique (généralement à partir de panneaux solaires ou d'autres énergies renouvelables) et les ions hydrogène par un élément chimique (HCl par exemple) ou de l'hydrogène gazeux directement.



Cellule électrochimique pour la réduction du CO₂ en phase gazeuse



Di dispositif des électrodes dans le réacteur

2. Les principales applications

L'électroréduction du CO₂, par transfert de plusieurs électrons, à pH = 7, peut conduire à la formation de nombreux composés tels que :

- l'acide formique par la demi-équation : $\text{CO}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- = \text{HCOOH}$ (5)
- le formaldéhyde par la demi-équation : $\text{CO}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- = \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$ (6)
- le monoxyde de carbone
- le méthanol
- le méthane.

Pour l'instant, pour les recherches au laboratoire, le CO₂ utilisé est du CO₂ industriel, pur à 99,99 %. Cependant, les recherches devraient s'intéresser à utiliser des sources de CO₂ moins concentrées. L'utilisation de CO₂ issu de fumées industrielles est l'un des enjeux de cette technologie.

D'après plusieurs sources bibliographiques, la production de produits à valeur énergétique pourrait valoriser entre 1,5 et 3 milliards de tonnes de CO₂ par an.

3. Exploitation

Étude des molécules organiques obtenus par hydrogénation

1. Qu'est-ce qu'un hydrocarbure et un alcool ?
2. Reprendre les deux équations (1) et (2). Donner les formules brutes puis semi-développées du méthanol et de l'acide formique. Identifier les groupes caractéristiques de chaque molécule et justifier le nom des deux composés.
3. Qu'est-ce qu'un produit à valeur énergétique ?
4. Quel est le rôle d'un catalyseur dans une réaction chimique ?

Utilisation des techniques d'oxydoréduction

5. Le texte signale que lors de l'électrolyse, il se déroule une « électroréduction ». Expliquer ce terme. Quel mot utilise-t-on habituellement ? Justifier.
6. Donner le couple redox mis en jeu dans la réaction (6) en justifiant.
7. Écrire les réactions (7), (8), (9) qui conduisent à la formation respectivement à la formation des composés proposés.

Thème : Agir.

8. D'après la formule brute du formaldéhyde, quel est le nom officiel de cette molécule ?
9. Globalement quel est l'intérêt de cette valorisation du dioxyde de carbone par électrolyse ?
10. En l'état actuel, seul le dioxyde de carbone « pur » peut être utilisé, à votre avis, pourquoi n'est-il pas possible d'utiliser les autres sources de CO₂ moins concentrées, quels sont les inconvénients ?

Origine des sources :

Etude réalisée pour le compte de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, conjointement avec le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer par ALCIMED :

<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=372159359B457D309B4E686E6D6903201285054457709.pdf>

Accessible depuis la page :

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=72052&ref=14148&nocache=yes&p1=111>

ou www.ademe.fr > Rubrique « Recherche et investissements d'avenir » > Publications > et en juin 2010 : Panorama des voies de valorisation du CO₂