



**HAL**  
open science

## Un business model pour recycler le CO<sub>2</sub> au lieu de la stocker ?

Florin Paun

► **To cite this version:**

Florin Paun. Un business model pour recycler le CO<sub>2</sub> au lieu de la stocker ? : Analyse d'une stratégie de valorisation de la production solaire d'énergie dans le but de créer du combustible renouvelable basé sur du CO<sub>2</sub> recyclé.. 2011. halshs-00565350

**HAL Id: halshs-00565350**

**<https://shs.hal.science/halshs-00565350>**

Preprint submitted on 11 Feb 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Un business model pour recycler le CO<sub>2</sub> au lieu de la stocker ?

**Analyse d'une stratégie de valorisation de la production solaire d'énergie dans le but de créer du combustible renouvelable basé sur du CO<sub>2</sub> recyclé.**

**Florin Paun, Onera, DCV/ND**

*(Ces travaux de recherche font l'objet d'une Enveloppe Soleau en 2010 par l'auteur)*

Ces travaux de recherche analyse la pertinence d'un procédé de production du Méthane (CH<sub>4</sub>) régénérable et régulation du Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique par utilisation d'une association entre la production d'énergie électrique par utilisation d'énergie renouvelable, l'électrolyse de l'eau, capture des rejets de CO<sub>2</sub> ou de CO<sub>2</sub> atmosphérique et hydrogénation du CO<sub>2</sub> dans un réacteur chimique (de type Sabatier mais pas seulement)

L'idée principale consiste en fabriquer du carburant utilisable par les moteurs existant actuellement sur la base des énergies renouvelables et sans passer par la biomasse. **On se propose d'obtenir du carburant régénérable. Ainsi, on ne change en rien la filière énergétique de l'économie actuelle.**

On va permettre l'installation d'un cycle de CO<sub>2</sub> (parallèle au cycle naturel) ou l'énergie qui sera utilisée pour permettre la circulation du CO<sub>2</sub> est de source renouvelable. Le CO<sub>2</sub> **capturé sera transformé en méthane régénérable** qui se retransformera en CO<sub>2</sub> lors de sa combustion dans les moteurs et chaudières existantes.

On va recréer le business model existant dans la génération de l'électricité de source **renouvelable** avec des tarifs de marché pour la vente du méthane et des **tarifs de rachat supérieurs**, par les fournisseurs de gaz, **pour le méthane renouvelable. On va faire avec du gaz ce qu'on fait maintenant avec l'électricité. Ceci**, d'un point de vue business est une vraie innovation car ça **évitera la pression induite par la théorie économique de la décroissance.**

Les moyens utilisés existent chacun de manière indépendante ou dans des divers associations, mais ils n'ont **jamais été combinés pour obtenir ce résultat.** En effet, on va utiliser de l'énergie renouvelable pour produire de l'électricité. Celle-ci sera utilisée pour obtenir de l'Hydrogène ainsi que pour fournir l'énergie nécessaire a la hydrogénation du CO<sub>2</sub> afin d'obtenir du méthane dans un réacteur spécifique (ça pourrait être du type Sabatier mais pas exclusivement).

Pour faire cela, on utilisera le CO<sub>2</sub> prélevé directement aux sources (nombreux projets en cours pour la capture de ce CO<sub>2</sub>) et dont le coût sera de 41-72 \$/tonne conforme à l'étude de l'IFP jointe. Ceci correspond grosso modo au prix de la tonne CO<sub>2</sub> sur le marché mondial. Le procédé répond donc au besoin du stockage du CO<sub>2</sub> et le prix de cette tonne sera déduit des coûts nécessaires à la production de méthane dans les calculs de rentabilité présentés ci-dessous.

**Le résultat sera, en plus de la production de méthane régénérable à base du CO<sub>2</sub> et d'énergie renouvelable, la possibilité de régulation des stocks de CH<sub>4</sub> et de la quantité de**

**CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.** En effet, en utilisant les gazoducs existant et les poches d'exploitation du **CH<sub>4</sub>** on pourra **réinjecter du CH<sub>4</sub> régénéré** par le Procédé dans les mêmes poches en diminuant ainsi la quantité de **CO<sub>2</sub>** rejetée dans l'atmosphère. Pour tout cela l'apport d'énergie sera sur la base de l'énergie renouvelable (solaire, éolienne, marées...).

En détail le Procédé contient plusieurs étapes :

- production de l'énergie électrique renouvelable,
- électrolyse de l'eau,
- (capture et transport du **CO<sub>2</sub>**), cette étape se fera de préférence aux endroits où les émissions de **CO<sub>2</sub>** se font (et donc pas nécessairement sur place) mais pas obligatoirement,
- production de Méthane par hydrogénation du **CO<sub>2</sub>**.

Pour la production d'un **m<sup>3</sup>** de **CH<sub>4</sub>** le besoin énergétique est le suivant :

- approximativement 81600 kJ pour obtenir par électrolyse le H<sub>2</sub> nécessaire (on a considéré un rendement de 50% pour l'électrolyse de l'eau douce mais il ne faut pas oublier qu'elle peut atteindre 70% pour l'eau salée donc seulement 58285 kJ de coût énergétique),
- approximativement 7021 kJ pour que la réaction du type **CO<sub>2</sub>+4H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub> +H<sub>2</sub>O** puisse avoir lieu,
- approximativement 8418 kJ pour la capture et la logistique autour de la quantité de **CO<sub>2</sub>** nécessaire.

Ainsi les coûts directs seront calculés sur la base de l'énergie consommée pour les diverses étapes 7021 kJ + 81600 kJ – 8418 kJ (car on sera payé pour stocker le **CO<sub>2</sub>** au prix de la tonne) = 80203 kJ = 22,27 kWh. Ceci nous amène à un coût de 4.45 € pour la production d'un **m<sup>3</sup>** de méthane (on a considéré dans cet exemple un coût de production de 0,2 €/kWh photovoltaïque sur la base des prix actuels – appelés à chuter dans l'avenir). Comme recettes on va vendre le **m<sup>3</sup>** de méthane, au prix de rachat subventionné du **kWh solaire** donc pour 1 **m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>** ↔ 9.95 kWh, à 5.67 €. **Ceci donne une marge de 27%**. Le principe de calcul reste valable pour toute énergie renouvelable (car actuellement subventionnée) et ce calcul a été fait juste à titre d'exemple pour une utilisation d'énergie électrique à base de photovoltaïque.

Une utilisation des sources **d'électricité conventionnelles** pourrait être envisagée aussi dans un but de « **stockage** » de **CO<sub>2</sub>** sous forme de **méthane régénéré** à condition que le bilan carbone du cycle soit positif (**centrale nucléaire, hydraulique... fonctionnant en dehors de l'heure de pointe**).

Si on considère qu'on ne va pas se faire payer pour la tonne de **CO<sub>2</sub>** et qu'on va simplement se la faire livrer gratuitement, le coût énergétique sera de 88621 kJ donc de 4,92 €. Ceci laisse une **marge de 15,2%**. Les mêmes valeurs seront de **79% respectivement de 56%** si l'électrolyse se fera avec un rendement de 70%.

A titre d'exemple, pour ce qui est du rendement énergétique global dans le cas du photovoltaïque et de l'électrolyse avec un rendement de 50%, on va avoir :

$$\eta_{\text{Énergétique}} = 35843 / (8418+7021+81600) \times \eta_{\text{Photovoltaïque}} = 0,37 \times \eta_{\text{Photovoltaïque}}.$$

Ceci est valable si on ne prend pas en compte la fabrication des cellules photovoltaïques car la technologie évolue très vite. Pour l'heure en prenant approximativement 20000 KJ (car actuellement ¼ de l'énergie produite sert à « rembourser » le « coût » Carbone de la production) on va obtenir

$$\eta_{\text{Énergétique}} = 0,31 \times \eta_{\text{Photovoltaïque}}.$$

**Ceci nous amène à un rendement global de 3,72% entre l'énergie fournie par le Soleil et l'énergie du carburant régénérable obtenu sur la base du Procédé faisant l'objet de cette invention.** Ce rendement est supérieur à toute filière biocombustible connue à ce jour car la photosynthèse est rarement au-dessus de 3% (6-7% pour certaines algues) de rendement sur le stockage du  $\text{CO}_2$  sous forme de biomasse (sans prendre en compte la transformation de la biomasse en biocombustible).

## Annexe

Une étude faite par l'IFP (Institut Français du Pétrole), publiée sur Internet, fournit une approximation des coûts de stockage du  $\text{CO}_2$

Capture	Compression	Transport	Stockage
30-50\$/t $\text{CO}_2$	8-10\$/t $\text{CO}_2$	1-4\$/t $\text{CO}_2$	2-8\$/t $\text{CO}_2$

Soit une valeur comprise entre 41\$ et 72\$ la tonne de  $\text{CO}_2$ . Ces coûts dépendent évidemment des conditions d'émission du  $\text{CO}_2$ . Il permet de donner un ordre de grandeur pour fixer le niveau **d'une future écotaxe sur les émanations de  $\text{CO}_2$** .

## Passons en revue les différentes étapes

### 1. La capture du $\text{CO}_2$ .

Seuls les producteurs fixes de  $\text{CO}_2$  sont concernés par la séquestration géologique.

Aujourd'hui, l'industrie au sens large et particulièrement la production d'électricité sont les secteurs qui sont les plus concernés : La difficulté principale est d'arriver à suffisamment concentrer le  $\text{CO}_2$  en sortie de l'usine pour arriver à le séparer à moindre coût.

Quatre technologies sont aujourd'hui à notre disposition pour capturer le  $\text{CO}_2$  : absorption, adsorption, réfrigération, et membranes. Chacune de ces méthodes nécessitant de l'énergie ou bien la création de nouvelles infrastructures.

#### a) Absorption

L'absorption consiste à utiliser les caractéristiques chimiques d'absorption du  $\text{CO}_2$  de certains solvants

Les solvants en question sont des amines (Composé organiques dérivés de l'ammoniac) et le carbonate de potassium. Cette technologie est utilisée dans la récupération des résidus de  $\text{CO}_2$  des centrales thermiques.

Cette technologie permet de récupérer jusqu'à 98% du  $\text{CO}_2$ , mais elle consomme beaucoup d'énergie du fait de la nécessiter de création et le transport des éléments chimiques, de la perte de beaucoup de solvants. D'autres parts elle se limite aux fumées contenant de faibles taux de  $\text{CO}_2$ .

#### b) Adsorption

Adsorber signifie retenir, fixer à la surface. L'adsorption est donc une méthode qui repose sur l'attraction entre le  $\text{CO}_2$  et la surface de certains solides. C'est sur un phénomène d'adsorption que l'on compte pour stocker le  $\text{CO}_2$  à la place du  $\text{CH}_4$  dans les mines de charbon. L'adsorption pourrait être utilisée

pour séparer le  $\text{CO}_2$  d'autres gaz en utilisant les propriétés de surface de l'alumine par exemple. Les quantités adsorbées restent faibles et la récupération du  $\text{CO}_2$  reste complexe et énergivore.

### c) Séparation cryogénique

La séparation cryogénique se base sur le fait que chaque gaz, pour une pression donnée, a une température de liquéfaction différente. Cette technique permet de séparer le  $\text{CO}_2$  d'autres gaz, sous forme liquide à l'issue de plusieurs étapes de refroidissement et de condensation. Cette méthode est particulièrement utilisée lorsque la concentration du  $\text{CO}_2$  est très importante (> 90 %).

Grâce à cette méthode on obtient du  $\text{CO}_2$  liquide et donc prêt à être transporté vers un lieu de stockage (par Pipe ou par bateau par exemple)

Les principaux inconvénients de cette méthode sont :

- la consommation énergétique élevée nécessaire pour cryogéniser le  $\text{CO}_2$ . (Refroidir demande toujours plus d'énergie que chauffer)
- La nécessité de filtrer certains composants avant refroidissement (l'eau par exemple)

### d) Membranes

Nous avons déjà entendu parlé de l'utilisation des membranes poreuses pour transporter l'hydrogène en utilisant le réseau de transport du gaz de ville. Les membranes poreuses étaient alors utilisées pour séparer l'hydrogène du méthane. On utilise de la même façon des membranes poreuses pour isoler le  $\text{CO}_2$  dans un flux gazeux.

Deux types de membranes sont disponibles :

- Les membranes de séparation de gaz qui permettent à un composé de passer à travers la membrane plus rapidement que les autres. La membrane est une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. Il existe différentes familles de membranes séparatives :

Il existe différents types de membranes plus ou moins chères, acceptant des flux plus ou moins importants et des températures plus ou moins élevées.