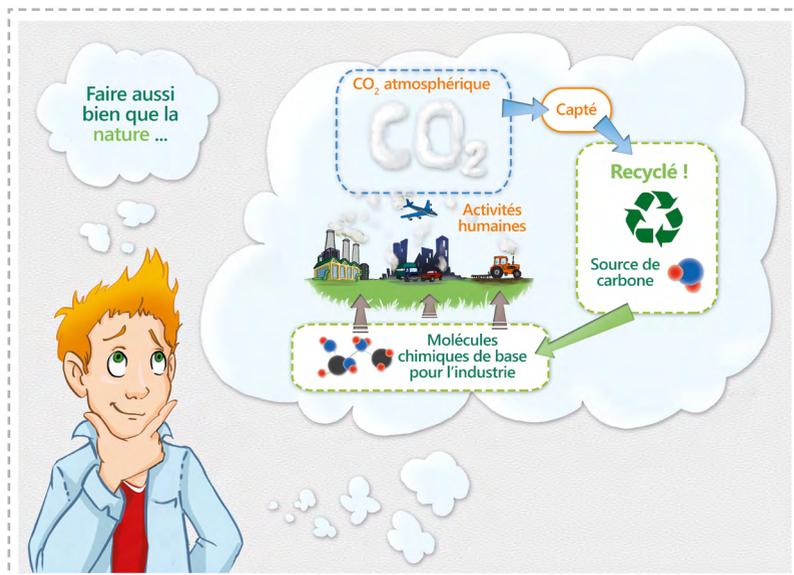


LE CO₂, MATIÈRE PREMIÈRE DE LA VIE

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz présent dans notre atmosphère, il est constitué d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène.

Comme certains voudraient maintenant le faire penser, le CO₂ n'est pas en premier lieu un gaz néfaste dont il faut se débarrasser, **il est indispensable à la vie**. En effet dans la nature, la photosynthèse est un cercle vertueux où le CO₂ et le Soleil nourrissent l'homme et où l'homme en respirant redonne le CO₂ à la nature. Sans CO₂, la vie n'existerait pas sur Terre.

Les organismes vivants (plantes, microalgues, cyanobactéries) réalisent cette réaction parce qu'ils ont besoin de cette énergie stockée sous forme chimique afin d'alimenter en énergie, leur métabolisme et leur biosynthèse (voir *Fig. 6* dans le chapitre « De la force musculaire aux énergies renouvelables »).



La photo-synthèse est la réaction chimique du CO₂ avec l'eau qui permet de récupérer naturellement l'énergie solaire nécessaire à la production de toutes les molécules organiques de la biomasse.

Figure 1

Le rêve des chimistes.



Les cyano-bactéries

(ou encore algues bleues) sont des bactéries, qui comme les plantes, utilisent l'énergie solaire pour synthétiser leurs molécules organiques.



La biosynthèse est la formation de substances par un être vivant, dans son milieu interne.



L'effet de serre est un phénomène thermique dans lequel l'atmosphère laisse passer une partie du rayonnement solaire qui vient frapper le sol. Réchauffé, celui-ci émet un rayonnement infrarouge en partie ou totalement piégé par l'atmosphère rendue « imperméable » par la présence de gaz. On observe alors une isolation accrue de la planète et un réchauffement global de celle-ci (voir chapitre « Le changement climatique »).



CO₂ anthropogénique : CO₂

produit par l'homme au travers des transports et du chauffage principalement (toute combustion de matière organique réalisée par les hommes).



Remarque

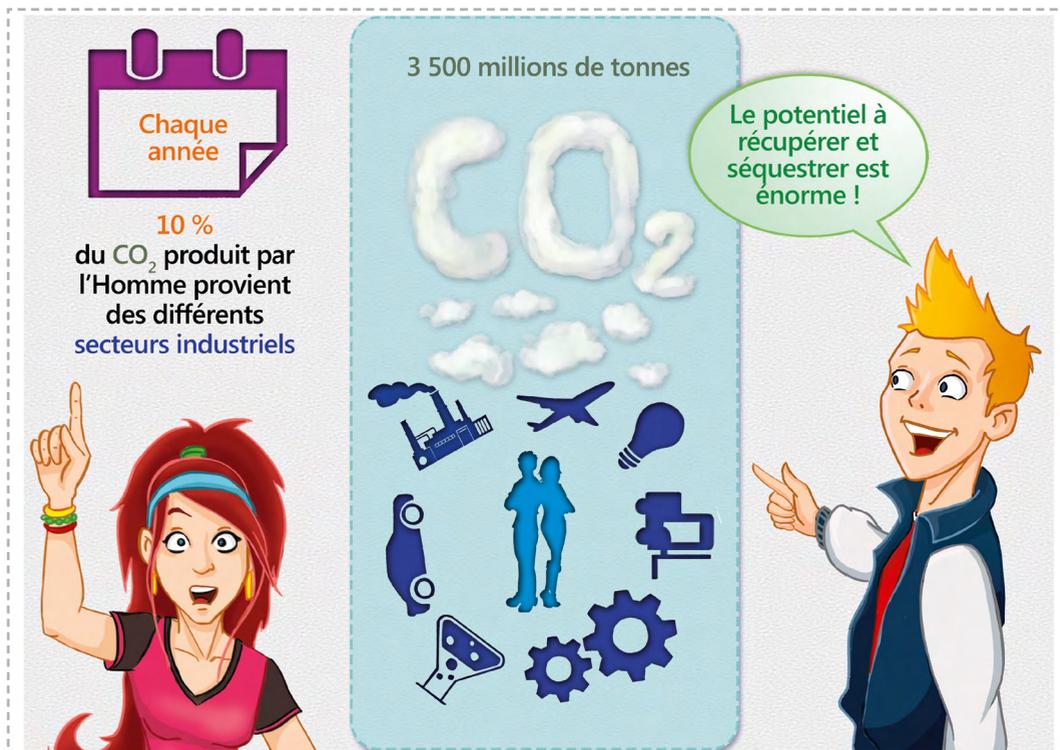
Le rêve des chimistes : sur ce modèle, le CO₂ atmosphérique issu des activités humaines pourrait être utilisé comme source de carbone. De plus, sa capture et sa séquestration permettraient de limiter l'effet de serre.

Figure 2

Le CO₂ atmosphérique, un potentiel énorme !

10 % du CO₂ anthropogénique, soit 3 500 millions de tonnes, sont produits annuellement par les différents secteurs industriels : métallurgie, raffineries, cimenteries, centrales thermiques, ce qui représente un potentiel important à récupérer et à séquestrer (Fig. 2).

On ne peut évidemment pas recueillir le CO₂ issu des pots d'échappement des voitures. Il serait difficile à collecter et à stocker pour être réutiliser.





La capture du CO₂ d'origine industrielle

Les technologies les plus évoluées sont basées sur deux principes (Fig. 3) :

- l'**absorption chimique** par réaction chimique entre le CO₂ et une base (mono ou di éthylamine) qui conduit à des composés stables dont il peut ultérieurement être extrait ;
- la **cryogénie** est aussi une technique bien développée à l'échelle industrielle dans laquelle le CO₂ est stocké sous forme de glace sèche (Fig. 3).



Cryogénie :
refroidissement en dessous de -150 °C.

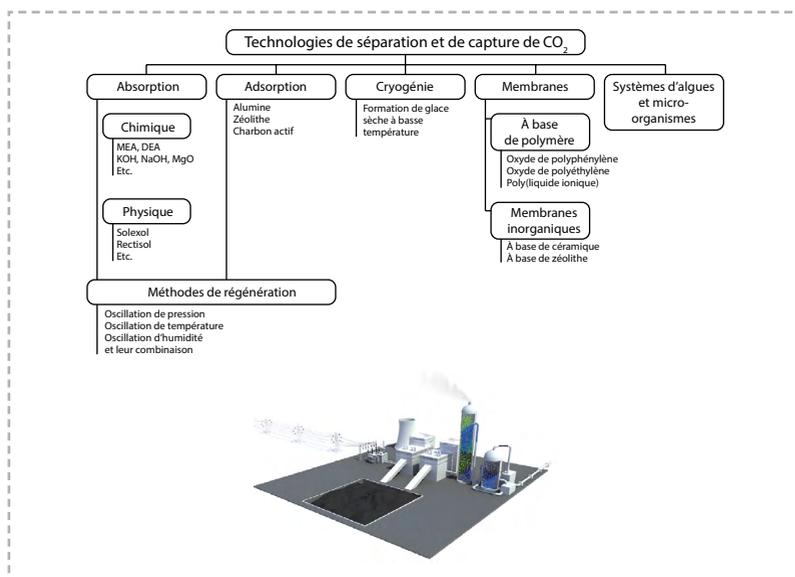


Figure 3

Capture industrielle de CO₂ et modélisation d'une usine.

Cependant, ces technologies restent coûteuses et demeurent donc un sujet de Recherche et Développement.

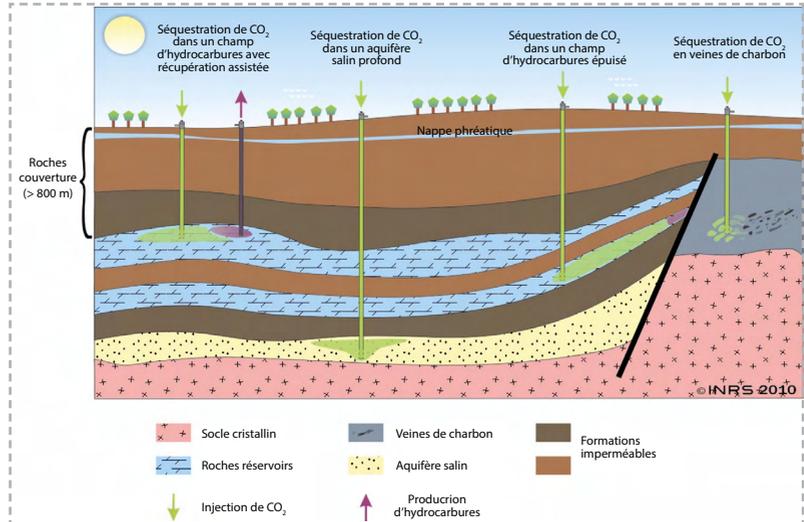
Le stockage du CO₂ d'origine industrielle

Différents sites géologiques adaptés sont utilisables pour stocker le CO₂ récupéré (Fig. 4).



Figure 4

Les différents types de séquestration géologique envisageables du CO₂.



Remarque

Ce n'est donc pas uniquement la capture et la séquestration du CO₂ qui résoudront le problème du réchauffement climatique si celui-ci en est le seul responsable.

D'un point de vue pratique, il faut que les sites de production de CO₂ soient proches des sites de stockage. Il faut s'assurer de la sécurité optimale des sites de stockage et communiquer avec la population pour qu'ils soient acceptés localement.

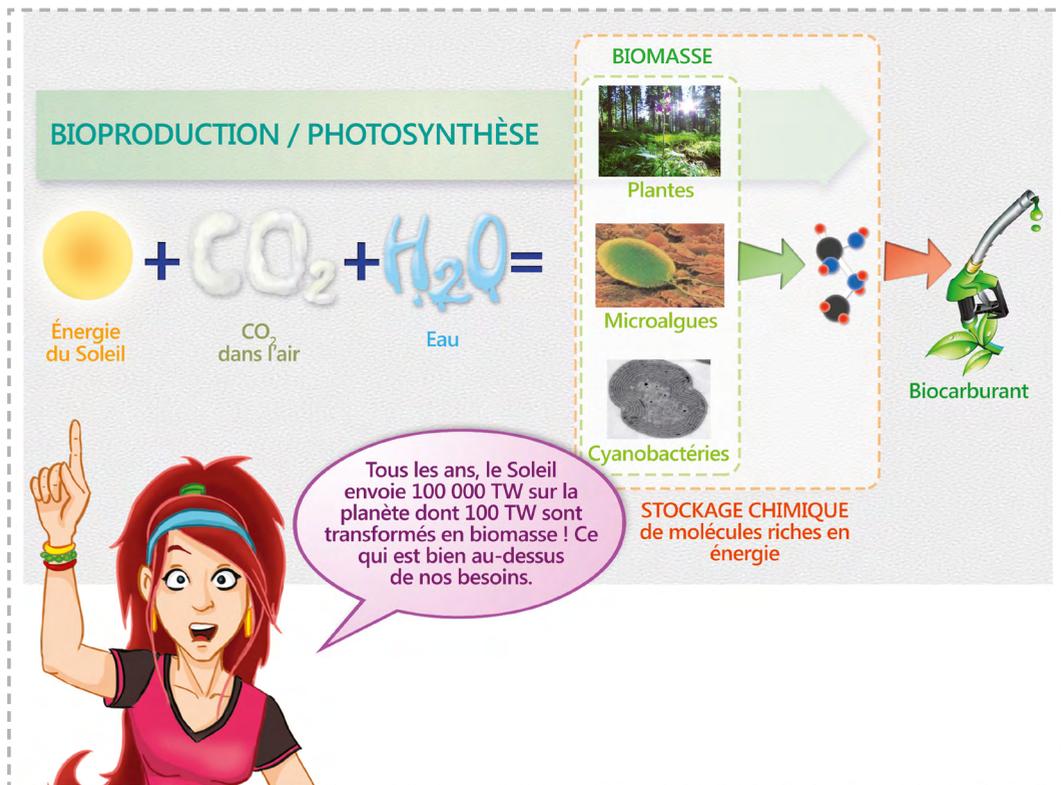
Le stockage chimique des énergies renouvelables via la transformation du CO₂



Un Terawatt

(TW) = 10¹² watts soit un billion de watts, un Gigawatt (GW) = 10⁹ watts soit un milliard de watts, un Megawatt (MW) = 10⁶ watts soit un million de watts.

Nous avons vu au début de ce chapitre, que le stockage massif du CO₂ à la surface de la Terre est mis en œuvre par les organismes vivants. Le Soleil envoie 100 000 TW/an sur la planète dont 100 TW sont transformés en biomasse, ce qui est bien au-dessus de nos besoins car nous ne consommons actuellement que 16 TW/an (Fig. 5).



Cette biomasse représente donc une énorme réserve de molécules riches en énergie et le défi posé depuis longtemps, est de l'utiliser pour produire des biocarburants (voir chapitre « Biomasse et biocarburants »).

Le recyclage actuel de CO₂ par l'industrie

Il y a actuellement 3 000 gigatonnes de CO₂ dans l'atmosphère alors que la production par l'homme est de 30 Gt/an.

L'industrie sait pourtant produire des molécules utiles à partir du CO₂. Celles-ci sont assez simples (Tab. 1).

Figure 5

Le recyclage du CO₂ via le stockage chimique.



Remarque

L'industrie consomme actuellement 150 Mt/an du CO₂ produit par l'homme, c'est-à-dire moins de 0,5 % ; ces chiffres indiquent que cette utilisation n'est pas actuellement destinée à résoudre les problèmes de changement climatique associés au CO₂.



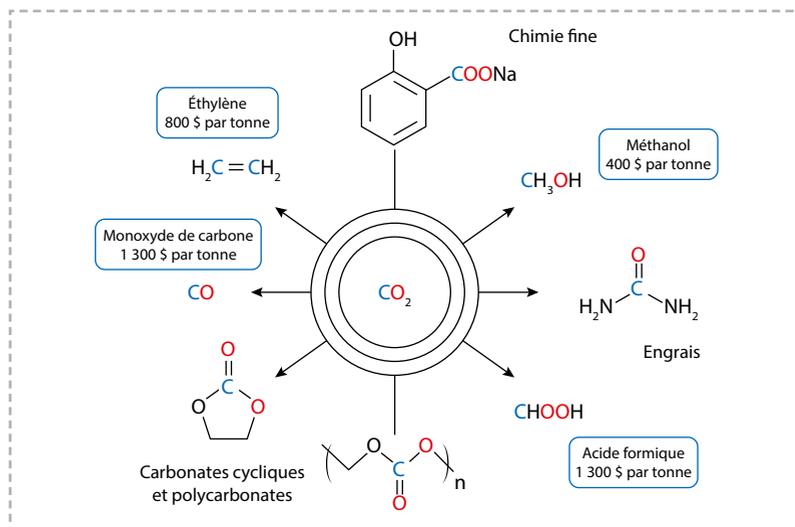
Tableau 3 Part annuelle des différentes utilisations industrielles du CO₂.

Produit chimique ou application	Volume industriel (millions de tonnes par an)	Utilisation industrielle de CO ₂ (millions de tonnes par an)	Utilisations futures attendues de CO ₂
Urée	100	70	10 ² millions de tonnes
Méthanol (additif à CO)	40	14	Gigatonnes
Carbonates inorganiques	80	30	-
Carbonates organiques	2,6	0,2	10 ² millions de tonnes
Acide salicylique	0,06	0,02	10 ² kilotonnes
Technologies	10	10	
Alimentaire	8	8	

Les tonnages actuels produits sont faibles mais on peut faire beaucoup mieux car les utilisations potentielles attendues sont importantes. La *figure 7* montre les molécules organiques d'intérêt industriel qui peuvent dès à présent être synthétisées à partir de CO₂.

Figure 7

De nombreuses molécules organiques d'intérêt industriel peuvent être synthétisées à partir du CO₂.

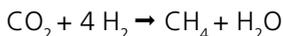




Les valorisations de CO₂ en cours de développement

La conversion de CO₂ en polymères (résines et polycarbonates) présente l'intérêt de fixer une grosse quantité de CO₂ pendant longtemps avec une bonne faisabilité (voir reportage dans la partie III « Le plastique qui recycle le CO₂ »).

L'hydrogénation de CO₂ en méthane (réaction de Sabatier connue depuis longtemps) peut être réalisée en présence de catalyseur.



Cette réaction peut être intégrée dans un cycle de stockage d'énergie intermittente (voir chapitre « Le challenge de l'électricité verte ») (Fig. 8).

L'éolienne et le panneau solaire produisent de l'électricité sans production de CO₂ :

- le surplus d'électricité peut être stocké sous forme d'hydrogène par électrolyse de l'eau (voir reportage dans la partie III « L'éponge à hydrogène ») selon la réaction $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$;
- l'hydrogène est utilisé pour réagir avec le CO₂ d'origine industrielle afin de produire du méthane qui sera employé industriellement ou réinjecté dans le circuit gaz et production d'énergie.

Remarque

La photosynthèse naturelle est étudiée depuis au moins 50 ans par les chimistes, les physiciens et les biologistes et on commence à en comprendre les règles de fonctionnement. Cela permet d'envisager la **mise au point de photosynthèse artificielle par une approche de chimie bio-inspirée**. Pour ce faire, les chimistes recherchent de nouveaux matériaux catalyseurs qui permettent de faire aussi bien que la nature.

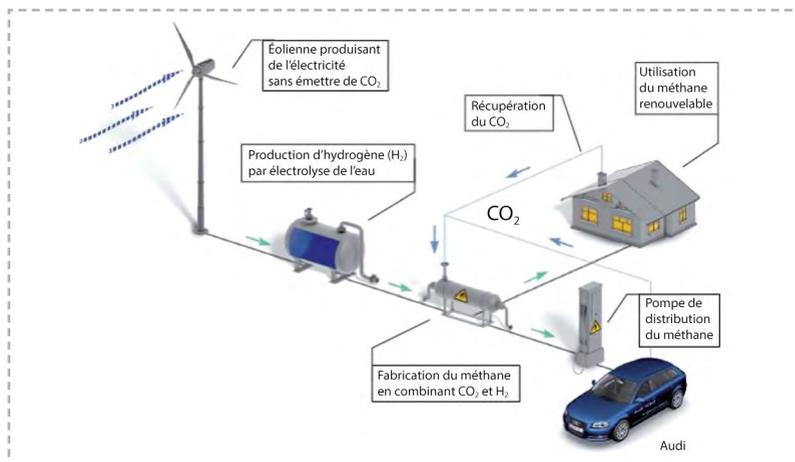


Figure 8

Cycle de la méthanation.



Conclusion

Rappelons ce très beau texte de Primo Levi (1919-1987)(dernier chapitre de l'ouvrage « le système périodique »).

« L'anhydride carbonique constitue la matière première de la vie, la provision permanente dans laquelle puise tout ce qui croît, et l'ultime destin de toute chair, n'est pas un des composants principaux de l'air, mais un minuscule déchet, une impureté ... c'est de cette impureté toujours renouvelée que nous venons, nous les animaux, nous l'espèce humaine. Quand nous aurons appris à en faire autant nous aurons résolu le problème de la faim dans le monde ! »

À l'époque de Primo Levi, le problème à résoudre était celui de la faim et non celui du réchauffement climatique.



Figure 9

De belles perspectives d'avenir...

La recherche sur le CO₂ n'en est qu'à ses débuts. Les chercheurs académiques et industriels doivent y travailler ensemble.

Il faut investir dans ce domaine comme cela est déjà compris et fait dans d'autres pays : en Allemagne, aux États-Unis et en Chine (4,5 milliards de dollars sur cinq ans) alors qu'il n'existe encore aucun programme spécifique en France.