

CO2 The cycle OF Life



CO2, LE CYCLE DE LA VIE !

Jacques DEGROOTE

Graduate engineer of the Swiss Federal Institute of Technology in Zürich (ETHZ)
Co-founder, CEO of CO2TRACK
Ingénieur diplômé e l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich (ETHZ)
Co-fondateur, PDG de CO2TRACK

Le CO2 existe dans la nature : à l'état gazeux dans notre atmosphère, dans des réserves naturelles souterraines, dans les sources d'eau gazeuse et dissous dans notre océan. La relation entre ce dioxyde de carbone et son intégration dans une économie circulaire n'apparaît pas comme une évidence puisque dans la perspective cyclique de cette dernière, on adosse typiquement une ressource qui peut-être biosourcée ou issue du recyclage, à une production puis à une consommation, avant re-fermeture de la boucle en amont. La réalité tangible de cette ressource et son aptitude au tri et au recyclage n'est pas aisée car le CO2 n'a ni odeur, ni couleur et ne peut pas se tenir dans la main.

Et dans son acception la plus courante, le CO2 est un déchet qui impacte négativement l'océan, le climat, et l'avenir même de l'humanité. Ce gaz est au centre de débats animés entre quelques sceptiques niant, de moins en moins il est vrai, la cause anthropique de ces changements, et les spécialistes référents, experts du climat comme le sont ceux du GIEC.

Pourtant le cycle du carbone donc du CO2 est, en complément de celui de l'eau, à l'origine même de la vie telle que nous la connaissons. Il est important de rappeler que le CO2 n'est pas seulement le produit de l'oxydation déclinée en combustion ou en respiration, mais il est également le substrat permettant la photosynthèse, à l'origine du vivant végétal donc de l'animal. Il a permis de générer les ressources fossiles que nous consommons en rejetant massivement dans l'atmosphère le CO2 qui y prévalait il y a des centaines de millions d'années. En résumé, le CO2 est à l'origine de tout ou presque. Ce gaz est donc par excellence la démonstration d'une parfaite « circularité » qui voit s'alterner oxydation et synthèse dans d'infinis cycles.

Bien sûr on en produit industriellement pour alimenter certaines productions comme celle des boissons gazeuses (chaque bouteille de soda renferme jusqu'à 10 fois son volume en CO2) ou pour favoriser la production agricole sous serre ; mais la logistique du CO2 n'existe pas encore à proprement parler. En effet, les extraits de fumées se prêtant mal à une conversion ou une

not only a product of oxidation, in the form of combustion or respiration, but is also the substrate responsible for photo-synthesis at the origin of organic life, and thus animal life-form. CO2 is responsible for the development of fossil energies which we consume, thus expelling massive quantities of CO2 into the atmosphere. The same carbon dioxide that existed hundreds of millions of years ago. In short, CO2 is at the beginning of nearly everything, and this gas is the perfect example of the 'perfect cycle' which consists of alternating oxidation and its synthesis in infinite cycles.

Of course carbon dioxide is produced industrially as a component of, for example sodas and fizzy drinks (every bottle of soda contains 10 times its volume in CO2), or in greenhouse agricultural processes. However there is not as yet a logistical approach to CO2. Gas extract is not easily convertible or integrated into an alimentary cycle. CO2 recuperation in certain parts of the food industry, notably those concerned with fermentation, (brewers, sugar industry), exists already on a small scale, but represents a miniscule part of the total volume generated by humans. Moreover the cycle is very rarely complete as means of capture are often inadequate and so a large volume of CO2 finds its way into the atmosphere.

However CO2 holds a large number of possibilities for use and valorization. But its sourcing is relatively complex and costly. Capture and retention by those industries which create the most CO2; power plants, foundries, cement works, the paper industry, is costly unless the process has been integrated into the conception of the plant. Several industrial demonstrators have endorsed different means of CO2 harnessing, should it be by membrane filtration, chemical, biological, or cryogenic procedures. These tests also confirm that making this recycled CO2 available to industry as an energy resource is not at present a viable proposition as the consumers are not prepared to pay a price (around 8€ / ton) which is necessarily correlated to the process of harnessing, treatment, and transport, rather than the price calculated on the emission quota market. So we have two prices, a costly 'physical' price, and another 'fiduciary' price. This situation is unsustainable, however before reconciling cost and price there are several regulatory financial, logistical, and economic prerequisites to deal with.

The CO2 marking activity is the result of a growing need which is crucial: providing new high value, high yield biomass products with the necessary carbon dioxide fertilizer which they need, products such as autotrophic microalgae, which are nourished by the sun and CO2. These microalgae which develop suspended in a rich nourishing liquid have a voracious appetite for carbon dioxide which cannot be met by photosynthesis and the levels of CO2 found in the atmosphere, even if these levels are dangerously high from a climatic point of view. This production is not a rival to traditional agriculture as the installations are soilless. On the contrary, these installations are complimentary and can be located on a large scale basis in desert regions. The effluent release can be used to fertilize the poor desert soil.

The objective of this production is to provide food, but it can also be used as a third generation biofuel, similar to first generation biofuel which is generated by animal food matter, thus differing from second generation biofuel which is based on lignocellulosic biomass using straw and plant waste, thus depriving animal foods and the building industry of this resource, but even more

incorporation à des fins alimentaires. Le captage de CO2 issu de filières agro-industrielles comme issu de la fermentation (brasseries, industrie sucrière, etc.) fait déjà parfois l'objet d'un captage et recyclage dans ce même secteur de l'alimentation mais cela ne représente qu'une fraction infinitésimale du volume émis par l'homme. De plus, il s'agit rarement d'un cycle complet car, faute de moyens de capture adéquats, ce CO2 se retrouve dans l'atmosphère après son utilisation.

Pourtant le CO2 présente une palette très large de valorisation et d'utilisations, mais son sourcing, lui, est sujet à une certaine complexité et à un coût encore élevé. Son captage par les industries fortement émettrices comme le sont principalement les centrales thermiques, les fonderies, les cimenteries, l'industrie du papier est couteuse si cette opération n'a pas été intégrée lors de la conception de l'usine. Plusieurs démonstrateurs industriels ont validé les différentes voies de captage que celui-ci soit membranaire, chimique, biologique, cryogénique. Ces essais ont également permis de confirmer que la mise à disposition de ce CO2 industriel en amont de filière n'est à ce jour, pas du tout rentable au regard du prix que les utilisateurs potentiels sont prêts à payer et de sa valeur fixée par les marchés de quotas d'émission totalement déconnectés de ces contraintes physiques, et qui fixe un prix oscillant aux alentours de 8 €/T. Il y a donc aujourd'hui un CO2 physique coûteux à récupérer et un CO2 « fiduciaire », outil de marché sans lien avec le premier. Cela ne pourra durer et, avant de réconcilier prix et coût, il y a plusieurs préalables réglementaires, financiers, logistiques, économiques.

L'activité de marquage du CO2 résulte d'un besoin émergent mais crucial : celui d'alimenter en cet engrais qu'est le CO2, de nouvelles productions de biomasse à forts rendements ou forte valeur ajoutée, celles des microalgues autotrophes, c'est-à-dire celles qui s'alimentent de soleil et de CO2. Il ne s'agit là que de photosynthèse mais à des rendements pour lesquels la richesse du CO2 disponible dans l'atmosphère est, malgré sa concentration alarmante pour le climat, insuffisante pour assouvir la voracité de ces microalgues en suspension dans un milieu liquide nourricier. Ces productions ne concurrencent pas la production agricole car elles se font dans des installations en confinement hors-sol. Au contraire, elles peuvent être avantageusement et massivement implantées dans les zones désertiques, et leurs effluents et sous-produits sont utilisables pour rendre leur fertilité à des sols dégradés. Ces productions à vocation alimentaire sont aussi de futures sources de biocarburants de "troisième génération", à comparer à celles de première génération – à base de matières agricoles alimentaires, et celles dites de deuxième génération qui utilisent de la matière lignocellulosique issue de pailles, déchets végétaux... dont on prive néanmoins des secteurs comme l'alimentation animale, le BTP, mais surtout les sols qu'on appauvrit en matière organique donc en fertilité.

En effet les rendements potentiels de ces productions de troisième génération en termes de biomasse valorisable peuvent représenter plus de dix fois les meilleurs rendements agricoles céréaliers ou oléo-protéagineux obtenus à ce jour. De plus, elles consomment directement du CO2 concentré. Ainsi et à titre prospectif, les rendements envisagés à l'échelle industrielle pourraient approcher les 100 T/ha. Cela nécessite un approvisionnement amont très pondéreux puisque rapporté à l'hectare dans cet exemple, on considère qu'il faudrait approvisionner plus de 300T/ha, inté-

.../... detrimentally depriving the soil of much needed organic matter and thus making it poorer.

Effectively, the potential yield of this third generation production in terms of exploitable biomass can represent up to ten times the highest cereal or oilseed yields so far obtained. On top of which it directly consumes concentrated CO2. The potential yields on an industrial scale could come close to 100T per hectare, this necessitating a heavy supply of CO2, more than 300T per hectare, and thus the development of a real logistical approach to CO2 as a resource. This contingency supposes, as with all agricultural or industrial input, that the origin is clearly identifiable and the quality clearly analysed. The type and origin of the carbon dioxide is also important as industrial CO2 could generate compensation or subvention if its capture and retention are clearly traceable.

The CO2TRACK team has developed new technologies to chemically tag industrially harnessed batches of CO2, this tagging being indispensable to logistical traceability. When a waste product becomes a food resource, which may cross borders, may be off-loaded, may be modified, it is primordial that it is analysed, characterised, and tagged to ensure its perfect traceability. By patenting a method of tagging CO2 batches, this method could be the missing link necessary for resolving the logistical difficulties in providing recycled CO2 to industry. This method will help with the obligatory protocols for control and monitoring thus making authentication possible.

If circular economy is characterised by loops as illustrated by the "cradle to cradle" label; good management epitomised by the restrictive use of potential waste sources such as wrappers, or effluents, unfortunately this is incompatible with the certitude that the world population will soon increase to over 9 billion humans. We must integrate into the schema of circular economy the bio-sourcing which will allow the photosynthesis which consumes solar energy and CO2. Under these conditions a reduction in the relative volume of waste will not diminish our growth capacity. In order to try and quantify the impact of the introduction of circular economy in the schema of the carbon cycle, we must add up the total weight of the natural gas, the oil, and the coal extracted from amount is extremely important, 36 Giga tons of CO2 are produced annually by human activity. However carbon dioxide is interesting because besides its possible use in the cycles and industrial sectors, it is one of the only natural connections between this new economic paradigm, circular economy, and our climate. We can distinguish the direct impact of the use of industrially harnessed CO2. Firstly it is a major fertilizer which massively feeds plants and agriculture in particular. This input is normally a natural process, but when used to produce high-yield biomass, such as with microalgae and greenhouse market gardening, the CO2 can be used in addition to traditional fertilizers (N, P, K) to reach maximum yield.

The impact can also be one of substitution. CO2 is a coolant and so can advantageously replace fluorinated gases which are highly toxic for the climate, such as those used in air-conditioning and refrigeration. This is why certain automobile constructors and supermarket chains have started substituting fluorinated gas with CO2. The inevitable gas leaks will have a much lesser impact on the climate than those of fluorinated gases. In the food and drink industries, and not only those which concern water and fizzy drinks, CO2 is used as an inoffensive solvent when it is

grant une réelle logistique de ce CO2 ressource. Cette contenance suppose, comme tout intrant agricole ou industriel, que celui-ci soit identifié quant à son origine, ses impuretés. La nature de l'origine du CO2 n'est pas neutre puisque le destin d'un lot de CO2 capté industriellement peut donner lieu à compensation et même subvention dès lors que sa séquestration est attestée.

L'équipe de CO2TRACK a développé des technologies originales permettant le marquage chimique des lots de CO2 capté industriellement, indispensable à sa traçabilité logistique. Dès lors qu'un déchet devient une ressource à vocation alimentaire, qu'il doive éventuellement traverser des frontières, subir des ruptures de charge, voir ses lots assemblés, ... il est indispensable qu'il soit analysé, caractérisé, marqué avant d'être tracé. En brevetant un système de marquage des lots de CO2, ce système peut être le chaînon manquant à la mise en place d'une logistique du CO2, propre à alimenter des secteurs industriels, ou à être stocké, voire séquestré. Et dans ce dernier cas, les obligations de contrôle et de monitoring sont, là encore, bien aidées par ce marquage ouvrant la possibilité d'une authentification.

Si l'économie circulaire est caractérisée par des boucles, relativement bien illustrées par le label cradle to cradle, une bonne gestion (caractérisée par une limitation des sources même des déchets (emballages, effluents, ...) est incompatible avec la promesse d'une population mondiale qui atteindra bientôt 9 à 10 milliards d'humains. Il semble opportun voire obligatoire d'insérer dans le schéma de l'économie circulaire, le biosourcing que permet la photosynthèse consommatrice de soleil et de CO2. A cette condition, une diminution du volume en terme relatif des déchets ne grèvera pas nos capacités de croissance.

Pour tenter de quantifier l'impact de la mise en œuvre de l'économie circulaire dans le cadre du cycle du carbone, il faut totaliser l'ensemble du poids du gaz naturel, du pétrole et du charbon extraits du sous-sol et le multiplier par trois environ pour approcher celui du CO2, émis de façon anthropique. Le chiffre estimé est extrêmement élevé puisque 36 Giga Tonnes de CO2 sont issues annuellement de l'activité de l'homme.

Ce dioxyde de carbone a ceci d'intéressant qu'au-delà de sa possibilité d'alimenter des filières et des cycles, il constitue par nature une des seules passerelles entre ce nouveau paradigme économique qu'est l'économie circulaire et notre climat.

On peut distinguer les impacts directs de l'usage du CO2 capté industriellement. Il s'agit tout d'abord du premier engrais alimentant massivement le monde végétal et l'agriculture en particulier. Cet apport se fait traditionnellement de façon naturelle, mais dans des usages de production à haut rendement de biomasse, comme c'est le cas des microalgues ou de productions maraîchères sous serre, il convient d'apporter du CO2 en complément des engrais traditionnels (N, P, K) pour atteindre le rendement maximal.

Ces impacts peuvent également être substitutifs. En effet le CO2 est un gaz caloporteur donc peut avantageusement remplacer les gaz fluorés hautement nocifs sur le climat, utilisés dans les climatisations des véhicules, des bâtiments ainsi que dans les circuits des frigos et des centrales de froid industrielles. C'est la raison pour laquelle certains constructeurs automobiles ainsi que des chaînes de supermarchés sont actuellement en cours de substitution des gaz fluorés, par du CO2. Séquestration ? Usage ? Les inévitables fuites de gaz sont alors plusieurs milliers de fois moins impactantes sur le climat que ces gaz

in a supercritical state (temperature and pressure respectively superior to 31°C and 73 bar) to extract caffeine from coffee. This application is renowned in the pharmaceutical, perfume and cosmetic industries. It can also be used as a hexane substitute, or for any other fossil energy based solvent which could have a negative health impact.

Another promising development due to the massive potential of CO2 is the methanation process, (not to be confused with methanisation). This 'power to gas' process involves the industrial fabrication of methane by combining hydrogen and carbon dioxide in a catalytic reaction. Connected to a photovoltaic source, the electrolysis of water, producing hydrogen gives the almost miraculous formula:

SEQUESTRATION versus STOCKAGE : SEQUESTRATION versus STORAGE

As methane is a lot easier to manipulate and transport than hydrogen, this alternative allows the harnessing of intermittent energy sources; solar or wind, in order to stock them on a transitory basis as hydrogen before transformation into methane. This process has already been tried and tested with success by major industrial groups, and it offers very promising perspectives for the re use of CO2 as a substitute to fossil-origin natural gas. We can also try to evaluate the indirect impact of the use of CO2 in the perspective of circular economy, with a substitutive approach, thus avoiding the use of fossil energy sources. One of the major examples which we've already mentioned is autotrophic microalgae production, rich in proteins, for animal foods as a substitute for transgenic soya. Some microalgae are 85% rich in proteins. If we establish a projection of 25 years, the perspectives are very bright as the results will help to fight deforestation in Asia and Amazonia. Another technological promise that has often been discussed over recent years, but which has major difficulties to overcome, is the use of third generation biofuels developed for aviation. Aviation is still finding it hard to break away from liquid fuel dependency, although there are several prototype projects for small electric or hybrid airplanes which are very encouraging.

This real revolution in a mastered approach to the carbon cycle where the circuit is closed, depends upon the implementation of new logistical process', new regulations, and new consumer practices. Here too the indirect impact of a new system will have a major transversal influence on numerous industrial branches as well as developing new sectors and services.

One of the underlying impacts which cannot be denied, if the industrial use of carbon dioxide does take off, will be the need to clean up and rethink the CO2 'fiduciary' system. To sustain development, 'real economy' CO2 will need the financial input which is actually injected into the CO2 financial market, where contracts which give a right to pollute are bought and sold, along with other derivatives developed over the years. This will result in a more ethically sound approach as several dubious practices which have cost European fiscal services billions of euros, going as far as large scale VAT fraud, will cease.

At this point it is important to clearly explain what is meant by carbon capture. CO2 can be used as a raw material for the synthesis of products and material, which have a very long life-expectancy, as is the case with polymer and biopolymer synthesis, or mineralized wood waste as used in the construction industry for buildings which are governed by multi decadal warranties. If

fluorés. Dans le domaine agroalimentaire et pas seulement dans celui des eaux et des boissons gazeuses, le CO2 est utilisé, pour ses qualités de solvant inoffensif lorsqu'il est dans un état supercritique (température et pression respectivement supérieures à 31 °C et 73 bars), pour l'extraction par exemple de la caféine du café. Cet usage est largement connu dans les secteurs de la pharmacie, de la parfumerie et de la cosmétique. Il peut ainsi se substituer à de l'hexane ou autre solvant d'origine fossile pouvant avoir un impact négatif sur la santé.

Une autre promesse, et pas des moindres, de la disponibilité massive de CO2 est l'émergence d'une puissante industrie de la méthanation (à ne pas confondre avec la méthanisation). Il s'agit de la voie industrielle de synthèse du méthane en combinant dans une réaction catalytique, du CO2 et de l'hydrogène. On parle alors de "power-to-gas". Couplée à une source photovoltaïque, l'électrolyse de l'eau en production d'hydrogène permet d'établir cette formule presque miracle :

CO2 + eau + soleil => méthane

Le méthane étant beaucoup plus facile à manipuler et à transporter que l'hydrogène, cette alternative permet de capter les énergies intermittentes solaire ou éolienne et de les stocker de façon transitoire sous forme d'hydrogène avant leur transformation en méthane. Ce procédé déjà connu, a été testé par de grands groupes industriels, et il ouvre une voie extrêmement prometteuse de réutilisation du CO2 en substitution du gaz naturel d'origine fossile.

On peut également tenter d'évaluer les impacts indirects de l'usage du CO2 dans une perspective d'économie circulaire, dont l'évitement d'utilisation de ressources fossiles, dans des approches purement substitutives. L'un des grands exemples déjà évoqué est la production des microalgues autotrophes à forte composante protéagineuse pour l'alimentation animale, en remplacement du soja transgénique. Certaines d'entre elles contiennent en effet jusqu'à 85 % de protéines. Si nous nous plaçons à une échelle de prospective à 25 ans, ce sujet n'est pas anodin puisqu'il permettra de lutter contre les déboisements en Amazonie ou en Asie. Autre promesse technologique souvent évoquées ces dernières années, mais pour lesquels les barrières technologiques restent fortes : celui des biocarburants de troisième génération notamment destinés au secteur aéronautique qui aura du mal à se soustraire à l'utilisation de carburants liquides, même si certains petits avions électriques et hybrides, très prometteurs, sont en phase de prototype.

Cette vraie révolution dans une approche maîtrisée du cycle du carbone en refermant sa boucle, suppose la mise en place de nouvelles voies logistiques, de nouvelles réglementations, de nouvelles habitudes de consommation... Là encore les impacts indirects de la mise en place de ce système sont multiples car ils vont toucher, de façon transversale, de très nombreuses filières industrielles ainsi que de nouveaux métiers et services. Un des impacts sous-jacents à ne pas négliger si une véritable industrie consommatrice de CO2 continue à émerger, est celui de l'assainissement et de la moralisation du CO2 fiduciaire. La possibilité de rediriger vers un marché physique du CO2, nécessitant des investissements très importants, les sommes échangées sur marchés à terme des contrats de CO2 "papier", véritables droits à polluer et les autres outils inventés dans les dernières décennies, pourrait permettre de moraliser beaucoup de mauvaises pratiques qui, rappelons-le, ont coûté plusieurs milliards d'euros aux services

.../... it can be proven and certified that the captured CO2 cannot be released for over fifty years, is there compliance with the concept of carbon capture? The answer is yes, if a 'carbon accountancy' is kept when concerned by the construction of new, or renewed, buildings. This accountancy must be clear, and the use of CO2 clearly identified.

However, more generally, it is accepted that the use of carbon dioxide in the fabrication of materials whose life expectancy is over fifty years can be considered as carbon capture. The same distinction can be drawn with regard to the programmes for carbon compensation, where forests are replanted. If the replanted trees are fast growing species which are cut down for fuel five or ten years later, then the term 'carbon capture' is usurped.

Capture versus storage

CCS (Carbon Capture and Storage) can integrate the logic of circular economy as, if we reason in terms of 'storage', we can also reason in terms of 'release' for a future use. In reality things are not so simple nor so clearly defined between the storage of CO2 which can be re used and the definitive confinement of a batch of CO2 considered to be lethal waste, and so non recoverable.

The method of storage is of prime importance as CO2 injected into deep groundwater would be impossible to recuperate. However, if injected into strata which have contained natural gas, or used for gas diffusion for Enhanced Oil Recovery, the CO2 could be valorised and re used. The semantics can be rather complicated because on the one hand we speak of geo sequestration which is supposedly definitive, and on the other (bio sequestration – locked up carbon in vegetation – which, it is assumed, will be one day released, even in a distant future. Or if we should talk about the restitution of CO2 to the rhizosphere in order to re fertilize soil. In the same vein, litho-sequestration, which involves provoking a reaction between CO2 and oxilithic rock to capture the carbon note only the capture of the carbon on a long-term basis, but also the possibility of using some of the resulting material in the building industry. Thus the frontier is slim between capture and revalorization.

The limits to the installation of this carbon cycle are numerous because we have to take into consideration the fact that we are dealing with a gas rather than a solid, moreover a gas that can be considered to be waste on the one-hand, and also one of the cornerstones of life itself. Carbon dioxide is colourless and odourless, and so we have difficulties in fixing a physical representation, often using images of steam, smoking factory chimneys, or car exhausts. As we cannot imagine carbon dioxide to be an immediate threat, invading and choking our environment, it is often relegated to the position of subjects to treat..... .later.

The price of CO2 and the cost of its capture

The price of CO2 is difficult to appraise because often CO2 is synonymous with pollution permits which are accounted, valorised, exchanged on specific markets. So when the so-called real price of carbon dioxide is mentioned, it is in reference to this 'fiduciary' CO2. However when the food industry produces fizzy drinks, the buyers know that the price of a hundred euros per ton refers to the physical price that they will pay upon delivery, and this price has nothing to do with the fiduciary CO2. The two

fiscaux de différents pays européens notamment dans le cadre d'escroqueries à la TVA menées à grande échelle.

A ce stade de cet inventaire, il est important de préciser ce que l'on entend par séquestration du carbone. En effet, le CO2 peut être utilisé comme matière première pour la synthèse de produits et de matériaux à très longue vie comme c'est le cas dans la synthèse de polymères et biopolymères, ou de déchets de bois minéralisés, utilisés dans le secteur du BTP par exemple, et entrant dans l'édifice d'ouvrages conformes à un cadre réglementaire de garantie multi-décennale. Dès lors que l'impossibilité de relargage sur un demi-siècle ou plus est avérée et certifiée, peut-on parler de séquestration ? La réponse est oui s'il est tenu une comptabilité carbone lors de la rénovation des ouvrages et des constructions ayant intégré ce carbone lors de leur édification ; mais pas véritablement si la trace de cette incorporation ne fait pas l'objet d'un suivi en comptabilité matières. Malgré tout il est convenu que l'usage de CO2 comme intrant dans une production de matériaux dont le cycle est supérieur à un demi-siècle, est considéré comme de la séquestration. Cette problématique est relativement proche de celle qui consiste à planter des forêts dans le cadre d'engagements en compensation carbone. En effet, s'il s'agit d'arbres à pousse rapide qui sont coupés pour une utilisation énergétique 5 ou 10 ans après, on ne peut plus parler de séquestration.

SEQUESTRATION versus STOCKAGE

Le CCS (Carbon Capture and Storage) peut s'inscrire dans une logique d'économie circulaire puisque si l'on parle de stockage on doit pouvoir envisager un déstockage donc un usage ultérieur. La réalité n'est pas si tranchée entre les stockages d'un CO2 réutilisable et la séquestration définitive d'un lot de CO2 considéré comme un déchet fatal non récupérable. Le mode de stockage n'est pas anodin puisque du CO2 injecté dans des nappes aquifères profondes sera impossible à récupérer. Par contre, placé dans des strates qui ont contenu du gaz naturel, ou utilisé comme gaz diffuseur, en récupération de produits fossiles (EOR - Enhanced Oil Recovery), il pourra sous certaines conditions, être réutilisé et valorisé. La sémantique est, en la matière, un peu "piégeuse" puisqu'on parle de géo-séquestration supposée définitive mais également de bio-séquestration supposée ayant un terme même lointain, ou lorsqu'on évoque la restitution du carbone à la rhizosphère pour la reconstitution de la fertilité des sols par exemple. Dans un même esprit, une litho-séquestration consistant à faire réagir du CO2 avec des roches oxylithes pour en capter le carbone permet non seulement de séquestrer sur du long terme ce dernier, mais ce procédé ouvre une possibilité d'utilisation de certains de ces matériaux ainsi élaborés, dans le secteur de la construction. Entre la notion de séquestration et de valorisation du CO2 la frontière est donc ténue. Les barrières à la mise en œuvre de ce cycle du carbone dans une perspective cyclique sont nombreuses car elles relèvent de la réalité physique due à la nature même de cet élément et tiennent également au fait que ce gaz peut être autant considéré comme un déchet que LA brique élémentaire de la vie. Le CO2 n'ayant ni odeur ni couleur, à tel point que, pour le représenter, on utilise souvent des images de vapeur, de fumées d'usine ou des gaz d'échappement. Et comme on ne le voit pas envahir notre proche environnement ni représenter un danger immédiat pour notre santé, il est souvent relégué au registre des thématiques à traiter ... plus tard, et ailleurs.

sides to the same coin will be reconciled when there will be a united effort by the industries which release the most CO2 to capture the CO2, should it be with a view to sequestration or valorization. The pollution permits will thus be in correlation with the tons of CO2 really captured.

CO2 capture presents real difficulties. Different industrial methods exist based either on a chemical or a physical approach. Industries which emit the most CO2; coal or lignite fuelled power plants, as well as those using oil or gas, the paper industry, foundries, cement works – have all tested carbon capture technology using prototype units, or flagships, in order to evaluate all the parameters that compose the project; cost, process, needs in expertise, energy, space and social impact.

Food industry carbon capture should not be overlooked, using fermentation plant or distilleries. These sources are of particular interest as they could permit a closed circuit autonomous system with the captured CO2 being used directly by recycling in food products. Of course all this depends upon a high level of traceability.

We are hopeful that these industries that emit the most CO2 will be obliged to integrate capture and storage directly into the conception and the exploitation of their future plant. An example already exists with power plants which use oxy-combustion to burn their fossil input using pure oxygen, which means that the resulting CO2 is virtually pure, thus avoiding the costly separation process. China is already building oxy-combustion power plants despite the added construction and exploitation costs, and if these power stations integrate carbon capture as well, then the climate impact will be nil.

Some industries now capture CO2 and then re inject it in the sub-soil by geo-sequestration. This is notably the case with several oil companies operating in the North Sea, thus proving that it is not only feasible but profitable. Over and above the complexity of the cost of capture, there is the difficulty with finding suitable sites where the CO2 can be injected in the sub-soil. One of the major obstacles is regulatory. In some countries, Germany for example, it is purely and simply forbidden. The transport of CO2 is a logistical nightmare because it must first be compressed and then transported in a liquid state. Also local populations are all for CO2 control, but don't want it to be sequestered in the sub-soil under their feet. The current controversy surrounding shale gas extraction has nothing to do with CO2. However it does pollute the debate on sub-soil CO2 injection, even in areas with low density urban development. Despite this, the high level of expertise in CCS technology explains its progressive implementation.

The price of CO2, which presently varies between 5 and 8 euros per ton, would benefit from a large increase, (between 25 and 50 euros), even more according to some experts and politicians, in order to make CCs financially viable. This is one of the propositions of several implicated groups for the world climate conference, COP21, in Paris in December. Massive industrial CO2 capture comes up against a serious cost problem; it is too expensive to implement. It is a shame that with the recent fall in fossil energy prices, government regulatory bodies haven't introduced a mechanism for CO2 price fixing. Mentalities change; the proof being the declaration during the summer of 2015 made by the big six oil companies.

The regulation of CO2 pricing will necessarily need to be im-

Le prix du CO2 et le coût de sa capture

Le prix du CO2 est difficile à fixer puisqu'on nomme aussi CO2 des droits à polluer qui sont comptabilisés, valorisés, échangés dans le cadre de bourses dédiées. Et quand on parle de la nécessité de donner un prix suffisant au CO2, c'est dans cette dernière acception. Par contre, quand une industrie agroalimentaire produit des boissons gazeuses, ses acheteurs savent bien ce qu'est du CO2 physique livré pour un prix de l'ordre d'une centaine d'euro la tonne, ... qui n'a rien à voir avec le CO2 fiduciaire. La réconciliation entre les deux faces de ce Janus s'opérera quand le captage du CO2 émis par les industries les plus massivement émettrices sera communément opéré, que ce soit en vue de sa séquestration ou de sa valorisation. Le « droit à polluer » sera alors opposable à des tonnes de CO2 capté de façon authentifiée. La difficulté du captage du CO2 est réelle. Différents procédés industriels existent pour capter ce gaz à savoir des voies chimiques ou physiques. Les plus gros émetteurs de CO2 comme les centrales thermiques à charbon et lignite, pétrole et gaz pour la production d'énergie, l'industrie du papier, les fonderies, les cimenteries, ... ont testé ces technologies de captage dans des unités prototype ou flagships afin d'en valider les procédés, d'en évaluer le coût et les besoins en termes d'expertise, d'espaces, d'énergie, et d'acceptabilité sociale.

Il ne faut surtout pas oublier les possibilités de captage du CO2 d'origine agroalimentaire comme les unités de fermentation et brasserie. Celles-ci sont intéressantes car il est alors possible d'établir une boucle de ce CO2 directement réutilisable dans des usages alimentaires, sous réserve de la traçabilité appropriée.

On espère que la capture du CO2 va devenir un prérequis lors de la construction d'usines dans les secteurs traditionnellement fortement émetteurs. Ainsi, en prenant pour exemple les centrales thermiques dites en oxycombustion, qui brûlent leur intrant fossile dans de l'oxygène pur, le gaz émis est du CO2 quasiment pur donc la coûteuse phase de séparation n'est plus indispensable. On sait que la Chine construit de nombreuses centrales thermiques. Certaines d'entre elles sont en "oxycombustion" et, si la volonté de captage est confirmée, n'impacteront pas le climat mais seront plus coûteuses à construire et à exploiter.

Certaines industries captent maintenant du CO2 puis le réinjectent dans le sous-sol pour en opérer sa géoséquestration. C'est notamment le cas de certains acteurs du secteur pétrolier en mer du Nord, qui démontrent que c'est faisable ... et rentable. Au-delà de la complexité du coût du captage, il y a la difficulté à trouver des lieux d'injection de ce CO2 en sous-sol. Plusieurs barrières sont réelles comme celle, réglementaire, du fait de l'interdiction d'injection comme c'est le cas de l'Allemagne. La complexité de la logistique de ce CO2 qu'il faut pouvoir réduire c'est-à-dire le compresser ou le liquéfier en vue de son transport ; et l'acceptation des populations locales qui acceptent la maîtrise de ce CO2 mais plus difficilement qu'il soit injecté sous leurs pieds. Les polémiques actuelles sur les gaz de schiste, qui n'ont rien à voir avec le CO2, n'apportent pas d'intelligibilité au débat sur l'injection du CO2 dans le sous-sol des zones même faiblement urbanisées. Mais la bonne maîtrise de cette technologie de CCS explique sa progression notoire.

Le prix du CO2 qui en cette année 2015, oscille entre 5 et 8 euros par tonne gagnerait à être revalorisé vers 25-50 euros, voire plus comme en appellent de leurs vœux de plus en plus de personnalités de références et de politiques. C'est d'ailleurs

.../... sed via coercive measures or constraint. These decisions are obviously political, and will be agreed and implemented on an international basis, as CO2 doesn't respect borders. Consensus must be reached by a significant number of countries whose CO2 output is high. This agreement will not be simple to reach as political decisions are often dominated by short-term considerations, which are not necessarily compatible with the heavy industrial investment needed to develop the capture, storage, valorization, and sequestering of carbon dioxide.

One of the psychological barriers to the development of CCS technology is the association between CO2 and the word 'tax', which unfortunately carries a negative connotation, being considered more as a penalty, or fine, than a contribution to the financing of carbon dioxide treatment solutions. Another barrier is the attitude of climate sceptics, (fortunately less and less numerous, as the evidence of human activity impact becomes more and more clear), who minimise the anthropogenic character of global warming, thus creating doubt with regard to the real impact of CO2 emission on climate change.

It is also evident that those industries that benefit from the virtual gratuity of CO2 emission are loathe to change, wielding the menace of unemployment each time tighter and more costly regulations are proposed. These industries unite to form powerful lobbies.

There exist numerous propositions and offers to compensate the CO2 generated by domestic means of transport, notably cars, or small industries. This CO2 being impossible to capture. These solutions may be virtuous, however their real impact is too limited and too slow, and even if tinged with altruism it is difficult to appraise the utility due to a lack of transparency.

When we consider the industrial-scale deforestation which is generalised in some countries, replanting trees can seem derisory, and of only symbolic value. However new innovative solutions are being developed and so real, controlled compensation can be perceived. This compensation may in some respects compete with that developed through industrial CO2 capture. It is clear that in the medium term there will be no full circle with regards to carbon treatment if there is not certified traceability which will follow each batch from its source and physical capture, on through the logistical process, to its valorization.

The best means of measuring the benefit of the implementation of a real circular economy for carbon, which would include valorization and storage of CO2, and sequestering for the CO2 which cannot otherwise be recycled, is the thermometer. Observation of the ocean levels is also enlightening. We can measure the level of PH in the water, which has a direct bearing on the sustainability of exo-skeletal plankton and coral, and we can measure the physical level of the oceans impacted by the melting of continental glaciers and dilation.

Numerous means of measure and evaluation, such as lifecycle analysis (LCA) and lifecycle cost (LCC), have been developed in order to assess as accurately as possible the carbon impact in the elaboration of a product or a service. The amount of CO2 emitted, and in certain cases the amount used, is taken into consideration directly and indirectly through analysis prior to the cycle. This element is all important at the dawn of massive development of bio resources and bio products. A perfect illustration is the comparison of first generation biofuel (whose source was large scale crops) and third generation biofuel (soiless pho-

entre autres objectifs, une des attentes des parties prenantes de la conférence mondiale du climat de Paris, COP21.

Il est actuellement envisagé de capturer massivement le CO2 industriel, mais cela bute très essentiellement sur des raisons de coût de mise en œuvre. Il est dommage que les Etats et les régulateurs ne profitent pas de la très forte baisse du prix des énergies fossiles actuelles pour glisser un dispositif de fixation d'un prix du CO2. Les mentalités évoluent, pour preuve, la déclaration des six premiers groupes pétroliers mondiaux sur ce sujet durant l'été 2015.

La fixation d'un prix au CO2 ne passera vraisemblablement que par des incitations contraignantes venant de la sphère politique. Et le CO2 étant une matière qui fait fi des frontières, il faudra que les décisions soient prises par un nombre de nations représentant un volume significatif de CO2 émis. Ce n'est pas simple d'autant qu'on constate que le temps politique est souvent très court-termiste et peu compatible avec des investissements industriels lourds que nécessiteront les unités de captage, de logistique et de séquestration ou de valorisation du CO2.

On peut ranger dans les barrières psychologiques à cette mise en œuvre le fait que le CO2 soit accolé bien souvent au terme de taxe, ce qui en fait une cible mise en exergue plus qu'un objectif intelligible. Pourtant taxe et pénalité n'ont rien de commun. Par ailleurs, il ne faut pas négliger les arguments avancés par les climato-sceptiques qui, même si leur nombre décroît car les réalités climatiques et environnementales deviennent de plus en plus avérées, remettent en cause le caractère anthropique du réchauffement climatique et donc par là-même la responsabilité des émetteurs de CO2 dans l'évolution du climat.

On peut également citer dans les résistances au changement toutes les industries qui profitent aujourd'hui d'une quasi-gratuité de l'émission du CO2 et savent exercer un chantage à l'emploi ou au pouvoir d'achat dès qu'une régulation plus contraignante ou plus onéreuse est avancée. Ainsi, c'est le cas entre autres de certains lobbies charbonniers et d'autres industries fortement émettrices de CO2.

Il existe de nombreuses propositions et offres pour la compensation du CO2 émis de façon domestique par des moyens de transport ou par des entreprises, et non-captable lors de son émission. Celles-ci, pour vertueuses qu'elles sont, n'ont pas toujours une réelle incidence, certifiée, ni rapide sur le climat. Et même si cette démarche altruiste, forcément teintée d'aide au développement, reste utile comme replanter des arbres, son impact positif avéré manque parfois de transparence ou d'une évaluation quantitative non sujette à caution.

Compte tenu de la déforestation industrielle quasi généralisée dans certains pays, la replantation des arbres peut relever quelque peu du symbole. Toutefois, de nouvelles solutions innovantes se font jour et laissent imaginer une compensation réelle et maîtrisée. Mais globalement cette compensation est, d'une certaine manière, concurrente de celle passant par le captage du CO2 émis industriellement. Il est clair qu'à moyen terme, il n'y aura pas de véritable boucle circulaire du carbone s'il n'y a pas tout au long du cycle, une traçabilité certifiée qui suive lot par lot ce CO2 depuis son captage physique, sa logistique jusqu'à sa valorisation.

Le meilleur instrument de mesure des bénéfices de la mise en œuvre d'une véritable économie circulaire du carbone incorporant valorisation et stockage du CO2 et comptabilisant sa séquestration comme déchet fatal est le thermomètre. L'observation de

tosynthetic production). We can dispense with a detailed analysis of the biomass thus produced. For example the culture of heterotrophic (or mixotrophic) microalgae necessitates that they be provided with a nutritive substrate such as sugar or molasses. Whereas those microalgae which produce third generation biofuel are nurtured exclusively on minerals and sun, and so do not threaten agriculture whilst at the same time massively consuming CO2. This means that they are carbon neutral.

The most direct way of measuring the benefit of industrial CO2 is traceability at each stage of the cycle regarding its valorization or sequestering. The process has to include identifying the volume concerned, (should it be in a gas or liquid state), and batch accounting, each batch should be clearly marked, as is commonly applied when using a reliable traceability system such as the one developed by CO2Track.

Solutions

Paradoxically, the reduction in fossil energy reserves will certainly accelerate the growing awareness concerning the emission of CO2 into the atmosphere, and its toxicity for the climate, and at the same time the conviction that CO2 waste must be controlled. The educational development regarding the valorization and industrial use of CO2 could further enhance this awareness, increasing optimism and proactivity concerning the promising solutions that now exist. It is now a question of cost, the pricing of CO2 must be resolved in order that the circular economy relevant to carbon capture can be implemented.

However, time is running out and we can no longer afford to "wait and see". This attitude can only aggravate an already tense situation. Regarding carbon dioxide treatment the time scale is important and the impact is magnified. Real solutions exist, and as climatic catastrophes are increasingly frequent, awareness grows.

We are without doubt now at the dawn of a new era with a major revolution regarding Man's attitude to carbon which will be directed by the new paradigm which is circular economy. Having invented fire so many years ago, lets now invent the control and valorization of the precursor of life known as... CO2. ■



More information : www.CO2track.com

l'océan est également très éclairante. On peut mesurer le pH de l'eau qui impacte très directement les planctons exo-squelettiques et les coraux ; et l'on peut également utiliser des appareils qui permettent de mesurer la montée du niveau des océans, due non seulement à l'abondement massif des eaux de fonte des glaciers continentaux, mais également à la dilatation de l'eau elle-même.

De nombreux modes de mesures et évaluations comme les analyses de cycle de vie (ACV) et coûts du cycle de vie (CCV) ont été mis au point permettant d'appréhender avec le plus de justesse possible l'impact du carbone dans l'élaboration d'un produit ou d'un service. La mesure du CO2 émis puis dans certains cas, utilisé, est donc pris en compte de façon directe mais également indirecte en remontant en amont du cycle. Cet élément est très important à la veille de la production massive des bioresources et des bioproduits. Cela est parfaitement souligné par les débats sur les biocarburants de première génération (ceux issus de grandes cultures) en regard de ceux de troisième génération (produits hors-sol de façon photosynthétique exclusive). On ne peut s'exonérer d'une analyse fine du bilan carbone de la production de la biomasse alors produite. Par exemple, l'alimentation de microalgues hétérotrophes (ou mixotrophes) nécessitent que leur soit fourni un substrat nutritif comme du sucre ou de la mélasse ; alors que celles produisant des biocarburants de troisième génération se nourrissent exclusivement de minéral et de soleil, ne concurrencent pas l'agriculture tout en consommant massivement du CO2. Seules ces dernières ont un bilan carbone neutre.

La mesure la plus directe du bénéfice du CO2 émis de façon industrielle reste la traçabilité tout au long de sa chaîne de valeur ou de séquestration. Celle-ci passe obligatoirement par une identification du volume concerné que celui-ci soit à l'état gazeux ou liquide, dans une comptabilité par lot ; chacun d'entre eux devant faire l'objet d'un marquage permettant, comme c'est dans le cas très communément lorsqu'on met en place un système de traçabilité fiable comme le système CO2TRACK le permet.

Solutions

Paradoxalement, la baisse des réserves en énergies fossiles risque d'accélérer la prise de conscience d'un CO2 massivement rejeté dans l'atmosphère, très nocif pour le climat et concomitamment la conviction du besoin de maîtriser ce déchet. La mise en exergue pédagogique des possibilités de sa valorisation et de ses usages industriels pourraient concourir à une prise de conscience de tous, que des solutions très prometteuses, techniquement disponibles existent dorénavant. Ce n'est plus qu'une question de coût, donc à mettre en regard du prix du CO2 ; et les boucles circulaires issues du captage se mettront en place. Toutefois, le temps presse et l'attentisme ne fait que tendre un ressort qui n'en sera que plus violent à sa détente. Dans le cas du CO2, si l'échelle de temps est importante, les impacts peuvent en être largement plus dramatiques. De réelles solutions existent, la prise de conscience se fait jour, et la succession des incidents d'origine climatique voit sa fréquence s'accroître.

Nous sommes donc à la veille de l'émergence d'une immense révolution dans la relation de l'homme au carbone, nouveau paradigme que l'économie circulaire va servir. Bien longtemps après avoir inventé le feu, inventons la maîtrise et la valorisation de ce précurseur de la vie qu'est ... le CO2. ■