



# Bien gérer son CO<sub>2</sub>

Pour respecter ses quotas ou négocier des crédits carbone, un industriel doit gérer ses gaz à effet de serre. Si la comptabilisation s'appuie sur des méthodes validées, les techniques de réduction diffèrent selon les secteurs. Enfin, le recyclage du CO<sub>2</sub> s'avère prometteur : quelques projets quittent les laboratoires pour le terrain.

## 1 COMPTABILISER SES ÉMISSIONS

Au cœur des quotas, des marchés du CO<sub>2</sub> et des efforts volontaires de réduction, la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre gagne en maturité et en harmonisation.

Définir un objectif de réduction réglementaire ou volontaire des émissions de CO<sub>2</sub> ne peut s'entendre sans règles comptables acceptées de tous. Mais, comme le rappelle Isabelle Rappart, cofondatrice de Climat Mundi, spécialiste des bilans carbone et des compensations, « la comptabilisation n'est pas une science exacte ». C'est dire si, pour être crédible, mieux vaut jouer la

transparence sur les méthodologies employées à la fois pour les calculs et pour la comptabilisation. Pour les calculs, le cadre semble relativement clair. Il s'agit d'appliquer un facteur d'émission à des données relatives à l'activité, les produits ou les combustibles entrants. Pour le CO<sub>2</sub>, ces calculs ont fait l'objet de consensus et les analyses sur sites industriels sont rares.



Climat Mundi

**Un projet validé.** Le projet de Climat Mundi au Mexique vise à remplacer des centrales thermiques au charbon par une petite usine hydroélectrique de 8 MW. Il réduit les émissions de gaz à effet de serre d'environ 18 500 t éqCO<sub>2</sub>/an. Des réductions certifiées par DNV en 2006. Ce projet est validé par l'ONU au titre des mécanismes de développement propre prévus dans le protocole de Kyoto.

« Pour les quotas, les petits émetteurs utilisent des tables de facteurs d'émission et les plus gros doivent vérifier sur échantillon la valeur de leur », précise Aurélie Wolff, responsable CO<sub>2</sub> chez SGS Multilab. Cela dit, pour des approches volontaires au périmètre très large, l'incertitude est plus grande : « On est confronté à des procédés exotiques ou à des postes, comme un chauffage collectif de locaux, dont on ne connaît pas directement les consommations », note Matthieu Claus,

## Contacts

- > Afnor, Émilie Brun, tél. : 01 41 62 87 59
- > Climat Mundi, Isabelle Rappart, tél. : 09 53 86 74 91.
- > SGS Multilab, tél. : 03 28 51 4004.
- > Sitelesc, tél. : 01 41 62 87 59

chef de projet de Climat Mundi. Le même dilemme se pose pour évaluer le volume des émissions évitées par certains projets. L'ONU a bien défini des méthodes pour les projets MDP, de même que la Mies pour les réductions des « projets domestiques », mais rien n'est simple. « C'est la raison pour laquelle nous ne suivons pas les projets de stockage de carbone par les arbres : le cycle biologique est trop complexe et mal maîtrisé », estime Isabelle Rappart.

Autre difficulté, un bilan volontaire d'émissions prend en compte tous les gaz à effet de serre. Et, en la matière, certaines quantifications ont longtemps été sujettes à caution. Des organisations professionnelles comme le Gimélec (industrie de l'électronique, SF<sub>6</sub> comme GES) ou le Sitelesc (industrie des semi-conducteurs, PFC et SF<sub>6</sub> comme GES) ont cependant fait avancer les choses. « On table

En fait, la difficulté tient surtout aux règles de comptabilisation. « Il s'agit de définir le périmètre, les composants pris en compte, les émissions directes ou indirectes, etc. », explique Émilie Brun, à l'Afnor. Pour les sites soumis à quotas, le cadre est fixé : obligations limitées aux émissions directes et à un nombre de sources données. « Il n'y a pas de difficultés majeures car les entreprises s'appuient sur les textes publiés avec la réglementation. Mais on est vite confronté à des situations plus complexes de consommation de combustibles, de compteurs, d'oublis d'équipements et d'erreurs de facteur d'émission. Nous insistons donc sur la rigueur à avoir pour éviter tout contentieux juridique ou financier », souligne Aurélie Wolff. Mais pour un usage autre que le respect des quotas, il est nécessaire d'aller plus loin.

## La difficulté tient surtout aux règles de comptabilisation.

sur des rendements par procédé (à valider sur chaque site), sur l'efficacité du post-traitement et sa disponibilité », illustre Philippe Cholat-Namy, président de la commission environnement du Sitelesc.

C'est la raison pour laquelle l'ISO a publié, en 2006, trois normes : l'une sur la comptabilisation des émissions des organismes, l'autre sur la validation des projets de réduction et la dernière sur la vérification des déclarations d'émissions. « Pour des entreprises souhaitant accéder à d'autres marchés que celui des quotas, il fallait une méthode harmonisée reconnue », explique Émilie Brun, tout en soulignant que les normes Iso restent compatibles avec toutes les autres méthodes, notamment le GHG Protocol ou le bilan carbone. Chez Climat Mundi, la préférence va à ce dernier. Il a l'avantage de prendre en compte toutes les émissions directes et indirectes, mais s'intéresse à bien d'autres gaz que les six retenus par le Protocole de Kyoto, ce



## L'avis d'Émilie Brun

Chef de projet gaz à effet de serre à l'Afnor

### Des référentiels harmonisés existent

Depuis 2006, les acteurs économiques disposent de normes Iso (série Iso 14064) pour comptabiliser et vérifier les émissions (ou les réductions) des six gaz à effet de serre retenus dans le Protocole de Kyoto. Mais on constate que leur pénétration du marché français et européen est timide. « Les entreprises se sont appuyées sur les textes européens (et français) pour comptabiliser leurs émissions dans le cadre des quotas, mais le développement des

marchés internationaux du CO<sub>2</sub> et la nécessité de dialoguer devraient les inciter à utiliser et exiger ces référentiels harmonisés », confie la spécialiste de l'Afnor. Une nouvelle avancée normative pourrait aussi conforter ce mouvement. « L'ISO travaille sur la compétence des vérificateurs (Iso 14066), point qui s'avère trop peu cadré dans l'Iso 14064 », note Émilie Brun. En Europe, une accréditation existe déjà, mais il était nécessaire de garantir le sérieux des compétences au niveau mondial.

que ne font ni le GHG Protocol, ni les normes Iso. « On prend en compte la vapeur d'eau pour les bilans dans l'aéronautique, ou encore les fuites de CFC des installations de réfrigération anciennes », précise Isabelle Rappart. « Le bilan carbone a l'avantage d'être un outil très opérationnel, intégrant les facteurs d'émission et facilitant l'agrégation des données », ajoute Matthieu Claus.

Globalement, on entre bien dans une période de maturité méthodologique, qui répond aux impératifs de garantie des transactions. Les mécanismes de projets prévus par le Protocole de Kyoto, gérés par l'ONU, imposaient déjà ces exigences. Cette rigueur doit se généraliser sur un marché où la valeur du gaz carbonique est appelée à croître et les échanges à se multiplier. ●

Cécile Clicquot de Mentque

## 2 RÉDUIRE LES GAZ

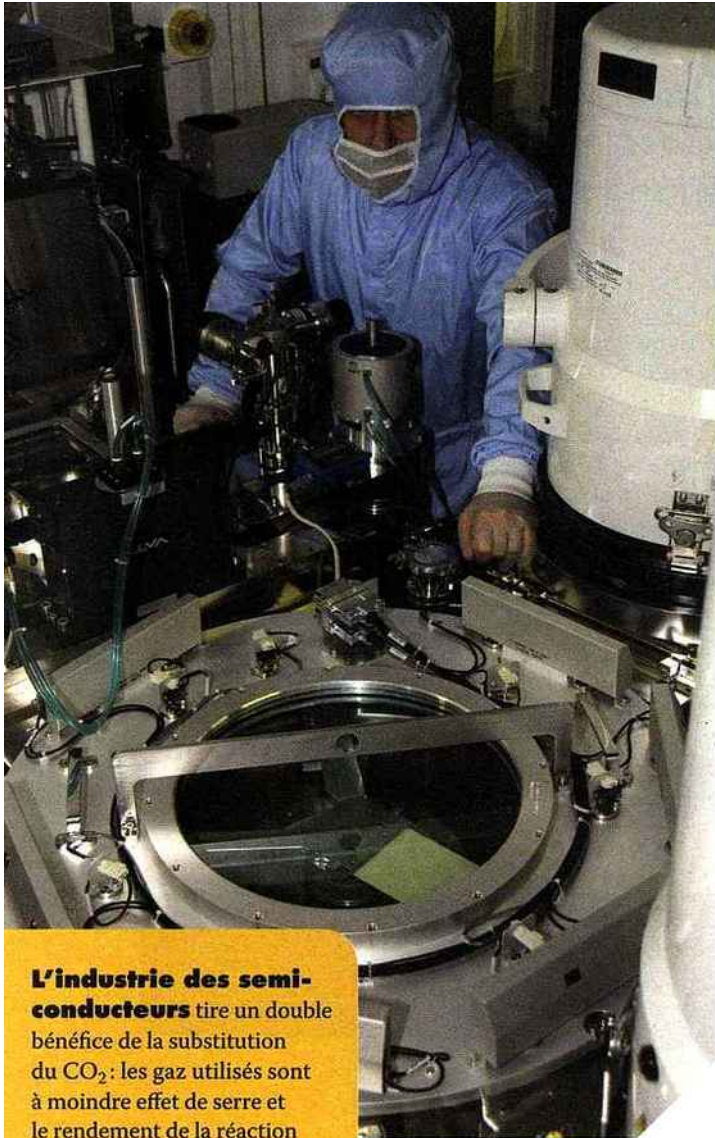
En environnement, la réduction des émissions ou des déchets à la source est toujours la meilleure solution. À condition d'en maîtriser tous les aspects.

L'idée de réduire à la source les gaz à effet de serre domine les réflexions industrielles car, économiquement, elle est souvent la plus logique. Tous les gaz sont concernés et, quel que soit le secteur industriel, trois voies sont à explorer : moins gaspiller, optimiser les procédés et adopter des substituts. On admet par exemple qu'une réduction entre 15 et 20 % des consommations d'énergie est très accessible. Sur les réseaux d'air comprimé, les fuites peuvent atteindre 15 %, sans parler du surdimensionnement des équipements. Dans le domaine du froid,

même combat. Un réseau frigorifique en grandes surfaces affiche entre 20 et 30 % de fuites de CFC, HCFC ou HFC. Résultat, la moitié des ventes de gaz frigorigènes servent à compenser les pertes. C'est pourquoi la directive F-Gas a instauré des contraintes dans le contrôle des installations. Selon François Heyndrickx, délégué général de l'Alliance Froid Climatisation Environnement (AFCE), son application devrait se traduire par 20 % de réduction d'ici deux à trois ans, et beaucoup plus après. Dans les équipements électriques, en



**Dans l'industrie textile**, teindre à une température plus basse réduit la facture énergétique et donc les émissions



**L'industrie des semi-conducteurs** tire un double bénéfice de la substitution du CO<sub>2</sub> : les gaz utilisés sont à moindre effet de serre et le rendement de la réaction au plasma est meilleur.

Témoignez dans nos prochains dossiers !

**Eaux usées**  
Améliorer son efficacité énergétique  
**Recyclage**  
Le devenir des épaves

redaction@  
environnement-  
magazine.fr

principe hermétiques, les efforts portent surtout sur la production, le remplissage sur site, la maintenance et la fin de vie des produits. Des préoccupations qui sont aussi d'actualité pour les circuits frigorigènes qui vont devoir passer du HCFC (R22) au HFC. Quelque 50 000 tonnes de gaz sont en jeu. Qualiclimafroid a d'ailleurs ajouté une option « conversion HCFC-HFC » à la qualification existante. L'amélioration des rendements des réactions est aussi une façon de réduire le gaspillage. Les procédés classiques de fabrication des semi-conducteurs

(dépôt, gravure, nettoyage) ne consomment que 10 à 30 % des gaz introduits, le reste se perdant dans l'atmosphère. « Une action déterminante a été d'installer des détecteurs de fin de nettoyage des chambres ou de fin de gravure, tout en optimisant le débit des gaz et les temps de réaction », explique Philippe Cholat-Namy, ingénieur environnement-sécurité chez Alts Semiconductor. En cinq ans, le rendement électrique des réfrigérations a aussi progressé de 50 % et on conseille désormais de confiner les fluides frigorigènes à la zone technique, le froid étant véhiculé par de

Clean Technology Conference de Boston, s'opère sans air (donc sans CO, CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) grâce à une membrane perméable au seul hydrogène.

**Dans certains secteurs,** les bénéfiques sont cependant minces. C'est le cas pour le protoxyde d'azote en production d'acide nitrique qui se forme sur les toiles de platine catalysant la réaction. Des recherches sont certes en cours pour modifier ces toiles ou maintenir le gaz du procédé à haute température afin de décomposer le N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub> (brevet Hydro). Mais, pour ce secteur, l'oxydation

### **Optimiser, c'est aussi réduire les besoins énergétiques.**

l'eau glacée dans la majorité du réseau. « Les volumes de gaz sont réduits et le contrôle de l'étanchéité facilité », insiste François Heyndrickx. Optimiser, c'est aussi réduire les besoins énergétiques. L'industrie textile le fait en teignant à plus basse température. « Réduire les volumes d'eau contribue aussi à cet effort, car il y a moins d'eau à chauffer », souligne Fanny Fourcade, responsable environnement à l'Institut français du textile (IFTH). Idem pour les procédés enzymatiques de prétraitement des fibres naturelles qui remplacent la voie chimique. Et, en général, la synthèse biologique (ou biotechnologies blanches) en déploiement dans la chimie, est moins énergivore. D'autres gains résultent directement de sauts technologiques. Le Jet Metal Technologies de métallisation de pièces plastiques évite le recours aux bains chauds dans des sels métalliques en projetant directement des réactifs sur la pièce (lire p. 54). De la même manière, un nouveau procédé de production d'éthylène, présenté en juin à la

thermique en cheminée reste l'option principale. L'Institut régional des matériaux avancés (Irma), basé en Bretagne, a mis au point un catalyseur spécial déjà utilisé sur des gaz concentrés d'une unité de production de Glyoxal et qui sera mis en œuvre sur une première unité de production d'acide nitrique, à Rouen. Également en difficulté, l'agriculture ne renonce pas aux réductions à la source du méthane. Elle mise sur l'amélioration de la productivité des animaux par la sélection des races, mais aussi sur l'alimentation. Sanders (groupe Glon) vient ainsi de présenter les résultats d'une étude sur des additifs végétaux ou des graisses introduits dans les aliments pour bovins et qui contribuent à réduire les émissions de méthane lors de la digestion. « Les bactéries non méthanogènes sont favorisées et le lait produit est moins chargé en graisses saturées », souligne Jean-Philippe Rousseau, responsable des aliments pour ruminants. Les émissions sont ainsi divisées par deux ou trois selon les formes d'élevage.



Altis Semiconductor

### L'exemple d'Altis Semiconductor

Fabricant de semi-conducteurs, 2200 personnes

### Agir en amont et en aval

Comme tous les fabricants de semi-conducteurs, Altis Semiconductor s'est engagé à ramener en 2010 ses émissions de PFC de 10 % par rapport au niveau de 1995. Depuis fin 2006, le pari est gagné, malgré la forte croissance de l'activité. Pour cela, il a fallu agir sur deux fronts : « *Près de la moitié des gains ont été réalisés à la source, le reste relevant d'investissements en traitement aval* », explique Philippe Cholat-Namy, ingénieur environnement du site. Une quinzaine d'unités de craquage thermique ont ainsi été installées sur le site de Corbeil-Essonnes, qui heureusement disposait de la capacité d'épuration nécessaire pour traiter le volume supplémentaire d'effluents fluorés liés à ces choix techniques. Ces efforts se traduisent dans un indicateur d'éco-efficacité, qui est passé d'une consommation de 11 t de CO<sub>2</sub> par mètre carré de tranche de silicium, à moins de 7 t/m<sub>2</sub>.

Tous les secteurs réfléchissent enfin à la substitution des gaz, stimulés par leur coût. Le SF<sub>6</sub> perd des parts de marché dans la fonderie au profit de formulations alternatives (dont le retour du SO<sub>2</sub>). Les semi-conducteurs tirent un double bénéfice de l'utilisation de nouveaux gaz (NF<sub>3</sub>, le C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> ou le C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>). « *Ils sont à moindre effet de serre et surtout moins stables : ils se dissocient mieux sous l'action du plasma, donc le rendement de réaction est meilleur* », note Philippe Cholat-Namy. Une des approches récentes consiste même à dissocier les gaz avant leur introduction dans les réacteurs pour n'y introduire que des espèces fluorées.

Toutes les applications ne peuvent cependant pas recourir à de nouveaux gaz. L'industrie électronique n'a ainsi identifié aucun substitut au SF<sub>6</sub> comme isolant. En réfrigération, le nouveau gaz réfrigérant pour climatisation automobile de Dupont et

Honeywell, le HFO, n'est pas approprié pour les réseaux. Même problème dans le textile où on utilise du PFC en bains ou en pulvérisation pour imperméabiliser ou traiter antitache. « *En olifugation (traitement antitache), les substituts ne sont pas aussi efficaces et n'affichent pas le même rendu de surface. En revanche, en imperméabilisation, les produits à base de silicone sont intéressants* », explique Fanny Fourcade.

**Le foisonnement** de solutions anti-effet de serre ne doit cependant pas faire oublier leurs possibles effets secondaires. Philippe Cholat-Namy rappelle que l'augmentation du rendement dans la fabrication des semi-conducteurs (mais également le traitement thermique des PFC en cheminée) se traduit par davantage de rejets gazeux fluorés (HF) toxiques, dont le traitement se traduit par des rejets liquides fluorés. « *Se pose aussi la question de la substitution par*

des produits éventuellement plus toxiques. Le classement administratif d'un site peut s'en trouver modifié », prévient cet ingénieur. L'industrie du froid est directement confrontée à un tel arbitrage, notamment si elle recourt au CO<sub>2</sub> comme fluide frigorigène, opéré à forte pression. Il faut donc hiérarchiser les risques et ne pas oublier non plus les risques technologiques liés à toute innovation majeure. ●

Cécile Clicquot de Mentque

#### Contacts

- > AFCE, François Heyndrickx, tél. : 02 33 34 29 40.
- > Altis Semiconductor, Philippe Cholat-Namy, tél. : 01 60 88 66 16.
- > IFTH, Fanny Fourcade, tél. : 03 25 82 92 41.
- > Irma, tél. : 02 97 83 55 55.
- > Sanders, tél. : 02 97 28 39 39.

## 3 RÉCUPÉRER ET RECYCLER SON CO<sub>2</sub>

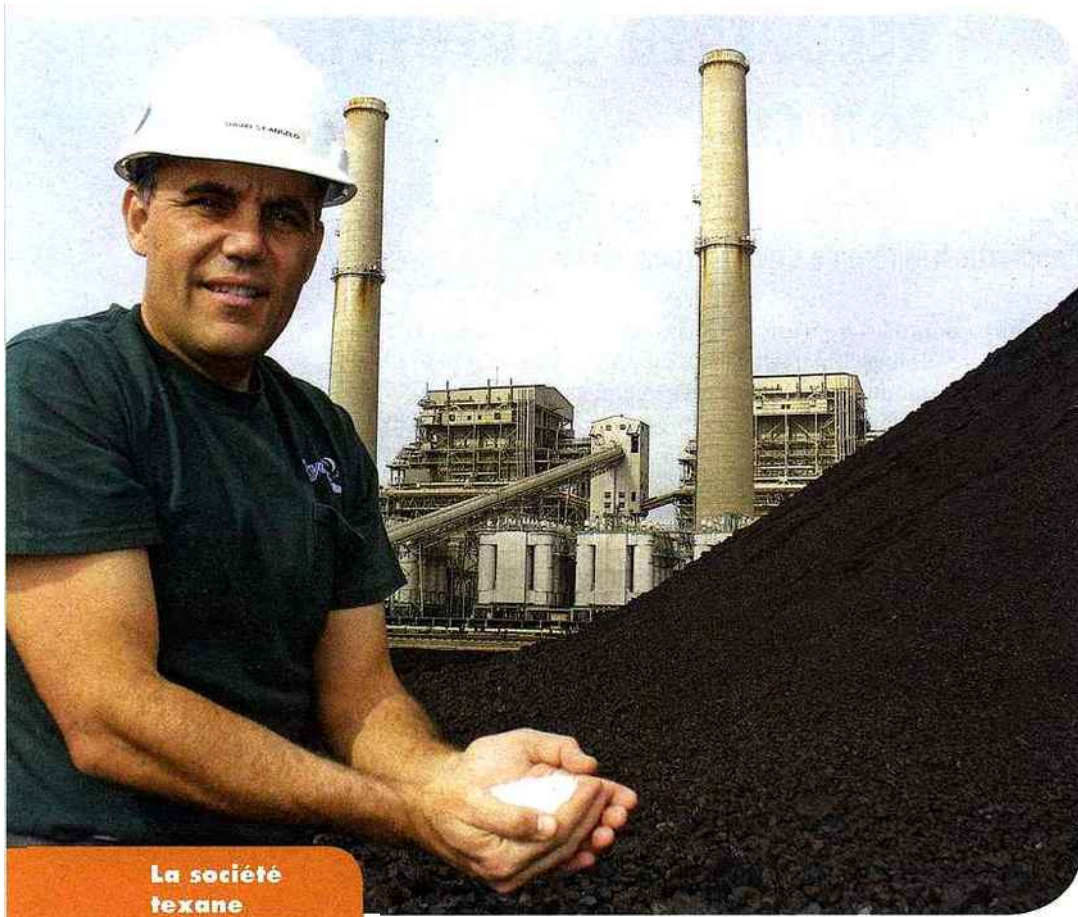
Et si, comme tout déchet, les GES étaient recyclables ? L'approche très récente s'avère prometteuse.

La valorisation matière n'est pas à la portée de tous. L'industrie des semi-conducteurs l'a constaté pour les PFC. La perméation de vapeur, un moment envisagée, a été abandonnée en raison d'obstacles techniques et économiques. En revanche, pour le CO<sub>2</sub>, les idées ne manquent pas. La récupération assistée de pétrole en est une et certains spécialistes des gaz industriels affichent clairement cette stratégie. Tout comme la valorisation du carbone en production d'algues a le vent en poupe. Plusieurs projets

(Shamash en France) sont en cours de développement pour créer une filière de biocarburants à base d'huiles de microalgues. À l'Insa de Toulouse ou chez EcoSolution, on cherche à tirer le meilleur parti des espèces. EcoSolution pratique ce qu'on appelle « l'évolution dirigée » pour accélérer et orienter l'évolution naturelle des organismes vers des métabolismes adaptés aux applications. « Notre objectif est de développer des catalogues de micro-algues : certaines seront particulièrement riches en huile,



**Valoriser** le CO<sub>2</sub> à la cheminée va-t-il devenir possible ?



### La société texane Skyonic

propose son procédé Skyimine qui utilise de la soude caustique pour produire du bicarbonate de sodium tout en neutralisant les gaz acides des fumées et en fixant les métaux lourds. Les sous-produits, chlore et hydrogène, pourraient être commercialisés.

*d'autres plus intéressantes pour leur consommation de CO<sub>2</sub> », confie Dominique Duvauchelle, le président de l'entreprise.*

**Mais d'autres stratégies** se font jour pour convertir le CO<sub>2</sub> en produits stables et valorisables en présence d'une charge minérale. C'est la « voie des carbonates ». Le niveau de maturité industrielle n'est pas loin. Ainsi la société québécoise CO2Solution promeut un traitement biologique des gaz chargés en CO<sub>2</sub>. Celui-ci vient en complément des procédés de capture, en phase de déploiement. Une enzyme, sélectionnée au fil des années, convertit le CO<sub>2</sub> en carbonates. « *Après plusieurs années d'essais en laboratoire et d'optimisation des modes opératoires (dont l'amélioration de la capture dans les solutions amines grâce*

*à ce catalyseur), nous visons de passer au pilote d'ici à l'été prochain », explique Normand Voyer, président de l'entreprise. Autre exemple, l'université de Newcastle vient de proposer une solution de production de carbonates cycliques utilisant une voie catalytique de réaction entre le CO<sub>2</sub> et un*

### Certains travaux n'hésitent pas à envisager le recyclage du CO<sub>2</sub> en polymères ou en hydrocarbures.

époxyde. Jusqu'à présent, cette réaction nécessitait des hautes températures et pressions et du CO<sub>2</sub> ultrapur. Le nouveau catalyseur dérivé de l'aluminium se contente de gaz de combustion et permet la réaction à température ambiante et pression atmosphérique. « *Pour satisfaire le marché actuel des*

*carbonates cycliques (solvants, décapants), on valoriserait 18 Mt de CO<sub>2</sub> et 30 Mt de plus si on cible le marché des additifs anticliquetis », explique Michael North, qui a piloté le projet. Des carbonates produits à partir de CO<sub>2</sub> pourraient aussi être utilisés *in situ*, dans la cheminée. C'est tout l'intérêt du procédé Skyimine (cf. EM n° 1663) du texan Skyonic, qui injecte de la soude caustique pour former avec le CO<sub>2</sub> du bicarbonate de sodium. On obtient ainsi en même temps un abattement du CO<sub>2</sub>, une captation des métaux et une neutralisation des gaz acides tout en consommant moins de réactifs que d'habitude.*

**Un autre moyen** d'utiliser la propriété de carbonatation est de se servir des gaz émis en sortie de combustion sur une matière minérale à stabiliser. Des essais ont été menés à l'Insa de Lyon pour accélérer le phénomène de maturation des mâchefers d'UIOM avec les gaz de combustion (12 % de CO<sub>2</sub>) ou à l'aide de biogaz chargé à 35 % en CO<sub>2</sub>. Certains experts n'y voient qu'un débouché très limité, mais la société du Kent Carbon8 y croit. Son procédé ACT est proposé pour neutraliser et stabiliser cendres, mâchefers et boues, mais aussi sols pollués et scories d'acier ou d'aluminium.

Le producteur australien Alcoa l'a adopté pour ses résidus de bauxite, sous-produits très alcalins, qui sont valorisés en travaux publics (lire encadré). Enfin, certains travaux n'hésitent pas à envisager le recyclage du CO<sub>2</sub> en polymères ou en hydrocarbures. Des chercheurs japonais ont lancé un projet de synthèse

de polycarbonates, par une réaction de copolymérisation entre du CO<sub>2</sub> recyclé et des composés époxydes. Si le principe était déjà connu, les propriétés de tenue thermique du matériau plastique n'étaient pas encore au rendez-vous. Un nouveau catalyseur apporterait la solution. Quant au projet Elcat impliquant l'université de Strasbourg et l'université de Messine, il a l'ambition de montrer la faisabilité de la conversion du CO<sub>2</sub> en carburant sans consommer trop d'énergie. L'équipe française a notamment travaillé sur des nanocatalyseurs, des nanotubes de carbone recouverts de différents métaux, pour faciliter la conversion. « *Les rendements (entre 2 et 3 %) ne sont pas encore à la hauteur des ambitions, mais sont supérieurs à tous les essais déjà publiés* », explique Dominique Begin, de l'université Louis-Pasteur. Des pourparlers



Sarp Industries/Veolia Propreté

## L'expérience de Sarp Industries

Filiale de Veolia Propreté

### Valoriser le CO<sub>2</sub> chez son voisin

Exploitant d'incinérateurs de déchets, le groupe Veolia Propreté ne pouvait pas négliger les rejets de CO<sub>2</sub> de son activité. Au-delà d'une stratégie de valorisation thermique, le groupe s'intéresse donc aux moyens de réduire ses émissions à travers notamment leur valorisation. Un

premier projet ambitieux, baptisé Placid, est en cours d'expérimentation sur le site de Sédibex, au Havre. « *Nous souhaitons valider les procédés de captation aux amines sur nos fumées spéciales (à forte teneur en oxygène) en vue d'une valorisation du CO<sub>2</sub> chez un industriel voisin pratiquant une étape de carbonatation avec ce gaz* », explique Hervé Martel, directeur industriel. Un pilote de laboratoire est en construction, avant le pilote industriel programmé pour l'année suivante.

sont donc engagés pour poursuivre les travaux et la technologie a retenu l'attention des organisateurs du prix Earth Challenge, lancé par le milliardaire Richard Branson. ●

Cécile Clicquot de Mentque

### Contacts

- > CO2 Solution, tél. : 00 1 418 842 3456.
- > Eco Solution, tél. : 01 48 45 11 11.
- > Sarp Industries, tél. : 01 34 97 25 50
- > Université de Strasbourg, tél. : 03 90 24 26 75.
- > Université de Newcastle, tél. : + 44 191 222 71 28.