

## L'option possible du recyclage du CO<sub>2</sub>

La captation-séquestration du CO<sub>2</sub> sera nécessaire, mais elle ne sera ni gratuite ni universelle, en raison même de la géologie des différents pays concernés. La valorisation du CO<sub>2</sub> pourrait ainsi devenir un véritable objectif, surtout si on la connecte à des enjeux tels que l'évolution de l'aviation.

Nul ne sait précisément à quelle vitesse se développera l'électrification des moyens de transport. Mais on ne peut exclure, avec un prix du pétrole se situant autour de 150 \$/baril, que la valorisation chimique du CO<sub>2</sub> devienne un enjeu réel. La Chine serait particulièrement susceptible de s'y intéresser, notamment en raison de l'intérêt que peut représenter pour elle le CO<sub>2</sub> produit par ses cimenteries.

Ce sujet, qui restera donc de peu d'actualité d'ici à 2020, est susceptible de devenir beaucoup plus important par la suite.

Par Alain BUCAILLE\*

### En guise de préambule

La question des hydrocarbures synthétiques n'est pas nouvelle : depuis bientôt vingt ans, on parle de *coal to liquid*, de *gas to liquid*, de bio-fuels..., et même, depuis plus récemment, de recyclage de CO<sub>2</sub>.

On en parle, un jour pour dire que ces options sont peu économiques, un autre jour pour dire qu'elles vont éviter tout pic pétrolier, un autre jour pour fonder des anticipations de leur impact économique possible d'ici à vingt ou trente ans. Ces questions, économiquement bien distinctes les unes des autres, le sont beaucoup moins au plan technique, car toutes les matières premières de ces transformations potentielles sont riches en carbone, déficientes en hydrogène et en oxygène, et elles contiennent toutes plus ou moins d'impuretés (halogènes et métaux lourds notamment). Comme tous ces sujets sont typiques de l'industrie lourde – où il faut bien une dizaine d'années pour fiabiliser les procédés –, on se trouve dans un cas bien typique du monde d'aujourd'hui : des paris technologiques très jouables, à prendre ou non, mais des contextes économiques ou réglementaires encore bien incertains.

### Les incertitudes économiques

#### *L'avenir du transport routier et ses conséquences*

La croissance économique de l'Asie et, demain, de l'Afrique, associée à celle de quelques autres pays émergents, va inévitablement provoquer un fort accroissement

du nombre des véhicules individuels. L'élan démographique de l'humanité le nourrira : nous étions 6 milliards en 2000, nous serons 7 milliards en 2011...

Si les véhicules individuels continuaient à consommer sept litres de carburant aux 100 kilomètres, alors que l'on imagine que leur nombre pourrait demain se situer entre 2,5 et 3,5 milliards de véhicules, si aucune solution n'était envisagée pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> au kilomètre parcouru dans le transport des marchandises, nous irions clairement à l'impasse en matière climatique.

Il faudrait parallèlement être naïf pour croire que l'électricité viendra s'imposer partout comme fournisseur dominant des besoins en énergie des transports. Il suffit d'avoir voyagé un peu en Asie du Sud-Est ou en Inde pour se persuader du contraire...

Tout cela pourrait donc conduire, dans les vingt prochaines années, à trois mouvements :

- ✓ un premier mouvement, vers les véhicules hybrides rechargeables, voire électriques ;
- ✓ un second mouvement, vers des véhicules thermiques traditionnels, mais à très grande performance (moins de 80 g CO<sub>2</sub>/km) ;
- ✓ un troisième mouvement, probable lui aussi, vers l'hydrogène, au moins pour les camions et les bus utilisés sur de courtes distances.

Et il faudra sans doute une quinzaine d'années pour que l'ampleur de ces mouvements se précise.

Si, toutefois, le nombre des véhicules devait effectivement tripler, on ne pourrait exclure que l'on ait besoin soit de bio-fuels, soit de production « propre » d'hydrocarbures synthétiques, pour, soit boucler l'équilibre offre-demande,

soit conforter la sécurité d'approvisionnement, voire satisfaire les besoins de l'aviation.

### Les potentiels et les limites de la captation-séquestration du CO<sub>2</sub>

Comme le montrent les rapports de l'AIE, la captation-séquestration du CO<sub>2</sub> sera nécessaire, mais il est bien difficile de chiffrer ce que pourrait être sa contribution. Soit parce que son coût est incertain, soit parce que la géographie ou la géologie ne sont pas adaptées, soit parce que les technologies possibles sont en compétition entre elles et que cette compétition laisse à penser que la meilleure technologie n'a pas encore été identifiée, soit parce que, tout simplement, les financements d'opérations à très grande échelle sont bien difficiles à envisager. Tout cela renvoie aussi aux incertitudes pesant sur les raisonnements en matière de valeurs à prendre en compte pour le CO<sub>2</sub> : si tous veulent maintenir des valeurs inférieures à 50 € la tonne de CO<sub>2</sub> d'ici à 2020, qui financera des opérations dont le coût excéderait 80 € par tonne de CO<sub>2</sub>, voire davantage ... sauf si l'amortissement de cette opération se faisait sur la récupération de gaz naturel ou de pétrole ?

On avance, donc, mais encore lentement, sur cette question du potentiel de la captation-séquestration du CO<sub>2</sub>, en dépit de quelques opérations-pilotes tout à fait bienvenues.

### Les certitudes ... du bon sens

Il est tout d'abord évident que la géologie ne se prête pas partout à la séquestration du CO<sub>2</sub> : certains pays, comme le Japon, présentent des impossibilités évidentes ; la moitié de la Chine et une très grande partie de l'Inde ne sauraient avoir la géologie *ad hoc* ; de même, il faudrait être bien superficiel pour penser qu'en bien des lieux européens, on va pouvoir couvrir les territoires de pipelines...

En dehors même des problèmes d'acceptation, les opinions publiques demanderont aussi à disposer d'une comparaison entre valorisation du CO<sub>2</sub> et stockage souterrain du CO<sub>2</sub>, de manière, justement, à comparer les solutions. Et comme l'information technique est désormais mondiale, celle-ci circulera...

Enfin, comme on aura sans doute bien des difficultés à savoir stocker massivement l'électricité, on finira bien aussi par se demander si le stockage massif de l'électricité-

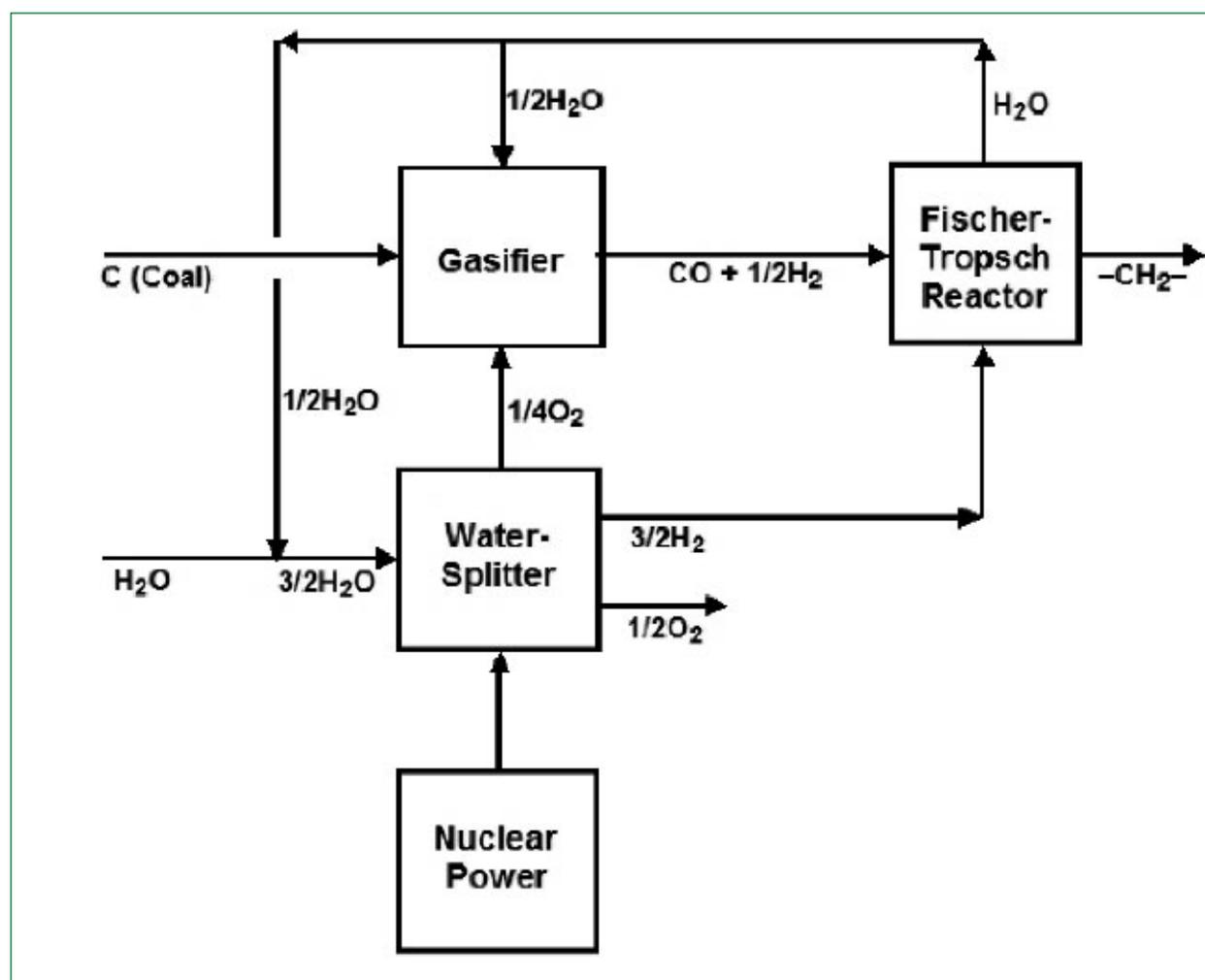


Figure 1 : Schéma de procédé Coal to liquid (CtL) intégrant une production d'hydrogène électrolytique.

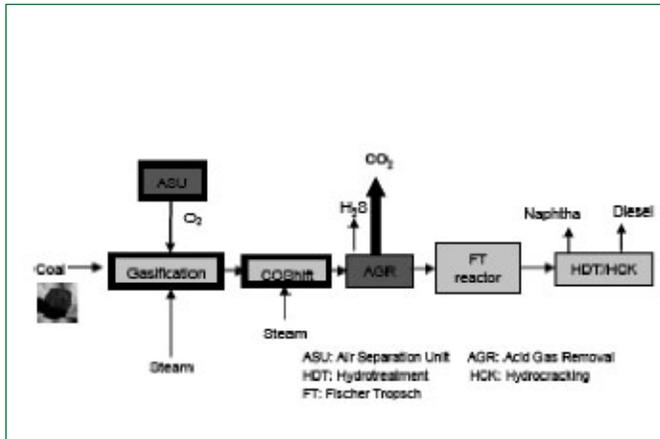


Figure 2 : Schéma d'un procédé CtL conventionnel.

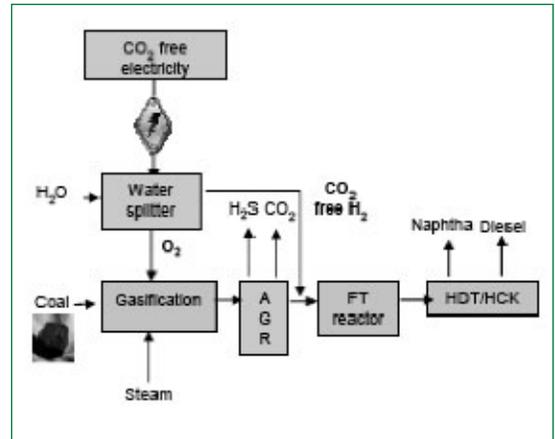


Figure 3 : Schéma d'un procédé CtL couplé à une production d'hydrogène électrolytique.

té sous forme d'hydrocarbures liquides ne présenterait pas, lui aussi, un intérêt à long terme ...

**Les trois acquis de la technique depuis cinq ans**

Il y a, me semble-t-il, trois types d'acquis :  
Le premier, c'est que l'on peut développer des procédés *Coal to liquid* (CtL) dont les émissions de CO<sub>2</sub> seraient quasi nulles. Je souligne ce point, car on a longtemps pensé le contraire.

La figure 1 de la page précédente illustre un procédé de *Coal to liquid* dans lequel le procédé conventionnel de production d'hydrogène (*Water Gas Shift - WGS*), dont l'in-

convénient majeur est de produire une grande partie du CO<sub>2</sub> émis par le procédé CtL, est remplacé par un électrolyseur d'eau dont l'avantage est de produire de l'hydrogène et de l'oxygène décarbonés.

D'un point de vue environnemental, l'hydrogène électrolytique remplace avantageusement l'hydrogène produit par WGS.

L'oxygène électrolytique est valorisé au sein de l'étape de gazéification du charbon et il peut remplacer celui produit par l'équipement dit *Air Separation Unit* utilisé conventionnellement pour extraire l'oxygène de l'air.

Ces modifications de procédé permettent non seulement de simplifier le procédé, (comme l'illustrent les figures 2

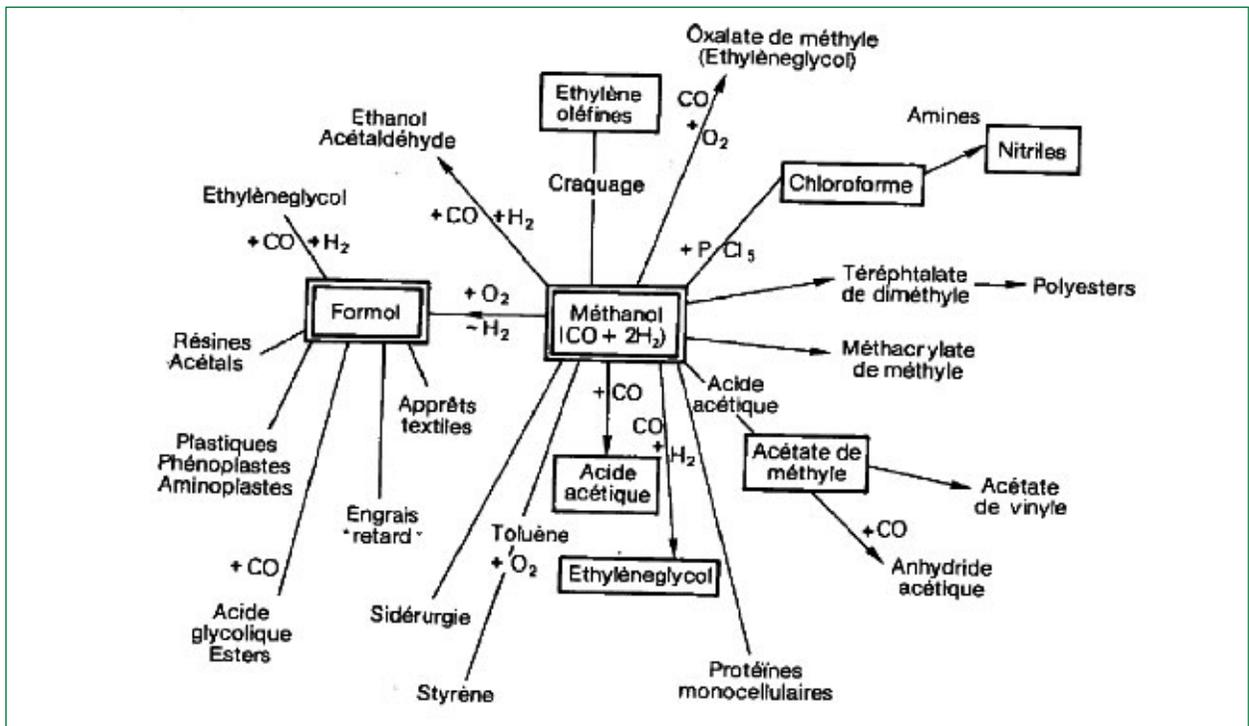


Figure 4 : Applications chimiques du méthanol.

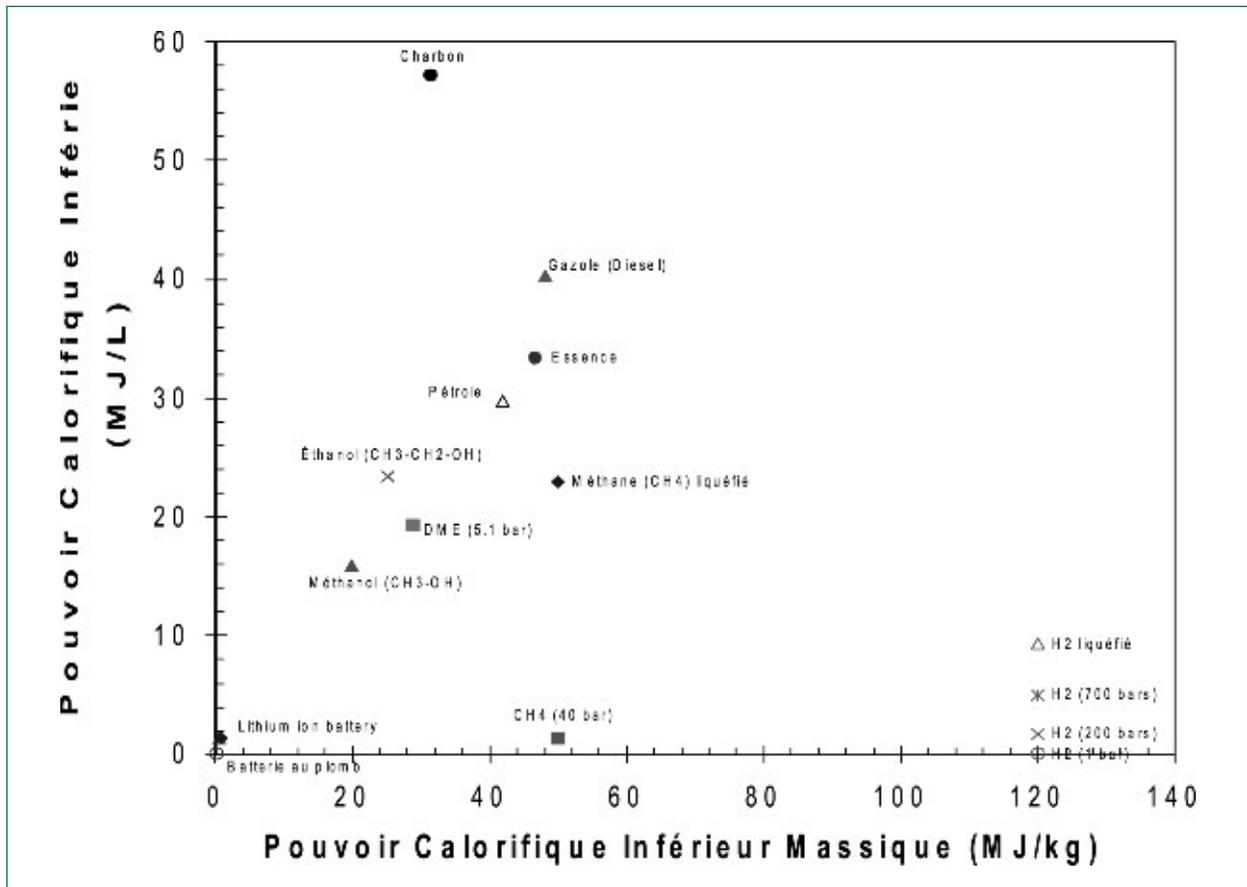


Figure 5 : Pouvoir calorifique inférieur de différents produits, dont le méthanol.

et 3), mais aussi de réduire drastiquement les émissions de CO<sub>2</sub> du procédé CtL et de quasi-tripler le rendement de conversion de charbon en carburant de synthèse, entraînant des impacts positifs sur l'approvisionnement, la manutention et le transport du charbon. Le second de ces acquis, c'est que s'il faut penser au produit chimique le plus intéressant à produire à partir de

CO<sub>2</sub>, le méthanol présente bien des avantages : il est facile à stocker sous forme liquide et il offre une large gamme d'applications potentielles, comme l'illustre la figure 4. Ce choix du méthanol s'explique aussi par plusieurs considérations physico-chimiques. Comme l'illustre la figure 5, le pouvoir calorifique inférieur du méthanol est relativement intéressant.

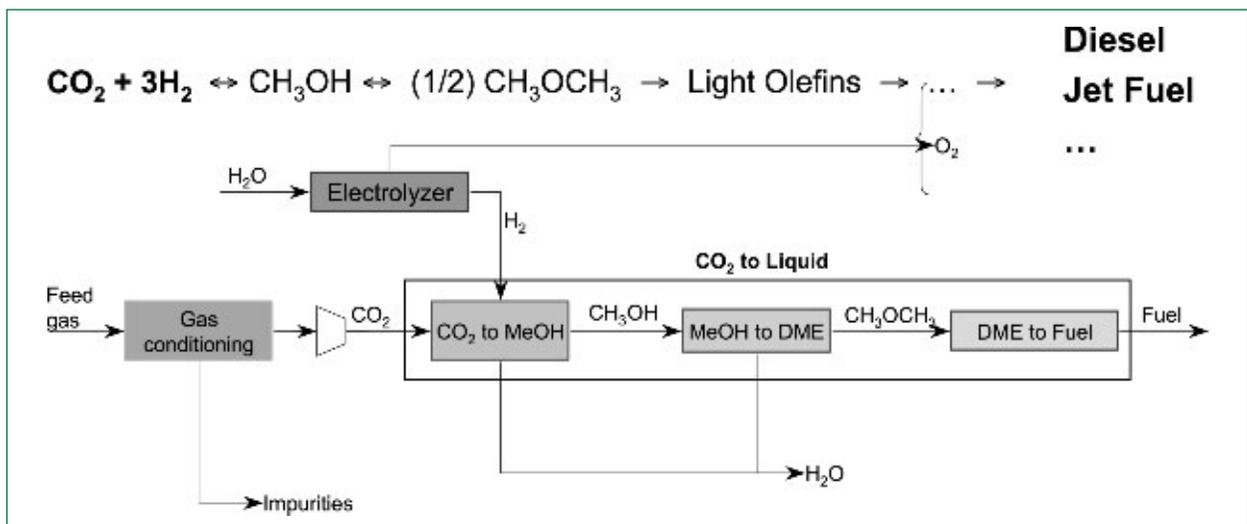
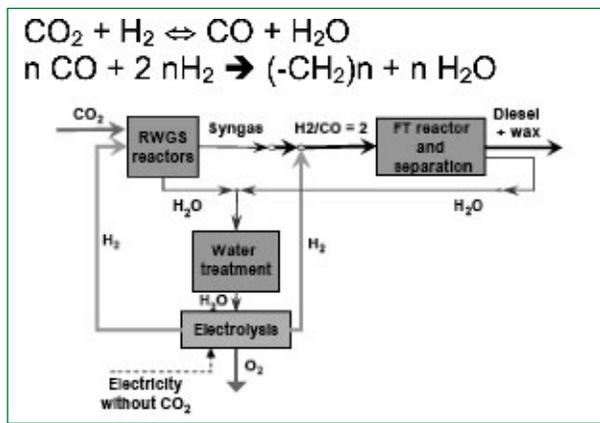


Figure 6 : Schéma d'un procédé de conversion du CO<sub>2</sub> par réduction catalytique.



**Figure 7 :** Schéma d'un procédé de conversion du  $\text{CO}_2$  en produits Fischer-Tropsch.

Les voies permettant de convertir le  $\text{CO}_2$  sont en cours de développement. Associés à l'apport d'hydrogène non carboné, plusieurs schémas techniques sont possibles, suivant le stade de produit final que l'on vise. Ainsi, on peut convertir le  $\text{CO}_2$  en :

- ✓ méthanol par réduction catalytique, puis en carburants, comme illustré en figure 6 ;
- ✓ produits de Fischer-Tropsch, comme l'illustre la figure 7, où  $(-\text{CH}_2)_n$  est un hydrocarbure, tel que l'essence, le gazole ou le kérosène.

Passons à présent à l'aspect économique, troisième de ces acquis. Sans qu'il y ait matière à révéler de quelconques secrets industriels, les coûts de production sont estimés, dans les pays émergents, à moins de 150 € le baril équivalent pétrole, et à environ 180 € le baril équivalent pétrole, ailleurs dans le monde.

Ce qu'un jour ou l'autre la Chine investiguera ... N'oublions pas que si tout le  $\text{CO}_2$  des cimenteries chinoises était dédié à ce type de filière, la Chine produirait, par cette technologie, de l'ordre de 10 millions de barils/jour.

S'imaginer que la Chine ne se pencherait pas un jour sur cette question, notamment en regard de ses excédents financiers, relèverait évidemment de la naïveté.

### Le cas spécifique de la France

Pour équilibrer le réseau électrique et faire face aux pointes de consommation, il est fait appel, en France :

- ✓ soit à l'utilisation plus ou moins intensive de la ressource hydroélectrique ;

- ✓ soit à la modulation du gisement d'énergie nucléaire en fonction de la demande ; or, manœuvrer les centrales nucléaires est pénalisant, tant d'un point de vue technique que d'un point de vue économique ;
- ✓ soit à des turbines à gaz récemment installées, fonctionnant en mode discontinu (dans un tel mode de fonctionnement, leur rendement est particulièrement dégradé et leurs émissions de  $\text{CO}_2$  élevées).

Lorsque la partie des énergies renouvelables intermittentes deviendra très significative (et elle le sera, à l'horizon 2025-2030), on se demandera nécessairement si l'ajustement de la production à la consommation ne mérite pas un regard nouveau... intégrant la production d'hydrocarbures de synthèse lors des périodes d'excès de l'offre sur la demande.

Si tel devait être le cas, l'électricité produite par environ 10 EPR™ pourrait permettre de produire de l'ordre de 20 % des carburants consommés en France, ce qui est loin d'être négligeable.

### Que dire, à l'issue de ce panorama ?

Il n'est évidemment pas facile de raisonner, dans un contexte aussi incertain...

Toutefois, j'aurais tendance à conclure que :

- ✓ Le sujet du recyclage du  $\text{CO}_2$  émergera d'ici à 2020 si la négociation climatique mondiale se consolide pour aboutir à des décisions infléchissant fortement les politiques énergétiques, et donc que, soit une valeur significative est donnée au  $\text{CO}_2$ , soit de profonds engagements de limitation des volumes des émissions sont pris.
- ✓ Le sujet du recyclage du  $\text{CO}_2$  émergera lui aussi, si la Chine en fait une priorité stratégique, ce qu'elle seule a sans doute les moyens de faire.
- ✓ Le sujet du recyclage du  $\text{CO}_2$  pourrait, enfin, être lui aussi légitimé, si des tensions politiques au Moyen-Orient provoquaient une flambée des prix du pétrole.
- ✓ Si, par contre, rien de tout cela ne survient, et si toute la priorité est donnée en Europe à la promotion massive de véhicules émettant le moins de  $\text{CO}_2$  possible, le recyclage du  $\text{CO}_2$  deviendrait moins vendeur dans cette région du monde, où il resterait une simple idée parmi d'autres. Ce ne serait pas nécessairement le cas, ailleurs...

### Note

\* Areva.