

LA CHIMIE ORGANIQUE SANS PÉTROLE LE DÉFI DE ROQUETTE FRÈRES

par Marc **Roquette**¹

RÉSUMÉ

La chimie organique, basée aujourd'hui essentiellement sur le pétrole, va être bouleversée, puisqu'à la fin du siècle, la matière première dominante devrait être la biomasse et qu'il faudra utiliser des énergies non émettrices de CO₂.

Roquette Frères, société familiale, quatrième amidonnier mondial, employant six mille personnes et titulaire de plus de cent cinquante brevets, est au cœur de cette révolution, notamment grâce à deux programmes de recherche en chimie du végétal, BioHub® (soutenu par Oseo) et Gaïahub®.

La Société Roquette Frères, à l'origine une féculerie de pomme de terre pour fabriquer de la fécule à destination de l'industrie textile, emploie aujourd'hui 6 000 personnes pour un chiffre d'affaires de 2,5 milliards d'euros. Elle a une présence commerciale dans plus de cent pays.

A partir de maïs, de blé, de pomme de terre et du pois, Roquette extrait l'amidon et cet amidon est une matière première pour une gamme de plus de 600 produits différents qui peuvent être utilisés aussi bien dans l'alimentaire (Nutrition Santé), l'alimentation des animaux, que dans le non alimentaire (chimie du végétal).

Roquette dispose d'un centre de recherche et développement composé de 250 personnes dont le budget annuel s'élève à 40 millions d'euros.

Roquette figure parmi les principaux groupes amidonniers mondiaux. Il est le premier producteur mondial de polyols (sorbitol, mannitol, maltitol, xylitol) et de glucose pour solutés injectables.

La société vient de célébrer, en 2008, son 75^{ème} anniversaire.

Le formidable potentiel du glucose (l'amidon est un polymère du glucose) qui est en fait la molécule de la vie (molécule fabriquée par la photosynthèse des végétaux), est une des raisons de la remarquable croissance de Roquette.

¹ Président de Roquette Frères.

Perspectives d'évolution de la chimie organique

Quand on a bien enregistré que les énergies fossiles sont en fait des dérivés du glucose puisque pétrole et gaz proviennent des microalgues fossilisées et que le charbon est du bois fossilisé (microalgues et arbres sont des végétaux ayant recours à la photosynthèse du glucose), on comprend ainsi aisément que la chimie du végétal a bien le potentiel de se substituer à la pétrochimie, la carbochimie et la chimie du gaz naturel.

- C'est d'ailleurs la vision du DOE (Département américain de l'énergie) qui, en 1998,
- constatait que la biomasse ne comptait que pour 7% dans l'approvisionnement en matière première de la chimie organique alors que 93% de la matière première était d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon) ;
 - prévoyait qu'en 2050 le rapport avoisine les 50/50 ;
 - et qu'en 2100 il soit inversé à savoir 80% de la matière première d'origine biomasse et le solde 20% en provenance des énergies fossiles.

Chez Roquette, nous avons la conviction que cette vision est juste et que le mouvement a déjà amplement démarré. Par exemple, l'éthanol qui, dans les années 70, était encore largement fabriqué à partir d'éthylène base pétrole, est maintenant à 100% d'origine agricole (canne à sucre, betteraves, céréales). L'acide lactique qui, toujours dans les années 70, était fabriquée pour moitié base pétrole et pour moitié base saccharose, est aujourd'hui quasi exclusivement fabriqué base canne à sucre ou base maïs.

Cette forte évolution en faveur de la chimie du végétal trouve son explication dans l'évolution comparée des prix de la biomasse et du pétrole. Ainsi, depuis 1950, le prix du pétrole aux USA a été multiplié par un facteur de plus de 40, alors que le prix du blé lui n'a augmenté que d'un facteur de 2,8. Aujourd'hui, depuis 2008, le prix du pétrole est trois fois plus élevé que celui du blé. Il est particulièrement significatif de constater que ce rapport de prix est le même que le rapport énergétique entre les deux matières premières. En effet, le blé contient 4 MW alors que le pétrole en contient 12. On doit s'attendre, avec la raréfaction prévisible du pétrole que ce rapport de prix s'accroisse à l'avenir et renforce la compétitivité de la Biomasse en tant que matière première pour la chimie organique.

Un métier de turfiste

Pour les entreprises qui, comme Roquette, veulent s'impliquer dans cette nouvelle révolution technologique et économique, qui d'ailleurs s'inscrit dans le développement durable, l'essentiel est de bien miser (comme un parieur de PMU) sur les bonnes molécules, au bon moment. En effet, le basculement de la pétrochimie vers la végétochimie se fera progressivement et les premières molécules qui émergeront de la végétochimie sont celles qui seront les moins coûteuses à fabriquer à partir de biomasse, c'est-à-dire les molécules qui bénéficient d'un « *chemical pathway* » (chemin de conversion chimique) facile à implémenter pour l'industriel dans son usine.

En ce qui concerne Roquette, nous concentrons, par exemple, nos efforts sur l'acide succinique en collaboration avec la société hollandaise DSM et sur l'Isosorbide qui est un dérivé du sorbitol. Ces deux molécules « plateforme » permettent, à l'aide de réactions chimiques complémentaires, de fabriquer des plastiques, des résines, des solvants ...

La chimie organique en 2000

La chimie organique telle que nous la connaissons aujourd'hui repose sur l'utilisation du pétrole, du gaz naturel et du charbon, à la fois sous forme de matières premières et sous forme d'énergie, car la pétrochimie est extrêmement gourmande en vapeur et en électricité, comme du reste la chimie du végétal. La chimie organique provoque donc, en particulier dans les pays où l'électricité est produite à partir d'énergies fossiles, un déstockage massif de CO₂, avec les effets que l'on connaît sur le climat. La situation est particulièrement préoccupante en Inde et en Chine, pays qui utilisent essentiellement le charbon, c'est-à-dire l'énergie fossile la plus polluante. En France, nous avons la chance de disposer d'électricité d'origine essentiellement nucléaire, très peu émettrice de CO₂.

La chimie organique telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui se caractérise par un cycle de production extrêmement long, de 20 à 300 millions d'années. Même si nous découvrons de nouveaux gisements de gaz et de pétrole, nous allons consommer en un laps de temps extrêmement court des ressources qui ont mis très longtemps à s'accumuler, et ce n'est donc pas durable.

Si l'on essaie de situer la pétrochimie par rapport aux trois "âges" de l'humanité (chasse et cueillette, puis agriculture et élevage, puis industrie et commerce), on peut la classer parmi les activités de "cueillette", correspondant à une étape ancienne de notre histoire.

La chimie organique en 2050

En 2050, nous faisons l'hypothèse que la chimie organique sera alimentée pour moitié par les matières premières agricoles et pour moitié par des matières premières fossiles. Compte tenu des contraintes qui pèseront alors sur les émissions de carbone, on aura sans doute recours aux énergies renouvelables, comme l'hydroélectricité ; ou comme la géothermie pour la production de vapeur. L'énergie solaire ou l'énergie éolienne ne paraissent en revanche pas très adaptées, car les usines de chimie organique représentent des investissements très lourds et doivent impérativement fonctionner 24 heures sur 24. C'est pourquoi l'énergie nucléaire jouera sans doute un rôle beaucoup plus important que ce que l'on croit aujourd'hui.

Nous avons d'ailleurs été précurseurs en la matière. Lorsque la France a démarré son programme nucléaire, EDF avait du mal, à certaines périodes, à écouler l'électricité. Il y a 25 ans, EDF nous a offert une chaudière électrique que nous faisons tourner pendant le mois d'août, quand les surplus d'électricité étaient particulièrement importants. Lorsque le prix des hydrocarbures recommencera à s'envoler (140\$ le baril ou plus), nous aurons doublement intérêt à passer à l'électricité nucléaire car, d'une part, son prix sera compétitif par rapport à celui du pétrole, et, d'autre part, nous savons utiliser les MW électriques de façon beaucoup plus économique que les MW vapeur. Par ailleurs, recourir à

l'électricité nucléaire nous permettra de cesser complètement d'émettre du gaz carbonique, alors que nous émettons actuellement 1 Mt de CO₂ par an.

Avec cette nouvelle chimie base biomasse, le cycle de production sera inférieur à deux ans. Du point de vue des "âges" de l'humanité, celle-ci correspondra à l'âge de l'agriculture pour ce qui concerne la matière première ; et à l'âge de la cueillette pour ce qui est de la géothermie et de l'hydroélectricité, et à l'âge de l'industrie pour l'électricité nucléaire.

Les programmes GaïaHub et BioHub

Chez Roquette, nous sommes très motivés pour participer au développement de la chimie du végétal et nous avons lancé, dans ce but, deux grands programmes de recherche.

GaïaHub®

L'objectif de ce premier programme, GaïaHub, consiste à modifier l'amidon afin de le rendre compatible avec d'autres polymères issus de la pétrochimie. L'objectif est de pouvoir réaliser des alliages associant notre matière première et la matière première d'origine fossile. Nous commençons à produire des granulés semblables à ceux qui sont utilisés par tous les plasturgistes pour fabriquer des sacs en plastique ou encore des pièces pour l'automobile. Nos prix de revient sont encore supérieurs à ceux de la pétrochimie, mais certains de nos produits présentent des caractéristiques plus intéressantes, pour certaines applications, que celles des produits à base de pétrole. Le monde des plastiques est tellement immense que nous devrions pouvoir trouver des segments de marché nous permettant de valoriser correctement nos dérivés.

BioHub®

Le deuxième programme, BioHub, et a été soutenu dans un premier temps par l'AII (Agence de l'innovation industrielle), et aujourd'hui par Oseo. Il s'agit d'étudier comment transformer le glucose par des processus chimiques, biochimiques fermentaires ou biochimiques enzymatiques, de façon à produire des dérivés comme le sorbitol, l'isosorbide ou l'acide succinique. Toujours dans le cadre de BioHub, nous cherchons à fabriquer de la méthionine directement à partir du glucose. Aujourd'hui, cette molécule est exclusivement fabriquée à base de pétrole, avec une série de conversions chimiques lourdes et des produits intermédiaires relativement dangereux pour la santé. Nous souhaitons faire fabriquer la méthionine par des micro-organismes génétiquement modifiés et alimentés au glucose. C'est un pari ambitieux, mais pour lequel nous enregistrons déjà des avancées intéressantes.

L'usine de Beinheim de Roquette

Dans la mesure où nous nous lançons dans une nouvelle chimie sans pétrole, nous avons voulu être proactifs et organiser notre production pour que, progressivement, dès que cela est faisable, elle n'émette plus du tout de CO₂.

Sur notre site de Beinheim, en Alsace, nous avons décidé de diminuer de plus de 75 % les émissions d'ici 2012. Nous fabriquons déjà du biogaz par méthanisation de nos eaux résiduelles, ce qui représente une énergie de 2 MW/h, mais nous avons deux projets de plus grande envergure, pour lesquels nous venons de recevoir le soutien de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).

Beinheim étant situé dans une zone très riche en forêts, nous pouvons tout d'abord utiliser le bois pour fabriquer de la vapeur. Nous prévoyons d'installer une chaudière qui brûlera 145 000 tonnes de bois, aura une capacité thermique de 43 MW/h et un rendement de 86 %. Le dispositif permettra d'éviter l'émission de 76 000 tonnes de CO₂ par an, et représentera la substitution de 30 000 tep par an.

Le deuxième projet concerne la géothermie. L'Alsace possède le meilleur potentiel géothermique de France et grâce à un programme européen de recherche, le pilote de Soultz-Sous-Forêts a acquis depuis 20 ans un très grand savoir-faire en la matière. Notre projet consiste à réaliser un forage de 3,5 km de profondeur, à remonter l'eau chaude à 160-170°, puis, comme elle est très corrosive, à basculer la chaleur de cette eau sur de l'eau propre. Le site où les experts nous conseillent de creuser se trouve à 15 km de Beinheim, et nous devons donc créer une conduite d'eau chaude pressurisée sur cette distance. Notre amidonnerie sera modifiée de façon à pouvoir tirer parti de l'eau chaude, qui servira par exemple pour du séchage, avant d'être utilisée pour des cultures sous serres. L'ensemble représentera une capacité thermique de 24 MW/h. L'investissement est financé à 40 % par l'entreprise, à 40 % par Électricité de Strasbourg et à hauteur de 20 % par la Caisse des dépôts et consignations.

Nous avons également lancé un programme d'efficacité énergétique qui devrait nous permettre, en réduisant notre consommation énergétique, de faire passer la proportion d'énergies renouvelables de 75 à 90 %.

La chimie organique en 2100

Pour terminer, je voudrais vous proposer non pas une "prévision", car bien souvent les prévisionnistes se trompent, mais ce que j'appellerais une "expérience de pensée" sur ce que pourrait être la chimie organique en 2100, et sur le type d'énergie et le type de biomasse auxquels elle pourra alors recourir.

Le nucléaire de fusion

On estime que la somme des connaissances scientifiques et techniques de l'homme double tous les 7 ans, ce qui représente un accroissement de 10 % par an. À ce rythme, on peut calculer que la puissance technologique de l'humanité en 2100 sera 13 780 fois supérieure à celle de 2000. Il est très difficile d'imaginer ce dont nous serons capables alors, mais il paraît très probable que la technologie de la fusion nucléaire finira par être maîtrisée par l'humanité.

Cette rupture technologique nous permettra de disposer d'une source d'énergie à un prix extrêmement intéressant. Sachant que, grâce au progrès technologique, les prix de revient des produits diminuent d'environ 3 % par an en euros constants, il n'y a pas de raison que cette règle ne puisse pas

s'appliquer également à l'énergie. Selon ce calcul, si le MWh coûte 30 euros aujourd'hui, il devrait coûter 1,4 euro en 2100.

Le passage au nucléaire de fusion représentera également une énorme économie en termes de ressources naturelles. Pour produire l'équivalent de l'électricité fournie en un an par une centrale nucléaire de 900 MW, il faudrait brûler 6 millions de tonnes de biomasse. Si l'on recourait au charbon, il en faudrait 2,5 millions de tonnes, et 1,5 million s'il s'agissait de pétrole. Pour produire 900 MW avec le nucléaire de fission, on a besoin de 250 tonnes d'uranium par an ; pour le nucléaire de fusion, de seulement 150 kg par an.

Les microalgues

Aujourd'hui, la pétrochimie consomme 300 millions de tonnes de pétrole par an. Pour obtenir le même résultat et compte tenu des co-produits et de la présence d'oxygène à 50% dans la biomasse, la biochimie aurait besoin de 900 millions de tonnes de biomasse. Avec une hypothèse de triplement de la demande d'ici 2100, cela représenterait 2,7 milliards de tonnes de biomasse, ce qui, même en espérant fortement améliorer les rendements agricoles et forestiers, nous conduirait à une impasse.

Après avoir utilisé la pomme de terre, le maïs, le blé et le pois, nous nous tournons maintenant vers les microalgues. Pour l'instant, leur utilisation coûte cher et doit être réservée à des produits à haute valeur ajoutée, dans le domaine de la nutrition-santé : les utiliser pour fabriquer des produits chimiques ou des biocarburants n'aurait pas de sens à l'heure actuelle, sur le plan économique, mais il en ira sans doute différemment d'ici un siècle.

Les microalgues se cultivent dans des photobioréacteurs, c'est-à-dire d'immenses serpentins transparents remplis d'eau et disposés en rangées de plusieurs mètres de haut à l'intérieur de serres. L'intérêt de ces végétaux est qu'ils se multiplient par 4 toutes les 24 heures. En recourant à l'éclairage artificiel jour et nuit, on peut accroître leur productivité ainsi que la quantité cultivée au m² : le soleil n'éclaire qu'une couche de serpentins à la fois, alors qu'avec un éclairage artificiel, on peut superposer plusieurs photobioréacteurs. Mais le coût en énergie devient alors considérable dans les conditions actuelles de coût de l'électricité.

Mais dans le futur, en couplant la culture des microalgues à l'utilisation du nucléaire de fusion, que ce soit pour éclairer les photoréacteurs ou pour alimenter en électricité l'usine de biochimie, on peut atteindre un taux de productivité colossal. En elle-même, la culture des microalgues produit 30 fois plus de biomasse à l'hectare que l'agriculture telle qu'on la pratique actuellement. En utilisant la lumière artificielle pour éclairer les cultures jour et nuit, on arrive à un facteur 100, et si on superpose dix photoréacteurs les uns au dessus des autres, on peut atteindre une production de biomasse à l'hectare 1 000 fois supérieure à celle de l'agriculture actuelle.

Il nous faut actuellement 300 000 hectares pour alimenter l'usine de Lestrem. Avec ce dispositif, nous n'aurions plus besoin que de 300 hectares. Les co-produits ne seraient pas les mêmes qu'avec le blé ou le maïs, mais les produits, eux, seraient identiques. Ce procédé serait entièrement industriel, non émetteur de CO₂, non mobilisateur de terres agricoles, avec un cycle de production réduit à un mois seulement.

SÉANCE D'INSTALLATION DU NOUVEAU BUREAU

En termes alimentaires, ce serait également une révolution. Au temps de la préhistoire, il fallait plusieurs hectares pour qu'un homme puisse se nourrir, en recourant à la chasse et à la cueillette. En 1961, d'après les chiffres de l'INRA, la surface nécessaire pour nourrir un individu n'était plus que de 0,45 ha ; en 2003, grâce aux progrès de l'agriculture, elle est descendue à 0,25 ha. Si on divise cette surface par 1 000, on aboutit à 2,50 m², espace qui serait nécessaire pour assurer l'alimentation d'une personne à partir de microalgues.