

**Séminaire
Ressources Technologiques
et Innovation**

*organisé grâce aux parrains
de l'École de Paris :*

Algoé²
Alstom
ANRT
AREVA²
Cabinet Regimbeau¹
CEA
Chaire "management de l'innovation"
de l'École polytechnique
Chaire "management multiculturel
et performances de l'entreprise"
(Renault-X-HEC)
Chambre de Commerce
et d'Industrie de Paris
CNES
Conseil Supérieur de l'Ordre
des Experts Comptables
Crédit Agricole SA
Danone
Deloitte
École des mines de Paris
EDF
Entreprise & Personnel
ESCP Europe
Fondation Charles Léopold Mayer
pour le Progrès de l'Homme
Fondation Crédit Coopératif
France Télécom
FVA Management
Roger Godino
Groupe ESSEC
HRA Pharma
IDRH
IdVectoR¹
La Poste
Lafarge
Ministère de l'Industrie,
direction générale de la compétitivité,
de l'industrie et des services
OCP SA
Paris-Ile de France Capitale Economique
PSA Peugeot Citroën
Reims Management School
Renault
Saint-Gobain
Schneider Electric Industries
SNCF¹
Thales
Total
Ylios

¹ pour le séminaire
Ressources Technologiques et Innovation
² pour le séminaire Vie des Affaires

(liste au 1^{er} janvier 2010)

**LA CHIMIE ORGANIQUE SANS PÉTROLE :
LE DÉFI DE ROQUETTE FRÈRES**

par

Marc ROQUETTE
Président de la société Roquette Frères

Séance du 21 octobre 2009
Compte rendu rédigé par Élisabeth Bourguinat

En bref

La société Roquette Frères, à l'origine une fabrique d'amidon pour l'industrie textile, emploie aujourd'hui 6 000 personnes pour un chiffre d'affaires de 2,5 milliards d'euros ; elle est présente dans une centaine de pays. À partir de la pomme de terre, du blé, du maïs ou des pois, Roquette produit des polymères de glucose qui peuvent être utilisés aussi bien dans la nutrition-santé que dans la chimie végétale. Avec l'épuisement des ressources fossiles, d'immenses perspectives sont ouvertes à la chimie organique à base biomasse, qui va peu à peu se substituer à la pétrochimie. Tout l'enjeu est de bien cibler les molécules susceptibles de "basculer" les premières, en tenant compte des dimensions techniques, fonctionnelles et économiques. Mais Marc Roquette voit déjà plus loin : en 2100, et à condition que l'énergie soit devenue abondante et peu chère, comme semble le promettre le nucléaire de fusion, ce sont peut-être les micro-algues qui produiront une grande partie de nos plastiques... voire du contenu de nos assiettes.

*L'Association des Amis de l'École de Paris du management organise des débats et en diffuse
des comptes rendus ; les idées restent de la seule responsabilité de leurs auteurs.
Elle peut également diffuser les commentaires que suscitent ces documents.*

Ont participé : V. Archambault (Arendi consulting / Altran Research), M. Aribart (DGCIS / Bureau de la Chimie), A. Bastin (EFQM), A. Beaume (Altran Research), É. Bourguinat (Rédactrice indépendante), F. de Charentenay (ITAC), V. Charlet (ANRT – FutuRIS), C. Coron (Université Paris II), C. Dubois (Rudy et Dubois consultants), C. Elisséeff (École de Paris du management), P. Fournand (Algoe), T. Hernandez (3R), D. Jacquet (Université Paris X), Y. Jouot (MEIE / DGCIS), É. Krieger (HEC / Navidis), H. Lagarde (Fedel SA), F. Lamy (Unigrains), P. Lefebvre (École des mines de Paris), F. Lescure (Auriga Partners), J. Lévy (École des Mines), D. Lucquin (Sofinnova), J.-F. Molle (JFM Conseil), F. Pallez (École des mines de Paris), C. Riveline (École des mines de Paris), S. Thiriet (Air Liquide), T. Weil (Mines ParisTech), F. Weill (École de Paris du management).

EXPOSÉ de Marc ROQUETTE

Je suis un ancien de l'EDHEC, école de commerce de Lille, et depuis 2004, je suis président du groupe Roquette, qui compte un peu plus de 6 000 salariés, dont 2 400 à l'étranger, pour un chiffre d'affaires global de 2,5 milliards d'euros.

Nous avons fêté l'an dernier les 75 ans de l'entreprise, fondée par mon grand-père, Germain Roquette, et son frère Dominique, pour produire de la fécule de pomme de terre, que l'industrie textile du Nord de la France importait alors de Hollande. Le site d'origine, situé à Lestrem dans le Pas-de-Calais, occupe désormais 150 hectares et concentre encore à peu près 35 à 40 % de l'activité du groupe.

Roquette est implanté dans plusieurs pays d'Europe mais également aux États-Unis, en Chine, en Corée, et il a une participation minoritaire dans un groupe amidonnier indien. En France, nous avons quatre usines : outre l'amidonnerie de maïs et de blé de Lestrem, une féculerie dans la Somme, une amidonnerie de pois dans l'Aisne, et une amidonnerie de maïs et de blé à Beinheim, en Alsace.

Roquette est le deuxième producteur européen et le quatrième au plan mondial dans le secteur de l'amidonnerie et des produits amylicés ; il est leader mondial dans les matières premières pour injectables (1,5 million de personnes chaque jour sont perfusées avec des produits fabriqués par Roquette en France ou aux États-Unis) et leader mondial dans le domaine des polyols, ou sucres hydrogénés (sorbitol, mannitol, maltitol, xylitol...). Il bénéficie enfin d'une position très forte dans tous les excipients à base amidon pour la pharmacie, soit une soixantaine de produits différents. Au total, le groupe est présent commercialement dans plus d'une centaine de pays.

Le métier de Roquette

Notre métier consiste à produire des polymères de glucose à partir de différentes matières premières agricoles contenant de la fécule ou de l'amidon : la pomme de terre, mais aussi le maïs depuis l'après-guerre, le blé depuis les années 1950 et plus récemment le pois protéagineux. Une amidonnerie de blé ne peut pas fabriquer de l'amidon de maïs, mais le principe de base est cependant le même : on retire de la plante les éléments solubles, gras, cellulose et protéiques pour obtenir de la fécule ou de l'amidon. Le terme de fécule est employé à propos des plantes souterraines et celui d'amidon à propos des plantes aériennes, mais il s'agit de la même substance, désignée en anglais par le terme de *starch*. Au total, nous traitons 6 millions de tonnes de matières premières chaque année, provenant de 550 000 hectares de terres cultivées.

À partir de l'amidon et de la fécule, nous fabriquons plus de 200 produits différents qui se déclinent en plus d'un millier de références. Les amidons modifiés sont utilisés dans la papeterie, l'alimentation humaine, les colles à papier peint ; la dextrine, en papeterie et pour la fabrication de colles ; la malto-dextrine, pour l'alimentation infantile ; le sirop de glucose, pour la confiserie et les sodas ; le dextrose, pour les injectables ; les polyols, pour la fabrication de chewing-gums ou de chocolat sans sucre et pour les dentifrices ; les acides organiques sont utilisés comme antioxydants dans la charcuterie, comme retardateurs de prise pour le béton, ou comme complexants pour le lavage des bouteilles.

Le secteur de l'alimentation humaine représente 49 % de nos ventes ; la nutrition animale, 15 % ; le papier et le carton ondulé, 14 % ; la bio-industrie et la chimie, 11 % ; la pharmacie et la cosmétologie, 10 %, avec en particulier le sorbitol, rétenteur d'humidité qui permet d'éviter que les pâtes dentifrices se dessèchent : dans les pâtes dentifrices blanches, on trouve 25 % de sorbitol issu du maïs ou du blé, et dans les pâtes transparentes, jusqu'à 70 %.

Les raisons du succès

À l'occasion du soixante-quinzième anniversaire de l'entreprise, nous avons essayé de comprendre ce qui pouvait expliquer son succès. J'y vois deux raisons principales.

La première tient à l'extraordinaire potentiel de notre métier. Les deux fondateurs ne se sont pas rendu compte qu'ils mettaient au cœur de l'entreprise ce que l'on peut considérer comme la molécule de la vie : le glucose. Issu de la photosynthèse, le glucose est transformé par les systèmes enzymatiques des végétaux en lipides, polymères, protéines, vitamines, etc. Mais tout commence par cette molécule, qui est également à la base de la pétrochimie, car le pétrole et le gaz proviennent de la sédimentation de micro-algues et le charbon provient du bois. On peut considérer que toute la pétrochimie repose, comme la végétochimie, sur l'exploitation du glucose, mais un glucose qui a été synthétisé il y a des millions ou des centaines de millions d'années. Notre métier consiste à exploiter cet énorme potentiel du glucose en dehors des matières premières fossiles. Nous avons l'impression, malgré le développement déjà considérable de notre filière, de n'en avoir encore exploré qu'une faible partie.

Le deuxième facteur du succès tient aux hommes qui ont fait vivre l'entreprise. Quand elle a été créée, il existait 80 féculeries en France, et il n'en reste que deux. Les deux fondateurs, accompagnés de l'ingénieur Grünewald, ont imprimé à l'entreprise une culture basée sur le respect et la confiance, qui est toujours bien présente aujourd'hui, et se caractérise aussi par le goût de l'innovation : nous menons des activités de R&D depuis 1951 et elles sont dotées aujourd'hui d'un budget de 40 millions d'euros et de 250 chercheurs.

Prospectives sur l'évolution de la chimie organique

En 1998, le Département américain de l'énergie a publié un graphe sur l'évolution du rôle de la biomasse comme matière première pour la chimie organique, ce terme de biomasse recouvrant aussi bien la canne à sucre que le maïs, le blé, ou encore la cellulose. Selon cette étude, la part de la biomasse devrait passer de 7 % en 2000 à 50 % en 2050, et à 80 % en 2100.

Le basculement de la pétrochimie vers la chimie végétale

J'ai la conviction que cette évolution a déjà démarré et j'en vois plusieurs signes précurseurs. Quand j'ai débuté ma carrière, en 1977, on transformait encore des millions de mètres cubes d'éthylène en éthanol, synthon de base pour la chimie organique. Aujourd'hui, la totalité de l'éthanol est produite à partir des céréales, ou du sucre de canne ou de betterave. Au Brésil, où le prix de la biomasse est le plus compétitif, on commence même à fabriquer de l'éthylène à partir de l'éthanol, en lui retirant une molécule d'eau. Autre exemple : en 1977, l'acide lactique était fabriqué pour moitié à partir de pétrole, et pour moitié à partir de sucre ; aujourd'hui, la production d'acide lactique a fortement augmenté, mais uniquement au bénéfice de la fabrication à base de biomasse.

L'évolution des prix du blé et du pétrole

Un autre indice est l'évolution comparée, depuis 1950, des prix du blé et du pétrole, exprimés en dollars par tonne (non corrigés de l'inflation). Pendant la période précédant le choc pétrolier de 1973, le blé coûtait de 4 à 6 fois plus que le pétrole. À partir de 1980, le pétrole a toujours été plus cher que le blé, sauf en 1995. Sur l'ensemble de la période, entre 1950 et 2009, le prix du blé a été multiplié par 2,8 et celui du pétrole par 40.

En 2008, le prix du baril a atteint le record historique de 140 dollars, soit 950 dollars la tonne, tandis que le prix du blé montait lui aussi fortement, pour atteindre 300 dollars la tonne. Pour la première fois, on observait un facteur trois entre le prix du pétrole et celui du blé, facteur

intéressant car on le retrouve entre le contenu énergétique du pétrole (12 mégawatts par tonne) et celui du blé (4 mégawatts par tonne). En d'autres termes, on a observé cette année-là, pour la première fois, un rapport entre le prix de ces deux matières premières et leur contenu énergétique.

Depuis, le prix du pétrole a fortement baissé, mais celui du blé a baissé également, en sorte que le rapport de 1 à 3 s'est maintenu. Pour certains produits, il devient donc économiquement possible de passer de la pétrochimie à la chimie végétale. Quand les chimistes travaillent à partir du pétrole, qui ne contient pas d'oxygène, ils doivent prélever celui-ci dans l'atmosphère, où il existe en quantité, pour le fixer sur les molécules. Quand ils travaillent à partir de la biomasse, qui comprend en moyenne 50 % d'oxygène, ils doivent rejeter l'oxygène dans l'air lorsqu'il est en excès dans la matière première, et ils ne sont pas pénalisés pour cela. Selon la fonctionnalité que l'on veut obtenir et les *chemical pathways* (processus chimiques) envisageables, il peut être préférable de partir du pétrole ou plutôt de la biomasse. C'est le critère économique qui est déterminant.

Un métier de turfiste

Le métier d'un industriel qui s'intéresse à la chimie du végétal présente des similitudes avec celui d'un turfiste. Si l'on compare les produits de la pétrochimie avec des chevaux, on peut estimer que le "corral" de la pétrochimie contient 300 000, 400 000 ou peut-être même un million de chevaux. Celui de la chimie végétale n'en contient encore que 20 000 ou 30 000. Tôt ou tard, tous les chevaux du premier corral vont passer dans le second, mais il est très difficile de prédire dans quel ordre. Tout l'enjeu de notre métier est là : identifier les prochaines molécules qui basculeront de la pétrochimie vers la chimie du végétal.

Nous pensons que certaines molécules sur lesquelles nous avons misé sont plutôt bien placées. L'acide succinique est actuellement fabriqué à partir de pétrole, mais nous avons le projet, avec la société DSM, de le fabriquer en partant du glucose, et nous ne sommes pas les seuls à penser que le prix de revient de l'acide succinique sera plus compétitif avec ce processus. Nous travaillons également depuis de nombreuses années sur l'isosorbide, un dérivé du sorbitol, et nous avons déjà déposé quelques brevets sur la purification de cette molécule, particulièrement délicate. Il s'agit, comme l'acide succinique, d'une molécule "plateforme", que l'on peut modifier de multiples façons pour fabriquer par exemple des disques laser (avec 60 % d'isosorbide) mais aussi des verres de lunettes, des écrans d'ordinateur, des solvants, ou encore des plastiques souples.

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 et la plus émissive qui soit. 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 abondamment recours aux énergies renouvelables, comme l'hydroélectricité ; on pourra également se tourner vers 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 correspondante. 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, nous aurons doublement intérêt à passer à l'électricité nucléaire : son prix sera très compétitif par rapport à celui du pétrole, et comme nous savons utiliser les mégawatts électriques de façon beaucoup plus économique que les mégawatts vapeur, nous devrions réduire notre consommation d'énergie de 20 % en passant au tout électrique. Par ailleurs, recourir à l'électricité nucléaire nous permettra de cesser complètement d'émettre du gaz carbonique, alors que nous émettons actuellement 1 million de tonnes de CO₂ par an.

Pour toute la partie exploitation de la biomasse, le cycle de production sera inférieur à deux ans. Du point de vue des "âges" de l'humanité, la chimie organique de 2050 correspondra à l'âge de l'agriculture pour ce qui concerne la matière première, 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 le nucléaire.

Les programmes GAÏAHUB® et BIOHUB®

Nous sommes très motivés pour aller dans le sens de cette évolution et nous avons lancé, dans ce but, deux grands programmes de recherche.

GAÏAHUB®

L'objectif du 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 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®, a été soutenu dans un premier temps par l'AI (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.

La recherche collaborative

BIOHUB[®] est un programme de recherche collaborative réunissant des universités mais également une quinzaine d'autres entreprises. Cette démarche, obligatoire pour participer aux programmes de l'AII, a représenté une petite révolution pour notre entreprise, et nous a amenés à comprendre que dans un monde de plus en plus complexe, on ne peut pas réunir à soi tout seul tous les ingrédients pour être pertinent sur le marché.

Très rapidement, nous avons lancé un autre programme, ALGOHUB[®], dans le domaine de la nutrition-santé à partir des micro-algues, avec à nouveau une quinzaine de partenaires industriels. Nous sommes en train de multiplier les accords de ce type. Parmi les produits résultant de ces diverses recherches, on peut citer les polymères techniques, les films agricoles, les plastifiants, les PVC pour tubes et revêtements de sols, les résines, les solvants, les fluxants pour les bitumes, etc.

L'usine de Beinheim

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, 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, avec 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 (tonnes d'équivalent pétrole) 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 site 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 kilomètres 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 kilomètres 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, ainsi que 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 sera 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 MW/h 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 micro-algues

Aujourd’hui, la pétrochimie consomme 300 millions de tonnes de pétrole par an. Pour obtenir le même résultat et compte tenu des coproduits et déchets, la biochimie aurait besoin de 900 millions de tonnes de biomasse. En partant d’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 micro-algues. 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 micro-algues 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 plantes est que leur volume se multiplie 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 par mètre carré : 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.

En couplant la culture des micro-algues 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 micro-algues 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 coproduits 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.

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'Institut national de recherche agronomique, la surface nécessaire pour nourrir un individu n'était plus que de 0,45 hectare ; en 2003, grâce aux progrès de l'agriculture, elle est descendue à 0,25 hectare. Si l'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 micro-algues.

DÉBAT

Plastiques biodégradables et plastiques biosourcés

Un intervenant : *Les plastiques issus de la chimie végétale présentent-ils les mêmes caractéristiques que ceux produits par la pétrochimie ?*

Marc Roquette : Lorsqu'on a commencé à parler de l'utilisation de l'amidon pour fabriquer des plastiques, beaucoup de gens se sont dit : « *Puisque ces plastiques seront fabriqués à partir des plantes, ils seront biodégradables.* » C'est une erreur : l'origine de la matière première ne dit rien sur la biodégradabilité du produit. On peut fabriquer des plastiques biodégradables à partir du pétrole et des plastiques non biodégradables à partir de l'amidon. La biodégradabilité d'un plastique, c'est-à-dire sa capacité à être transformé par des micro-organismes, nécessite de l'eau ; or, le plastique est un répulsif de l'eau. Pour qu'il soit biodégradable, il faut d'abord le rendre friable, ce qui ne convient pas à tous les usages du plastique : les composants en plastique destinés à l'automobile, par exemple, doivent pouvoir durer plusieurs années. La sœur d'un collaborateur, qui est pharmacienne, a voulu acheter des sachets biodégradables pour son officine. Elle en a commandé une grande quantité et a rangé l'essentiel du stock au grenier. Au bout de six mois, elle y est retournée et il n'y avait plus de sachets : ils étaient effectivement biodégradables...

Comme les débouchés des plastiques biodégradables sont relativement peu nombreux, nous faisons porter nos efforts plutôt sur les plastiques "biosourcés", c'est-à-dire fabriqués à partir de biomasse et n'entraînant donc pas d'émission de CO₂ fossile.

Nous avons actuellement des discussions intéressantes avec le CEA, qui souhaite promouvoir la fabrication de carburants à partir de la biomasse ou de déchets ménagers riches en carbone. Cela pourrait constituer une solution pour le kérosène, qui sera très difficilement substituable. De cette façon, nos produits auraient un double cycle de vie : d'abord sous forme de plastique, puis sous forme de carburant.

La contribution climat-énergie

Int. : *Lorsqu'une tonne de pétrole sert à fabriquer du carburant, elle est soumise au paiement d'une contribution climat-énergie, mais pas lorsqu'elle sert de matière première pour la pétrochimie. Cette disposition ne vous est pas favorable.*

M. R. : Vous avez parfaitement raison. Nous sommes également pénalisés par les droits de douane, qui frappent les produits agricoles plus durement que les produits pétroliers. Quand l'Europe est excédentaire en maïs et que le prix mondial est relativement élevé, il n'y a pas trop de distorsion de concurrence. En revanche, quand les récoltes sont faibles en Europe, la distorsion est très importante par rapport à nos concurrents mondiaux. Si l'on veut encourager la chimie organique à base biomasse, il faudrait remédier à ces deux problèmes : s'assurer que

nous puissions bénéficier des mêmes prix que nos concurrents situés en dehors de l'Union européenne ; taxer le pétrole en tant que matière première et pas seulement en tant qu'énergie. Même lorsqu'il sert à faire du plastique ou des produits chimiques, le pétrole finit toujours par être brûlé et il émet alors du CO₂ fossile.

L'ordre des chevaux

Int. : *Comment vous assurer de la robustesse de vos prévisions en ce qui concerne l'ordre dans lequel les synthons de base passeront de la pétrochimie à la biochimie ?*

M. R. : Sur certains produits, c'est déjà une évidence. Plus personne, aujourd'hui, ne songerait à investir dans l'éthanol à base d'éthylène. Il en va à peu près de même pour l'acide lactique et l'acide succinique. Une fois que le basculement a eu lieu, c'est sans retour. Toute la difficulté porte sur l'identification des molécules qui sont en train de basculer.

Int. : *Existe-t-il des lois fondamentales de la chimie ou de l'économie qui définiraient l'ordre de basculement ?*

M. R. : Si l'on écarte les distorsions qui peuvent être liées à la réglementation, on retrouve effectivement des lois basiques : plus le *chemical pathway* est simple et moins il demande d'énergie, plus le processus est compétitif.

Int. : *Un rapport de 1998 du Département à l'énergie américain a identifié de façon certaine les 12 molécules qui seront les premières à basculer. Il reste à régler un certain nombre de problèmes technologiques, concernant en particulier la fermentation en gros volumes. Mais la liste de ces molécules est connue et partagée, sinon absolument robuste.*

Int. : *L'ordre d'arrivée ne dépend-il pas également de la hiérarchisation des attentes du marché ? Quels sont, d'après vous, les marchés sur lesquels il faut intensifier l'innovation en priorité ?*

M. R. : Dans le secteur de la nutrition-santé, il est clair que le potentiel des micro-algues est bien plus important que celui de nos autres matières premières. Autrefois, les gens voulaient des calories pour se nourrir ; ensuite, ils ont voulu des calories pour se nourrir, mais aussi pour le plaisir gustatif ; aujourd'hui s'y ajoute le soin de leur santé, et dans ce domaine, le potentiel des micro-algues est immense.

En ce qui concerne la chimie du végétal, nous partons d'une situation dans laquelle le marché est déjà servi, que ce soit par exemple en méthionine ou en acide succinique. Nous raisonnons surtout en termes de substitution, même si, dans certains cas, nous pouvons offrir des performances supérieures. Je pense par exemple à l'isosorbide, qui semble avoir de meilleures propriétés de transparence que son équivalent en base pétrole. Certains produits de la végétalchimie peuvent également présenter une plus grande compatibilité que les produits pétroliers dans les alliages avec des produits naturels.

L'avance des États-Unis

Int. : *Dans votre exposé, vous n'avez pratiquement pas cité les États-Unis. Pourtant, 80 % des brevets concernant la bioénergie et les micro-algues sont déposés par des Américains, que ce soit dans le monde académique ou dans les start-ups. Pouvez-vous vous permettre de faire cette impasse ?*

M. R. : J'ai expliqué que l'approche collaborative était une découverte récente pour nous, mais à laquelle nous adhérons avec enthousiasme. Nous sommes en train de multiplier les partenariats, y compris avec des entreprises américaines. Il est certain qu'ils ont un temps d'avance sur nous en matière de recherche, mais le basculement de la pétrochimie vers la végétalchimie est un phénomène de très grande ampleur, et une société comme la nôtre ne

pourra être pertinente que si elle sélectionne quelques molécules sur lesquelles elle se concentrera. Pour l'isosorbide, par exemple, nous bénéficions d'une certaine avance, car il y a très longtemps que nous travaillons sur le sorbitol et nous possédons un certain nombre de brevets dans ce domaine, dont un que nous sommes allés acheter aux États-Unis.

En ce qui concerne les brevets déposés sur les micro-algues par les Américains, je reste un peu dubitatif. Il existe peut-être cinquante ou cent sociétés différentes dont la stratégie consiste à fabriquer du Diester® à base de micro-algues. Je ne garantis pas qu'investir sur ces sociétés soit très rentable. La perspective de produire 30 fois plus d'huile à l'hectare avec des micro-algues qu'avec un champ de colza éblouit tout le monde, comme la lumière attire les insectes, mais cela ne veut pas dire pour autant que l'huile en question coûtera moins cher que l'huile de colza ou l'huile de palme. Pour le moment, il est plus raisonnable de réserver l'usage des micro-algues à des produits à forte valeur ajoutée.

La concurrence sur les terres agricoles

Int. : *En 2050, il faudra nourrir 9 milliards d'êtres humains, or, dans les pays d'agriculture intensive, le taux de stérilisation des terres arables ne cesse de s'accroître. En même temps, on dit qu'il faudrait 4 fois la superficie agricole de la France pour produire en éthanol ce que l'on consomme en pétrole, sans parler des ressources nécessaires pour remplacer les plastiques et autres produits dérivés du pétrole. Comment envisagez-vous de sécuriser vos approvisionnements ? Ne serait-il pas prudent d'acheter quelques milliers d'hectares en Argentine ?*

M. R. : Toutes les entreprises qui s'intéressent à la végétochimie prennent ce problème très au sérieux. Nous réfléchissons actuellement à la façon de renforcer nos partenariats amont, d'autant que certains de nos concurrents sont des coopératives agricoles. Cela dit, la concurrence introduite par la végétochimie n'a pas que des inconvénients : lorsque la demande augmente, les prix montent et les agriculteurs ne s'en trouvent pas plus mal.

En revanche, nous ne sommes guère convaincus de l'intérêt des biocarburants, quel que soit le type de biomasse avec lequel on les fabrique. Notre usine de Beinheim produit 100 000 tonnes d'éthanol, mais nous ne nous sommes lancés dans cette voie que sous la pression du gouvernement et de l'Union européenne. Nous avons d'ailleurs monté un projet relativement limité, en essayant de réduire au maximum les émissions de CO₂.

Nous suivons avec beaucoup d'intérêt l'expérience de Renault, qui travaille sur un projet de voiture électrique qui serait vendue sans batterie : dans les stations-service, un robot enlèverait la batterie vide et la remplacerait par une batterie chargée. C'est sans doute vers ces solutions que nous nous dirigeons : en matière de transports, l'électron ira sans doute beaucoup plus loin que le carbone, à condition, bien sûr, que l'on développe fortement le nucléaire. Comment faire face aux besoins à venir sans cela ? En 2050, avec 9 milliards d'individus, le PIB mondial sera multiplié par 4 et la consommation énergétique par 2, à condition toutefois d'avoir considérablement accru l'efficacité énergétique entre-temps. Comment doubler la production mondiale d'énergie ? J'aime citer la phrase de Jean Monnet : « *Les hommes n'acceptent le changement que s'ils en voient la nécessité et ils n'en voient la nécessité que dans la crise.* » Sans doute faudra-t-il attendre que la crise s'aggrave encore pour que l'on comprenne que si l'on veut répondre au défi énergétique, il faudra donner une plus grande place au nucléaire.

Les affaires de famille

Int. : *Une recherche menée par des élèves de l'École des mines de Paris a montré que dans la course à l'efficacité des entreprises, les affaires de famille comme Michelin, L'Oréal, PSA, Bouygues, Lagardère venaient en tête, suivies par les entreprises à forte personnalité technologique, comme Air Liquide ou Essilor. Votre société jouit de ces deux atouts. Cette étude a cependant mis en évidence un talon d'Achille dans les entreprises familiales : celles qui sont dirigées par des membres de la famille sont plus fragiles que celles qui sont pilotées par des dirigeants salariés. Qu'en est-il chez vous ?*

M. R. : On dit que lorsqu'une entreprise familiale a réussi à atteindre la quatrième génération, le cap le plus difficile est passé. À 5 actionnaires, on s'entend ; quand on est 200, on vote ; mais entre les deux, à 50, c'est parfois du "n'importe quoi". Il faut passer par l'étape où l'on abandonne les "droits de branche", les "droits au fauteuil", et où l'on se dirige vers la démocratie ; je milite activement pour ces évolutions.

Cela dit, il est de tradition dans notre société de nous appuyer énormément sur des collaborateurs talentueux, comme l'ingénieur Grünewald dans les débuts. Depuis quelque temps, nous avons pris l'habitude de désigner un président familial et un directeur général non familial. Il s'agit actuellement de Guy Talbourdet, qui vient de chez Faurecia et avait travaillé auparavant chez Valeo.

Les actionnaires institutionnels

Int. : *Les développements que vous envisagez vont demander des investissements très importants. Quelle est la part des actionnaires institutionnels dans votre capital ? Ne risque-t-elle pas de devoir augmenter, et de contribuer à faire évoluer les orientations de votre entreprise ?*

M. R. : Actuellement, le capital est entièrement entre les mains de la famille. Dans les années 1960-1970, nous avons cédé 25 % des actions à Rhône-Poulenc. Nous les avons toutes rachetées en deux étapes, en 1986 et en 1993. La chimie de spécialité est à l'évidence plus compatible avec un capitalisme familial que la chimie de commodités. À l'heure actuelle, il n'y a pratiquement plus d'entreprises familiales dans la pétrochimie de masse, alors qu'il en reste un nombre non négligeable dans la chimie de spécialité.

L'un des intérêts de la recherche collaborative est de mutualiser les dépenses, tout en permettant à l'entreprise d'accroître ses connaissances, de bénéficier d'opportunités et de déceler des potentiels de rentabilité plus forte : plus nous serons rentables, et plus nous aurons de chance de rester indépendants. De ce point de vue, l'État ne nous a jamais autant aidés qu'actuellement, que ce soit à travers nos deux programmes BIOHUB[®] et ALGOHUB[®], les projets lancés dans le cadre des pôles de compétitivité, le complément apporté par le crédit d'impôt recherche, ou encore la suppression prochaine de la taxe professionnelle.

Présentation de l'orateur

Marc Roquette : diplômé de l'EDHEC, président de Roquette Frères depuis 2004, membre de l'Académie des Technologies.

Diffusion janvier 2010