NEW PERSPECTIVES OF EUROPEAN OLEOCHEMISTRY
LES NOUVELLES PERSPECTIVES DE L'OLÉOCHIMIE EUROPÉENNE

De l'oléochimie à la bioraffinerie : continuité de développement pour le secteur des corps gras ?

Jean-François Rous* et Groupe Avril

11 rue de Monceau, CS 60003, 75378 Paris Cedex 08, France

Reçu le 31 mars 2016 – Accepté le 17 mai 2016

Résumé – L'oléochimie est une science très ancienne dont l'objectif est de transformer les corps gras animaux ou les huiles végétales pour produire des molécules chimiques, telles que des alcools gras, des acides gras, des esters plus ou moins complexes, entrant dans de multiples applications telles que les savons, les lubrifiants, les tensio-actifs, les agents de rhéologie, et bien d'autres applications. Depuis le début des années 90, grâce au développement des technologies et notamment à la transposition dans le domaine des huiles et corps gras de technologies préalablement développées pour la pétrochimie (comme la métathèse par exemple (Poels EK, Moulijn JA, Sibeijn MJ. 1994. *Am. Oil Chem. Soc.* 71: 553)), cette science évolue pour produire des molécules de plus en plus complexes, et notamment des intermédiaires de synthèse qui entrent dans la préparation de polymères (par exemple des acides dimères, ou des diacides, qui sont modifiés -ou pas- en diols ou diamines ou autres molécules bifonctionnelles de type amino-acides). La bioraffinerie quant à elle, à l'instar de la raffinerie, vise à développer le meilleur usage possible des différentes fractions d'une plante. Le premier exemple (et meilleur à ce jour) est l'amidonnerie, qui au-delà du développement des dérivés de l'amidon, fractionne complètement la graine de blé ou de maïs afin d'en tirer le maximum de valeur possible. Bien qu'un certain nombre de développements aient été menés depuis quelques années, les unités de trituration et raffinage des graines oléagineuses sont encore loin de s'apparenter à ce degré de fractionnement. L'objectif de cet article est de montrer que même si les développements successifs des usages faisables à partir des corps gras et des huiles ont suivi des choix parfois politiques, il n'en reste pas moins que ces choix ne peuvent être considérés que comme des « déclencheurs » et qu'à termes c'est la capacité que ces unités auront à générer de la valeur qui permettra d'assurer leur pérennité dans le temps.

Mots clés : Oléochimie / bioraffinerie / huile végétale / protéines / lignocellulose / histoire

Abstract – **From oleochemistry to the biorefinery: a continued development of the fats sector?** The transformation of fatty materials (animal fat or vegetable oils) has been known for centuries. These transformations result in molecules such as fatty alcohols, fatty acids, esters which are used in soaps, lubricants, surfactants, rheology modifiers and many other applications. Since the beginning of the 1990s, thanks to the development of new technologies, and in particular, the transposition to the vegetable oil and fat sector of technologies developed for the petrochemicals industry (such as metathesis for instance (Poels EK, Moulijn JA, Sibeijn MJ. 1994. *Am. Oil Chem. Soc.* 71: 553)), this science has progressed to produce increasingly complex molecules, most notably chemical intermediates which are used for the preparation of polymers (for instance, dimers, diacids, which can be modified in diols, diamines or other bifunctional molecules such as amino-acids). The "bio-refinery", like the oil refinery, aims to maximize the value generated from these raw materials (the different fractions of the oil plant: seed, straw, side stream products...). The prime example (and the best as of today) is the starch industry, which transforms the complete wheat or corn seeds to exploit all the fractions of the seeds. Though some new developments have been made over the past few years, the crushing and oil refining units have not yet reached such a level of seed fractionation, as for example, the protein part of the oil seeds (which represent around 55% of the entire seed) is only used as bulk material for feed compound. This article seeks to show that even if the different developments of oil and fat products have followed, sometimes, certain political choices, these developments have to be considered as triggers for this industry, and its future lies now in the ability to develop sustainable and economically viable activities around the valorization of the entire oil plant.

Keywords: Oleochemistry / biorefinery / vegetable oil / proteins / lignocellulose / history

* Correspondance : jean-francois.rous@groupeavril.com

oléochimistes de pouvoir élargir le champ des possibilités. Cela est d'autant plus pertinent lorsque l'on part de molécules possédant différents sites réactionnels telles que celles présentes dans les huiles métropolitaines (colza et tournesol).

L'enjeu aujourd'hui consiste, pour les oléochimistes à produire des solutions pour lesquelles le ratio Coût/Bénéfice sera largement inférieur à 1.

1.2 L'opportunité des développements technologiques

1.2.1 L'oléochimie et la biotechnologie industrielle

La biotechnologie industrielle repose sur l'utilisation de micro-organismes afin de produire des molécules d'intérêt, le plus souvent pour produire des molécules que l'on n'arrive pas à produire par des voies chimiques (plus classiques). Cette science a vu le jour de façon importante pour la production de molécules présentant un caractère de chiralité. Les micro-organismes (et par extension les enzymes) ont souvent la capacité de faire naturellement le choix de l'une ou l'autre des formes énantiomériques. Cela a commencé par les besoins de l'industrie pharmaceutique et a donc naturellement poursuivi son développement pour les applications plus industrielles. Cependant, pour certains domaines, c'est une science là aussi très ancienne. Les levures sont utilisées depuis très longtemps dans la panification ou la production de bière, les champignons dans la production de fromage et bon nombre d'autres usages.

Alors tout naturellement la chimie s'est emparée de cette technologie afin d'essayer de produire des molécules d'intérêt, que ce soit pour la production de médicaments ou de vitamines et par extension pour la production de molécules à usage industriels. Même si cela apparaît comme une évolution naturelle des technologies, il n'en reste pas moins qu'à ce stade le nombre de développement au stade industriel est relativement limité : l'acide succinique par différents acteurs (Reverdia, 2016; Bioamber, 2016; Succinity, 2016), le farnésène par Amyris (Amyris, 2016), le 1,3-PDO par Dupont (DuPont, 2016), le D18:1 par Cathay Biotech (Cathay Biotech, 2016), et quelques autres développements. Cela peut paraître relativement peu, mais il ne faut pas oublier que cette technologie, appliquée aux molécules à usage industriel n'a vraiment commencé que dans les années 70. Alors que représentent 40 années, en comparaison des 150 ans de la pétrochimie ou des plusieurs centaines d'années de l'oléochimie et de la fermentation ? Le potentiel de développement de cette technologie pour les applications industrielles est certes important, encore faut-il trouver les bonnes cibles.

En ce qui concerne le secteur des corps gras, trois domaines d'activité peuvent être envisagés :

- la production d'huile par voie fermentaire,
- la bioconversion d'huile (ou d'acide gras ou d'ester) en molécules d'intérêt,
- la transformation du glycérol en molécules complexes.

Pour ces 3 domaines, on peut soit trouver des levures, des bactéries ou même des champignons (plus rares) et plus récemment des micro-algues.

Quelques exemples (connus) existent à différents niveaux de développement. Concernant la production d'huile par voie

Fig. 2. Métathèse.

fermentaire, on trouve de nombreux travaux à partir de la levure *Yarrowia lipolytica* menés par de multiples équipes de recherche qui visent à développer notamment des huiles pour biocarburants ou comme matière première pour la chimie (Thevenieau *et al.*, 2008; Papanikolaou *et al.*, 2009). Sur le plan industriel, on peut citer les développements de la société Dupont pour la production d'EPA (Xie *et al.*, 2015), ou les travaux de la société Solazyme à partir de micro-algues pour produire différentes sortes de triglycérides (Solazyme, 2016). Concernant la bioconversion en molécules d'intérêt, on peut citer les travaux de multiples équipes autour de la production de biosurfactants par exemple (sophorolipides (de Oliveira *et al.*, 2015), rhamnolipides (Kamaljeet, 2014), ...), ou ceux de la société Cathay Biotechnology sur la production de diacides à chaîne longue, à partir notamment de *Candida tropicalis* (Picataggio *et al.*, 1992). Enfin, concernant la bio-transformation du glycérol en molécules complexes, on peut citer les travaux de la société Metabolic Explorer qui visent à produire du 1,3-propanediol (1,3-PDO) à partir de glycérine brute (Metabolic explorer, 2016). D'autres travaux visent notamment à produire une molécule plateforme potentiellement intéressante, le 3-HPA (acide 3-hydroxypropionique), ouvrant la voie à de multiples développements dans le domaine des polymères (Krauter *et al.*, 2012).

Force est de constater cependant que les développements industriels sont à ce stade encore peu nombreux, du fait principalement d'un manque de compétitivité de ces produits.

1.2.2 L'oléochimie et la métathèse

La métathèse (Fig. 2) est une technique relativement ancienne mise au point pour la production de polyoléfines. Elle a donné lieu à l'obtention d'un prix Nobel de chimie attribué à Robert Grubbs, Richard R. Schrock et bien sûr Yves Chauvin (Nobel Prize, 2005).

Depuis quelques années, des travaux ont été menés à partir des huiles végétales (et plus particulièrement des huiles riches en acide oléique) afin de produire des multiples molécules. Sur le plan industriel, le leader dans ce domaine est la société Elevance (Fig. 3) qui développe ainsi un concept complet de bioraffinerie basée sur la métathèse (Elevance, 2016).

La société Arkema a réalisé de nombreux travaux de son côté autour de la métathèse pour la production notamment d'acides α -amino-alcanoïques, sans pour autant conduire encore à ce jour à d'importants développements industriels à partir de ces travaux (US Patent, 2016).

Une autre approche de la métathèse consiste par exemple à réaliser une réaction d'homométathèse, à savoir une réaction

Fig. 3. Arbre de molécules obtenues par métathèse. Source Elevance.

visant à faire réagir ensemble 2 molécules d'acide oléique (ou de l'ester correspondant) pour donner le diacide D18:1 d'une part et l'oléfine en C18 contenant une double liaison en position 9 d'autre part. Là encore, cependant, les développements industriels mettant en œuvre cette approche n'ont pas, pour l'instant, vu le jour.

La métathèse (ou l'homométathèse) constitue une technologie extrêmement prometteuse pour les huiles végétales insaturées. Les travaux, bien que nombreux, n'en sont encore qu'au début (en comparaison de la métathèse des oléfines). Il faut très clairement poursuivre dans cette voie, résoudre les problèmes liés à la diversité de la matière première, à la chiralité des doubles liaisons d'origine végétale (*cis* ou *trans*), au coût de production de molécules d'intérêt pour le secteur des polymères. Si on veut que les huiles végétales (et les acides gras à longue chaîne) jouent un rôle important dans la chimie des polymères, il faut pouvoir accéder à des multiples monomères à des coûts raisonnables. La métathèse est un moyen majeur pour cela.

2 La bioraffinerie oléagineuse : de la richesse des graines métropolitaines

2.1 Quelques éléments de réflexion

La production mondiale d'huiles végétales est en pleine croissance, et ce pour suivre principalement le développement de la population mondiale. La majeure partie de cette croissance en huile végétale est due principalement au fort développement de l'huile de palme (Fig. 4).

D'un autre côté, la production mondiale de soja est, elle aussi, en pleine croissance, et ce pour suivre également l'accroissement de la population mondiale (*via* l'alimentation animale), puisqu'il s'agit de la principale source de protéine (le soja a un taux de 18 % d'huile et 82 % d'un tourteau riche en protéines). Ce développement entraîne donc aussi un développement de l'huile de soja, co-produit de la production du tourteau. Les productions de colza et de tournesol, quant à elle, sont relativement stables au niveau mondial depuis quelques années, voire même en légères réductions (proportionnellement), du fait notamment du coup de frein donné en Europe aux biocarburants.

Les 2 principales espèces « concurrentes » des espèces métropolitaines (colza et tournesol) sont ou bien principalement productrice d'huile (le palme) ou bien principalement productrice de protéines (le soja). Nous avons la chance, en Europe,

Fig. 4. Croissance mondiale des principales huiles végétales. Source : Malaysian Palm Oil Council (MPOC).

de disposer d'espèces contenant de l'ordre de 40–45 % d'huile et de l'ordre de 55–60 % de matières solides, riches en protéines. Cependant, pour diverses raisons (principalement la faible valeur relative du tourteau par rapport à la valeur de l'huile), les industriels du secteur se sont prioritairement focalisés sur le développement des usages à partir de l'huile. Ils ont ainsi amené les semenciers à optimiser le taux d'huile dans les graines *via* la sélection variétale. La partie solide résiduelle, le tourteau, trouve une certaine place, mais insuffisamment valorisée alors qu'il permet de réduire d'autant les importations en tourteaux de soja en provenance des Amériques du Nord et du Sud : 40 % d'importations en moins grâce au développement des biocarburants depuis les années 1990.

Cette attitude (obtention du maximum d'huile possible, partie ayant la plus forte valeur) a conduit à développer des procédés (de trituration) extrêmement efficaces pour aller extraire le maximum d'huile de la graine, mais cela se fait au détriment de la qualité de la fraction protéique. En effet, le chauffage tout d'abord, l'extraction à l'hexane ensuite, et enfin la désolvantation, contribuent fortement à la dénaturation des protéines présentes dans la graine. Cela induit une matière protéique de plus faible valeur par rapport au potentiel présent. Cette valorisation insuffisante rend peu attractif le développement de nouvelles technologies permettant d'extraire préférentiellement les protéines de cette matière résiduelle. Il est vrai que la graine de colza (cela est moins le cas pour le tournesol) est un véritable « coffre-fort ». Elle est extrêmement compacte, rendant compliqué d'une part l'extraction de l'huile (besoin de prétraitement thermique et de solvant pour extraire le maximum d'huile) et d'autre part la séparation entre les protéines et les fibres. Les technologies à mettre en œuvre pour extraire ces protéines sont de fait complexes, ce qui rend encore plus hypothétique l'intérêt pour le monde industriel. Cela est cependant moins compliqué s'agissant du tournesol, notamment lorsque celui-ci est décortiqué avant la trituration.

Afin de palier cela, nous devons repartir « à la planche à dessin » de façon à fractionner la graine pour permettre simultanément la séparation des différents constituants et ce en les dégradant le moins possible. Une approche pour cela serait de dire que : « la valeur étant dans la protéine comment doit-on aborder le problème de la « sortir » sans la dénaturer ? » L'huile étant, quant à elle, plus résistante que la protéine, elle sera de

Fig. 5. Une modèle de bioraffinerie oléagineuse centrée sur la protéine. Source : AVRIL.

Fig. 6. Logigramme « classique » de la trituration. Source : FEDIOL.

toute façon récupérée. Les autres constituants seront eux aussi de fait récupérables.

La Figure 5 simplifiée de bioraffinerie oléagineuse, centrée sur la protéine, met cependant un certain nombre d'éléments en avant. Tout d'abord les verrous technologiques sont nombreux (on y reviendra) et les verrous « marchés » sont eux aussi nombreux. Si l'on veut que ce type de modèle voit le jour sur un plan industriel, il est indispensable de montrer que chacun des produits « nouveaux » issus de ce dispositif a une réelle valeur sur le marché.

2.2 Les « nouvelles » technologies de trituration

La trituration est un procédé relativement ancien, très mature et performant pour extraire l'huile des graines oléagineuses. Elle inclut notamment une étape de chauffage des graines, une étape d'extraction de l'huile par pressage, une étape d'extraction de l'huile par solvant (hexane) et une étape de désolvantation du tourteau (Fig. 6).

Les protéines sont quant à elles des molécules relativement fragiles, et plus particulièrement sensibles à la chaleur, notamment lorsque celle-ci dépasse les 100 °C, ce qui est le cas très fréquemment de la trituration industrielle. Si on veut récupérer des protéines de bonnes qualité, il faut pouvoir les « extraire » par des procédés non dénaturants, donc avec une température

Fig. 7. Procédé d'extraction par sc-CO2. Source : Crown Iron.

relativement basse, et si possible avec des solvants autres que l'hexane.

La technologie la plus sérieusement envisagée pour cela est l'utilisation de fluides, en mode super critique ou sub-critique, tel que le sc-CO2 (CO2 super critique) ou par exemple l'iso-propanol en mode sub-critique, qui sont effectivement connus comme étant de bons solvants des huiles. La société Crown Iron (Crown Iron, 2016) notamment a développé une technologie visant à utiliser le sc-CO2 pour l'extraction de l'huile à partir de graines broyées (Fig. 7).

Ces technologies qui sont relativement efficaces sont peu (voire même pas) utilisées aujourd'hui dans le secteur de l'huilerie de volume. Les coûts de mise en œuvre rendent la démarche non compétitive par rapport à la trituration « classique ». Cependant, si l'enjeu est maintenant centré sur la fraction protéique, et que ces protéines présentent un intérêt spécifique sur les marchés (différenciation fonctionnelle), alors ce genre de technique peut éventuellement avoir un rôle à jouer. Cela sera d'autant plus réaliste que les autres fractions issues de ce procédé auront une valeur spécifique sur les marchés (notamment la fraction ligneuse ou les micronutriments).

2.2.1 Les technologies de fractionnement des protéines

Un certain nombre d'initiatives ont été menées (certaines sont à des stades avancés de développement industriel) pour produire des concentrés, voire même des isolats, de protéines de colza ou de tournesol. Plusieurs applications commencent à voir le jour dans les domaines de l'alimentation animale, et plus particulièrement de l'aquaculture¹ (la protéine de colza

¹ MCN BioProducts (Bunge)

Fig. 8. Un procédé de production de concentrés de protéine de colza.
Source : Burcon.

présente un certain nombre d'avantages pour cela du fait principalement de la présence en acides aminés soufrés) à partir des concentrés. D'autres applications, plutôt dans les domaines de l'alimentation humaine ou les isolats de tourteau (Heliaflor, 2016) ou de colza (Burcon, 2016) commencent aussi à voir le jour (Fig. 8).

Les technologies décrites par les différents acteurs qui développent ces applications sont généralement basées sur des procédés d'extraction liquide dans un premier temps, suivi d'un procédé de précipitation des protéines. Ce sont là clairement les techniques les plus éprouvées pour ce genre d'application. Il n'en reste pas moins que le développement restera limité si la matière de départ est le tourteau issu de la trituration « classique », ou si les technologies ne permettent pas d'extraire le maximum possible de protéines.

À partir de ces isolats, souvent utilisés en substitution des protéines animales, et plus spécifiquement en mélange avec ces protéines animales, on commence aussi à voir certains développements dans des boissons énergétiques, des préparations culinaires plus ou moins élaborés, ainsi que des produits de la biscuiterie.

Enfin certaines autres approches visent, notamment pour le colza, à fractionner entre la napine, d'une part, et la cruciférine, d'autre part. Cela permet notamment de pouvoir hydrolyser la fraction albumine afin de produire des hydrolysats, actifs d'intérêt dans les domaines de l'alimentation animale.

3 Conclusions : Plus qu'une rupture pour le secteur des corps gras, l'oléochimie trouve une continuité de son développement dans les innovations liées à la bioraffinerie oléagineuse

L'oléochimie existait avant le pétrole, elle existe pendant et elle existera après ! Une étude prospective récente menée par Sofiprotéol, en partenariat avec le BIPE (Sofiprotéol *et al.*, 2014) a montré qu'à horizon 2030 (et très certai-

nement au-delà), le monde n'aura pas de problème de disponibilité en huiles végétales, et ce malgré l'accroissement de la population mondiale (le premier débouché des huiles est bien toujours l'alimentaire de très loin), malgré les développements annoncés partout dans le monde en biodiesel, malgré les développements attendus en oléochimie et en chimie des matériaux.

Alors est-ce que l'oléochimie résulte d'un « choix politique » ? Ce qui est certain, c'est que les développements basés uniquement sur des choix (volontés) politiques ne durent pas plus longtemps que les politiques elles-mêmes. Les biocarburants en sont un cruel exemple, et tout particulièrement le biodiesel. Alors que le besoin de réduction de la consommation des énergies fossiles est nécessaire pour la planète, alors que les biocarburants permettent, dans une économie européenne à la peine, de pérenniser des emplois industriels, d'une part, et ruraux d'autre part, alors que les énergies fossiles rendent l'Europe très dépendante de situations géopolitiques qu'elle ne maîtrise pas, cette Europe est prête à remettre en cause cette industrie pourtant nécessaire si l'on veut aussi développer ces nouvelles sources de protéines végétales indispensable à l'alimentation de demain. L'oléochimie, dans cet ensemble, se développe naturellement et à son rythme. Sa force réside dans le fait qu'elle contribue à produire des molécules que l'on ne produit pas autrement (ou alors difficilement). C'est l'usage et la pertinence du ratio Coût/Bénéfice qui font l'existence d'un produit ou d'une solution, plus que la volonté politique... qui connaît des hauts et des bas.

Pour la bioraffinerie c'est la même chose ! Certains pourront dire « il faut développer les bioraffineries en Europe ». Cela n'a de sens que si l'équation économique tient la route. Certes le démarrage de ces activités peut être aidé, amélioré, accéléré, mais cela n'a de sens que si au terme de l'aide, elles peuvent exister durablement. Forcer le trait en poussant des solutions qui ne présentent pas ce caractère de pérennité dans le temps serait source de grandes désillusions.

Références

- Akerma Resource Library. Available from <http://www.arkema.fr/fr/arkema-en-france/implantations-sud-est/marseille> (last consult 2016/05/17).
- Amyris Resource Library. Available from <https://amyris.com/innovation/biofene/> (last consult 2016/05/17).
- Bioamber Resource Library. Available from <https://www.bio-amber.com/> (last consult 2016/05/17).
- Burcon Resource Library. Available from : <http://www.burcon.ca/> (last consult 2016/05/17).
- Cathay Biotech Resource Library. Available from <http://www.cathaybiotech.com/en/> (last consult 2016/05/17).
- Cathay Biotech Resource Library. Available from <http://www.cathaybiotech.com/en/> (last consult 2016/05/17).
- Crown Iron Resource Library. Available from: http://www.europacrown.com/technologies/spx_hple.cfm (last consult 2016/05/17).
- de Oliveira MR, Magri A, Baldo C, Camilios-Neto D, Minucelli T. 2015. Celligoi MAPC. Sophorolipids. A Promising Biosurfactant and its Applications. *Int. J. Adv. Biotechnol. Res. (IJBR)* 161–174.

- DuPont Resource Library. Available from <http://www.duponttateandlyle.com/> (last consult 2016/05/17).
- Elevance Resource Library. Available from <http://www.elevance.com/> (last consult 2016/05/17).
- Forsberg CW. Production of 1,3-Propanediol from Glycerol by *Clostridium acetobutylicum* and Other *Clostridium* Species. 1987. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 639–643.
- Heliaflor Resource Library. Available from : <http://www.heliaflor.de/en/> (last consult 2016/05/17).
- Kamaljeet K. Sekhon Randhawa, Pattanathu K. S. M. Rahman. 2014. Rhamnolipid biosurfactants – past, present, and future scenario of global market. *Front. Microbiol.* 5: 454.
- Krauter H, Willke T, Vorlop KD. 2012. Production of high amounts of 3-hydroxypropionaldehyde from glycerol by *Lactobacillus reuteri* with strongly increased biocatalyst lifetime and productivity. *N. Biotechnol.* 29: 211–217.
- Metabolic Explorer Resource Library. Available from <http://www.metabolic-explorer.com/> (last consult 2016/05/17).
- Mouloungui Z. La Valorisation du Glycérol : réactions sélectives et catalytiques au départ du glycérol. Talk during CPDD : “Chimie Pour le Développement Durable”, Poitiers, 13 mars 2008. Available from www.cnrs.fr/inc/recherche/programmes/docs/rdr1_13_03_08/mouloungui.pdf (PDF, 1 Mo. last consult 2016/05/17).
- Novamont Resource Library. Matrica distilled Pelargonic Acid (n-Nonanoic Acid), PRODUCT SUMMARY. Date of Issue: 2010-12-14. Available from www.matrica.it/public/docs/matrica_distilled_pelargonic_acid.pdf (last consult 2016/05/17).
- Nobel Prize. The Nobel Prize in Chemistry 2005. Available from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2005/ (last consult 2016/05/17).
- Papanikolaou S, Aggelis G. 2009. Biotechnological valorization of biodiesel derived glycerol waste through production of single cell oil and citric acid by *Yarrowia lipolytica*. *Lipid Technol.* 2: 83–87.
- Picataggio S, Rohrer T, Deanda K, *et al.* 1992. Metabolic engineering of *Candida tropicalis* for the production of long-chain dicarboxylic acids. *Biotechnology (N Y)* 10: 894–898.
- Poels EK, Moulijn JA, Sibeijn MJ. 1994. *Am. Oil Chem. Soc.* 71: 553.
- Reverdia Resource Library. Available from <http://www.reverdia.com/> (last consult 2016/05/17).
- Sofiprotéol, BIPE. Etude SOFI-BIPE sur la capacité des filières des oléoprotéagineux à satisfaire les demandes mondiales en huiles et protéines à horizon 2030. 2014. Available from <http://www.groupeavril.com/fr/communiqués/selon-une-etude-bipe-sofiproteol-la-satisfaction-durable-des-besoins-globaux-en> (last consult 2016/05/17).
- Solazyme Resource Library. Available from <http://solazyme.com/>, <http://investors.terracia.com/releasedetail.cfm?releaseid=969196> (last consult 2016/05/17).
- Succinity Resource Library. Available from <http://www.succinity.com/> (last consult 2016/05/17).
- Thevenieau F, Nicaud JM, Gaillardin C. Application of the nonconventional yeast *Yarrowia lipolytica*. In: Kunze SA, Satyanarayana T, eds. Diversity and potential biotechnological applications of yeasts. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- US Patent. United States patent application publication 2016/0002147. <http://www.freepatentsonline.com/20160002147.pdf> (last consult 2016/05/17).
- Xie D, Jackson EN, Zhu Q. 2015. Sustainable source of omega-3 eicosapentaenoic acid from metabolically engineered *Yarrowia lipolytica*: from fundamental research to commercial production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99: 1599–1610.

Cite this article as: Jean-François Rous, Groupe Avril. De l'oléochimie à la bioraffinerie : continuité de développement pour le secteur des corps gras ? OCL 2015, 23(5) D506.