

uniques à partir de prélèvements environnementaux et tester leurs propriétés. En collaboration avec l'Université du Texas, nous avons développé des méthodes pour conserver des échantillons dormants par cryogénie et les « ressusciter » à volonté, ce qui nous dispense de renouvellements réguliers et fastidieux des milieux de culture.

Les techniques d'analyse doivent encore être améliorées, afin de passer rapidement au crible plusieurs centaines ou milliers de souches individuelles. Nous avons mis au point des méthodes à haut débit par

LA BIOPROSPECTION ET L'AMÉLIORATION génétique des souches algales naturelles sont deux des priorités des chercheurs.

spectroscopie infrarouge pour estimer la teneur en lipides des algues. Nous les avons appliquées à des centaines d'échantillons de biomasse algales provenant de plus de 80 espèces, dont la teneur en lipides variait de 10 à plus de 60 pour cent au cours de la croissance. Ces méthodes permettent en outre de distinguer les lipides neutres des autres lipides, ce qui est difficile avec les techniques usuelles.

La bioprospection et l'amélioration génétique des souches algales naturelles sont deux des priorités des chercheurs. Cette amélioration se fait de deux façons. La première consiste à recourir aux tech-

niques classiques, telles que l'accélération des mutations (grâce à des ultraviolets, des produits chimiques...), le criblage (on sélectionne les individus aux propriétés intéressantes dans une population) ou les croisements (certaines microalgues ont une reproduction sexuée). La seconde famille de méthodes est celle du génie génétique : on module par exemple le degré d'expression des gènes.

Des projets dits de biologie systémique sont aussi en cours : ils utilisent à la fois la génomique, la transcriptomique (l'étude des ARN messagers issus de la transcription du génome) et la protéomique (l'étude des protéines) pour comprendre les mécanismes moléculaires de la production des lipides. En France, des recherches de ce type sont notamment menées dans le cadre du projet ALGOMICS. Les informations récoltées par ces projets sont précieuses pour les expériences de génie génétique. Comme dans la bioprospection, on tente d'obtenir des algues faciles à exploiter et produisant plus de lipides sans diminuer leur croissance.

Outre *Chlorella vulgaris*, déjà mentionnée, d'autres algues eucaryotes sont étudiées, telles *Chlamydomonas reinhardtii* et différentes espèces de *Scenedesmus* et *Nannochloropsis*. *C. reinhardtii* produit peu d'huile, mais est l'algue eucaryote la mieux connue, et donc

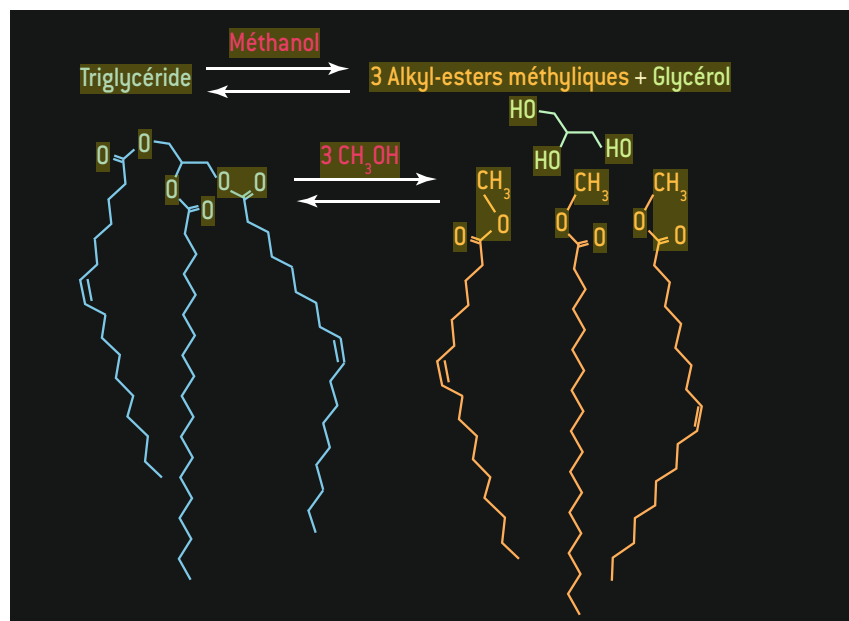
la plus facile à exploiter pour les recherches : son génome a été entièrement séquencé et de nombreux outils de manipulation génétique sont disponibles. Quant aux espèces de *Scenedesmus* et *Nannochloropsis*, elles se développent bien dans les systèmes de culture à grande échelle et produisent beaucoup d'huile.

Nos travaux en génie génétique concernent aussi la cyanobactérie *Synechocystis* PCC 6803. Bien que les cyanobactéries « naturelles » ne fabriquent pas de triglycérides, nous élaborons actuellement une espèce qui en est capable. Pour cela, nous réorientons le métabolisme de la cellule pour lui faire produire des acides gras plutôt que des hydrates de carbone, et nous lui insérons des gènes nécessaires à cette production.

Le génie génétique est controversé en raison des craintes de « contamination » du milieu naturel : des cultures à grande échelle pourraient favoriser la dispersion de souches modifiées, dont les gènes risqueraient de se propager à d'autres espèces. Quoiqu'il en soit, dans les laboratoires, des règles strictes sont en place pour éviter une libération accidentelle et les recherches en génie génétique sont essentielles pour estimer le potentiel d'une souche algale. Elles doivent être menées en parallèle avec des études sur des souches naturelles ou issues de la génétique classique, et inclure une évaluation des risques, afin de prendre toutes les précautions nécessaires pour une culture à grande échelle.

Un modèle de culture à trouver

Deux systèmes principaux ont été développés pour la culture des microalgues photosynthétiques : les bassins ouverts et les photobioréacteurs (des récipients fermés). Tous les dispositifs étudiés sont des variantes de ces deux systèmes. Certains bassins sont de conception simple : petits, d'une profondeur de 20 à 30 centimètres, ils n'ont pas de dispositif de brassage de l'eau. D'autres, plus élaborés, sont dotés de roues à aubes et leur géométrie est adaptée à la circulation de l'eau (voir la figure 5). Les bassins représentent le système le moins coûteux (en particulier ceux de conception simple), mais ils protègent peu contre les nuisibles, les prédateurs et les agents pathogènes de l'air. En outre, ils ont une faible surface par rapport à



4. LES TRIGLYCÉRIDES (EN BLEU) sont constitués de trois acides gras (les longues chaînes carbonées) liés à du glycérol par des liaisons dites ester. La trans-estérification consiste à les transformer en alkyl-esters méthyliques ou éthyliques (en orange) incorporables dans les biodiesels.