

AUXILIAIRES AGRONOMIQUES

Les microbes sont les précieux alliés des agriculteurs depuis la nuit des temps. Nos sols abritent en effet diverses symbioses entre plantes et microorganismes, que les formes traditionnelles d'agriculture ont appris à mettre à profit. Ainsi, en combinant une légumineuse à un plant de maïs, on apporte à ce dernier de l'azote, ainsi que davantage de phosphore, les bactéries associées à la légumineuse dégageant une acidité qui favorise sa disponibilité.

Mais des stratégies d'associations plus diffuses ont été découvertes récemment. C'est le cas du champignon du sol *Trichoderma*, qui agit directement sur les pathogènes et stimule les défenses de la plante, en libérant des toxines. Les bactéries ne sont pas en reste. Ainsi, *Sinorhizobium* fixe de l'azote atmosphérique dans les racines des légumineuses,

tandis que les rhizobactéries améliorent la croissance des plantes, via des hormones ou des vitamines. Pour

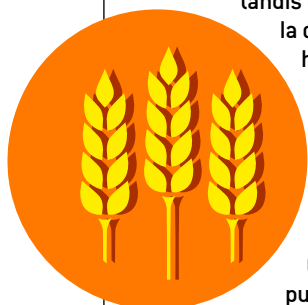
Marc-André Selosse, du Muséum national d'histoire naturelle, « l'enjeu majeur dans les années à venir sera de sélectionner des variétés capables d'utiliser ces microbes.

Car la sélection de plantes qui puisent dans des sols toujours plus riches en fertilisants a largement

altéré ces capacités d'interaction ».

Dans la course vers une agriculture plus performante, les microbes sont aussi devenus les outils de prédilection des laboratoires de biotechnologie, souligne Peter Rogowsky, de l'École normale supérieure de Lyon. Parmi eux, *Agrobacterium tumefaciens* s'impose comme la bactérie phare dans les processus de transformation des plantes. À l'origine, il s'agit d'un pathogène qui provoque la maladie de la galle du collet, en insérant une partie d'un plasmide dans le génome de la plante cible. Depuis cette découverte datant de 1977, plusieurs équipes ont réussi à désarmer ce plasmide et à s'en servir pour transférer des gènes d'intérêt, tels ceux impliqués dans la résistance aux insectes ou ceux, bien plus polémiques, conférant une tolérance à des herbicides.

Depuis 40 ans, les techniques d'agro-infiltration *in vitro* de la bactérie n'ont pas pris une ride. Il faut d'abord mettre en contact des suspensions d'*Agrobacterium* avec des morceaux de végétaux, puis régénérer la plante. En 2014, *Agrobacterium* devient l'une des vedettes incontestées et bon marché de l'édition génomique de précision. Elle est en effet très efficace pour apporter au sein des cellules les outils récents de transformation, tels que CRISPR-Cas9. Grâce à cette nouvelle avancée, l'équipe de Fujun Wang, de l'université chinoise de Guangxi, a produit en 2016 un riz mutant, résistant à son principal champignon pathogène.



© Anthonyz/Shutterstock.com

RECHERCHES

Un laboratoire sans microorganismes ? Impossible à imaginer pour un biologiste ! Car nombre de découvertes scientifiques n'auraient pu se faire sans eux. Des champignons, des levures ainsi que l'incontournable bactérie *Escherichia coli*, ou colibacille, servent notamment de modèles d'étude. Les recherches sur ces organismes ont permis de comprendre l'organisation des gènes et leur expression, ainsi que des procédés tels que la réplication, la recombinaison et la réparation de l'ADN. « Par ailleurs, les mécanismes cellulaires

tels que la mitose et la méiose auraient été beaucoup plus difficiles à étudier chez des organismes multicellulaires », ajoute Éric Marois, biologiste moléculaire à l'université de Strasbourg.

Mais les microbes sont aussi des sources inépuisables d'outils

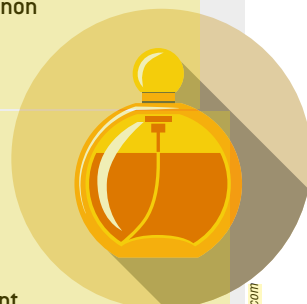


RÉVÉLER LES ARÔMES

La gastronomie à la française ne serait rien sans les microbes. Le pain, le vin, les fromages... : derrière chaque saveur se cache une bactérie, une levure ou un champignon qui en révèle toute la complexité. Les levures, naturellement présentes sur les raisins, transforment les sucres en éthanol et en dioxyde de carbone via la fermentation alcoolique qui donne le vin. C'est lors de cette étape que les arômes du raisin se dévoilent. « Certains vins blancs tels que le sauvignon ont des notes de buis et de fruits exotiques : c'est dû aux thiols, des molécules issues de la fermentation », explique Jean-Michel Salmon, chercheur à l'Inra, spécialisé en microbiologie et œnologie. Plus de 200 souches de levures différentes existent sur le marché : elles sont sélectionnées ensuite selon les composés aromatiques qu'on souhaite retrouver.

Du côté des fromages, ce sont par exemple des bactéries propioniques qui donnent au gruyère sa saveur pendant l'affinage. Quant au champignon *Penicillium roqueforti*, il confère au roquefort son goût prononcé et ses teintes bleutées.

On va même jusqu'à recréer des arômes de toutes pièces grâce aux microbes. La saveur du beurre, associée à la molécule de diacétyle, peut ainsi être produite grâce aux bactéries *Lactococcus lactis*. Selon la réglementation, les industriels peuvent indiquer « arômes naturels » sur l'étiquette d'un produit contenant des arômes issus de ce procédé, par opposition à la synthèse chimique. On peut ainsi, grâce à des champignons, levures ou bactéries, obtenir une trentaine au moins de molécules aromatiques – des arômes de l'amande amère à celui de la pêche, en passant par ceux de la fraise ou de la noisette.



© Tashal/Shutterstock.com

utilisés en génétique. Les enzymes de restriction, des protéines synthétisées par des bactéries pour se protéger des virus en coupant l'ADN viral à des endroits spécifiques, permettent d'isoler des gènes d'intérêt lors d'une opération de clonage ou de transgénèse. Des plasmides, de l'ADN bactérien circulaire, servent de vecteurs lors du transfert du gène isolé chez un organisme-cible (transgénèse) ou chez une cellule-hôte (*E. coli*) pour le cloner. Quant à la PCR, technique d'obtention de grandes quantités d'ADN à partir d'un petit échantillon, elle fait appel à des enzymes d'archées ou de bactéries. Ces outils, jusqu'à la récente technique fine d'édition du génome CRISPR-Cas, ont fait considérablement avancer les connaissances. Compréhension des mécanismes de l'évolution, reconstitution de l'histoire du vivant, étude des maladies, etc. : l'étendue des connaissances acquises grâce aux microbes est immense... à l'image du monde microbien lui-même, pourtant invisible à nos yeux.

© Gollmer/Shutterstock.com

DÉPOLLUER LES EAUX ET LES SOLS

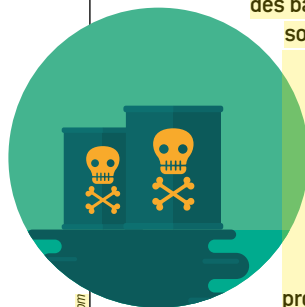
Avril 2010. Dans le golfe du Mexique, la plateforme pétrolière *Deepwater Horizon* explose, et 660 000 tonnes de pétrole se déversent. Le malheur des uns fait le bonheur des autres :

des bactéries y voient l'arrivée massive d'une source d'énergie. On estime que

200 000 tonnes de pétrole et de gaz dissous dans les eaux ont été dégradées par ces microbes. Dès les débuts de la dépollution en France, il y a plus de vingt ans, les professionnels ont su tirer parti de cette capacité des bactéries à nettoyer les sols et les eaux des hydrocarbures, de leurs dérivés et produits de combustion ainsi que d'autres polluants. « L'avantage des méthodes

biologiques, c'est qu'elles s'avèrent en général beaucoup moins coûteuses que les approches chimiques ou thermiques », explique Stéfano Colombano, chercheur au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). En effet, les bactéries étant le plus souvent déjà sur place, il faut juste stimuler leur croissance – en ajoutant des nutriments (phosphore et azote par exemple), ainsi que de l'oxygène, nécessaire au développement des bactéries aérobies. Pour les espèces anaérobies, celles qui s'attaquent entre autres aux composés chlorés tels que certains solvants et les PCB, tout apport d'oxygène est au contraire évité. « Cette biodépollution ne peut hélas pas être utilisée à tous les coups, car la plupart des bactéries ne supportent pas des concentrations élevées de polluants », commente Stéfano Colombano. Une autre approche consiste àensemencer le milieu avec des bactéries sélectionnées, voire modifiées génétiquement, pour s'attaquer à un polluant particulier, tel l'arsenic. Mais sans garantie d'efficacité, car les bactéries autochtones, mieux adaptées au milieu, tendent à freiner ces nouvelles arrivantes dans leur tâche de nettoyage.

© Visual generation/Shutterstock.com



PRODUIRE DES CARBURANTS

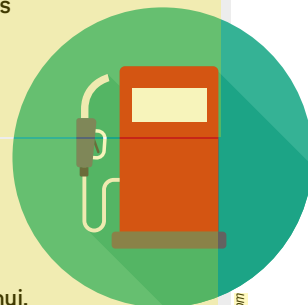
Pour passer de l'or noir à l'or vert, les biotechnologies « blanches » (ou industrielles) sont dans les starting-blocks. Depuis une vingtaine d'années, on voit fleurir dans le monde les recherches scientifiques en vue de produire des biocarburants à l'aide de microorganismes. Ces bactéries ou levures utilisent pour cela une biomasse « lignocellulosique », obtenue à partir de certains résidus agricoles ou forestiers tels que le bois ou la paille. Après hydrolyse de la cellulose, elles transforment les différents sucres ainsi obtenus en éthanol, par fermentation.

L'intérêt de ces biocarburants, dits de deuxième génération ? Ils n'accaparent pas les terres agricoles au détriment des cultures alimentaires. Aujourd'hui, cinq usines – aux États-Unis, au Brésil et en Italie – exploitent cette voie biochimique pour produire de l'éthanol destiné au moteur à essence.

L'inconvénient est que l'éthanol doit être mélangé à d'autres substances. Une autre voie de recherche vise donc à faire produire par des microorganismes des biocarburants utilisables tels quels. Elle relève de la biologie de synthèse. L'équipe de Jay Keasling, de l'université de Californie à Berkeley, a été la première à mettre le pied à l'étrier. En 2011, elle a implanté une voie métabolique artificielle au sein de la bactérie *Escherichia coli*, afin qu'elle sécrète directement du diesel à partir de biomasse. « Sur le même principe, nous avons développé un procédé inédit de production d'isobutène, dont l'un des dérivés (l'isooctane) est un additif idéal pour les essences », souligne Marc Delcourt, directeur général de l'entreprise française Global Bioenergies. Le démonstrateur industriel est lancé cette année, en Allemagne.

Enfin, on peut mentionner l'engouement pour une troisième génération de biocarburants, produits à partir de cultures de microalgues riches en lipides.

L'eldorado des biocarburants ne demande donc qu'à s'épanouir, bien que la baisse récente du prix du baril de pétrole ait déjà stoppé quelques projets en plein élan.



© Tkal/Shutterstock.com

LES AUTEURES

Hélène GÉLOT et Marine BOLLARD sont journalistes et éditrices scientifiques indépendantes.

BIBLIOGRAPHIE

P. S. Bisen, M. Debnath et G. B. Prasad, *Microbes : Concepts and applications*, Wiley-Blackwell, 2012.

I. Ahmad et al. [dir.], *Microbes and microbial technology : Agricultural and environmental applications*, Springer, 2011.