

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de 5,20 €

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.

POINT DE VUE

Épidémies à *Escherichia coli* : un avant-goût des « superbactéries » ?

La bactérie 0104:H4, responsable des épidémies récentes en Allemagne et en France, est à la fois virulente et résistante aux antibiotiques. Combien de temps ces médicaments seront-ils encore efficaces face à de telles bactéries ?

Jean-Yves MADEC

On considère souvent qu'une bactérie ne peut être à la fois virulente et résistante aux antibiotiques, car chacune de ces propriétés représente un coût énergétique notable. On pense ainsi qu'une bactérie très virulente est rarement résistante aux antibiotiques, et *vice versa*. Même si l'équilibre des coûts est une constante biologique, la réalité est moins manichéenne.

La bactérie *Escherichia coli* conforte cette idée. Commensale de l'homme, cette espèce vit la plupart du temps dans les intestins sans provoquer de dommages. En revanche, certaines souches peuvent acquérir un arsenal de gènes qui leur confèrent de nouvelles propriétés, par exemple de virulence. Les souches d'*E. coli* entérohémorragiques en sont un exemple : elles sont responsables de pathologies graves, voire mortelles, chez l'homme. Cependant, ces souches ne sont en général pas résistantes aux antibiotiques. En conséquence, les souches entérohémorragiques multirésistantes 0104:H4, récemment en cause dans les épidémies allemande et française, semblent faire exception.

Pourtant, les exemples de bactéries virulentes et résistantes ne manquent pas. Chez l'homme, bon nombre de souches engendrant des septicémies – des infections graves de l'ensemble de l'organisme – sont résistantes aux antibiotiques, parfois même aux dernières générations de médicaments. Et c'est bien parce qu'elles sont

à la fois virulentes et résistantes que la communauté médicale s'inquiète. Chez l'animal, la situation est semblable : plus de 80 pour cent des souches d'*E. coli* impliquées dans les diarrhées du veau sont résistantes à plusieurs antibiotiques.

Dès lors, pourquoi les bactéries *E. coli* entérohémorragiques seraient-elles à l'abri d'une colonisation par des gènes de résistance ? Peut-être parce que l'usage des antibiotiques est déconseillé pour traiter ces infections ; en effet, plusieurs études mon-

LES ANTIBIOTIQUES PEUVENT provoquer une libération de toxines bactériennes dans l'organisme, ce qui aggrave l'état du malade.

trent que ces molécules peuvent provoquer une libération de toxines bactériennes dans l'organisme, ce qui aggrave l'état du malade. Et comme une utilisation trop importante des antibiotiques favorise l'« antibiorésistance », on a sans doute jusqu'à présent limité l'émergence de souches entérohémorragiques multirésistantes en évitant de traiter ces infections par les antibiotiques... Mais il semblerait que ce ne soit plus le cas.

En effet, d'une part, une bactérie est tout à fait capable d'équilibrer sa dépense énergétique en étant à la fois virulente et résistante. Et, d'autre part, la plupart des gènes de virulence et de résistance sont portés par des structures moléculaires

mobiles et transférables d'une bactérie à l'autre. C'est la somme des coûts biologiques dus à l'acquisition de ces gènes qui en détermine la stabilité dans la bactérie.

Ainsi, la bactérie 0104:H4 a sans doute acquis au cours du temps, à partir d'une bactérie *E. coli* entéroagrégate (ce type de souches peut s'agréger dans les intestins, ce qui favorise sa virulence), le gène codant la toxine Shiga de type 2 et celui codant la résistance étendue aux bêta-lactamines (une large classe d'antibiotiques).

Le premier est porté par un bactériophage, un virus n'infectant que les bactéries et y insérant des gènes ; le second provient d'un plasmide, une molécule d'ADN circulaire qui peut être transmise entre cellules. Plus rarement, certains plasmides transfèrent même à la fois des gènes de

résistance et des gènes de virulence.

Ainsi, les conditions et les vecteurs nécessaires pour qu'une bactérie soit virulente et résistante aux antibiotiques existent bien. Les liens entre ces fonctions peuvent être illustrés chez la plupart des espèces commensales ou pathogènes. Dans les années 1990, pour ne donner qu'un exemple, une vaste épidémie de salmonellose chez l'homme et les bovins a été attribuée à la dissémination massive d'une souche particulière (*Salmonella typhimurium*), portant une région génétique (*Salmonella Genomic Island 1*) responsable de sa multirésistance, mais aussi suspectée de participer à sa virulence accrue.

En conséquence, le succès épidémiologique d'une bactérie résulte d'une combinaison de situations favorables à son implantation dans le milieu à conquérir (et ce à un coût acceptable). Ainsi, certaines bactéries importantes en pathologie humaine montrent non seulement de réelles aptitudes à la virulence, mais peuvent aussi, comme la bactérie *Pseudomonas aeruginosa*, adhérer aux parois pulmonaires, profiter de l'immunodéficience ou d'infections déjà présentes chez l'hôte, et devenir vite résistantes aux antibiotiques.

Dès lors, si le succès écologique d'un clone bactérien repose sur un cocktail de fonctions complémentaires, peut-on considérer que la bactérie virulente et résistante 0104:H4 est annonciatrice de « superbactéries » plus fréquentes ? Certes, elle présente l'originalité d'une souche *E. coli* entérohémorragique mul-

tirésistante et dotée de facteurs entéro-agrégatifs. Mais elle pose surtout des questions sur la séquence des événements ayant conduit à cette association, ainsi que sur les rôles possibles de l'homme, de l'animal et de l'environnement.

On sait aujourd'hui que les multiples activités humaines (mondialisation et accélération des échanges) créent probablement des pressions de sélection complexes et mal maîtrisées, qui favorisent les événements participant à l'apparition des « superbactéries ». Parce que les outils de caractérisation génomique sont devenus rapides, puissants et acceptables en termes de coût, ils améliorent aussi notre compréhension des épidémies. Il aurait été impensable, il y a encore peu, de disposer en quelques semaines de la séquence génomique complète d'une bactérie pathogène. Et c'est bien

cette carte d'identité rapidement établie qui a confirmé qu'une « superbactérie » peut combiner virulence et résistance.

Toutefois, si ces outils nous permettent d'identifier rapidement les coupables, nous aident-ils pour autant à les maîtriser ? La récente crise révèle à nouveau l'expansion des bactéries multirésistantes et la nécessité de limiter l'usage des antibiotiques qui en favorise précisément la sélection. Si la surconsommation des antibiotiques (par l'homme et l'animal) perdure, l'émergence d'autres « superbactéries » est à prévoir. ■

Jean-Yves MADEC est directeur de recherche et responsable de l'Équipe Antibiorésistance et virulence bactériennes, à l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses - site de Lyon).

 Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Des carburants alternatifs pour les avions

Le domaine du transport aérien s'achemine vers l'utilisation de carburants non fossiles.

Xavier MONTAGNE

Pour les acteurs du transport, la diversification des ressources énergétiques, le contrôle et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction des émissions polluantes sont des priorités. Et cela tant pour des raisons économiques qu'opérationnelles, environnementales ou réglementaires.

L'impact actuel de l'aviation mondiale en matière de rejets de dioxyde de carbone est modéré : sa consommation de pétrole ne représente qu'environ 8 pour cent de la consommation totale, et 2,5 pour cent des émissions anthropiques de dioxyde de carbone. Cependant, cet impact pourrait doubler à l'horizon 2020 avec l'accroissement prévisible du trafic aérien, estimé à environ cinq pour cent par an. De plus, le transport aérien fera dès 2012 son entrée dans

les mécanismes européens de permis d'émission de dioxyde de carbone.

Les carburants aéronautiques proviennent aujourd'hui presque exclusivement du pétrole. Or ce dernier risque de coûter de plus en plus cher et les émissions de dioxyde de carbone doivent être réduites. Aussi, le domaine du transport aérien a déjà commencé son adaptation aux défis des carburants alternatifs. Mais l'utilisation de ces derniers y est encore faible et souvent expérimentale. Elle doit en effet répondre à de nombreux critères très stricts, portant par exemple sur la sécurité et sur la compatibilité chimique avec le carburant conventionnel (les substituts ne doivent pas affecter les caractéristiques et les performances du carburant final, approche dite *Drop in fuel*). Toutefois, la certification de produits alter-

natifs est une réalité ; certains le sont déjà en mélange, et de nouvelles certifications sont en cours d'élaboration.

Tous secteurs confondus, il existe plusieurs alternatives aux carburants conventionnels. Citons d'abord les hydrocarbures de synthèse de type GtL (*Gaz to Liquid*, hydrocarbures obtenus par synthèse à partir du gaz naturel) ou CtL (*Coal to Liquid*, hydrocarbures obtenus à partir du charbon). Viennent ensuite les biocarburants de première génération – éthanol, biodiesel –, dont les procédés sont aujourd'hui matures, ainsi que les biocarburants issus d'un hydrotraitement (traitement à l'hydrogène) poussé d'huiles végétales, dits HVO (*Hydrotreated Vegetable Oils*). Ces derniers sont majoritairement constitués d'hydrocarbures aux propriétés voisines de