



Innovating Alternatives

un balado sur la résistance aux antimicrobiens (RAM) dans le domaine de la production animale destinée à l'alimentation, et sur les chercheurs du monde entier qui travaillent à la réduire.



Épisode : les bactériophages

En vedette : Professeur Paul Ebner, D^r Nicholas Svitek, Professeur Sylvain Moineau, Professeur Zafar Hayat, Professeure Nicole Widmar, D^{re} Zoë Campbell

Justin Kemp (JK) – Si tu imaginais des chercheurs à la recherche de la prochaine grande solution de rechange aux antibiotiques, je suppose que tu aurais une image de blouses et des laboratoires d'un blanc éclatant en tête.

[Professeur Paul Ebner](#)

C'est un processus très classe qui commence dans une installation de traitement des eaux usées; nous avons connu nos meilleurs succès en utilisant des eaux usées.

[D^r Nicholas Svitek](#)

En fait, nous sommes allés dans plus de 60 exploitations et avons recueilli des échantillons de fèces.

Evelyn Baraké (EB) – Nos recherches commencent parfois dans des endroits peu reluisants, mais après il faut passer de longues heures au laboratoire.

[D^r Nicholas Svitek](#)

La première étape a donc été d'obtenir nos isolats de salmonelle. Nous sommes ensuite revenus à ces cultures primaires, puis nous avons utilisé un petit volume sur les plaquettes où nous avons cultivé la salmonelle pour pouvoir avoir des plaques individuelles, donc des zones de lyse individuelles. Donc, il y a eu plusieurs séries de purification sur les plaques, jusqu'à ce que nous soyons sûrs d'avoir des phages purs.

JK – En fait, le travail est tellement fascinant et captivant que certains scientifiques ont même perdu la notion du temps.

Professeur Sylvain Moineau

Tout d'abord, je n'étudie pas les phages depuis 30 ans. Peut-être depuis 20 ans. J'ai commencé à les étudier en 1989, ça fait déjà 30 ans ? Oh mon Dieu. Eh oui... Oh mon Dieu. Je pensais que ça faisait plutôt 25 ans, peu importe...

EB : Je m'appelle Evelyn Baraké.

JK : Je m'appelle Justin Kemp et voici Innovating Alternatives – un balado sur la résistance aux antimicrobiens (RAM) et les chercheurs du monde entier qui œuvrent à la réduire. Dans cet épisode, nous rencontrons deux équipes de chercheurs qui cherchent à développer des alternatives aux antibiotiques en utilisant l'ennemi naturel des bactéries.

JK – Prends un moment pour te considérer comme un être physique. À quoi penses-tu? Je suppose que tu penses surtout aux éléments évidents, les os et les muscles qui définissent ta forme, peut-être ta peau et tes cheveux, peut-être le visage que tu vois dans le miroir tous les jours. En fait, on est avant tout constitué de sang – 80 % de nos cellules sont des globules rouges.

EB – On est donc essentiellement des sacs de sang ambulants.

JK – C'est juste, mais ce n'est qu'une partie de l'histoire.

EB – Oh non, nous y voilà.

JK - Eh bien, on est composé surtout de sang si l'on ne compte que les cellules à ADN humain.

EB – Qu'est-ce que tu veux dire par là – si on compte que les cellules humaines ?

JK - Si tu devais aligner toutes les cellules du corps humain moyen, environ la moitié d'entre elles seraient des bactéries.

EB – Wow ! Alors, nous sommes essentiellement des immeubles ambulants pour bactéries.

JK - Eh bien oui, et du sang bien sûr. Eh bien, si tu penses qu'il est impossible d'échapper à ton ombre bactérienne personnelle, les bactéries elles-mêmes ont leur propre ensemble de groupies microscopiques.

EB – Les phages ?

JK – Exactement ! Pour nous aider à comprendre ce qu'il en est des phages, voici quelqu'un qui s'y connaît en la matière.

Professeur Sylvain Moineau

Je m'appelle Sylvain Moineau. Je suis professeur de microbiologie à l'Université Laval à Québec, au Canada.... Essentiellement, chaque fois que vous cherchez une bactérie,

vous devriez également trouver des phages à proximité, et je plaisante parfois en disant que si vous ne trouvez pas de phages, c'est parce que vos protocoles sont erronés, parce que vous devriez pouvoir les trouver.

EB – Mais les phages ne s'entendent pas aussi bien avec les bactéries que nous le faisons avec notre microbiome. Ils ne feraient pas non plus de bons groupies.... Ils ressembleraient plutôt à des zombies affamés.

JK – Ouais, la relation entre les bactéries et les phages est, comment dire, un peu moins conviviale. Les bactériophages, souvent appelés simplement phages, ce sont des virus de bactéries.

Professeur Sylvain Moineau

Je ne sais pas si les gens en sont conscients, mais les virus sont les entités biologiques les plus [communes] de la planète. Nous sommes entourés de virus, ils sont plus abondants que les bactéries. Les bactériophages sont des virus spécifiques qui n'attaquent que les bactéries, ils n'ont donc aucun effet sur les humains, les animaux, les plantes et les insectes. Il s'agit en fait de virus spécifiques aux bactéries.

EB – Je suppose que cela va soulager certains de nos auditeurs qui vous ont entendu prononcer le mot « virus ». Je veux dire, surtout que l'ennemi public n° 1 en 2020 était un virus...

JK – Exact. Eh bien, il y a d'autres bonnes nouvelles : non seulement les phages sont inoffensifs pour nous, les humains, mais ils ont aussi des propriétés très intéressantes que nous pouvons exploiter à notre avantage. Mais pour les comprendre, je vais d'abord laisser Sylvain expliquer comment fonctionnent les phages.

Professeur Sylvain Moineau

En gros, ils se fixent spécifiquement à la surface d'une bactérie. Puis ils injectent le matériel génétique à l'intérieur de la bactérie. Et à ce moment, ils prennent essentiellement le contrôle de la bactérie. Celle-ci devient comme une usine de nouveaux virus. Les virus vont commencer à se multiplier, à se répliquer. Et après un certain temps, la cellule bactérienne éclatera et de nouveaux phages seront libérés dans l'environnement. C'est donc la façon typique dont un phage se reproduit. Et bien sûr, parce qu'ils sont si abondants dans nos écosystèmes, ils jouent des rôles multiples. L'un d'entre eux consiste à contrôler la population bactérienne dans chaque écosystème.

EB – Cette explication montre clairement pourquoi on s'intéresse aux phages. D'une certaine façon, les ennemis de mon ennemi sont mes amis.

JK – Exactement. Il y a quelques points intéressants dans ce document si l'on cherche des alternatives aux antibiotiques, en autres mots, si on cherche un moyen différent de ralentir la croissance des bactéries nocives ou de les éliminer.

EB – Oui, comment Sylvain l'a-t-il dit exactement ? « La cellule bactérienne éclate » ? Je me trompe peut-être, mais je ne vois pas comment les bactéries pourraient survivre à l'éclatement.

JK – Non, elles ne s'en remettent pas facilement – c'est un processus appelé lyse. Mais l'autre caractéristique intéressante, et potentiellement utile, des phages est leur spécificité.

Professeur Sylvain Moineau

Même si un phage se fixe à la surface d'une cellule de bactérie, cette interaction est en fait très spécifique. Ainsi, les phages ne se lient pas à n'importe quelle bactérie. Il s'agit d'un système de verrouillage : le phage doit s'introduire dans la bonne serrure pour obtenir la bonne liaison et démarrer le cycle de lyse ou de réplication. Et c'est pourquoi il y a des phages spécifiques à la salmonelle, et des phages spécifiques à l'E. coli. Il y a donc vraiment un problème de spécificité. Non seulement ces phages n'infectent que des bactéries, mais ils vont également infecter un sous-groupe de bactéries d'une certaine manière.

EB – Donc, nous avons donc un virus naturel qui est à la fois très bon pour tuer les bactéries et aussi très ciblé dans son action. Autrement dit, il n'élimine pas toutes les bonnes bactéries en cours de route ! Comme thérapies pour le traitement des infections bactériennes, c'est un rêve devenu réalité. Alors pourquoi la phagothérapie n'est-elle pas déjà prescrite par les médecins ?

JK – Pour répondre à cette question, il faut remonter dans le temps – un peu plus de 100 ans en fait, jusqu'en 1915.

EB – Et c'est reparti !

JK – 1915 : C'est alors que le bactériologiste britannique Frederick Twort, remarque de petites taches sur les cultures bactériennes sur lesquelles il travaille. Il s'est rendu compte que ces taches étaient le résultat de bactéries mortes, qu'elles pouvaient être transférées d'une culture à l'autre et qu'elles nécessitaient la croissance des bactéries.

EB – A-t-il compris exactement de quoi il s'agissait ?

JK : Oui, en partie. Il a avancé quelques idées – l'une d'entre elles étant que c'est un élément naturel du cycle de vie des bactéries ou peut-être causé par une enzyme sécrétée par les bactéries elles-mêmes, ou encore une forme de virus ultra microscopique. Il lui a donné le nom assez vague d'« agent bactériolytique » – c'est encore l'idée de la lyse – et a rédigé un article pour la revue Lancet et est parti à la guerre.

EB – Ce n'est pas la fin de l'histoire ?

JK – Pas du tout. Quelques années plus tard, en 1917, Félix D'Herelle, un biologiste franco-canadien autodidacte, travaillait à l'Institut Pasteur de Paris lorsqu'il a décrit de manière indépendante un nouveau microbe.

Acteur à l'accent franco-canadien

J'ai isolé un microbe invisible aux propriétés antagonistes contre le bacille de Shiga.

Ce microbe, véritable microbe d'immunité, est un bactériophage obligatoire; c'est un parasite strictement spécifique

JK – C'est là qu'il a inventé le terme « bactériophage » qui signifie littéralement « mangeur de bactéries ». C'est un peu tiré par les cheveux compte tenu de nos connaissances actuelles en biologie des virus, mais ce fut néanmoins une découverte remarquable. Il a aussi immédiatement reconnu les possibilités thérapeutiques des phages.

EB – A-t-il eu l'occasion de tester son hypothèse ?

JK – Oui, quelques années plus tard il a essayé d'utiliser des phages pour traiter une infection bactérienne pour la première fois à Paris. Son premier patient était un garçon de 12 ans atteint de dysenterie grave.

EB – Ça devait être assez marginal à l'époque – surtout que nous sommes à une dizaine d'années de la découverte de la pénicilline.

JK – Ils ont mené une étude de sécurité rapide à laquelle ont participé Felix, le chef du service de pédiatrie de l'hôpital et quelques internes peu méfiants qui ont ingéré la thérapie non encore testée.

EB – Dis donc ! On a fait quelques progrès dans le domaine de l'éthique médicale.

JK – Le garçon s'est complètement remis, comme plusieurs autres patients, et la phagothérapie est née. Peu après, plusieurs entreprises, tant en Europe qu'en Amérique du Nord, dont le laboratoire commercial de Felix, ont commencé à produire des préparations de phages. D'Herelle a consacré sa vie scientifique aux bactériophages. Il a écrit plus de 100 articles et cinq livres sur le sujet. Il a beaucoup voyagé à la recherche des phages, pour finalement arriver à Tbilissi, en Géorgie, où, en collaboration avec George Eliava, il a fondé un institut de bactériophages qui existe encore aujourd'hui. Il a même été nommé pour un prix Nobel.

EB – Félix d'Herelle a eu un sacré parcours et une carrière illustre, aussi ! Je comprends encore moins pourquoi la phagothérapie n'est pas d'usage courant aujourd'hui, étant donné ses débuts très prometteurs.

JK – Tout n'a pas été simple. Un examen critique des premières études sur la phagothérapie a remis en question l'efficacité du traitement, et avec l'arrivée des nouveaux

antibiotiques miraculeux tels que la pénicilline dans les années 1940, la phagothérapie a fini par disparaître au profit de la médecine occidentale populaire. Elle n'a cependant pas été entièrement abandonnée. Une poignée de pays d'Europe de l'Est ont poursuivi la recherche, la production et même l'utilisation de phages thérapeutiques jusqu'à ce jour.

EB – D'accord, mais même si la recherche sur les phages à des fins thérapeutiques a été en quelque sorte mise à l'écart, ce n'était pas la fin de la recherche sur les phages.

JK – Non, absolument pas. En fait, les phages ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la biologie moderne.

Professeur Sylvain Moineau

Effectivement, les phages ont joué un rôle clé dans les sciences de la vie. Ils ont été utilisés très tôt en biologie moléculaire comme outils pour comprendre les virus, car ils sont très petits, très simples à étudier. Il y a même des prix Nobel qui ont été remportés grâce à la recherche sur les phages et la biologie des phages. Et en 2018, le prix Nobel de chimie a été décerné à une personne qui a développé une technologie appelée phage display, qui utilise les phages pour faciliter la reconnaissance de certaines liaisons spécifiques. Encore plus récemment, si l'on pense à la technologie appelée CRISPR-Cas9 – qui est un outil d'édition du génome qu'on peut utiliser pour modifier tout organisme ou le génome d'un organisme – cet outil CRISPR-Cas9 a en fait été découvert ou développé suite à des études sur les systèmes CRISPR-Cas qui se trouvent naturellement dans les bactéries. Tout à l'heure, je vous disais que nous sommes entourés de virus et de bactéries, et de virus appelés phages. Et les bactéries doivent se défendre contre les phages. Et le CRISPR-Cas est en fait un système de défense que les bactéries utilisent pour combattre les phages. Quand on a commencé à étudier, ou que les chercheurs ont étudié le système, c'est là qu'on a mis au point la technologie CRISPR-Cas9. Cette technologie que nous utilisons maintenant, y compris dans certains domaines médicaux, est en fait basée sur des études sur les interactions entre les phages et les bactéries.

Avant la CRISPR-Cas9, tout le clonage était effectué à l'aide d'enzymes de restriction. Ces enzymes coupent le génome et permettent de couper et de recoller l'ADN, dans les années 1970, 1980 et 1990, et encore aujourd'hui. Et ces enzymes de restriction, qui aident dans le clonage, sont aussi un système de défense que les bactéries utilisent contre les phages. Dans les années 1970, ces enzymes ont été découvertes, et ont permis de remporter un prix Nobel, là encore en étudiant la biologie des phages et l'interaction avec les bactéries. Donc, si on étudie l'histoire, on trouve de nombreux cas où les phages ont été étudiés, analysés et où de grandes découvertes ont été faites.

EB – Attends ! Cette entrevue a été enregistrée avant l'annonce des prix Nobel de 2020, n'est-ce pas ?

JK - Effectivement

EB - Et le prix Nobel de chimie 2020 a été attribué aux chercheurs qui ont développé l'outil CRISPR-Cas9, Emmanuelle Charpentier et Jennifer A. Doudna.

JK – Eh oui.

EB - Les phages ont donc une fois de plus été d'une grande utilité ! Les commentaires de Sylvain semblent très clairvoyants... Je devrais peut-être lui demander quels numéros de loto il faut jouer.

JK – Attention, je ne sais pas si les scientifiques aiment être comparés à des diseurs de bonne aventure... Mais il fait aussi preuve d'un peu de modestie ici. Il a fait partie de l'équipe de scientifiques dont les recherches fondamentales sur le mécanisme CRISPR-Cas ont permis de développer l'outil.

EB – Impressionnant ! Heureusement que nous l'avons interviewé quand nous l'avons fait... sa boîte de réception doit être pleine de demandes d'entrevues ces jours-ci... Bon, revenons à Sylvain. Où nous sommes-nous arrêtés ?

JK – Il nous parlait des différentes raisons pour lesquelles les chercheurs ont étudié les phages au fil du temps.

Professeur Sylvain Moineau

Des groupes étudiaient encore la biologie des phages, pour essayer de comprendre comment ces virus, parce qu'à l'époque, on ne savait pas comment étudier les virus humains, on ne savait pas trop comment étudier les virus des plantes, etc. Les phages sont donc devenus un beau modèle à étudier parce qu'ils étaient simples. On peut travailler avec des bactéries; ces virus sont sans danger pour les travailleurs de laboratoire et ont donc été leur premier modèle de virus. D'une part, on a cessé de les étudier en tant que thérapie, mais d'autre part, dans les sciences de la vie, ils étaient le modèle parfait pour étudier la biologie. On continue à les étudier et je dirais qu'après un certain temps, quand on a commencé à mieux comprendre comment cultiver les virus eucaryotes – des virus qui infectent les cellules humaines ou animales et ainsi de suite – les phages ont été un peu mis de côté. Mais maintenant, à cause de la résistance aux antibiotiques, ils sont de retour. Ils sont de retour depuis dix ans maintenant. Et beaucoup de groupes les étudient à nouveau.

EB – Nous entrons donc dans une nouvelle « ère du phage ».

JK – C'est une bonne formule – noté ! Quoi qu'il en soit, l'émergence croissante de la résistance aux antimicrobiens pousse les chercheurs à chercher de nouvelles alternatives aux antibiotiques dans toutes sortes d'endroits. En fait, il se peut qu'on doive se tourner vers le passé pour relever les défis de l'avenir.

EB – Et nous aurons besoin de beaucoup de matière grise et de collaboration entre tous les types de secteurs pour nous attaquer à un problème aussi important et d'une portée aussi vaste que la résistance aux antimicrobiens, comme nous l'avons appris lors du dernier épisode.

JK – Exactement. Les bactéries résistantes aux médicaments et multirésistantes ne restent pas confinées dans les environnements où elles émergent. La résistance aux antimicrobiens est un problème qui ne connaît pas de frontières. Elle traverse les frontières nationales, les secteurs économiques et affecte la santé humaine, animale et environnementale.

EB – Il existe de nombreux points d'entrée potentiels pour s'attaquer à ce problème, mais la production d'animaux destinés à l'alimentation, en particulier, est un domaine où l'utilisation abusive d'antimicrobiens est de plus en plus préoccupante, comme l'a souligné l'invitée du dernier épisode, la professeure Dame Sally Davies :

[Professeure Dame Sally Davies](#)

Il est clair qu'on utilise plus d'antibiotiques sur les animaux que chez les humains, et que nombre d'entre eux sont utilisés pour stimuler la croissance ou prévenir les infections. Nous pouvons trouver de meilleurs moyens d'y parvenir.

EB – Puisqu'on parle de meilleurs moyens de prévenir les infections dans la production d'animaux destinés à l'alimentation : la thérapie par les phages pourrait-elle être une solution de rechange potentielle aux antimicrobiens ?

JK – Oui, il y a vraiment du potentiel ! Un domaine dans lequel la recherche de pointe en phagothérapie fait des progrès actuellement, concerne la volaille et la bactérie *Salmonella*. En fait, j'ai interviewé des scientifiques de deux groupes de recherche qui cherchent à développer des produits à base de phages pour réduire ou remplacer l'utilisation d'antibiotiques dans leur contexte local spécifique.

EB – Mais encore ?

JK – L'un des groupes comprend une collaboration entre des chercheurs de l'Université Laval à Québec, au Canada – dirigée par Sylvain – et l'Institut international de recherche sur le bétail ou ILRI, à Nairobi, au Kenya. Ensemble, ces équipes cherchent à développer un produit de phage ciblant la salmonelle optimisé pour une utilisation au Kenya.

[D^r Nicholas Svitak](#)

Je m'appelle Nicholas Svitek. Je suis microbiologiste de formation et je travaille à l'Institut international de recherche sur le bétail au Kenya.

En fait, il existe plusieurs maladies qui affectent l'élevage de poulets au Kenya. La plupart d'entre elles sont causées par des infections bactériennes, et parmi elles, la salmonelle est une grande préoccupation dans l'élevage de la volaille. Cela touche les agriculteurs à deux niveaux. L'un d'eux est la salmonelle qui infecte et provoque des maladies chez les poulets. La salmonelle est toujours un problème pour les poulets des pays en développement dans les pays à revenus faibles et moyens. L'une de ces souches s'appelle Salmonella gallinarum, qui cause la typhoïde aviaire et il y a une autre salmonelle très proche de Salmonella gallinarum qui cause une autre maladie appelée maladie de Pulum. Elle est causée par la Salmonella pullorum. Mais la salmonelle peut aussi être un agent pathogène zoonotique. Nous savons que la salmonelle peut être transmise aux êtres humains et provoquer des symptômes gastro-intestinaux tels que la diarrhée ou des douleurs abdominales. Et un exemple de ce type de salmonelle est la Salmonella enteritidis. La salmonelle peut donc affecter les familles qui élèvent des poulets, donc d'un côté, elle peut affecter le poulet et causer des maladies et avoir un impact sur le niveau de production. Mais elle peut aussi constituer un risque pour la santé des agriculteurs et des consommateurs.

Ce n'est pas seulement un problème au Kenya, c'est un problème très répandu en Afrique. Nous avons des pays voisins comme l'Éthiopie qui a également des problèmes avec la salmonelle. Il y a des cas en Tanzanie et de nombreux cas rapportés également au Nigéria.

EB – Je n'avais pas réalisé qu'il y avait autant de types de salmonelle ! Ici, au Canada, nous entendons parler de la salmonelle uniquement comme d'un danger potentiel pour le consommateur, mais il est logique qu'elle nuise aussi aux poulets, et qu'elle représente un risque pour les travailleurs agricoles qui sont en contact étroit avec eux aussi.

JK – C'est vrai, sans parler des répercussions économiques sur les agriculteurs.

EB – Très bien, alors si ces différentes formes de salmonelle sont un problème important pour les éleveurs de volaille kenyans, les producteurs du Kenya utilisent-ils souvent des antibiotiques pour la prévention et le traitement ?

JK – Comme beaucoup de choses dans la vie, ça dépend. Toutes les entreprises avicoles ne sont pas les mêmes, et tous les éleveurs de volailles non plus.

D^r Nicholas Svitek

Nous avons visité à la fois les très petites, les moyennes et les grandes entreprises. La plupart des grandes entreprises sont comme les sous-traitants d'une entreprise au Kenya où on interdit l'utilisation des antibiotiques. Les fermes où on utilisait des

mesures de biocontrôle étaient en fait de grandes exploitations commerciales, mais ensuite, lorsque nous avons visité les petites fermes où il y avait quelques centaines ou 50 oiseaux, ils utilisaient beaucoup d'antibiotiques. Il y avait aussi des familles qui élevaient peut-être dix poulets à très, très petite échelle. C'est surtout là que nous avons constaté l'utilisation d'antibiotiques, dans ces élevages de poulets à petite ou moyenne échelle.

EB – C'est intéressant ! J'aurais pensé le contraire – que c'était les grands producteurs industriels qui utilisaient massivement des antibiotiques.

JK – Cela peut surprendre à première vue, mais comme l'a dit Nicholas, les grandes exploitations sont souvent régies par des réglementations plus strictes et il est probablement plus facile de contrôler leur conformité que de surveiller les opérations plus petites et moins structurées.

D^r Nicholas Svitek

Nous devrions peut-être préciser que les éleveurs ne sont généralement pas bien formés pour diagnostiquer l'agent pathogène responsable lorsque le poulet est infecté et présente des symptômes cliniques. Ils ne savent peut-être pas si c'est une bactérie ou un virus. Ainsi, dans la plupart des exploitations que nous avons visitées, nous avons constaté que les agriculteurs utilisaient des additifs dans les aliments qu'ils donnaient aux poulets. Et cela, essentiellement pour prévenir les infections ou même pour l'utiliser comme complément alimentaire afin d'accélérer la croissance des poulets. La plupart des additifs alimentaires ou des aliments pour animaux qu'ils utilisaient comportaient une série d'antibiotiques. Ils n'utilisent donc pas un seul antibiotique, mais un mélange pour s'assurer qu'ils ciblent toutes les infections bactériennes possibles. Cela peut donc être un problème quand on pense à la résistance aux antimicrobiens. Ajoutons que certaines études ont montré qu'environ 75 % des antibiotiques utilisés dans l'élevage de la volaille dans l'alimentation sont libérés dans l'environnement. Cela contribue donc très probablement à l'émergence de la résistance aux antimicrobiens.

EB – Les antibiotiques sont couramment donnés à la volaille comme additif alimentaire ET 75 % d'entre eux se retrouvent dans l'environnement ? Il semble que ce soient les conditions idéales pour l'émergence d'une résistance aux antimicrobiens. Les chercheurs ont-ils cherché à savoir si la salmonelle devient résistante ?

JK – Ils l'ont fait, en utilisant une méthode appelée « test de diffusion de disque Kirby-Bauer ».

EB – C'est tout un titre... Essaye donc de le répéter 5 fois de suite !

JK – Je ne vais même pas essayer. C'est un petit test assez impressionnant, en fait. Il s'agit d'inoculer des bactéries dans une plaque de gélose, puis placer un petit disque contenant

un antibiotique sur la surface de la plaque et laisser incuber. Si l'antibiotique tue la bactérie ou l'empêche de se développer, une zone claire autour de la plaquette sera visible, appelée zone d'inhibition. La taille de l'anneau indique le degré de létalité de l'antibiotique pour la bactérie testée.

EB – Avec un tel nom, cela semble beaucoup plus simple que ce à quoi je m'attendais. Et que constatent-ils ?

D^r Nicholas Svitek

Oui, nous avons constaté une certaine résistance. Nous avons analysé certains de nos isolats de salmonelle avec un régime de 12 antibiotiques et nous avons également inclus certaines souches E. coli et Shigella que nous avons également réussi à isoler sur le terrain. Nos données préliminaires indiquent qu'environ 40 % de ces isolats bactériens sont multirésistants aux médicaments. Ils sont donc résistants à trois antibiotiques ou plus. Lorsque nous avons étudié la situation dans les exploitations agricoles, si ces isolats provenaient d'exploitations où l'on utilisait ou non des antibiotiques, il n'y avait pas beaucoup de différence, en fait, car nous avons vu des souches multirésistantes ou résistantes aux médicaments provenant à la fois d'exploitations qui utilisent des antibiotiques et d'exploitations qui n'en utilisent pas.

EB – En d'autres termes, oui, il y a des bactéries multirésistantes dans les fermes qui utilisent des antibiotiques et elles ont même fait leur chemin dans des fermes qui n'en utilisent pas.

JK – S'il y avait le moindre doute, nous sommes maintenant convaincus de la nécessité de trouver d'autres moyens de prévenir et de contrôler la salmonelle dans ces élevages de volailles.

EB – Cela nous ramène aux phages... Pour développer un produit à base de phages contre la salmonelle, il faut d'abord trouver des phages appropriés, ce qui peut être délicat, car ils doivent cibler la bactérie en question.

JK – Oui exactement, vous devez trouver celles qui sont spécifiquement lytiques pour la salmonelle.

EB – Et nous savons déjà que si l'on cherche des phages, il faut d'abord trouver la bactérie.

JK – Effectivement. La chasse aux phages nous emmène dans toutes sortes de lieux intéressants.

D^r Nicholas Svitek

Lorsque nous sommes partis à la chasse aux phages, nous sommes allés dans l'environnement où l'on pensait trouver l'hôte bactérien. Nous avons donc visité des

élevages de volaille où nous avons recueilli nos bactéries. Nous sommes allés dans plus de 60 fermes, et nous avons recueilli des échantillons de fèces parce que nous savons que la salmonelle peut coloniser le tube digestif des poulets. Nous avons donc collecté des fèces de poulet à partir desquelles on peut ensuite isoler la salmonelle. Et c'est là aussi, dans ces fèces, que nous avons cherché les phages qui devraient infecter ou cibler la salmonelle, car c'est là que se trouve l'hôte. C'est là que vous trouverez les bactériophages. Nous avons donc recueilli plus de six cents échantillons de fèces, ainsi que des échantillons d'eau provenant de l'élevage de poulets, ainsi que des abattoirs où ils abattent les poulets.

JK – Comme nous l'avons entendu dans l'introduction de cet épisode, il faut beaucoup d'étapes et beaucoup d'heures au laboratoire pour passer d'un échantillon prélevé dans un élevage de poulets à une culture pure de phages utilisable dans un produit à base de phages.

EB – Tu peux résumer ces étapes ?

JK – Je ferai de mon mieux. Nous savons que pour obtenir des phages, on a besoin des bactéries qui leur sont associées. Il faut donc d'abord isoler les bactéries cibles, en l'occurrence la salmonelle. Pour ce faire, on crée une culture primaire de bactéries, que l'on appelle la culture du vaisseau-mère. C'est assez facile en fait, il suffit de mélanger l'échantillon fécal avec le milieu de culture des bactéries et d'incuber pour voir ce qui se développe. Le vaisseau-mère est essentiellement un échantillon de tous les micro-organismes présents dans les fèces de poulet.

EB – D'accord, mais on ne s'intéresse pas à tous les types de bactéries présentes dans l'échantillon, mais seulement à la salmonelle.

JK – Exactement, c'est là qu'interviennent les médias sélectifs. Les différentes bactéries ont des besoins différents. Si l'on ne fournit que ce dont les bactéries cibles ont besoin pour se développer dans le milieu de croissance, on peut favoriser leur croissance là où d'autres ne peuvent pas se développer. Ainsi, si l'on utilise un milieu optimisé pour la salmonelle, par exemple, on peut les cultiver de manière sélective sur des plaques – de belles pelouses de monoculture de salmonelle.

EB – Et si d'autres bactéries se faufilent à travers ?

JK – Les chercheurs confirment que ce qu'ils ont, c'est la salmonelle en utilisant des méthodes génétiques : le test PCR et le séquençage.

EB – C'est une bonne chose que nous ayons maintenant la salmonelle, mais ne cherchons-nous pas des phages ?

JK – C'est vrai. Revenons donc à la culture du vaisseau-mère, car s'il y avait de la salmonelle là-dedans, il est probable qu'il y ait aussi des phages. L'étape suivante consiste

à repérer de petites gouttes de la culture du vaisseau-mère sur la nouvelle pelouse uniforme de salmonelle. Et bingo, si vous voyez apparaître une tache claire où il n'y a pas de croissance bactérienne, appelé zone de lyse, vous savez que vous avez trouvé des phages. Suivent plusieurs cycles de purification pour s'assurer que la culture est pure.

EB – La collecte et la purification de la boue bactérienne sont-elles la seule façon de trouver des phages ? Ça exige beaucoup de travail, non ?

JK – Il y a en fait un autre endroit où on peut aller chercher des phages. Vous pouvez visiter une photothèque.

EB – Une phagothèque ?

JK – Oui, exactement, une collection de phages pour ceux qui en ont besoin. Il se trouve que Sylvain est le conservateur de l'une des collections de phages les plus diverses qui existent. Elle porte le nom de notre vieil ami Félix.

Professeur Sylvain Moineau

Le Centre de référence Félix d'Hérelle pour les virus bactériens a en fait été fondé en 1982 par un professeur nommé Hans Ackerman. Il enseignait ici à l'Université Laval, à la Faculté de médecine. Et depuis le début de 2003, sa collection a été transférée à notre groupe, et j'en suis le conservateur depuis. La principale valeur de la collection Felix D'Herelle est d'avoir des phages infectant plus de 130 espèces bactériennes. Nous disposons d'une grande diversité de phages. Il existe d'autres collections qui ont plus de phages. Mais aucune d'entre elles ne possède la diversité de phages qui est conservée ici au centre Félix d'Herelle. Essentiellement, la mission du centre Félix d'Herelle est de collecter et de distribuer des phages à des fins d'enseignement et de recherche. Au cours des cinq dernières années, nous avons envoyé des phages à plus de 300 laboratoires de recherche dans le monde entier, dans plus de 35 pays différents.

La personne réellement responsable de l'envoi de ces phages est Denise Tremblay. Elle s'occupe de tous les phages et est experte dans la manipulation et l'envoi des phages dans le monde entier.

La recherche sur les phages a connu un essor considérable ces dernières années et le centre Félix D'Herelle a fourni ces phages de référence à d'autres chercheurs pour qu'ils commencent à les étudier.

EB – Le Canada abrite la collection de phages la plus diversifiée au monde et les envoie aux chercheurs du monde entier. C'est bien impressionnant !

JK – Oui, une fois que les chercheurs ont sélectionné leurs phages candidats, que ce soit à partir d'échantillons de terrain ou d'une phagothèque, ou les deux, comme c'est le cas

dans ce projet. Ils commencent le processus de caractérisation des phages – on doit comprendre comment ils fonctionnent par rapport à une série de critères.

EB – Des critères autres que la bactérie qu'ils infectent ?

JK – Oui, le phage doit posséder de nombreuses caractéristiques. Nicholas en a fourni quelques exemples.

D^r Nicholas Svitek

Nous disposons d'une liste de critères ou de lignes directrices que nous utilisons pour choisir les meilleurs phages. Par exemple, nous voulons des phages qui peuvent avoir des titres viraux élevés, parce qu'à un moment donné, nous devons produire des phages à forte concentration ou à des niveaux de production élevés. Nous voulons des phages stables à faible pH, car nous savons que le mécanisme d'administration sera soit l'eau que les poulets boivent, soit l'alimentation, et qu'ils passeront par le tube digestif des poulets où, dans l'estomac, par exemple, qui est assez acide. Nous voulons donc des phages qui soient stables. Nous voulons aussi des phages qui se développent à des températures plus élevées, par exemple. La raison en est que la température du corps du poulet est d'environ 42 °. Nous voulons donc des phages qui puissent également se développer ou qui soient stables à cette température.

Nous voulons aussi des phages qui présentent un tropisme important, car nous voulons cibler la plupart des souches de salmonelle qui soit causent des maladies chez les poulets, soit constituent une menace pour la santé humaine, et donc aussi la salmonelle zoonotique.

JK – Maintenant qu'on a défini le nombre de phages que l'on souhaite utiliser, on peut les utiliser individuellement ou les combiner dans un cocktail de phages.

EB – délicieux

JK – C'est l'expression consacrée. C'est amusant si l'on est chercheur en phages, mais pas tellement si l'on est la bactérie cible.

EB – La vraie question est la suivante : maintenant qu'on a un cocktail de phages, comment faire pour qu'un poulet le boive ?

JK – Ça ressemble à une devinette : un chercheur en phages et un poulet entrent dans un bar... Bon, il est vrai que fabriquer suffisamment de phages et trouver un système de diffusion efficace est un obstacle technique important. Ce projet s'est donc tourné vers un collaborateur du secteur privé pour aider à résoudre ce problème.

Professeur Sylvain Moineau

En effet, la production de phages peut constituer un goulot d'étranglement dans ce

projet. C'est pourquoi nous nous sommes associés à une petite entreprise de biotechnologie de Québec, qui s'appelle SyntBioLab. C'est une jeune pousse qui possède une technologie permettant de produire des phages à très haut niveau sous forme de poudre. On peut donc très facilement les expédier dans différents pays. Et en raison du niveau de bactériophages dans ces poudres, on peut les diluer dans des aliments pour animaux, par exemple, dans l'eau qu'on donne aux animaux. Nous étudions donc différentes façons de fournir cette poudre contenant des phages aux exploitations du Kenya. C'est vraiment intéressant parce que, par exemple, ici, si l'on fait ce genre d'études au Canada, il y a du chlore dans notre eau et les phages n'aiment pas du tout ça. Alors qu'au Kenya, il n'y a pas de chlore, donc on peut mettre des phages dans l'eau ou là et ils seront infectieux pendant longtemps. Alors qu'ici, cela ne fonctionnerait pas correctement. Il y a donc des différences entre les pays dont nous devons être conscients.

On peut faire de la biologie, de la grande science : la création de phages; leurs caractéristiques; l'étude des phages; les interactions; la création de cocktails astucieux où les bactéries qui sont résistantes n'émergent pas, mais il y a cette technologie dont on a besoin pour produire le phage, et parfois je pense que cela n'est pas apprécié à sa juste mesure. Parce que le savoir-faire dans la production des phages est aussi très important.

EB – Cela devient un processus de développement de produits : laisse-moi voir si j'ai bien compris. Pour mettre au point une thérapie antiphagique, on doit d'abord enfiler une combinaison Hazmat ou se boucher le nez et aller chasser les phages dans des environnements riches en bactéries. Ensuite, on les isole dans les échantillons, on les teste et on les purifie. Ensuite, on peut les mélanger avec quelques autres phages pour obtenir un savoureux cocktail de phages pour une efficacité maximale contre les bactéries cibles. Et puis on trouve quelqu'un qui puisse fabriquer les phages en quantité suffisante et dans un format qu'on peut transporter et administrer aux animaux... C'est bien ça ?

JK – Exactement ! Et ce n'est pas terminé. Il faut encore tester la nouvelle thérapie dans des essais contrôlés sur des animaux et sur le terrain, et si tout se passe comme prévu, faire homologuer le produit dans le pays où on compte l'utiliser.

D' Nicholas Svitek

Enfin, pour avoir un produit, il faut obtenir un permis pour le produit dans le pays en question. Nous avons discuté avec le conseil d'autorisation de la Direction des médicaments vétérinaires du Kenya pour avoir un premier échange avec eux sur la nouveauté de l'utilisation des phages comme traitement ou prévention des infections et comme alternative aux antibiotiques. Nous devons donc disposer d'un produit qui réponde aux conditions requises pour homologuer un produit au Kenya, dans leur pays, et qui puisse varier d'un pays à l'autre.

EB – Le développement de produits n'est pas une sinécure ! Mais on dirait que Sylvain, Nicholas et leurs équipes font des progrès impressionnants.

JK – C'est un grand défi, c'est certain. Ils ne sont donc pas les seuls à travailler sur ce type de produit. Tu veux connaître une autre équipe qui développe un produit basé sur les phages dans un contexte différent ?

EB – Bien sûr !

JK – Dans ce cas, il faut quitter le Kenya et traverser l'océan pour aller au Pakistan rencontrer notre prochaine équipe de recherche.

EB – Ah ! Tu te souviens de l'époque où l'on pouvait voyager ?

JK – J'en ai un vague souvenir...

[Bruits de voyage – Annonces à l'aéroport, atterrissages d'avion, bruits de rue]

JK – Rêveries mises à part, ce projet a des idées vraiment innovantes sur lesquelles on travaille.

EB – Cela semble intéressant. Alors, l'élevage de poulets est-il une activité importante au Pakistan ?

JK – Tu serais surprise, c'est maintenant le 8^e producteur de produits de volaille au monde et il se modernise et s'intensifie de plus en plus. Malheureusement, le pays n'est pas à l'abri des problèmes liés à l'utilisation abusive des antibiotiques et à l'émergence de la résistance aux antimicrobiens. Le professeur Zafar Hayat, l'un des principaux chercheurs de l'Université des sciences vétérinaires et animales de Lahore, explique.

Professeur Zafar Hayat

Depuis 1962, et comme dans les années 1960, l'industrie s'est beaucoup modernisée. Elle a commencé par la volaille de basse-cour pour la consommation ménagère. Ces jours-ci, c'est une industrie vraiment intégrée et elle se compare avec celle de n'importe quel pays industrialisé et de n'importe quel producteur de volaille spécialisé du monde. Les mêmes problèmes se posent donc pour l'industrie avicole, notamment l'utilisation abusive d'antibiotiques dans l'alimentation des volailles. Et pour les exploitations et tout le cycle de production et la chaîne d'approvisionnement de la volaille, il y a la question des antibiotiques, qui est la pire chose et qui perturbe l'industrie et le consommateur. En effet, comme vous le savez, l'utilisation des antibiotiques présente deux facettes principales : d'une part, ils servent de stimulateur de croissance dans l'alimentation des volailles et, d'autre part, ils sont utilisés à des fins thérapeutiques pour contrôler les infections ou pour maîtriser la maladie à la ferme. Donc, de deux façons différentes. L'industrie avicole ici au Pakistan utilise des antibiotiques. Bien que leur utilisation diminue avec le savoir-faire, globalement, les agriculteurs pakistanais ne sont pas très

instruits malgré plusieurs campagnes du gouvernement. L'utilisation d'antibiotiques ici au Pakistan et la résistance antimicrobienne associée, ainsi que tous les effets qui en découlent, nuisent à l'industrie avicole pakistanaise, ainsi qu'au consommateur qui consomme de la volaille, de la viande et des œufs ici au Pakistan.

EB – Zafar a mentionné une chose que j'ai entendue plusieurs fois de la part de nos invités, à savoir que les antibiotiques sont inclus dans l'alimentation des volailles non seulement pour lutter contre les maladies bactériennes, mais aussi pour favoriser la croissance.

JK – Oui, c'est l'un de ces petits défis uniques à relever pour développer des alternatives aux antibiotiques : on a affaire à une bête à plusieurs têtes. Toute solution doit essayer de répondre à autant de besoins que possible si elle veut concurrencer les antibiotiques. Le truc, c'est peut-être que le travail d'équipe permet de réaliser le rêve.

Professeur Paul Ebner

Je m'appelle Paul Ebner. Je suis professeur de sciences animales à l'Université de Purdue. Oui, je crois que vous avez raison – un remède miracle qui remplace tout ce que fait un antibiotique – trouver cela est peut-être une course folle. Notre stratégie est la suivante : nous savons ce que ces antibiotiques font pour favoriser la croissance, il y a la prévention d'une infection subclinique, la prévention d'un simple déclenchement métaphylactique, la prévention d'un troupeau entier, il y a aussi un effet métabolique, il y a un score de lésion plus faible, des choses comme ça. Nous savons donc que les antibiotiques ont des propriétés différentes ou des activités différentes qui aident les poulets à grandir. Ils ne font qu'aider les poulets à être plus efficaces. Nous essayons donc de réunir un groupe de composés différents, qui peuvent être sans aucun rapport entre eux. Ils ont chacun leur propre rôle et, ensemble, ils peuvent remplacer l'effet total de l'antibiotique.

EB – Si je comprends bien, les antibiotiques aident à promouvoir la croissance en stimulant le système immunitaire des poulets ? Comme elles ne doivent pas dépenser inutilement de l'énergie pour lutter contre les infections, etc., la poule peut convertir plus efficacement son énergie en... Viande

JK – Oui, c'est à peu près ça.

EB – OK, alors que pouvons-nous inclure dans la solution de rechange aux antibiotiques qui aura un effet similaire de stimulation de la croissance ?

JK – Avant de s'en assurer, il est peut-être préférable de savoir qui sont nos concurrents...

Professeur Paul Ebner

Nous avons choisi ces deux espèces parce que nous voulions avoir le plus grand impact possible. Nous avons choisi la Salmonella gallinarum parce qu'elle est endémique au Pakistan et qu'elle affecte considérablement la santé de la volaille. La plupart du temps,

lorsque les gens ciblent la salmonelle avec des phages, il s'agit davantage d'un problème de sécurité alimentaire. Ils essaient de diminuer l'enteritidis ou le typhimurium. Nous nous attaquons à la gallinarum, car il s'agit d'un problème de santé important chez les poulets. La seconde salmonelle est donc Clostridium. Et si vous regardez les différents endroits où ils ont adopté des programmes sans antibiotiques ou avec peu d'antibiotiques, l'un des premiers impacts que vous verrez est peut-être une augmentation de la coxycydiose. Cela permet donc à Clostridium, qui est une opportuniste, de s'installer et de provoquer des infections comme l'entérite nécrotique chez les poulets. Ainsi, si vous regardez le tonnage d'antibiotiques utilisés, une grande partie de ce tonnage sert en fait à contrôler les infections clostridiennes, et ces animaux grandissent plus rapidement et plus efficacement, car ils sont moins touchés par la Clostridium. Nous nous sommes dit que si nous pouvions trouver une solution permettant de limiter réellement la nécessité d'inclure des antibiotiques pour lutter contre les infections à Clostridium, nous aurions un impact important en termes de tonnage d'antibiotiques utilisés.

EB – Une décision intelligente : cibler les bactéries qui poussent les éleveurs de poulets à utiliser le plus d'antibiotiques en volume. Très bien, maintenant nous connaissons la cible. Je reviens à ma question : qui allons-nous mettre dans cette équipe de rêve pour une alternative aux antibiotiques ?

JK – Eh bien, les phages

EB – Oui, j'ai bien compris... C'est un épisode sur les usages multiples des phages, après tout. Mais encore ?

JK – Tu n'as pas envie d'une nouvelle chasse aux phages, d'un deuxième voyage dans la voie de l'isolement et de l'optimisation des phages ?

EB – Bien sûr, pourquoi pas ? Peut-être seulement les moments forts ? Et après, tu promets de répondre à ma question ?

JK – Mais oui. Heureusement, Paul a le don de résumer les choses en quelques mots.

Professeur Paul Ebner

C'est un processus très classe qui commence dans une installation de traitement des eaux usées. Vous pouvez isoler les phages là où se trouvent les bactéries que vous ciblez. Nous avons eu beaucoup de chance en utilisant les eaux usées, comme celles des installations de traitement des eaux usées humaines. Nous les isolons, c'est comme la pêche où nous utilisons l'appât qui est la bactérie que nous ciblons. Et cela nous permet d'identifier ces phages de type sauvage, de les isoler, puis de les soumettre à un très long processus. C'est une chose d'obtenir des phages, ce n'est pas très difficile. Et c'en est une autre de trouver les phages que vous pensez être bons dans une thérapie.

EB – Tu ne plaisantais pas. Un « très long processus » – trois mots qui représentent probablement des centaines d'heures au laboratoire.

JK – OK – alors si tu pouvais choisir ton fruit préféré, quel serait-il ?

EB – Un changement de sujet un peu soudain, mais je veux bien jouer le jeu. Je dirais le kaki C'est un fruit très sous-estimé.

JK – Moi, personnellement, j'aime les mangues. Ils ont bon goût et ils peuvent contenir des nutraceutiques qui peuvent être utilisés pour remplacer l'effet de stimulation de la croissance que procurent les antibiotiques.

EB – Alerte ! Un nouveau mot ! Qu'est-ce qu'un nutraceutique ?

JK - Je laisse Zafar répondre à cette question

Professeur Zafar Hayat

C'est juste une combinaison de nutriment et de produit pharmaceutique. Nous aimons emprunter les deux mots et créer un nouveau terme, nutraceutique. Il s'agit essentiellement d'un terme général qui est utilisé pour décrire tout produit dérivé des sources alimentaires, en particulier avec les avantages supplémentaires pour la santé en plus de la valeur nutritionnelle de base qu'il contient. Dans notre projet, nous visons à quantifier les produits phytochimiques et nutraceutiques comme les acides phénoliques, les flavonoïdes et autres composés bioactifs dérivés de ces déchets agricoles, en particulier les déchets alimentaires. Si nous voulons parler des déchets alimentaires qui nous intéressent beaucoup, c'est la mangue, les déchets de mangue.

La mangue est très importante pour ses composés bioactifs, et il y a tant de composés bioactifs, comme les flavonoïdes, les catéchines, les mangiférines, l'acide oléique, l'acide gallique et il y a beaucoup de composés dans la pelure et les semences des mangues.

EB - Enfin des réponses ! Laisse-moi deviner, l'idée est d'utiliser des phages en combinaison avec des nutraceutiques provenant de mangues pour créer une alternative aux antibiotiques qui lutte contre les bactéries ET stimule la croissance en même temps.

JK – Exactement.

Professeur Zafar Hayat

Ainsi, dans notre projet et avec notre équipe et groupe de recherche, nous visons à développer une solution de rechange aux antibiotiques en utilisant les effets combinés des bactériophages et des nutraceutiques qui limitent l'infection bactérienne et améliorent la croissance. Cela signifie qu'on aura les deux avantages des antibiotiques : limiter les infections bactériennes avec l'utilisation de bactériophages et stimuler croissance grâce aux nutraceutiques.

JK - En fait, pour plusieurs raisons, les mangues sont une source particulièrement bien adaptée de nutraceutiques pour ce projet.

EB – Parce que les poulets ne peuvent pas résister à la délicieuse saveur d'un cocktail mangue-phage ?

JK – Ça, c'est certain ! Mais à part cela, il y a aussi un argument environnemental et économique à faire valoir.

Professeur Zafar Hayat

Dans certaines saisons, il y a beaucoup de mangues. Il y a beaucoup d'entreprises qui transforment ces mangues et beaucoup de déchets disponibles et il y a un souci pour l'environnement, car maintenant ils n'ont qu'un seul choix : brûler ce sous-produit agro-industriel très précieux dans l'industrie de la brique et d'autres où il y a de la fumée et toute la pollution environnementale. Donc, côte à côte, c'est une stratégie très avantageuse que d'utiliser ces déchets agro-industriels des mangues, pour se débarrasser de la pollution environnementale, pour donner une incitation financière très appréciable à l'industrie de transformation des mangues, et aux nutraceutiques, qui sont très importants.

EB – C'est génial ! Comment les chercheurs parviennent-ils donc à déterminer ce que contiennent exactement les déchets de mangue – la peau et les pépins – et si ces composés sont bons pour favoriser la croissance des poulets ?

JK – C'est un peu comme le processus d'isolation et de caractérisation des phages. Dans ce cas, le processus d'isolement est plutôt un processus d'extraction – essayer de trouver comment faire sortir les composés bioactifs des déchets. Il s'agit d'une étude fastidieuse qui consiste à évaluer différentes combinaisons de facteurs comme la température, le type de solvant, le rapport entre le solvant et l'échantillon, le temps d'extraction, etc., etc.

Une fois qu'on a des extraits, il faut savoir ce qu'ils contiennent – c'est là qu'intervient la CL/SM ou chromatographie liquide – spectrométrie de masse. En gros, la partie CL consiste à séparer un mélange en ses multiples composants et la partie SM identifie les composants. Ensuite, les véritables tests commencent : ces composés bioactifs ont-ils eux-mêmes des propriétés antimicrobiennes; des études de toxicité pour voir s'ils sont sûrs; des études de stabilité – peuvent-ils survivre aux températures élevées impliquées dans la fabrication des aliments pour animaux ? Enfin, les composés les plus prometteurs sont associés à des phages pour des essais pilotes sur les animaux et, si ceux-ci sont concluants, on fait des essais à grande échelle dans des conditions d'élevage commercial.

Professeur Zafar Hayat

Il s'agit d'un modèle qui part de l'extraction, de la caractérisation et de l'étude in vitro

de l'enrichissement par isolement, puis de petites études in vivo et de grandes études in vivo. Et alors nous pourrions nous lancer, comme tout produit, qui peut être utilisé pour remplacer les antibiotiques dans la volaille.

EB – Bon, nous avons donc expliqué ce qu'est un phage, nous sommes partis à la chasse aux phages et nous avons appris à les isoler et à les caractériser pour les inclure dans les thérapies par les phages. Nous avons vu comment ils peuvent potentiellement être combinés avec d'autres composés bioactifs pour imiter l'action multidimensionnelle des antibiotiques. En gros, nous avons répondu à la question « comment la phagothérapie peut-elle remplacer les antibiotiques dans la production de volaille » par des réponses techniques impressionnantes. Mais l'aspect technique du développement de produits n'est qu'un volet du problème. Qu'en est-il des agriculteurs du Kenya et du Pakistan qui pourraient bénéficier d'une thérapie par les phages contre la salmonelle ? Comment leurs besoins, leurs préoccupations et leurs capacités sont-ils pris en compte ? Car si ce n'est pas le cas, bonne chance pour l'adoption.

JK – Très juste. C'est vraiment important pour la réussite des deux projets, c'est pourquoi les deux équipes de recherche que nous avons rencontrées comportent un volet « aval », ce qui signifie qu'elles comptent dans leurs équipes des experts qui étudient les facteurs pouvant influencer l'adoption d'une nouvelle technologie et qui comprennent comment l'aspect social de l'adoption s'imbrique dans la science de la découverte en amont. La D^e Nicole Widmar est une économiste agricole qui fait partie de l'équipe travaillant sur le produit extrait de phage/mangue dans le contexte pakistanais :

Professeur Nicole Widmar

Je m'appelle Nicole Widmar, je suis professeure au département d'économie agricole ici à Purdue.

JK – Voici comment elle s'est exprimée en réponse à une question sur la relation entre la science de la découverte en amont et les aspects sociaux de l'adoption en aval.

Professeure Nicole Widmar

Une grande partie des recherches qui se déroulent dans le laboratoire répondent à un besoin. Et puis, on ne sait pas vraiment ce dont on a besoin qui soit socialement acceptable, tant qu'on ne sait pas ce qui est réalisable. Je les considère donc vraiment comme des activités parallèles qui doivent avoir lieu, parce que je pense qu'il y a des choses que la société aimerait avoir et qui ne sont tout simplement pas scientifiquement réalisables, du moins pas maintenant, et en revanche il y a des choses opposées qui sont scientifiquement faisables, mais la société s'y oppose. Je pense vraiment qu'on a besoin des deux. Je ne vois pas nécessairement de problème à ce que ces deux activités se déroulent simultanément. Certaines choses échoueront à un test et

pas à l'autre, et vice-versa. Nous avons besoin des deux composantes. Je pense donc que c'est un peu le problème de l'œuf et de la poule.

EB – J'espère que ce jeu de mots était voulu! Quoi qu'il en soit, Nicole a mentionné que l'acceptabilité sociétale peut être un défi lors de l'introduction d'une nouvelle technologie dans le monde. A-t-elle dit quels pourraient être les obstacles potentiels à l'adoption des produits basés sur les phages ?

JK – Eh bien... c'est compliqué !

Professeure Nicole Widmar

La composante réglementaire est un aspect du problème. L'élément le plus compliqué, à mon avis, est le volet socioculturel. Donc, même si le phage fonctionne à merveille, les gens voudront-ils qu'il soit utilisé dans leur système de production alimentaire ? C'est une question très compliquée. Ça semble simple à première vue, mais ce n'est pas aussi simple que de mettre une étiquette sur un produit alimentaire et dire que c'est bon, n'est-ce pas ? Il faut d'abord se demander... Vous savez que les phages peuvent être utiles en raison de la résistance aux antibiotiques, c'est-à-dire la résistance qui se développe en raison d'une utilisation excessive. Il faut donc explorer en amont et demander si la société pense que c'est un problème. Mais avant de pouvoir répondre à cette question, il faut se demander : la société comprend-elle réellement les conséquences de la résistance aux antibiotiques ?

EB – En fait, une partie du problème pourrait être que certains producteurs ne sont même pas conscients du problème de la résistance aux antimicrobiens – vous apportez une solution à un problème dont votre consommateur cible n'est peut-être pas conscient. Cela doit être délicat lorsqu'il existe déjà un produit bon marché – les antibiotiques – qui semble fonctionner parfaitement pour favoriser la croissance et prévenir les infections.... Du moins, pour l'instant...

JK - Exact, ou alors ils savent que c'est un problème, mais n'en saisissent pas toute l'ampleur, ce qui signifie qu'ils ne sont peut-être pas prêts à changer leur comportement et à se tourner vers un produit potentiellement plus coûteux.

Professeure Nicole Widmar

Une grande partie de la question est de savoir quel est le point de départ pour comprendre ce problème. En général, ce sera très hétérogène, n'est-ce pas ? Il y a des segments de la population qui pensent vraiment que c'est un très gros problème et qui sont prêts à prendre des mesures extrêmes. Et d'autres considèrent qu'il n'y a pas de problème pour eux, alors pourquoi prendraient-ils des mesures pour changer leur propre comportement ? Je pense que le défi est de saisir le point de départ des connaissances des gens. Comprendre les différents points de vue des membres de la

société et savoir pourquoi – cela vient d'un point de vue éthique, moral, spirituel, d'obligation économique – ils sont tous très différents. La perspective à laquelle je pense le plus souvent concerne les personnes qui ont du mal à nourrir leur famille en ce moment. Si les contraintes économiques sont telles qu'on se demande comment on nourrira sa famille aujourd'hui, on n'a pas le luxe de penser aux changements qu'on aimerait voir dans le système de production alimentaire.

EB – C'est un sacré casse-tête. Comment peut-on même essayer de saisir la complexité du problème ?

JK – Tu sais ce qu'on dit, quand on est au pied du mur, on commence à chercher des solutions.

Professeure Nicole Widmar

Il y a plusieurs façons de procéder. C'est un produit hypothétique sur la plupart des marchés en ce moment, donc il ne suffit pas de dire « eh bien, pourquoi ne pas aller au supermarché pour voir quel produit les gens achètent ». Donc, si les deux produits existaient déjà, ce serait plus simple. Dans ce cas, nous chercherions à développer une expérience d'achat simulé. Vous offrez aux gens des produits qui ont été fabriqués de deux manières différentes et vous variez ces produits et leurs attributs. Tout simplement, vous le variez de telle manière que vous essayez de connaître le choix réel des gens. Il y a donc une bonne part de travail de conception de l'enquête et de l'interview pour savoir comment poser la question de manière à se rapprocher le plus possible de la réalité. Vous ne pouvez pas éliminer toutes les variables, mais vous essayez de faire le mieux possible pour connaître la véritable opinion des gens.

EB – Du magasinage hypothétique, amusant ! Je pense savoir où nous voulons en venir : le prix qu'on est prêt à payer pour un produit en dira long sur vos préférences.

JK – C'est vrai, lorsque nous sommes passés de la microbiologie à l'économie, nous nous sommes aventurés sur ton territoire, n'est-ce pas ?

EB -Oui, je me sens nettement plus à l'aise dans ce domaine.

Professeure Nicole Widmar

Nous essayons de comprendre deux choses : premièrement, quel est votre point de vue sur cette idée de phage, et deuxièmement, quel est votre intérêt ? Si l'on considère que le client a toujours raison, alors il choisira le produit qui lui convient le mieux. Et nous essayons de comprendre pourquoi vous avez estimé que c'était le bon produit. Est-ce en raison d'une contrainte économique ? Est-ce parce que vous craignez de changer le système pour diverses raisons ? Ou bien parce que vous êtes parti du principe que la résistance aux antibiotiques n'est pas un problème ? Il y a donc peut-être un élément

de sensibilisation qui vient après cela. Mais pour l'instant, nous n'avons aucune réponse, n'est-ce pas ? Nous avons adopté une stratégie à plusieurs volets pour simuler les achats et mesurer les perceptions et les connaissances.

JK – Une compréhension de la nécessité de la sensibilisation et l'intégration de cette recherche en aval dès le début du projet semblent constituer une grande partie de ce que Nicole trouve prometteur dans ce projet.

Professeure Nicole Widmar

Ce dont nous n'avons pas besoin, c'est d'un grand débat public sur des questions qui auraient pu être résolues si nous avions simplement diffusé les informations en premier lieu. Au bout du compte, on ne peut pas forcer les gens à croire ou à vouloir quelque chose, mais nous pouvons faire de notre mieux pour communiquer la science de telle sorte que les gens puissent voir les conséquences, tant positives que négatives, de son introduction. Je pense que cet effort est utile, et c'est la partie qui me passionne le plus.

EB – C'est vrai, je pense que dans le contexte actuel de désinformation – dans le domaine des vaccins humains, par exemple – où nous ne connaissons que trop bien les conséquences d'une mauvaise communication, il est bon d'entendre que les équipes de recherche prennent des mesures proactives pour comprendre les besoins en information de leur base d'utilisateurs.

JK – Sans aucun doute. C'est ainsi que l'une des équipes de recherche aborde la question complexe de l'adoption. Revenons maintenant à notre équipe de recherche qui travaille sur le produit à base de phages pour la production de volaille au Kenya. Je pense que ce projet illustre vraiment la nécessité de prendre en compte la tradition, la culture et les systèmes économiques lors de l'introduction d'un nouveau produit sur le marché.

EB – Ça a l'air passionnant !

JK – Ce l'est ! Ce projet a développé un courant de recherche innovant pour comprendre la dynamique autour de la découverte et du traitement des maladies et les perceptions des phages et comment ceux-ci sont liés à la sexospécificité. Ce travail est dirigé par la D^{re} Zoë Campbell.

D^{re} Zoë Campbell

Je m'appelle Zoë Campbell et je suis une économiste spécialisée dans les questions de sexospécificité et de sociologie à l'ILRI à Nairobi.

JK- Dans la même veine que ma conversation avec Nicole, Zoë a mentionné que, d'après son expérience, la question de l'adoption d'une nouvelle technologie est souvent considérée comme la dernière étape.

D^{re} Zoë Campbell

D'après mon expérience, il semble que souvent un produit soit développé et puis, en tant que chercheuse sur l'adoption, je suis souvent amenée à dire plus tard « oh, nous avons ce super produit ». Pouvez-vous nous aider à trouver comment faire en sorte que les agriculteurs l'utilisent ? Nous voulons qu'ils l'utilisent. Aidez-nous à les convaincre ».

EB – Oui, comme nous venons de l'entendre de Nicole, si tu tiens compte des besoins et des préoccupations des utilisateurs finaux dès le départ, cela peut réduire le risque de consacrer des années et d'innombrables ressources au développement d'une technologie sophistiquée dont personne ne veut.

JK – Exact. Il est tout à fait logique de procéder de cette façon. Le travail de l'équipe de Zoë pour comprendre et cerner les besoins et les contraintes des utilisateurs finaux permet aussi d'étayer le processus de développement du produit.

D^{re} Zoë Campbell

Ce projet est passionnant, car les bactériophages sont utiles à bien des égards. Ils pourraient prévenir les maladies chez les poulets, éventuellement traiter des maladies chez les poulets, voire être utilisés pour nettoyer les surfaces. Il y a beaucoup d'applications. Je pense donc qu'en réfléchissant très tôt à ce que les différents groupes d'agriculteurs vont considérer comme le plus important, quelles lacunes cela comble-t-il pour eux ? Cela dépend vraiment si vous avez 20 poulets, si vous en avez 1000, cela peut dépendre de l'endroit où vous vous trouvez dans le pays et du type d'accès que vous avez à des produits concurrents qui peuvent faire des choses similaires, les principaux étant les antibiotiques; mais il existe aussi des vaccins qui peuvent traiter certaines des maladies que les bactériophages peuvent également traiter. Ainsi, en posant ces questions très tôt, vous pouvez modifier le mode de fonctionnement du produit, son conditionnement, son système de distribution, ou vous concentrer sur certaines qualités du cocktail de bactériophages qui pourraient être plus importantes pour un groupe particulier.

EB – Ce que j'entends, c'est qu'en gros, selon la personne qu'on sert, on modifie la recette du cocktail. Une fête de 200 personnes ? Il nous faut un cocktail savoureux qui puisse être préparé en grandes quantités à l'avance. Servir un cocktail similaire à deux personnes lors d'un rendez-vous ? Dans ce cas-là, on sort les verres de fantaisie et on y ajoute des fioritures décoratives comme des branches de romarin.

JK – Ah l'analogie du cocktail, ça fonctionne toujours! Juste pour en rajouter un peu – si vous le servez à un groupe de végétaliens, vous devrez peut-être éviter les blancs d'œufs.

EB – C'est vrai, je suppose que tu fais allusion aux contraintes culturelles.

JK – Exactement

EB – D'accord, mais avant que je ne perde totalement de vue ce dont nous parlons ici – des phages, et non des cocktails – peut-être qu'un exemple serait utile.

D^{re} Zoë Campbell

Prenons l'exemple d'une éleveuse de poulets, mettons qu'elle possède 50 poulets qu'elle vend généralement vers Pâques en une seule fois. Elle pourrait plus se préoccuper de choses comme la mortalité des poussins ou de maladies comme la typhoïde, qui pourraient affecter ses poulets. Il existe un vaccin, mais il est très coûteux et il s'agit d'une injection intramusculaire. Il faut donc faire venir quelqu'un, et des aiguilles sont nécessaires, donc c'est de plus en plus coûteux et cela demande plus de travail. Elle pourrait être intéressée par un produit à base de bactériophages parce qu'il pourrait réduire la mortalité des poussins, éventuellement, en traitant toute une série d'infections à base de salmonelle, ou elle pourrait s'intéresser au produit comme solution de rechange à la vaccination contre la typhoïde, ce que beaucoup de petits éleveurs de volaille ne font pas. En revanche, si vous observez un éleveur qui possède un élevage de milliers et de milliers de poulets, il pourrait être intéressé ou mieux informé sur le nettoyage des surfaces ou plus sur le volet de la sécurité alimentaire visant à réduire les infections causées par la salmonelle.

JK – Il existe donc différentes façons de segmenter la base d'utilisateurs potentiels de ce produit. Elle en a évoqué deux dans cet exemple.

EB – Le premier critère est la taille de l'exploitation, non? Et comme Zoë est une experte en sexospécificité, le second facteur est le sexe du producteur de volaille ?

JK – C'est ça. Dans certains contextes, notamment au Kenya, il peut y avoir des rôles très distincts pour les hommes et les femmes dans la production animale.

D^{re} Zoë Campbell

Il est assez courant, par exemple en Afrique de l'Est, que certaines espèces soient essentiellement réservées aux hommes ou aux femmes. Les vaches sont souvent réservées aux hommes. Il y a des blagues où on dit que les poulets sont les vaches des femmes. Il existe des stéréotypes sur la gestion et le contrôle de certains types de bétail et sur les soins à leur apporter.

L'équipe de recherche a contacté l'équipe chargée des questions de genre très tôt, car ce stéréotype ou cette tendance, devrais-je dire, veut que les femmes soient plus responsables des poulets, ce qui est vrai surtout dans les petits ménages. C'est tout à fait vrai. Au fur et à mesure que la production s'intensifie, on devient de plus en plus commercial. Il semble que les femmes soient moins présentes et que les hommes aient

tendance à contrôler les très grandes exploitations commerciales. En gros, l'équipe de recherche nous a contactés et nous a dit : « Eh bien, il semble que les femmes et les poulets vont ensemble. » Nous ne savons pas exactement comment cela fonctionne. Mais nous devons peut-être penser à la sexospécificité quand nous développons des produits bactériophages ».

EB – D'accord, donc on s'attend généralement à ce que les femmes gèrent la production de volaille, du moins dans les élevages à petite échelle. Mais il ne s'agit pas seulement de développer un produit pour répondre aux besoins des petites productrices et du leur vendre, n'est-ce pas ? Les dynamiques de genre ne sont jamais aussi tranchées...

JK – Exactement.

[D^{re} Zoë Campbell](#)

La propriété, par exemple, est une question délicate. Les femmes peuvent s'occuper du bétail, elles vivent dans leurs maisons, mais leurs pères, leurs maris, les hommes de la maison possèdent ce bétail, donc leur action peut être limitée. Dans d'autres systèmes, par exemple en Afrique de l'Ouest, il se peut que des vaccins soient fournis, par exemple, pour les moutons et les chèvres. Il y a des campagnes de vaccination de masse, mais il faut enregistrer les animaux auprès du gouvernement, et ce sont souvent les hommes qui s'en chargent. Ainsi, si les femmes vont enregistrer les animaux de leur foyer, on les prend pour des femmes célibataires ou qui manquent de respect envers les hommes de leur foyer en faisant cela. Ainsi, d'emblée nous constatons non seulement des tendances concernant les personnes qui effectuent certaines tâches, mais aussi des différences en matière d'accès et d'accès à l'information.

EB – Il y a toutes sortes de facteurs qui jouent ici. Il ne s'agit pas seulement de définir les productrices cibles, de les informer sur votre produit et de leur donner les outils dont elles ont besoin pour l'administrer à leurs volailles. Il faut également se demander qui tient les cordons de la bourse, qui a accès aux services vétérinaires et comment l'information est diffusée, etc.

JK – Sans parler des autres contraintes liées au genre qui peuvent rendre plus difficile l'accès à ces productrices.

[D^{re} Zoë Campbell](#)

Parfois, les possibilités de formation sont plus orientées vers les hommes. Peut-être que c'est à un moment de la journée où il est plus facile pour les hommes de participer ou que les femmes ont beaucoup de responsabilités à la maison et qu'il est plus difficile pour elles de participer à une formation qui ne comporte pas d'aménagement supplémentaires spécifiquement destinés aux femmes. Au fur et à mesure qu'on étudie

la question, on découvre et on en apprend de plus en plus sur la façon dont la sexospécificité interagit avec les rôles des personnes qui s'occupent du bétail.

EB – Il y a beaucoup de facteurs à considérer !

JK – Exactement, d'où la nécessité d'une équipe chargée d'étudier la sexospécificité. Voici donc comment on s'y prend :

D^{re} Zoë Campbell

En examinant de très près le genre ainsi que les systèmes de production, on comprend mieux comment les produits bactériophages concurrenceraient d'autres produits auxquels les gens ont accès, quelles qualités sont les plus importantes pour les personnes intéressées. En fait, nous fournissons des informations à l'équipe de recherche sur la façon dont elle pourrait concevoir ou tester différents aspects et attributs de son cocktail de phages.

C'est vraiment passionnant et génial que le début du projet intègre d'emblée le facteur socioéconomique et d'adoption. Je pense que le fait que les chercheurs s'associent tôt pour parler de ces défis augmente réellement les chances A) d'avoir un produit réussi qui puisse être utilisé commercialement en Afrique de l'Est, B) d'être en mesure d'aider plus d'agriculteurs à relever les défis auxquels ils sont confrontés.

EB – Nous avons eu un aperçu du nombre étonnant de facteurs qui entrent en jeu dans l'idée d'acceptabilité sociale et d'adoption, mais il y a des facteurs importants qui méritent probablement un examen plus approfondi – la sécurité et le coût.

JK – Eh bien, en général, les phages sont considérés comme assez sûrs – il est possible qu'ils portent des gènes codant pour des toxines ou même pour la résistance aux antimicrobiens, qui peuvent se propager aux bactéries, mais un dépistage précoce peut les détecter assez facilement.

Professeur Sylvain Moineau

La grande majorité des bactériophages sont en fait sûrs, ils ne causent aucun problème. Bien sûr, ces phages, là encore, sont très spécifiques aux bactéries, ils n'infesteront donc pas les cellules humaines ou animales. Mais aussi, quand on commence à sélectionner un phage, on approfondit nos connaissances de la biologie de ce phage particulier. L'une des premières étapes consiste à séquencer son génome. Ainsi, on séquence le génome des phages qui nous intéressent, puis on analyse le génome d'un phage particulier. Normalement, en analysant ce génome, on regarde s'il y a des gènes de résistance ou des gènes de toxine qui seraient présents dans ce phage particulier, et si c'est le cas, on retire simplement le phage de notre banque et on ne l'utilise plus.

EB – Et qu'en est-il du coût ? Ces derniers temps, l'accent mis sur la thérapie par les phages a surtout porté sur les traitements médicaux sur mesure pour les humains – autrement dit, comment les phages ont sauvé des patients gravement malades dans les pays riches. C'est évidemment très coûteux et il est peu probable que cela s'applique dans des contextes de revenus plus faibles ou dans la production alimentaire.

JK – C'est un point intéressant. Mais il existe déjà des exemples de produits à base de phages disponibles dans le commerce et utilisés dans la production animale, principalement pour contrôler les bactéries sur les produits après la récolte. Ça laisse entendre que la technologie de production de phages atteint déjà le niveau où elle devient rentable. Sylvain et Paul ont tous deux eu des idées intéressantes sur le problème du coût.

Professeur Sylvain Moineau

Oui, avec chaque nouveau produit biologique, il y a toujours la question du coût. Mais je pense qu'avec les phages, nous avons de la chance, car nous pouvons les produire à des niveaux très élevés. Et je pense que la question du coût ne sera pas si importante. Cela dit, nous savons que, surtout pour les agriculteurs, on veut éviter de proposer un produit qui leur coûtera très cher. C'est pourquoi le volet de la production est extrêmement important. Nous avons besoin d'un produit de très bonne qualité, d'une puissance élevée qu'on peut même diluer dans les exploitations. Le coût est donc un problème qui a toujours existé, mais je pense que nous avons des moyens de le réduire considérablement.

Professeur Paul Ebner

On nous pose beaucoup de questions au sujet des coûts. Et c'est légitime. Mais il y a cette idée que la phagothérapie serait très, très chère. Vous savez, une fois la technologie développée, le processus n'est pas différent de celui qui consiste à mettre au point des antibiotiques. Les motivations des gens à utiliser un produit ou à modifier un comportement, à changer de système de production ne sont pas uniquement dictées par le coût. Et dans les cas extrêmes, la loi peut interdire l'utilisation d'un produit ou une pratique de production. Et dans de nombreux cas, il s'agit de sensibiliser les consommateurs. Nous avons connu d'énormes changements dans les systèmes de production et la production animale aux États-Unis, et dans de nombreux cas, ils ont été motivés par la demande des consommateurs, qui est évidemment alimentée par la sensibilisation. Si vous regardez simplement les coûts, vous allez avoir du mal à vendre votre produit, pas nécessairement, mais si vous ne regardez que le coût – oui, ce sera probablement plus cher que les antibiotiques, du moins à très court terme – mais si vous regardez toutes les motivations qui vont dans le sens d'un changement de comportement ou d'une modification des pratiques de production, et si vous analysez

la façon dont les réglementations sont en train de se développer au Pakistan et aux États-Unis, il y aura des incitatifs autres que le coût.

JK – Je pense que Paul souligne une tendance intéressante, où nous commençons peut-être à prendre en compte les externalités liées à l'activité des entreprises. Qu'il s'agisse d'antibiotiques pas chers qui favorisent la résistance aux antimicrobiens, ou du pétrole bon marché qui aggrave le changement climatique.

EB – C'est vrai, et comme pour le changement climatique, un élément clé doit être la sensibilisation du public. Nous, consommateurs, pouvons contribuer à faire avancer cette tendance en parlant de l'utilisation des antibiotiques dans notre alimentation. Je dois dire que je suis beaucoup plus optimiste sur la question de la résistance aux antimicrobiens, après avoir entendu parler de la façon dont les progrès dans la technologie des phages pourraient commencer à remplacer les antibiotiques dans notre système alimentaire. De plus, il est formidable de voir des équipes de recherche intégrer de manière proactive des spécialistes en sciences sociales dans leurs équipes pour s'assurer que les produits finaux prennent en compte les besoins des utilisateurs potentiels et y répondent.

JK – Bienvenue dans le futur !

EB – Maintenant que nous avons résolu le problème de la résistance aux antimicrobiens, est-ce qu'il reste des sujets à traiter ?

JK – Oh, nous n'avons fait qu'effleurer la surface. Tu veux un aperçu de la suite ?

EB – Bien sûr ! Dans le prochain épisode, nous examinerons certaines des stratégies innovatrices que les chercheurs utilisent pour élaborer des alternatives aux antibiotiques dans le domaine de l'aquaculture.

JK - Oui, on peut vacciner un poisson et on peut même le faire à l'aide d'un robot.

[Son de robot]

EB – Pour celles et ceux qui souhaitent en savoir plus sur le balado, vous pouvez lire la transcription ou nous contacter, rendez-vous sur la page d'accueil du balado dont le lien se trouve dans les notes de l'émission. Faites-nous part de vos commentaires. N'oubliez pas de vous inscrire.

JK – À la prochaine, et merci de nous avoir écoutés.

[fin]

*Certaines des citations de cette transcription ont été légèrement modifiées pour en faciliter la lecture.

NOTES DE L'ÉMISSION

Poulets, mangues et magasinage hypothétique. Dans cet épisode, nous explorons le monde des phages, virus des bactéries. Nous parlons à de chercheurs qui cherchent à exploiter la capacité des phages à tuer les bactéries pour aborder le problème de la salmonelle dans l'élevage de poulet au Kenya et au Pakistan et comment cette nouvelle technologie pourrait être perçue et adoptée par les éleveuses et éleveurs.

Innovating Alternatives est balado en série qui se penchera sur la question de la résistance aux antimicrobiens, une pandémie à évolution lente qui risque d'effacer les 80 dernières années de progrès de la médecine moderne. Nous vous emmènerons à la fine pointe de la science, où les chercheurs développent des solutions de rechange nouvelles et surprenantes aux antibiotiques et des solutions novatrices pour réduire l'utilisation des antimicrobiens dans la production animale et aquacole.

Prenez contact avec nous et laissez-nous savoir ce que vous pensez du balado par courriel innovetamr@crdi.ca ou sur twitter [@Livestock_IDRC](https://twitter.com/Livestock_IDRC)

Crédits musicaux (par ordre d'apparition) : ([A Beautiful Life par Broke for Free](#) | [Kelp Grooves par Little Glass Men](#) | [XXV par Broke for Free](#) | [Focus par A. A Aalto](#) | [Donnalee par Blue Dot Sessions](#) | [Electrons Orbiting Melancholy par The Polish Ambassador](#) | [Take Wing par The Polish Ambassador](#) | [Transparent par Ketsa](#) | [The Little Lifeform That Could par The Polish Ambassador](#) | [Onwards Upwards par Ketsa](#) | [Coming Storm par Ketsa](#) | [Slow Smoke III par Crowander](#) | [Eye On Me par Ketsa](#) | [Summer Spliffs par Broke for Free](#) | [Vittoro par Blue Dot Sessions](#) | [Underway By First Light par The Polish Ambassador](#))

Crédits des effets sonores (par ordre d'apparition) : ([Music Elevator par Jay You](#) | [Wind Chimes par InspectorJ](#) | [Medina Market par Jeff Timesten](#) | [Rushing Through Canal Lock par Sonicquinn](#) | [Chicken par Erdie](#) | [Kaiju Lab Interior Ambiance par Vortex4](#) | [Un rêve de harpsicord par Zerolagtime](#) | [Annonce d'embarquement à l'aéroport par Soundmary](#) | [Ambient Soundtrack Retweek Miramba Dreamer par Suonho](#) | [Atterrissage d'avion au-dessus de Zaventem par Bram](#))

Le balado **Innovating Alternatives** présente des projets de recherche financés dans le cadre de l'initiative [Solutions vétérinaires innovatrices pour la résistance aux antimicrobiens \(InnoVet-AMR\)](#), un partenariat de 27,9 millions de dollars canadiens entre le [Centre de recherches pour le développement international \(CRDI\)](#), le [Department of Health and Social Care \(DHSC\) du Royaume-Uni](#) et le [Global AMR Innovation Fund \(GAMRIF\)](#).