







LA REVUE PAR ET POUR LES ÉTUDIANTS DES CYCLES SUPÉRIEURS



— ÉTUDIANTE AUX CYCLES SUPÉRIEURS EN ANTHROPOLOGIE

FICSUM.COM (2) (1)

LA REVUE DES CYCLES SUPÉRIEURS DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Fondée en 1992 La recherche à votre portée Hiver 2016 vol. 25, nº 1

Directrice générale Valérie Gauthier

Rédactrice en chef Marie-Paule Primeau

Comité de lecture

François Dominic Laramée, Dominique Hétu, Axelle Marchand

Réviseure linguistique Martine Senécal

Collaborateurs

Charles Benjamin, Louis Provost Brien, Pierre-Yves Cardon, Anne-Frédérique Gendron, Ugo Gilbert Tremblay, Benjamin Hébert-Seropian, Kévin Tougeron

Graphiste Dominique Lavoie

Correctrice d'épreuves Émilie Pelletier

Imprimeur Impart Litho

Éditeur

La revue Dire est publiée par le Fonds d'investissement des cycles supérieurs de l'Université de Montréal (FICSUM). Le FICSUM est une corporation à but non lucratif financée par les étudiants inscrits aux 2e et 3e cycles à l'Université de Montréal.

Conseil d'administration du FICSUM

Présidente: Maud Laporte-Roy Trésorière : Marilou Bernard Secrétaire : Alex Ferraz Administrateur : Jean Lagacé Administrateur : Maxime Pelletier Administrateur : Nicolas Bérubé (FAÉCUM) Administratrice: Frédérique-Emmanuelle Lessard (FAÉCUM)

ISSN 1192-9340

Dépôt légal 1er trimestre 2016 Bibliothèque nationale du Québec Bibliothèque nationale du Canada Envoi de publication canadienne nº 40013185 Dire publie trois numéros par an

Publicité 3600 exemplaires redaction@ficsum.com

Abonnement sur le site Web au www.ficsum.com 1 an

2 ans 37,09\$ 57,41\$ 57,41\$ 25,24\$ 35,40\$ Individuel Institutionnel Hors Canada

Toute correspondance doit être adressée à : Revue Dire 2375, chemin de la Côte-Sainte-Catherine, bureau 1125-7 Montréal (Québec) H3T 1A8 redaction@ficsum.com

Téléphone: 514 343-6111, poste 53027 Site Web: www.ficsum.com

Les auteurs publiés dans *Dire* conservent l'entière responsabilité de leurs opinions. Toute reproduction doit être préalablement autorisée par le FICSUM. La reproduction des photographies est interdite.

Photographies (sauf indication contraire) : Shutterstock[©]



MOT DE LA DIRECTRICE GÉNÉRALE DU FICSUM

Ça bouge au FICSUM! Le Mois de la recherche étudiante (MRE) est un événement qui a lieu en mars et au cours duquel des étudiantes et étudiants des cycles supérieurs de l'Université de Montréal présentent leurs derniers résultats de recherche lors de conférences. C'est également une occasion pour toute la communauté universitaire d'échanger, d'assister à différents colloques et de participer à de nombreuses tables rondes de pairs.

Le FICSUM invite d'ailleurs les associations étudiantes et les comités organisateurs de telles rencontres - dont une majorité de membres étudient aux cycles supérieurs de l'Université – à se rallier autour du MRE pour favoriser la visibilité de chacun des événements et en assurer un meilleur financement. Avec ses partenaires, le FICSUM offre des bourses pouvant atteindre 1 200 \$, qui permettent de couvrir certains frais liés à l'organisation d'activités de promotion de la recherche étudiante.

Visitez le www.ficsum.com/mre/participez/!

Valérie Gauthier Directrice générale



MOT DE LA RÉDACTRICE **EN CHEF**

En ce début d'année 2016. l'équipe de Dire vous propose une livraison d'un très bon cru! Les articles de ce numéro sont fascinants par leur pertinence : liberté individuelle et prévention de la criminalité, intelligence artificielle et coût humain de la guerre, incidence de la perte de biodiversité sur la santé humaine, stéréotypes et acceptation de l'Autre, risques liés aux métaux qui contaminent notre écosystème, liens entre les émotions et le corps, symbiose entre les insectes ou les humains et les êtres microscopiques qui les habitent. Autant de sujets qui résonnent et font écho à des aspects multiples et complexes des réalités politique, économique, sociale et environnementale québécoises. La devise de Dire, La recherche à votre portée, lui va à merveille!

Souhaitez-vous aussi partager le fruit de vos recherches? Notre prochaine date de tombée est le 9 mai 2016. Visitez le www.ficsum.com/dire/soumettez/ pour consulter nos normes de publication et soumettre votre article.

Bonne lecture, et bonne année à toutes et à tous!

Marie-Paule Primeau

Rédactrice en chef

SOMMAIRE

HISTOIRE



La représentation du païen : une forme de discrimination médiévale?/8

LOUIS PROVOST BRIENProgramme de doctorat en histoire

SANTÉ



La biodiversité sur ordonnance?/14

KÉVIN TOUGERONProgramme de doctorat en sciences biologiques

PSYCHOLOGIE



L'insula : île du cœur et de la raison/18

BENJAMIN HÉBERT-SEROPIANProgramme de maîtrise en psychologie

BIOLOGIE



Les terres rares : des métaux aux risques encore incertains / 24

PIERRE-YVES CARDON
Programme de doctorat en sciences biologiques



Des partenaires microscopiques hébergés dans les cellules : les endosymbiotes / 31

ANNE-FRÉDÉRIQUE GENDRON
Programme de doctorat en sciences biologiques

SOCIÉTÉ



Prédire le crime? Les enjeux éthiques de la dangerosité/38

UGO GILBERT TREMBLAYProgramme de doctorat en droit et en philosophie, en cotutelle bidisciplinaire



Faut-il craindre la guerre des robots?/45

CHARLES BENJAMIN

Programme de maîtrise en sciences de l'information

LA REPRÉSENTATION DU PAÏEN : UNE FORME DE DISCRIMINATION MÉDIÉVALE?



LOUIS PROVOST BRIEN, louis.provost-brien@umontreal.ca Programme de doctorat en histoire

Exclusion, altérité, stéréotype: voilà des termes qui, dans le contexte de la mondialisation contemporaine, sont présents dans l'actualité.

Ces concepts existent depuis des centaines, voire des milliers d'années, et la figure de l'Autre a toujours suscité curiosité, intérêt ou inquiétude.

Dans le cadre médiéval, celle-ci se distinguait particulièrement par sa religion.

Les auteurs médiévaux en ont donc fait une cible privilégiée, transmettant une image sombre du paganisme, alors que les païens, qui peuplaient l'ensemble de l'Europe avant sa christianisation, ne possédaient pas l'écriture. Une étude des écrits chrétiens offre un aperçu d'une possible discrimination, encore présente aujourd'hui dans la représentation des païens, en constatant comment ils étaient décrits de manière stéréotypée, à une époque où on les considérait comme des ennemis.

DIRE / HISTOIRE

SELON LES CHRÉTIENS, LE PAÏEN ÉTAIT **VIOLENT, BARBARE, SAUVAGE, FOURBE ET** NE CONNAISSAIT RIEN À LEUR RELIGION.

*PAÏEN

Adepte d'une religion polythéiste ou fétichiste non acceptée comme une religion officielle.

*IDOLÂTRE

Celui qui voue un culte aux idoles (des représentations de divinités).

*VIKING

Représentant des peuples danois, norvégien et suédois païens entre les viiie et xi^e siècles.

Le païen* est vu, par les auteurs modernes, comme un être vénérant les forces de la nature. vivant dans une société souvent tribale. polythéiste : il est l'adversaire du chrétien et la cible des missionnaires. Il fait figure de personnage incontournable de l'époque médiévale, alors que la chrétienté triomphante repousse ses frontières, convertissant les populations limitrophes. Parfois nommé **idolâtre***, le païen est amplement stéréotypé, tant dans les sources historiques que dans

les représentations actuelles du Moyen Âge. Le spécialiste des civilisations scandinaves Régis Boyer, lorsqu'il souligne le cliché actuel entourant le Viking* païen, le décrit comme une brute blonde aux yeux bleus, coiffée d'un casque à cornes (qu'aucun Viking n'a jamais porté), debout à la proue de son drakkar (alors que le terme n'a été inventé qu'au XIX^e siècle par un journaliste français); une brute violant moinillons et vierges, buvant le sang de ses victimes dans leur crâne, et affrontant la mort en riant à gorge déployée 1. Cette représentation moderne, inspirée des sources du passé, est certes exagérée. Elle peut cependant pousser à se demander quelles étaient les caractéristiques reprochées aux païens par les chrétiens. Comment cette construction d'un modèle de l'altérité païenne, qui perdure encore de nos jours, six siècles après la fin du Moyen Âge, s'articule-t-elle?

Un premier regard sur le païen médiéval

Le portrait du païen est souvent négatif et stéréotypé. Selon les chrétiens, il était violent, barbare, sauvage, fourbe et ne connaissait rien à leur religion. Opposant traditionnel de l'Église, il était une menace pour les fidèles, leur âme et les institutions religieuses. Par conséquent, il ne pouvait que provenir d'une société inférieure et donc devenir victime d'une certaine forme de discrimination. Alors que les païens

ne possédaient pas l'écriture, seule cette image négative a traversé les siècles. Emplie de clichés, elle n'est cependant pas nécessairement un reflet de la réalité. À vrai dire, tout comme pour le processus d'exclusion actuel, l'image renvoyée par les sources historiques est basée sur des traits exagérés, souvent négatifs, créant ainsi un idéal type de l'antagoniste. Le païen, au Moyen Âge, est justement ce rival qui doit être détesté du clergé et de l'ensemble des croyants. Il en va de la survie et de l'extension de la chrétienté que de pouvoir

mobiliser la société contre lui et éventuellement l'éradiquer.

Un être inférieur

Le païen était, dans les sources médiévales, à ce point comparé à des êtres jugés inférieurs par les chrétiens qu'il a même été associé au chien. En effet, on disait qu'il n'était pas humain, puisque non baptisé. Cette comparaison proviendrait de saint Augustin et du psaume 59 de l'Ancien Testament, où il est mentionné que le païen, à l'image du chien, ne peut qu'aboyer ses arguments contre la vérité chrétienne². De plus, le chien était perçu, tout comme le païen, particulièrement cruel à l'égard des fidèles. Cette image se modifie cependant avec le temps; le chien, mordant d'abord dans le christianisme, aboiera finalement pour le défendre. Ainsi, le chien représente la conversion religieuse³. Le païen a aussi été rapproché de la chèvre. C'était le cas chez

les Carolingiens*, qui comparaient fréquemment le païen danois à une chèvre mâle non rasée, régnant sur d'autres chèvres et parlant

*CAROLINGIEN

De la dynastie régnant sur la France médiévale de 751 à 987.

un langage inhumain 4. Enfin, le païen a été comparé à un enfant : il ne fallait pas le brusquer, la foi devait lui être expliquée lentement, sans quoi il ne pouvait pas la comprendre⁵.



D'autre part, l'environnement païen était également jugé inférieur par les chrétiens. La vision médiévale opposait nature et culture, ce qui est inhospitalier et ce qui est organisé par l'homme. Une terre où ne se trouvent pas de villes ou de châteaux dignes de ce nom était considérée comme laissée à l'abandon. Elle était par conséquent déclarée habitée par un être ne pouvant évoluer ou participer à une activité sociale, et donc inférieur. Ici, ce n'est pas l'espace qui est jugé, ce dernier demeurant neutre, mais l'individu ou la société agissant sur cet espace ⁶.

Une menace environnante

Le païen n'a cependant pas toujours représenté une menace. Il entre ainsi dans l'histoire médiévale lorsque son ombre plane sur un royaume chrétien. De fait, les peuples païens ne deviennent un danger que lorsqu'ils partagent une frontière commune avec les terres affiliées à l'Église. Ce péril, pour les Carolingiens, vient d'abord des Saxons, puis des peuples slaves et danois lorsque la Saxe est entièrement intégrée à la chrétienté en 8047. Aussi, ce phénomène

est exemplifié par la relation que le royaume carolingien a entretenue avec les Danois. Charlemagne, à la suite de la conquête finale de la Saxe, ne porte que peu d'attention à ses voisins septentrionaux. Ce n'est que lorsque ces derniers

entreprennent leurs raids que les **Francs*** commencent à s'inquiéter et à surveiller leurs alliances avec de nouveaux fidèles ainsi qu'avec d'autres idolâtres. En réalité.

*FRANCS

Peuple germanique habitant une partie du territoire de la France actuelle.

la première mention des infidèles dans les documents d'époque résulterait de l'attaque du roi Gottfried du Danemark, en 804, contre la région de Schleswig (en Allemagne actuelle), alors alliée des Francs⁸. Cependant, selon l'historien Timothy Reuter, cette première mention remonterait plutôt à la fin du VIII^e siècle, alors que les Danois se seraient alliés aux Saxons païens, en guerre contre Charlemagne⁹. Il demeure que le portrait sombre des peuplades païennes, perpétué depuis, ne se développe que lors de la confrontation avec les fidèles du Christ.

LE PAÏEN PEUT ÊTRE ASSOCIÉ À UNE ATROCITÉ ENCORE PIRE, À SAVOIR L'APOSTASIE, CE RETOUR AU PAGANISME D'UN ÊTRE PRÉCÉDEMMENT BAPTISÉ.

Dans les quelques occasions où ces groupes sont cités dans les sources avant ces affrontements, c'est de manière neutre. La récurrence d'un discours rhétorique ne fait depuis que renforcer les lieux communs contre le païen, autorisant ainsi la transmission de son image stéréotypée jusqu'à aujourd'hui.

De plus, il convient de souligner que la menace païenne pèse aussi sur les bâtiments religieux. En effet, les idolâtres n'éprouvent aucune gêne à s'attaquer aux églises ou aux monastères, qui ne représentent pour eux que des lieux de richesse, sans intérêt spirituel 10. Pour les ecclésiastiques, auteurs de la plupart des documents conservés jusqu'à aujourd'hui, ces attaques, par leur monstruosité, justifient un sentiment d'insécurité constante. Ainsi, les Saxons, qui sont païens avant 804, représentent un premier danger, brûlant les églises et les monastères dans le nord de la Hesse alors que Charlemagne menait des guerres en Italie en 773 et 774. Cette action est interprétée comme une bravade des Saxons envers le monarque chrétien, un rappel de l'insoumission des païens à son pouvoir¹¹. Par la suite, ce sont les Wendes, peuple slave vivant au sud-est du Danemark, qui vont incendier les églises germaniques de Brandebourg et d'Havelberg ainsi que les couvents de Kalbe et d'Hillersleben, se rendant jusqu'à Hambourg lors de leur révolte en 98312. À Mecklembourg en 1066, l'évêque est capturé, torturé, puis décapité 13.

Cette menace contre l'intégrité physique peut prendre une dimension spirituelle et affecter certains membres de la chrétienté qui ne sont pas voisins de régions païennes. Les hommes lettrés du Moyen Âge considéraient que les rites idolâtres pouvaient sérieusement compromettre le salut des fidèles. Ils associaient les dieux des infidèles à des démons chaotiques, qui pouvaient entraver le chemin des âmes en route vers Dieu, et attirer celles-ci dans le péché et éventuellement en enfer. Ainsi, ils ne niaient pas leur puissance, ajoutant même que les rites envers ces êtres démoniaques renforçaient leur pouvoir et leur emprise sur le monde des vivants. Les entités démoniaques se seraient nourries des incantations et des sacrifices réalisés par les païens en leur hommage 14.

Le péril païen est repris avec constance dans l'historiographie portant sur les guerres saintes. Au sujet des croisades qui ont eu lieu du XII^e au XIV^e siècle dans les pays baltes actuels, les théoriciens de la guerre juste ont d'abord dit que

les attaques réalisées contre les païens en raison de leur foi ne pouvaient être justifiées. Cependant, dès que ceux-ci représentaient un danger physique ou spirituel pour les **néophytes***, la guerre devenait légitime 15. Plusieurs sources font mention de

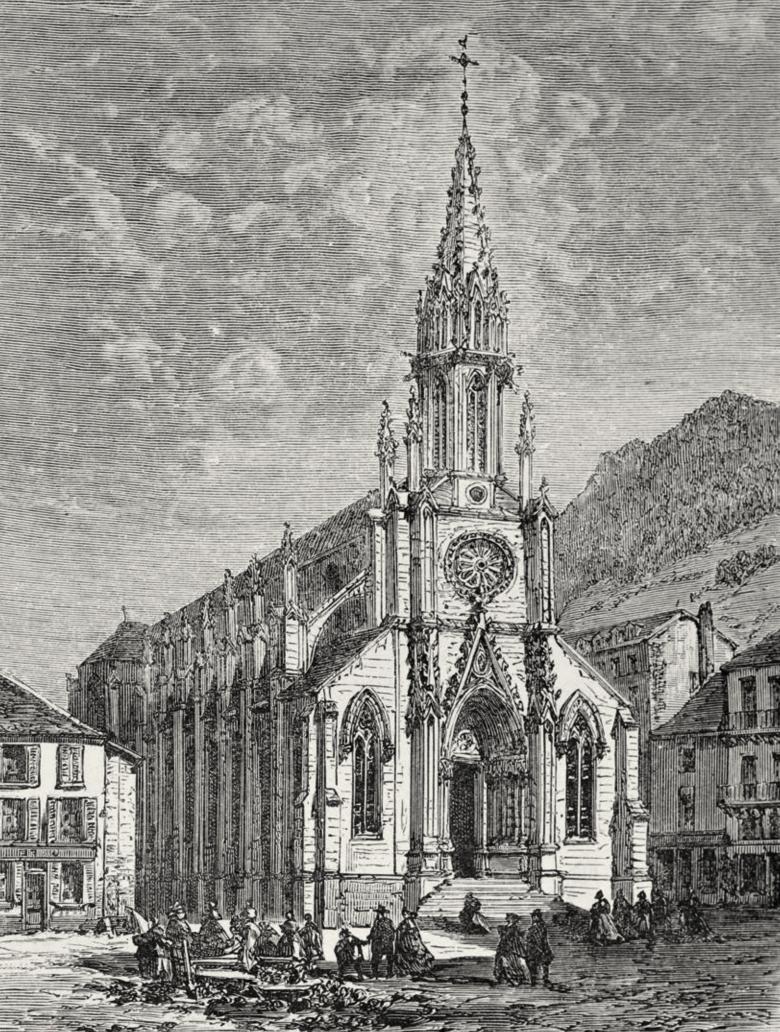
*NÉOPHYTE Nouveau pratiquant de la religion chrétienne.

*BULLE
Acte pontifical scellé.

ce changement de position. Par exemple, une **bulle*** de 1171 ou 1172, intitulée *Non parum animus*, décrit les Estoniens, toujours païens, comme des sauvages qui s'attaquent aux chrétiens et représentent une menace pour eux ¹⁶. Puis, dans les missives papales *Sicut ecclesiastice religionis* (5 octobre 1199), *Etsi verba evangelizantium* (12 octobre 1204) et *Alto Divine* (décembre 1215), les attaques des païens et le danger qu'ils représentent sont soulevés afin de justifier la guerre contre ces derniers ¹⁷.

Un envahisseur démoniaque, un apostat

En plus d'une menace, le païen a longtemps représenté l'ennemi traditionnel de l'Église latine chrétienne, qui l'a combattu pour survivre durant ses premiers siècles d'existence, cherchant ensuite à l'assimiler lorsque le christianisme est devenu une religion officielle. L'historien Jean Flori souligne justement l'importance de cette figure de l'antagoniste ancestral. Pour lui, les sources médiévales, se basant sur les premiers écrits chrétiens, mentionnent que lorsque l'adversaire est païen, la guerre sainte s'accroît d'une nouvelle dimension, provenant de la diabolisation du rival 18. Cette vision gagne en importance, particulièrement dans le contexte des croisades. L'expansion de ce phénomène au-delà de la Terre sainte aux XII^e et XIII^e siècles, vers l'Europe baltique entre autres, génère une association entre le païen et le musulman. Tous deux sont placés sur un pied d'égalité comme opposants à la foi chrétienne et suppôts de Satan¹⁹, dans un portrait sombre de l'idolâtre. S'accentue alors dans la description du païen son caractère fourbe, infidèle, traître et opposé au Christ, qui renforce une image stéréotypée et négative de l'idolâtre. Ce n'est pas seulement dans le contexte des croisades que sont associés païens et démons. Comme nous l'avons mentionné, le Viking est aussi une figure diabolisée. Il est décrit comme sauvage, anthropophage, sectateur de l'Antéchrist,



tuant les hommes, violant les femmes et réduisant les enfants àl'esclavage. Ce portrait, dépeint avant les croisades, ne servait encore une fois qu'à rendre plus effrayant un opposant contre lequel les autorités voulaient mobiliser une population entière. Ces propos participaient à une réelle propagande, basée sur la répétition de lieux communs. Le pillard viking est même considéré comme étant d'une cruauté incroyable et d'une impiété grandiose alors qu'il s'attaque aux églises et aux monastères, ne laissant derrière lui que mort et désolation ²⁰.

Le païen peut être associé à une atrocité encore pire, à savoir l'apostasie, ce retour au paganisme d'un être précédemment baptisé. L'apostat est accusé de s'être joué de Dieu pour se joindre de nouveau aux démons qu'il vénérait auparavant, ce qui renforce l'image négative transmise par les sources. Aux yeux des chrétiens, il est inadmissible de renier Dieu pour retourner au culte des idoles, jugées démoniaques. L'apostat est si détestable que sa présence dans un territoire peut à elle seule justifier la tenue d'une guerre ou d'une croisade ²¹. Il devient nécessaire de se venger de lui et, dans la foulée, du païen envahisseur. Si la christianisation de la population entraînait *de facto*, du moins théoriquement, celle de

son territoire, alors les apostats résidant sur des terres chrétiennes les volaient aux bons croyants. Leur faire la guerre paraissait donc normal, puisqu'ils représentaient une nouvelle source d'écueils contre laquelle la propagande ne pouvait que se renforcer ²².

L'étude des textes médiévaux ouvre des horizons de recherche historique concernant l'altérité, permettant ainsi l'exploitation de nouveaux champs de recherches. Les différents points soulevés précédemment tendent à brosser un portrait uniquement négatif et stéréotypé du païen. Cependant, une étude approfondie de certains documents d'époque révèle d'autres angles d'analyse possibles, alors que l'idolâtre en vient à être utile dans l'histoire chrétienne; il est un instrument de Dieu pour punir les pécheurs, une source de prestige pour les souverains chrétiens qui le combattent, et celui qui permet d'atteindre le salut lors des croisades.

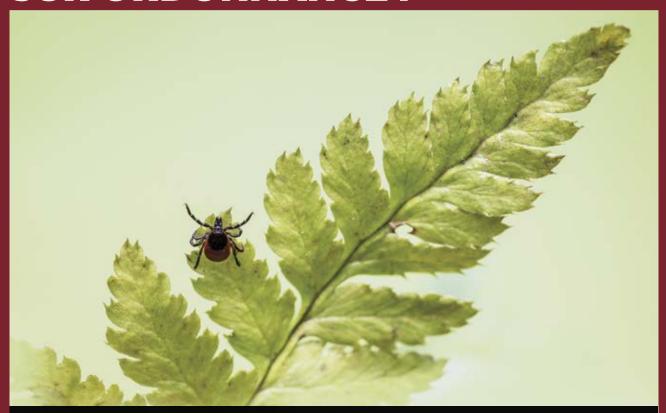
RÉFÉRENCES

- ¹ Boyer, R. (2008). *Les Vikings :* histoire, mythes, dictionnaire. Paris, France : Robert Laffont.
- ² Büher-Thierry, G. (2002). Des païens comme des chiens dans le monde germanique et slave du haut Moyen Âge. Dans M. Lionel et M. Sot (dir.), *Impies et païens entre Antiquité et Moyen Âge* (p. 175-187). Paris, France : Picard.
- ³ Ibid.
- ⁴ Winroth, A. (2012). The Conversion of Scandinavia: Vikings, Merchants and Missionaries in the Remaking of Northern Europe. New Haven, Conn. : Yale University Press.
- ⁵ Veyrard-Cosme, C. (2012). Le paganisme dans l'œuvre d'Alcuin. Dans M. Lionel et M. Sot (dir.), *op. cit.* (p. 127-153).
- ⁶ Torben-Kjersgaard, N. (2011). Henry of Livonia on woods and wilderness. Dans M. Tamm, L. Kaljundi et C. S. Jensen (dir.), Crusading and Chronicle Writing on the Medieval Baltic Frontier (p. 157-178). Aldershot, Royaume-Uni: Ashgate.

- ⁷ Vlasto, A. P. (1970). The Entry of the Slavs into Christendom. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- ⁸ Mckitterick, R. (2008). Charlemagne: The Formation of a European Identity. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- ⁹ Reuter, T. (2005). Charlemagne and the world beyond the Rhine. Dans J. Story (dir.), *Charlemagne: Empire and Society* (p. 183-194). New York, N. Y.: Manchester University Press.
- ¹⁰ Flori, J. (2001). La guerre sainte : la formation de l'idée de croisade dans l'Occident chrétien. Paris, France : Aubier.
- ¹¹ Becher, M. (2003). *Charlemagne*. New Haven, Conn. : Yale University Press.
- ¹² Fletcher, R. (1997). The Barbarian Conversion. New York, N. Y.: Henry Holt.
- 13 Ibid.
- ¹⁴ Brown, P. (1997). L'essor du christianisme occidental. Paris, France : Éditions du Seuil.

- ¹⁵ Tyerman, C. (2006). *God's War.* Cambridge, Royaume-Uni : Belknap Press.
- ¹⁶ Schmidt, I. F. (2007). The Popes and the Baltic Crusades, 1147-1152. Boston, Mass.: Brill.
- ¹⁷ Ibid.
- 18 Flori, op. cit.
- 19 Tyerman, op. cit.
- ²⁰ Anders, A. (2005). Behind heathendom: Archaeological studies of old norse religion. Scottisch Archaeological Journal, 27(2), 105-138.
- ²¹ Tyerman, op. cit.
- ²² Ibid.

LA BIODIVERSITÉ SUR ORDONNANCE?



KÉVIN TOUGERON, kevin.tougeron@umontreal.ca Programme de doctorat en sciences biologiques

La diminution de la biodiversité fait régulièrement l'actualité, qu'il soit question de déforestation en Amazonie ou encore des menaces d'extinction d'espèces emblématiques comme l'ours polaire ou le panda géant. Récemment, des études sur les conséquences des destructions d'habitats naturels par l'humain ont mené à une conclusion alarmante : la perte de biodiversité met aussi la santé des humains en danger. Contrairement aux idées reçues, l'émergence de maladies infectieuses transmises par les insectes ne concerne pas seulement les pays tropicaux. Des problématiques similaires se posent aussi près de chez nous, comme la maladie de Lyme, dont un cas a été répertorié pour la première fois en 1975 dans le Connecticut, puis en 2004 au Québec.

EXISTE-T-IL UN LIEN ENTRE LA BAISSE DE LA BIODIVERSITÉ, LA PROLIFÉRATION DES SOURIS À PATTES BLANCHES ET L'EXTENSION DE LA MALADIE DE LYME?

Au Québec, les cas recensés de la maladie de Lyme ont quadruplé en trois ans, passant de 32 en 2011 à 125 en 20141, et celle-ci est désormais la deuxième maladie infectieuse aux États-Unis après le virus de l'immunodéficience humaine (VIH). Les agents pathogènes qui causent la maladie de Lyme sont les bactéries Borrelia burgdorferi, transmises par les morsures de tiques (voir les figures 1 et 2). Les symptômes sont variés : maux de tête, fatigue, fièvre et, dans les cas les plus graves, douleurs articulaires et troubles du système nerveux. Si la maladie n'est pas détectée à temps, elle peut nécessiter de longs traitements et devenir très handicapante, voire mortelle. Bien que les techniques de dépistage ne soient pas toujours fiables, le diagnostic se fait généralement par des analyses sanguines dès l'apparition d'un érythème migrant (ou « œil de bœuf »), sorte de tache rouge qui s'étend sur la peau autour de la morsure.

Bactérie (pathogène)

Rongeur (réservoir)

Tique (vecteur)

FIGURE 1

Une tique devient porteuse de *B. burgdorferi* en se nourrissant du sang d'un hôte infecté, par exemple un rongeur. Elle les propage en s'alimentant sur d'autres hôtes, dont l'humain, qui peuvent alors être contaminés.

Source : Kévin Tougeron

À l'échelle mondiale, des chercheurs de plusieurs universités américaines et anglaises ont confirmé une augmentation du nombre de maladies infectieuses chez l'humain entre 1940 et 2004, dans un article intitulé *Global trends in emerging infectious diseases*². Parmi ces maladies, 60 % sont d'origine animale (virus Ebola, syndrome respiratoire aigu grave, maladie de Lyme, etc.), et cette proportion tend à s'accroître³. Pourquoi une telle augmentation? La réduction de la biodiversité est une piste suscitant l'intérêt de

scientifiques qui ont commencé à étudier les liens potentiels entre ces deux phénomènes.



FIGURE 2

Femelle tique adulte venant de se nourrir de sang

Photographie de Richard Bartz, distribuée sous une licence CC BY-SA 2.5

La maladie de Lyme au Québec

Le réchauffement du climat en Amérique du Nord a permis la colonisation du Québec par les souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*) venant des États-Unis⁴. Cette espèce prolifère dans les milieux modifiés par l'humain qui présentent une biodiversité réduite du fait de la diminution des espaces boisés, de la suppression de haies dans le milieu agricole, ou de l'urbanisation. En effet, ces milieux sont moins facilement colonisés par les prédateurs et les compétiteurs naturels de la souris, généralement plus sensibles qu'elle aux modifications de l'environnement. Or, en Amérique du Nord, cette souris est le principal réservoir (porteur sain) de la bactérie *B. burgdorferi*, qui est responsable de la maladie de Lyme. Existe-t-il un lien entre la baisse de la biodiversité, la prolifération de ces souris et l'extension de la maladie de Lyme? Oui, et deux mécanismes entrent en jeu.

Les espèces pièges et l'effet de dilution

En 2009, des biologistes s'intéressant à la maladie de Lyme ont démontré que, dans les milieux riches en espèces, le nombre de tiques diminue⁵. Le mécanisme à l'origine de ce phénomène est assez simple : certaines espèces abondamment attaquées par les tiques, comme les écureuils, les opossums ou encore les grives, agissent comme des

LORSQUE LES ÉCOSYSTÈMES SONT MODIFIÉS, LORSQUE LA BIODIVERSITÉ S'ÉRODE, LES ANIMAUX PORTEURS DE MALADIES INFECTIEUSES PEUVENT SE MULTIPLIER ET DONC ACCROÎTRE LE RISQUE DE CONTAMINATION HUMAINE.

pièges pour les tiques, car plus de 90 % de celles-ci sont éliminées par de tels hôtes avant d'avoir pu se reproduire 6. Les tiques qui attaquent des espèces leur étant plus favorables, comme la souris à pattes blanches, ont donc plus de chances de survivre. Dans les milieux modifiés par les activités humaines et souffrant d'une baisse de biodiversité, cette souris est l'unique hôte à la portée des tiques, ce qui permet à la maladie de se propager plus facilement. Ainsi, la perte de biodiversité peut accroître le risque de contracter la maladie de Lyme en augmentant à la fois le nombre de tiques (non éliminées par les espèces pièges) et le taux d'infection (plus d'individus de différentes espèces sont porteurs de *B. burgdorferi*).

En plus de cet effet « espèces pièges » qui influe sur la propagation des tiques, un second mécanisme concerne directement la transmission de la bactérie pathogène responsable de la maladie : plus le nombre d'espèces est important dans un écosystème, moins ces agents pathogènes risquent d'être transmis 7. C'est l'effet de dilution, qui est illustré à la figure 3 pour la maladie de Lyme.

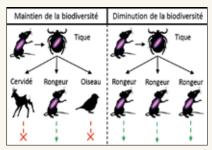


FIGURE 3

Illustration de l'effet de dilution sur la transmission de la maladie de Lyme avec une souche de *B. burgdorferi* spécialiste des rongeurs.

Source : Kévin Tougeron

Pour comprendre ce mécanisme de dilution, il faut savoir que les tiques se nourrissent principalement de sang d'oiseaux et de mammifères (cervidés, rongeurs). Toutefois, les bactéries pathogènes transmises par les tiques préfèrent certains hôtes à d'autres. Par exemple, une souche de B. burgdorferi se spécialise dans les rongeurs, mais est incapable de survivre sur d'autres espèces animales. Dans le contexte d'une diversité d'espèces importante, cette bactérie se développera que chez les rongeurs; les autres espèces, comme les oiseaux, ne lui conviennent pas et stoppent donc sa transmission. Si une tique saine mord un oiseau qui a préalablement été la cible d'une tique porteuse de l'agent pathogène, elle ne sera pas infectée. Dans un contexte de biodiversité appauvrie, B. burgdorferi se propagera plus facilement et aura une probabilité accrue d'être transmise à l'humain en cas de morsure de tique. La biodiversité joue donc un rôle de dilution de la bactérie au sein des différentes espèces animales.

Les bénéfices du maintien de la biodiversité pour l'humain

Ces découvertes font partie de recherches beaucoup plus vastes dans le domaine de la biodiversité, qui tentent d'analyser le rôle et le fonctionnement des « services écosystémiques » (services rendus par la biodiversité aux humains)8. Toute transformation de l'environnement n'est pas sans conséquence sur la santé humaine. Lorsque les écosystèmes sont modifiés, lorsque la biodiversité s'érode, les animaux porteurs de maladies infectieuses peuvent se multiplier et donc accroître le risque de contamination humaine. La maladie de Lyme n'est qu'un exemple parmi d'autres de ce phénomène. Même si ce champ de recherche n'en est qu'à ses débuts, il ouvre la voie à de nouvelles manières de prédire et de contrôler l'émergence de maladies, en promouvant des méthodes de conservation des espaces naturels et de la biodiversité. Prendre en compte la diversité animale permettrait ainsi de mieux déceler les zones à risque à l'échelle du globe et de mieux prévenir la transmission de maladies infectieuses



RÉFÉRENCES

- ¹ Santé et services sociaux du Québec. (2015). Maladie de Lyme. Repéré à http://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/maladie-lyme.php
- ² Jones, K., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L. et Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993. doi: 10.1038/nature06536
- ³ Organisation mondiale de la Santé. (2004). Rapport sur la santé dans le monde, 2004 – changer le cours de l'histoire. Genève, Suisse: OMS. Repéré à http://www.who.int/whr/2004/en/report04 en.pdf
- ⁴ Roy-Dufresne, E., Logan, T., Simon, J. A., Chmura, G. L. et Millien, V. (2013). Poleward expansion of the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) under climate change: Implications for the spread of Lyme disease. *PLoS ONE*, 8(11). doi: 10.1371/journal.pone.0080724
- Keesing, F., Brunner, J., Duerr, S., Killilea, M., LoGiudice, K., Schmidt, K., ... Ostfeld, R. S. (2009). Hosts as ecological traps for the vector of Lyme disease. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282(1817). doi: 10.1098/rspb.2009.1159
- ⁶ Keesing, F., Belden, L. K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C. D., Holt, R. D., ... Ostfeld, R. S. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, *468*(7324), 647-652. doi: 10.1038/nature09575
- ⁷ Keesing et al. (2009), op. cit.
- ⁸ Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, *486*(7401), 59-67. doi: 10.1038/nature11148

Cet article a remporté le concours de vulgarisation scientifique Fonds Famille Michel Bergeron et est de ce fait également accessible sur le site de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal.

L'INSULA : ÎLE DU CŒUR ET DE LA RAISON



BENJAMIN HÉBERT-SEROPIAN, benjamin.hebert-seropian@umontreal.ca Programme de maîtrise en psychologie

« Le cœur a ses raisons que la raison ne connaît point », a écrit l'énigmatique Blaise Pascal au courant du 17e siècle en référence au fait que les émotions semblent parfois complètement dissociées du raisonnement caractéristique des humains. Par contre, selon l'hypothèse des marqueurs somatiques, une théorie influente ayant vu le jour en 1994, ces deux composantes fonctionnent de concert plutôt qu'isolément. Ainsi, le bon fonctionnement de la raison dépendrait des messages du cœur, et le concept communément appelé « l'intuition » pourrait résulter de ce travail d'équipe. La cognition, les décisions qui en découlent, voire la personnalité au sens large du terme seraient influencées par les émotions dérivées des sensations corporelles, et ce, à chaque instant – souvent de façon inconsciente. De récentes découvertes scientifiques indiquent qu'une zone cérébrale autrefois peu étudiée joue un rôle primordial dans ce mécanisme en agissant à titre de voie de communication entre le corps et la cognition, l'insula.

AINSI, L'UN DES RÔLES DE L'INSULA SERAIT D'INFLUENCER L'INTENSITÉ DE L'ÉMOTION RESSENTIE, ET CE, EN FONCTION DE L'ATTENTION QUE PRÊTE UN INDIVIDU AUX SENSATIONS CORPORELLES QUI SONT ASSOCIÉES À CETTE ÉMOTION.

Les dernières percées en neurosciences appuient une théorie reliant les sensations corporelles et les émotions à la pensée. Dénommée l'« hypothèse des marqueurs somatiques », cette théorie stipule que le comportement, les attitudes et la prise de décision d'un individu sont grandement influencés par un processus d'échange d'information entre les sensations corporelles (en grec, sôma signifie « corps », d'où l'adjectif « somatique ») et la cognition. Les pièces du casse-tête s'assemblent alors que des chercheurs estiment avoir ciblé l'un des acteurs principaux de ce processus : l'insula. Il s'agit d'une zone du cortex cérébral profondément dissimulée au milieu du cerveau, à l'intersection des lobes majeurs, d'où son nom latin signifiant « île ». Auparavant, l'étude de l'interaction entre les émotions et la raison revenait aux psychologues et aux philosophes. Or, les neuroscientifiques ont eux aussi tout intérêt à concentrer leurs efforts de recherche sur ces deux composantes qui nous gouvernent.

En effet, la recherche stipule qu'un individu portant une grande attention à son état physique verrait ses sensations corporelles négatives s'accentuer, si elles étaient initialement de cet ordre-là.

Un corps + un esprit = un seul organisme

Il y a de cela 2 000 ans, l'école de médecine hippocratique entrevoyait un lien indubitable entre le corps et l'âme. À cette époque, les troubles psychiques étaient étudiés en fonction des interactions de l'organisme entier ¹. Ce paradigme a prévalu jusqu'à la Renaissance, période qui a vu naître la légendaire formule cartésienne « Je pense, donc je suis ». Beaucoup plus tard, dans son ouvrage *L'erreur de Descartes*, publié

en 1994, le neurologue de renommée internationale Antonio Damasio émet l'hypothèse que cette phrase a pu influencer l'évolution de la médecine pendant les siècles qui ont suivi². Selon ce professeur de l'Université de Californie du Sud, la conceptualisation dualiste d'une âme humaine encombrée de son enveloppe matérielle encourage l'étude du cerveau séparément du reste de l'organisme. Cette conception aurait eu pour incidence de reléguer le corps à l'arrière-plan des processus cognitifs, du moins, jusqu'à tout récemment³.

En effet, plusieurs découvertes scientifiques démontrent qu'il existe un lien étroit entre corps et cognition, et l'un des dénominateurs communs de ces études réside dans la participation active de l'insula. D'une part, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle a permis l'observation d'une activité particulièrement forte dans l'insula des individus ayant une meilleure sensibilité intéroceptive ⁴. L'intéroception réfère à la sensibilité d'un sujet à l'égard des signaux sensoriels en provenance des viscères, des tendons, des muscles et des articulations. La perception de ces signaux peut être mesurée objectivement, par exemple lors d'un test au cours duquel le sujet tente de détecter les battements de son cœur. D'autre part, maintes études ont mis en évidence que les personnes dont l'insula a été endommagée présentent des modifications de leur capacité à ressentir certaines sensations, comme la douleur ou la température ⁵. Fait étonnant : cette même sensibilité intéroceptive est aussi liée à la disposition qu'ont les gens à réagir à des expériences émotionnelles. Ainsi, l'un des rôles de l'insula serait d'influencer l'intensité de l'émotion ressentie, et ce, en fonction de l'attention que prête un individu aux sensations corporelles qui sont associées à cette émotion⁶. Ce mécanisme peut conduire à une réaction émotionnelle positive ou négative. Certaines études démontrent à ce sujet qu'une activité anormale de l'insula est liée à l'anxiété et à la dépression 7. En effet, la recherche stipule qu'un individu portant une grande attention à son état physique verrait ses sensations corporelles négatives s'accentuer, si elles étaient initialement de cet ordre-là8.



À UNE TOUR DE COMMUNICATION QUI AURAIT POUR RÔLE D'EXTRAIRE LES MESSAGES ÉMOTIONNELS DES SIGNAUX TRANSMIS PAR LE CORPS.

L'intuition, une relation entre le corps et la raison

Dans le passé, les émotions ont souvent été écartées des études scientifiques en raison de leur « mauvaise réputation », ayant une influence soi-disant néfaste sur le processus rationnel de la cognition⁹. Encore aujourd'hui, les sentiments sont maintenus à distance, comme on peut le constater dans les théories modernes sur l'économie comportementale. Bon nombre de ces dernières sont basées sur le principe de la maximisation de l'utilité, cette conjecture voulant que les humains soient programmés pour chercher à maximiser leur exposition à des objets apportant du plaisir, et à minimiser leur exposition aux sources de souffrance, sans que le processus de prise de décision soit influencé par les émotions du sujet 10. Or, ce principe implique qu'un processus cognitif rationnel intervienne dans chaque décision, ce qui nécessiterait du temps, des connaissances et une capacité de traitement de l'information quasi infinis 11. Des études plus récentes soulignent que l'humain n'est pas si rationnel que nous l'aurions autrefois pensé, et que les décisions face à des situations incertaines dépendent davantage de processus rapides et intuitifs plutôt que de délibérations calculées 12. Par exemple, beaucoup ressentent de la peur à l'idée de prendre l'avion. Ces mêmes personnes se sentent davantage en sécurité en voiture, même si elles savent que, statistiquement, elles courent un risque plus élevé d'être victimes d'un accident de la route que d'un écrasement.

Avec l'hypothèse des marqueurs somatiques, Antonio Damasio propose une avenue intéressante afin d'expliquer l'origine de ces irrationalités. Sa théorie a vu le jour à la suite d'une rencontre avec un patient fort particulier. Celui-ci a vu sa vie basculer après une opération chirurgicale qui visait à lui extraire une tumeur cérébrale, mais qui a aussi eu pour effet d'altérer gravement sa personnalité. Consécutivement à des changements comportementaux négatifs, cet homme a perdu son emploi, sa femme et ses amis. Par contre, cette transformation n'était pas attribuable à une réduction de ses capacités cognitives ni physiques; il était toujours aussi intelligent, doué et mobile qu'auparavant. Son problème relevait du fait qu'il ne pouvait plus gérer son temps et ses activités efficacement. Effectuer un choix banal était devenu particulièrement difficile pour lui, que cette décision concerne

le contenu de son sandwich ou la direction à prendre dans sa carrière professionnelle ¹³.

Finalement, après avoir conduit une quantité innombrable de tests, Damasio a mis le doigt sur le problème : son client ne pouvait plus ressentir d'émotions 14. À la suite de l'étude d'autres cas impliquant des paramètres semblables, le neurologue a formulé l'hypothèse que les émotions jouent un rôle important dans la prise de décision. Selon sa théorie, le jugement devant une situation est « marqué » par une réponse émotionnelle. Essentiellement, si l'état corporel est perçu négativement, la situation particulière est alors étiquetée comme négative, ce qui a pour effet d'alerter l'organisme d'une situation fâcheuse imminente à éviter. À l'opposé, si l'état corporel est perçu comme potentiellement favorable, le marquage positif encourage la prise d'une décision permettant le rapprochement de l'objet en question. L'exemple des moyens de transport permet de mieux illustrer le sens de ce jargon cognitivo-comportemental : la décision de voyager en voiture plutôt qu'en avion découle d'une exposition récurrente à des images d'écrasement d'avions dans les médias. L'état somatique négatif généré par le caractère dramatique de ces images dominerait alors le paysage de notre raisonnement cognitif, appuyant par la même occasion notre décision d'éviter de voyager par la voie des airs. Ce mécanisme fonctionnerait à notre insu, d'où notre difficulté à imaginer que la majorité de nos décisions sont influencées à la dérobée par des intuitions découlant de nos états somatiques. Le terme « somatique » est ici utilisé parce qu'il englobe toutes les formes d'humeurs, qu'elles soient transitoires ou durables, et qui ne sont pas nécessairement caractérisées par la même intensité que les émotions conventionnelles, telles que la joie et la tristesse.

L'hypothèse des marqueurs somatiques est notamment corroborée par les résultats découlant d'une tâche expérimentale dénommée *lowa Gambling Task*. Elle consiste à observer la stratégie du participant, qui est altérée par le marquage émotionnel subi à la suite de pertes et de gains d'argent fictif. Les sujets ayant une lésion cérébrale aux zones associées au traitement des marqueurs somatiques éprouvent plus de difficulté à choisir une stratégie gagnante ¹⁵. Si vingt ans d'expérimentation ont permis d'établir un certain consensus



quant à la plausibilité de cette théorie, elle demeure mise à l'épreuve et elle évolue en fonction des nouveaux acquis en sciences. En guise d'exemple, lorsqu'Antonio Damasio décrivait son hypothèse pour la première fois en 1994, celui-ci n'accordait à l'insula qu'un rôle accessoire dans le fonctionnement des marqueurs somatiques. Cependant, les recherches les plus récentes laissent supposer que l'insula fait partie intégrante de ce mécanisme, nécessitant par la même occasion une adaptation du modèle théorique.

Tous les chemins mènent à Rome... en passant par l'insula

Globalement, l'insula s'apparente à une tour de communication qui aurait pour rôle d'extraire les messages émotionnels des signaux transmis par le corps ¹⁶. Des données probantes en neuropsychologie appuient ce rôle, du fait que l'insula est particulièrement impliquée dans une pléthore de tâches combinant les processus émotionnels et ceux de l'ordre de la sensibilité intéroceptive ¹⁷.

Anatomiquement parlant, cette piste est corroborée par la façon dont l'insula est connectée à presque tous les centres majeurs du traitement des émotions et de la cognition : le thalamus (« autoroute » de la transmission de l'information entre le corps et le cerveau), l'amygdale (siège de la reconnaissance du caractère émotionnel des signaux provenant des sens), l'hippocampe (lieu de formation de nouveaux souvenirs), le cortex cingulaire antérieur (régulant des fonctions autonomes du corps, comme le rythme cardiaque), le cortex préfrontal (siège des fonctions cognitives supérieures, dont le raisonnement) et les noyaux gris centraux (associés aux mouvements du corps) 18. Qui plus est, il s'agit pour la plupart de connexions à deux sens, c'est-à-dire que l'insula peut recevoir des signaux provenant de ces régions, mais aussi en émettre vers celles-ci, ce qui sous-entend son rôle central dans les processus concernés 19.

L'insula est donc une joueuse d'équipe, ses branchements neurologiques laissant présager qu'elle est une aire cérébrale nécessaire au bon fonctionnement du traitement sensoriel et émotionnel. Toutefois, cela ne signifie pas qu'elle est indispensable : une étude de cas unique en son genre s'est penchée sur un sujet dont l'insula était entièrement détruite, et a rapporté que le patient en question pouvait toujours ressentir la douleur et des émotions primitives telles que la peur ou la joie. Ainsi, les chercheurs pensent que le rôle de l'insula est davantage de moduler l'information émotionnelle et sensorielle que de la générer, et ce, avant d'acheminer celle-ci vers les centres de traitement de la cognition ²⁰. Cette constatation est appuyée par le fait que l'insula est située dans le cortex cérébral, une couche du cerveau apparue relativement tard dans le développement de l'espèce humaine et associée à la cognition supérieure – dont l'habileté à raisonner. En contrepartie, des régions cérébrales beaucoup plus anciennes sont à la base des processus émotionnels les plus archaïques 21.

Une idée centenaire revisitée et une piste pour le futur

Si les preuves d'une association entre le corps et la cognition sont récentes, l'idée l'est beaucoup moins. Dans son texte *What is an emotion?* publié en 1884, le philosophe et psychologue William James illustrait déjà sa pensée sur l'origine des émotions ainsi :

Si l'on s'imagine une émotion forte, et que l'on tente par la suite d'extraire de notre conscience toutes les sensations corporelles qui lui sont associés, on constate qu'il ne reste rien, aucune « substance mentale » à partir de laquelle les émotions pourraient être générées, et qu'à la place, on ne perçoit qu'un état intellectuel neutre et froid ²² (notre traduction).

DIRE / PSYCHOLOGIE

Pour donner sens à ces mots, imaginez-vous vivre la peur sans le battement effréné de votre cœur, la joie sans le sentiment d'euphorie qui libère votre poitrine, ou le dégoût sans le frisson qui parcourt votre échine. William James a suscité des controverses animées puisque sa théorie se limitait aux émotions innées les plus primitives, mais les percées scientifiques actuelles démontrent que son intuition voulant que les émotions soient intimement liées aux états du corps était d'avant-garde. Si une abondance d'indices pointent vers un rôle de soutien important pour l'insula dans les mécanismes émotionnels et d'intéroception, il n'en demeure pas moins que beaucoup reste encore à découvrir. Depuis quelques années,

le développement d'une technique microchirurgicale de pointe a rendu possible l'ablation de l'insula chez les patients souffrant d'épilepsie insulaire et ne répondant pas aux traitements médicaux ²³. De nouvelles études s'intéressant à l'impact de telles lésions à l'insula constitueront sans doute une occasion sans précédent d'avancement des connaissances quant au rôle de cette mystérieuse aire cérébrale dans le fonctionnement neuropsychologique.

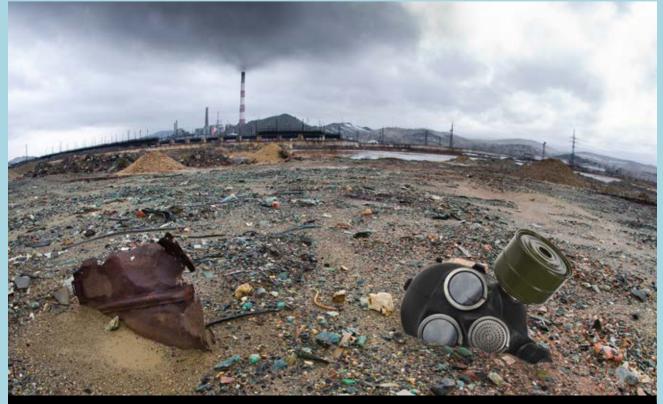
RÉFÉRENCES

- ¹ Damasio, A. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain.* New York, N. Y.: Penguin Group.
- ² Ibid.
- ³ Ibid.
- ⁴ Terasawa, Y., Shibata, M., Moriguchi, Y. et Umeda, S. (2013). Anterior insular cortex mediates bodily sensibility and social anxiety. *Social Cognitive & Affective Neuroscience*, *8*(3), 259-266. doi: 10.1093/scan/nss108
- ⁵ Jones, C. L., Ward, J. et Critchley, H. (2009). The neuropsychological impact of insular cortex lesions. *Journal of Neurology*, *Neurosurgery and Psychiatry*, 81(6). doi: 10.1136/jnnp.2009.193672
- Starr, C. J., Sawaki, L., Wittenberg, G. F., Burdette, J. H., Oshiro, Y., Quevedo, A. S. et Coghill, R. C. (2009). Roles of the insular cortex in the modulation of pain: Insights from brain lesions. *Journal of Neuroscience*, 29, 2684-2694.
- ⁶ Barrett, L. F., Quigley, K. S., Bliss-Moreau, E. et Aronson, K. R. (2004). Interoceptive sensitivity and self-reports of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *87*(5), 684-697. doi: 10.1037/0022-3514.87.5.684
- Werner, N. S., Duschek, S., Mattern, M. et Schandry, R. (2009). Interoceptive sensitivity modulates anxiety during public speaking. *Journal of Physiology*, 23(2), 85-94. doi: 10.1027/0269-8803.23.2.85
- Sliz, D. et Hayley, S. (2012). Major depressive disorder and alterations in insular cortical activity: A review of current functional

- magnetic imaging research. Frontiers in Human Neuroscience, 6(323), 1-14. doi: 10.3389/fnhum.2012.00323
- Stevens, S., Gerlach, A. L., Cludius, B., Silkens, A., Craske, M. G. et Hermann, C. (2011). Heartbeat perception in social anxiety before and during speech anticipation. *Behaviour Research and Therapy, 49*(2), 138-143. doi: 10.1016/j.brat.2010.11.009
- ⁹ Ashforth, B. E. et Humphrey, R. H. (1995).
 Emotion in the workplace: A reappraisal.
 Human Relations, 48(2), 97-125.
 doi: 10.1177/001872679504800201
- ¹⁰ Pham, M. T. (2007). Emotion and rationality: A critical review and interpretation of empirical evidence. *Review of General Psychology*, 11(2), 155-178. doi: 10.1037/1089-2680.11.2.155
- ¹¹ Bechara, A. et Damasio, A. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games* and *Economic Behaviour*, *52*, 336-372. doi: 10.1016/j.geb.2004.06.010
- ¹² Sutherland, S. (2007). *Irrationality*. Londres, Royaume-Uni. : Pinter & Martin.
- 13 Damasio, op. cit.
- ¹⁴ Ibid.
- 15 Ibid.
- 16 Jones, Ward et Critchley, op. cit.
- ¹⁷ Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews*, 3, 655-666. doi: 10.1038/nrn894

- Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Ohman, A. et Dolan, R. J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, *7*, 189-195. doi: 10.1038/nn1176
- Jones, Ward et Critchley, op. cit.
- ¹⁸ Körding, K. (2007). Decision theory: What "should" the nervous system do? *Science*, 318(5850), 606-610. doi: 10.1126/science.1142998
- ¹⁹ Flynn, F. G. (1999). Anatomy of the insula functional and clinical correlates. *Aphasiology*, *13*, 55-57. doi: 10.1080/026870399402325
- ²⁰ Damasio, A., Damasio, H. et Tranel, D. (2013). Persistence of feelings and sentience after bilateral damage of the insula. *Cerebral Cortex*, 23(4), 833-846. doi: 10.1093/cercor/bhs077
- ²¹ Damasio, A. et Carvalho, G. B. (2013). The nature of feelings: Evolutionary and neurobiological origins. *Nature Reviews Neuroscience*, *14*, 143-152. doi: 10.1038/nrn3403
- ²² James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, *9*(34), p. 198.
- ²³ Malak, R., Bouthillier, A., Carmant, L., Cossette, P., Giard, N., Saint-Hilaire, J.-M. et Nguyen, D. K. (2009). Microsurgery of epileptic foci in the insular region: Clinical article. *Journal* of Neurosurgery, 110(6), 1153-1163. doi: 10.3171/2009.1.JNS08807

LES TERRES RARES : DES MÉTAUX AUX RISQUES ENCORE INCERTAINS



PIERRE-YVES CARDON, pycardon@hotmail.fr Programme de doctorat en sciences biologiques

Indispensables et pourtant très peu connues du grand public, les terres rares — ou éléments de terres rares (ETR) — apparaissent au niveau mondial parmi les métaux les plus demandés ces dernières décennies. Défense, santé, énergie, agriculture, télécommunications : aucun domaine ne se passe aujourd'hui des ETR, et de nouvelles applications ne cessent de voir le jour, conduisant à une élévation progressive des rejets de ces métaux dans l'environnement. Pourtant, combien de personnes connaissent le nom ou même l'existence de ces ressources? L'augmentation de leur concentration dans l'environnement entraîne-t-elle un risque pour celui-ci? Et si oui, comment évaluer l'importance de ce risque?

CERTES, DANS LE DOMAINE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES, LEURS PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ET OPTIQUES EXCEPTIONNELLES FONT DE CETTE RESSOURCE UN ENJEU DE PREMIER PLAN.

Les terres rares ne sont pas de la terre, mais des métaux; et rares, elles ne le sont pas. À l'échelle mondiale. les concentrations dans la croûte terrestre de certaines terres rares, telles que le cérium ou encore l'yttrium, sont supérieures à celles d'autres métaux comme le cuivre ou le cobalt. Non, la vraie rareté des ETR s'explique par leur dispersion. Ainsi, il reste difficile, même pour le plus chevronné chercheur d'or, de trouver des gisements assez concentrés en ETR pour justifier leur exploitation. Par ailleurs, à la suite de la découverte des précieux métaux, deux autres obstacles s'opposent au dit chercheur : la présence dans une majorité des cas d'éléments radioactifs tels que le thorium dans le gisement, et la difficulté à séparer les différentes terres rares réunies à l'intérieur de la roche. Le mineur d'ETR, en plus de potentiellement s'exposer à des radiations, devrait aussi utiliser d'importantes quantités de produits chimiques pour obtenir l'élément souhaité à un état pur. Devant l'enjeu économique que représentent les ETR, certains pays comme les États-Unis se sont néanmoins lancés dans l'exploitation de cette ressource. Toutefois, ceux-ci, principaux producteurs d'ETR jusqu'en 1995, ont depuis lors cessé progressivement toutes leurs activités minières dans ce domaine. L'apparition d'un concurrent, la Chine, à la main-d'œuvre bon marché et au sous-sol naturellement riche en ETR, reste la principale cause de ce revirement. Ce dernier pays possède en outre, depuis la fin des années 90, le quasi-monopole de l'exploitation de ces métaux et fournit aujourd'hui encore plus de 90 % du monde en terres rares 1.

Pourtant, le vent tourne. La demande mondiale ne cessant d'augmenter, les réserves chinoises s'épuisent alors que les besoins mêmes de ce pays explosent, l'obligeant à limiter ses exportations. D'autre part, les avancées technologiques de ces dernières années pourraient aujourd'hui permettre au reste du monde, notamment au Québec, de commencer à extraire des ETR tout en réduisant les dangers liés à cette activité. Tous à vos pioches, la course est relancée!

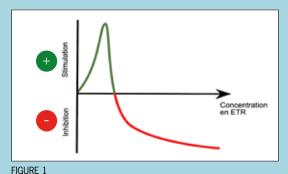
Les terres rares : une nouvelle panacée

Pourquoi un tel engouement pour ces métaux? Certes, dans le domaine des nouvelles technologies, leurs propriétés magnétiques et optiques exceptionnelles en font un enjeu de premier plan. Par exemple, ils sont utilisés comme aimants dans les turbines d'éoliennes, les voitures hybrides et les ordinateurs portables, mais aussi comme amplificateurs des lasers en chirurgie. Cependant, bon nombre d'autres usages moins connus des ETR existent.

En agriculture, l'application d'engrais à base d'ETR conduit à une augmentation moyenne de la productivité de 5 à 15 % pour une centaine d'espèces cultivées (blé, haricot, maïs, etc.)². Ainsi, de 1979 à 1995, en Chine, l'étendue des surfaces agricoles amendées à l'aide de ces métaux a subi une augmentation exponentielle, passant de 1 330 hectares à plus d'une dizaine de millions d'hectares. Loin de s'arrêter au domaine végétal, les ETR trouvent aussi un usage dans l'élevage. Leur consommation sous forme de compléments alimentaires entraîne un gain de poids profitable chez plusieurs espèces animales (porc, vache, poule, etc.) et est également mentionnée comme une solution de rechange potentielle à l'utilisation parfois critiquée des antibiotiques³. De même, ces métaux peuvent être bénéfiques pour l'humain. L'ingestion de lanthane, premier élément du groupe des ETR, est par exemple prescrite à certains patients atteints de maladies chroniques des reins⁴. Au vu de ces derniers exemples, il est facile de concevoir que les rejets d'ETR dans la nature ne font que croître depuis quelques années. Une nouvelle technique pour lutter contre la prolifération d'algues dans les lacs impliquerait même de rejeter directement ces métaux dans le milieu naturel afin de faire précipiter l'excès de phosphore à l'origine de ce phénomène⁵. À ce rythme, il ne serait pas surprenant de voir des bouteilles d'eau estampillées « enrichies en terres rares » garnir les étalages des supermarchés dans un futur proche.

Les limites des ETR : l'hormésis

Faut-il pour autant souhaiter l'apparition de tels produits? Ces métaux peuvent induire des effets positifs pour la faune et la flore, c'est un fait établi. Y a-t-il, cependant, une limite à leurs bienfaits? « La dose fait le poison », énonçait le médecin Paracelse dès la Renaissance⁶. Les terres rares, à l'instar de nombreux oligoéléments essentiels à la survie des espèces vivantes, comme le zinc ou le manganèse, présentent un effet nommé « hormésis ». Ainsi, leur ingestion à faible dose peut entraîner des incidences positives pour les organismes consommateurs, mais au-delà d'une certaine quantité, ces effets deviennent délétères (voir la figure 1).



Effet dose/réponse des ETR Source : Pierre-Yves Cardon

Ce mécanisme a été observé pour beaucoup d'ETR et sur différentes espèces ⁷. Par exemple, un apport de faible concentration en lanthane stimule la croissance racinaire du blé et du maïs, alors que des apports plus importants la ralentissent ⁸. De la même manière, la présence de ce métal dans l'eau, jusqu'à un certain seuil de concentration, accélère le développement des œufs de crevettes, mais elle l'inhibe significativement au-delà d'une teneur donnée ⁹. Dans les élevages porcins, certains auteurs indiquent aussi que le gain de poids attribué aux ETR n'est vérifié que pour de faibles apports ¹⁰. Enfin, des dysfonctionnements du foie chez l'humain ont pu être mis en relation avec une ingestion quotidienne importante de ces métaux ¹¹.

Les bioessais, des indices du risque de pollution

Vraisemblablement, des concentrations trop élevées en ETR pourraient mettre en danger l'environnement et la santé humaine. Cela étant dit, il reste à établir ce qu'est une concentration trop élevée. Il est bien sûr inconcevable de tester ces polluants directement sur l'homme ou dans la nature. Comment dès lors déterminer ces valeurs seuils en dessous desquelles le risque de contamination est assez faible pour être acceptable? Grâce aux bioessais.

Ces tests toxicologiques permettent d'évaluer les effets d'un polluant à différentes échelles spatiotemporelles. Un bioessai peut ainsi porter sur une seule espèce, un ensemble d'espèces ou même un écosystème. Il peut être réalisé *in situ* ou en laboratoire. Il peut porter sur les effets d'un contaminant à court terme (effet aigu) ou à long terme (effet chronique). Enfin, il peut étudier la survie des organismes soumis au contaminant ou bien l'évolution de certains de leurs caractères (par exemple, leur croissance ou leur reproduction). La gamme d'organismes testés est large, allant d'unicellulaires jusqu'aux poissons. Le choix de ces organismes doit répondre à deux conditions :

qu'ils soient relativement ubiquistes, c'est-à-dire présents dans de nombreux habitats différents à travers le monde, et qu'ils soient sensibles aux perturbations que subit leur environnement. L'un des objectifs de la recherche ces dernières années a été de définir des bioessais normalisés reproductibles permettant d'évaluer avec précision la toxicité et le devenir des polluants dans l'environnement.

L'exemple du test Daphnie

De tous les essais de toxicité existants, celui impliquant comme « cobaye » la daphnie, un microcrustacé, reste l'un des plus connus et l'un des premiers effectués lors de l'étude d'un nouveau polluant potentiel. Cet essai consiste à déterminer la concentration en polluant pour laquelle, au bout de 48 heures, une population de daphnies voit 50 % de ses individus mourir. La concentration ainsi relevée est appelée « CL_{50} 48 h » (concentration létale pour 50 % de la population après 48 heures) et fournit une indication de la toxicité aiguë du polluant en cause. D'autres essais — toujours sur la daphnie — comptant des durées d'exposition plus longues et estimant donc la toxicité chronique, évalueront quant à eux la CE (concentration efficace).

Ces essais ont été réalisés sur certains ETR, et leurs résultats indiquent que des effets chroniques apparaissent chez la daphnie pour des concentrations en terres rares de l'ordre du microgramme par litre $^{12}.$ Or, jusqu'à aujourd'hui, les concentrations estimées pour ces métaux dans les eaux naturelles sont en moyenne $1\,000$ fois inférieures à cette valeur seuil. Faut-il pour autant conclure que les ETR ne présentent aucun risque à l'heure actuelle? Non, il est essentiel de prendre en compte le contexte naturel dans lequel le polluant est rejeté pour pouvoir en déterminer les véritables effets. Ce contexte est la principale difficulté qui se pose lors du recours aux bioessais.

Le paradoxe des bioessais : concilier représentativité et reproductibilité

En effet, les conditions entourant les bioessais sont contradictoires : d'une part, un polluant doit être évalué au sein d'un système représentatif du milieu naturel dans lequel il risque d'être rejeté; d'autre part, les expérimentateurs doivent contrôler simultanément un grand nombre de facteurs environnementaux (température, pH, vents, etc.) caractérisant ce milieu. Paradoxalement, plus l'étude porte sur un système « naturel », plus le nombre de facteurs environnementaux à contrôler est important et plus il devient difficile de reproduire le bioessai dans les mêmes conditions (voir la figure 2). Qui pourrait prévoir comment le vent, la pluie et les changements de température affecteront le devenir d'un polluant dans un lac? Comment la présence d'autres organismes du milieu influencera-t-elle le transfert du polluant vers l'organisme testé?



Cette dernière question s'avère très importante. Un composé peut entrer dans un organisme par deux voies : le milieu (air, eau et sol) ou la nourriture. Or, cette dernière est une source majeure de contamination par certains métaux comme le mercure. En effet, il a été observé que ce métal s'accumule à l'intérieur des organismes et que ses concentrations augmentent chez les espèces, telles que l'homme, situées en amont dans la chaîne alimentaire. Ce phénomène appelé « bioamplification » n'a toutefois jamais été étudié pour les ETR.

Un bioessai permettrait pourtant d'évaluer cet aspect du transfert des terres rares : le microcosme (voir la figure 3). Ce dernier se situe à un niveau intermédiaire entre l'étude sur le terrain et celle en laboratoire. Il consiste à miniaturiser en laboratoire l'écosystème observé sur le terrain pour le soumettre à des simulations. Toute une chaîne alimentaire simplifiée entre en jeu. Le transfert des polluants y est ainsi suivi attentivement : de l'eau vers les organismes, et des proies vers leurs prédateurs.

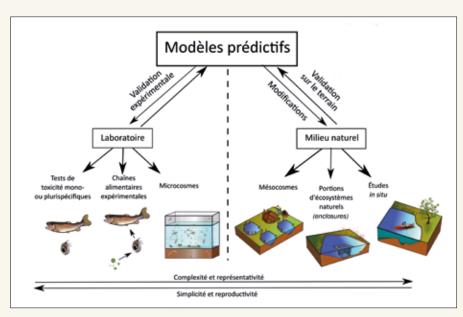


FIGURE 2

Classification des différents bioessais

Source: figure adaptée de Caquet, T., Lagadic, L, Jonot, O., Baturo, W., Kilanda, M., Simon, P., ... Ramade, F. (1996). Outdoor experimental ponds (mesocosms) designed for long-term ecotoxicological studies in aquatic environment. *Ecotoxicological and Environmental Safety, 34*(2), 125-133.



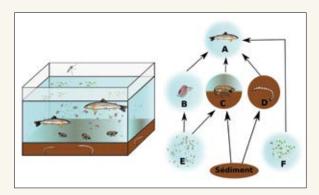


FIGURE 3

Exemple de microcosme intégrant : une espèce (D : larve de diptère) se nourrissant de sédiments, une autre espèce (C : *Hyalella azteca*) consommant à la fois ce substrat et une microalgue (E : *Pseudokirchneriella subcapitata*), une espèce (B : *Daphnia magna*) se nourrissant principalement de ces microalgues et d'un prédateur (A : *Salmo trutta*), lequel consomme à la fois les espèces mentionnées précédemment et une hydrophyte flottante (F : *Lemna minor*).

Source: Pierre-Yves Cardon

Une bioamplification des terres rares?

En vérité, il demeurerait difficile à travers des essais en microcosmes de réellement apprécier l'importance de la nourriture comme source de contamination par les ETR chez les organismes. En effet, des scientifiques ont observé que jusqu'à 90 % des terres rares injectées lors d'essais sédimentaient en moins de 48 heures, limitant de ce fait l'exposition des organismes étudiés 13. Même constat « sur le terrain », en milieu aquatique : la majorité des ETR se concentrent dans les sédiments. Si ces métaux devaient induire une contamination ou bien présenter un phénomène de bioamplification, le plus vraisemblable serait alors qu'ils trouvent leur origine dans les sédiments et les organismes qui vivent et se nourrissent en leur sein (larves d'insectes, poissons fouisseurs et autres). C'est donc uniquement en privilégiant ces organismes et leurs prédateurs que des essais en microcosmes comme celui décrit dans la figure 3 pourront tester cette hypothèse et ainsi permettre à l'avenir de mieux apprécier le risque découlant des ETR dans l'environnement. Dans l'attente des conclusions de ce type de test, la prudence reste malheureusement de mise quant à la consommation

RÉFÉRENCES

- ¹ Tukker, A. (2014). Rare earth elements supply restrictions: Market failures, not scarcity, hamper their current use in high tech applications. *Environmental Science* & *Technology*, 48, 9973-9974.
- ² Hu, Z., Richter, H., Sparovek, G. et Schnug, E. (2004). Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 27(1), 183-220.
- ³ Han, Y.-K. et Thacker, P. A. (2010). Effects of antibiotics, zinc oxide or rare earth mineral-yeast product on performance, nutrient digestibility and serum parameters in weanling pigs. Asian-Australasian Journal of Animal Production, 23(8), 1057-1065.
- ⁴ Martin, P., Wang, P., Robinson, A., Poole, L., Dragonne, J., Smyth, M. et Pratt, R. (2011). Comparison of dietary phosphate absorption after single doses of lanthanum carbonate and sevelamer carbonate in healthy volunteers: A balance study. *American Journal of Kidney Diseases*, *57*(5), 700-706.
- ⁵ Haghseresht, F., Wang, S. et Do, D. D. (2009). A novel lanthanum-modified bentonite, Phoslock, for phosphate removal

- from wastewaters. *Applied Clay Science*, 46(4), 369-375.
- ⁶ Borzelleca, J. F. (2000). Paracelsus: Herald of modern toxicology. *Toxicological Sciences*, *53*(1), 2-4.
- ⁷ D'Aquino, L., De Pinto, M. C., Nardi, L., Morgana, M. et Tommasi, F. (2009). Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metbolism in *Triticum durum*. Chemosphere, 75(7), 900-905.
- ⁸ Diatloff, E. et Smith, F. W. (1995). Rare earth elements and plant growth: III. Responses of corn and mungbean to low concentrations of cerium in dilute, continuously flowing nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 18(10), 1991-2003.
- ⁹ Prause, B. et al. (2005a, 2005b), cités dans: Zohravi, M. (2006). The Effect of Rare Earth Elements on Growth Performance, Tibia Mineralization and Blood Serum of Japanese Quails. (Thèse de doctorat inédite). Ludwigs-Maximilians Universität-Munchen: Allemagne.
- Yang, Z. et Chen, L. (2000). Effect of lanthanum on egg hatching

- of Macrobrachium nipponense. Aquiculture, 6(1), 31-32.
- ¹¹ Zhu, W., Xu, S., Shao, P., Zhang, H., Wu, D., Yang, W., ... Feng, L. (2005). Investigation on liver function among population in high background of rare earth area in South China. *Biological Trace Element Research*, 104(1), 1-8.
- ¹² Barry, M. et Barry, M. (2000). The acute toxicity of lanthanum to Daphnia carinata. *Chemosphere*, 41, 1669-1674.
- ¹³ Ng, T., Smith, S., Straus, A. et McGeer, J. C. (2011). Review of Aquatic Effects of Lanthanides and Other Uncommon Elements. Repéré à https://reviewboard.ca/upload/project_document/EA1011-001_Avalon_Rare_Metals_Inc_s_Response_to_the_Review_Board_s_April_16th_2012_Letter.PDF



LA REVUE PAR ET POUR LES ÉTUDIANTS DES CYCLES SUPÉRIEURS



— ALEJANDRO HERNANDEZ ÉTUDIANT À LA MAÎTRISE EN GÉNIE BIOMÉDICAL

> PRIX D'EXCELLENCE EN VULGARISATION SCIENTIFIQUE 2013 DE LA REVUE *DIRE*

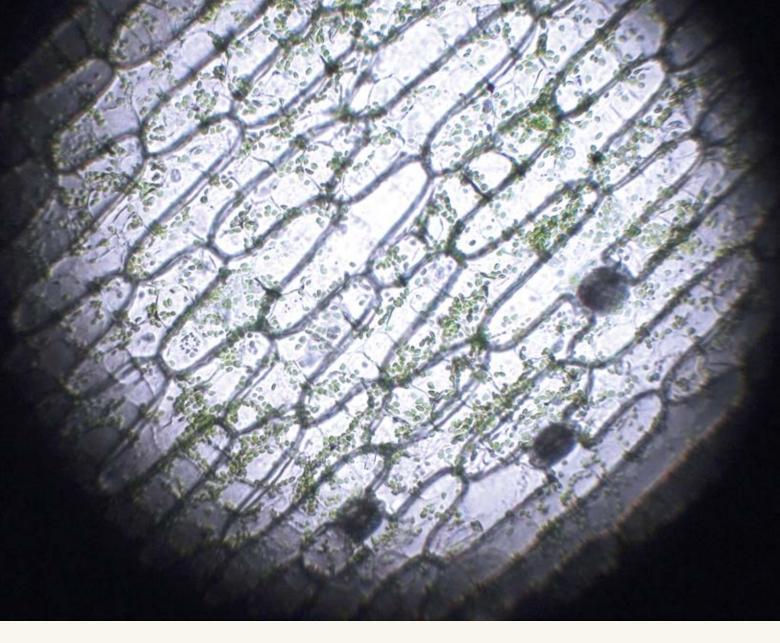
FICSUM.COM (2)

DES PARTENAIRES MICROSCOPIQUES HÉBERGÉS DANS LES CELLULES : LES ENDOSYMBIOTES



ANNE-FRÉDÉRIQUE GENDRON, anne-frederique.gendron@outlook.com Programme de doctorat en sciences biologiques

En près de quatre milliards d'années, divers processus évolutifs et la tendance de la nature à combiner plusieurs espèces ont favorisé la biodiversité et la création de nouvelles espèces telles que l'Homo sapiens. À titre d'exemple, en plus de ses propres cellules, le corps humain héberge environ 100 billions (10¹⁴) de microbes et près de 1 000 billions (10¹⁵) de virus. Le résultat le plus célèbre de cette association entre l'homme et ces micro-organismes se retrouve au cœur de toutes les cellules animales et végétales : ce sont les mitochondries, des organites considérés comme des centrales énergétiques qui jouent un rôle primordial dans la vie et la mort des cellules. En fait, les mitochondries possèdent leur propre code génétique, puisqu'elles étaient autrefois autonomes et qu'elles découleraient d'une longue association (de plusieurs millions d'années) avec des bactéries. Bien qu'elle sorte de l'ordinaire, cette association n'est toutefois pas unique et pour en savoir plus, il faut entrer dans le monde des endosymbiotes.



Précisément, le concept d'endosymbiose implique une relation de mutualisme, de commensalisme ou de parasitisme entre un microorganisme et son hôte.

C'est en 1879 qu'Anton De Bary énonce pour la première fois le concept de symbiose, qu'il décrit comme une association durable et intime entre deux espèces. Cette définition inclut les relations de mutualisme (association bénéfique pour les deux partenaires), de commensalisme (association

bénéfique pour l'un des partenaires et neutre pour l'autre) et de parasitisme (association bénéfique pour un partenaire, mais nuisible à l'autre) 1. Les associations symbiotiques prévalent chez une variété d'organismes terrestres et aquatiques, et elles sont connues pour avoir favorisé l'évolution et l'adaptation de nombreuses espèces. Toutefois, ce n'est que dans les années 1970, avec la théorie endosymbiotique proposée par la microbiologiste américaine Lynn Margulis, que les scientifiques ont commencé à s'intéresser au rôle des endosymbiotes chez les organismes hôtes². Précisément, le concept d'endosymbiose implique une relation de mutualisme, de commensalisme ou de parasitisme entre un micro-organisme et son hôte. Bien que ces types de relations soient courants dans la nature, de nombreuses recherches ont porté spécifiquement sur les associations entre endosymbiotes et insectes, car celles-ci permettent l'étude de tous les types d'endosymbioses et peuvent être reproduites plus facilement que lors d'une association entre l'humain et un autre organisme, par exemple.

CERTAINES DE CES ENDOSYMBIOSES RÉSULTENT DE TRÈS ANCIENNES RELATIONS AVEC DES BACTÉRIES, PARFOIS DE PLUS DE 260 MILLIONS D'ANNÉES, ALORS QUE D'AUTRES SONT PLUS RÉCENTES.

Pourquoi s'intéresser particulièrement aux insectes? Parce qu'ils colonisent des habitats très diversifiés et interagissent avec une panoplie d'organismes et de micro-organismes. En outre, au cours de l'évolution, plus de la moitié des insectes ont pu établir des relations stables avec des bactéries, des champignons microscopiques ou des virus qui ont favorisé leur adaptation à différents milieux écologiques³. Certaines de ces endosymbioses résultent de très anciennes relations avec des bactéries, parfois de plus de 260 millions d'années, alors que d'autres sont plus récentes. Par exemple, la relation entre la bactérie *Sodalis glossinidius* et la mouche tsé-tsé *Glossina spp.* remonterait à près de 20 millions d'années, et elle se serait maintenue dans le temps parce que la bactérie influence positivement la longévité de son hôte ⁴.

Des endosymbioses obligatoires ou facultatives?

Il existe deux types d'endosymbioses : obligatoires (primaires) et facultatives (secondaires). Une relation est dite obligatoire lorsque l'endosymbiote ne peut pas survivre en dehors de son hôte, lorsque son absence limite le développement ou le succès reproducteur de l'insecte, ou encore lorsque cette absence cause la mort de ce dernier. Heureusement, l'histoire évolutive des espèces en endosymbiose a favorisé le maintien de la relation – qui est généralement mutualiste – par des moyens tels que la transmission verticale des endosymbiotes (de la mère à sa progéniture)⁵. Ce mode de transmission peut être lié à plusieurs mécanismes. Les plus communs sont associés à la présence d'organes spécialisés qui vont, lors de la ponte, enduire les œufs des insectes d'endosymbiotes bactériens ou fongiques qui, à leur tour, recouvriront les larves à leur sortie⁶. Chez l'homme, les mitochondries, qui sont d'anciens endosymbiotes obligatoires, sont transmises uniquement par la mère.

Les endosymbiotes obligatoires bactériens et fongiques colonisent de larges cellules ($\approx 100~\mu m$ de diamètre) de l'hôte. Ces cellules formeront fréquemment des organes spécialisés, à savoir des bactériomes lorsque les cellules sont colonisées par des bactéries, ou des mycétomes

quand il s'agit de champignons microscopiques ⁷. Souvent, ces organes seront présents dans le système digestif et dans l'appareil reproducteur des hôtes, ce qui permettra aux endosymbiotes de jouer un rôle dans la nutrition des insectes et qui facilitera leur transmission d'une génération à l'autre.

D'autres endosymbioses sont pour leur part qualifiées de facultatives, quand l'hôte et l'endosymbiote peuvent survivre l'un sans l'autre. Ces associations peuvent reposer tant sur le mutualisme, qui favorise la survie de l'insecte, que sur le parasitisme reproductif, qui assurera la transmission de l'endosymbiote. Dans ce dernier cas, la relation sera maintenue grâce aux capacités de l'endosymbiote à persister dans l'hôte sans trop lui nuire, à la transmission verticale (maternelle) et à la transmission horizontale, qui s'effectue lors d'un contact avec un organisme infecté par l'endosymbiote⁸.

Les endosymbiotes secondaires se distribuent aléatoirement dans l'hôte. Ils se trouvent fréquemment sous forme libre dans l'hémolymphe (le « sang » des insectes) ou regroupés dans diverses cavités internes. Chez l'homme, les endosymbiotes les plus connus sont principalement bactériens. Ils constituent majoritairement la flore intestinale et seront acquis après la naissance. Ainsi, les enfants naissent avec une flore intestinale plutôt stérile et se montrent plus vulnérables aux maladies, car, en plus de faciliter la digestion et l'intégration de nombreux nutriments essentiels, les endosymbiotes interagissent avec le système immunitaire en promouvant la maturation de ses cellules et leur fonctionnement normal 9. En outre, des endosymbiotes tapisseront la bouche, la peau et les organes sexuels, et y joueront des rôles diversifiés.

Comment les endosymbiotes influencent-ils leur hôte?

Les endosymbiotes mutualistes, tant primaires que secondaires, favorisent la survie et la reproduction des insectes par la nutrition, la séquestration et la décomposition de substances chimiques toxiques, et la protection contre d'autres micro-organismes ou ennemis naturels. C'est pourquoi ils se distribuent largement au sein du système digestif.



En matière de protection de leur hôte, un rôle actif est attribué aux endosymbiotes. La présence de ces microorganismes peut influencer le système immunitaire des insectes en activant des mécanismes de défense.

Les endosymbiotes seront aussi avantagés par la relation qu'ils entretiennent avec leur hôte. En effet, les insectes possèdent des gènes qui favoriseront la croissance de ces micro-organismes 10. En soi, leur corps constitue même un habitat stable favorisant la survie des endosymbiotes. Les insectes ayant une diète très particulière, tels que ceux qui se nourrissent uniquement de végétaux, de feuillage, de bois et de sang, seraient fortement carencés s'ils ne bénéficiaient pas d'une source exogène d'éléments nutritifs essentiels. À titre

d'exemple, certaines familles d'insectes dépendent de leurs endosymbiotes bactériens pour obtenir les dix acides aminés et autres cofacteurs enzymatiques absents de leur alimentation 11. Pour les hématophages (les parasites se nourrissant de sang), certains endosymbiotes bactériens présents chez la mouche tsé-tsé (Glossina spp.) comblent de nombreuses carences en vitamines B et en cofacteurs essentiels, ce qui leur permet une diète aussi restreinte 12. Les champignons microscopiques jouent aussi un rôle actif dans le recyclage, la décomposition et la synthèse de nombreux éléments nutritifs difficilement assimilables et améliorent les capacités digestives des insectes ¹³. Fort heureusement, l'homme bénéficie également de la présence d'endosymbiotes qui lui permettent notamment de digérer certains sucres et lipides 14. D'ailleurs, la médecine s'intéresse de plus en plus, ces dernières années, au rôle des probiotiques sur la santé digestive et générale de ceux qui en consomment.

En matière de protection de leur hôte, un rôle actif est attribué aux endosymbiotes. La présence de ces micro-organismes peut influencer le système immunitaire des insectes en activant des mécanismes de défense. Ainsi, les endosymbiotes bactériens protégeraient les insectes contre les attaques de bactéries, de virus, de protistes, de nématodes, de champignons, de parasitoïdes et de prédateurs ¹⁵. Quelques espèces de champignons microscopiques ont la capacité

L'HOMME AUSSI BÉNÉFICIE D'ENDOSYMBIOTES QUI RENFORCENT SON SYSTÈME IMMUNITAIRE ET LE PROTÈGENT ÉGALEMENT D'ORGANISMES PATHOGÈNES.

de neutraliser différentes substances toxiques ingérées (mycotoxines et insecticides, par exemple); d'autres parviennent même à modifier la couleur des insectes pour les protéger de la prédation ¹⁶. Quant aux endosymbiotes viraux, ils peuvent activer la production de toxines chez l'insecte, lui conférant une protection accrue face aux attaques d'autres organismes pathogènes ¹⁷. L'homme aussi bénéficie d'endosymbiotes qui renforcent son système immunitaire et le protègent également d'organismes pathogènes. Fait connu : l'administration d'antibiotiques pour traiter certaines infections bactériennes modifie le spectre d'endosymbiotes normalement présents chez l'homme et favorise l'infection digestive à *Clostridium difficile*, bien connue dans les hôpitaux ¹⁸. Cela démontre que certains endosymbiotes constituent une barrière naturelle contre le *C. difficile*.

Certains endosymbiotes bactériens en relation de mutualisme avec un insecte présenteraient un effet bénéfique sur la fécondité de ce dernier. Toutefois, des relations apparentées au parasitisme entraînent plutôt un effet négatif sur le succès reproducteur de l'hôte. En effet, certains endosymbiotes bactériens « manipulent » la reproduction de l'insecte afin d'accroître leur propre transmission par la lignée maternelle. Quatre types de manipulations de la reproduction sont observées chez les endosymbiotes (voir l'encadré ci-dessous) et, parmi ces derniers, la bactérie Wolbachia, qui infecte plus de 50 % des espèces d'insectes, parvient à toutes les exploiter et affecte divers processus évolutifs 19. Malgré leur apparence néfaste, ces mécanismes favorisent la spéciation, donc l'apparition de nouvelles espèces. Les connaissances actuelles laissent croire que l'homme serait pour sa part dépourvu de ce type d'endosymbiotes. C'est au moyen de la nutrition, de la protection contre diverses maladies, virus et parasites, de la détoxification de composés nocifs et de la modification

de la reproduction que les endosymbiotes continuent de favoriser les insectes, mais aussi d'autres organismes vivants tels que l'humain.

Quelle est la finalité de l'endosymbiose?

La finalité de la relation d'endosymbiose dépend principalement du niveau d'influence et du niveau d'intégration de l'endosymbiote avec son hôte. En général, plus l'association est ancienne, plus le niveau d'intégration est élevé, ce qui fait que l'hôte transmettra davantage d'endosymbiotes à chaque génération. Le meilleur exemple d'intégration complète d'un endosymbiote se trouve dans toutes les cellules animales et végétales. En effet, d'anciennes relations endosymbiotiques entre des animaux et des α-protéobactéries, ainsi qu'entre des végétaux et des cyanobactéries, ont conduit à l'apparition des cellules eucaryotes (contenant un véritable noyau) telles qu'on les connaît aujourd'hui ²⁰. Précisément, les α-protéobactéries sont devenues des mitochondries (organites), qui sont les centrales énergétiques des cellules de tous les organismes complexes (humains, champignons, plantes, etc.). De même, les cyanobactéries ont évolué en organites nommés « plastes », aux rôles variés, et présents dans les cellules d'algues et de certaines plantes. Parmi eux, les chromoplastes retiennent la chlorophylle, qui donne la couleur verte des végétaux; les leucoplastes, sans pigments, emmagasinent des réserves ou synthétisent des acides; et les chloroplastes captent la lumière nécessaire à la photosynthèse. La biologie moléculaire a exploré les relations entre les endosymbiotes et leur hôte, en identifiant d'abord ces derniers, puis en évaluant leur rôle chez une panoplie d'organismes vivants. En outre, l'identification de ces micro-organismes a aussi permis d'établir le degré d'incidence de chacun sur son hôte.

LES QUATRE TYPES DE MANIPULATIONS DE LA REPRODUCTION CHEZ LES ENDOSYMBIOTES:

- ▶ L'incompatibilité cytoplasmique (diminution du nombre de descendants, associée à l'accouplement de femelles non infectées avec des mâles infectés)
- ▶ La parthénogenèse (production d'une progéniture issue d'un gamète femelle non fécondé)
- ▶ La dégénérescence des embryons mâles, ou male killing
- ▶ La féminisation des mâles, qui deviennent des femelles 21

Dans le futur, les spécialistes de la discipline devraient aborder plus en profondeur les interactions entre les partenaires et l'effet de l'assemblage microbien sur les hôtes.

Une des questions de recherche de l'heure est liée à la détermination, chez les insectes et les araignées, des moyens employés par les endosymbiotes pour prendre le contrôle de leur hôte et modifier leur comportement. Par exemple, la bactérie *Wolbachia sp.* parvient à modifier le choix des partenaires sexuels chez plusieurs espèces d'insectes, par des mécanismes dont certains demeurent incompris à ce jour ²². Aussi, de nombreuses recherches se concentrent sur les relations endosymbiotiques entre l'homme et son assemblage microbien normal, notamment sur les impacts de ces assemblages et de l'environnement

sur la santé humaine. En effet, il semblerait que la prévalence d'une panoplie de maladies dépende de la combinaison d'endosymbiotes microbiens. À titre d'exemple, un simple déséquilibre de cet assemblage serait corrélé à la susceptibilité d'être affecté par le virus de la grippe ou à la prédisposition au cancer du côlon ²³. Bref, une compréhension de ces interactions conduira-t-elle l'homme à trouver de nouveaux moyens de contrôler la transmission de maladies par les insectes vecteurs tels que les moustiques, qui transmettent de nombreux virus? C'est une question qui se pose actuellement en parasitologie ²⁴. ®

RÉFÉRENCES

- ¹ De Bary, A. (1879). *Die Erscheinung der Symbiose: Vortrag* [De la symbiose]. Strasburg, Allemagne: Verlag.
- ² Moran, N. A. (2006). Symbiosis. *Current Biology, 16*(2), 866-871.
- ³ Ishikawa, H. (2003). Insect symbiosis: An introduction. Dans K. Bourtzis et T. A. Miller (dir.), *Insect Symbiosis* (p. 1-22). Boca Raton, Floride: CRC Press.
- ⁴ McCutcheon, J. P. et Moran, N. A. (2012). Extreme genome reduction in symbiotic bacteria. *Nature Microbiology*, 10, 13-26.
 - Weiss, B. L. et Arksoy, S. (2011). Microbiome influences on insect host vector competence. *Trends in Parasitology, 27*(11), 514-522.
- ⁵ Moran, op. cit.
- ⁶ Nardon, P. et Heddi, A. (2013). La symbiose chez les insectes phytophages et granivores. Dans N. Sauvion, P. A. Calatayud, D. Thiéry et F. Marion-Poll (dir.), *Interactions insectes*plantes (p. 127-136). Paris, France: Quæ IRD Éditions.
- Douglas, A. E. (1989). Mycetocyte symbiosis in insects. *Biological Review*, 64, 409-434.
- ⁸ Haine, E. R. (2008). Symbiont-mediated protection. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *265*(1633), 353-361.
- Olemente, J. C., Ursell, L. K., Wegener Parfrey, L. et Knight, R. (2012). The impact of the gut microbiota on human health: An integrative view. Cell, 148(6), 1258-1270.
- 10 Haine, op. cit.

- ¹¹ Gibson, C. M. et Hunter, M. S. (2010). Extraordinarily widespread and fantastically complex: Comparative biology of endosymbiotic bacterial and fungal mutualists of insects. *Ecology Letters*, 13, 223-234.
- 12 Weiss et Arksoy, op. cit.
- 13 Gibson et Hunter, op. cit.
- ¹⁴ Lombardo, M. P. (2008). Access to mutualistic endosymbiotic microbes: An underappreciated benefit of group living. Behavioral Ecology Sociobiology, 62, 479-497.
- ¹⁵ Eleftherianos, I., Atri, J., Accetta, J. et Castillo, J. C. (2013). Endosymbiotic bacteria in insects: Guardians of the immune system? Frontiers in Physiology, 4(46). doi: 10.3389/ fphys.2013.00046
- ¹⁶ Vega, F. E. et Dowd, P. F. (2005). The role of yeasts as insects endosymbionts. Dans F. E. Vega et M. Blackwell (dir.), Insect-Fungal Associations: Ecology and Evolution (p. 211-243). New York, N. Y.: Oxford University Press.
- ¹⁷ Roossinck, M. J. (2011). The good viruses: Viral mutualistic symbioses. *Nature Microbiology*, *9*, 99-108.
- ¹⁸ Lombardo, op. cit.
- ¹⁹ Hilgenboecker, K., Hammerstein, P., Schlattmann, P., Telschow, A. et Werren, J. H. (2008). How many species are infected with Wolbachia?—A statistical analysis of current data. FEMS Microbiology Letters, 281(2), 215-220.
- ²⁰ Moran, op. cit.

- ²¹ Weiss et Arksoy, op. cit.
- ²² Goodacre, S. L. et Martin, O. Y. (2012). Modification of insect and arachnid behaviours by vertically transmitted endosymbionts: Infections as drivers of behavioural change and evolutionary novelty. *Insect*, 3(1), 246-261. doi:10.3390/ insects3010246
- ²³ Clemente, Ursell, Wegener Parfrey et Knight, *op. cit.*
- ²⁴ Slatko, B. E., Luck, A. L., Dobson, S. L. et Foster, J. M. (2014). Wolbachia endosymbionts and human disease control. *Molecular and Biochemical parasitology*, 195(2), 88-95.





LE FICSUM A VERSÉ 1200\$
À NOTRE ASSOCIATION POUR
COUVRIR LES FRAIS DE NOTRE
CONFÉRENCIER VENANT
D'ESPAGNE!

— ASSOCIATION AUX CYCLES SUPÉRIEURS DE L'UdeM

FICSUM.COM (2)



PRÉDIRE LE CRIME? LES ENJEUX ÉTHIQUES **DE LA DANGEROSITÉ**



UGO GILBERT TREMBLAY, ugo.gilbert.tremblay@umontreal.ca Programme de doctorat en droit et en philosophie, en cotutelle bidisciplinaire

En matière de criminalité, il va de soi qu'aucune société ne saurait tolérer que l'avenir qui se dresse devant elle soit entièrement opaque et hasardeux. Un système carcéral qui relâcherait des individus sans même s'interroger un instant sur leurs chances de récidive jouerait assurément à la roulette russe. Il peut paraître ainsi tout naturel de chercher à anticiper le futur des délinquants remis en liberté, en évaluant la part de dangerosité qui subsiste en eux. Mais si le « désir de prédire » semble irrésistible, son application pose en revanche des problèmes éthiques fondamentaux. Peut-on emprisonner un innocent qui serait considéré comme dangereux, même s'il n'a commis aucun crime? Affirmer qu'un criminel est dangereux, n'est-ce pas admettre qu'il n'est pas assez « libre » pour se contrôler, et donc le juger en partie non responsable? Voilà autant de questions brûlantes qui se posent à notre époque.

NUL BESOIN D'AVOIR ÉTÉ SOI-MÊME VICTIME D'UN CRIME POUR ÊTRE MALGRÉ TOUT HABITÉ PAR LA HANTISE DE SE TROUVER UN JOUR AU MAUVAIS ENDROIT AU MAUVAIS MOMENT, BRUSQUEMENT TRANSFORMÉ EN CIBLE D'UNE AGRESSION IMPRÉVISIBLE.

Rares sont les phénomènes qui, comme le crime, obnubilent à ce point l'esprit humain. Il n'y a qu'à voir l'attention démesurée que ce sujet recueille dans les œuvres artistiques de tout genre (films, séries télévisées, romans, etc.), en comparaison de l'espace malgré tout restreint qu'il occupe dans la vie quotidienne, pour saisir l'ampleur des frayeurs qu'il nourrit. La figure du criminel, surtout dans ses manifestations violentes, revient sans cesse stimuler notre imagination la plus sombre, troubler notre sommeil paisible, si ce n'est même parfois inquiéter nos promenades les plus ordinaires. Nul besoin d'avoir été soi-même victime d'un crime pour être malgré tout habité par la hantise de se trouver un jour au mauvais endroit au mauvais moment, brusquement transformé en cible d'une agression imprévisible. Pourquoi nombre d'entre nous sont-ils à ce point fascinés par le crime? Sans doute est-ce parce qu'il active un des leviers affectifs les plus puissants de l'être humain, celui de la peur physique, qui est aussi liée à la crainte de la mort, dans tout ce qu'elle comporte de plus anxiogène. Il n'est pas étonnant en ce sens que l'intelligence humaine ait constamment cherché à comprendre les causes de ce phénomène, non certes dans une pure visée de connaissance désintéressée, mais d'abord et surtout afin que nous puissions intervenir sur lui, que ce soit pour en diminuer la fréquence ou pour en neutraliser les aspects les plus menaçants.

Dompter le hasard

Déjà au IV^e siècle av. J.-C., Platon consacre de nombreuses pages à décrire les troubles qui affectent l'« âme » des criminels et à expliquer comment la Cité devrait procéder pour les éliminer, tantôt par le soin ou l'éducation de ces derniers, tantôt par leur exclusion ou même leur mort¹. Plus récemment, Cesare Lombroso, l'un des fondateurs de l'école de criminologie italienne, a poursuivi le but avoué de découvrir, à partir notamment de l'étude des crânes et de la physionomie des criminels, les prétendues lois innées de l'uomo delinquente, dans l'espoir de mieux protéger la société contre ce qu'il présentait comme une maladie dégénérative de l'humanité². Chaque fois se trouve à la racine de cette volonté de comprendre le crime le fantasme de pouvoir un jour y mettre un terme,

comme si la découverte des causes de ce phénomène allait enfin permettre d'apaiser le sentiment d'insécurité qu'il provoque en chacun. L'avancement de la connaissance quant aux mécanismes à l'œuvre dans la criminalité se traduit immanquablement par des tentatives plus ou moins fructueuses d'en prévoir les risques d'éclosions futures. Il n'est guère surprenant en ce sens que le développement des lois de la statistique et du calcul probabiliste se soit trouvé dès l'origine intimement associé à un grand intérêt pour les informations criminologiques, comme l'ont bien montré les travaux du philosophe des sciences Ian Hacking³. Là où se dessinaient des constantes dans les statistiques, à propos par exemple des meurtres commis dans telle ou telle région, on suspectait aussitôt l'existence d'une « loi du crime » qui pourrait éventuellement donner prise à l'action publique. Or, c'est un schéma analogue qui se reproduit aujourd'hui avec l'affluence de nouvelles données sur les criminels, notamment en provenance des neurosciences. Au fur et à mesure que s'accroissent les savoirs sur le crime, le désir de « dompter le hasard 4 » par des prédictions s'accentue, en même temps que les enjeux éthiques soulevés par ce désir deviennent de plus en plus délicats.

La prédiction au cœur du système pénal

La nécessité de prévenir l'irruption de la violence dans la société civile constitue évidemment d'ores et déjà une composante essentielle du système pénal. En ce qui concerne les procédures de libération conditionnelle, par exemple, il s'agit d'évaluer les chances qu'une personne respecte l'ordre légal après sa sortie de l'univers carcéral. Dans de tels cas, la décision de libérer un individu s'appuie sur différentes approches qui visent à rendre ce « pari » aussi raisonnable que possible. Le système pénal a eu recours jusqu'ici à deux principales techniques pour évaluer le danger qu'un criminel fait courir à la société. En premier lieu, il y a la méthode clinique, qui consiste pour un psychiatre ou un psychologue à formuler des conjectures sur la trajectoire d'un individu; sur la base d'entretiens, le clinicien cherche à comprendre les dynamiques psychiques qui peuvent s'avérer favorables ou non à la réinsertion du malfaiteur. D'autre part,



C'est en effet dans le concept même de « dangerosité », quelles que soient les méthodes utilisées pour la « mesurer », que réside le nœud des bouleversements philosophiques impliqués dans le désir de prédire.

une méthode plus objective, mais qui peut en même temps paraître plus froide et impersonnelle, consiste essentiellement en un jugement de type actuariel. Les méthodes statistiques utilisées notamment par les compagnies d'assurance pour soupeser les risques financiers sont importées dans le champ pénal en vue de calculer la probabilité de récidive d'un individu, et ce, en fonction d'un nombre impressionnant de variables (âge, historique de travail, réseau social, dépendances, agressions subies dans l'enfance, etc.)⁵. Certaines grilles d'évaluation actuarielle comprennent

jusqu'à 134 items et ont démontré une efficacité prédictive supérieure à l'approche clinique⁶.

Ces dernières années ont vu en outre émerger une troisième technique de prédiction qui, jointe aux précédentes, promet d'améliorer considérablement l'acuité des pronostics établis. Il s'agit de la neuroprédiction, méthode qui consiste à recueillir des informations sur le fonctionnement cérébral d'un délinquant et sur ses possibles anomalies. À cet égard, d'innombrables études soutiennent l'existence d'une corrélation entre un certain état du cerveau et une propension accrue à la violence 7. En matière de neuroprédiction, des chercheurs ont même fait valoir en 2013 que la probabilité de récidive était multipliée par deux chez les criminels qui montraient une faible activité dans le cortex angulaire antérieur (impliqué notamment dans le contrôle de l'impulsivité) par rapport à ceux qui, au contraire, présentaient une forte activité dans cette même région⁸. Même si de telles données demeurent peu considérées par le système pénal, et ce, d'autant plus heureusement que de nombreuses zones d'ombre persistent encore à ce jour autour du statut à accorder aux connaissances issues de l'imagerie cérébrale⁹, elles donnent néanmoins à imaginer les retombées possibles de tels savoirs, en plus de faire entrevoir avec force l'immensité de leurs implications.

LA NOTION DE DANGEROSITÉ, LOIN D'ÊTRE
SEULEMENT THÉORIQUE, MODIFIE DONC DÉJÀ EN
PROFONDEUR LA VISION CLASSIQUE DE LA PÉNALITÉ,
JUSTIFIANT DÉSORMAIS QU'UNE « SECONDE PEINE »
PUISSE S'AJOUTER À LA CONDAMNATION INITIALE,
MÊME SI CETTE PEINE SE TROUVE DISSOCIÉE DE TOUTE
CULPABILITÉ, DE TOUTE VIOLATION DE LA LOI.

Les paradoxes de la dangerosité

Si les neurosciences risquent de conférer une dimension spectaculaire au problème de la prédiction, en fournissant des données de plus en plus objectives et précises sur le cerveau des individus, elles ne devraient cependant rien ajouter de substantiel aux questions éthiques qui accompagnent déjà le simple fait de prétendre pouvoir anticiper les gestes d'un individu 10. C'est en effet dans le concept même de « dangerosité », quelles que soient les méthodes utilisées pour la « mesurer », que réside le nœud des bouleversements philosophiques impliqués dans le désir de prédire. Le philosophe Michel Foucault a particulièrement bien saisi les mutations radicales qu'une telle notion introduit dans le système pénal, surtout par rapport à la conception classique de la sanction. Selon Foucault, l'idée de dangerosité menace de briser le lien insécable qui unissait jusqu'alors la peine à un crime, le châtiment à un acte, l'incarcération à une faute. C'est ainsi un véritable déplacement du regard qui s'opère, dans la mesure où le système pénal se désintéresse peu à peu des actes commis par les criminels pour se concentrer de plus en plus sur leur être supposé, s'attachant moins à ce qu'ils ont fait qu'à ce qu'ils pourraient faire 11. Ainsi, ce n'est plus tant le sujet d'un acte qui fait l'objet de la sanction pénale, mais bien une virtualité d'actes, c'est-à-dire un pourcentage fluctuant de comportements hypothétiques que seule, paradoxalement, la remise en liberté du délinquant permettrait de vérifier (contrairement à la plupart des prédictions scientifiques, celle du crime répugne par définition à subir le test du réel, puisque cela voudrait dire qu'on a laissé se produire un crime évitable) 12. Malgré ces paradoxes pour le moins épineux, la France a adopté en 2007 une mesure de rétention de sûreté, tandis que la Cour suprême des États-Unis s'est pour sa part montrée favorable à la détention préventive de certains prédateurs sexuels, indépendamment du fait que ceux-ci aient déjà purgé leur peine d'emprisonnement 13.

La notion de dangerosité, loin d'être seulement théorique, modifie donc déjà en profondeur la vision classique de la pénalité, justifiant désormais qu'une « seconde peine » puisse s'ajouter à la condamnation initiale, même si cette peine se trouve dissociée de toute culpabilité, de toute violation de la loi.

Cela dit, il n'y a pas que Michel Foucault qui s'est inquiété du fait que l'indice de dangerosité tende à se substituer peu à peu à la commission concrète d'un crime pour justifier l'enfermement. La plupart des partisans de la théorie rétributive de la peine, traditionnellement beaucoup plus enclins à réprimer les délinquants sévèrement, se préoccupent eux aussi de l'infiltration croissante de la prédiction dans la sphère pénale. Selon le rétributivisme, tel que l'a notamment formulé le philosophe Emmanuel Kant au XVIIIe siècle, la peine tire sa légitimité d'au moins trois grands principes : elle doit être liée à ce qu'un individu mérite de recevoir (en vertu de son statut de sujet libre et responsable); elle doit être proportionnelle à l'acte commis; elle doit concerner le passé et non quelque finalité sociale future ¹⁴. Or, ce sont précisément ces principes qui conduisent plusieurs rétributivistes à regretter la place acquise par la dangerosité dans la détermination d'une sentence. Selon ces derniers, une peine qui s'appuie sur une prédiction et non sur une action blâmable sape ni plus ni moins l'autorité morale de la justice pénale, en ce qu'elle détruit les seules sources de légitimité concevables de la punition 15. Un individu qui serait puni en fonction d'un simple calcul probabiliste ne saurait en effet ni mériter les conséquences d'une action qu'il n'a pas perpétrée, ni voir s'établir une juste proportion entre son crime (inexistant) et la peine qu'il subit, pas plus qu'il ne pourrait trouver dans un passé répréhensible l'origine de son incarcération présente (cette origine résidant plutôt dans le besoin de pacification future de la société).



Une difficile cohérence

De la rupture avec ces différents principes, les rétributivistes tirent des conséquences qui donnent à méditer. Tout d'abord, si la prédiction prétend apprécier les risques de récidive d'un individu, quel espace résiduel se trouve laissé à la liberté humaine? En pointant les déterminations qui pèsent sur un individu criminalisé, les prophéties statistiques ne lui démentent-elles pas en effet toute capacité d'agir pour réorienter le cours de son existence? En outre, si des lois permettent de prévoir son comportement et de statuer qu'il est dangereux, cela revient-il à admettre qu'il n'est pas authentiquement responsable des gestes qu'il aurait pu commettre? Le juriste Paul Robinson considère qu'infliger une détention pénible à un détenu ayant délibérément fait souffrir autrui est une décision fondée, mais qu'il en irait tout autrement pour un individu aux prises avec des impulsions incontrôlables (un prédateur sexuel, par exemple). Une fois détachée de la notion de mérite, l'incarcération devrait même, selon Robinson, être vidée de la moindre charge punitive, et les conditions de détention rendues beaucoup plus humaines que celles qui prévalent aujourd'hui dans de nombreuses

prisons ¹⁶. Mais une question autrement plus inquiétante se pose au sujet de la prédiction : si une société accepte de fonder l'incarcération d'un être humain sur sa seule dangerosité future et non sur ses actes passés, au nom de quel principe solide devrait-on attendre que les individus « menaçants » accomplissent un premier crime avant de les emprisonner ¹⁷? Pourquoi ne pas tolérer la détention préventive d'un innocent dont la forte dangerosité se serait par exemple révélée au hasard d'un scan cérébral extrêmement précis? Et que faire d'un préadolescent qui montrerait une lourde tendance à la criminalité lors d'un test de dépistage précoce?

Ces questions, pour exorbitantes qu'elles puissent paraître, mettent en relief la gravité des enjeux éthiques qui accompagnent le fait d'assumer jusqu'au bout les postulats qui sous-tendent une pratique comme la prédiction. S'il peut certes sembler difficile de contester le bien-fondé de ce désir de prédire, dans la mesure où l'on voit mal comment faire fi, collectivement, des dangers souvent réels que représentent certains individus agressifs et violents, il peut en revanche sembler tout aussi difficile d'inscrire la justice pénale en totale cohérence avec ce désir. Le prix de la cohérence serait ni plus

EN POINTANT LES DÉTERMINATIONS QUI PÈSENT SUR UN INDIVIDU CRIMINALISÉ, LES PROPHÉTIES STATISTIQUES NE LUI DÉMENTENT-ELLES PAS EN EFFET TOUTE CAPACITÉ D'AGIR POUR RÉORIENTER LE COURS DE SON EXISTENCE?

ni moins de consentir à sacrifier d'autres valeurs qui – sur des thématiques moins controversées que le crime – recueillent en temps normal notre adhésion la plus enthousiaste. Or, toute la question est peut-être de savoir jusqu'à quel point nous sommes prêts à piétiner ces valeurs – au premier chef, les libertés civiles et la présomption d'innocence – au nom de nos craintes les plus instinctives. Bien que ces dernières soient certainement humaines et compréhensibles, il n'est pas sûr qu'elles soient toujours, en matière pénale, les meilleures conseillères.

RÉFÉRENCES

- ¹ Platon. (2006). *Les lois. Livres VII à XII*. Paris, France : GF-Flammarion, voir en particulier le livre IX, 865a-873c.
- ² Lombroso, C. (1887). L'homme criminel. Paris : Félix Alcan, voir surtout la deuxième partie de l'ouvrage.
- ³ Hacking, I. (1990). The Taming of Chance. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, chap. 9 et 14.
- ⁴ Nous empruntons ici l'expression à Hacking.
- Nos deux définitions sont inspirées de Meehl, P. (1954). Clinical Versus Statistical Prediction: A Theoretical Analysis and Review of the Evidence. Minneapolis, Minn.: University of Minnesota Press.
- ⁶ Monahan, J., Steadman, H. J., Silver, E., Appelbaum, P. S., Clark Robbins, P., Mulvey, E. P., ..., Banks, S. (2001). Rethinking Risk Assessment: The MacArthur Study of Mental Disorder and Violence. Oxford: Oxford University Press, p. 163-168.

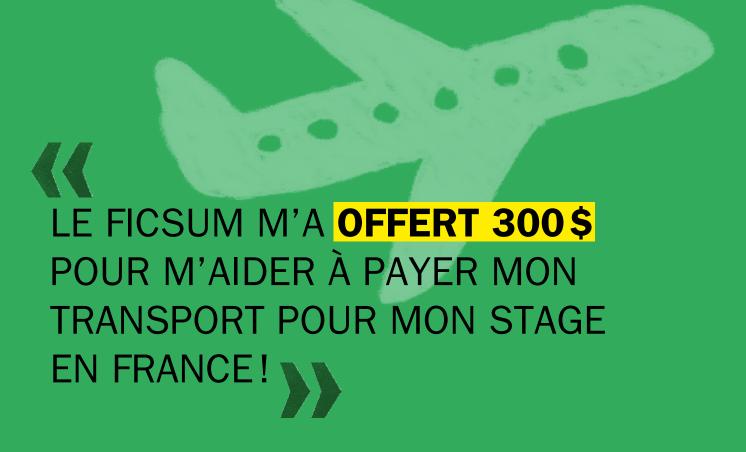
Nadelhoffer, T., Bibas, S., Grafton, S., Kiehl, K. A., Mansfield, A., Sinnott-Armstrong, W., Gazzaniga, M. (2012). Neuroprediction, Violence, and the law: Setting the stage. *Neuroethics*, *5*(1), 85-86.

- ⁷ Walsh, A. et Bolen, J. D. (2012). The Neurobiology of Criminal Behavior. Farnham, Royaume-Uni et Burlington, Verm. : Ashgate.
- Raine, A. (2013). *The Anatomy of Violence: The Biological Roots of Crime*. New York, N. Y.: Pantheon.
- Glenn, A. L. et Raine, A. (2014).

 Psychopathy. An Introduction to Biological
 Findings and Their Implications. New York,
 N. Y et Londres, Royaume-Uni: New York
 University Press.
- 8 Aharoni, E., Vincent, G. M., Harenski, C. L., Calhoun, V. D., Sinnott-Armstrong, W., Gazzaniga, M. S. et Kiehl, K. A. (2013). Neuroprediction of future rearrest. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(15), 6223-6228. Pour des considérations critiques sur cette étude, voir Haycock, D. A. (2014). Murderous Minds. New York, N. Y. et Londres, Royaume-Uni: Pegasus, chap. 6.
- ⁹ Forest, D. (2014). Neuroscepticisme. Les sciences du cerveau sous le scalpel de l'épistémologue, Paris, France: Ithaque.
- ¹⁰ Nadelhoffer, T. et Sinnott-Armstrong, W. (2012). Neurolaw and neuroprediction:

- Potential promises and perils. *Philosophy Compass*, 7(9), 631-642.
- ¹¹ Foucault, M. (1978). L'évolution de la notion d'« individu dangereux » dans la psychiatrie légale du xixe siècle. Dits et écrits II, Paris, France: Gallimard.
- ¹² Castel, R. (1983). De la dangerosité au risque. Actes de la recherche en sciences sociales, 47-48, 119-127.
- ¹³ Kansas c. Hendricks, 521 U.S. 346 (1997).Voir aussi plus récemment Kansas c. Crane, 534 U.S. 407 (2002).
- ¹⁴ Kant, E. (2011). *Doctrine du droit*, Paris, France : Vrin.
- ¹⁵ Robinson, P. H. (2001). Punishing dangerousness: Cloaking preventative detention as criminal justice. *Harvard Law Review*, 114(2), 1429-1455.
- 16 Ibid.
- ¹⁷ Petersen, T. S. (2014). (Neuro)predictions, dangerousness, and retributivism. *Journal of Ethics*, 18(2), 137-151.





— ÉTUDIANTE AUX CYCLES SUPÉRIEURS EN MUSÉOLOGIE

FICSUM.COM (2)



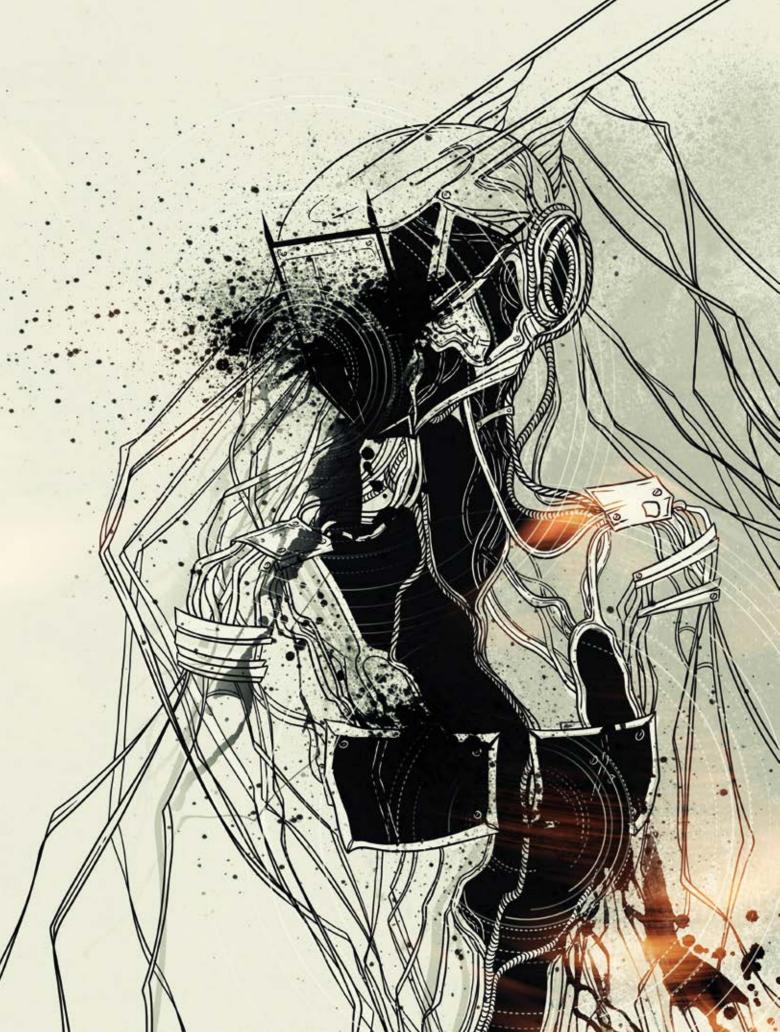
FAUT-IL CRAINDRE LA GUERRE DES ROBOTS?



La révolution robotique promet de transformer le visage de la guerre.

L'invention de machines programmées pour tuer ou blesser des soldats ennemis sans supervision humaine est maintenant à la portée de la science.

Les applications militaires de la robotique séduisent déjà les armées des pays riches, qui multiplient les programmes de recherche et risquent d'être progressivement entraînées dans une nouvelle course à l'armement. Elles réveillent toutefois les peurs d'un scénario catastrophe chez plusieurs groupes de la société civile, qui redoutent l'avènement d'une ère marquée par l'asservissement de l'humain à la machine. Faut-il s'inquiéter de la robotisation de la guerre?



EST-IL SOUHAITABLE QUE DES ROBOTS PERFECTIONNÉS SE SUBSTITUENT AUX SOLDATS ET DÉTIENNENT UN DROIT DE VIE OU DE MORT SUR DES HUMAINS?

Moins d'une décennie après avoir fait leur apparition au-dessus des champs de bataille, les drones de combat survolent aujourd'hui massivement les territoires de guerre. Depuis son arrivée à la Maison-Blanche, le président américain Barack Obama a généralisé le recours aux assassinats ciblés et fait de ces appareils téléguidés une arme de prédilection dans la lutte contre le terrorisme. En 2013, l'armée américaine comptait près de 7 500 drones dans son arsenal, ce qui représentait le tiers de sa flotte aérienne. Au terme de son premier mandat, le président Obama avait autorisé huit fois plus d'attaques de drones que son prédécesseur George W. Bush 1.

Pourtant, si l'usage des drones constitue une transformation militaire majeure, la prolifération d'aéronefs pilotés à distance pourrait n'être que le début de la robotisation de la guerre. En effet, des percées dans le domaine de l'intelligence artificielle permettent désormais d'envisager un avenir dans lequel des machines presque entièrement autonomes repéreront et élimineront des cibles militaires sans intervention humaine². Le scénario imaginé par James Cameron dans son film The Terminator pourrait bientôt devenir réalité. Or, le déploiement de robots prédateurs soulève des enjeux éthiques importants pour les citoyens et les gouvernements. Est-il souhaitable que des robots perfectionnés se substituent aux soldats et détiennent un droit de vie ou de mort sur des humains? Les robots létaux autonomes se conformeront-ils au droit humanitaire et obéiront-ils aux lois de la guerre? Alors que les grandes puissances refusent de décréter un moratoire sur la robotisation militaire, la coalition Campain to Stop Killer Robots (www.stopkillerrobots.org) milite contre la production de ces engins de la mort. Une lettre signée récemment par de grands noms de la science, dont le physicien Stephen Hawking et l'informaticien Steve Wozniak, réclame également l'interdiction de concevoir des robots tueurs³.

Une arme rentable

L'automatisation d'une nouvelle génération de robots, dont des prototypes pourraient être opérationnels d'ici vingt ans ⁴, accomplit une révolution dans les affaires militaires comparable à celle provoquée par l'invention des armes à feu ou de la bombe atomique. Aux États-Unis, la Defense Advanced Research

Projects Agency (www.darpa.mil) expérimente actuellement plusieurs modèles d'armes autonomes. La Corée du Sud et Israël ont respectivement mis au point les dispositifs Super Aegis II et Sentry Tech, dotés d'un certain degré d'autonomie et capables de détecter et de détruire des cibles hostiles 5. Pour leurs partisans, les systèmes automatisés représentent un progrès militaire et procurent des avantages considérables aux armées qui maîtrisent cette technologie. En effet, les robots sont politiquement et économiquement rentables pour les décideurs qui les emploient dans les zones de conflit. Ils constituent une solution de rechange à l'envoi de troupes au sol et permettent de tenir la promesse d'une guerre « zéro mort », chère aux opinions publiques occidentales depuis la fin de la guerre du Vietnam. Ils peuvent pénétrer plus profondément derrière les lignes ennemies sans être ravitaillés et rester déployés plus longtemps qu'un contingent de soldats. Ils peuvent être programmés pour laisser des traces électroniques de leurs interventions, rendant ainsi leur contrôle plus transparent. Ils sont également immunisés contre la peur, la fatigue et les autres facteurs de stress auxquels sont confrontés les militaires. De plus, puisqu'ils ne craignent pas pour leur survie et qu'ils ne sont pas guidés par leurs émotions, les robots ne risquent pas d'utiliser la force par instinct de conservation ou par désir de vengeance⁶. Et, à moins d'être programmés à ces fins, ils n'infligent pas délibérément des violences à des populations civiles et ne pratiquent pas la torture.

Une dérive technologique?

En revanche, l'introduction prochaine d'automates sur les champs de bataille soulève des inquiétudes grandissantes. Pour ses détracteurs, la robotisation de la guerre constitue une dérive technologique qui risque de compromettre la paix et la sécurité internationales. En sous-traitant des opérations militaires à des robots, les dirigeants politiques peuvent éprouver moins d'hésitation à engager les hostilités. C'est aussi l'un des paradoxes des drones de combat déjà en activité : la technologie militaire contribue à banaliser les conflits armés et à normaliser le recours à la violence comme instrument de politique étrangère⁷. De plus, malgré les progrès de l'intelligence artificielle, l'utilisation de robots prédateurs risque

QUI DEVRAIT ASSUMER LA FAUTE POUR UN CRIME DE GUERRE COMMIS PAR UN ROBOT DÉRÉGLÉ OU DÉFECTUEUX : LES PROGRAMMEURS, LES FABRICANTS, LES OFFICIERS MILITAIRES OU LES DIRIGEANTS POLITIQUES QUI ONT AUTORISÉ SON UTILISATION ?

d'être incompatible avec les principes élémentaires du droit humanitaire. Ces appareils ne sont pas équipés de capteurs susceptibles de reconnaître un combattant ennemi et de le distinguer d'un civil innocent, surtout dans le contexte des guérillas urbaines où les belligérants ne portent pas d'uniforme. Ils ne peuvent pas déterminer si une personne est blessée et hors de combat, ou si un soldat ennemi souhaite se rendre. Ils ne sont pas programmés pour calculer la proportionnalité de leurs attaques; ils restent incapables de juger si les pertes civiles anticipées lors d'une frappe sont excessives par rapport à la valeur de la cible militaire. La robotique assouplit les règles d'engagement des armées en donnant un permis de tuer à des machines dépourvues de libre arbitre et de jugement moral⁸.

Bien qu'ils soient sensibles à ces enjeux, les partisans de la robotique militaire croient néanmoins qu'il est possible de contourner les obstacles plus techniques ⁹. Les robots peuvent être réglés pour ne riposter qu'en cas de légitime défense, lorsqu'ils sont victimes d'un tir ennemi. Leur usage peut également être limité aux terrains d'opérations inhabités, lors de batailles en mer ou dans le désert. En revanche, les robots autonomes, en décidant eux-mêmes de leurs actes, échappent à toute forme d'autorité hiérarchique et de responsabilité juridique, ce qui est contraire aux Conventions de Genève. Qui devrait assumer la faute pour un crime de guerre commis par un robot déréglé ou défectueux : les programmeurs, les fabricants, les officiers militaires ou les dirigeants politiques qui ont autorisé son utilisation? Christof Heyns, le Rapporteur spécial des Nations unies sur les exécutions extrajudiciaires, sommaires ou arbitraires, appréhende les dérapages et plaide pour une suspension du développement de ces outils de combat : « Si la nature d'une arme rend impossible l'établissement des responsabilités concernant les conséquences de son utilisation, cette arme devrait être jugée abominable et son utilisation déclarée contraire à l'éthique et illicite 10. »

Une interdiction préventive est-elle souhaitable?

Pour ses opposants, la robotique militaire marque la déshumanisation de la guerre et devrait faire l'objet d'une interdiction semblable à celle appliquée aux mines antipersonnel et aux armes à laser aveuglantes. À l'inverse, le spectre d'un monde dominé par des Frankenstein robotisés paraît nettement exagéré, estiment les observateurs qui adhèrent à la révolution robotique 11. Ceux-ci admettent que les robots militaires ne sont pas infaillibles et qu'ils pourraient enfreindre les lois de la guerre dans certaines situations de combat. Ils refusent toutefois de les juger plus sévèrement que les soldats qui, dans les conflits actuels, peuvent commettre des infractions sans que leur présence au front soit pour autant remise en guestion. Pour eux, l'interdiction préventive d'une arme encore inexistante est donc prématurée. Le scénario dans lequel des machines autonomes conçoivent et programment elles-mêmes d'autres machines autonomes à des fins militaires relève de la science-fiction. Les systèmes d'armes robotisés qui sortiront des laboratoires de recherche dans les prochaines décennies seront fabriqués et déployés par des êtres humains qui décideront aussi du contexte de leur utilisation. En définitive, malgré leurs nombreux désaccords, les participants au débat sur les robots prédateurs poursuivent l'objectif commun de rendre la guerre plus « humaine » en limitant les effets des opérations militaires sur les forces armées et en épargnant les souffrances inutiles aux populations civiles 12.



RÉFÉRENCES

- ¹ Bernard, P. (2013, 20 juin). Barack Obama, président des drones. *Le Monde*, p. PEH6.
- ² Russell, S. (2015). Ethics of artificial intelligence. *Nature*, (521), 415-416.
- ³ Future of Life Institute. (2015, 28 juillet).

 Autonomous Weapons: An Open Letter from

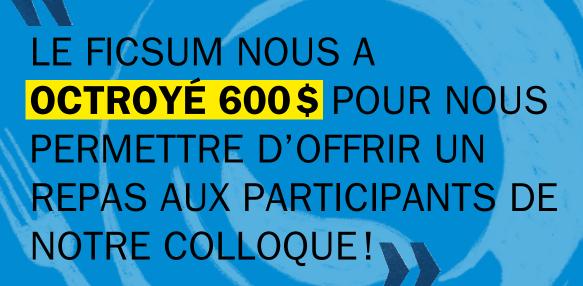
 Al & Robotics Researchers. Repéré à

 http://futureoflife.org/Al/open_letter_autonomous_weapons
- ⁴ Human Rights Watch. (2012). Losing Humanity: The Case against Killer Robots. Repéré à www.hrw.org/sites/default/files/ reports/arms1112_ForUpload.pdf
- ⁵ Perreault, M. (2015, 10 juin). Le spectre des robots militaires. *La Presse*, p. A17.

- ⁶ Schulzke, M. (2011). Robots as weapons in just wars. *Philosophy & Technology*, 24, 293-306.
- ⁷ Marbot, O. (2014, juillet/août). À quand des guerres de drones? *La Revue*, 44, 50-53.
- 8 Human Rights Watch. (2014). Shaking the Foundations: The Human Rights Implications of Killer Robots. Repéré à http://www.hrw.org/sites/default/files/reports/ arms0514_ForUpload_0.pdf
- ⁹ Thurnher, J. (2012). No One at the Controls: Legal Implications of Fully Autonomous Targeting. *Joint Task Quarterly, 67*(4), 77-84.
- ¹⁰ Heyns, C. (2013). Rapport du Rapporteur spécial sur les exécutions extrajudiciaires, sommaires ou arbitraires. New York, N. Y.: Assemblée générale des Nations unies, p. 17.

- ¹¹ Jeangène Vilmer, J.-B. (2014, hiver). Terminator ethics: faut-il interdire les « robots tueurs »? *Politique étrangère*, 4, 151-167.
- ¹² Randretsa, T. (2013). L'autonomisation des robots sur le champ de bataille : la guerre, le droit et l'éthique. Revue internationale et stratégique, 92, 18-27.





— ASSOCIATION AUX CYCLES SUPÉRIEURS DE L'UdeM

FICSUM.COM (2) (1)





FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES ET POSTDOCTORALES

DÉFIEZ LE TEMPS

participez au concours



MA THÈSE EN 180 SECONDES

ÉDITION 2016

DESTINÉ AUX ÉTUDIANTS AU DOCTORAT

Appel de candidature : janvier

Présélection du représentant de l'UdeM à la finale nationale : mars Finale nationale : mai - Congrès de l'ACFAS du 9 au 13 mai, à l'UQAM Finale internationale : à l'automne 2016, à Rabat au Maroc

www.acfas.ca





LE FICSUM, AU SERVICE DES ÉTUDIANTS DES CYCLES SUPÉRIEURS



DIRE

LA REVUE PAR ET **POUR LES ÉTUDIANTS**

PUBLIEZ DANS LA REVUE DIRE ET REMPORTEZ JUSQU'À 1750\$.



MOIS DE LA RECHERCHE ÉTUDIANTE

PRÉSENTEZ VOS DERNIERS RÉSULTATS DE RECHERCHE ET RECEVEZ JUSQU'À 1200\$.



SOUTIEN FINANCIER

AVEZ-VOUS BESOIN D'ARGENT? OBTENEZ JUSQU'À 600\$!



NOUVELLES

JOIGNEZ LA CONVERSATION (F)





FICSUM.COM