

✓ BIBLIOGRAPHIE

H. Wozniakowski et L. Plaskota (éds.), *Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods 2010*, Springer, à paraître.

B. Tuffin, *La simulation de Monte Carlo*, Hermès Sciences, 2010.

J. Dick et F. Pillichshammer, *Digital Nets and Sequences. Discrepancy Theory and Quasi-Monte Carlo Integration*, Cambridge University Press, 2010.

P. L'Ecuyer, *Quasi-Monte Carlo methods with applications in finance*, *Finance and Stochastics*, vol. 13(3), pp. 307-349, 2009 [www.springerlink.com/content/384785458w558462/fulltext.pdf].

F. Y. Kuo et I. H. Sloan, *Lifting the curse of dimensionality*, *Notices of the American Mathematical Society*, vol. 52, pp. 1320-1328, 2005.

B. Chazelle, *The Discrepancy Method: Randomness and Complexity*, Cambridge University Press, 2000.

S. H. Paskov et J. E. Traub, *Faster valuation of financial derivatives*, *Journal of Portfolio Management*, vol. 22(1), pp. 113-121, 1995.

avec de véritables nombres aléatoires (et s'amusaient beaucoup à les engendrer!).

La méthode de Monte Carlo en elle-même a été inventée et a reçu son nom au Laboratoire de Los Alamos, dans les années qui ont suivi la Seconde Guerre mondiale. Il n'est pas étonnant que l'idée ait émergé en ce lieu : les chercheurs de ce laboratoire se confrontaient à des problèmes difficiles (encore plus effrayants que ceux des CMO); ils avaient accès aux premiers ordinateurs (ENIAC, MANIAC); et ils comptaient parmi eux des scientifiques très créatifs tels que Stanislaw Ulam, John von Neumann, Nicholas Metropolis et Marshall Rosenbluth.

Dès le départ, le groupe de Los Alamos a utilisé les nombres pseudo-aléatoires. Lors de la première conférence consacrée aux méthodes de Monte Carlo, en 1949, von Neumann a lancé sa célèbre boutade : « Qui-conque envisage les méthodes arithmétiques de production de nombres aléatoires est, évidemment, dans le péché. » Suite à quoi, il suivit la voie du péché.

Le quasi-Monte Carlo n'était pas loin derrière. La première publication sur le sujet, en 1951, était un rapport de Robert Richtmyer, alors directeur du Département théorique de Los Alamos. L'article est une entrée en matière impressionnante. Il expose les motivations de l'échantillonnage quasi-aléatoire, introduit une bonne partie de la terminologie et explique les mathématiques associées. Mais il était également présenté sous forme de compte-rendu d'une expérience ratée. Richtmyer avait voulu obtenir un temps de convergence amélioré pour les calculs de quasi-Monte Carlo, mais ses résultats étaient négatifs, ce qui a pu freiner les études ultérieures.

En 1968, Stanislaw Zaremba, à l'Université du Wisconsin à Madison, écrivit une vibrante apologie de l'échantillonnage quasi-aléatoire (doublée d'une diatribe contre les nombres pseudo-aléatoires). À ma connaissance, il ne fit pas beaucoup d'émules.

Les travaux sur les mathématiques des suites à discrétion faible se sont poursuivis au fil des décennies (en particulier grâce au Britannique Klaus Friedrich Roth, au Russe Ilya Sobol, à l'Autrichien Harald Niederreiter, à l'Australien Ian Sloan). On assiste actuellement à un regain d'intérêt pour les applications, et pas seulement parmi les analystes quantitatifs de Wall Street. La physique et d'autres sciences s'y mettent aussi. Le lancer de rayon, technique de calcul des éclairages en infographie, est un autre domaine prometteur.

Les fortunes changeantes des méthodes pseudo-aléatoires et quasi-aléatoires s'inscrivent dans le contexte de tendances plus larges. Au XIX^e siècle, le hasard de toute sorte était un intrus malvenu, toléré à contrecœur seulement quand cela était indispensable (en thermodynamique, dans la théorie de l'évolution darwinienne).

En revanche, le XX^e siècle s'est entiché de tout ce qui est aléatoire. Les méthodes de Monte Carlo faisaient partie de ce mouvement. La théorie quantique en était un morceau plus conséquent, qui a insisté sur les jeux de dés divins. Le mathématicien d'origine hongroise Paul Erdős a introduit le choix aléatoire dans la méthodologie des démonstrations mathématiques, ce qui est peut-être l'endroit où l'on s'attendrait le moins à ce qu'il joue un rôle. En calcul informatique, les algorithmes probabilistes sont devenus un sujet de recherche majeur. Le concept a filtré jusque dans les arts, avec la musique aléatoire et les tableaux d'éclaboussures du peintre américain Jackson Pollock. Puis il y eut la théorie du chaos. En 1967, un essai de l'informaticien américain Alfred Bork (1926-2007) qualifiait l'aléatoire de « caractéristique capitale de notre siècle ».

Du hasard à dose homéopathique

Aujourd'hui, toutefois, on est peut-être en train d'assister à un retour de balancier, surtout en informatique. Les algorithmes probabilistes conservent une grande importance en pratique, mais l'excitation intellectuelle est du côté de la « déprobabilisation », en montrant que la même tâche peut être effectuée par un programme déterministe. Une question ouverte est de savoir si tous les algorithmes peuvent être déprobabilisés. Certains spécialistes pensent que la réponse sera positive. S'ils ont raison, l'aléatoire ne confère pas d'avantage essentiel en calcul, bien qu'il puisse être bien commode.

Le quasi-aléatoire semble nous emmener dans la même direction, avec une préférence pour une administration du hasard à toutes petites doses. C'est peut-être une doctrine homéopathique qui nous attend, où plus la dilution de l'agent actif est grande, plus il est puissant. C'est absurde en médecine, mais qui sait si cela ne marche pas en mathématiques et en algorithmique ? ■

ACTUELLEMENT EN KIOSQUE



Dossier Pour la Science

Découvrir la chimie qui régule les écosystèmes ou la vie autour des sources hydrothermales des abysses ; exploiter de façon raisonnée la richesse des fonds marins (microalgues, ressources minérales, méthane...) ; découvrir des médicaments nouveaux ; protéger les mers contre les marées noires ou les déchets plastiques... Aujourd'hui, la chimie est au centre d'une alliance durable entre les hommes et les océans.

Numéro 73, octobre-décembre 2011 – Prix : 6,95 €

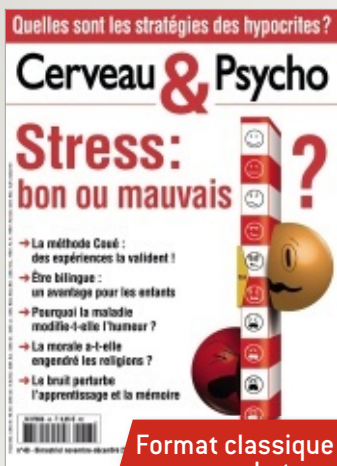
L'Essentiel Cerveau & Psycho

Aujourd'hui, d'innombrables résultats de recherche confirment que les enfants – mais aussi les adolescents et les adultes – soumis à la violence (images, jeux vidéo, etc.) sont eux-mêmes plus violents, moins sensibles aux violences faites à autrui. Sociologues, psychologues, psychiatres cherchent à identifier les causes de la violence pour mieux la combattre.

Numéro 8, novembre 2011-janvier 2012 – Prix : 6,95 €



Format classique
ou pocket



Format classique
ou pocket

Cerveau & Psycho

Nous nous sentons stressés par notre rythme de vie, notre travail, etc. Et si le stress n'était pas forcément mauvais ? Certains y trouvent un stimulant et, dans certaines conditions, il renforce la mémoire. Mais, comme en toute chose, il faut éviter l'excès ! À lire aussi : la méthode Coué validée par les psychologues, les enfants bilingues avantagés, les méfaits du bruit sur la concentration, etc.

Numéro 48, novembre-décembre 2011 – Prix : 6,95 €

POUR LA
SCIENCE

Le cancer du diable

Habituellement, le cancer n'est pas une maladie contagieuse. Pourtant, chez un marsupial – le diable de Tasmanie –, des tumeurs se transmettent entre individus et menacent cette espèce d'extinction.

C'est en 2001, dans le parc Freycinet, situé sur la côte Est de la Tasmanie – une île se trouvant au Sud de l'Australie –, que j'ai observé pour la première fois des tumeurs ulcéreuses sur la face d'un jeune diable de Tasmanie femelle, un marsupial. Rappelons que les marsupiaux sont des mammifères chez qui le développement embryonnaire s'achève à l'extérieur de l'utérus de la mère, dans une poche ventrale (les kangourous sont parmi les plus connus). Ces tumeurs, localisées près de la bouche, gênent les animaux quand ils se nourrissent, et les animaux atteints meurent environ six mois après le début de la maladie.

Aujourd'hui, la population de diables de Freycinet a presque disparu. Détecté pour la première fois en 1996 à l'extrémité Nord-Est de l'île, ce cancer – dont on sait aujourd'hui qu'il est contagieux – a réduit les populations de diables de Tasmanie de près de 95 pour cent : l'espèce est menacée d'extinction.

Les cancers ne sont pas contagieux. Certes, quelques cancers sont causés par des virus ou des bactéries qui, eux, sont contagieux. Par exemple, le papillomavirus humain peut provoquer un cancer du col de l'utérus, en prédisposant les cellules des individus infectés à devenir malignes. Mais ce cancer n'est pas dû à la propagation de cellules tumorales d'une personne à une autre. Dans le cas de la maladie du diable de Tasmanie, les cellules cancéreuses elles-mêmes sont les agents infectieux.

Face au déclin rapide des populations de diables de Tasmanie, les biologistes

ont voulu comprendre l'origine de ce cancer et comment il était devenu contagieux. Ils se sont également demandé si de telles tumeurs pourraient apparaître dans l'espèce humaine. Dans le contexte actuel, c'est peu probable, mais le risque n'est pas totalement exclu.

À part le cancer du diable de Tasmanie, on ne connaît qu'un seul autre cancer contagieux dans la nature : la tumeur vénéérienne transmissible du chien. On estime qu'elle est apparue il y a environ 10 000 ans. Cette maladie se propage chez les chiens par transfert de cellules cancéreuses au cours des accouplements. Des cancers contagieux ont aussi été obtenus par des manipulations d'animaux en laboratoire. Des cellules tumorales peuvent également être transmises d'une personne à une autre par transplantation d'organe ou de la mère au fœtus. Cependant, en règle générale, les cancers restent confinés chez une même personne (nous y reviendrons). Chez le diable de Tasmanie, un cancer contagieux est apparu en raison d'une conjonction de plusieurs facteurs.

Les cancers classiques, non contagieux, apparaissent après que certaines cellules ont subi des modifications

LE DIABLE DE TASMANIE (*Sarcophilus harrisii*) est un marsupial carnivore d'environ 60 centimètres, vivant sur l'île de Tasmanie. Il a un rôle essentiel dans la régulation des autres populations animales et dans l'équilibre de l'écosystème insulaire. Depuis une quinzaine d'années, il est touché par un cancer qui se répand dans toute sa population, menaçant cette espèce d'extinction.



de Tasmanie

Menna Jones et Hamish McCallum



L'ESSENTIEL

- ✓ En moins de 20 ans, un cancer contagieux s'est développé chez le diable de Tasmanie, un marsupial carnivore, le menaçant d'extinction.
- ✓ Ce cancer est contagieux, car les diables de Tasmanie se mordent souvent les uns les autres, se transmettant des cellules tumorales qui se développent sur la face et dans la bouche.
- ✓ Les diables de Tasmanie ont des patrimoines génétiques très similaires, de sorte que leur système immunitaire ne reconnaît pas comme étrangères les cellules tumorales déposées par un congénère et ne les détruit pas.

© Getty Images

génétiques qui leur permettent de se diviser de façon incontrôlée et d'envahir les tissus. Lorsque les tumeurs grossissent, elles deviennent des assemblées complexes de cellules malignes et de cellules non malignes. Lorsque ces masses sont trop volumineuses et que l'approvisionnement en sang et en nutriments devient insuffisant, des cellules tumorales s'échappent de leur « lieu de naissance ». Elles voyagent dans le sang ou la lymphe, et s'établissent en un site éloigné : elles métastasent. Souvent, ce sont les tumeurs métastatiques, plutôt que la tumeur primaire, qui tuent le malade... et ses tumeurs. Ces dernières subissent une pression de sélection qui les pousse à survivre d'une autre façon : elles se propageraient vers d'autres individus.

Des obstacles à la transmission

Toutefois, comme nous l'avons évoqué, ces tumeurs se heurtent à divers obstacles sur leur trajet vers un nouvel hôte ou quand elles l'atteignent. Pour que des cellules arrivent à passer d'un hôte à l'autre, le trajet doit être rapide. Les cellules ne peuvent survivre dans l'environnement ; elles ont tendance à se dessécher et meurent quelques minutes après avoir quitté l'organisme où elles avaient proliféré. Pour être transmises, il faut que l'hôte dont elles sont issues les place directement au contact des tissus d'un nouvel individu.

De surcroît, dans ce nouvel hôte, les cellules tumorales envahissantes doivent échapper au système immunitaire. Or les systèmes de défense des animaux sont capables de détecter et de détruire les cellules étrangères par divers mécanismes. Les agents du système immunitaire éliminent les cellules qui diffèrent des cellules de l'organisme qu'ils protègent. En effet, des cellules étrangères présentent à leur surface des fragments de protéines spécifiques, qui, tels des drapeaux, préviennent de la présence d'un micro-organisme étranger. Les défenses immunitaires de l'organisme infecté se déploient lorsqu'elles détectent ces drapeaux. Ces protéines sont codées par différents gènes, dont ceux dits du complexe majeur d'histocompatibilité. Ces gènes, qui sont apparus chez les premiers vertébrés, se sont diversifiés au cours de l'évolution. D'après certains biologistes, cette diversification aurait permis d'empêcher que les cancers ne deviennent transmissibles.

LES AUTEURS



Menna JONES est biologiste au Centre de recherche de l'Université de Tasmanie.

Hamish McCALLUM dirige l'École de l'environnement de l'Université Griffith de Queensland, en Australie.

Cependant, les diables de Tasmanie ne disposent pas de telles armes pour se protéger contre des tumeurs contagieuses. La tumeur qui les touche aujourd'hui, nommée maladie tumorale de la face du diable ou DFTD (de l'anglais *Devil Facial Tumor Disease*), se forme autour de la bouche ou à l'intérieur. Or ces animaux se mordent pendant la copulation ou lors de combats, et souvent à la face. Par conséquent, des cellules malignes se transmettent d'un individu à l'autre, par des dents recouvertes de cellules issues d'une tumeur, ou par contact direct entre une tumeur faciale et des blessures que présente un partenaire sexuel. La tumeur vénérienne du chien se propage également par contact direct, mais ici par le biais de microlésions des muqueuses génitales durant la copulation. Comme celles du chien, les tumeurs du diable de Tasmanie deviennent « friables » quand elles sont volumineuses et qu'elles se sont déve-

loppées depuis longtemps. Dès lors, des cellules se détachent aisément de la tumeur, ce qui en facilite la propagation.

Les facteurs favorisant la contagion chez les diables de Tasmanie et chez les chiens expliquent aussi pourquoi des cancers peuvent parfois passer de la mère au fœtus chez l'homme, ou de donneurs d'organes aux receveurs. Dans les deux cas, les cellules tumorales passent rapidement de l'hôte initial à l'autre. De surcroît, le système immunitaire des fœtus étant immature, et celui des receveurs de transplant affaibli par des médicaments qui évitent le rejet de la greffe, les cellules tumorales ne sont pas reconnues comme étrangères et ne sont pas détruites par le système immunitaire de ce nouvel hôte.

Des mutations dans les cellules de la face

Des analyses génétiques ont révélé que les tumeurs des diables de Tasmanie sont issues de cellules cancéreuses d'un unique diable de Tasmanie, mort depuis longtemps. Ces tumeurs présentent notamment une perte de certains chromosomes et segments chromosomiques qui sont bien présents dans les cellules non tumorales des animaux atteints. Comme le porteur initial de la tumeur a disparu, personne ne saura jamais avec certitude ce qui a provoqué les mutations initiales qui ont rendu le cancer du diable de Tasmanie transmissible.

Ce cancer serait apparu à la suite de mutations dans le génome de cellules de la face ou proches de la face, à cause de blessures répétées et d'une inflammation chronique. En 2010, Elizabeth Murchison, de l'Institut Wellcome Trust Sanger, en Angleterre, a révélé une autre spécificité de la tumeur du diable de Tasmanie : elle a commencé dans les cellules de Schwann, qui produisent la gaine de myéline qui entoure les axones des neurones périphériques, assurant la transmission de l'influx nerveux.

Ainsi, la maladie tumorale de la face du diable de Tasmanie et le cancer transmissible du chien sont devenus contagieux suite à une conjonction de facteurs. Parce que les conditions requises pour qu'un cancer devienne infectieux (un contact intime permettant la transmission de cellules vivantes, associé à une faible diversité génétique) sont rarement rassemblées, les tumeurs ne sont pas contagieuses, sauf exception.

LES POPULATIONS DE DIABLES DE TASMANIE

sont menacées d'extinction : elles ont été réduites de 95 pour cent en une vingtaine d'années.

En outre, si la diversité génétique d'une population diminue (c'est-à-dire si la plupart des individus portent des versions très similaires des gènes qui se présentaient auparavant sous des formes multiples, plus divergentes, dans le groupe), le système immunitaire d'un individu distingue difficilement les cellules d'un étranger des siennes propres et ne déclenche qu'une très faible réponse immunitaire (voire ne réagit pas du tout).

C'est le cas de la population de diables de Tasmanie. Ils présentent une faible diversité génétique, en particulier pour leurs gènes du complexe majeur d'histocompatibilité. Cela serait dû à une réduction catastrophique des populations à un moment où diverses maladies n'auraient épargné qu'un groupe d'animaux ayant presque tous le même patrimoine génétique. On pense que le cancer canin, lui aussi, aurait évolué dans une population consanguine, de petite taille et génétiquement restreinte, ce qui a pu être le cas dans un groupe isolé de loups, ou dans une population ayant vécu au moment de la domes-

Les marsupiaux

✓ Les marsupiaux sont des mammifères chez qui le développement embryonnaire est caractérisé par une courte gestation dans l'utérus et par une « double naissance ». Le jeune marsupial naît prématurément et achève son développement dans une poche ventrale, nommée poche marsupiale, où il se nourrit du lait de sa mère.

✓ On dénombre environ 275 espèces de marsupiaux, parmi lesquelles le koala, le kangourou, l'opossum, et le diable de Tasmanie. Les marsupiaux vivent en Australie, en Tasmanie, en Nouvelle-Guinée et en Amérique.

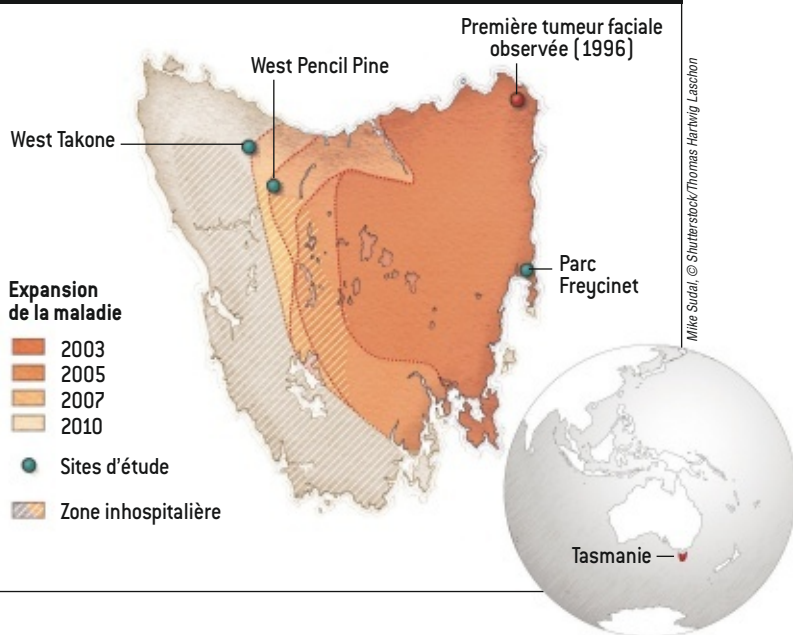
UN FLÉAU QUI SE RÉPAND RAPIDEMENT



Rodrigo Hamede

Observée pour la première fois en 1996 dans le Nord-Est de la Tasmanie, la maladie tumorale de la face du diable de Tasmanie (*ci-contre à gauche*)

s'est répandue rapidement (*voir la carte ci-contre*), réduisant des populations de diables, telle celle du parc Freycinet, de près de 95 pour cent. Vingt ans plus tôt, ces animaux prospéraient sur la plus grande partie de l'île, excepté dans le Sud-Ouest, où le terrain n'est pas très hospitalier (*zone hachurée sur la carte*). Les diables de Tasmanie vivant dans le Nord-Ouest sont génétiquement différents de ceux qui vivent ailleurs et résistent un peu mieux au cancer. Les auteurs et leurs collègues ont établi des sites d'étude dans cette zone, et espèrent trouver un moyen pour éviter l'extinction des diables de Tasmanie.



Mike Sidal, © Shutterstock/Thomas Hartwig Laschon

Cependant, d'autres observations suggèrent que les cancers contagieux pourraient être plus fréquents. Par exemple, tous les oiseaux et les mammifères se battent et copulent, et de nombreuses populations sont consanguines. Il est possible que des cancers contagieux apparaissent plus souvent qu'on ne le pense, mais qu'ils ne persistent pas longtemps parce qu'ils tuent très vite les populations infectées et donc disparaissent en même temps.

Le cancer du chien ne correspond pas à ce scénario, et représente une autre façon dont les cancers contagieux pourraient se transmettre sans que nous en ayons conscience. Au départ, les tumeurs canines se « cachent » pour échapper au système immunitaire. Celui-ci ne les détecte que plus tard et finit par les détruire, laissant les animaux immunisés contre une contamination future. Mais il existe peut-être aussi d'autres cancers contagieux qui ne tuent pas leurs hôtes. Seuls des travaux génétiques plus précis, comme ceux qui ont été réalisés pour les tumeurs du chien et du diable de Tasmanie, permettront de montrer si un autre cancer de la faune sauvage est contagieux.

Les hôtes et les agents pathogènes coévoluent dans la nature : l'hôte développe des adaptations pour contrôler l'agent pathogène, le pathogène prend des contre-mesures et tous deux coexistent. En cherchant des signes de cette paix armée évolutive entre le cancer contagieux et le diable de Tasmanie, nous avons trouvé une lueur d'espoir pour ces animaux.

Les diables de Tasmanie sont soumis à une forte pression évolutive qui leur permettrait de développer des caractères susceptibles d'améliorer leur survie face au cancer dont ils sont victimes ou d'accroître leur succès reproductif. Le cancer a notamment entraîné une sexualité plus précoce chez les diables de Tasmanie, dans les années qui ont suivi son apparition.

Auparavant, les femelles commençaient à procréer à l'âge de deux ans, et avaient environ trois portées au cours de leur vie (elles vivent entre cinq et six ans). La maladie a réduit le nombre de portées à une pour beaucoup de ces animaux. Les femelles juvéniles qui grandissent suffisamment vite après le sevrage ont une portée avant que l'hiver ne s'installe, c'est-à-dire un an plus tôt que les autres. Cette procréation précoce leur donne une chance d'avoir au moins une, et peut-être deux portées, avant de succomber à leur maladie. Un tel comportement permettra-t-il de stabiliser le nombre d'individus ?

Le diable peut-il être sauvé ?

Nous recherchons d'autres signes d'évolution dans la région Nord-Ouest de la Tasmanie, plus isolée. Dans cette région, la population de diables de Tasmanie porte de nombreux gènes qui diffèrent des versions rencontrées plus à l'Est, et ce groupe semble mieux résister à la maladie.

La maladie n'y est pas très fréquente, et les diables de cette région survivent

beaucoup plus longtemps après avoir été contaminés que ceux de l'Est de la Tasmanie. Nous revenons sur des sites du Nord-Ouest plusieurs fois par an pour observer comment évolue la maladie et pour collecter des échantillons de tissus et de sang, que nos collègues Katherine Belov, de l'Université de Sydney, et Greg Woods, de l'Institut tasmanien de recherche Menzies, analysent.

En étudiant les gènes et les réactions immunitaires, K. Belov et G. Woods cherchent si certaines combinaisons de variants génétiques rendent le système immunitaire de ces animaux plus apte à combattre le cancer. Si nous parvenons à identifier des génotypes de diables de Tasmanie résistants, nous pourrions peut-être aider à répandre ces « bons » gènes dans les populations sauvages – par exemple en introduisant ces animaux résistants dans d'autres régions de la Tasmanie – et contribuer au rétablissement de cette espèce.

Nous observons également des changements évolutifs au sein de la tumeur elle-même. Anne-Maree Pearse, généticienne du Programme de sauvegarde du diable de Tasmanie, a découvert que plusieurs lignées cellulaires sont apparues. Cette variété peut être une bonne et une mauvaise nouvelle. En effet, certaines lignées pourraient évoluer et devenir moins virulentes. Mais d'autres, au contraire, pourraient devenir plus résistantes et se répandre dans la population des diables de Tasmanie.

✓ SUR LE WEB

Programme de sauvegarde
du Diable de Tasmanie :
[www.tassiedevil.com.au/
tasdevil.nsf](http://www.tassiedevil.com.au/tasdevil.nsf)

L'histoire de l'évolution du cancer du chien nous donne des raisons d'être optimistes. Comme c'est le cas de nombreuses maladies, la tumeur transmissible du chien a probablement été très virulente au départ. Puis, petit à petit, elle a coévolué avec ses hôtes canins, et sa virulence a diminué, ce qui lui a permis de se répandre davantage. En effet, si la tumeur est moins agressive, les animaux peuvent survivre plus longtemps avec la maladie et la transmettent à un plus grand nombre de congénères. Ce processus explique comment le cancer du chien

est aujourd'hui devenu une infection généralement non mortelle.

Non seulement les tumeurs contagieuses évoluent, mais elles « manipulent » leurs hôtes, à l'instar des parasites qui influent sur le comportement des organismes qu'ils infectent pour favoriser leur transmission. La tumeur canine déclenche la production de molécules qui accroissent la réceptivité sexuelle des femelles, ce qui augmente les chances que ce cancer soit transmis à des mâles.

De même, les lignées de cellules tumorales du diable de Tasmanie qui renfor-

COMMENT LE CANCER DEVIENT CONTAGIEUX

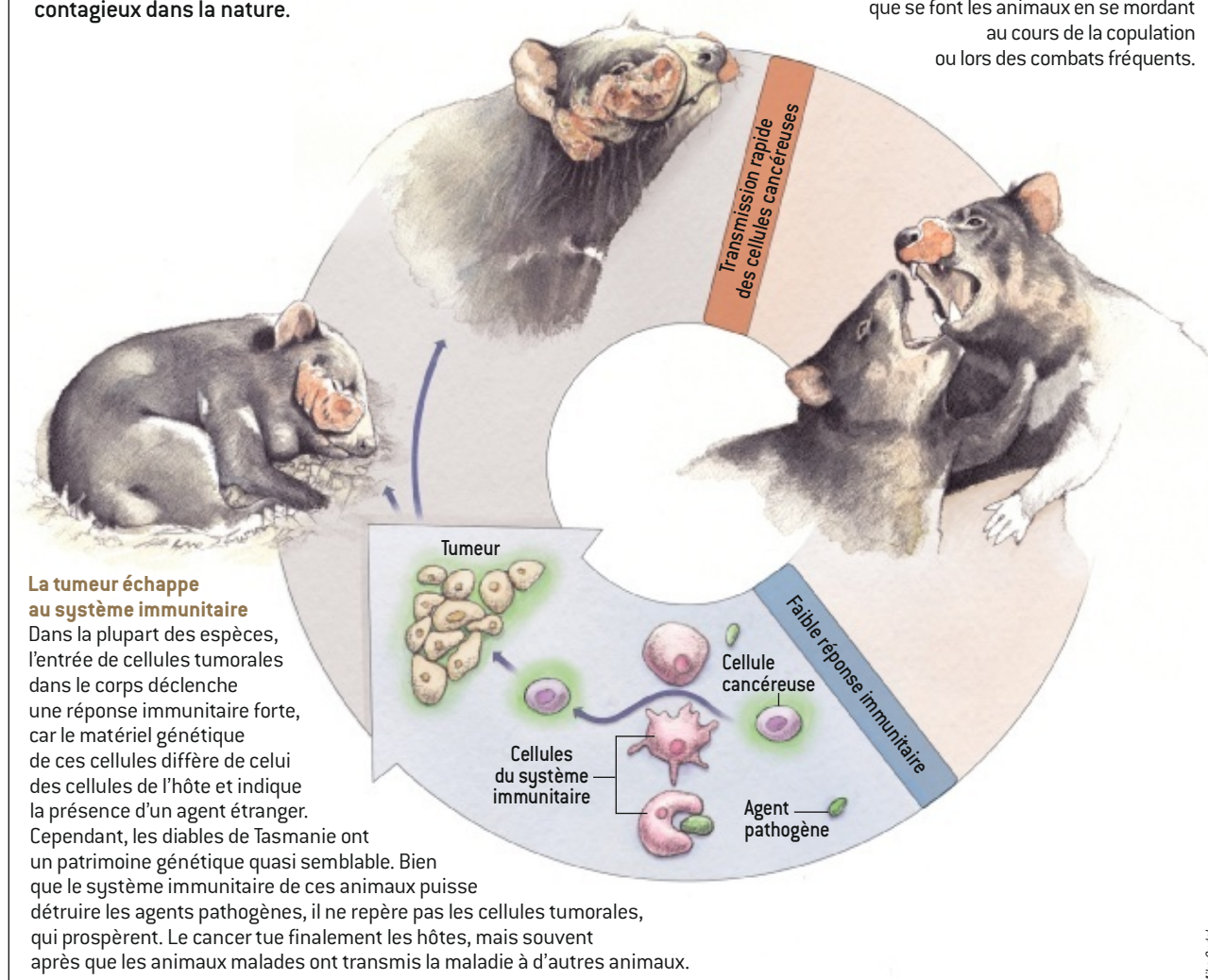
La tumeur qui se répand aujourd'hui parmi les diables de Tasmanie provient d'un seul animal qui l'a développée il y a une quinzaine d'années. Par une conjonction de facteurs, cette tumeur est passée rapidement d'un animal à un autre.

Avec la tumeur vénérienne transmissible du chien, elle est le seul exemple connu de cancer contagieux dans la nature.

Les cellules cancéreuses se transmettent facilement

Dans l'environnement, les cellules meurent vite. Ainsi, les cellules tumorales ne sont transmises d'un individu à un autre que si elles sont injectées directement dans l'organisme d'un receveur. Ce passage est facilité chez les diables de Tasmanie, car la tumeur, qui libère des cellules, se développe sur la face.

Ainsi, elle est au contact des blessures que se font les animaux en se mordant au cours de la copulation ou lors des combats fréquents.



Mike Staal

cent l'agressivité des animaux contaminés pourraient être sélectionnées, ce qui augmenterait aussi le taux de transmission. Inversement, le caractère peu agressif pourrait aussi être sélectionné, car des animaux plus doux seraient moins susceptibles de se battre : étant moins infectés, ils survivraient davantage et auraient donc plus de descendants.

En continuant à étudier les relations entre le diable de Tasmanie et le cancer qui le frappe, nous espérons pouvoir le sauver de l'extinction. S'il venait à disparaître, cela bouleverserait les écosystèmes et entraînerait des changements en cascade. Ainsi, la prédation par les chats et les renards qui ont été introduits récemment augmenterait, ce qui entraînerait l'extinction d'autres espèces. Un processus semblable a déjà conduit à l'extinction de plusieurs petits marsupiaux en Australie, dont la Tasmanie est le dernier refuge. Le succès éventuel des mesures prises pour empêcher l'extinction du diable de Tasmanie dépendra de ce que nous apprendrons dans le Nord-Ouest de la Tasmanie.

Un risque de cancer infectieux pour l'homme ?

Étant donné que les hommes présentent une grande diversité génétique, on peut penser que l'espèce humaine échappera au destin des diables de Tasmanie. En effet, même si une personne était mordue par un diable de Tasmanie infecté ou par un chien porteur de la tumeur transmissible canine, une forte réaction immunitaire détecterait les cellules étrangères et les détruirait, car les deux patrimoines génétiques sont très différents. L'individu mordu ne tomberait pas malade et ne commencerait pas à transmettre la maladie à d'autres personnes.

Néanmoins, des cancers contagieux pourraient apparaître dans un groupe de grands singes (tels les chimpanzés, les gorilles ou les orangs-outangs) qui présentent une faible diversité génétique en raison du déclin de leurs populations. Si ces animaux étaient chassés par des populations humaines comptant des individus dont les défenses immunitaires seraient affaiblies pour une raison ou une autre (une infection par le VIH, par exemple), ces cellules tumorales pourraient se transmettre à l'homme et éventuelle-

ment se répandre. Bien que ce scénario soit envisageable, cette transmission entre espèces ne semble pas la façon la plus vraisemblable dont un cancer contagieux pourrait apparaître chez l'homme. En effet, aucun cas connu de transmission entre espèces du cancer du chien n'est apparu dans la nature – bien que cette maladie ait été transmise expérimentalement à des espèces de canidés plus ou moins proches en laboratoire.

Toutefois, la population mondiale en constante croissance est confrontée à des conditions de vie souvent inédites. Le VIH a infecté des millions d'individus, perturbant leur système immunitaire et entraînant de nombreux cancers rares. Ce contexte est favorable à l'évolution d'un cancer contagieux. Un tel cancer pourrait survenir chez des humains immunodéprimés et se répandre dans la population.

C'est ce qui s'est produit chez le chien : le cancer transmissible canin, après être probablement apparu dans une population consanguine (le génome varie très peu), est maintenant capable d'infecter des populations de chiens et de loups dont la diversité génétique est bien supérieure. Et le fait que le cancer du chien soit en général non mortel aujourd'hui n'est pas vraiment rassurant. La maladie a dû passer par une phase où la mortalité était élevée, comme le VIH aujourd'hui, avant que des populations capables de contrôler ce cancer ne se développent et deviennent prédominantes.

Le cancer du diable de Tasmanie fournit aux biologistes une possibilité de comprendre les cancers contagieux. Il soulève aussi la question des conséquences des activités humaines sur la planète et sur la santé humaine. Nous libérons de grandes quantités d'agents cancérigènes dans l'environnement, et nous détruisons de nombreux habitats naturels de par le monde, provoquant à la fois la disparition d'espèces et la diminution de la diversité génétique. Cette modification des habitats place les hommes et les espèces animales sauvages en contact avec des agents pathogènes qu'ils n'avaient jamais rencontrés auparavant.

Par conséquent, nous pouvons nous attendre à l'apparition de nouveaux types de cancers dans la faune, contagieux ou dus à des virus ou autres agents pathogènes. Espérons que de telles tumeurs malignes ne pourront pas passer d'une espèce animale à l'homme. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

S. Lachish *et al.*, Evidence that disease-induced population decline changes genetic structure and alters dispersal patterns in the Tasmanian devil, *Heredity*, vol. 106, pp. 172-182, 2011.

W. Miller *et al.*, Genetic diversity and population structure of the endangered marsupial *Sarcophilus harrisii* (Tasmanian devil), *PNAS*, vol. 108, pp. 12348-53, 2011.

E. Murchison *et al.*, The Tasmanian devil transcriptome reveals Schwann cell origins of a clonally transmissible cancer, *Science*, vol. 327, pp. 84-87, 2010.

H. McCallum *et al.*, Transmission dynamics of Tasmanian devil facial tumor disease may lead to disease-induced extinction, *Ecology*, vol. 90, pp. 3379-3392, 2009.

M. E. Jones *et al.*, Life-history change in disease-ravaged Tasmanian devil populations, *PNAS*, vol. 105, pp. 10023-10027, 2008.

M. E. Jones *et al.*, Conservation management of Tasmanian devils in the context of an emerging, extinction-threatening disease : devil facial tumor disease, *EcoHealth*, vol. 4, pp. 326-337, 2007.

H. McCallum et M. Jones, To lose both would look like carelessness : Tasmanian devil facial tumour disease, *PLoS Biology*, vol. 4, pp. 1671-1674, 2006.

Les grands-parents :



1. LE PREMIER GRAND-PÈRE MODERNE est apparu au Paléolithique. Quand ? Difficile à dire, mais il est en tout cas probable que sa survie a favorisé celle de ses petits-enfants.