

# Eurêka! 1999

Les chercheuses et les chercheurs écrivent pour nous



Il faut prendre remède à point  
Le boulot de poteau: on n'est pas sorti du bois  
**La république des gauchers**  
Haut la queue!  
Le requin nous sauvera-t-il du cancer?  
L'art de l'architecture atomique



Les six meilleurs articles de la 7<sup>e</sup> édition du concours de vulgarisation scientifique de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas)

*Le Concours de  
vulgarisation scientifique  
de l'Acfas : 7<sup>e</sup> édition*

*Le Concours de vulgarisation scientifique, organisé par l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas) avec l'aide financière du ministère de la Recherche, de la Science et de la Technologie vise à encourager les chercheuses et les chercheurs d'ici à rendre leurs travaux accessibles au grand public. L'Acfas souhaite ainsi intéresser le plus de gens possible aux différents domaines de la recherche scientifique, tout en éliminant certains préjugés à leur égard.*

*Vulgariser son champ d'études est un exercice des plus exigeants. Pour y arriver, les scientifiques doivent consentir un important effort que vient récompenser chacun des prix de vulgarisation attribués.*

*Les lauréates et les lauréats de cette septième édition du Concours vous proposent des articles variés, afin de vous ouvrir leurs champs de connaissances respectifs et surtout de vous faire partager leur passion.*

*Soulignons que les articles primés sont accessibles par le réseau Internet, sur le site de l'Acfas.*

*<http://www.acfas.ca>*

**JURY DU CONCOURS - Marianne Kugler**, professeure en communications, Université Laval • **Jacynthe Lacroix**, chercheuse, Direction de la sécurité civile, ministère de la Sécurité publique • **Bernard Motulsky**, directeur des communications, Université de Montréal • **André Pratte**, journaliste scientifique, *La Presse* • **Lise Roy**, directrice des communications, Institut national de la recherche scientifique (INRS) • **Sophie Roy**, chercheuse chez Merck Frosst



Association canadienne-française  
pour l'avancement des sciences

425, rue De La Gauchetière Est  
Montréal (Québec)  
H2L 2M7

Tél.: (514) 849-0045

Télééc.: (514) 849-5558

Courrier électronique: [concours.v-s@acfas.ca](mailto:concours.v-s@acfas.ca)

CET ENCART A ÉTÉ RÉALISÉ PAR :

Acfas

Coordination : Danielle Ouellet

Révision journalistique : Valérie Borde

Texte de présentation des lauréats : Valérie Cousinard

Révision linguistique : Héléne Larue

Graphisme : Martine Maksud - Illustration de la page couverture : Barroux

L'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences

est un regroupement de scientifiques de tous les milieux.

Produit avec l'aide financière du ministre de la Recherche, de la Science et  
de la Technologie du Québec.

# Eurêka! 1999

Les chercheuses et les chercheurs écrivent pour nous



## Il faut prendre remède à point

Biologiste de formation, François D'Allaire est titulaire d'un doctorat en physiologie. Ses domaines de spécialisation sont la physiologie, la pharmacologie et la biologie cellulaire. Il a été chargé de cours en génétique à l'Université du Québec à Rimouski et aimerait devenir professeur. L'intérêt pour la transmission des connaissances est à la source de son article de vulgarisation, dont le sujet, la chronopharmacologie, est encore peu connu du grand public.

## Le boulot de poteau : on n'est pas sorti du bois

Étudiante à la maîtrise en sciences à l'Université de Montréal, Myriam Fortin est spécialisée en chimie analytique environnementale. Elle s'intéresse de près aux agents de conservation du bois et effectue des travaux sur la caractérisation des produits volatiles des poteaux, traités au pentachlorophénol/huile, à l'Université de Montréal et à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec à Varennes. Elle est titulaire d'une bourse FCAR Hydro-Québec.

## La république des gauchers

Dalie Giroux est candidate au doctorat en sciences politiques à l'Université du Québec à Montréal. Elle prépare une thèse sur l'épistémologie comme pratique politique et poursuit des travaux sur la philosophie politique américaine contemporaine.

## Haut la queue !

Titulaire d'un doctorat en biologie de l'Université de la Saskatchewan, Serge Larivière est un passionné des animaux à fourrures et des carnivores du monde entier. Il a produit une quinzaine d'articles scientifiques sur la mouffette rayée à la suite de ses travaux de doctorat. Il est actuellement scientifique-chercheur avec Canards Illimités à Memphis, où il effectue des recherches sur les interactions mammifères/canards. Il est également professeur affilié avec l'Université de Saskatchewan.

4

6

12

8

10

14

Dans l'ordre habituel, Nathalie Mousseau, Serge Larivière, Alain Rochefort, Myriam Fortin, François D'Allaire et Dalie Giroux (photo séparée).

## Le requin nous sauvera-t-il du cancer ?

Nathalie Mousseau poursuit des études de 2<sup>e</sup> cycle au sein du Laboratoire de médecine moléculaire du Dr Richard Béliveau. Grâce aux subventions d'Aeterna et du CRSNG, elle étudie, à l'échelle moléculaire, les secrets du Néovostat, futur médicament prometteur contre le cancer produit par Aeterna. En plus d'un intérêt marqué pour la médecine, elle se passionne également pour l'écriture et pour les sciences judiciaires. Sans aspirer à devenir le Edgar J. Hoover du XXI<sup>e</sup> siècle, elle souhaite bien mettre en oeuvre, avec le savoir à sa portée, la science au profit des enquêtes policières et, pourquoi pas, en vulgariser l'utilité!

## L'art de l'architecture atomique

Professionnel de recherche au Centre de recherche en calcul appliqué (CERCA) à Montréal, Alain Rochefort s'intéresse en particulier aux propriétés physico-chimiques des nanostructures. Il est titulaire d'une maîtrise en chimie quantique de l'Université de Montréal et d'un doctorat en sciences pétrolières (chimie) de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) et de l'Institut français du pétrole (IFP). Ses travaux sont, de manière générale, orientés vers la modélisation numérique des matériaux.

# Il faut prendre remède à

François D'Allaire

Plusieurs personnes souffrant d'asthme vous le diront : leurs crises ont surtout lieu le matin. Les « malades du cœur » ont eux aussi plus de risques de faire une crise cardiaque au lever du lit. Ce n'est pas une simple coïncidence : ces deux affections sont en effet sous l'influence de l'horloge biologique du corps humain. Une meilleure compréhension de ce phénomène permet maintenant de guérir plus efficacement certaines maladies.

On connaît depuis longtemps l'existence de cycles biologiques chez les organismes vivants, en particulier chez les plantes. Mais l'importance de ces rythmes chez l'humain a été longtemps sous-estimée. Le fait que ces rythmes soient intimement liés à notre vie explique peut-être notre incapacité à percevoir leur importance. Le régulateur du rythme, l'horloge, se trouve dans le cerveau. Elle est prévue dans le bagage génétique humain<sup>1</sup> et plusieurs de nos fonctions physiologiques en dépendent.

Dans des conditions constantes de lumière, sous un éclairage de 24 heures sans noirceur, l'humain, comme la plupart des organismes vivants, conserve ses rythmes biologiques. Malgré une certaine imprécision de l'horloge cérébrale, il mange, s'endort, se réveille à heures relativement fixes et prévisibles. Mieux encore, cette horloge est capable d'indiquer différentes périodes comme les mois (cycles menstruels) ou les années (l'hibernation).

Chez l'humain, le rythme circadien (circa = autour et dia = jour) le plus couramment étudié est celui du cycle de veille/sommeil. Le réveil est un des moments les plus traumatisants pour l'organisme. Plusieurs le savent d'instinct ! On passe alors d'une inertie complète à un état actif. L'or-

ganisme réussit à se protéger de cette « agression » en se préparant, pendant le sommeil, à la dure épreuve du réveil. Des scientifiques ont étudié les hormones circulant dans le sang au cours du sommeil. Ils se sont aperçus que les concentrations de plusieurs hormones, dont le cortisol, une hormone de stress, commencent à augmenter vers 3 heures du matin, sans qu'il n'y ait eu de changement dans l'activité de l'organisme. Ces hormones préparent le corps à l'activité en libérant de l'énergie, en augmentant la pression sanguine, en stimulant le cœur et les muscles. L'organisme est prêt pour affronter la journée avant même le réveil, qu'il supporte donc d'autant mieux. Le pic des concentrations d'hormones reliées à la préparation du réveil a toujours lieu à l'heure habituelle du lever, vers 6 heures pour les lève-tôt, plus tard pour les « oiseaux de nuit ». Pas convaincu ? Voyez dans quel état vous êtes lorsque le réveil sonne par erreur à 2 heures du matin !

**Les applications thérapeutiques** - De prime abord, l'étude des cycles circadiens peut sembler dépourvue d'intérêt pratique. Pourtant, elle appor-

te une information essentielle : notre corps est plus ou moins réceptif à différents stimuli en fonction du moment de la journée. La chronothérapie vise à utiliser ces différences de sensibilité pour traiter plus efficacement certaines maladies, en administrant les médicaments au moment où le corps y est le plus sensible. On pourrait ainsi prendre de petites doses de médicaments

aux bons moments, plutôt que des doses massives quand le médicament a moins d'effet. Une telle approche permet aussi de diminuer les effets secondaires adverses.

L'augmentation matinale de la pression sanguine s'explique par la modification du « cocktail » hormonal pendant la nuit. Pour les personnes fragiles du cœur, cette augmentation peut être dangereuse. On a donc tout intérêt à traiter les

Dans des conditions constantes de lumière

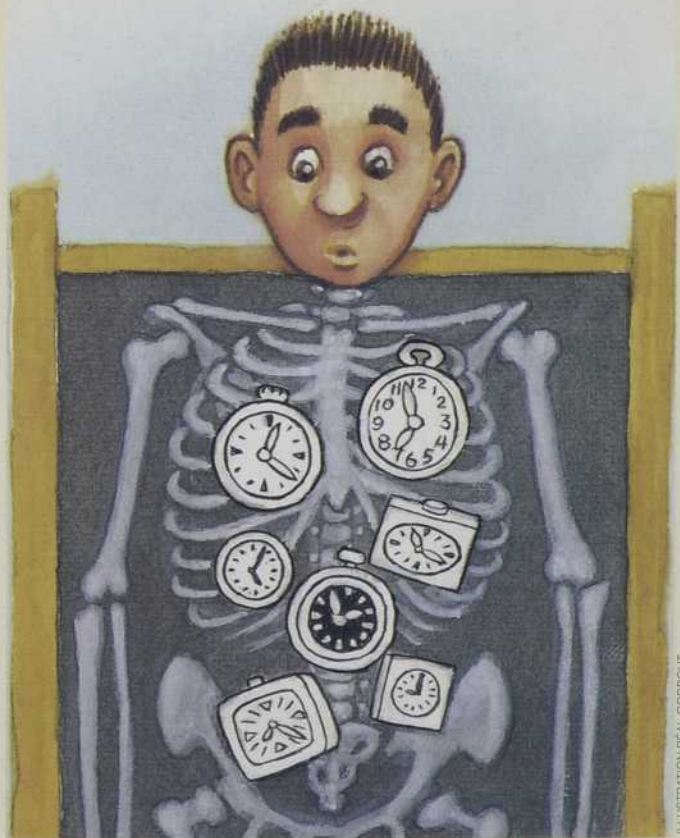


ILLUSTRATION REAL GOODBOUT

problèmes cardiaques le matin et à diminuer la médication le soir. En effet, la pression sanguine de fin de journée tend vers la normale et un traitement pharmaceutique n'est guère utile. Malheureusement, les médecins prescrivent généralement des médicaments hypotenseurs au coucher dans l'espoir de faire baisser la pression sanguine au matin. Mais les hypotenseurs se retrouvent en fortes concentrations dans le sang au début de la nuit, alors qu'au moment critique, le matin, les doses sont beaucoup moins importantes. C'est à

**La chimiothérapie à l'heure juste** - L'application des principes de la chronopharmacologie ne se limite pas aux seules maladies cardiaques et elle ne nécessite pas de comprimés à action retardée. Le cancer est une autre des cibles importantes de cette nouvelle approche thérapeutique. La chimiothérapie fait appel à des agents toxiques pour tuer les cellules tumorales. Bien que ces dernières soient plus sensibles au traitement que les cellules normales, des effets nocifs sont observés sur la totalité de l'organisme. Mais les deux types de cellules ont

thérapie. Par exemple, la chimiothérapie est plus efficace pour le traitement des cancers de l'ovaire ou de la vessie lorsqu'elle est administrée en fin d'après-midi. Des études à venir permettront certainement d'accroître bientôt l'efficacité d'autres agents anticancéreux.

Mais toutes les maladies ne suivent pas un rythme cyclique. De plus, deux médicaments agissant sur un même type d'affection n'ont pas nécessairement le même mode d'action et donc pas les

grès de cette nouvelle discipline. En effet, un métabolisme ralenti ou des maladies chroniques les exposent à un risque plus élevé de « més-aventures » pharmacologiques. Les médicaments, pris au bon moment, seraient plus efficaces et on diminuerait aussi les risques d'interaction entre médicaments et les effets secondaires.

La chronothérapie a encore du mal à être reconnue en Amérique du Nord. Notre société ne semble pas très prompte à adopter cette nouvelle façon de faire. Ce sont surtout les Européens, me-

## Un éclairage de 24 heures sans noirceur, l'humain, comme la plupart des organismes vivants, conserve ses rythmes biologiques.

partir de ce constat qu'une nouvelle génération de médicaments a été mise au point. De la vingtaine de produits utilisés pour traiter l'hypertension, un seul repose pour l'instant sur les données fournies par la chronopharmacologie. Il s'agit du ChronoVera(R), une nouvelle formulation d'un médicament bien connu, le Verapamil(R), dont l'enrobage se dissout lentement, ne laissant le médicament se libérer qu'après quelques heures dans l'estomac. Un comprimé avalé au coucher commence donc à agir vers 3 heures du matin, quand le corps se met en branle pour le réveil. L'augmentation de pression est contrée au moment opportun. Les doses de médicaments nécessaires peuvent ainsi être réduites, ce qui diminue du même coup les effets secondaires.

des cycles de vie différents, et par conséquent, leurs heures de sensibilité ne sont pas les mêmes. Certains traitements de chimiothérapie sont donc maintenant administrés à des heures bien précises, augmentant du même coup l'efficacité du traitement et diminuant les effets secondaires si éprouvants de la chimio-

mêmes exigences en terme de rythme biologique. Pour une même maladie, certains doivent, par exemple, être pris le soir, d'autres le matin. Des efforts de recherche sont encore essentiels pour bien appliquer les concepts de la chronopharmacologie.

**Pour qui la pilule?** - Les personnes âgées sont celles qui ont le plus à attendre des pro-

neurs dans ce domaine scientifique, qui ont développé une grande expertise au cours des dernières années. Ici, malgré les efforts de certains médecins et pharmaciens, des lacunes subsistent. Autant les professionnels de la santé que la population doivent encore être sensibilisés pour que les médicaments soient utilisés de manière plus rationnelle. Rien ne sert de surconsommer, il faut prendre remède à point! <

Exemples de biorythmes de différentes pathologies	
Maladies	Moment des symptômes
Asthme	Pic des symptômes tôt le matin (4-5 h)
Maladies cardiaques	Incidence des angines et infarctus dans les 4 heures suivant le réveil
Hypertension	Augmentation le matin
Ulcères gastriques	La nuit

Adapté de B.B. TURKOSKI, *Geriatric Nursing*, vol. 19, 1998, pages 146-512.

### Notes

1. La nature génétique des cycles circadiens chez l'humain est bien montrée dans BARCAL et al., *Nature*, vol. 200, n° 1128.
2. Des notions de chronopharmacologie sont disponibles sur les sites suivants :  
[www.chronopharma.com](http://www.chronopharma.com)  
[www.chronotherapy.com](http://www.chronotherapy.com)  
[www.Searlehealthnet.com](http://www.Searlehealthnet.com)

# Le boulot de poteau : on n'est pas

Myriam Fortin

Félix Leclerc nous a fait part de sa vision du paysage québécois dans une chanson intitulée *Les poteaux*. Il chantait : « Venise a ses gondoles, Miami a ses palmiers, la France ses monuments (...) Nous autres, c'est les poteaux de téléphone. » Il est vrai qu'au Québec, des poteaux « de téléphone », il y en a beaucoup, et partout. En réalité, ces poteaux sont surtout utilisés pour l'électricité et un peu pour la câblodistribution : environ 2 100 000 poteaux supportent les quelque 137 000 km de fils qui servent à transporter et distribuer l'électricité ; de quoi faire plus de trois fois le tour de la Terre ! La très grande majorité des poteaux (99,9 p. 100) sont faits de bois traité, 0,08 p. 100 (soit 1 500) sont en béton et 0,02 p. 100 en métal. Chaque année, 25 000 nouveaux poteaux sont installés, pour remplacer des structures défectueuses ou agrandir le réseau.

## Le bois, le métal ou le béton : qu'auraient choisi les trois petits cochons ?

Pourquoi utiliser le bois plutôt que le béton ou le métal ? D'abord, c'est le matériau le plus économique. On pourrait cependant penser que le béton et le métal sont plus acceptables pour l'environnement. Mais des études ont montré que si l'on considère l'énergie, les matériaux et les rejets environnementaux en jeu dans la « vie » d'un poteau (c'est-à-dire l'extraction de la matière première, la fabrication du poteau, son usage puis sa mise au rebut), le bois demeure la plus écologique des solutions. Ce matériau présente aussi d'autres qualités essentielles. Il est le plus résistant, car le métal est sensible à la rouille, et les sels de déglacage, par exemple, attaquent le béton. Une autre caractéristique technique, qui peut sembler anodine, désavantage également le métal et le béton : il est impossible à un monteur ou une monteuse de ligne de grimper avec des crampons dans des poteaux faits de ces matériaux ! Il faut alors utiliser une nacelle, ce qui n'est pas toujours possible... surtout si le poteau se trouve dans la cour arrière d'une maison. En fait, on emploie surtout le béton et le métal pour des raisons esthétiques.

Le bois représente donc encore la meilleure des solutions. Pour fabriquer des poteaux, on utilise en Amérique du Nord surtout des pins rouges âgés de 75 ans. Le bois est très résistant aux chocs et la fabrication d'un poteau demande relativement peu d'énergie. Cependant, la longévité d'un poteau de bois est considérablement réduite par des agents biologiques comme les insectes, les bactéries et les champignons, qui l'apprécient comme repas ou comme abri. Dans certains cas, les effets engendrés par ces agents biologiques peuvent être accentués par la chaleur, l'humidité et la teneur en oxygène du bois. Pour augmenter la durée de vie d'un poteau de bois, on doit donc le traiter aux petits oignons... ce qui implique l'utilisation de produits toxiques.

## Quand le bois vit sa vinaigrette !

L'utilisation de produits chimiques pour préserver le bois ne date pas d'hier. Il y a 4 000 ans, en Égypte, on utilisait le bitume pour protéger les pièces de bois des agressions de l'environnement. Les Romains étaient plus raffinés : les statues, par exemple, étaient recouvertes avec de l'huile de lin ou de cèdre et des mélanges d'ail et de vinaigre ! Quant à Alexandre le Grand, il aurait ordonné de recouvrir les poutres destinées à la construction d'un pont avec rien de moins que de l'huile d'olive !

Au Québec comme dans le reste de l'Amérique du Nord, la créosote, un dérivé du goudron, est utilisée depuis plus de 150 ans pour protéger le bois. Mais contrairement à la croyance populaire, ce produit noir et collant disparaît peu à peu, pour être remplacé par des produits moins salissants. Aujourd'hui, seul le bois destiné à la fabrication d'équipements devant résister à l'eau de mer ou à l'installation de chemins de fer est encore traité à la créosote. La plupart des poteaux installés en Amérique du Nord, dont 95 p. 100 des poteaux d'Hydro-Québec, sont protégés par de l'huile lourde de type diesel à laquelle on a ajouté de 3 à 7 p. 100 d'un produit biocide (littéralement « tuant la vie »), le pentachlorophénol ou PCP. L'huile lourde aide à faire pénétrer le PCP dans le bois, qu'elle protège aussi de l'humidité. Le PCP, lui, est un produit organique de synthèse. Il est utilisé depuis près d'un demi-siècle et est très toxique pour les organismes destructeurs du bois. Un poteau traité au



Site d'essai des poteaux d'Hydro-Québec

# asorti du bois

caractéristique assez désagréable qui fait souvent l'objet de plaintes.



PCP et à l'huile lourde résiste aux agents biologiques pendant une quarantaine d'années, contre seulement cinq à six années sans traitement. Le PCP permet donc d'épargner des arbres et d'économiser sur les coûts de transport et d'installation de poteaux. Le traitement à l'huile et au PCP facilite aussi le piquage dans le bois des crampons des monteuses de lignes.

On ne se contente pas d'enduire le bois d'huile et de PCP. Par un traitement sous pression, on s'assure que ces produits pénètrent dans la masse du bois, sur une épaisseur allant de 2,5 à 6 cm, selon l'essence forestière utilisée. De cette manière, le matériau garde plus longtemps les agents qui l'empêchent de vieillir. Pour que le traitement soit efficace, on fait ainsi pénétrer de 20 à 125 kg de produits de préservation dans un poteau. Mieux vaut donc ne pas l'utiliser comme bois de chauffage !

PHOTO : IREQ

## Des produits qui s'envoient en l'air

Ces produits de préservation ne poseraient guère de problème s'ils restaient confinés dans le bois. Mais après une longue période de temps, et sous l'effet des éléments naturels comme la pluie et le soleil, ils finissent par s'écouler ou s'évaporer des poteaux en service ou mis au rebut. Les produits de préservation se retrouvent alors sous forme de polluants dans l'environnement. Leur fuite est pratiquement inévitable. Et les produits relâchés sont très toxiques ! Le PCP, par exemple, peut provoquer des irritations de la peau, des yeux et des muqueuses chez l'humain. Heureusement, on a prouvé que les poteaux ne relâchent qu'une petite partie des agents de préservation qu'ils contiennent, et ce, sur un espace assez limité. Le PCP peut quand même polluer le milieu aquatique, où il peut entraîner un ralentissement de la croissance de certaines espèces aquatiques, voire leur mort. Par ailleurs, l'huile utilisée pour la préservation du bois confère à ce dernier une odeur

Pour diminuer ces nuisances, les chercheurs de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) mettent au point des méthodes pour extraire, identifier et quantifier des produits comme le PCP et l'huile dans le bois, le sol, l'eau et, en ce qui concerne la recherche, dans l'air. Pour connaître les produits chimiques qui s'échappent du bois par la voie des airs, on utilise un « nez » artificiel qui fait appel aux techniques de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse. On peut ainsi collecter, cataloguer et quantifier de façon précise les produits responsables des nuisances. Une tâche ardue, quand on sait qu'à elle seule, l'huile est constituée de plus de 150 composés chimiques différents... Jusqu'à présent, on a tout de même identifié une quarantaine de composés susceptibles de s'évaporer du bois traité. On sait de plus que la plupart d'entre eux font partie d'une classe de molécules que l'on appelle les alkylbenzènes.

L'idéal serait évidemment de se débarrasser de ces alkylbenzènes, que l'on trouve trop odorants, avant le traitement du bois, de façon à éliminer à la source le problème d'odeur. Seul hic : le poteau sera-t-il aussi bien protégé sans ces composés ? Et l'huile pourra-t-elle toujours pénétrer à l'intérieur du bois pour le traiter en profondeur ? Les chercheurs n'ont pas encore toutes les réponses, mais ils suivent déjà quelques pistes intéressantes pour mieux connaître les alkylbenzènes. En été, par exemple, on sait que les poteaux perdent plus de produits de préservation que l'hiver. On étudie donc l'effet de la température sur l'évaporation des alkylbenzènes. On tentera aussi de déterminer à quelle vitesse ils quittent le bois de façon à mieux comprendre les mécanismes de fuite des produits. De tels travaux pourraient éventuellement permettre de modifier l'huile de traitement des poteaux, ce qui diminuerait les nuisances reliées à l'odeur, tout en maintenant les propriétés de préservation du bois.

## Quant à Félix...

Même si on cherche à limiter la pollution engendrée par les produits de traitement du bois de poteau, cette nuisance n'est pas près de disparaître. En effet, les biocides qui empêchent des organismes vivants de coloniser le bois resteront probablement toujours des produits toxiques. On pourrait aussi remplacer le PCP par un produit moins odorant comme l'arséniate de cuivre chromaté, qu'on utilise pour protéger les meubles de jardin et qui donne au bois une couleur verte caractéristique. Mais ce produit est tout aussi toxique. De plus, il entraîne un durcissement du bois suffisant pour rendre le piquage des crampons des monteuses de lignes difficile.

À défaut d'autre chose, le bois traité au PCP est donc aujourd'hui la solution de prédilection pour acheminer l'électricité dans nos maisons... à moins qu'on décide de suivre les conseils de Félix : « Qu'est-ce que vous attendez, Pour les enfouir sous terre, Vos maudits fils de feu » ! En attendant, pour les prochaines années, on n'est pas sorti du bois ! <

# La république des

Les philosophes ont une drôle de réputation. On les considère comme des rêveurs ou des gens qui ne s'abreuvent que d'abstraction. On les imagine en penseurs un peu fous qui se cassent la tête pour des questions futiles, ou comme des illuminés qui s'enflamment pour des détails et se perdent dans les dédales d'argumentations au contenu indéchiffrable. Leur travail révèle pourtant souvent une réflexion riche sur des problèmes très concrets et soulève des questions sur les événements importants de nos vies. Tel est le cas des débats en philosophie politique, qui portent sur les valeurs à la base de la vie en société.

Imaginons, pour illustrer le genre d'enjeu que ces débats éclairent, une république de gauchers. Dans cette république, le droit de lire est considéré comme fondamental. L'État s'assure en conséquence que toutes les personnes reçoivent le même nombre de livres identiques. Dans cette république, vit aussi une petite communauté majoritairement composée de droitiers. Cette communauté demande au tribunal de la république de lui reconnaître le droit d'exiger que les livres distribués par le gouvernement sur son territoire se lisent en tournant les pages de gauche à droite.

**Un dilemme constitutionnel** - Lire de gauche à droite est la manière de lire avec laquelle les droitiers se sentent le plus à l'aise, et la constitution de la république indique qu'il ne doit pas y avoir sur son territoire de discrimination sur la base de la principale main d'usage. Le gouvernement n'interdit pas la publication ni la distribution de livres adaptés aux droitiers, justement pour ne pas faire de discrimination à cet égard. Mais ses représentants pensent qu'en donnant aux droitiers des livres différents de ceux distribués au reste de la population, on ouvre la porte à des modi-

fications à l'application de la règle selon laquelle la distribution de livres doit se faire également pour tous. Cela mettrait en péril le principe de la constitution qui dit que chaque citoyen a le droit fondamental de lire.

Face à un tel dilemme, les juges du tribunal de la république de gauchers procèdent toujours de la même façon. Ils examinent quelles sont, de part et d'autre, les raisons importantes invoquées pour faire valoir chaque point de vue et vérifient lesquelles de ces raisons ont priorité selon la loi fondamentale de la république, la constitution.

Cette dernière sert justement à régler ce genre de conflit. Selon ce que dit la constitution, les juges tranchent en faveur de l'une ou l'autre des options. Si le principe d'égalité a priorité, le tribunal donnera raison aux arguments du gouvernement. Si le principe de non-discrimination est plus important et s'applique aux manières particulières d'user d'un droit, la communauté de droitiers verra sa demande agréée. Et c'est ainsi que se résolvent les oppositions entre les valeurs

fondamentales dans cette république.

Or, pour les philosophes politiques, le débat ne fait que commencer. Il leur semble que quelques questions importantes n'ont pas été posées dans ce processus: pourquoi telle règle a-t-elle priorité sur telle autre? En vertu de quel principe, de quelle conception de la morale, la constitution de la république de gauchers instaure-t-elle un ordre de priorité entre l'égalité des citoyens et la non-discrimination sur la manière d'exercer son droit fondamental de lire? Le travail des philosophes politiques est de s'interroger sur la légitimité des règles fondamentales de la justice. Ces règles sont suffisamment importantes moralement pour que l'on exige en leur nom que les gens et les gouvernements remplissent certaines obligations, comme distribuer des livres se lisant de gauche à droite sur un certain territoire, ou encore, accepter de modifier ses manières particulières de lire. Ces règles modifient le cours de nos vies. C'est pourquoi la philosophie politique se penche sur cette tâche importante de comprendre et d'articuler les valeurs qui se cachent derrière.



Tous les philosophes ne s'entendent pas à propos de ces valeurs. Et c'est justement ce qui fait l'intérêt du travail philosophique: les désaccords permettent d'expliquer les positions de chacun et mettent en lumière les différents aspects d'un conflit moral. Les réflexions des philosophes nourrissent la vigilance de tous en ce qui concerne les règles que nous nous imposons à travers les constitutions.

# gauchers

Dalie Giroux

règle universelle est établie. Et le fait d'établir une règle nous protège et protège les droits que nous croyons importants. Dans les termes du philosophe Emmanuel Kant, leur principe est le suivant : « Faire en sorte que la maxime de nos actions soit universalisable ». Autrement dit, les règles que l'on édicte ne sont moralement correctes que si elles peuvent être applicables à l'humanité entière et que cela lui est bénéfique. Selon ce principe, le vol, par exemple, ne peut être élevé au rang de règle universelle, puisque cela risquerait de causer beaucoup de tort au fonctionnement des sociétés humaines.

En suivant ce principe, les juges de la république de gauchers devraient rejeter la demande de la communauté de droitiers. Le raisonnement est le suivant : le principe le plus important à défendre est la justice. Or la justice ne se réalise que si les libertés fondamentales sont reconnues à chaque citoyen également et selon une règle universelle. Ainsi, la liberté fondamentale qu'est le droit de lire dans cette république doit être un droit reconnu et distribué également, donc sans différence dans la façon de le distribuer. Le fait de produire des livres différents pour les droitiers entre en conflit avec une valeur fondamentale, la justice fondée sur une règle universelle. Le droit de lire devient modifiable, ce

qui va à l'encontre du fait de défendre envers et contre tout cette liberté au nom du droit de chacun d'en jouir.

## À chacun son identité -

D'autres philosophes pensent que la valeur la plus importante dans la vie en société politique est le respect de l'identité des personnes, par exemple de leur culture ou de leur religion. Le respect de l'identité devrait être selon eux une valeur supérieure, dans la constitution, à la valeur de l'égalité entre tous les citoyens. Pour ces philosophes, les êtres humains se réalisent pleinement dans un cadre où ils vivent selon des pratiques particulières qui ont formé leur identité et guident leurs vies. En conséquence, dans l'application des droits fondamentaux (par exemple, ceux dont parlent les philosophes égalitaristes), on devrait tenir compte des caractéristiques particulières de l'identité de chacun.

Dans la république de gauchers, les philosophes de ce deuxième groupe diraient que la manière de lire des droitiers est particulière à leur identité et qu'il faut que le droit fondamental de lire se subordonne au fait que les droitiers lisent les livres de gauche à droite. La valeur la plus importante pour eux est l'épanouissement personnel des êtres humains dans le cadre de leur identité. Le droit de lecture n'est à sa place que si son application tient

compte des manières différentes de l'exercer.

Alors, justice et égalité, ou épanouissement de l'identité? La question peut sembler banale dans le cas du sens de lecture d'un livre. Imaginez alors que la république de gauchers soit votre pays! Imaginez que le droit fondamental de lire soit le droit à l'intégrité physique, que la non-discrimination sur la base de la principale main d'usage soit le droit de pratiquer librement sa religion d'appartenance. Imaginez qu'un groupe de femmes, et non plus la communauté de droitiers, demandent le droit non pas d'avoir des livres se lisant de gauche à droite, mais le droit de subir de leur plein gré une excision, comme le prescrit la religion qu'elles pratiquent. Voilà que le débat philosophique sur les valeurs prend tout son sens. Vous aurez à vous demander, face à ce conflit moral, quels sont les principes en jeu ; vous devrez évaluer, ordonner et justifier leur importance à vos yeux ; et vous devrez discuter de la priorité morale que l'on devrait accorder à vos choix.

Déjà fatigués de philosopher? Rassurez-vous, la réflexion continue. Le verbiage des philosophes, si nous lui prêtons oreille, a cette vertu extraordinaire de remettre sans cesse en question les justifications de l'ordre qui nous régit et d'éclairer certains débats de société. La philosophie politique a pour tâche de continuer, sans répit, cette discussion sur ces choses qui nous concernent. <

**Le principe de justice avant tout** - Certains philosophes, devant le problème auquel fait face la république des gauchers, défendent une conception des valeurs qui donne la priorité à l'argument de l'égalité. Pour ces philosophes égalitaristes, la valeur que doivent défendre avant tout le système juridique et sa loi fondamentale est celle de la justice. Selon eux, la justice ne peut être réalisée que si une

ILLUSTRATION : BARRIOUX

# Haut la queue !

La simple mention de son nom évoque des récits tous plus odorants les uns que les autres. Même ceux qui lui ont donné son nom latin (*Mephitis mephitis*, doublement nauséabond !) ne s'y sont pas trompés : la moufette (ou mouffette) rayée est inévitablement associée à une odeur pestilentielle difficilement supportable... Mais les histoires de « bête puante », comme on la surnomme parfois, se prêtent très bien à l'exagération : l'animal lui-même n'a rien d'un bombardier chimique à la gâchette sensible.

La moufette rayée est un petit carnivore de la taille d'un chat, qui se nourrit essentiellement d'insectes et de petits mammifères. Contrairement à la belette qui, avec son corps en forme de tube, peut accéder aux terriers de petits rongeurs, la moufette doit attendre que ces derniers sortent de leurs cachettes pour se nourrir. Elle est principalement nocturne car les rongeurs sont surtout actifs la nuit. La moufette a une très mauvaise vue et se sert donc de son odorat et de son ouïe pour trouver ses proies. Comme elle ne voit plus rien au delà d'une distance d'une vingtaine de mètres,

vit souvent près des humains. Mais lorsqu'elle rencontre un chien ou un coyote, ses principaux prédateurs, la moufette rayée commence par mettre en œuvre un comportement de défense complexe. Elle n'utilise le musc qu'en tout dernier recours. En effet, la capacité des glandes de la moufette ne lui permet que cinq à six décharges consécutives. Par conséquent, elle doit savoir épargner ses « balles ». Une sage moufette ne suivra donc pas le dicton qui lui est généralement attribué, c'est-à-dire « tirer d'abord, poser des questions après ». Au lieu de cela, elle donne une série d'avertissements à ses agresseurs.

Ce sont ces comportements que j'ai tenté d'analyser, lors de mes études de doctorat en Saskatchewan. Avec un groupe d'étudiants, j'ai entrepris de suivre les moufettes durant leurs expéditions nocturnes. Afin de faciliter l'observation, nous avons utilisé des jumelles de vision de nuit empruntées à des pilotes d'hélicoptère de l'armée américaine. Trois étés et presque 2 500 heures à pied derrière les moufettes nous ont permis d'observer directement des comportements de défense à 200 reprises, ce qui nous a aidés à établir la stratégie de cet animal.

## La moufette n'utilise le musc qu'en tout dernier recours. La capacité

la moufette apparaît comme un animal nonchalant qui ignore toute menace n'étant pas à proximité directe.

La survie d'une moufette dépend directement de son artillerie chimique. Bien que le langage populaire dise que la moufette « pisse », le liquide nauséabond qu'elle émet n'a en commun avec l'urine que la couleur. Le musc est constitué de composés chimiques complexes à base de butane, de méthane et de soufre, qui sont entreposés dans deux glandes de la taille d'une grosse bille, situées à la base de la queue. Quand l'animal le juge nécessaire, la compression des glandes éjecte le liquide par deux orifices situés près de l'anus. La portée directe est d'environ trois à cinq mètres,

mais la décharge se fait sentir beaucoup plus loin si le vent est bon !

Les animaux qui se défendent avec des toxines, comme les abeilles ou certains serpents, utilisent souvent des couleurs voyantes pour avertir leurs prédateurs et éviter d'être confondus avec d'autres proies. La moufette rayée n'échappe pas à cette règle : sa coloration contrastée noire et blanche unique permet de l'identifier au premier coup d'œil. Dès qu'un ennemi approche, le motif caractéristique de la moufette l'avertit en lui envoyant un premier message clair : « Attention, danger, je dégage un produit toxique et tu ferais mieux de t'éloigner... ». Comme la moufette est nocturne, l'affichage en couleur est inutile : le contraste des bandes blanches sur le pelage noir est tout aussi visible le jour que la nuit et suffit.

La coloration est le premier avertissement, passif que l'animal donne à son adversaire. Mais une moufette qui se sent menacée demeure rarement inactive. Si vous rencontrez une moufette, elle commencera par essayer de vous éloigner. Le premier avertissement actif consiste à lever la queue. Ce comportement est l'équivalent de « dégainer ». La queue de l'animal, elle aussi noire et blanche, lui permet de réaffirmer son identité. Avec ce geste, la moufette signale qu'elle a perçu un danger potentiel. Ignorez ce premier avertissement visuel et vous aurez le privilège d'entendre le deuxième : la moufette tape du pied de façon répétitive. Ce « tap-tap » très distinctif ne trompe pas : il annonce à coup sûr une moufette à proximité. Cet avertissement sonore est d'autant plus utilisé que la végétation est haute. Étrangement, la moufette semble « tap-taper » quand elle se doute que sa coloration ou sa queue



Malheureusement pour la moufette, cette arme est totalement inutile pour faire face à un choc avec une automobile, une des premières causes de mortalité pour ce petit animal qui



PHOTOS : SERGE LARIVIÈRE, UNIVERSITÉ DE SASKATCHEWAN

Si l'assaillant n'a pas été découragé par toutes ces parades, la moufette n'a plus le choix : elle doit le mettre en joue. À ce moment, vos jours de vie sociale ne tiennent qu'à votre bon jugement. L'animal adopte une position en « U » horizontal, présentant simultanément sa tête et son postérieur avec l'anus (et donc l'orifice de décharge des glandes) bien exposé. Elle n'attend qu'un faux geste de votre part pour faire feu. Incroyablement, l'animal peut rester dans cette position pendant plus de cinq minutes, et peut parfois alterner le « U » avec les fausses charges et le grattage à reculons.

Le moindre mouvement suspect durant cette séquence donne droit au traitement complet. Selon la distance qui vous sépare d'elle, la moufette peut vous envoyer un jet double qu'elle projetera avec précision jusqu'à trois mètres, ou une simple bruine qu'elle distribuera dans votre direction jusqu'à une distance de cinq à six mètres. L'odeur est tenace — elle tient deux semaines sur le pelage d'un chien ou d'un coyote — et porte loin, à près d'un kilomètre. Les prédateurs peuvent être aveuglés pendant une dizaine de minutes et sont parfois sujets à des vomissements : ils rechigneront à s'attaquer de nouveau à une moufette après ce traitement. Géné-

## glandes ne lui permet que cinq à six décharges consécutives.

ne sont pas visibles. Le « tap-tapage » est donc l'équivalent sonore de la queue levée.

Toutes ces attitudes sont en général très efficaces face aux animaux sauvages. Toutefois, si les avertissements ne suffisent pas, la moufette doit alors mettre en œuvre très rapidement d'autres comportements. Tout d'abord — face à vous, par exemple —, elle tente d'éviter la confrontation en se sauvant ou en prenant retraite dans un terrier. Si la fuite n'est pas possible, la moufette vous fait vaillamment face, hausse le dos et les hanches afin de paraître plus grosse, puis elle fait semblant d'attaquer. Ces fausses charges sont très convaincantes... même si la moufette n'attaque jamais! La moufette ne cherche pas seulement à vous intimider. Elle en profite pour se rapprocher et se met donc en meilleure position de tir. Tout de suite après une fausse charge, elle effectue une série de pas arrière brusques en râclant le sol avec ses pattes avant. Cet effet de grattage est très bruyant et ne peut pas être ignoré.



ralement, ils restent cependant attirés par cette odeur qui signale souvent une moufette écrasée au bord d'une route... Quant à vous, il ne vous restera plus qu'à supporter cette terrible puanteur. Votre seule consolation sera l'amitié inespérée que vous voueront les chiens du quartier! <

# Le requin nous sauvera-t-il

Dans l'imaginaire populaire, le requin est un animal féroce et sanguinaire. Pourtant, c'est peut-être grâce à lui que nous parviendrons à vaincre un des fléaux les plus meurtriers de notre époque : le cancer. Cette terrible maladie a emporté pas moins d'un million de Québécois ces 25 dernières années. Une réalité bien plus effrayante que *Les dents de la mer!* Comment le requin pourrait-il nous sauver la vie? En mettant à notre disposition des substances contenues dans son cartilage, pour bloquer un processus physiologique essentiel au développement du cancer.

Ce processus, c'est l'angiogenèse, c'est-à-dire la formation de nouveaux capillaires sanguins. Ces tout petits vaisseaux sanguins naissent du bourgeonnement de capillaires préexistants, comme de nouvelles pousses sur un arbre. Ce phénomène survient tout à fait normalement lorsque de nouvelles cellules ont besoin de se reproduire, par exemple lorsqu'un embryon se développe ou lorsqu'une blessure cicatrise. Les nouveaux capillaires servent alors à alimenter les cellules en oxygène et en nutriments. Bénéfique dans ces situations, l'angiogenèse devient redoutable quand elle permet à des cellules tumorales de se reproduire ou lorsqu'elle entraîne la formation de métastases. Sans vaisseaux, une tumeur en croissance est, en effet, incapable de s'approvisionner en composés nutritionnels. Elle lance alors un signal de détresse aux capillaires environnants. Cet « appel à l'aide » est suivi d'une série de réactions biochimiques ordonnant en bout de ligne le bourgeonnement du capillaire vers la source du signal, soit la tumeur elle-même. Cette « néovascularisation » lui permet alors d'être nourrie, donc de croître. Ainsi, une tumeur inoffensive n'excédant pas 1 mm<sup>3</sup> (la taille d'une tête d'épingle) grossit peu à peu jusqu'à devenir maligne. Pire : ces capillaires servent de routes aux cellules tumorales, qui

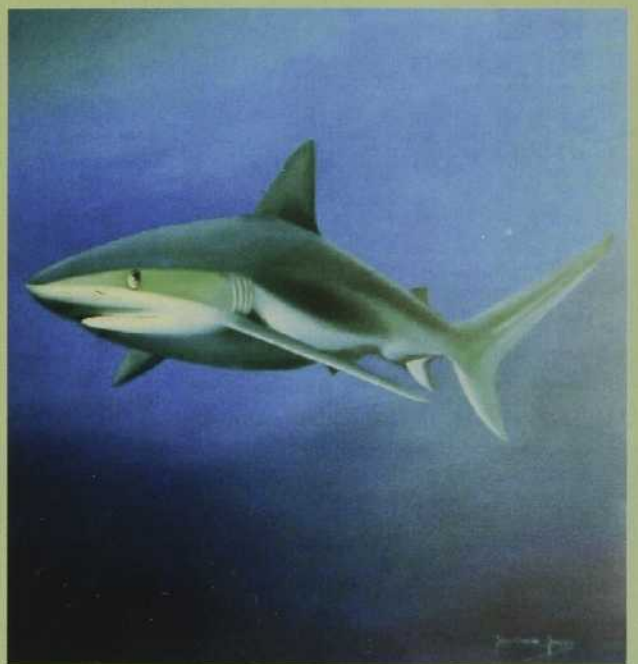
peuvent quitter leur foyer initial pour aller s'implanter ailleurs dans l'organisme. C'est ainsi que le cancer se généralise...

Pour enrayer la maladie, les scientifiques ont mis au point une nouvelle stratégie : s'attaquer aux cellules endothéliales constituant les capillaires plutôt qu'aux cellules tumorales elles-mêmes... Bien que le but ultime de cette approche consiste indirectement à détruire entièrement la tumeur, les études actuelles se limitent surtout au pouvoir anesthésiant sur la tumeur d'une absence de vascularisation. On cherche à endormir la tumeur... pour l'empêcher de grossir et de s'étendre partout dans l'organisme. Et pour qu'elle demeure bénigne.

L'idée n'est pas récente. L'hypothèse du rôle des vaisseaux sanguins dans l'entretien des tumeurs revient au médecin américain Judah Folkman. Elle date de 1971, mais, aussi surprenant que cela puisse paraître, il aura fallu vingt ans avant que le raisonnement de ce scientifique ne soit accepté par ses acolytes. À l'époque, les chercheurs trouvaient inconcevable l'idée de rendre coupables de simples vaisseaux sanguins. Ils ne voyaient pas non plus comment on pourrait parvenir à cibler uniquement

les capillaires dirigés vers la tumeur sans détruire tout le système vasculaire. Enfin, on était aussi convaincu que la chimiothé-

lues tumorales avaient réussi à développer une résistance à la chimiothérapie. Adieu la thérapie idéale... Les réticences des sceptiques sont alors



rapie constituait la panacée pour détruire toute masse tumorale. On avait donc baissé les bras.

Mais loin de se laisser abattre, le Dr Folkman continua sa quête et réussit à amasser suffisamment de résultats (et de fonds !) pour prouver son hypothèse. Des études subséquentes ont vite permis de voir que l'architecture des vaisseaux nouvellement formés différait à plusieurs égards de celle des autres. Le ciblage des néocapillaires devenait donc possible. Par ailleurs, entre temps, des cel-

vite tombées : aujourd'hui, on ne compte plus les laboratoires engagés dans cette nouvelle voie d'offensive contre le cancer ! Il est désormais prouvé que le degré de malignité d'une tumeur est directement associé au taux de vascularisation. Par ailleurs, on chuchote que le persévérant Dr Folkman pourrait bien recevoir un prix Nobel...

**À l'attaque !** - Maintenant que nous tenons le coupable, comment le condamner ? Les étapes menant au processus d'angiogenèse sont complexes, et

# l du cancer ?

Nathalie Mousseau

sa régulation est un véritable casse-tête ! Néanmoins, les chercheurs disposent aujourd'hui d'une vaste gamme de possibilités d'assaut contre les cellules endothéliales. Une équipe de scientifiques du laboratoire de médecine moléculaire du centre de cancérologie Charles-Bruneau de

ture dans le mur. De même, si un vaisseau cherche à bourgeonner vers la tumeur, la matrice sous-tendant les cellules endothéliales devra elle aussi être percée, ainsi que celle entourant les cellules tumorales. Dans ce cas, la « perceuse », ce sont les métalloprotéinases de la matrice ex-

pour que la matrice ne puisse être percée? C'est là que le requin intervient. En effet, on a constaté il y a plusieurs années qu'aucun vaisseau ni aucune tumeur ne pouvaient se développer dans le cartilage de cet animal. Diverses études portant sur cet intrigant tissu ont vite montré qu'il était doté de substances capables d'empêcher la néovascularisation et l'angiogenèse tumorale. Aujourd'hui, il est clair que la ou les molécules inhibitrices présentes dans une solution de cartilage de requin agissent entre autres sur les MMP. Le groupe de chercheurs montréalais travaille en étroite collaboration avec Æterna, une jeune entreprise québécoise qui a mis au point une technique d'enrichissement des facteurs actifs du cartilage de requin capables d'inhiber l'action des MMP. Æterna a nommé cette solution le Néovastat.

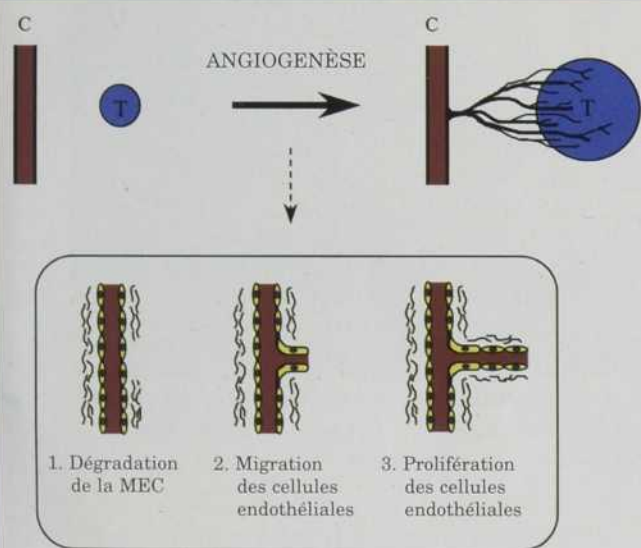
À Sainte-Justine, on cherche à isoler la molécule inhibitrice qui donne ses vertus thérapeutiques au Néovastat. Des dizaines de chercheurs et d'étudiants unissent leurs efforts pour arriver à pêcher dans le Néovastat la molécule qui empêche les MMP de vaquer à leur occupation. À l'intérieur du laboratoire, où flotte une « douce » odeur de poisson de mer, on sent une fébrilité hors du commun. C'est que cette molécule pourrait s'apparenter aux TIMP (inhibiteurs tissulaires des métalloprotéinases), des inhibiteurs naturels

des MMP. D'ailleurs, le fait pour un humain de développer ou non des métastases à la suite de l'apparition de cellule cancéreuses serait relié à un déséquilibre entre les taux sanguins de MMP et de TIMP, en faveur des MMP. Si la substance antitumorale du médicament se rapproche d'un inhibiteur naturel, les effets indésirables et nocifs du traitement peuvent se révéler nuls! Tout un avantage comparé à la chimiothérapie...

**L'espoir et la mer** - Au cours de sa vie, une personne sur trois vivra avec un cancer. Sur ce nombre, la moitié en mourront. La position peu enviable que détient le cancer dans le palmarès des maladies du XX<sup>e</sup> siècle se maintiendra-t-elle au cours du prochain millénaire? Avec des médicaments anti-angiogéniques, on pourrait incessamment faire la vie dure à cette maladie, semble-t-il. Des études cliniques employant le Néovastat sont en cours chez l'humain et les résultats sont plus qu'encourageants. Notre ennemi d'hier, le requin, risque fort bien de devenir notre ami de demain, et pourquoi pas, le meilleur ami de l'homme! ◀

## Références

INSTITUT NATIONAL DU CANCER DU CANADA, STATISTIQUES CANADIENNES SUR LE CANCER 1998, Toronto, Canada, 1998.  
Gingras D., Béliveau R. « L'angiogenèse tumorale : une nouvelle cible thérapeutique anticancéreuse », *Med. Sci.*, 1997, vol. 13, pages 1428-35.



L'Hôpital Ste-Justine de Montréal a choisi de s'attaquer à la préservation de la matrice extracellulaire (MEC). Ce réseau de tissu solide composé de protéines d'ancrage et de soutien, sert à supporter les cellules formant les organes ou les vaisseaux. La MEC constitue en quelque sorte la fondation de base essentielle au bon maintien de l'organe, comme les murs d'une maison. Si on cherche à bâtir une pièce adjacente à cette maison, on devra la doter d'une porte. On utilisera donc des outils pour créer une ouver-

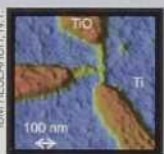
tracellulaire, ou MMP pour les intimes. Ce n'est que récemment que ces enzymes ont été isolées, et leur caractérisation est loin d'être terminée. On dénombre jusqu'à maintenant pas moins de vingt types de MMP chez l'humain et il ne serait pas surprenant de voir la liste s'allonger. Jusqu'à ce jour, on estime que deux d'entre elles, la MMP-2 et la MMP-9, sont fortement associées à la malignité d'une tumeur.

Comment inhiber ces MMP

# L'art de l'architecture

Démocrite avait raison! On peut différencier les objets matériels par la forme, l'orientation et l'arrangement des atomes. Cependant, depuis cette première conceptualisation de la matière datant de la période grecque (V<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), notre perception de l'atome s'est affinée au point où on peut maintenant visualiser l'infiniment petit. Et tels des architectes, les chimistes d'aujourd'hui arrivent à construire, pratiquement atome par atome, de minuscules matériaux complexes appelés nanostructures.

OFFERT PAR RICHARD MARTEL IBM RESEARCH, N.Y.



Construction d'un canal (de haut en bas) d'oxyde de titane à l'aide d'électrons tunnel.

Largeur du canal = 20 nm

Les nanostructures sont des « supermolécules » qui ont des tailles de l'ordre des nanomètres (10<sup>-9</sup> m ou 1 milliardième de millimètre). Elles peuvent contenir de quelques atomes à quelques dizaines de milliers d'atomes, d'origine organique (carbone, hydrogène, oxygène, azote), inorganique (platine, nickel, silicium) ou d'un mélange des deux. L'intérêt principal pour ce type de structures réside dans le fait qu'elles peuvent être construites pratiquement atome par atome. On entre ainsi dans l'ère du design moléculaire ou de la nanotechnologie<sup>1</sup>. Certains se sont même amusés à imaginer la construction de nanopompes, de nanoengrenages en passant par

des « roulements à atome » ! Néanmoins, certaines nanostructures, en particulier des nanocristaux semi-conducteurs, présentent des propriétés électriques intéressantes pour de futures applications. De façon générale, les propriétés chimiques et physiques de ces nanostructures sont très différentes de celles des matériaux massifs. En fait, les nanocristaux se comportent comme des « supermolécules » qui répondent directement aux lois de la mécanique quantique. Leurs propriétés, comme la résistance électrique, ne varient plus de manière continue et monotone en fonction de la taille, comme dans les matériaux massifs, mais de façon abrupte et par sauts réguliers qui dépendent du nombre précis d'atomes dans le système.

Le matériau qui reçoit le plus d'attention actuellement est une nanostructure tubulaire, observée pour la première fois en 1991, et qui est constituée de carbone<sup>2</sup>. Ces nanotubes de carbone se présentent comme un fil creux dont le diamètre ne contient qu'une dizaine d'atomes arrangés régulièrement et dont la longueur peut atteindre un million de fois le diamètre (figure 1). La structure du nanotube n'est pas sans rappeler celle du C<sub>60</sub>, la molécule qui ressemble à un ballon de soccer. C'est le hasard qui a mené à la découverte de ces structures étonnantes, mais aujourd'hui, les chercheurs savent fabriquer des nanotubes de carbone en laboratoire, en pulvérisant du carbone à très haute température et en lui faisant subir ensuite une décompression et une chute de température



figure 1

Représentation en perspective de la structure de nanotubes de carbone dans laquelle nous considérons des déformations du type pliage.

brutales. Le matériau obtenu présente des propriétés très intéressantes. Par exemple, il est environ 100 fois plus rigide que l'acier. Ses propriétés électriques, quant à elles, dépendent de la géométrie du carbone dans le tube. Selon la position exacte des atomes de carbone, on peut ainsi obtenir un matériau conducteur, ou bien semi-conducteur. Les nanotubes de carbone sont à ce jour les seules substances connues à posséder cette étrange qualité.

En raison de leur faible taille et de leurs propriétés électriques variables, les nanotubes de carbone apparaissent comme le matériau idéal pour remplacer les conducteurs et les semi-conducteurs contenus dans les circuits intégrés actuels. Avec les nanotubes, on pourrait ainsi disposer plus de transistors sur un même circuit intégré et donc augmenter considérablement la puissance des puces utilisées dans les ordinateurs et les téléphones cellulaires. Il n'en fallait pas plus à l'industrie des circuits intégrés pour s'engager dans une course effrénée vers la construction de la première composante électronique à base de nanotube de carbone. Très récemment, le premier transistor moléculaire à base de nanotube de carbone semi-conducteur a été construit<sup>3</sup>. Cette solution de rechange à la miniaturisation des circuits intégrés — qui est sur le point

# Atomique

d'atteindre ses limites technologiques — constitue le début de l'ère des nanocircuits moléculaires.

L'intérêt pour les nanotubes de carbone n'a cessé de croître aussi bien pour de possibles applications en nanoélectronique que pour des études fondamentales en science des matériaux. Dans ces études, le microscope à effet tunnel (STM, Scanning Tunneling Microscope) se révèle l'un des outils les plus puissants pour caractériser ces nanostructures. En effet, cet instrument permet d'obtenir des images à l'échelle atomique de la surface des matériaux tout en étant utiles à d'autres égards. Dans cette technique de STM, on déplace une fine pointe, qui est effilée de façon que son extrémité soit constituée de quelques atomes seulement, au-dessus d'une surface sur laquelle sont déposées des espèces atomiques ou moléculaires. L'image de la structure (forme, texture, taille) du matériau est générée par l'entremise des électrons qui sautent de la pointe vers la molécule (ce qu'on nomme un courant tunnel), ce saut étant rendu possible par la courte distance qui les sépare. La pointe est sensible au changement de topologie de la surface sondée. Elle permet de distinguer la présence des espèces de surface des défauts de celle-ci. On met ainsi en évidence la structure des espèces de surface et, dans les meilleurs cas, leurs atomes, en balayant graduellement une zone donnée de la surface. L'utilisation de cette technique a, depuis, largement dépassé le stade de la simple visualisation, car la pointe permet aussi de déplacer des atomes sur la surface et de briser des liaisons entre atomes.

Dans le cas des nanotubes, le microscope STM permet de manipuler et de déformer les tubes tout en étudiant les processus de transport électrique à l'échelle moléculaire. À ce stade, on se retrouve réellement à cheval entre la théorie et l'expérience, là où la compréhension de l'un est le complément intime de l'autre. Parmi les nombreuses théories quantiques proposées pour expliquer le comportement électronique des nanotubes de carbone, plusieurs ont déjà été confirmées expérimentalement à l'aide de la microscopie STM. La première confirmation se rapporte à la différence



Dissociation d'une molécule d'oxygène adsorbée sur un cristal de silicium. L'image STM du haut montre la structure cristalline des atomes de Si en surface.

L'image du centre montre la présence d'oxygène (la zone plus foncée au centre de l'image).

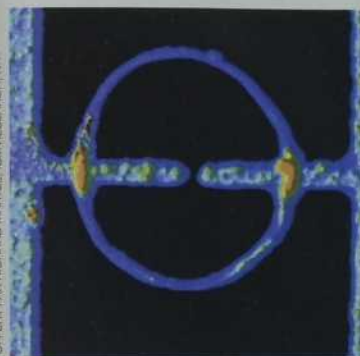
L'image du bas montre que la molécule d'O<sub>2</sub> a été dissociée (on voit un seul atome d'oxygène en blanc) à l'aide du courant tunnel de la pointe du STM.

entre les nanotubes conducteurs et les semi-conducteurs en fonction de leur structure. La seconde demeure encore partiellement ouverte et a trait au transport électrique : les nanotubes de carbone conducteurs sont considérés comme des fils infiniment longs qui conduisent parfaitement le courant électrique. Si les nanotubes sont de très bons conducteurs, on peut aisément imaginer la précision que l'on pourrait obtenir dans la construction d'un circuit intégré en remplaçant le filage actuel (en aluminium et plus récemment en cuivre) par ce matériau. Néanmoins, cette dernière possibilité peut être compromise car nous pensons que la conduction électrique est perturbée lorsque la structure du nanotube est déformée<sup>4</sup>. Bien que nous soyons encore loin d'une production en masse de ce type de transistors, leur développement ne saurait tarder.

La découverte de nouveaux matériaux tels que les nanotubes de carbone montre des formes de la matière absolument étonnantes et captivantes. Nous avons, à notre portée, tous les outils pour visualiser, manipuler et même modifier ces édifices atomiques. Ce contrôle sur la matière pourrait avoir de nombreuses retombées technologiques dans l'ensemble des domaines où la taille des matériaux joue un rôle crucial — par exemple, en microélectronique. Pour l'instant, nous avons réellement l'atome au bout des doigts... Reste à en maîtriser les forces. <

## Références

1. Pour avoir un aperçu de l'éventail des propositions nanotechnologiques, vous pouvez fureter dans les sites Internet suivants : <http://science.nas.nasa.gov/Groups/Nanotechnology> et <http://www.itri.loyola.edu/nanobase>
2. B.I. YAKOBSON, R.E. SMALLEY. « Des matériaux pour le troisième millénaire », *La Recherche*, n° 307, mars 1998, pages 50-56.
3. (a) S.J. TANS, A.R.M. VERSCHUEREN, C. DEKKER. « Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube », *Nature (London)*, vol. 393, 1998, pages 49-52. (b) R. MARTEL, T. SCHMIDT, H.R. SHEA, T. HERTEL, Ph. AVOURIS. « Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors », *Applied Physics Letters*, vol. 73, 1998, pages 2447-2449.
4. A. ROCHEFORT, D.R. SALAHUB, Ph. AVOURIS. « The effect of structural distortions on the electronic structure of carbon nanotubes », *Chemical Physics Letters*, vol. 297, 1998, pages 45-50.



Nano-anneau de carbone déposé sur des électrodes d'or.

Diamètre de l'anneau = 700 nm

Diamètre de la paroi de l'anneau = 30 nm

LA REVUE DE LA RECHERCHE

# INTERFACE

*Au-delà des apparences,*  
**la science**

*Pour vous aider à  
voir, comprendre et  
interroger le monde  
qui nous entoure*

**Le magazine de vulgarisation scientifique INTERFACE vous informe des recherches effectuées chez nous et vous fait réfléchir sur les enjeux de la science et de la technologie.**

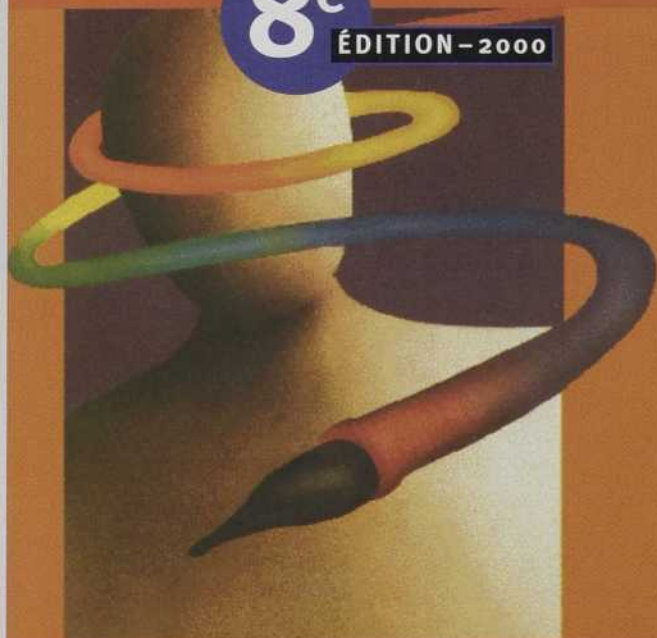
Cinq numéros par an + le Bottin de la recherche. Abonnement : étudiant 25\$ régulier 45\$  
Renseignements : Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas),  
tél. : (514) 849-0045 téléc. : (514) 849-5558 www.acfas.ca/interface Disponible en kiosque.



EAU D'ÉTANG GROSSIE 400 FOIS.

## Concours de vulgarisation Scientifique de l'Acfas

**8<sup>e</sup>**  
ÉDITION - 2000



**Date de clôture du concours : 1<sup>er</sup> février 2000**

### Pour qui ?

- Les étudiantes et étudiants universitaires des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles ;
- Les chercheuses et chercheurs des centres de recherche publics et privés ;
- Les professeurs et professeurs des cégeps et universités ainsi que toute autre personne faisant de la recherche dans ces établissements.

De plus, le concours est ouvert aux francophones du Canada résidant à l'extérieur du Québec ainsi qu'aux étudiants et travailleurs étrangers en séjour au Québec.

### Prix :

- Six prix de 2000 \$, ainsi que la publication des textes primés.

**Le Concours de vulgarisation scientifique de l'Acfas est l'occasion de rendre accessibles au grand public tous les domaines dans lesquels travaillent nos chercheuses et chercheurs, qu'il s'agisse d'histoire, de démographie, de nutrition, de biotechnologie, d'océanographie ou de sciences de l'environnement, etc.**

Un guide de vulgarisation scientifique peut être obtenu sur demande. Pour recevoir le formulaire d'inscription au concours et le guide de vulgarisation, s'adresser à :



Association canadienne-française  
pour l'avancement des sciences  
425, rue De La Gauchetière Est  
Montréal (Québec)  
H2L 2M7

Tél.: (514) 849-0045  
Téléc.: (514) 849-5558  
Courrier électronique : concours.v@afas

### Comment participer ?

- Soumettre un article traitant de son sujet de recherche. Cet article doit comporter un maximum de cinq feuillets à interligne double. Joindre un bref curriculum vitae.
- La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique, le souci de vulgarisation et l'originalité du traitement seront les critères de base retenus par le jury pour la sélection des gagnantes et gagnants.