

Eurêka! 1997

Les chercheuses et chercheurs écrivent pour nous

Les **cinq** meilleurs
articles de la **5^e** édition
du concours de
vulgarisation scientifique
de l'Association
canadienne-française pour
l'avancement des sciences
[Acfas]



- L'escargot, le meilleur ami du neurobiologiste!
- Quand la chimie joue au hasard
- L'étrange sommeil de l'ourse ➤ L'avènement du pouvoir gris
➤ Une vie marginale dans les abysses

INTERFACE

LA REVUE DE LA RECHERCHE

Au-delà des apparences,
la science

LE MAGAZINE DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE INTERFACE VOUS INFORME DES RECHERCHES EFFECTUÉES AU QUÉBEC ET VOUS FAIT RÉFLÉCHIR SUR LES ENJEUX DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE.

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

Cinq numéros par an + le Bottin de la recherche. Abonnement: étudiant 18\$ régulier 36\$
Renseignements: Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas),
téléphone: (514) 849-0045 télécopieur: (514) 849-5558. <http://www.acfas.ca/interface/>

Disponible en kiosque.



EAU D'ÉTANG GROSSIE 400 FOIS.

Concours de vulgarisation Scientifique de l'Acfas

6^e

ÉDITION - 1998

Date de clôture du concours: 2 février 1998

Pour qui?

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

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\$ répartis dans les trois catégories de participantes et participants, 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

Télex: (514) 849-5558

Courriel électronique: concours.v-s@acfas.ca

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.

Projet réalisé avec l'aide financière du ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie du Québec

Eurêka! 1997

Lauréats

Le Concours de vulgarisation scientifique organisé par l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas) avec l'aide financière du ministère de l'Industrie, du Commerce, 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 cinquième 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. Exceptionnellement cette année, une mention spéciale a été attribuée, en plus du prix, à Stéphanie Ratté pour son texte: «L'escargot, le meilleur ami du neurobiologiste».

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

Jury du concours

VALÉRIE BORDE | journaliste pigiste

LOUISE BOUCHARD | chercheuse au Groupe de recherche sur les aspects sociaux de la santé et de la prévention, à l'Université de Montréal

JEAN-MARC CARPENTIER | président des Communications JMC inc.

ÉTIENNE DENIS | journaliste pigiste et président de l'Association des communicateurs scientifiques du Québec

GILLES PROVOST | journaliste à Radio-Canada, émission «Découverte»

ARTURO SANGALLI | professeur au Département de mathématiques du Champlain Regional College

ELVIRE VAUCHER | chercheuse postdoctorale au Centre de recherche en neuroscience de l'Hôpital général de Montréal

Stéphanie Ratté est étudiante en quatrième année de doctorat, au sein du Département de biologie de l'Université McGill. Après avoir obtenu un baccalauréat orienté en neurobiologie, elle débute ses travaux de recherche dans le laboratoire du Dr Ronald Chase, de l'Université McGill, où elle s'intéresse à l'étude des systèmes, des circuits et des caractéristiques cellulaires qui sont responsables de la perception sensorielle.

L'escargot, le meilleur ami du neurobiologiste!

Après des études à l'Université de Sherbrooke, **Dennis Hall** est maintenant chercheur post-doctoral au Département de chimie de l'Université de Californie à Berkeley, où il s'intéresse aux anticorps catalyseurs et à la chimie combinatoire en phase solide. Détenteur d'un doctorat spécialisé dans la stratégie de synthèse de produits naturels, Dennis Hall a participé à plusieurs groupes de recherches dans des entreprises pharmaceutiques telles que E.I. Dupont de Nemours and Co. et Bio-Méga.

Quand la chimie joue au hasard

Claude Samson est professeur. Il enseigne au Département de biologie et des sciences de la santé à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), ainsi qu'au Département de biologie de l'Université Laval. Détenteur d'un doctorat en biologie de l'Université Laval, Claude Samson a orienté ses travaux de recherche vers l'écologie et l'aménagement des grands mammifères dans les aires protégées. Sa spécialité: l'ours noir. Il élabore actuellement un stage post-doctoral à l'UQAR dont l'objectif est de développer des normes d'aménagement de l'habitat de l'ours noir.

L'étrange sommeil de l'ourse

Démographe spécialisé dans l'observation du vieillissement des populations, **Laurent Martel** est diplômé de l'Université de Montréal et de l'Institut d'études politiques de Paris. Membre du Groupe de recherche sur la démographie québécoise, il collabore également avec l'Institut national d'études démographiques de Paris. Après un séjour aux Nations Unies, à Genève, il travaille maintenant à Statistique Canada.

L'avènement du pouvoir gris

Étudiante au doctorat en sciences de l'environnement à l'Université du Québec à Montréal, **Jozée Sarrazin** est une jeune femme fascinée par les fonds abyssaux. Elle débute des études en biologie avant de s'engager dans le domaine de l'océanographie. Elle observe alors les communautés hydrothermales qui vivent dans les édifices de sulfure de la ride de Juan de Fuca, située dans le nord-ouest de l'océan Pacifique. Très tôt, elle participe à des opérations sous-marines et, à deux reprises, en 1994 et 1995, elle plonge à bord du sous-marin Alvin, à plus de 2000 mètres de profondeur pour étudier ces fonds marins du Pacifique peu connus.

Une vie marginale dans les abysses

Cet encart a été réalisé par :



Association canadienne-française
pour l'avancement des sciences
425, rue De La Gauchetière Est
Montréal (Québec)
H2L 2M7
TEL: (514) 849-0045
TÉLÉ: (514) 849-5556
acfas@acfas.ca

■ Coordination: Sophie Malavoy ■ Révision journalistique: Étienne Denis
■ Révision linguistique: Colette Tougas ■ Graphisme: Dominique Mousseau
L'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences est un regroupement pluridisciplinaire de scientifiques de tous les milieux.

Produit avec l'aide financière du ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie du Québec

L'escargot, le meilleur

Stéphanie Ratté



Les thèmes des recherches scientifiques semblent souvent énigmatiques, étranges et même, plutôt farfelus...

Comment, par exemple, pourrait-on vouloir consacrer tous ses efforts à la compréhension du cerveau de l'escargot? Qui pourrait être assez fou pour étudier le centre nerveux responsable de l'odorat chez ce mollusque? C'est pourtant un projet de recherche auquel je me consacre avec beaucoup de passion depuis plusieurs années déjà!

Il est quand même assez rassurant de pouvoir constater qu'un bon nombre de scientifiques partagent mon intérêt pour le système nerveux des escargots. En effet, et aussi surprenant que cela puisse être, il existe même à Montréal un *Groupe de Neurobiologie des Invertébrés* qui rassemble des chercheurs se dévouant tout comme moi à l'étude de la cervelle de ces petites bêtes lambines mais sympathiques. On sait d'ailleurs que Montréal constitue un des centres internationaux en neurosciences avec ses quatre universités, son Institut de Neurologie et son tout nouveau Centre de recherches en sciences neurologiques de l'Université de Montréal. Or, il se trouve qu'une bonne partie des recherches en ce domaine sont consacrées aux invertébrés. Mais d'où diable vient donc l'intérêt que portent les neurobiologistes à ces bestioles gluantes? Même si l'on sait que les scientifiques sont parfois bizarres, ceci nécessite quand même quelques petites explications...

De la cervelle du mollusque au super-ordinateur

Depuis quelques décennies déjà, la neurobiologie connaît un essor fulgurant et ce, à juste titre: y a-t-il quelque chose de plus important que de comprendre les mécanismes qui nous permettent d'entrer en rapport avec notre environnement, de sentir, de se mouvoir, d'apprendre, de se souvenir, de reconnaître? Le système

nerveux humain, composé principalement du cerveau, de la moelle épinière et d'un réseau de nerfs reliant le tout aux systèmes sensoriels et musculaires, est au cœur de toutes ces opérations dont la neurobiologie constitue l'étude. Il s'agit donc d'en arriver à « se connaître soi-même », selon le célèbre adage de Socrate.

Mais comment procèdent donc les scientifiques pour étudier le fonctionnement du système nerveux? Certains clichés nous viennent immédiatement en tête: les cerveaux de Einstein et de Lord Byron conservés dans le formol, les électrochocs, le docteur Frankenstein, et quoi encore! En fait, grâce à de nouvelles techniques (par exemple, la microscopie électronique, l'électrophysiologie, les différentes techniques de visionnement de l'activité cérébrale, les « scanners » et l'imagerie par résonance magnétique), le cerveau, qui jusqu'à récemment demeurait rétif à l'observation, commence tout juste à se laisser approcher.

Pourtant, celui qui s'engage sur cette voie de recherche doit faire face à des obstacles qui peuvent sembler insurmontables à première vue. En effet, outre le problème éthique, qui limite l'observation directe sur des sujets humains vivants, le véritable écueil auquel font face ceux qui désirent comprendre notre cerveau, est la complexité monstre du système nerveux humain. Avec ses milliards de cellules enchevêtrées, le cerveau, qu'on désigne souvent par le terme de « super-ordinateur », est propre à inspirer à quiconque tente de l'étudier un effroi compréhensible. Même les plus braves pourraient vouloir rebrousser chemin! Comment doit-on s'y prendre pour étudier un super-ordinateur?

Dans sa recherche d'un moyen d'approcher la machine incroyablement complexe qu'est le cerveau, le chercheur a finalement trouvé de précieux alliés dans les organismes plus simples tels que la sangsue et l'escargot. Bien qu'il faille admettre que notre ressemblance avec les gastéropodes soit très mince (saviez-vous que « gastéropode » veut dire « qui marchent

sur l'estomac »? ouch!), ces petites bêtes possèdent quand même plusieurs caractéristiques tout à fait similaires aux nôtres. En effet, ces organismes doivent, tout comme nous, prendre conscience de leur environnement, différencier, reconnaître et intégrer l'information qu'ils y puisent, pour ensuite être en mesure de réagir d'une manière appropriée à leurs besoins et à leur survie. De plus, lorsqu'il s'agit d'observer les neurones de près (c'est ainsi qu'on désigne les cellules nerveuses), celles de l'escargot sont à plusieurs égards indifférenciables de celles de l'humain! En fait, elles jouent chez l'humain comme chez l'escargot exactement le même rôle, c'est-à-dire celui d'intermédiaire entre le monde extérieur et la perception qu'on peut en avoir.

On imagine bien, pourtant, que la perception du monde d'un escargot (aussi fort que soit son Q.I.!) est infiniment plus simple que celle de n'importe quel humain d'intelligence moyenne... Elle semble en effet se limiter la plupart du temps à se demander: « où est la carotte? » Il y a donc lieu de supposer que la simplicité de leurs circuits neuronaux est tout à fait adaptée à la modestie de leur but dans la vie. Eh bien! C'est justement pour cette raison que les invertébrés se révèlent être des alliés de recherche particulièrement appréciés. Les scientifiques ont de très bonnes raisons de croire que la compréhension de systèmes peu complexes tels que ceux-ci peut permettre d'extraire des principes qui, par la suite, s'avèrent d'une grande utilité pour comprendre des systèmes plus compliqués tels que ceux qu'on retrouve chez les mammifères. Ressemblant à maints égards à un réseau urbain composé de routes, de carrefours, de centres d'activités et d'échanges, on peut dire en simplifiant que le système nerveux de l'escargot est au cerveau humain ce que, par exemple, le village de Saint-Isidore est à Tokyo; mieux vaut apprendre à s'orienter dans le premier avant de se lancer à la conquête du second! De plus, le cerveau de l'escargot, pas plus gros qu'une tête d'épingle,

ami du neurobiologiste

possède l'avantage insigne de tenir tout entier sous la lentille du microscope, ce qui, bien entendu, s'avère impossible dans le cas du cerveau humain.

Pas si bête que ça, quand même!

Mais il ne faudrait surtout pas sous-estimer les capacités de nos amis les invertébrés, qui se sont déjà révélés d'une utilité incomparable dans la recherche sur des processus aussi nobles que la mémoire et l'apprentissage. C'est par exemple à l'aide de l'escargot marin *Aplysia californica* que les scientifiques ont pu faire des découvertes qui ont bouleversé nos idées en ce qui concerne la mémoire. Avant ces recherches, toutes sortes de théories scientifiques complexes et abstraites pullulaient sur la nature de la mémoire. On pensait entre autres qu'elle pouvait être due à des «vagues» d'activité cérébrale non localisables. Les opinions communes la voyaient pour leur part comme un «stockage d'information», alors que les philosophes décrivaient parfois nos souvenirs comme des sensations venant en quelque sorte «s'imprimer» dans notre esprit comme un sceau que l'on presse sur une tablette de cire. Mais grâce aux observations faites sur l'escargot marin, nous savons maintenant que toutes ces hypothèses sont erronées. Ces recherches nous ont révélé que la mémoire consiste en fait en une somme de transformations se produisant à la synapse, c'est-à-dire à l'endroit, sur une neurone, qui la met en contact avec d'autres neurones, son point de jonction, en quelque sorte. Chez l'escargot autant que chez l'humain, la mémoire consiste en une transformation des connexions entre les neurones, certaines synapses étant créées et fortifiées, alors que d'autres sont affaiblies ou encore éliminées. Il s'agit en quelque



PHOTO: CATHY LEVESQUE

sorte d'un entretien et d'une création de jonctions entre diverses routes... Nous devons donc une fière chandelle à l'escargot, sans l'aide duquel nous n'aurions peut-être encore aucune idée juste de ce qu'est la mémoire!

Mais les attraits que possède le gastéropode pour le neurobiologiste n'en restent pas là. L'escargot se révèle aussi être un modèle privilégié pour l'étude des processus de reconnaissance et de perception sensorielle. On voit que mon sujet d'étude, portant sur l'olfaction chez l'escargot, n'était finalement peut-être pas aussi farfelu qu'il n'en avait l'air au début! Reste à savoir pourquoi j'ai choisi, comme plusieurs autres chercheurs, de me consacrer précisément à l'olfaction, ce sens que l'on considère habituellement comme le moins important. Certains d'entre vous ne se doutaient peut-être même pas que l'escargot avait un nez! Là encore quelques petites explications s'imposent...

L'escargot, un fin nez!

Laissons tomber notre perspective anthropocentrique et voyons (ou plutôt «sentons»!) un peu les choses du point de vue (oups! du point de l'odorat...) des animaux. Il faut d'abord comprendre que pour la plupart d'entre eux, le monde est constitué principalement d'odeurs: l'odeur de la nourriture à chercher, l'odeur du partenaire à trouver, l'odeur de l'ennemi qui approche, l'odeur familière du territoire à protéger... Privés de ce sens, plusieurs animaux n'auraient que très peu de chances de survie. Chez l'escargot, ce sens s'est si bien développé qu'il constitue son seul moyen, néanmoins très efficace, de détecter les choses à distance. L'escargot terrestre *Helix aspersa* par exemple ne voit, ni n'entend, mais il sent! Au bout de ce qu'on appelle communément ses «antennes» (et qui sont plutôt des tentacules), se trouvent deux «nez» (le charabia scientifique les désigne sous le terme d'épithéliums olfactifs). Simplement en balançant

ses tentacules pour détecter les odeurs qui l'entourent, l'escargot peut repérer votre jardin à plus d'une centaine de mètres!

Vous l'aurez deviné, c'est précisément la présence presque exclusive de ce sens, doublée d'une grande acuité, qui font du système olfactif de l'escargot un modèle tout indiqué pour qui s'intéresse à l'étude de la perception sensorielle en relation avec l'activité du système nerveux.

Dans le cerveau de l'escargot, la région équivalente au bulbe olfactif des humains,

c'est-à-dire la région cérébrale responsable de l'odorat, est désignée par le terme de *procerebrum*. L'avantage pour le chercheur qui étudie le *procerebrum* est que cet ensemble de neurones est, comme la plupart des autres éléments du système nerveux de l'escargot, aisément identifiable, et facile d'accès pour l'étude au microscope. Aussi, la vision et l'ouïe étant absentes chez notre gastéropode, la tâche du chercheur s'en trouve facilitée. Car alors que l'information venant des autres sens pourrait compliquer

le circuit responsable de l'olfaction, il est moins probable que cela se produise dans le cerveau de l'escargot, puisqu'il y a seulement deux autres sens: le toucher et le goût. Paradoxalement, c'est donc cette relative pauvreté du système nerveux des mollusques qui présente pour le scientifique un atout d'une valeur incomparable. Car si nous voulons nous y retrouver un jour dans la complexité du cerveau humain, nous devons d'abord être capables de saisir ce qui se produit dans la petite tête de

Quand la chimie joue au

Dennis Hall



Révoque l'époque où les composés chimiques ne pouvaient être fabriqués et analysés qu'un seul

à la fois! Les chimistes développent maintenant des méthodes pour synthétiser et évaluer simultanément des millions de combinaisons de composés différents. Ils augmentent ainsi leurs chances de découvrir des super-molécules plus rapidement et en moins d'efforts. Cette nouvelle approche, appelée chimie combinatoire, pourrait même accélérer le processus par lequel sont découverts les nouveaux médicaments. Elle a pourtant recours à un phénomène qu'on essaie habituellement d'éliminer des laboratoires: le hasard!

Il faut réaliser qu'il existe au-delà de 10^{200} (le chiffre 1 suivi de 200 zéros) possibilités de petites molécules organiques composées de carbone. Seulement une infime portion de ces molécules ont été isolées de sources naturelles ou fabriquées par synthèse classique, c'est-à-dire un composé à la fois. Or, chacune de ces molécules inconnues est susceptible de posséder des propriétés biologiques extraordinaires, telles qu'une action antibiotique ou antitumorale, et d'être utile en chimiothérapie.

Malheureusement, il est très ardu de prédire de façon rationnelle quelles molécules seront les plus intéressantes.

(Sinon, nous les synthétiserions directement, sans nous poser trop de questions!) C'est pourquoi les entreprises pharmaceutiques synthétisent et évaluent par essai et erreur le potentiel thérapeutique d'un grand nombre de nouveaux composés afin de dénicher les plus prometteurs pour développer un médicament. En moyenne 100 000 composés devront ainsi être synthétisés afin qu'un seul remplisse tous les critères rigoureux et soit approuvé comme médicament à la suite d'une dizaine d'années d'études cliniques.

Le hic, c'est que la chimie est l'étape lente de ce processus. Même un chimiste expérimenté ne peut fabriquer et purifier plus d'une dizaine de composés par semaine. On peut donc calculer l'équivalent du travail d'un seul chimiste pendant au moins une centaine d'années avant qu'un composé aboutisse à l'intérieur d'un comprimé pour soulager un malaise quelconque. L'investissement requis est énorme, soit en moyenne plus de 300 millions de dollars, et justifie une facture parfois très élevée pour le patient. Le défi des chimistes consiste donc à trouver des méthodes à coût abordable pour synthétiser et évaluer beaucoup plus de composés à la fois. Ce tour de force, notre système immunitaire le réalise tous les jours...

Une leçon du système immunitaire

Combien de fois entendons-nous l'expression «avoir de bons anticorps»? Un «bon» anticorps se démarque par son habileté à s'associer avec un corps étranger, une molécule que les scientifiques appelleront «antigène». Une protéine à la surface de la cellule d'une bactérie est un exemple d'antigène. Ce processus de reconnaissance moléculaire, à la base du système de défense immunitaire, mène ultimement à la destruction de la bactérie. Or notre système immunitaire utilise une approche à la fois simple et complexe pour réaliser cette tâche. Il ne planifie pas de construire spécifiquement un anticorps pour chaque antigène possible. Il fabrique plutôt des molécules d'anticorps en vrac, dans une quantité et une variété telles qu'au moins un d'entre eux s'associera avec l'antigène.

De fait, les anticorps sont de longues chaînes constituées d'acides aminés assemblés les uns à la suite des autres. Comme chacun de ces acides aminés est choisi parmi les 20 acides aminés existants dans la nature, les possibilités sont très nombreuses: environ mille millions d'anticorps différents! Notre système immunitaire ne dresse pas une liste les couvrant tous, mais les fabrique plutôt au hasard, en permutant

l'escargot lorsqu'il se dirige tranquillement vers votre jardin, ayant enfin repéré la carotte tant désirée.

Et pour ceux qui, moins épris d'idéal scientifique, ne seraient pas encore convaincus de l'intérêt que présente l'étude de l'olfaction chez l'escargot, on peut toujours évoquer l'argument ultime, c'est-à-dire celui des possibilités d'application pratique. En effet, plusieurs chercheurs travaillent, depuis peu, à la fabrication d'un « nez artificiel », dont un des modèles pourrait être le

procerebrum de l'escargot. Cet appareil serait d'une utilité incomparable pour repérer par exemple les sources de pollution dans l'environnement, très souvent imperceptibles et indétectables pour notre pauvre nez humain. Qui sait, dans un monde moderne où les produits toxiques menacent notre santé sans que nous nous en doutions, l'odorat est peut-être appelé à devenir un sens essentiel pour notre propre survie autant qu'il l'est pour celle de l'escargot? ■

Références

- CASTELLUCCI, V. et TRUDEAU, L.-E., « Quelques secrets de la mémoire révélés par un escargot marin », *Interface*, vol. 14, n° 5, 1993, p. 27-36.
- CHASE, R., « Lessons from Snail Tentacles », *Chemical Senses*, vol. 11, n° 4, 1986, p. 411-426.
- KANDEL, E.R., *Cellular Basis of Behavior*, San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1976, 727 pages.



hasard

DE NOUVELLES TECHNIQUES ET INSTRUMENTS POUR LA CHIMIE COMBINATOIRE SONT CONSTAMMENT DÉVELOPPÉS. GRÂCE À EUX, LE CHIMISTE PEUT SYNTHÉTISER ET ÉVALUER PLUSIEURS COMPOSÉS SIMULTANÉMENT.

et en réarrangeant constamment les combinaisons d'acides aminés. Le système immunitaire agit un peu comme le joueur de loterie qui choisit chaque numéro au hasard, mais achète des millions et des millions de billets. Il sera sûr de gagner quelque chose à tout coup!

De fait, la machinerie de notre système immunitaire est encore plus raffinée. Elle possède un mécanisme permettant d'identifier la meilleure de millions de combinaisons, l'anticorps le plus efficace, pour ensuite le produire en grande quantité et ainsi éliminer l'antigène.

En s'inspirant du système immunitaire pour déjouer le hasard, est-il possible d'appliquer l'approche combinatoire à la chimie médicinale, et de fabriquer non pas un seul composé à la fois mais plutôt des millions de molécules différentes? En première analyse, rien ne s'y oppose. Il suffit de faire réagir une multitude de constituants et on produira assurément un mélange de

composés. Mais comment les évaluer simultanément et en sélectionner le plus prometteur en vue d'une propriété désirée? C'est qu'il est impossible de repêcher et d'identifier une seule molécule à partir d'un mélange complexe. Les molécules sont simplement trop petites. Il faut donc arriver à les synthétiser et à les tester sous une forme visible et manipulable à l'œil nu ou au microscope. Bref, un problème de taille...

La bonne vieille résine de Merrifield

Afin de détecter les molécules, des chimistes ont eu la simple idée de les synthétiser sur un support qui lui est visible: la résine de Merrifield. Cette technique de synthèse sur support solide fut développée par l'Américain Bruce Merrifield dans les années 1960. L'utilité de cette méthode dans la synthèse des peptides (des molécules constituées de chaînes d'acides aminés) lui valut le prix Nobel de chimie de 1984. L'idée consiste à utiliser des billes microscopiques sur

lesquelles on immobilise les composés à étudier. Toutes les molécules portées par une bille doivent être identiques. D'où l'expression « une bille, une molécule »! Pour étudier des milliers de composés, on fabrique des milliers de billes portant chacune plusieurs copies de son composé propre. D'accord, le composé est peut-être invisible, mais la bille qui le porte pourra éventuellement se voir au microscope!

Reste à trouver comment immobiliser des composés identiques sur une même bille, et de recommencer avec des milliers et des milliers de billes. Une stratégie commune consiste à utiliser la méthode « mélanger et rediviser », décrite pour la première fois par des chercheurs hongrois et australiens. Suivant cette stratégie, trois constituants de base (disons A, B et C) peuvent servir à synthétiser neuf composés dimériques: A-A, A-B, A-C, B-A... Les billes de résine sont initialement divisées en trois portions égales et insérées dans trois réac-

teurs contenant chacun l'un des trois constituants. Quand la réaction de couplage est terminée, on obtient trois types de billes portant plusieurs copies de A, de B ou de C. Le second cycle de couplage est repris de façon similaire avec les trois mêmes constituants de base: on récupère les billes, on les mélange à nouveau et on les replonge dans les réacteurs. Nous obtenons les billes portant les composés A-A, A-B, A-C, B-A, B-B, B-C, C-A, C-B et C-C.

Ce cycle combinatoire n'a rien de bien impressionnant, car seulement 9 composés différents furent fabriqués. Augmentez nombre de constituants de base différents, augmentez le nombre de cycles de couplage et la grosseur de la molécule finale, et le nombre de combinaisons possibles explose. Concrètement, avec 10 acides aminés comme constituants de base (appelons les A, B, C, D, E, F, G, H et I), et des molécules finales comportant chacune 6 de ces acides aminés (par exemple, A-G-G-B-A-D), nous obtenons 10^6 , ou 1 000 000, de combinaisons différentes d'hexapeptides... Imaginez donc qu'un chimiste peut arriver à synthétiser ce million de composés distincts, tous immobilisés

sur des billes de résine, en six cycles combinatoires, et ce, en moins de quelques semaines de travail! Certes une hausse de productivité à faire rêver le plus exigeant des patrons, n'est-ce pas?

Des collections de molécules

Le travail n'est cependant pas terminé. Pour découvrir un produit thérapeutique potentiel, ces billes et leur million de composés doivent être soumis à une sélection. On les incubera par exemple avec un récepteur biologique d'intérêt médical, comme la protéase du virus d'immuno-déficience humaine (VIH). Telle une clé dans une serrure, on espère qu'un des composés aura la forme et les caractéristiques chimiques pour s'associer à la protéase et, on l'espère encore, inhiber son action néfaste. Plus on a de composés, meilleures sont les chances de trouver un bon candidat pour fabriquer un médicament anti-sida.

Mais comment déterminer quel composé s'associe le plus fortement à la protéase? On fixe d'abord une molécule sonde fluorescente à la protéase. La protéase, ainsi devenue fluorescente, rendra les billes auxquelles elle se fixe elles aussi fluorescentes.

Ces billes se détacheront alors aisément avec un microscope spécial appelé microscope à fluorescence. Une fois repérées, les billes « gagnantes » sont retirées du mélange à l'aide de pinces microscopiques.

Pour continuer l'évaluation biologique de ces composés prometteurs et les synthétiser en grande quantité, il faut bien sûr les identifier, c'est-à-dire déterminer leur structure. Dans le cas de peptides par exemple, c'est la séquence des acides aminés qui doit être établie.

Identifier la séquence d'un petit peptide ou la structure d'autres molécules organiques est une pratique triviale si l'on bénéficie de quantités suffisantes. Cependant, la quantité obtenue après le détachement d'un composé à partir d'une seule bille de résine s'avère souvent insuffisante pour la plupart des techniques d'analyse. Heureusement, le chimiste peut avoir recours à des techniques d'analyse fragmentaire par spectroscopie de masse, qui lui permettra même de différencier « A-G-G-B-A-D » de « A-G-G-D-A-B », et ce, avec de très petits échantillons.

Certains chercheurs vont encore plus loin et s'attaquent à la synthèse de molécules

L'étrange sommeil de l'ourse

Claude Samson



En pointant l'antenne de mon récepteur radiotélé-métrique, j'annonce que la tanière n'est plus qu'à une dizaine de mètres devant nous. Robert

Loranger (alias Bob), garde au parc national de la Mauricie (P.N.L.M.), pointe un trou dans la neige au pied d'un gros bouleau jaune. Accompagné par Denis Masse, garde et biologiste au P.N.L.M., nous avançons en direction de la tanière d'une femelle ours noir surnommée Matawe. Elle a été baptisée ainsi par un amérindien de la réserve de la Restigouche qui nous accompagnait lorsque cette femelle fut capturée.

Matawe (prononcez « Ma-ta-wé ») signifie « femme-ours » en langage Micmac.

Matawe fait partie de la population d'ours du parc qui est étudiée depuis 1990 afin de comprendre, entre autres, comment une ourse arrive à mettre bas durant l'hiver. La reproduction des ourses est en effet assez remarquable: il y a un délai entre la fécondation et le début de la gestation, délai qu'on appelle l'implantation différée. Les ovules sont fécondés lors de l'accouplement en juin, mais après quelques divisions cellulaires, ils suspendent leur développe-

ment pendant cinq mois. En novembre, les ovules s'implantent dans la paroi de l'utérus et la gestation se poursuit durant environ 50 jours, jusqu'à la naissance de deux à quatre oursons roses et minuscules. Détail intéressant, chez la majorité des mammifères, incluant l'humain, le poids des nouveau-nés varie de 1 à 7% du poids de la mère. Cependant, les petits de l'ourse noir pèsent 350 grammes à la naissance, soit moins de 0,5% du poids d'une femelle.

Les conséquences d'un appétit vorace

Comment expliquer l'évolution de la petitesse des oursons nouveau-nés, de l'implantation différée et de la gestation hivernale chez la

bioactives non peptidiques, souvent beaucoup plus difficiles à construire sur des billes de résine. Ils montent des collections de ces molécules immobilisées sur support solide, ce qu'on appelle des «chimiothèques». On peut les entreposer et les utiliser à volonté pour d'autres tests.

Combine magique ou chimie irrationnelle?

Il ne fait aucun doute que la chimie combinatoire est en pleine expansion autant du côté industriel qu'universitaire. De tous azimuts on y développe de nouvelles réactions chimiques sur support solide, de nouvelles résines plus performantes, de meilleures techniques de décodage ou de robotisation, ou simplement de nouvelles chimiothèques.

Il est encore tôt pour juger de l'impact de la chimie combinatoire sur le coût et la cadence du développement de nouveaux médicaments. Par contre, des compagnies de biotechnologie s'en font déjà une spécialité dans l'espoir d'y effectuer de nouvelles percées. L'Institut Affymax, installé au cœur de Silicon Valley, a inventé une technique de micromasquage photochimique. Cette dernière permet de quadriller une minuscule

microplaque d'un cm² avec des milliers de composés différents encodés spatialement à la façon d'un échiquier. Un laboratoire de l'Université de Californie à Berkeley, dirigé par Peter Schultz, a même fabriqué une librairie de matériaux composites en vue de découvrir de nouvelles substances supra-conductrices. Le même groupe exploite aussi l'approche combinatoire du système immunitaire pour isoler des anticorps aux propriétés catalytiques, c'est-à-dire pouvant accélérer des réactions chimiques.

Les plus sceptiques clament qu'il ne s'agit que d'une approche irrationnelle, voire anti-scientifique. Les différentes molécules sont en effet issues du hasard des mélanges, ce qui semble se situer à des lieux de la méthode scientifique, imprégnée de rationalité. D'autres croient plutôt qu'il est tout à fait logique de développer des méthodes ingénieuses pour s'allier au hasard et exploiter le côté fortuit de toute démarche expérimentale.

Déjà plusieurs molécules aux propriétés intéressantes furent découvertes de cette façon. Certaines d'entre elles n'auraient jamais pu être mises à jour à l'aide d'approches rationnelles, qui peuvent être coûteuses et frustrantes. Sans être une

panacée, la chimie combinatoire est donc pour le moins une puissante technique complémentaire, un outil de plus sur lequel il faudra compter. Qui sait, si jamais vous avez le malheur de tomber gravement malade dans quelques années, votre médecin vous prescrira peut-être un super-médicament développé à l'aide d'une approche combinatoire. Ainsi, vous pourrez dire que la chance ne vous a pas complètement laissé tomber! ■

Pour en savoir plus

Chemical and Engineering News, 12 février 1996, p. 28-54.

HSIEH-WILSON, L.C., XIANG, X.-D. et SCHULTZ, P.G., *Accounts of Chemical Research*, vol. 29, 1996, p. 164, et autres articles de ce numéro spécial sur la chimie combinatoire.

Chemtracts, janvier-février 1995, p. 1-25, articles par ELLMAN, J.A.; PIRRUNG, M.C.; CZARNIK, A.W.; MITSCHER, L.A.

THOMPSON, L.A. et ELLMAN, J.A., *Chemical Reviews*, vol. 96, 1996, p. 555-600.

femelle de l'ours noir? Selon la théorie de la sélection naturelle de Darwin, le milieu où une espèce évolue impose des contraintes qui favorisent les individus portant des caractéristiques contribuant significativement à la survie et à la reproduction. Au même titre que la capacité des ours à passer l'hiver dans un état de torpeur, le cycle reproducteur inusité de la femelle serait une adaptation à l'abondance saisonnière de la nourriture dans les régions tempérées.

L'ancêtre commun de toutes les espèces de la famille des Ursidés était un petit carnivore de la taille d'un raton laveur appelé *Cephalogale*, qui vivait en Europe il y a environ 20 millions d'années. Dans les régions tempérées où cette espèce évoluait, les baies sauvages ainsi que les fruits durs comme les glands, les faînes (les fruits du hêtre) et les noisettes étaient très abondants quelques mois par année. À la fin de l'été et au début de l'automne, *Cephalogale* pouvait ainsi se gaver à volonté. Environ 10 millions d'années plus tard, une nouvelle espèce est apparue, soit *Ursus minimus*. Cette espèce pesait alors 50 kg. Elle aurait traversé l'Asie et le détroit de Béring, entre l'Alaska et la Russie, il y a environ 3,5 millions d'années.



L'ours noir d'Amérique serait apparu peu de temps après. Au cours des 20 millions d'années qui se sont écoulées depuis l'apparition de *Cephalogale*, les ours de grande taille auraient été favorisés par la sélection naturelle parce qu'ils ingurgitaient de grandes quantités de nourriture et transformaient cette manne en d'importantes réserves de graisse. L'ours noir nous montre à quel point il sait tirer profit de cette nourriture abondante: d'août à octobre, il passe jusqu'à 18 heures par jour à manger et peut doubler son poids en six ou huit semaines. À la fin de l'automne, les femelles peuvent facilement atteindre 100 kg et les mâles plus de 150 kg.

L'évolution d'une grande taille n'est toutefois pas sans conséquence. *Ursus minimus* ne pouvait probablement plus attraper de proies durant l'hiver parce qu'il s'enfonçait dans la neige. Il n'avait que des ramilles et des bourgeons à se mettre sous la dent, mais était dépourvu d'un tube digestif sophistiqué comme celui du cerf ou de l'orignal, nécessaire pour digérer cette nourriture pleine de fibres et de cellulose. Une solution était de rester inactif et d'utiliser la graisse accumulée. Les individus qui étaient léthargiques durant tout l'hiver survivaient alors plus facilement que les autres.

Dans cette lutte pour la survie en hiver, la situation des femelles était plus compliquée que celle des mâles. En effet, un mammifère a besoin de beaucoup d'énergie pour la gestation et l'allaitement. Chez le chat domestique par exemple, une femelle qui s'occupe de cinq chatons mange jusqu'à trois fois plus qu'à son habitude. Il était donc important pour une ourse de trouver beaucoup de nourriture pour subvenir aux besoins de ses petits. Cependant, l'abondance des fruits sauvages varie tellement d'une année à l'autre qu'il est impossible pour une femelle de connaître à l'avance la quantité de nourriture disponible. Mettre bas et allaiter des oursons durant l'été était doublement risqué. Premièrement, une femelle courait la chance de ne pas trouver assez de nourriture pour élever ses petits. Deuxièmement, elle risquait de se retrouver au début de l'hiver sans avoir accumulé assez de graisses pour sa propre survie. La sélection naturelle aurait alors favorisé les femelles ayant la capacité de retarder leur gestation après la période d'engraissement de l'été et de l'automne pour utiliser ces graisses à la fois pour survivre et donner naissance à des oursons.

Mais entreprendre une gestation durant le sommeil hivernal pose certains problèmes.

Chez les mammifères, les fœtus se développent en tirant leur énergie d'une forme particulière de sucre, le glucose, fourni par la mère durant la gestation. Or, il est difficile pour une femelle en gestation qui jeûne, comme une ourse durant l'hiver, de procurer beaucoup de glucose aux fœtus. Par contre, les nouveau-nés ont une grande capacité pour digérer les graisses. L'ourse accouche donc prématurément et la gestation se poursuit à l'extérieur de l'utérus. Les oursons, minuscules à la naissance, continuent leur croissance grâce au lait riche en gras de leur mère. La tanière agirait comme un utérus artificiel durant l'hiver et lorsque toute la famille émerge au printemps, les oursons ont alors atteint une taille équivalente à celle des nouveau-nés des autres mammifères.

Lynn Rogers, chercheur à la retraite autrefois associé au U.S. Forest Service au Minnesota, a émis l'hypothèse que les ourses disposeraient d'un mécanisme évaluant leurs réserves de graisse et empêchant l'implantation des embryons durant les années où l'énergie accumulée est insuffisante. Il existerait alors un poids minimal en deçà duquel il n'y aurait pas de mise bas, mais peu de chercheurs sont parvenus à le mesurer.

L'avènement du pouvo

Laurent Martel



Croître ou vieillir, toute population n'a d'autre choix. Le Québec, comme la plupart des nations industrialisées, a choisi

de vieillir. À l'horizon des plus récentes projections du Bureau de la statistique du Québec, les personnes âgées représenteront 27% de la population totale en 2041¹, soit plus d'une personne sur quatre, au lieu de 12% aujourd'hui. Dès 2021, les décès l'emporteront sur les naissances; après la désormais célèbre revanche des berceaux, ce sera la revanche des tombeaux! Si les comportements démographiques actuels persistent, seule l'immigration permettra alors de retarder la dépopulation de quelques années, sans toutefois pouvoir l'empêcher.

Conséquemment, certains alarmistes annoncent déjà la faillite de notre régime public de retraite, l'explosion des coûts dans le domaine de la santé, voire la guerre des générations! S'il faut prendre le vieillissement démographique au sérieux, rien ne justifie un aussi sombre portrait de l'avenir.

Par contre, il existe un autre corollaire à ce phénomène, moins connu et peu médiatisé, mais pourtant lourd de conséquences puisqu'il aura un impact sur les futurs choix sociaux du Québec: le vieillissement de son corps électoral.

D'une éphémocratie...²

À l'instar du vieillissement individuel, le vieillissement de l'ensemble de la population – et a fortiori de l'électorat – s'effectue lentement, insidieusement, mais inéluctablement en raison de ce que les démographes appellent l'inertie des phénomènes démographiques. Une fois ces derniers lancés, il devient très difficile d'inverser leur tendance à court et moyen termes.

Vieillesse individuelle et vieillissement collectif diffèrent cependant au plan des conséquences qu'ils entraînent. Or, l'adéquation reste fréquente et conduit à de mauvaises interprétations de l'évolution démographique actuelle, même de la part

Durant mon projet de doctorat, j'ai tenté de mesurer ce seuil de poids chez les ours du parc national de la Mauricie. À cette fin, 22 femelles ont été capturées et munies d'un collier-émetteur depuis 1990. Grâce à ces émetteurs, je pouvais alors, accompagné de deux gardes du parc, approcher ces femelles durant l'hiver.

Des visiteurs inattendus

Matawe a creusé sa tanière sous les racines d'un arbre. Les ours peuvent aussi installer leur quartier d'hiver sous une souche, un tronc couché ou dans le flanc d'une colline sablonneuse. Je me penche donc au-dessus de l'entrée de la tanière pour insérer une lampe de poche dans le trou d'aération. Je la vois bouger. Malgré nos précautions, la femelle semble donc consciente de notre présence. J'entends également des gémissements et je vois un petit museau rose qui apparaît à travers la fourrure noire de la femelle. Matawe a donc donné naissance à au moins un ourson.

Pendant que Bob dégage délicatement la neige de l'entrée de la tanière, Denis et moi préparons le matériel pour manipuler la femelle. Je fixe une seringue contenant un

anesthésiant au bout d'un bâton et je rampe jusqu'à l'entrée. Ma lampe de poche éclaire les parois couvertes de frimas et j'aperçois deux yeux reflétant le faisceau lumineux. Très à l'étroit dans sa tanière, la femelle est roulée en boule sur une litière de feuilles et de brindilles. Juste au-dessous de la tête de l'ourse, je remarque la petite forme tremblotante de l'ourson. Je dois injecter la drogue à la femelle. Je retiens mon souffle, car certains ours n'apprécient guère recevoir une piqûre. Heureusement, comme la plupart des autres ours, Matawe n'a que sursauté en recevant l'injection.

Une fois l'ourse bien endormie, Bob se glisse à l'intérieur de la tanière et retire non pas un mais quatre oursons que nous nous empressons d'emmitoufler dans des couvertures de laine dans un sac à dos. Nous sortons ensuite la femelle pour la peser.

Pour évaluer le seuil de poids nécessaire à la mise bas, nous devons visiter une première fois les femelles en décembre au début de la gestation. Nous retournons les visiter en mars pour vérifier si elles étaient accompagnées d'oursons. Lorsque nous avons rendu visite à Matawe quelques mois auparavant, elle pesait 117 kg. Onze semaines plus tard, la gestation, la mise bas

et l'allaitement de quatre oursons lui ont fait perdre 25 kg.

L'analyse des résultats obtenus a révélé qu'aucune femelle pesant moins de 60 kg n'avait mis bas, alors que toutes les femelles pesant plus de 72 kg s'étaient reproduites. Entre 60 et 72 kg, environ la moitié des femelles avaient eu des oursons. Il semble donc qu'une femelle ait de fortes chances de se reproduire si elle pèse au moins 72 kg en entrant dans son sommeil hivernal.

Après avoir examiné les oursons de Matawe, nous les avons remis dans la tanière avec leur mère encore anesthésiée. Âgés de six semaines au moment de notre visite, les oursons pèsent entre 1,5 et 2,5 kg.

Étudier d'aussi près des ours dans leur intimité hivernale est un rare privilège et j'en conserverai de merveilleux souvenirs toute ma vie. Âgée de neuf ans, Matawe en était à sa deuxième portée en quatre ans. Elle pourra, avec un peu de chance, vivre encore une dizaine d'années et donner naissance à deux ou trois autres portées. Qui sait si un jour vous avez l'occasion d'observer un ours dans le parc national de la Mauricie, il s'agira peut-être de Matawe ou de l'un de ses rejetons! ■

ent Oir. gris

de chercheurs confirmés³. Nous verrons que cette distinction devient fondamentale lorsqu'il s'agit d'étudier les répercussions du vieillissement de l'électorat. Mais d'abord, place aux faits...

Les jeunes âgés de 18 à 34 ans formaient, jusqu'à récemment, entre 40% et 45% de l'électorat alors qu'ils ne représentaient qu'environ 30% de la population totale (figure 1). Plus l'écart entre ces deux proportions est grand, plus la force poli-

tique du groupe d'âge en question devient importante par rapport à son poids dans la population totale. L'apogée, sur le plan de la jeunesse du corps électoral, se situe en 1976, au moment de la première accession

au pouvoir du Parti québécois: presque une personne sur deux en âge de voter était alors âgée entre 18 et 35 ans! Durant cette période, les jeunes jouissaient donc d'une formidable force politique qui se canalisa

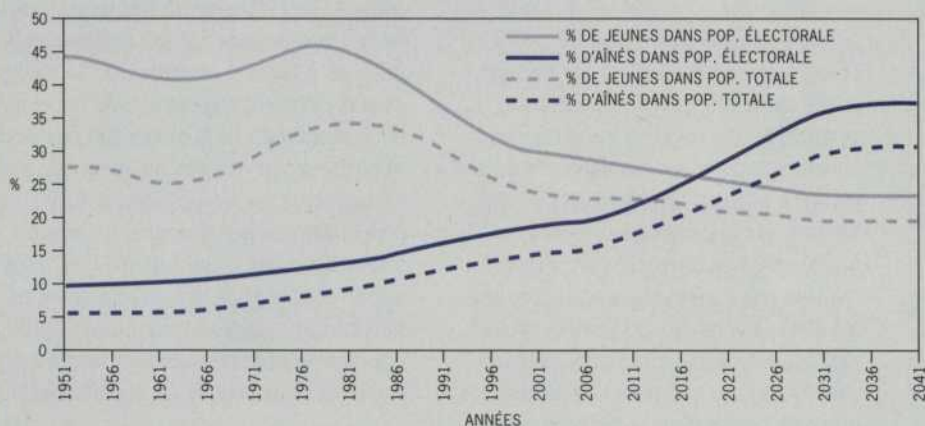


FIGURE 1

PROPORTIONS DE JEUNES (18-34 ANS) ET D'AÎNÉS (65 ET PLUS) AU SEIN DES POPULATIONS TOTALE ET ÉLECTORALE, QUÉBEC, 1951-2041

principalement dans le mouvement nationaliste de l'époque, puisque deux jeunes sur trois partageaient alors les convictions du parti dirigé par René Lévesque⁴.

Depuis 1981, l'écart entre la proportion de jeunes dans la population et la proportion de jeunes dans l'électorat se comble progressivement, suggérant que ce groupe d'âge perd rapidement non seulement son poids au sein de l'électorat, mais aussi l'avantage comparatif qu'il possédait jusqu'ici.

À partir de 2011, c'est la proportion de personnes âgées qui augmentera fortement, autant dans la population que dans l'électorat. Dix ans plus tard, une «passation de pouvoir» s'effectuera: pour la première fois de l'histoire, les personnes âgées disposeront de plus de votes que les jeunes. Le groupe des aînés sera alors de mieux en mieux représenté au sein de l'électorat par rapport à son poids dans la population totale.

En 2041, un peu plus de 32 électeurs sur 100 auront 65 ans ou davantage, au lieu de 16 sur 100 aujourd'hui. Les jeunes, quant à eux, seront passés durant la même période de 32 à 23 sur 100. Qui plus est, l'éviction progressive des jeunes de la population électorale sera exacerbée par le fait que de tout temps (et particulièrement récemment), leur taux de participation aux scrutins a été plus faible que celui des personnes âgées. Quelles seront les conséquences d'un tel renversement de situation au profit des plus vieux?

... vers une gérontocratie?

Les chercheurs demeurent, sur ce sujet, assez divisés: certains annoncent une véritable révolution grise qui entraînera la nation sur la voie de la dépopulation et de la décadence, rien de moins! D'autres se montrent plus réservés. Voyons les arguments avancés par les deux camps.

Selon une théorie bien connue des politologues comme des politiciens⁵, un parti, lors de votes à majorité simple comme c'est le cas au Québec, a tout avantage à proposer un programme politique qui se rapproche le plus possible des intérêts de l'électeur médian. En effet, celui-ci est en mesure d'imposer ses choix au reste de la population puisque de lui dépend le sens de la majorité. Or, l'âge de l'électeur médian québécois est à la hausse depuis 1981 et atteindra, en 2041, plus de 54 ans.

Certains chercheurs déduisent d'une telle évolution un basculement des choix sociaux en faveur des plus âgés, évinçant par le fait

même les jeunes et les familles de la scène politique. Selon eux, il est à prévoir que les élus voudront satisfaire les revendications des individus âgés, davantage soucieux de leur proche retraite et de conserver des services de soins de santé adéquats et suffisants que de stimuler la natalité ou la lutte au chômage. Les plus pessimistes annoncent la décadence, voire l'extinction du peuple québécois, une société vieillissante ne pouvant que vieillir davantage puisqu'elle se renouvelle forcément moins rapidement en «induisant des arbitrages politiques et budgétaires au profit des plus âgés et au détriment des plus jeunes et de leur fécondité», dit le chercheur P. Bourcier de Carbon⁶.

Si le risque de voir une majorité électorale gérontocratique émerger est limité puisque l'âge médian du corps électoral n'atteindra probablement jamais 65 ans, le pouvoir gris sera néanmoins une réalité de la société de demain⁷: les conseils d'administration, les assemblées représentatives ainsi que les détenteurs de capital seront nécessairement plus âgés. Enfin, il n'est pas impossible de voir surgir des lobbies gérontocratiques ou des groupes de pression luttant pour la défense des intérêts des plus âgés, comme c'est déjà le cas aux États-Unis et dans certains pays européens.

Mais d'autres démographes émettent des réserves importantes concernant le risque de voir émerger une gérontocratie. Tout d'abord, l'électeur médian demeurera toujours, même à l'horizon 2041, un actif. On suppose qu'il n'acceptera pas de voir son revenu trop amputé par des prélèvements destinés à financer les retraités. De même, ceux-ci devraient comprendre qu'ils dépendent, avant tout, de la production des actifs et qu'ils ne pourront pas peser au-delà d'un certain poids sur les travailleurs. Enfin, les plus optimistes pensent que les choix électoraux découlent d'une certaine idée de la justice sociale et de la solidarité entre les générations, suggérant alors qu'un équilibre équitable sera nécessairement trouvé entre jeunes et vieux pour limiter les inégalités.

La force, c'est le nombre

En établissant un parallèle entre vieillissement individuel et vieillissement collectif, on pourrait de toute façon croire que les aspirations politiques d'une société vieillie, même dans ses institutions démocratiques, seront teintées de conservatisme, d'un manque de dynamisme et d'une absence de volonté à innover. Ces attitudes sont en effet souvent associées aux personnes

âgées. Or, grâce à la démographie, il est dès aujourd'hui possible d'entrevoir les comportements — notamment politiques — des futurs vieux et de montrer qu'un tel raisonnement est très incomplet.

Pour ce faire, il faut d'abord changer d'approche et utiliser ce que les démographes appellent l'analyse longitudinale (ou analyse par cohorte) qui consiste à suivre, au cours du cycle de vie, les mêmes individus. Ce faisant, le vieillissement de l'électorat n'est plus considéré dans son ensemble mais plutôt comme un processus de renouvellement des cohortes⁸ qui viennent, tour à tour, remodeler le visage du corps électoral. L'utilisation de cette approche nous permet également de distinguer trois effets sur le comportement et les attitudes: l'effet d'âge, c'est-à-dire l'influence de l'avancée en âge des individus, l'effet de période, c'est-à-dire l'influence de l'époque dans laquelle ils évoluent, et l'effet de cohorte, c'est-à-dire l'influence de l'appartenance à une cohorte spécifique.

Dès lors, il devient facile de réaliser que notre première analyse du vieillissement de l'électorat nous cachait un détail important: la force politique des jeunes au cours des années 1970 était, en fait, celle d'une cohorte particulière, composée d'individus nés après la Seconde Guerre mondiale, lors du fameux baby-boom. En raison de leur grand nombre, les enfants de cette période déforment les courbes démographiques à mesure qu'ils vieillissent: jeunes de 1971 à 1986, et personnes âgées après 2011. S'il existera un «pouvoir gris» demain, tout comme il a existé un «pouvoir des jeunes» hier, celui-ci aura toujours été dans les mêmes mains, celles des baby-boomers (figure 2).

D'un point de vue strictement électoral, en atteignant 18 ans les baby-boomers ont rapidement dépassé la cohorte de leurs parents. Dès 1976, ils détenaient plus de votes! C'est encore une fois à cause des baby-boomers que l'âge médian de l'électorat rajeunit entre 1971 et 1981. Mais les baby-boomers ne s'effaceront pas à leur tour face à leurs enfants: trop nombreux, ils resteront la cohorte la mieux représentée au sein du corps électoral jusque en 2016. Cela suggère qu'ils seront en mesure d'influencer efficacement les choix sociaux en remplissant les urnes lors des prochaines consultations électorales.

Il faut remarquer à quel point la cohorte «X», constituée d'individus nés entre 1970 et 1989, est sous-représentée au sein de

l'électorat: son poids politique n'excédera jamais 35% au fond des urnes. Cette cohorte devra attendre 2021 — les individus lui appartenant seront alors âgés entre 32 et 51 ans! — pour espérer s'imposer face aux baby-boomers, alors devenus «papy-boomers».

En tenant compte de cette nouvelle vision du vieillissement du corps électoral, la question n'est plus de savoir si une société vieillie correspond à une société apathique et conservatrice, mais plutôt comment vieilliront les baby-boomers...

L'avenir de la souveraineté au Québec

Les baby-boomers ont déjà été affublés, dans les médias comme dans les ouvrages à caractère scientifique, de nombreux qualificatifs. Pour certains, ce serait une cohorte égoïste et profiteuse, sinon opportuniste; pour d'autres, elle représente le moteur des changements importants intervenus au Québec depuis la Révolution Tranquille. Quoi qu'il en soit, les chercheurs s'accordent pour attribuer aux baby-boomers québécois de forts effets de cohorte, car «toute modification de taille sortant de l'ordinaire est susceptible de laisser une empreinte, tant sur la cohorte que sur la société», écrit N.B. Ryder⁹. Mais comment influenceront-ils le Québec de demain? Prenons l'exemple de la souveraineté.

La plupart des baby-boomers étaient souverainistes durant leur jeunesse. Les sondages réalisés à l'occasion du dernier référendum montre que quinze ans plus tard, ils n'avaient pas changé d'opinion, bien au contraire. Cela n'est pas surprenant: de récentes recherches portant sur les loisirs domestiques, la retraite ou les habitudes de consommation ont montré que les individus vieillissent comme ils ont vécu, c'est-à-dire en conservant des attitudes et des comportements propres à la cohorte à laquelle ils appartiennent.

Conséquemment, nous pensons que les baby-boomers, tout en devenant des «papy-boomers», resteront fidèles à leurs convictions de jeunesse et continueront d'incarner la cohorte «révolutionnaire» qu'ils ont toujours constituée. D'un autre côté, la cohorte de leurs parents, majoritairement fédéralistes, aura disparu en 2031. L'effet conjugué d'un vote des jeunes traditionnellement favorables à l'indépendance du Québec et d'un vote des baby-boomers, certes âgés mais restés attachés à leurs convictions politiques de jeunesse, pourrait bien sourire à l'option du Parti québécois.

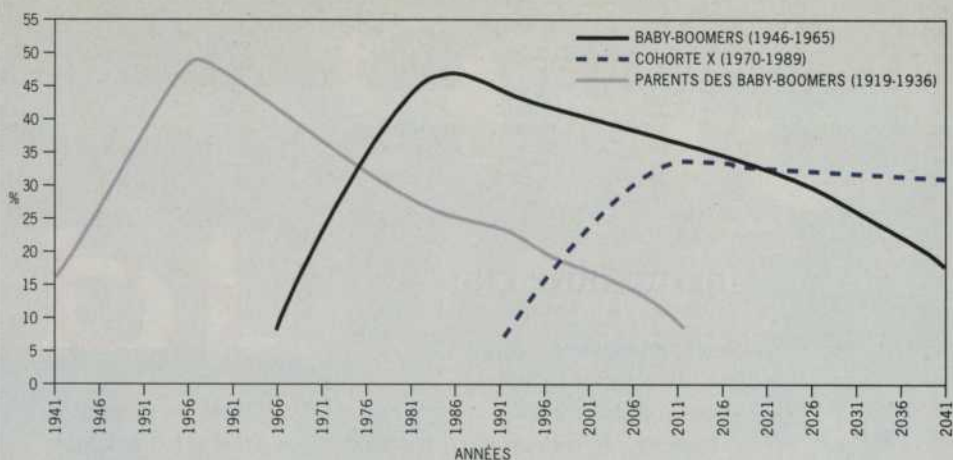


FIGURE 2

POIDS DE CERTAINES COHORTES AU SEIN DE L'ÉLECTORAT, QUÉBEC, 1951-2041

Bref, le vieillissement favoriserait le camp souverainiste!

Aujourd'hui plus que jamais, les enjeux de la société québécoise restent entre les mains des baby-boomers. De leurs attitudes, notamment envers les cohortes qui les suivent, de leur acuité aux problèmes qui se posent pour l'avenir de l'État-providence, dépend le passage sans heurts d'une société démographiquement jeune vers une société démographiquement vieille. Tout le mystère est là: resteront-ils fidèles à leurs idées de jeunesse ou seront-ils gagnés par un conservatisme incontrôlable... que d'autres appelleront un sain réalisme? ■

Notes

1. Selon le scénario A (moyen) élaboré par le BSQ et considéré comme le plus plausible compte tenu des tendances récentes. Il suppose une fécondité constante autour de 1,6 enfants par femme, une espérance de vie qui atteindrait, en 2041, 81,8 ans chez les hommes et 87,3 ans chez les femmes ainsi qu'un solde migratoire constant de 25 000 par année. Tous les résultats présentés dans cet article sont basés sur la réalisation de ce scénario. BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC, «Perspectives démographiques: Québec et régions 1991-2041 et MRC 1991-2016», Québec, Les Publications du Québec, 1996, 439 pages.
2. Le terme «éphébocratie», introduit par le sociologue français Gabriel Tarde, fait référence à un gouvernement dominé par les jeunes. Ainsi, il s'oppose à une «gérontocratie», ou gouvernement dominé par les personnes âgées.
3. Le dernier exemple en date nous est donné

par D.K. Foot dans son récent livre intitulé *Entre le boom et l'écho*, Éditions Boréal, 307 pages.

4. GUAY, L. et OUELLET, F., *Analyse générationnelle du comportement politique des Québécois 1960-1980*, Groupe de recherche sur les générations et les politiques, Québec, Université Laval, Série 3, n° 3, 1983, 160 pages et BLAIS, A. et NADEAU, R., «L'appui au Parti québécois: évolution de la clientèle de 1970 à 1981» dans CRETE, J., *Comportement électoral au Québec*, Chicoutimi, Gaëtan Morin éditeur, 1984, p. 279-318.
5. BLACK, D., «On the Rationale of Group Decision-Making», *Journal of Political Economy*, vol. 56, 1948, p. 23-34.
6. BOURCIER DE CARBON, P., «Population de la France: chronique d'une implosion annoncée», *Futuribles*, vol. 10, n° 10, 1995, p. 63-92.
7. Une étude américaine, réalisée il y a quelques années déjà, établissait un lien entre le vieillissement de la population et le basculement de l'effort social en faveur des personnes âgées. PRESTON, S., «Children and the Elderly: Divergent Paths for America's Dependents», *Demography*, vol. 21, n° 4, 1984, p. 435-457.
8. Le terme «cohorte» désigne, en démographie, une «entité définissant un ensemble d'individus qui connaîtront le même trajet historique». Le mot «génération» est utilisé exclusivement lorsque le point commun de ces individus est une année de naissance bien précise. Ainsi, le démographe parle de la «cohorte du baby-boom» et de la «génération 1950». PRESSART, R., «L'analyse par cohorte: origine et champ d'application», *Population*, vol. 36, n° 3, 1981, p. 634-640.
9. RYDER, N.B., «The Cohort as a Concept in the Study of Social Change», *American Sociological Review*, n° 30, 1965, p. 843-861.



Jozée Sarrazin

Pendant longtemps, les grands fonds océaniques situés à plus de 2000 mètres de profondeur furent considérés comme désertiques. Les rares organismes observés jusqu'alors étaient dispersés à plusieurs mètres de distance et se nourrissaient du peu de matière organique qui sédimente lentement de la surface. Mais en 1977, lors d'une expédition océanographique près des Galápagos, des chercheurs plongeant à bord du sous-marin américain Alvin ont découvert un environnement fascinant qui se démarquait nettement des fonds avoisinants. De véritables oasis dans les noirceurs abyssales! Partis recueillir des évidences qui appuieraient la théorie de la tectonique des plaques, ces géologues sont revenus avec des images qui ont bouleversé l'océanographie moderne et modifié notre vision de la vie. Une faune luxuriante se déployait dans des eaux moirées qui percolaient du plancher océanique. Des communautés bigarrées composées d'espèces uniques colonisaient de réelles industries chimiques: les sources hydrothermales sous-marines.

Lorsqu'une source se forme

Les sources hydrothermales sont des événements d'eau chaude, semblables aux geysers retrouvés sur terre, qui émergent à la surface des fonds marins dans des zones volcaniques actives appelées rides océaniques. L'activité sismique intense de ces régions entraîne la création d'anfractuosités dans la croûte océanique. L'eau de mer se fraie un passage à travers ces fissures et descend lentement dans un réseau de conduits bordés de roches volcaniques nouvellement formées. Lors de son parcours, l'eau se réchauffe et sa composition s'enrichit d'une multitude de métaux et de divers éléments chimiques qui, pour la faune que nous connaissons mieux, seraient hautement toxiques. Le fluide hydrothermal chaud, chargé notamment d'hydrogène sulfuré, de fer, de cadmium, de plomb et d'uranium, remonte à la surface du plancher océanique. Au contact

de l'eau de mer glaciale, les éléments qu'il transportait précipitent et forment des nuages de fumée. Cette pluie chimique est plus ou moins dense selon le degré de mélange du fluide avec l'eau de mer ambiante. Les sources de type « fumeurs noirs » dégagent d'épais panaches de fumée noire et rejettent des fluides dont la température peut frôler les 400°C! Cette précipitation lente des composés contenus dans les fluides entraîne progressivement la formation de cheminées hydrothermales, de véritables tours sous-marines qui peuvent atteindre la hauteur... d'un édifice de 15 étages! C'est sur ces immenses structures que se déploie une faune tout à fait unique.

Le secret caché des sources

Une question s'imposait aux premiers biologistes qui ont étudié ces environnements: comment ces milieux isolés arrivaient-ils à soutenir une faune luxuriante alors que les apports alimentaires des régions voisines étaient insuffisants pour permettre le développement d'une vie animale prospère? À cette profondeur, l'absence totale de lumière rend la photosynthèse impossible. Or, toutes les chaînes alimentaires connues jusqu'alors dépendaient de cette photosynthèse, alimentée par l'énergie solaire... Pour la première fois, les scientifiques rencontraient un système biologique indépendant du soleil pour sa survie! La découverte d'une abondante population bactérienne allait résoudre l'énigme. Au lieu d'utiliser l'énergie solaire par photosynthèse comme le font les végétaux, ces bactéries exploitent l'énergie géothermale qui émerge des sources par « chimiosynthèse »: elles utilisent les éléments chimiques fournis par les fluides chauds pour assurer leur croissance et leur survie. Les bactéries forment ainsi le premier maillon de la chaîne alimentaire de cet écosystème exubérant. Le broutage, la filtration ou les associations symbiotiques permettent aux autres organismes du milieu d'utiliser les bactéries comme source d'énergie.

Des crabes, des pieuvres, des poissons et d'autres prédateurs rôdent autour des sources actives, attirés par ces apports providentiels de nourriture.

De bien singulières créatures

Les espèces hydrothermales sont strictement inféodées à la présence de sources actives. Appartenant à de nouvelles familles taxonomiques, elles présentent des caractéristiques inusitées, comme des associations bactériennes, obligatoires ou facultatives. Ainsi, les insolites vestimentifères sont des vers polychètes totalement dépourvus de système digestif, de bouche et d'anus. Leur corps est essentiellement composé d'un trophosome, un sac où pullulent des bactéries. Le ver absorbe les molécules énergétiques par ses branchies et les transfère aux bactéries via son système sanguin. Les bactéries alimentent leur hôte en transformant ces composés chimiques inexploitablement en sucres assimilables pour le ver. D'autres espèces semblent littéralement cultiver des bactéries à la surface de leurs corps. Ce jardin vivant, dont elles sont recouvertes, leur fournirait des éléments nutritifs et les protégerait de la toxicité environnante. Autre particularité, les organismes hydrothermaux peuvent atteindre des tailles gigantesques. Ainsi, le ver *Riftia pachyptila* peut mesurer plus de deux mètres de longueur et des mollusques tels *Calyptogena magnifica* possèdent d'immenses coquilles (0,5 mètre de largeur). Ces tailles inhabituelles seraient liées à la très forte productivité nutritive du milieu. Les caractéristiques archaïques retrouvées chez plusieurs espèces laissent croire que ce milieu pourrait exister depuis fort longtemps. L'isolement de leur habitat aurait protégé la faune hydrothermale des grands cataclysmes terrestres.

Un environnement extrême à coloniser

Le milieu hydrothermal est alléchant pour les espèces abyssales puisque les bactéries y produisent une grande quantité de

Une vie marginale dans les

abysses

nourriture. Mais ne s'y aventure pas qui veut. Les fluides hydrothermaux sont fortement toxiques, et certaines molécules émises, comme l'hydrogène sulfuré (HS^-), sont dangereuses pour la respiration. Les espèces ont donc dû s'adapter à leur habitat hostile. Les vestimentifères possèdent une hémoglobine spéciale qui « désactive » en quelque sorte les propriétés toxiques des composés qu'ils assimilent pour se nourrir. Les vers palmiers (*Paralvinella palmiformis*) s'entourent de mucus qui aurait pour rôle d'emprisonner les éléments toxiques. De véritables bataillons d'enzymes situées sur le corps de plusieurs espèces neutralisent les éléments chimiques nocifs. En plus de posséder des mécanismes de protection hautement spécialisés, la plupart des organismes sont munis de boucliers qui prennent la forme de tubes, de cuticules, de carapaces ou de coquilles.

La toxicité de l'environnement et la chaleur intense délimitent la distribution des différentes espèces sur les cheminées actives. Les organismes vivants se retrouvent généralement dans des microenvironnements qui correspondent à un compromis entre leurs besoins nutritifs et leurs limites physiologiques. De plus, pour éviter l'extinction, les espèces doivent s'adapter rapidement aux fréquentes modifications de cet habitat précaire: une cheminée peut s'effondrer, des fumeurs peuvent apparaître ou disparaître, etc.

La vie sur une cheminée

Comment réagissent les espèces face à de telles intempéries? C'est justement l'évolution temporelle des communautés colonisant les structures hydrothermales actives qui intéresse notre équipe de recherche, dirigée par le Dr Juniper de l'Université du Québec à Montréal. Pour la première fois, une cheminée hydrothermale située à 2600 mètres au fond du Pacifique fut imagée pendant plusieurs années à l'aide de sous-marins. L'analyse consciencieuse des



LES VEDETTES DES SOURCES HYDROTHERMALES. LES VESTIMENTIFÈRES DU GENRE RIFTIA.

images vidéo a permis de noter que les perturbations naturelles du milieu ont entraîné des modifications majeures au niveau de la distribution spatiale des espèces. Ainsi, des migrations de vers furent observées quelques minutes après la création d'un nouvel événement hydrothermal. Alors que les espèces mobiles se déplaçaient rapidement vers les habitats favorables, les vestiges des espèces fixées jonchaient les environnements devenus hostiles. Nous avons aussi constaté que chaque type de flux favorise un assemblage distinct d'espèces. Les études en cours tentent de décrire les caractéristiques chimiques de ces flux afin de mieux définir l'habitat privilégié par les différentes espèces. En observant les espèces présentes, nous pourrions déduire les zones de température et de chimie qui prévalent sur une cheminée.

Vers de nouveaux horizons

La recherche en milieu marin profond est encore extrêmement limitée, non seulement par le développement de technologies et la disponibilité de l'équipement, mais aussi par son coût: jusqu'à 50 000\$ par jour pour les missions en mer. L'exploration de l'univers des sources hydrothermales sous-marines en est donc à ses premiers balbutiements. Cette recherche a pourtant déjà donné des résultats. En plus de nous révéler un patrimoine d'espèces uniques, la découverte des

sources hydrothermales a grandement contribué au développement de nouveaux produits dans l'industrie de l'agro-alimentaire. Elle a permis l'avancement de certaines recherches biomédicales en fournissant des enzymes capables de travailler à des températures extrêmes. De plus, les bouillons chimiques émis par les sources hydrothermales sous-marines stimulent les hypothèses sur l'origine de la vie... et sur une éventuelle vie extraterrestre! On pourrait en effet imaginer que les profondeurs des océans gelés d'autres planètes comportent elles aussi des cheminées actives, sur lesquelles se déploie une étrange faune, semblable à celles de nos sources hydrothermales. ■

Pour en savoir plus:

Le vidéo Oasis au fond des mers réalisé par C. WHITE, J. SARRAZIN et K. JUNIPER, Université du Québec à Montréal, Service de l'audio-visuel, 1995.

SARRAZIN J., ROBIGNOU V., JUNIPER K., et DELANEY J., *Biological and Geological Dynamics over Four Years on a High Temperature Sulfide Structure at the Juan de Fuca Ridge Hydrothermal Observatory*, sous presse: Marine Ecology Progress Series.

Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological, and Geological Interactions, HUMPHRIS S.E., ZIERENBERG R.A., MULLINEAUX L.S. et THOMSON R.E. (eds), Geophysical Monograph Series 91, Washington D.C., 1995, 466 pages.



Investir dans le savoir: parce que l'on récolte ce que l'on sème...

Approfondir nos connaissances dans tous les domaines, créer de nouveaux procédés révolutionnaires, mieux comprendre les enjeux de notre société et proposer des solutions originales à des problèmes : voilà les fruits des activités de recherche.

Pour récolter ces fruits au profit de la société québécoise, le Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (Fonds FCAR) investit

dans les meilleures activités de recherche qui lui sont proposées par les chercheurs universitaires et collégiaux de la province.

Le Fonds FCAR verse également des bourses de formation en recherche aux étudiants les plus méritants du Québec. Leur formation terminée, nos boursiers s'intègrent aux différents secteurs économiques et participent au positionnement du Québec sur la scène internationale.

Le Fonds FCAR est un organisme qui relève de la Ministre de l'Éducation du Québec. Il participe au financement des activités de recherche de près de 2500 chercheurs et de plus de 2000 étudiants.



FCAR

Fonds pour la Formation de
Chercheurs et l'Aide à la
Recherche