Été 2015 Vol. 24, nº 2

DIRE

LA REVUE DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

HISTOIRE

Le devoir accompli
de Pie XII

BIOLOGIE

Les observatoires fond
de mer : une lumière
dans la nuit abyssale

FICSUM
FONDS D'INVESTISSEMENT
DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

PAVILLON MARGUERITE-D'YOUVILLE
2375, CHEMIN DE LA CÔTE-SAINTE-CATHERINE, BUREAU 1125-7
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3T 1A8

DIRE

LA REVUE DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

DIRE

LA REVUE PAR ET POUR LES ÉTUDIANTS DES CYCLES SUPÉRIEURS

« LE FICSUM M'A FAIT **REMPORTER 1750 $** GRÂCE À MON TEXTE, CHOISI ARTICLE DE L'ANNÉE DANS *DIRE* ! »

— ALEJANDRO HERNANDEZ
ÉTUDIANT À LA MAÎTRISE EN GÉNIE BIOMÉDICAL

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

FICSUM.COM

FICSUM

FONDS D'INVESTISSEMENT
DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

PAVILLON MARGUERITE-D'YOUVILLE
2375, CHEMIN DE LA CÔTE-SAINTE-CATHERINE, BUREAU 1125-7
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3T 1A8

DIRE

LA REVUE DES CYCLES SUPÉRIEURS DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Fondée en 1992
La recherche à votre portée
Été 2015 vol. 24, nº 2

Directrice générale
Valérie Gauthier

Rédactrice en chef
Marie-Paule Primeau

Comité de lecture
François Dominic Laramée, Dominique Hétu, Axelle Marchand

Réviseure linguistique
Martine Senécal

Collaborateurs
David Allard, Antony Bertrand-Grenier, Roxane Gauthier-Dussart, Yann Lelièvre, Blandine Parchemal, Michaël Sabeh, Frédéric Zakhia

Graphiste
Dominique Lavoie

Correctrice d'épreuves
Émilie Pelletier

Imprimeur
Impart Litho

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

Conseil d'administration du FICSUM
Président : Pascal Grégoire
Vice-président : Alex Ferraz
Trésorière : Maud Laporte-Roy
Secrétaire : Blandine Parchemal
Administrateur : Olivier Jacques
Administratrice : Julie Bélanger (FAÉCUM)
Administrateur : Nicolas Bérubé (FAÉCUM)

ISSN 1192-9340
Dépôt légal 2e trimestre 2015
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
Envoi de publication canadienne nº 40013185
Dire publie 3 numéros par an

Tirage
2 600 exemplaires

Publicité
redaction@ficsum.com

Abonnement sur le site Web au www.ficsum.com

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

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

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

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

Photographies (sauf indication contraire) : Shutterstock©

MOT DE LA DIRECTRICE GÉNÉRALE DU FICSUM

Ça bouge au FICSUM!

Plus d'une vingtaine d'associations ont participé au Mois de la recherche étudiante, qui a eu lieu en mars. Des étudiants des cycles supérieurs de l'Université de Montréal y présentaient, en tant que conférenciers, leurs derniers résultats de recherche.

Un peu partout sur le campus, les étudiants ont pu assister aux différents colloques, et participer aux nombreuses conférences et tables rondes de pairs. La Faculté des études supérieures et postdoctorales a également remis 1 500 $ en prix aux personnes qui ont offert les meilleures présentations.

Surveillez les événements à venir, en visitant notre site Web (section « Nouvelles »), en aimant notre page Facebook et en suivant notre fil Twitter!

Valérie Gauthier
Directrice générale

MOT DE LA RÉDACTRICE EN CHEF

La revue *Dire* a connu tout un essor l'an dernier sous l'impulsion de ma prédécesseure, Émilie Pelletier. J'entends poursuivre le travail dans cette bonne voie et continuer à vous offrir une revue à votre image : intéressante et allumée.

Dans ce numéro, l'équipe de *Dire* vous propose d'ailleurs des sujets variés qui attiseront votre curiosité et votre soif d'apprendre. On peut se le dire sans ambages, lire *Dire*, c'est stimulant!

Ravie de me joindre à l'équipe de la revue, je souhaite que mon enthousiasme soit contagieux et qu'il vous incite à collaborer avec nous dès le prochain numéro. Avis donc à ceux et celles qui seraient tentés par l'aventure d'une publication : la prochaine date de tombée est le 21 août!

Soumettez-nous un article au www.ficsum.com/dire/soumettez/.

Marie-Paule Primeau
Rédactrice en chef

SOMMAIRE

HISTOIRE

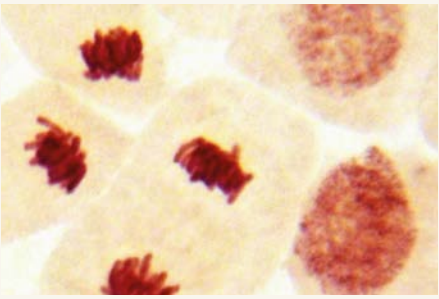
Le devoir accompli de Pie XII / **8**

FRÉDÉRIC ZAKHIA
Programme de maîtrise en histoire

Le témoignage historique des monnaies : l'exemple du règne d'Antonin le Pieux / **14**

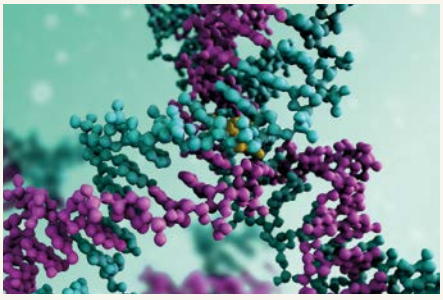
ROXANE GAUTHIER-DUSSART
Programme de doctorat en histoire

SANTÉ



Une nouvelle arme contre le cancer : l'immunothérapie / **22**

DAVID ALLARD
Programme de maîtrise en sciences pharmaceutiques



La révolution du séquençage de prochaine génération / **27**

MICHAËL SABEH
Programme de maîtrise en sciences biologiques

BIOLOGIE

Les observatoires fond de mer : une lumière dans la nuit abyssale / **32**

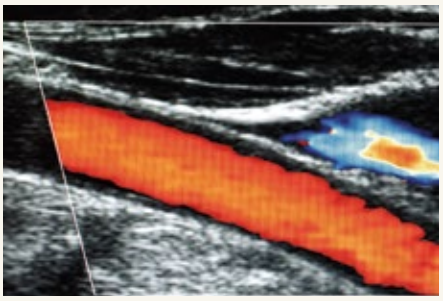
YANN LELIÈVRE
Programme de doctorat en sciences biologiques

SOCIÉTÉ

Pourquoi la formation générale aujourd'hui ? L'exemple de la fondation de l'Université de Berlin / **39**

BLANDINE PARCHEMAL
Programme de doctorat en philosophie

TECHNOLOGIE



L'élastographie : cartographier le corps humain / **45**

ANTONY BERTRAND-GRENIER
Programme de doctorat en physique médicale

LAURÉATS ET PERSONNALITÉS

Catherine Malboeuf-Hurtubise Plaidoyer pour le bonheur / **51**

MARIE-PAULE PRIMEAU
Rédactrice en chef

LE DEVOIR ACCOMPLI DE PIE XII

FRÉDÉRIC ZAKHIA
Programme de maîtrise en histoire

Des écrivains et penseurs juifs accusent le pape Pie XII (1939-1958) depuis les années 1960 de « silence » face à la Shoah et d'avoir abandonné les Juifs durant la Seconde Guerre mondiale. Cependant, l'analyse d'événements restés dans l'ombre et les témoignages de Juifs d'Italie montrent que Pie XII a eu une attitude de défenseur de ce peuple au même titre que des catholiques, et que son « silence » découle de sa politique de prudence plutôt que de sa complicité.

Des phénomènes curieux accompagnent la carrière des différents papes au cours de l'histoire. Les catholiques y verraient peut-être un phénomène prophétique. Ainsi, Jean-Paul II avait choisi l'Allemagne pour les Journées mondiales de la jeunesse de 2005, et ces festivités allaient se dérouler après sa mort sous le pontificat d'un pape allemand, Benoît XVI. Quant à Eugenio Pacelli, futur Pie XII, presque tous les échelons chronologiques de sa carrière correspondent étonnamment à des événements marquants. En 1914, date du début de la Première Guerre mondiale, il est nommé à la Secrétairerie d'État du Vatican; en 1917, date de la Révolution bolchevique, il est nommé nonce apostolique en Bavière; en 1939, quelques mois avant le début de la Seconde Guerre mondiale, il est élu pape. Il n'est donc pas surprenant que l'historiographie juive s'interroge sur la nature de la relation du Saint-Père avec le régime nazi et sur l'impact possible de cette relation sur les génocides perpétrés par ce régime contre les Juifs.

Jusque dans les années 1960, les historiens de la Shoah — mot hébreu signifiant « catastrophe » et désignant l'extermination des Juifs par le régime nazi — ne mentionnaient pas clairement une possible responsabilité morale de la papauté vis-à-vis de la sécurité des Juifs en Europe. Cependant, une pièce de théâtre de Rolf Hochhut, *Le Vicaire*[1], présentée à Berlin en 1963, impute la responsabilité presque totale de ce crime à Pie XII, qui, dans la pièce, ne réagit pas quand un jeune jésuite imaginaire l'informe des atrocités commises dans les camps de concentration. Depuis, des historiens, pour la plupart juifs, se sont déchaînés contre l'Église catholique. Des ouvrages sont publiés, l'accusant d'un « silence » complice de l'institutionnalisation nazie de l'antisémitisme. Certains vont même jusqu'à qualifier Pie XII de « pape d'Hitler ». L'une des œuvres les plus représentatives de ce courant, *Le devoir de morale*, de Goldhagen[2], soutient que Pie XII n'a pas explicitement condamné l'extermination nazie du peuple hébraïque après la fin de la guerre. D'autres penseurs, de tous horizons, ont « défendu » le pape, disant qu'il a aidé les communautés juives autant que possible à travers des intermédiaires, et que son « silence » n'est pas preuve de complicité, mais seulement un caractère inhérent à sa personnalité et à sa politique prudente vis-à-vis d'un régime allemand aussi devenu hostile à l'Église catholique. En particulier, le rabbin David Dallen critique Goldhagen et les accusateurs de Pie XII en leur reprochant de minimiser ou d'ignorer des éléments historiques qui prouvent le contraire de ce qu'ils avancent[3].

Certains vont même jusqu'à qualifier Pie XII de « pape d'Hitler ».

La papauté, le protestantisme et l'antisémitisme

Certaines bulles pontificales, qui sont des décrets publics des papes, définissent l'attitude de la papauté[4] vis-à-vis des Juifs et documentent l'évolution de ces relations tout au long de l'histoire. La bulle *Sicut Judaeis* de 1120 vise, par exemple, à protéger les Juifs contre les conversions forcées lors des croisades. Cependant, au XIIIe siècle, le pape Innocent III exhorte le roi de France à punir « *les usuriers et les blasphémateurs* » qui profitent des biens de l'Église, faisant allusion aux Juifs qui demandaient des intérêts sur leurs prêts. En 1233, Grégoire IX demande quant à lui de prévenir et de limiter les attaques des chrétiens contre les Juifs. Au XVIe siècle, deux bulles sont particulièrement pertinentes : le pape Pie V interdit la présence juive dans les États pontificaux (disposition purement administrative et non dogmatique) et Grégoire XIII interdit aux médecins juifs et « infidèles » de guérir les chrétiens. D'autre part, Martin Luther publie en 1543 le traité *Des Juifs et de leurs mensonges*, dans lequel il demande que les Juifs soient privés d'argent et de droits civils. Certains historiens y voient une influence antisémite sur la société allemande du temps des nazis, d'autant plus que des affiches de ce traité circulaient lors de manifestations nazies[5]. D'autres bulles concernant les Juifs se sont succédé au cours des siècles, et la dernière remonte à 1755. Elle contient une autorisation à vénérer un enfant catholique prétendument victime d'un meurtre rituel par des Juifs.

Force est de constater que l'Église n'approuvait pas les idées nazies. Dès l'accession d'Hitler au pouvoir, le Vatican, sous le pontificat de Pie XI, condamne les idées racistes du Parti national-socialiste. Eugenio Pacelli était alors secrétaire d'État[6]. Fait important, Pie XI écrit en 1937 l'encyclique *Avec une brûlante inquiétude* exceptionnellement en allemand plutôt qu'en latin. Cette encyclique est distribuée secrètement[7] dans les paroisses allemandes. Elle condamne le racisme, la divinisation de la race et l'idéologie du national-socialisme. La position de Pie XI est bien claire : il critique le fascisme et le nazisme. D'ailleurs, en 1938, lors de la visite d'Hitler à Rome, il quitte ostensiblement le Vatican[8].

Force est de constater que l'Église n'approuvait pas les idées nazies. Dès l'accession d'Hitler au pouvoir, le Vatican, sous le pontificat de Pie XI, condamne les idées racistes du Parti national-socialiste.

EN ITALIE, IL A ORDONNÉ AUX COUVENTS DE RECEVOIR ET DE CACHER LES JUIFS. MONASTÈRES ET ÉGLISES REGORGEAIENT DE JUIFS RESCAPÉS DE LA DÉPORTATION.

C'est dans ce cadre général des relations entre le Vatican et le régime nazi que Pie XII devient pape en 1939. Son poste précédent en Allemagne (1917-1930) l'a confronté aux communistes qui essayaient d'envahir le palais de la Nonciature. Il y a aussi vécu le premier coup d'État raté d'Hitler. Pie XII a rapidement remarqué la tendance anticatholique de l'idéologie du Fürher. Quant à la presse allemande, elle a déploré « *l'élection du cardinal Pacelli comme pape, connu pour son opposition au nazisme* ». Selon le *Morgenpost*, quotidien de Berlin[9], Pie XII orientait déjà la politique (antifasciste) sous Pie XI.

Rien ne semblait pouvoir arrêter les nazis.

Des persécutions anticatholique et antijuive

Encore secrétaire d'État, Mgr Pacelli a protesté plus de cinquante-cinq[10] fois contre le non-respect par l'Allemagne nazie du concordat du 20 juillet 1933, un accord qui devait protéger les droits de l'Église catholique en Allemagne. Des évêques allemands sont réduits au silence, forcés à se déplacer par le régime, surtout quand ils affichent une sympathie envers les Juifs. La presse catholique est l'objet de persécutions nazie et fasciste[11]. Mussolini menace de suspendre la parution de l'*Osservatore romano*, qu'il trouve antifasciste. L'une des figures de l'amitié entre les peuples juif et allemand est Mgr Faulhaber, archevêque de Munich. Sa défense du judaïsme[12] lui a valu l'appellation de « cardinal juif ». Des militants nazis attaquent alors son palais épiscopal. Dès la publication de l'encyclique *Avec une brûlante inquiétude*, l'ambassadeur allemand au Vatican proteste[13] et le régime nazi demande aux évêques allemands de ne pas la rendre publique.

Rien ne semblait pouvoir arrêter les nazis. C'est dans ce mouvement même que la purge anticatholique commence. Au sein de son parti, Hitler neutralise la droite catholique par une série d'assassinats à la fin de juin 1934. C'est la Nuit des longs couteaux. En Pologne, pays dont la population est majoritairement catholique, le Führer entame en 1939 un génocide. Plus de cinq millions de Polonais sont exterminés, dont deux millions et demi de catholiques[14]. Pour neutraliser la Pologne, il fallait passer par la guerre contre le catholicisme. En même temps, l'antisémitisme d'État s'exprime continuellement sous le régime nazi, dont l'idéologie considère les Juifs comme des ennemis appartenant à une race inférieure. L'extermination systématique des Juifs, selon un plan bien défini, commence en 1942, mais des catholiques sont aussi internés dans les camps, comme le prêtre Maximilien Kolbe, qui s'offre à la mort à la place d'un père de famille juif[15].

Pie XII face à la Shoah

Au début de la guerre, deux tiers de la population juive d'Europe vivent en Pologne, en Russie ou dans les pays baltes. Ils représentent 75 % des victimes de la Shoah[16]. Dans ces pays, Pie XII n'avait pas d'accès direct au clergé. Certaines de ses lettres envoyées en Pologne n'y parvenaient pas. Les évêques allemands le tenaient au courant de la persécution, mais c'est depuis Rome qu'il a joué un rôle majeur dans la protection de la communauté juive.

En Italie, il a ordonné aux couvents de recevoir et de cacher les Juifs[17]. Monastères et églises regorgeaient de Juifs rescapés de la déportation. Sur les 8 000 Juifs de Rome, 1 007 sont déportés en Allemagne et 4 238 se sont réfugiés dans les institutions du Vatican, où souvent ils sont restés jusqu'à la libération[18]. De plus, 3 000 Juifs seraient arrivés d'un seul coup dans la résidence d'été du pape, seul endroit en Europe à accueillir un si grand nombre de réfugiés. Dans les appartements de Pie XII, des enfants juifs ont vu le jour, comme les frères Zévini, nés en 1944 dans sa chambre à coucher[19]. À la suite de la pression diplomatique du Saint-Siège auprès de l'ambassadeur allemand Weizsäcker et du général allemand gouverneur de Rome, les arrestations de Juifs en Italie cessent.

Par ailleurs, Pie XII a fourni de l'aide matérielle aux réfugiés juifs. Il a envoyé de l'argent pour les soutenir, comme l'atteste une lettre qui porte sa signature et ordonne de donner de l'argent à ceux qui sont sous la protection de l'évêque de Campanie[20]. Des témoignages de survivants juifs de Rome

LE PAPE DEVAIT FAIRE FACE À UN SYSTÈME SOCIOPOLITIQUE TRÈS COMPLEXE QUI S'EST MIS EN PLACE EN EUROPE DEPUIS L'ACCESSION DES NAZIS AU POUVOIR.

abondent et rendent hommage à Pie XII. L'historienne juive romaine Anna Foa, une survivante du ghetto de Rome, rappelle que des récits de survivants ayant été hébergés dans des couvents et églises ne cessent d'émerger. Elle reproche au *Vicaire* d'avoir brouillé la mémoire d'une entraide entre catholiques et Juifs sous Pie XII[21]. La communauté juive a exprimé plusieurs fois son admiration envers le pape. Ainsi, Albert Einstein écrivait dans les années 1940 : « *Je ressens pour [l'Église] une grande affection et admiration, parce qu'elle seule a eu le courage [...] de se poser en défenseur de la vérité intellectuelle et de la liberté morale*[22]. »

De plus, en 1945, le grand rabbin de Rome, Israël Zolli, se convertit au catholicisme avec son épouse[23], après que Jésus-Christ lui est apparu lors de ses prières. Il prend le nom d'Eugène, qui est le prénom de naissance de Pie XII, afin de rendre hommage à ce dernier. En 2012, une partie des archives du Vatican relatives à Pie XII a été rendue publique dans une exposition intitulée *Lux in arcana*[24] (Lumière sur les secrets), confirmant le soutien du Saint-Père aux Juifs. L'autre partie des archives tarde à être rendue publique parce qu'elle concerne des personnes encore vivantes.

Pie XII, béatifié ?

La Shoah a été le moment culminant de l'expression de l'antisémitisme en Europe. Dès le début du XXe siècle, deux doctrines fondamentalistes s'abattaient sur l'humanité : le communisme bolchevique, d'une part, et le national-socialisme, d'autre part, deux menaces anticléricales avec lesquelles le Saint-Siège devait composer. La politique de Pie XI (pape de 1922 à 1939) était claire : il a condamné ouvertement le communisme, le fascisme et le nazisme. Quant au pontificat de Pie XII (1939-1958), il a vu l'étau se resserrer sur l'Église, ce qui a obligé le pape à adopter une attitude prudente et sage. Pie XII n'affiche pas un conflit ouvert avec Hitler ou Mussolini. Il ne condamne pas ouvertement les camps de concentration, ni l'extermination des catholiques polonais, ni celle des handicapés, ni celle des Juifs, mais il agit fortement et discrètement. Ce « silence » traduit pourtant une politique générale de Pie XII et non une complicité. Si ce dernier avait condamné Hitler lors de l'occupation nazie de Rome, au moment où des milliers de Juifs étaient hébergés au Vatican, le Führer aurait pu déchaîner une grande violence en commandant la recherche des Juifs dans les couvents où les fascistes évitaient jusqu'alors d'entrer pour ne pas se confronter directement à l'Église.

Pie XII n'a-t-il pas fait assez pour les Juifs ? Le pape faisait face à un système sociopolitique très complexe qui s'est mis en place en Europe depuis l'accession des nazis au pouvoir. Ses actions, documentées par les archives du Vatican partiellement publiées ainsi que par les témoignages des survivants juifs d'Italie, attestent de son aide aux personnes menacées. Son dossier demeure de nos jours un facteur clé dans les relations du judaïsme avec l'Église catholique. La publication tant attendue de la totalité des archives du Vatican couvrant la Seconde Guerre mondiale devrait permettre, dans les années à venir, une mise en lumière complète de ce dossier et peut-être ouvrir la voie à la béatification de ce pape. ◎

Crédit photo : Rolf E. Staerk / Shutterstock.com

RÉFÉRENCES

[1] CONWAY, John. « The silence of pope Pius XII », *The Review of Politics*, vol. 27, nº 1, janvier 1965, p. 105.

[2] GOLDHAGEN, Daniel. *Le devoir de morale : le rôle de l'Église catholique dans l'holocauste et son devoir non rempli de repentance*, trad. de William DESMOND, Paris, Seuil, 2003 [Angl. 2002].

[3] DALIN, David. *Pie XII et les Juifs : le mythe du Pape d'Hitler*, trad. de Claude MAHY, Perpignan, Tempora, 2007 [Angl. 2005], p. 164.

[4] Zionism-Israel Information Center, « List of papal bulls on jewish question », http://www.zionism-israel.com/hdoc/Papal_Bulls_Jews.htm, page consultée le 10 novembre 2014.

[5] *Nuremberg Trial Proceedings, Projet Avalon*, vol. 12, p. 318, Yale Law School, 19 avril 1946. Reproduit par Lilian Goldman Law Library, http://avalon.law.yale.edu/imt/04-29-46.asp, 2008.

[6] PADELLARO, Nazareno. *Pie XII*, trad. de l'italien par Jean IMBERT, Paris, Fayard, 1953, p. 24.

[7] HARRIGAN, William. « Pius XI and Nazi Germany, 1937-1939 », *The Catholic Historical Review*, vol. 51, nº 4, janvier 1966, p. 460.

[8] PHAYER, Michael, *L'Église et les nazis*, trad. de l'anglais par Claude BONNAFONT, Lornai (Orne), 2001, p. 22.

[9] DALIN, *op. cit.*, p. 103.

[10] DALIN, *op. cit.*, p. 103.

[11] DELZELL, Charles. « Pius XII, Italy, and the Outbreak of War », *Journal of Contemporary History*, vol. 2, nº 4, octobre 1967, p. 137-161.

[12] WISTRICH, Robert. « The Vatican and the Shoah », *Modern Judaism*, vol. 21, nº 2, mai 2001, p. 88.

[13] HARRIGAN, *op. cit.*, p. 462.

[14] CHARGUÉRAUD, Marc-André. *Les Papes, Hitler et la Shoah : 1932-1945*, Genève, Labor et Fides, 2002, p. 100.

[15] WISTRICH, *op. cit.*, p. 85.

[16] CHARGUÉRAUD, *op. cit.*, p. 34.

[17] PULLELLA, Philippe. « Pope defends predecessor Pius against Holocaust charges », http://www.reuters.com/article/2014/06/13/us-pope-holocaust-idUSKBN0EO1PW20140613, page consultée le 31 janvier 2015.

[18] PULLELLA, *op. cit.*, p. 133.

[19] BRUNNELLI, Lucio. « Ces vagissements plus forts que les bombes », *Histoire*, nº 8, 2004, cité dans *30 Jours*, http://www.30giorni.it/articoli_id_4189_l4.htm, page consultée le 10 novembre 2014.

[20] DALIN, *op. cit.*, p. 136.

[21] FOA, Anna. « Une amitié nouvelle », *L'Osservatore romano*, http://www.osservatoreromano.va/fr/news/une-amitie-nouvelle#.UuOnK713sdU, page consultée le 20 janvier 2014.

[22] DALIN, *op. cit.*, p. 148.

[23] WISTRICH, *op. cit.*, p. 105.

[24] CORDELIER, Jérôme. « Le pape François veut la vérité sur Pie XII », *Le Point*, http://www.lepoint.fr/societe/le-pape-francois-veut-la-verite-sur-pie-xii-21-01-2014-1782654_23.php, page consultée le 21 janvier 2014.

LE TÉMOIGNAGE HISTORIQUE DES MONNAIES : L'EXEMPLE DU RÈGNE D'ANTONIN LE PIEUX

ROXANE GAUTHIER-DUSSART
Programme de doctorat en histoire

La numismatique, l'étude des monnaies et des médailles, est une science auxiliaire de l'histoire peu connue du grand public. Pourtant, qu'elles soient antiques ou contemporaines, les monnaies sont bien plus qu'un moyen d'échange économique. Elles contiennent quantité d'informations utiles au chercheur et au citoyen actuels s'intéressant à l'histoire de la société, aux préoccupations du gouvernement et aux idées politiques, quelles que soient les époques. C'est notamment le cas des monnaies frappées à Rome sous le règne de l'empereur Antonin le Pieux (138-161 apr. J.-C.).

LA CÉLÉBRATION DE VICTOIRES, LA REPRÉSENTATION DE TEMPLES, DE MONUMENTS OU DE DIVINITÉS SONT AUTANT DE THÈMES FIGURANT SUR LES MONNAIES ROMAINES, QUI ENRICHISSENT LES CONNAISSANCES HISTORIQUES SUR CETTE ÉPOQUE.

Aujourd'hui encore, les pièces de monnaie offrent différentes iconographies. Les dollars canadiens présentent la reine Élisabeth II sur l'avers, comme la monnaie antique y montrait autrefois les empereurs romains, détenteurs de l'autorité et du pouvoir. Cette pratique débute à Rome avec Jules César quelques mois avant sa mort en 44 av. J.-C. Quant aux revers contemporains, ils portent diverses figurations comme des feuilles d'érable, des caribous ou les armoiries du Canada. C'est la même chose pour les espèces françaises, sur lesquelles Marianne apparaît régulièrement. Ces iconographies sont les symboles du pays émetteur ; elles nous informent sur la manière dont un État se représente et affirme son identité et ses valeurs. S'ajoutent périodiquement à ces émissions, qualifiées de régulières, des frappes spéciales telles que la célébration des Jeux olympiques d'hiver, la commémoration de l'armistice de 1918 (en 2008), ou le 70e anniversaire de l'appel du 18 juin 1940 du général de Gaulle. Le choix des types monétaires n'est donc pas laissé au hasard, au gré de l'esthétique. Toutefois, pour l'époque contemporaine, un aspect économique peut l'influencer, découlant du marché des collectionneurs.

Cette manière de percevoir les émissions est aussi valable pour l'Antiquité romaine. La monnaie était alors également utilisée comme moyen de diffusion de valeurs, d'idées, d'événements et d'éléments d'identité. Ainsi, la célébration de victoires, la représentation de temples, de monuments ou de divinités sont autant de thèmes figurant sur les monnaies romaines, qui enrichissent les connaissances historiques sur cette époque.

La divinisation des empereurs, un enjeu politique

En 27 av. J.-C., Auguste, fils adoptif de César et premier empereur de Rome, doit garantir la continuité du système politique en place : le principat. L'adoption, lorsque l'empereur régnant n'a pas d'enfant, et la divinisation des ancêtres sont des moyens efficaces permettant de pérenniser ce régime. Elles favorisent la création d'une dynastie et assurent la légitimité du pouvoir. Ce n'est donc pas un hasard si, sous Auguste, des monnaies à l'effigie de César divinisé sont frappées. Dès lors, chaque nouvel empereur tentera aussi d'obtenir la déification de son prédécesseur quand ce dernier l'a méritée aux yeux des citoyens. Mais certains empereurs, comme Domitien (81-96), étaient qualifiés de « mauvais » et pouvaient subir à l'inverse la condamnation de la mémoire. Dans ce cas, la pratique est caractérisée notamment par la destruction des statues à son image, la suppression de son portrait sur les reliefs et des inscriptions de son nom sur les monuments, particulièrement les édifices publics. Par conséquent, le successeur de Domitien, Nerva (96-98), devenait l'origine d'une nouvelle dynastie.

Antonin le Pieux en est d'ailleurs un descendant. Il est confronté à la réticence du Sénat à l'égard de son père adoptif, Hadrien (117-138). En effet, les dernières décisions prises par celui-ci ne l'avaient pas rendu populaire auprès des sénateurs. Ainsi, quand le moment est venu pour Antonin de célébrer l'apothéose de son prédécesseur, cérémonie permettant la divinisation, il se heurte à leur opposition. Or, être le fils d'un empereur divin était pour lui un moyen symbolique de prouver sa légitimité et ainsi d'assurer son pouvoir. Parmi les arguments qu'il invoque pour gagner les sénateurs à sa cause, Antonin explique que si la mémoire d'Hadrien est condamnée, les actes et les décisions de son père seront aussi annulés, incluant son adoption[1]. De plus, une remise en cause de la position d'Antonin à la tête de l'Empire pourrait provoquer des luttes de pouvoir et donc menacer la paix établie. Le Sénat finit par céder : « *Il [Antonin] le [Hadrien] plaça même au rang des dieux, malgré une opposition unanime*[2]. » C'est la persévérance de l'empereur pour obtenir la divinisation de son prédécesseur qui lui vaut, selon certains auteurs antiques, l'attribution du surnom *Pius*.

C'EST LA PERSÉVÉRANCE DE L'EMPEREUR POUR OBTENIR LA DIVINISATION DE SON PRÉDÉCESSEUR QUI LUI VAUT, SELON CERTAINS AUTEURS ANTIQUES, L'ATTRIBUTION DU SURNOM *PIUS*.

Toute cette histoire est perceptible sur les monnaies frappées sur une période d'environ six mois, grâce à plusieurs indices dans leurs légendes. Sur la première émission de monnaies du règne d'Antonin, datant de 138, la légende *COS DES II*, « consul désigné pour la deuxième fois », est inscrite au revers afin de signaler que sa charge de consul sera renouvelée l'année suivante. En effet, à son arrivée au pouvoir, Antonin est consul, magistrature qui était la plus haute à l'époque républicaine (509-27 av. J.-C.), mais dont le titre est surtout honorifique sous l'Empire, donc depuis Auguste. Étant donné les problèmes entourant la divinisation d'Hadrien, la deuxième émission ne porte que la légende *COS* (« consul »), indiquant que le pouvoir d'Antonin est remis en question puisque celui-ci n'est plus désigné pour assurer la fonction de consul une deuxième fois. Sur l'émission suivante, la troisième, la dispute se révèle plus clairement avec l'ajout du propre gentilice (un équivalent du nom de famille) d'Hadrien, *AELIVS*, sur l'avers de la monnaie, afin de montrer sa persévérance, et affirmer son pouvoir. Cette menace fonctionne, car sur les frappes suivantes, *HADR(ianus) ou HADRI(anus)* est ajouté dans la légende, afin de souligner la filiation avec le père adoptif, puis la première légende *(COS DES II)* réapparaît[3]. Même si Antonin finit par obtenir gain de cause, soit la divinisation de son prédécesseur, la réticence du Sénat est toujours palpable, car peu de monnaies à l'effigie d'Hadrien divinisé sont frappées. Voilà une preuve que les légendes des monnaies peuvent témoigner d'événements historiques et qu'à l'inverse, l'absence de représentations, que ce soit d'un sujet ou d'une personne, peut aussi être révélatrice de situations problématiques.

FIGURE 1

Monnaie d'or (*aureus*). Avers : portrait d'Antonin avec la légende *HADRI*. Revers : la Piété avec la légende *COS DES II*.
Source : Cabinet des médailles de Paris. Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

L'image des femmes : l'exemple de Faustine l'Aînée

Épouse d'Antonin, Faustine l'Aînée tient une place importante dans le numéraire en circulation. Comme pour d'autres femmes avant elle, son portrait est présent sur plusieurs avers monétaires à la place de celui de l'empereur, car, en tant qu'impératrice, elle est aussi associée au pouvoir dès son avènement alors qu'elle prend le titre d'*Augusta*, qui n'est pas sans rappeler le surnom « Auguste » attribué aux empereurs depuis la mise en place du principat. Les frappes avec son portrait deviennent plus abondantes après son décès en 141. Ces émissions qualifient l'impératrice défunte de *diua* pour signifier qu'en tant que membre de la famille impériale, elle a été déifiée au cours d'une cérémonie de consécration. Plusieurs monnaies représentent cet événement, dont le transport de la statue de Faustine dans un *carpentum* (voiture tirée par deux mules) en tête du cortège funèbre.

FIGURE 2

Monnaie d'or (*aureus*). Avers : portrait de Faustine l'Aînée avec la légende *DIVA*. Revers : *Carpentum* tiré par deux mules.
Source : Cabinet des médailles de Paris. Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

Ces émissions posthumes soulignent que désormais l'impératrice défunte protège, aux côtés d'autres divinités, l'Empire romain. Elles permettent également de mettre en évidence la piété d'Antonin, vertu indispensable à tout bon empereur. À la suite de la mort de Faustine, Antonin décide aussi d'ériger un temple en son honneur sur le Forum républicain, près de la *uia Sacra*, à Rome. L'édifice apparaît sur plusieurs revers monétaires. Une partie de ce temple est encore visible aujourd'hui grâce à sa transformation en église, notamment les colonnes et l'inscription en l'honneur de Faustine et d'Antonin. De nombreux monuments érigés à l'époque impériale n'existent plus aujourd'hui ou ont subi, comme ce temple, plusieurs modifications. Ainsi, les représentations

monétaires, mais aussi les reliefs, les descriptions littéraires ou encore les croquis réalisés plus tardivement (notamment à l'époque moderne) témoignent encore de nos jours de l'organisation architecturale de nombreuses cités antiques.

FIGURE 3

Monnaie d'or (*aureus*).
Revers : temple hexastyle d'Antonin et Faustine
Source : Cabinet des médailles de Paris.
Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

FIGURE 4

Temple d'Antonin et de Faustine sur le Forum républicain. Rome, Italie.
Photo : Guillem Castellvi.

L'évergétisme, une vertu impériale essentielle

L'évergétisme est une pratique, individuelle ou collective, visant à faire des dons à un groupe de personnes afin d'améliorer son environnement et ses conditions de vie. Sous l'Empire, l'évergète le plus important est l'empereur. Il manifeste sa grandeur de plusieurs manières : par des constructions, l'organisation de fêtes, des distributions de denrées ou d'argent. Depuis Hadrien, le terme *liberalitas* (libéralité) est utilisé pour qualifier tous ces bienfaits offerts régulièrement à la population[4]. Cependant, sur les monnaies, cet acte concerne uniquement les distributions d'argent en faveur de la plèbe romaine (plus particulièrement des hommes possédant la citoyenneté romaine et vivant à Rome), des sénateurs, des chevaliers et, exceptionnellement depuis Trajan (98-117), des enfants[5]. Destinées à commémorer un événement particulier, comme un mariage, les libéralités sont nombreuses au cours du règne d'Antonin (neuf en 23 ans de règne) et apparaissent toutes sur les monnaies. La figuration la plus commune montre la scène de distribution : Antonin est assis sur un siège posé sur un podium et tend la main. À ses côtés se tient *Liberalitas* (allégorie de l'événement) tenant une corne d'abondance et un *abacus*, soit un instrument servant à calculer la somme distribuée. Face à eux, en bas de l'estrade, le citoyen romain tend les plis de sa toge afin de recevoir son dû. D'autres représentations montrent *Liberalitas* y versant de l'argent avec la corne d'abondance. Ces générosités impériales sont destinées à rapprocher l'empereur de son peuple et leur inscription sur les monnaies renseigne quant à leur fréquence grâce à un numéro (I, II, III, etc.) indiqué sur la plupart des revers. Le chercheur peut alors combiner ces informations en les liant avec d'autres sources afin de découvrir l'événement célébré.

FIGURE 5

Monnaies d'or (*aurei*). À gauche : *Liberalitas* versant des pièces avec une corne d'abondance. À droite : *Liberalitas* tenant une corne d'abondance et un *abacus*.
Source : Cabinet des médailles de Paris. Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

Les *faustinianae puellae* sont une autre institution, cette fois-ci alimentaire, dont témoignent les monnaies. Fondées par Antonin en l'honneur de Faustine, après le décès de celle-ci en 141, elles consistent à distribuer des rations de blé aux petites filles romaines. Ces distributions demeurent méconnues[6], mais les frappes monétaires fournissent quelques informations sur leur déroulement. Ainsi, les jeunes filles ne se présentaient pas seules pour recevoir leur ration de blé; des adultes les accompagnaient. Certaines étaient même portées dans leurs bras, suggérant alors un très jeune âge. Sur plusieurs émissions, l'empereur est lui-même accompagné d'une femme (peut-être Faustine). Néanmoins, ces distributions n'étant pas exceptionnelles mais régulières, la participation d'Antonin à chacune est difficilement envisageable dans la réalité. L'intérêt de les graver sur la monnaie est de souligner une fois de plus la générosité de l'empereur. Cette institution était tellement populaire et appréciée qu'elle a été reprise par le successeur d'Antonin, Marc-Aurèle, sous le nom de *nouae faustinianae puellae*, en l'honneur de son épouse, Faustine la Jeune, fille d'Antonin et de Faustine l'Aînée.

FIGURE 6

Monnaie de bronze à gauche ; monnaie d'or (*aureus*) à droite.
Ces deux revers représentent les *faustinianae puellae*.
Source : Cabinet des médailles de Paris. Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

Les actions militaires

Le règne d'Antonin le Pieux est généralement qualifié de calme. Il n'est pas pour autant exempt de guerres ou de révoltes. Depuis les conquêtes menées par Trajan, l'Empire romain s'est encore agrandi et s'étend sur un territoire immense allant de la Lusitanie (soit une partie du Portugal et l'ouest de l'Espagne actuelle) à l'Empire parthe (Iran) et de la Bretagne (Grande-Bretagne) à l'Égypte. Cette situation implique une administration complexe afin de garantir au mieux la paix dans toutes ces provinces dont les traditions diffèrent. Ainsi, comme ses prédécesseurs, Antonin est confronté à un certain nombre de soulèvements, qu'il est chargé de réprimer. Les monnaies prennent alors une grande importance dans la diffusion de ces victoires dans un but de commémoration. Le conflit contre les Brigantes, peuple celte du nord de la Bretagne, fait partie de ces événements. Malgré un mur construit par Hadrien, cette tribu, aidée de ses alliés, menace les frontières de l'Empire [7]. En 139, Antonin réagit et une guerre est menée jusqu'en 142. Elle permet à l'empereur d'obtenir une deuxième salutation impériale (la première lui avait été octroyée à son avènement), qui se manifeste notamment par l'acclamation du peuple. Est alors inscrit *IMP II*, pour *imperator II*, sur les monnaies. Plusieurs revers sont aussi frappés, dont une représentation de la Victoire accompagnée de la légende *BRITAN* dans le champ.

LA MONNAIE EST UN OUTIL DE COMMUNICATION PRÉCIEUX, PAS SEULEMENT EN CE QUI CONCERNE LES PÉRIODES ANTIQUES OU MÉDIÉVALES, QUI SONT ÉLOIGNÉES DANS LE TEMPS, MAIS POUR TOUTES LES ÉPOQUES.

FIGURE 7

Monnaie de bronze. Revers : la Victoire debout sur un globe, tenant une couronne de fleurs et une palme.
Source : Cabinet des médailles de Paris. Photo : Roxane Gauthier-Dussart.

La reconstitution des événements grâce aux monnaies

La numismatique est parfois la seule science permettant de reconstituer un événement historique. Ce fait est particulièrement valable pour les recherches concernant l'Antiquité, pour lesquelles les sources, qu'elles soient archéologiques, papyrologiques, épigraphiques ou littéraires, font parfois défaut. Régulièrement, des fouilles archéologiques révèlent de nombreux trésors, favorisant ainsi une progression constante de l'information historique. La monnaie est un outil de communication précieux, pas seulement en ce qui concerne les périodes antiques ou médiévales, qui sont éloignées dans le temps, mais pour toutes les époques. En effet, s'intéresser aux émissions de notre gouvernement permet de voir quels sont les événements qu'il souhaite souligner. Par exemple, la Monnaie royale canadienne a récemment frappé des pièces illustrant, entre autres thèmes, le centenaire de la marine canadienne (en 2010) et la guerre de 1812 (en 2012), commémorée par la représentation d'un trois-mâts et de Tecumseh, chef de la tribu des Shawnees. Ces images attirent assurément l'attention sur des événements importants du passé et permettent souvent de saisir les préoccupations des États émetteurs. Quels événements marquants des années à venir resteront gravés dans les monnaies ? ◎

RÉFÉRENCES

[1] RÉMY, Bernard. *Antonin le Pieux : le siècle d'or de Rome, 138-161*, Paris, Fayard, 2005, p. 119-120.

[2] « Vita Pii », V, dans CHASTAGNOL, André (dir.). *Histoire Auguste : les empereurs romains des IIe et IIIe siècles*, trad. d'André CHASTAGNOL, Paris, Robert Laffont, 1994.

[3] MATTINGLY, Harold. *Coins of the Roman Empire in the British Museum. Vol. IV: Antoninus Pius to Commodus*, London, British Museum Publication, 1976, p. xl.

[4] ZANKER, Paul. « By the emperor for the people: "popular" architecture in Rome », dans EWALD, Björn C. et Carlos F. NOREÑA (dir.). *The Emperor and Rome : Space, Representation, and Ritual*, Cambridge, Cambridge University Press, 2010, p. 45-87.

[5] BERCHEM, Denis van. *Les distributions de blé et d'argent à la plèbe romaine sous l'Empire*, New York, Arno Press, 1975 (1939), p. 127-130.

[6] VIRLOUVET, Catherine. *La plèbe frumentaire dans les témoignages épigraphiques : essai d'histoire sociale et administrative du peuple de Rome antique*, Rome, École française de Rome, 2009, p. 71-73.

[7] RÉMY, *op. cit.*, p. 231-235.

SIÉ

SUBVENTION AUX INITIATIVES ÉTUDIANTES

« LE FICSUM A **OFFERT 450 $** À NOTRE ASSOCIATION POUR NOUS PERMETTRE DE DÉVELOPPER NOS OUTILS DE COMMUNICATION ! »

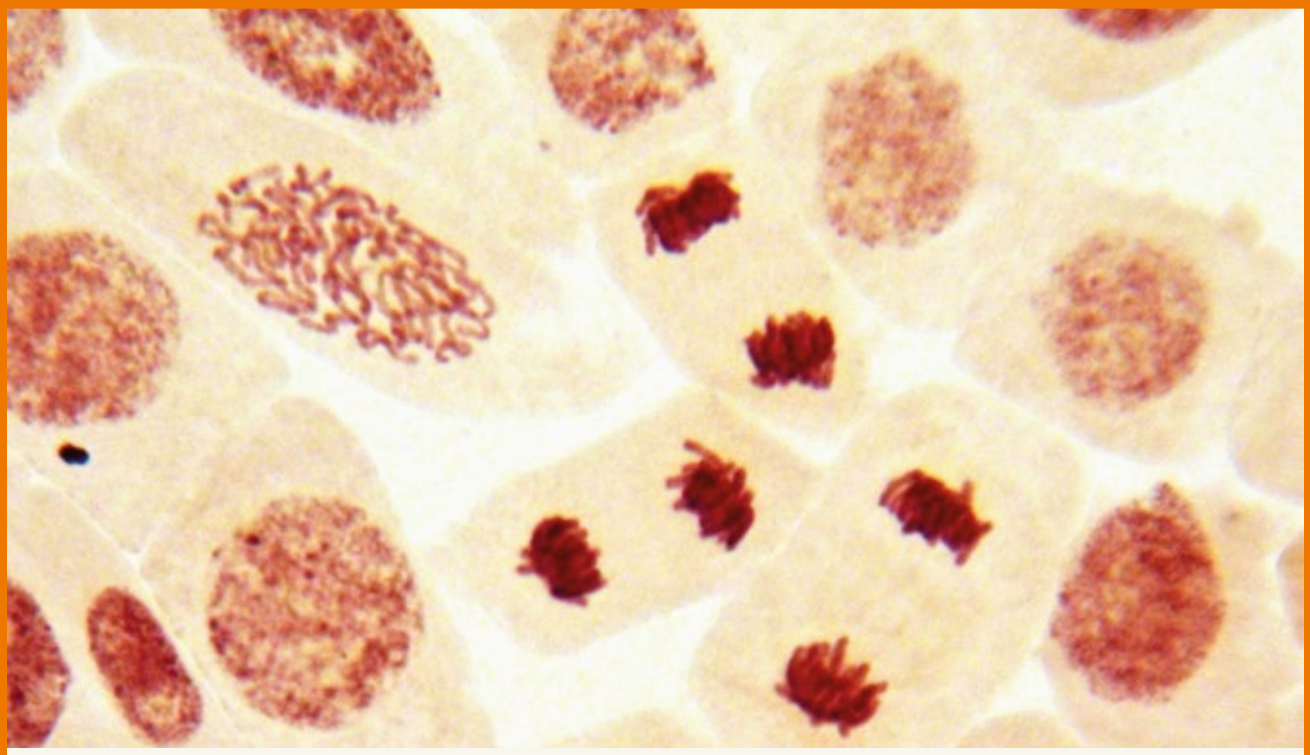
— ASSOCIATION ÉTUDIANTE AUX CYCLES SUPÉRIEURS DE L'UdeM

FICSUM.COM

FICSUM
FONDS D'INVESTISSEMENT
DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

PAVILLON MARGUERITE-D'YOUVILLE
2375, CHEMIN DE LA CÔTE-SAINTE-CATHERINE, BUREAU 1125-7
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3T 1A8

UNE NOUVELLE ARME CONTRE LE CANCER : L'IMMUNOTHÉRAPIE



DAVID ALLARD, david.allard.1@umontreal.ca
Programme de maîtrise en sciences pharmaceutiques

Hormis la chirurgie, le cancer a connu deux grandes révolutions thérapeutiques : la chimiothérapie et les thérapies dites « ciblées ». Malgré les retombées importantes de ces percées, la maladie demeure souvent lourde de conséquences. Une troisième révolution s'annonce : l'immunothérapie du cancer, soit l'utilisation du système immunitaire de l'hôte pour rejeter le cancer ! Cette nouvelle prouesse scientifique saura-t-elle combler toutes les attentes ?

LE MÉDECIN ÉGYPTIEN IMHOTEP A ÉTÉ LE PREMIER À RÉPERTORIER DES CAS DE CANCER, DANS CE QUI EST APPELÉ AUJOURD'HUI LE PAPYRUS EDWIN SMITH, IL Y A PLUS DE 4 000 ANS.

Des tumeurs avaient probablement été observées bien avant, mais le médecin égyptien Imhotep a été le premier à répertorier des cas de cancer, dans ce qui est appelé aujourd'hui le papyrus Edwin Smith, il y a plus de 4 000 ans[1]. D'innombrables études scientifiques ont par la suite ciblé la maladie, sans toutefois en éclairer tous les mécanismes. Pendant plusieurs siècles (et jusqu'à récemment), la chirurgie représentait la seule intervention thérapeutique réellement valable. En effet, depuis longtemps, le corps médical considère que le retrait des tumeurs doit être pratiqué tôt dans le développement de la maladie, sans quoi le cancer risque de se propager dans l'organisme. Ce n'est par contre qu'au cours des cent dernières années que des traitements de rechange sont apparus et, depuis, ils ne cessent de se renouveler. L'immunothérapie, récemment ajoutée à l'arsenal médical, réussira peut-être alors à mettre fin à cette lutte incessante.

Le cancer est caractérisé par une croissance incontrôlée des cellules, qui sont les chefs d'orchestre de tous les processus physiologiques des êtres vivants.

Des cellules qui se multiplient… trop

Le cancer est caractérisé par une croissance incontrôlée des cellules, qui sont les chefs d'orchestre de tous les processus physiologiques des êtres vivants. Elles occupent des fonctions diverses, et certaines d'entre elles sont aptes à proliférer. Fort heureusement, les cellules saines ne peuvent pas se répliquer indéfiniment, puisqu'elles sont soumises à différents mécanismes de régulation. Ces cellules peuvent ainsi se multiplier au besoin, lorsque la croissance ou la régénération normales de l'organisme le requièrent.

Les cellules cancéreuses, quant à elles, sont souvent « sourdes » et « immortelles ». Autrement dit, elles font abstraction de leur environnement et des mécanismes de contrôle, et se reproduisent continuellement, ce qui est problématique. Cette autonomie proliférative et incontrôlée des cellules cancéreuses ainsi que leur instabilité génomique font progresser les cancers[2].

Le génome est la boîte noire de l'information génétique (ADN) qui fait fonctionner une cellule. Il est très sensible aux mutations génétiques, qui surviennent entre autres lors de la **réplication cellulaire*.** Selon la nature de ces mutations, les cellules sont susceptibles d'acquérir des caractéristiques favorisant l'apparition ou la progression du cancer. En somme, les cellules cancéreuses ne sont que des « *versions altérées de nos cellules normales* », comme l'a souligné Harold E. Varmus lors d'un discours qu'il a prononcé quand il a reçu le prix Nobel de médecine en 1989.

***RÉPLICATION CELLULAIRE**
Processus de division cellulaire par lequel le matériel génétique se reproduit sous la même forme dans le but de générer une nouvelle cellule.

Un fait est généralement accepté : la naissance d'une cellule cancéreuse ne constitue pas un événement rare. Notre organisme est même doté d'un système de défense pour s'en prémunir[3]. En effet, le système immunitaire perçoit les cellules cancéreuses comme un danger et les élimine pour inhiber rapidement l'évolution du cancer. Malheureusement, les cellules cancéreuses parviennent bien souvent à déjouer ces défenses naturelles.

La prolifération incontrôlée des cellules cancéreuses

Puisque les cellules cancéreuses sont disposées à proliférer continuellement, pourquoi ne pas simplement les empêcher de se multiplier ? C'est le pari qu'a pris Sydney Farber, souvent considéré comme le père de la chimiothérapie moderne, au début du 20e siècle[4]. La chimiothérapie, première révolution parmi les traitements anticancéreux, vise en ce sens à induire des dommages irréversibles à l'ADN, afin de contraindre les cellules cancéreuses à mourir. Cependant, son large spectre

EN ENTRAVANT LA PROLIFÉRATION, LA CHIMIOTHÉRAPIE NE DISTINGUE DONC PAS TOTALEMENT LES CELLULES SAINES DES CELLULES CANCÉREUSES. LES TRAITEMENTS PEUVENT-ILS ALORS VISER D'AUTRES CARACTÉRISTIQUES PLUS EXCLUSIVES AUX CELLULES CANCÉREUSES ?

d'activité, qui lui confère un avantage considérable, est aussi responsable d'un lourd inconvénient.

En effet, puisque la chimiothérapie agit sur l'aspect proliératif des cellules cancéreuses, elle peut être employée contre tous types de **néoplasmes malins*.** Par contre, les cellules cancéreuses n'étant pas les seules à proliférer dans l'organisme, ce type de traitement les distingue difficilement des cellules saines. Il affecte donc aussi ces dernières et cause plusieurs effets indésirables, comme la perte des cheveux et les vomissements. Utiliser efficacement la chimiothérapie, c'est tenter de doser un poison à des fins thérapeutiques.

***NÉOPLASME MALIN**
Tumeur cancéreuse agressive et susceptible de se généraliser, représentant une menace à la survie d'un organisme.

Les exclusivités moléculaires comme cibles des traitements

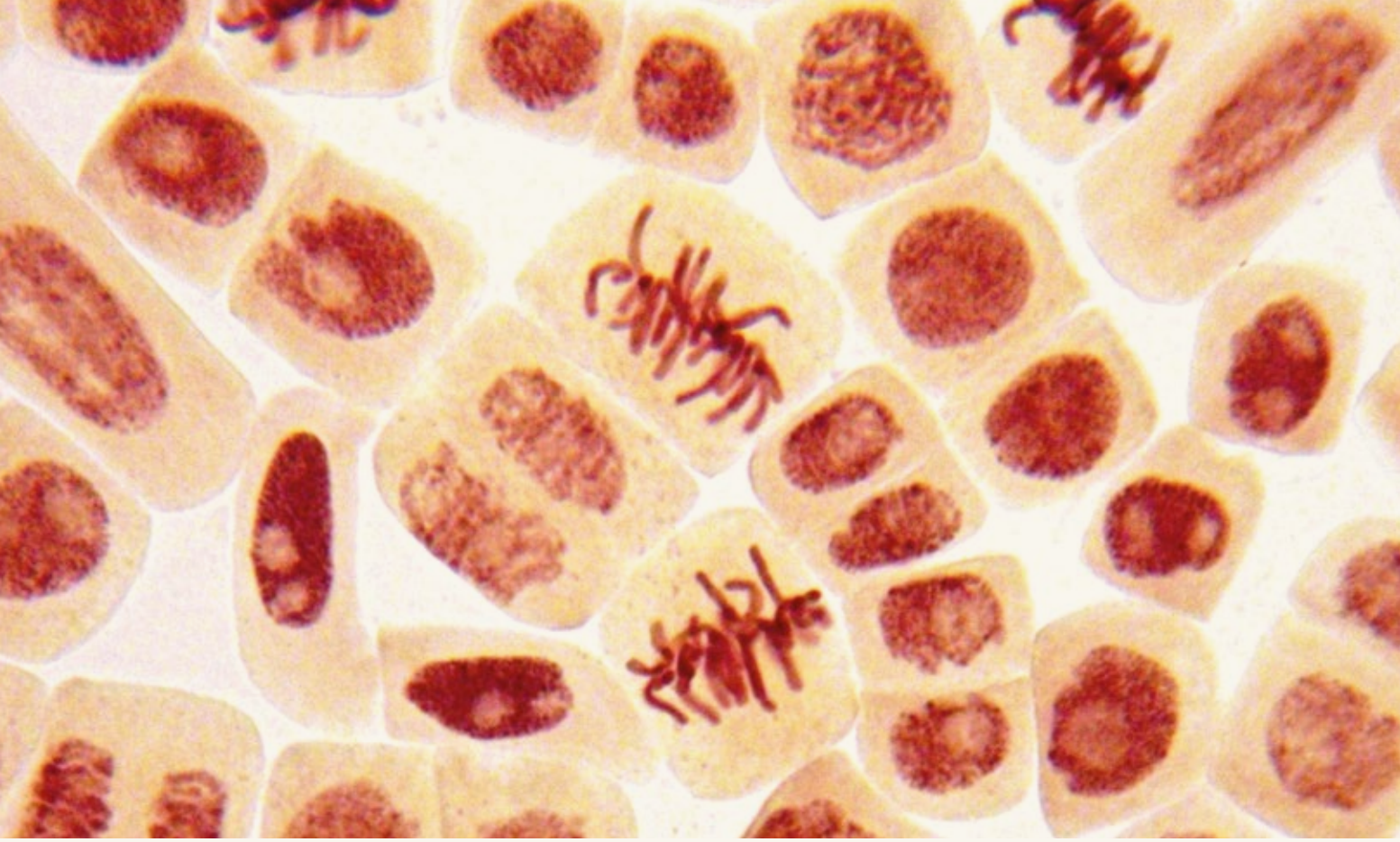
En entravant la prolifération, la chimiothérapie ne distingue donc pas totalement les cellules saines des cellules cancéreuses. Les traitements peuvent-ils alors viser d'autres caractéristiques plus exclusives aux cellules cancéreuses ? Les thérapies dites « ciblées », qui constituent la deuxième révolution thérapeutique anticancéreuse, s'attaquent tout particulièrement à ce problème. Elles n'ont été intégrées à l'arsenal thérapeutique que très récemment, soit vers la fin des années quatre-vingt-dix.

Le cancer consiste en fait en une grande famille de maladies dont la nomenclature s'étend bien au-delà de la localisation de la tumeur dans l'organisme. Ainsi, des sous-types de cancers du sein sont classés selon des critères moléculaires : normal, de type basal, HER2 positif, luminal A et luminal B[5]. La thérapie « ciblée » repose alors sur le principe de la détermination des processus influençant la progression de ces différents cancers. Par exemple, les patientes atteintes du cancer du sein HER2 positif sont susceptibles de répondre favorablement à un anticorps nommé « trastuzumab » (commercialisé sous le nom d'« Herceptin »), qui cible et neutralise spécifiquement le récepteur HER2 sur les cellules cancéreuses du sein. Lorsque la protéine HER2 est **surexprimée*,** les cellules cancéreuses deviennent plus susceptibles de proliférer abondamment et de permettre le développement d'un cancer, d'où l'intérêt de neutraliser spécifiquement HER2.

***SUREXPRESSION**
Expression anormalement élevée, souvent pathologique, d'une protéine à la surface d'une cellule.

Le principe des thérapies « ciblées » requiert l'identification des molécules favorisant la croissance de chacun des sous-types de cancer. À ce jour, la Food and Drug Administration (FDA), l'organisme américain qui réglemente notamment les produits pharmaceutiques, a approuvé plus d'une cinquantaine de médicaments du type « thérapie ciblée » visant une vingtaine de cancers différents[6].

Mais au-delà de cette sous-classification basée sur des critères moléculaires, il subsiste une autre source de variabilité entre les cancers : l'interindividualité. Chaque être humain est différent et possède donc un ADN particulier. Ainsi, chaque cancer est singulier, et l'efficacité variable des traitements entre patients en est le reflet. C'est d'ailleurs pourquoi certaines patientes répondront positivement au trastuzumab alors que d'autres non. Autrement dit, ce n'est pas parce que des cellules cancéreuses présentent abondamment le récepteur HER2 que le cancer est nécessairement « conduit » par celui-ci. Le neutraliser sur les cellules cancéreuses du sein HER2 positives ne se solde donc pas systématiquement par un succès thérapeutique.



Chaque cancer est singulier, et l'efficacité variable des traitements entre patients en est le reflet.

Le système immunitaire et le cancer : le chat et la souris

Le système immunitaire reconnaît et attaque les cellules cancéreuses émergentes. Aussi, plutôt que de se concentrer sur l'identification des molécules responsables des cancers, l'immunothérapie repose sur le principe d'éducation du système immunitaire de l'hôte.

De multiples preuves confirment l'importance du système immunitaire dans la réponse de l'organisme en la présence du cancer. En effet, certaines personnes présentent un risque bien plus élevé que d'autres de développer un cancer, comme en témoigne l'augmentation du nombre de cas de **sarcome de Kaposi*** dans la population atteinte du sida[7]. C'est que les cancers sont plus susceptibles de frapper lorsque le système immunitaire est vulnérable.

***SARCOME DE KAPOSI**
Type de cancer de la peau extrêmement rare dans la population immunocompétente.

Pour mieux comprendre les stratégies qui permettent d'utiliser le système immunitaire de l'hôte pour lutter contre la maladie, il importe de comprendre comment les cellules cancéreuses parviennent à échapper aux lymphocytes, ces cellules sanguines qui constituent les défenses naturelles du corps. Les lymphocytes ont pour fonction de repérer les corps étrangers et d'en débarrasser l'organisme. Puisque les cellules cancéreuses résultent en fait d'une transformation de cellules saines et ne proviennent donc pas de l'extérieur de l'organisme, comment faire en sorte que le système immunitaire détecte leur présence ?

Les cellules de l'organisme présentent à leur surface des **antigènes*** définissant leur identité. Ces « cartes d'identité » leur permettent d'être tolérées par le système immunitaire. Ainsi, un corps étranger présentant une « carte d'identité » différente sera rapidement identifié et neutralisé par les défenses immunes. Puisqu'elles contiennent des informations génétiques altérées, les cellules cancéreuses sont susceptibles de générer des **protéines mutantes*.** Ces nouvelles protéines cancéreuses, appelées « antigènes tumoraux », modifieront la « carte d'identité » de ces cellules et les rendront vulnérables face aux mécanismes de défense de l'organisme.

***ANTIGÈNE**
Molécule susceptible d'induire une réponse immunitaire.

***PROTÉINE MUTANTE**
Protéine dont la composition diffère de la protéine habituelle.

Le système immunitaire et le cancer : quand le chat n'est pas là, les souris dansent

Alors que l'organisme possède des mécanismes pour réagir aux cellules cancéreuses et amorcer une réponse immunitaire antitumorale, ces dernières utilisent divers moyens pour échapper à sa surveillance. Entre autres, elles peuvent présenter à leur surface des molécules qui permettent l'inactivation des lymphocytes antitumoraux, et parviennent alors à atténuer la réponse immunitaire contre le cancer. Autrement dit, les lymphocytes continuent à reconnaître les cellules tumorales, mais tolèrent leur présence !

Certaines études semblent, par ailleurs, démontrer que de bloquer ces mécanismes d'inactivation pourrait être efficace afin de rétablir l'activité du système immunitaire contre le cancer[8]. L'approbation par la FDA en 2011 de l'ipilimumab (commercialisé sous le nom de « Yervoy »), un anticorps dirigé contre le récepteur CTLA-4 dans le traitement du **mélanome métastatique*,** représente en ce sens une première victoire de l'immunothérapie du cancer et ouvre la porte à l'arrivée de nouveaux traitements du même type. Plusieurs essais cliniques sont également en cours pour vérifier si l'ipilimumab pourrait être utilisé contre d'autres types de cancers, dont celui de la prostate et certains cancers du poumon[9]. De nombreuses autres molécules prometteuses sont aussi en développement et devraient faire leur apparition très prochainement en Amérique.

***MÉLANOME MÉTASTATIQUE**
Type de cancer de la peau qui se dissémine dans l'organisme.

Il n'est d'ailleurs pas anodin que la prestigieuse revue *Science*, de l'American Association for the Advancement of Science, ait reconnu l'immunothérapie du cancer comme la plus grande avancée médicale de l'année 2013 !

L'avènement de l'immunothérapie ne signifie pas nécessairement le rejet des traitements traditionnels anticancéreux.

L'immunothérapie du cancer : oui, mais…

Malgré tout, l'avènement de l'immunothérapie ne signifie pas nécessairement le rejet des traitements traditionnels anticancéreux. Bien que grandement prometteuse, l'immunothérapie n'est pas vouée à un succès absolu et n'est pas dépourvue d'effets indésirables. Beaucoup reste encore à découvrir concernant la cure contre cet ennemi redoutable qu'est le cancer. Pour maximiser les chances de guérison, minimiser les risques de résistance thérapeutique et amoindrir les effets indésirables des traitements, combiner plusieurs stratégies anticancéreuses demeure et demeurera probablement l'option la plus profitable.

RÉFÉRENCES

[1] MUKHERJEE, Siddhartha. *The Emperor of All Maladies: A Biography of Cancer*, New York, Scribner, 2010.

[2] HANAHAN, Douglas et Robert A. WEINBERG. « Hallmarks of cancer: The next generation », *Cell Press*, vol. 144, nº 5, mars 2011, p. 646-674.

[3] DUNN, Gavin P., Allen T. BRUCE, Hiroaki IKEDA, Lloyd J. OLD et Robert D. SCHREIBER. « Cancer immunoediting: from immunosurveillance to tumor escape », *Nature Immunology*, vol. 3, nº 11, novembre 2002, p. 991-998.

[4] MUKHERJEE, *op. cit.*

[5] National Cancer Institute. « Breast cancer », http://www.cancer.gov/cancertopics/types/, page consultée le 9 juillet 2014.

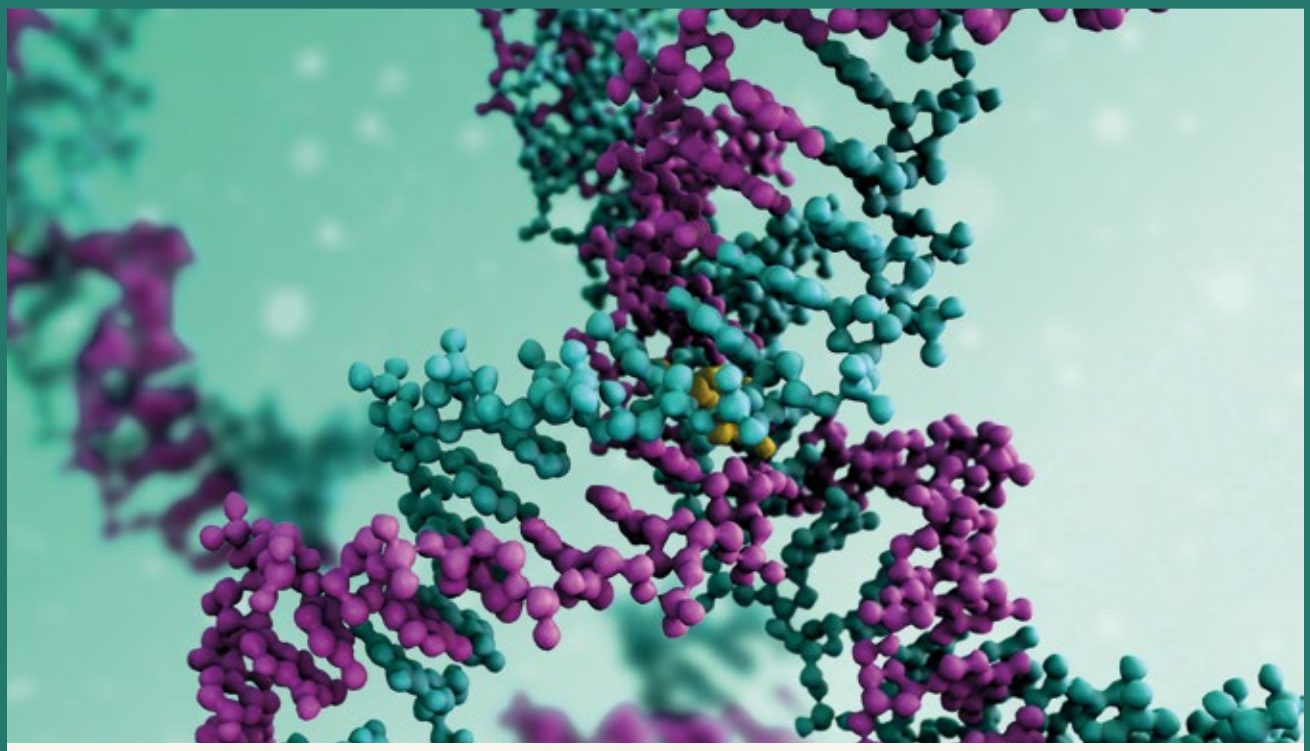
[6] National Cancer Institute, « Targeted Cancer Therapies », http://www.cancer.gov/, page consultée le 9 juillet 2014.

[7] OLIVEIRA COBUCCI, Ricardo N., Humberto SACONATO, Paulo H. LIMA, Hugo M. RODRIGUES, Tardelli L. PRUDENCIO, José E. JUNIOR et collab. « Comparative incidence of cancer in HIV-AIDS patients and transplant recipients », *Cancer Epidemiology*, vol. 36, nº 2, avril 2012, p. e69-e73.

[8] SAKUISHI, Kaori, Lionel APETOH, Jenny M. SULLIVAN, Bruce R. BLAZAR, Vijay K. KUCHROO et Ana C. ANDERSON. « Targeting Tim-3 and PD-1 pathways to reverse T cell exhaustion and restore anti-tumor immunity », *Journal of Experimental Medicine*, vol. 207, nº 10, septembre 2010, p. 2187-2194.

[9] « ClinicalTrials.gov » [base de données sur les essais cliniques aux États-Unis], http://www.clinicaltrials.gov/ct2/, page consultée le 9 juillet 2014.

LA RÉVOLUTION DU SÉQUENÇAGE DE PROCHAINE GÉNÉRATION



MICHAËL SABEH, michael.sabeh@umontreal.ca
Programme de maîtrise en sciences biologiques

Les nouvelles technologies de séquençage font partie des technologies qui évoluent actuellement le plus rapidement[1]. À ce rythme, elles feront en sorte que, dans quelques décennies, le séquençage du génome de chacun devienne chose courante dans la prévention et le traitement des maladies. Les scientifiques s'affairent activement afin d'exploiter au mieux ces informations génétiques et ainsi révolutionner le monde de la médecine. En l'an 2000, à la veille de la publication du premier génome humain presque entièrement complété, le président américain Bill Clinton a annoncé que ce génome « *révolutionnera le diagnostic, la prévention et le traitement de la plupart, sinon de la totalité, des maladies humaines*[2] ». À l'époque, on ne devinait toutefois pas l'énorme travail qu'il restait encore à faire avant que ce vœu ne devienne réalité.

Le séquençage du génome, qui consiste à déterminer l'ordre précis des nucléotides (molécules formant les unités de base dont la chaîne constitue l'ADN) de l'ensemble du matériel génétique d'un individu, devrait devenir chose courante dans les hôpitaux occidentaux d'ici quelques décennies. Cette information permettra, par exemple, de déterminer si un patient présente les mutations génétiques responsables d'une maladie particulière avant qu'il ne la développe. Non seulement elle servira alors à diagnostiquer ou à prévenir une maladie, mais elle guidera aussi la médecine de demain dans le choix du traitement qui conviendra le mieux à chacun[3].

Plusieurs de ces mutations génétiques sont en outre déjà connues, car elles sont de nos jours largement étudiées. Mais le séquençage coûte encore trop cher pour servir d'outil dans les hôpitaux.

L'ADN et l'ARN, les bases pour comprendre le séquençage

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est une molécule, contenue dans les cellules, qui englobe l'ensemble des informations génétiques nécessaires à la vie. L'ADN a une structure très complexe : il est organisé en doubles brins, puis enroulé autour de protéines qui forment les chromosomes. L'humain possède 23 paires de chromosomes. Ces derniers, qui constituent le génome, sont de longues chaînes d'ADN qui contiennent l'ensemble de nos gènes, une multitude d'éléments régulateurs ainsi que d'autres éléments dont les fonctions sont encore inconnues. L'ADN est constitué de quatre nucléotides — A, T, C et G —, qui sont liés par paires et dont la suite permet de synthétiser les différentes protéines qui forment les outils nécessaires au fonctionnement de la cellule. Chez l'humain, le génome est composé d'environ 3,2 milliards de paires de bases (les nucléotides), pour un total de 20 000 à 25 000 gènes environ.

Avant d'être utilisé par la cellule, l'ADN est tout d'abord transcrit en acide ribonucléique (ARN). Tous les ARN, selon leur structure, remplissent une fonction particulière ou servent d'intermédiaires pour la synthèse d'une protéine. Ces ARN intermédiaires, dits messagers (ARNm), sont donc traduits en protéines qui accompliront une fonction précise dans une cellule, par exemple : transporter de l'eau, intervenir dans le cycle du glucose ou encore reconnaître un agent pathogène.

SÉQUENCER LE GÉNOME, C'EST DÉTERMINER L'ORDRE PRÉCIS DES NUCLÉOTIDES DE L'ENTIÈRETÉ DE L'ADN.

Séquencer le génome, c'est déterminer l'ordre précis des nucléotides de l'entièreté de l'ADN. Il est aussi possible de séquencer de l'ARN, c'est-à-dire de tous les gènes qui sont transcrits (exprimés) à un moment précis. Il est alors question du séquençage du transcriptome, une technique quantitative qui peut être utilisée dans des études d'expression des gènes. Quand il est effectué à différents moments dans le cycle de vie d'un organisme, le séquençage de l'ARN permet d'étudier la dynamique du transcriptome ; quand il est plutôt effectué sur plusieurs espèces proches, il aide les chercheurs à comprendre les différences liées à des mutations dans les séquences de nucléotides et dans le profil d'expression de gènes communs à ces espèces[4].

Malgré ce bas coût « unitaire », le séquençage du génome humain avec cette technique reste incroyablement élevé (plus de un million de dollars).

Les débuts du séquençage

Frederick Sanger, un biochimiste anglais, a reçu deux prix Nobel de chimie (1958 et 1980), le second pour avoir développé une méthode permettant d'obtenir la séquence d'un fragment d'ADN. Cette méthode, conçue à la fin des années 1970, est aujourd'hui connue sous le nom de « séquençage Sanger ». Toute première technique de séquençage (d'ailleurs encore utilisée de nos jours), elle a connu beaucoup d'améliorations au cours des trois décennies subséquentes.

La technique de Sanger consiste à synthétiser le deuxième brin d'ADN en laboratoire et à arrêter la synthèse de manière aléatoire. Le dernier nucléotide à s'ajouter aura la particularité d'avoir un marqueur fluorescent, et une couleur différente est associée à chacun des quatre nucléotides, ce qui permettra de les différencier. En répétant l'exercice plusieurs fois, les chercheurs obtiennent une multitude de fragments de différentes longueurs, qu'ils peuvent ensuite séparer par ordre de grandeur. Cette méthode leur donnera une suite de couleurs correspondant à la séquence d'ADN.

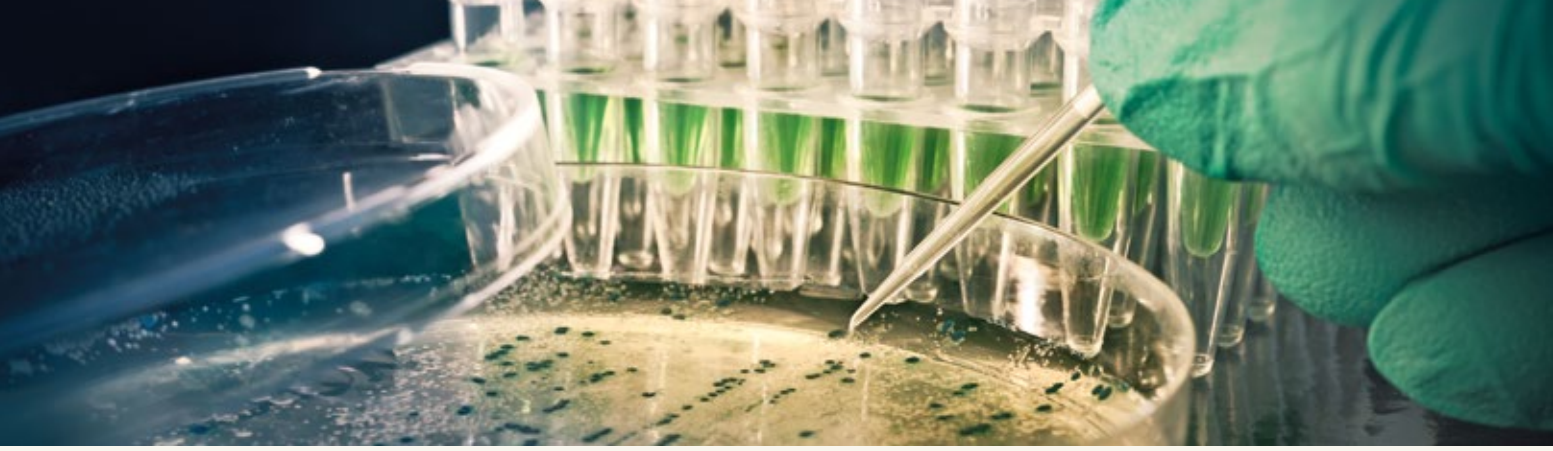
Cette technique, qui était longue, coûteuse et laborieuse, est maintenant automatisée et largement accessible dans des centres de séquençage. Elle permet aujourd'hui d'obtenir avec grande précision la séquence de longs fragments à un coût infime. Malgré ce bas coût « unitaire », le séquençage du génome humain avec cette technique reste incroyablement élevé (plus de un million de dollars) étant donné la longueur de celui-ci, ce qui a poussé le développement des technologies de séquençage à haut débit, aussi appelé « séquençage de prochaine génération[5] ».

Lumière sur les technologies de séquençage à haut débit

Plusieurs technologies ont vu le jour au cours de la dernière décennie et se font concurrence afin de dominer le marché du séquençage. Ion Torrent et Illumina sont parmi les plus importantes.

Les appareils de la technologie Ion Torrent isolent des fragments d'ADN sur des microbilles. Ces fragments d'ADN sont ensuite copiés plusieurs fois afin d'obtenir plusieurs fragments identiques par bille. Ces microbilles sont alors déposées sur une plaque dotée de micropuits et d'un semi-conducteur qui détecte la libération d'ions hydrogène dans chaque puits. Cette technique assure de ne placer qu'un fragment d'ADN par bille (plusieurs fragments identiques à la suite de la copie) et qu'une bille par puits. Lors du séquençage, le brin complémentaire au brin fixé à la bille est synthétisé. Un seul nucléotide y est ajouté à la fois s'il correspond au brin de départ permettant la synthèse du brin complémentaire, libérant ainsi des ions hydrogène, qui sont détectés par le semi-conducteur. L'appareil permet donc de déterminer la séquence des nucléotides venus s'ajouter au brin complémentaire. La plaque contient plusieurs millions de micropuits afin d'analyser des millions de séquences simultanément.

La technologie Illumina, quant à elle, se base sur la lumière afin de séquencer l'ADN. Tout comme Ion Torrent, elle séquence des millions de fragments d'ADN à la fois. Les fragments sont cependant placés sur une plaque et, après avoir été copiés plusieurs fois, y forment des amas de séquences identiques. Dans cette technique aussi, un nucléotide doit correspondre au nucléotide du premier brin pour se fixer au brin complémentaire, en voie de synthèse. Lorsque ce nucléotide s'ajoute, une molécule émet de la lumière. La machine prend



alors une photographie et, comme chaque nucléotide émet une lumière différente, il est possible de déterminer la séquence des nucléotides en fonction de la couleur émise par chacun.

Ces nouvelles technologies ont permis de réduire drastiquement le coût du séquençage, passant, pour le génome humain, d'environ 100 000 000 $ au début du siècle… à moins de 10 000 $ en 2012! De plus, les deux techniques présentent un taux d'erreur extrêmement faible. Elles ont néanmoins un grand défaut : elles ne peuvent pas séquencer des fragments de grande taille. Il faut donc maintenant assembler des millions de petites séquences par bio-informatique! C'est ainsi que des équipes de recherche ont développé des algorithmes informatiques pour rattacher ces millions de séquences en un génome complet.

L'arrivée de ces technologies pourrait réduire davantage le coût du séquençage et pourra certainement le rendre accessible à tous.

Le séquençage de troisième génération verra bientôt le jour. Ces nouvelles technologies très prometteuses permettront en effet de séquencer un génome en bien moins d'étapes, grâce à des fragments de très grande taille. L'arrivée de ces technologies pourrait réduire davantage le coût du séquençage et pourra certainement le rendre accessible à tous.

Où en est la science ?

L'utilisation du séquençage d'un génome dans le diagnostic de maladies devait initialement consister à trouver la probabilité qu'une mutation génétique soit responsable d'une maladie. Cette probabilité était basée sur la fréquence de cette mutation génétique chez les patients malades comparativement à des individus sains. Le médecin devait ensuite rechercher ces mutations par des méthodes moins coûteuses. Cependant, une telle approche n'a pas donné de résultats concluants, car l'identification de mutations génétiques spécifiques à des maladies n'entraînait pas un diagnostic sûr. Malgré ce constat d'échec, des études ont tout de même permis de déterminer un pourcentage de risque de développer certaines maladies. Ces tests, maintenant largement accessibles, ne sont toutefois pas assez fiables pour être utilisés dans les hôpitaux.

C'est pourquoi les chercheurs dirigent maintenant leurs espoirs vers le séquençage du génome entier de chaque patient. En effet, en sachant dès l'enfance qu'elle est à risque de développer des maladies cardiovasculaires, puisqu'elle possède une certaine mutation génétique, une personne ne changerait-elle pas son mode de vie, par exemple en ne consommant pas de tabac ou encore en réduisant son apport en cholestérol ? Lorsqu'il n'en coûtera que quelques milliers de dollars pour faire séquencer son génome, gouvernements et compagnies d'assurance préféreront probablement le diagnostic préventif à une vie entière de traitements coûteux. Aux États-Unis, des lois sont déjà établies sur l'interdiction de la discrimination génétique, tant pour empêcher les compagnies d'assurance de refuser des clients que pour empêcher des employeurs de refuser des candidats « porteurs » de maladies génétiques.

D'autre part, les coûts du séquençage diminuant sans cesse, il est de plus en plus courant que les laboratoires de recherche aient recours à cette méthode dans les études qu'ils effectuent, avec des résultats réellement intéressants. Par exemple, l'identification de gènes essentiels à l'infection d'organismes parasites a été réalisée à l'aide du séquençage, permettant de mieux comprendre les processus d'infections[6]. C'est cependant une technologie qui offre une trop grande quantité de données par rapport à la quantité d'information qu'il est possible d'exploiter pour le moment.

Seulement pour la médecine ?

Plusieurs questions restent aussi à résoudre avant de maîtriser cette méthode au point de l'utiliser pour diagnostiquer des maladies. Par exemple, comment cibler avec certitude la ou les mutations réellement responsables d'une maladie ? Ou encore, comment atteindre un niveau statistiquement significatif de sûreté dans l'identification d'une mutation responsable d'une maladie avec un nombre de données expérimentales réduit ? De telles questions restent déterminantes dans l'étude des causes génétiques des maladies[7]. De plus, les scientifiques s'affairent activement à comprendre le rôle des gènes dans le développement de maladies complexes. En effet, l'évolution

AUX ÉTATS-UNIS, DES LOIS SONT DÉJÀ ÉTABLIES SUR L'INTERDICTION DE LA DISCRIMINATION GÉNÉTIQUE.

d'une maladie n'est souvent pas causée par une variation d'un seul gène, mais par une multitude de facteurs impliquant aussi, bien souvent, l'expression et l'interaction de plusieurs gènes. Bientôt, avec l'accumulation de connaissances en génétique et la conception de nouveaux algorithmes informatiques, l'analyse de telles données deviendra possible[8]. Le séquençage se voit déjà attribuer toutes sortes d'applications, mais la communauté scientifique ne peut même pas encore imaginer le potentiel d'information recueillie par le séquençage complet des génomes et des transcriptomes.

Il ne faut pas non plus penser que le séquençage complet du génome se limite à l'humain. Les gènes d'innombrables organismes pathogènes n'attendent que de se faire séquencer afin de révéler les secrets de leur mécanisme d'infection. Le séquençage du génome ou du transcriptome d'un organisme pathogène peut en effet révéler comment celui-ci contourne le système immunitaire ou encore indiquer s'il est résistant à un certain antimicrobien[9]. Les percées à ce sujet permettront un traitement plus adapté, puisque plusieurs souches d'une même espèce pathogène ne réagissent pas de la même manière aux traitements.

Au-delà de la santé humaine, le secteur agricole est aussi largement concerné par les avancées du séquençage. Les végétaux sont la cible de plusieurs agents pathogènes (bactéries, virus, champignons, nématodes) qui réduisent énormément la productivité agricole. Au Canada seulement, l'agriculture est un marché d'environ 120 milliards de dollars et subit annuellement des pertes considérables à cause des agents pathogènes qui s'attaquent aux plantes. Plusieurs études sont en cours afin de trouver des gènes candidats à un traitement potentiel, et le séquençage est l'outil qui permet de réaliser ces études[10]. ◉

RÉFÉRENCES

[1] STEIN, Lincoln D. « The case for cloud computing in genome informatics », *Genome Biology*, vol. 11, nº 5, 2010, p. 207-214.

[2] WENDELSDORF, Katherine. « Gene testing revolution: Disease prediction results skyrocket for whole genome and whole exome sequencing », http://www.geneticliteracyproject.org/, page consultée le 26 août 2014.

[3] ROYCHOWDHURY, Sameek, Matthew K. IYER, Dan R. ROBINSON, Robert J. LONIGRO, Yi-Mi WU, Xuhong CAO et collab. « Personalized oncology through integrative high-throughput sequencing: A pilot study », *Science Translational Medicine*, vol. 3, nº 111, 2011, p. 111-121.

[4] WANG, Zhong, Mark GERSTEIN et Michael SNYDER. « RNA-Seq: A revolutionary tool for transcriptomics », *Nature Reviews Genetics*, vol. 10, nº 1, 2009, p. 57-63.

[5] SHENDURE, Jay et Hanlee JI. « Next-generation DNA sequencing », *Nature Biotechnology*, vol. 26, nº 10, 2008, p. 1135-1145.

[6] RUTTER, William B., Tarek HEWEZI, Sahar ABUBUCKER, Tom R.MAIER, Guozhong HUANG, Makedonka MITREVA et collab. « Mining novel effector proteins from the esophageal gland cells of meloidogyne incognita », *Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 27, nº 9, 2014, p. 965-974.

[7] KILPINEN, Helena et Jeffrey C. BARRETT. « How next-generation sequencing is transforming complex disease genetics », *Trends in Genetics*, vol. 29, nº 1, 2013, p. 23-30.

[8] COSTANZO, Michael, Anastasia BARYSHNIKOVA, Jeremy BELLAY, Yungil KIM, Eric D. SPEAR, Carolyn S. SEVIER et collab. « The genetic landscape of a cell », *Science*, vol. 327, nº 5964, 2010, p. 425-431.

[9] GORDON, Nicola Claire, James R. PRICE, Kevin COLE, Richard Geoffrey EVERITT, Marcus J. MORGAN, John M. FINNEY et collab. « Prediction of staphylococcus aureus antimicrobial resistance by whole-genome sequencing », *Journal of Clinical Microbiology*, vol. 52, nº 9, 2014, p. 1182-1191.

[10] RUTTER et collab., *op. cit.*

LES OBSERVATOIRES FOND DE MER : UNE LUMIÈRE DANS LA NUIT ABYSSALE

YANN LELIÈVRE, yann.lelievre10@gmail.com
Programme de doctorat en sciences biologiques

Dernière frontière inexplorée de la planète, l'océan profond est aujourd'hui un enjeu majeur pour la communauté scientifique internationale. La découverte en 1977 des premières sources hydrothermales profondes et de leur faune luxuriante a bousculé notre conception de la vie dans les abysses. Les défis technologiques posés par l'étude de ces environnements, l'accessibilité limitée à ces milieux ainsi que leurs conditions extrêmes font que de nombreux secrets restent encore enfouis dans les profondeurs des océans. Les observatoires fond de mer offrent alors une occasion unique d'accroître notre compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes et de percer les derniers mystères de la planète bleue.

À L'IMAGE DE CE QUE PENSAIENT LES SCIENTIFIQUES IL Y A SEULEMENT UNE TRENTAINE D'ANNÉES, LES ABYSSES SONT TRÈS SOUVENT PERÇUS COMME UN MONDE ÉTEINT, OÙ LA NUIT ET LE SILENCE RÈGNENT.

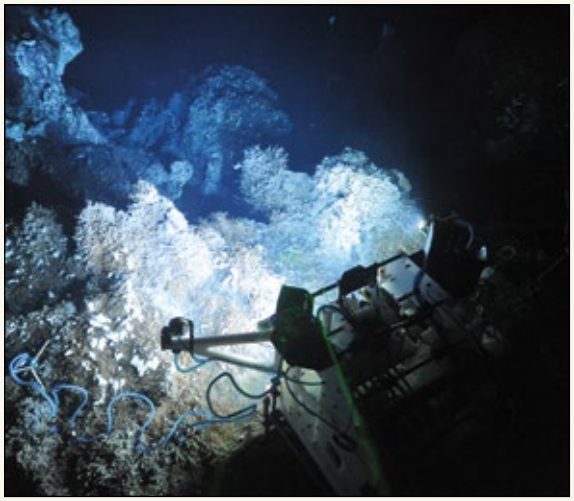


FIGURE 1
TEMPO-mini : un module écologique d'observation déployé à 2 196 m de profondeur à la base de l'édifice hydrothermal Grotto (Main Endeavour Field, dorsale Juan de Fuca) le 29 septembre 2011 (© ONC/CSSF)

Source : http://www.neptunecanada.ca/news/news-details dot?id=30607

L'espace est aujourd'hui mieux connu que les fonds océaniques[1]. Alors que la surface de la Lune et de Mars a été entièrement cartographiée, les océans de notre propre planète ne le sont qu'à hauteur de 5 %. Formée il y a environ 4,5 milliards d'années, la Terre régénère en permanence sa surface. Ce renouvellement a lieu au niveau des dorsales océaniques, des chaînes de montagnes sous-marines qui serpentent autour du globe sur environ 60 000 km, par près de 3 000 m de profondeur. Jusqu'à présent, moins de 10 % de ces dorsales ont un jour attiré la curiosité de l'être humain[2, 3]. Pourtant, ces sites voient naître les sources hydrothermales, des sortes de cheminées libérant dans l'océan une étrange fumée. Les océans profonds, d'au-delà de 200 m, restent donc largement inconnus, ce qui laisse à penser qu'ils réservent encore quelques surprises et de grandes découvertes. À l'image de ce que pensaient les scientifiques il y a seulement une trentaine d'années, les abysses sont très souvent perçus comme un monde éteint, où la nuit et le silence règnent. Les fonds marins étaient auparavant décrits comme de vastes plaines abyssales que quelques espèces de poissons sillonnaient. Or, la découverte des sources hydrothermales et d'écosystèmes originaux basés sur la **chimiosynthèse*** a complètement bouleversé l'idée d'homogénéité que l'Homme se faisait des abysses. À certains endroits, les océans profonds fleurissent de vie : une vie sans lumière, indépendante de la photosynthèse. Dès lors, ces découvertes majeures ont remis en cause les hypothèses sur l'origine de la vie et ont été le point de départ d'une véritable conquête abyssale, suivie d'un développement des technologies qui allait permettre l'étude de ces écosystèmes si particuliers.

***CHIMIOSYNTHÈSE**
Processus menant à la production de substances à partir de l'énergie de molécules chimiques comme le sulfure d'hydrogène plutôt que de la lumière du Soleil.

Les instituts de recherche disposent aujourd'hui d'équipements de pointe affectés à l'étude des océans profonds. Les navires océanographiques possèdent à leur bord des laboratoires, des submersibles habités (Nautile, Alvin, etc.) ainsi que des véhicules téléguidés (Victor 6000, ROPOS, etc.) appelés « ROV » (*remotely operated vehicles*) pouvant être utilisés jusqu'à une profondeur de 6 000 m. Ces précieux outils constituent les yeux et les bras des océanographes. Ils permettent de réaliser des expériences, de prélever des échantillons, mais également de mettre en place et d'entretenir des observatoires. Toutefois, le recours à ces technologies est restreint à des conditions météorologiques clémentes. Ainsi, les missions océanographiques s'effectuent souvent à la même période de l'année, ne laissant aux chercheurs qu'une fenêtre temporelle réduite pour étudier ces environnements. De plus, la recherche sur les grands fonds marins est très onéreuse. Le financement des travaux pour 30 scientifiques dans le cadre d'une campagne océanographique revient en moyenne

à 90 000 $ par jour. Les coûts associés aux outils de recherche sont également très élevés, puisqu'il faut compter au moins 20 000 $ par jour pour un véhicule téléguidé et bien davantage pour un submersible habité. Ces inconvénients ont amené les scientifiques à se réunir et à adopter une approche novatrice : la mise en place d'observatoires fond de mer. Ces derniers s'avèrent nécessaires pour mieux comprendre ce qui se passe au cœur des abysses, et pour explorer davantage les sources hydrothermales et leur faune aussi fascinante qu'intéressante.

La découverte et la naissance des sources hydrothermales

C'est en février 1977, lors d'une mission océanographique américaine réalisée au large des Galápagos que deux géologues, Corliss et Van Andel, vont découvrir à bord du submersible américain Alvin et à 2 500 m de profondeur les premières sources hydrothermales[4]. Au cours de leur exploration, ils découvrent une vie foisonnante autour de foyers d'eau tiède (une dizaine de degrés au-dessus de la température ambiante de 2 °C). La littérature voit alors apparaître des espèces animales sous des noms évocateurs comme « ver tubicole géant », « *clam* géant » ou bien « ver spaghetti ». Dès lors, les propos de Jacques Piccard, décrivant sa plongée dans la fosse des Mariannes à 10 910 m le 23 janvier 1960, ont pris une nouvelle dimension :

> *« Au moment où nous arrivâmes sur le fond, après quatre heures et trente minutes, nous eûmes la chance immense de voir, juste au milieu du cercle de lumière apportée par un de nos projecteurs, un poisson. Ainsi donc, en une seconde, mais après des années de préparation, nous pouvions répondre à la question que des milliers d'océanographes s'étaient posée. La vie, sous forme supérieurement organisée, était donc possible quelle que soit la profondeur[5]. »*

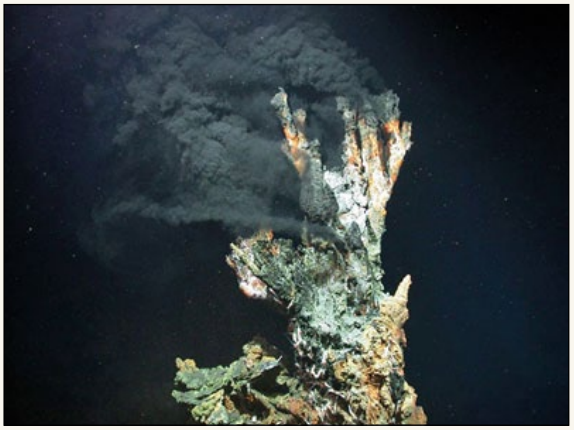


FIGURE 2

Source hydrothermale, appelée également « fumeur noir » en raison de la quantité importante de sulfures libérés dans son fluide hydrothermal (Logatchev, dorsale médio-atlantique) (© Université de Bremen, 2004)

Source : http://archive.noc.ac.uk/chess/education/edu_htv.php

CES INCONVÉNIENTS ONT AMENÉ LES SCIENTIFIQUES À SE RÉUNIR ET À ADOPTER UNE APPROCHE NOVATRICE : LA MISE EN PLACE D'OBSERVATOIRES FOND DE MER.

La formation des sources hydrothermales est liée à l'activité volcanique et aux mouvements tectoniques. Ces processus géologiques vont altérer la croûte océanique et générer des failles et anfractuosités qui permettront à l'eau de mer, dense et froide, de s'infiltrer sur plusieurs kilomètres[6]. À l'approche de la chambre magmatique et au contact des roches en fusion, l'eau va se réchauffer, ce qui entraîne une diminution de sa densité et sa remontée du fait de la pression générée. Le fluide hydrothermal pourra atteindre des températures extrêmement élevées (de 350 à 400 °C). En lessivant les roches lors de cette remontée, le fluide va se charger en éléments métalliques (Zn, Mn, Fe, Si, etc.) et en gaz dissous (H_2S, H_2, CH_4, CO, CO_2, etc.), s'appauvrir en oxygène ainsi qu'en divers composés (Mg^{2+}, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{2-}, etc.). La composition du fluide hydrothermal varie selon de nombreux critères : la nature des roches qu'il a traversées, sa température et la pression ambiante. Au contact de l'eau de mer, froide et oxygénée, les fluides hydrothermaux surchauffés vont générer des précipités de sulfures polymétalliques et de sulfates de calcium formant des édifices minéraux appelés « cheminées[7, 8] ».

Les sources hydrothermales : des oasis de vie éphémères

Les espèces vivant près des sources hydrothermales se distribuent en fonction de leurs préférences physicochimiques, de l'espace disponible et de leur capacité à résister aux composés toxiques produits par les émissions de fluides hydrothermaux. Ainsi, ces espèces adopteront une répartition en mosaïque ou bien en auréoles concentriques autour des cheminées hydrothermales. Leur diversité est relativement réduite, mais la biomasse est extrêmement élevée. Sur l'ensemble des sites explorés à ce jour, seulement 600 espèces animales vivant à proximité des sources hydrothermales ont été décrites[9], mais ce nombre n'a cessé d'augmenter au cours des années. Le taux d'endémicité, soit le fait de retrouver une espèce exclusivement à un endroit géographique, y est à hauteur de 75 %. Pour prospérer dans ces milieux, de nombreuses espèces ont fait preuve d'ingéniosité et ont développé, au fil de l'évolution, des processus d'adaptation comme la symbiose. Voici deux espèces que les scientifiques qualifient d'espèces clés, du fait qu'elles offrent « le gîte et le couvert » à de nombreuses autres espèces : le ver *Riftia pachyptila* et les modioles *Bathymodiolus azoricus*.

L'espèce emblématique des sources hydrothermales est sans aucun doute le ver *Riftia pachyptila*. Sa grande particularité : il ne possède ni bouche, ni tube digestif, ni anus. Comment ce ver fait-il pour se nourrir ? La réponse se trouve à l'intérieur du corps de l'animal, dans un organe bien particulier : le trophosome. C'est dans cette sorte de poche que l'animal héberge des bactéries chimiosynthétiques.

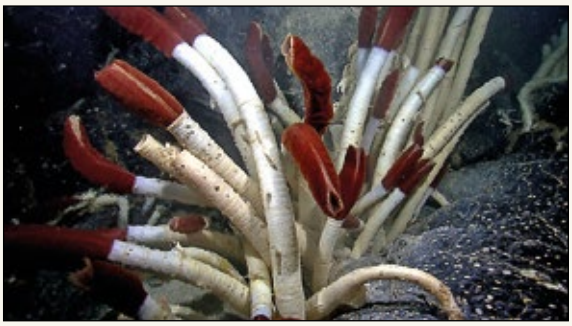


FIGURE 3

Vers tubicoles *Riftia pachyptila* (siboglinidés) (© NOAA Okeanos Explorer Program, Galapagos Rift Expedition, 2011)

Source : https://www.flickr.com/photos/noaaphotolib/9664056402/in/set-72157635360690997

Pour subvenir aux besoins de ces hôtes au nombre de $3{,}7\times10^9$ par gramme de poids frais, le ver capte, grâce à son panache branchial rouge vif, l'oxygène et les sulfures émis dans les fluides hydrothermaux. Il recevra en échange des sucres et diverses molécules synthétisées par les bactéries qui sont indispensables à sa survie. Cette alliance animale, qui bénéficie à chacune de ces espèces, constitue ce que l'on appelle la symbiose.

Une autre espèce, les modioles, de lointaines cousines des moules de nos côtes, vont encore plus loin et pratiquent la double symbiose. L'espèce majoritaire de la dorsale

LA MISE EN PLACE DE CES OBSERVATOIRES A POUR OBJECTIFS D'APPORTER DE NOUVELLES CONNAISSANCES ET DE DONNER UN NOUVEL ÉLAN À L'ÉTUDE DES OCÉANS PROFONDS.

médio-atlantique, les modioles *Bathymodiolus azoricus* forment des moulières (assemblages de moules) importantes dans les zones abyssales.

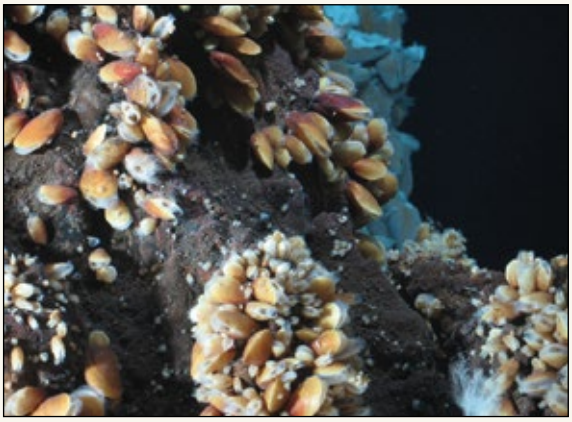


FIGURE 4

Modioles Bathymodiolus azoricus sur l'édifice hydrothermal Tour Eiffel (dorsale médio-atlantique). Photo ROV Victor (© Ifremer, 2010)

Source : http://www.ifremer.fr/momarsat2010/archives/10-10-11.htm

Pouvant atteindre jusqu'à 15 cm de longueur, les modioles sont associées en symbiose à des bactéries qui logent dans leurs cellules branchiales. Des bactéries thiotrophes vont s'y alimenter en hydrogène sulfuré (H_2S), alors que des bactéries méthanotrophes y consommeront le méthane (CH_4). Ces bactéries vont être capables de synthétiser de la matière organique en utilisant le gaz carbonique dissous et l'énergie chimique issue de l'oxydation des composés minéraux (hydrogène sulfuré ou méthane). La double symbiose de *B. azoricus* lui permet non seulement de se nourrir, mais aussi de s'adapter rapidement aux variations des conditions de l'environnement.

Le peuple abyssal a su mettre en œuvre de multiples stratégies pour vivre dans ces environnements extrêmes. Cette synergie entre les espèces leur permet de supporter des conditions de vie difficiles et de s'épanouir dans un habitat qui serait toxique et inhospitalier pour l'être humain. Pourtant, ces milieux regorgeant de vie ne sont pas éternels. Les milieux hydrothermaux font preuve d'un caractère instable. Les émissions hydrothermales ne resteraient actives qu'entre 20 et 100 ans. Ainsi, lorsqu'une source s'éteint, les espèces ne peuvent échapper à leur destin et meurent avec celle qui leur avait donné naissance. L'activité géologique de notre planète formera de nouvelles sources hydrothermales qui se feront à leur tour coloniser, et le cycle de la vie reprendra. Malgré de nombreuses hypothèses, le déplacement des larves menant à la colonisation des sources hydrothermales reste encore mystérieux.

MoMAR et NEPTUNE Canada : deux observatoires aux grandes ambitions

Depuis quelques années, la communauté scientifique internationale se mobilise pour étudier les écosystèmes marins profonds sur de longues échelles de temps (plus longtemps que la durée d'une seule mission océanographique). La mise en place de ces observatoires a pour objectifs d'apporter de nouvelles connaissances et de donner un nouvel élan à l'étude des océans profonds. Les observatoires relèvent d'une approche pluridisciplinaire[10, 11]. Des instruments y sont déployés pour observer et mesurer en continu la variabilité temporelle des écosystèmes marins profonds et de la faune qui y vit.

L'observatoire EMSO-Açores MoMAR, situé au large des Açores, est installé sur le champ hydrothermal Lucky Strike au cœur de la dorsale médio-atlantique. MoMAR n'étant pas relié au continent, une partie des données qu'il recueille est transmise par acoustique et satellite à partir d'une bouée de surface. L'autre partie des données est stockée, puis récupérée à la visite suivante du site. Deux nœuds d'observation, appelés « Seamon Ouest » et « Seamon Est », constituent l'observatoire. Ils fournissent aux instruments qui leur sont reliés les moyens d'effectuer leurs mesures, de les stocker et de les communiquer au monde extérieur. Seamon Ouest est affecté à la géophysique, tandis que Seamon Est est réservé à l'étude de la faune hydrothermale et de son environnement. Les objectifs scientifiques de MoMAR sont l'étude de la variabilité temporelle des processus actifs tels que l'hydrothermalisme, la dynamique des écosystèmes, le volcanisme, la sismicité et la déformation

du sol, afin que les scientifiques comprennent la dynamique des écosystèmes de la dorsale médio-océanique.

Du côté du Pacifique, NEPTUNE Canada est le plus grand observatoire sous-marin au monde. Située à l'ouest de Vancouver, à 300 km au large de la Colombie-Britannique, l'installation fonctionne grâce à un réseau de 800 km de câbles (fibres optiques et électriques) qui reposent sur les fonds marins le long de la plaque tectonique Juan de Fuca[12]. L'observatoire se compose de six nœuds, où des instruments de mesure ont été déployés. La force de NEPTUNE Canada réside dans la diversité des disciplines représentées par ses chercheurs (biologie, chimie, physique, géologie, microbiologie, etc.) et dans la disponibilité instantanée des données acquises par les instruments de mesure. Établi pour 25 ans, NEPTUNE Canada amassera plus de 60 téraoctets de données scientifiques par an, soit l'équivalent de 60 millions de livres, sur l'ensemble des processus biologiques, physiques, chimiques et autres qui ont cours de l'océan Pacifique.

TEMPO-mini : un œil dans les abysses

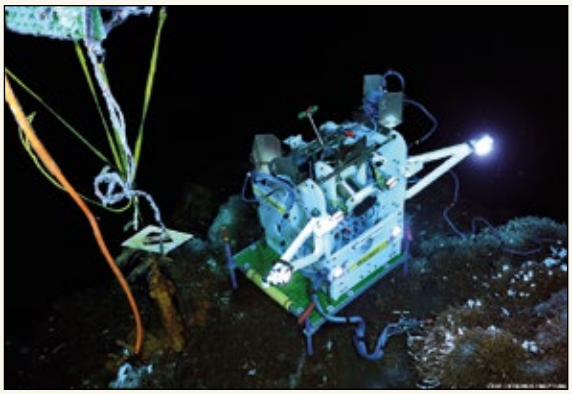


FIGURE 5

TEMPO-mini filmant l'assemblage de siboglinidés et la faune associée de l'édifice hydrothermal Grotto (© ONC/CSSF/Ifremer)

Source : http://wwz.ifremer.fr/deep/Actualites/Tempo-mini-a-rejoint-le-fond-sur-le-site-hydrothermal-Grotto

Sur le segment Endeavour de la dorsale Juan de Fuca, l'observatoire NEPTUNE Canada dispose de divers instruments pour des mesures géophysiques, sismiques et de flux hydrothermal, ainsi qu'un module écologique d'observation appelé TEMPO-mini. Véritable défi technologique, TEMPO-mini est conçu pour étudier la dynamique des communautés hydrothermales[13]. Déployé sur l'édifice Grotto à 2 196 m de profondeur, il transmet en temps réel et en continu des données d'imagerie vidéo ainsi que des enregistrements de données environnementales. Sa caméra haute résolution (2,0 mégapixels) est centrée sur un assemblage de vers tubicoles siboglinidés *Ridgeia piscesae* situé à proximité d'une zone de diffusion hydrothermale. Lorsque les projecteurs du module s'allument, la caméra révèle pendant 20 minutes (la durée de l'enregistrement) un écosystème dynamique, avant de s'éteindre pour laisser cours à la nuit abyssale. La lumière éveillera de nouveau ces habitants des grands fonds quatre heures plus tard, fréquence à laquelle les enregistrements sont réalisés. Durant cette courte période d'observation, il sera possible de faire la rencontre d'espèces uniques telles que le ver tubicole *Ridgeia piscesae*. Ce ver peuple principalement l'édifice Grotto et structure l'écosystème en fournissant une large gamme d'habitats dont vont dépendre de nombreuses espèces. Les buccinidés (*Buccinum thermophilum*) ainsi que les lepetodrilidés (*Lepetodrilus fucensis*) sont deux espèces de gastéropodes (mollusques) associées à ces buissons de siboglinidés. Les pycnogonidés, semblables à de petites araignées, les polynoidés, appelés également « vers à écailles », ainsi que les zoarcidés (poissons abyssaux) font également partie de la faune visible sur l'édifice Grotto. Il arrivera occasionnellement de croiser la route d'autres visiteurs tels que le crabe araignée *Macroregonia macrochira* ou des cténophores (organismes transparents) venant se laisser filmer l'espace de quelques secondes. Plus qu'une simple caméra, TEMPO-mini nous ouvre les portes d'un monde discret pourtant bien vivant. Paparazzi des profondeurs, il comble notre attirance pour l'inaccessible en offrant à notre regard, un lieu situé à plus de 2 km sous la surface de l'océan.

C'était impensable il y a seulement quelques décennies, mais la distance qui sépare l'Homme des profondeurs océaniques a

FAISANT AUTREFOIS OFFICE DE FRONTIÈRE POUR LA TECHNOLOGIE, LE MUR D'EAU SITUÉ ENTRE LES ABYSSES ET LA SURFACE N'EST AUJOURD'HUI QU'UNE PHASE DE TRANSITION ENTRE UN MONDE OÙ LE JOUR ET LA NUIT SE CÔTOIENT.

considérablement diminué. Faisant autrefois office de frontière pour la technologie, le mur d'eau situé entre les abysses et la surface n'est aujourd'hui qu'une phase de transition entre un monde où le jour et la nuit se côtoient. En quelques années, la mise en place des observatoires fond de mer a permis une nouvelle vision de l'étude de ces écosystèmes et a remis en question les connaissances actuelles dans de nombreux domaines tels que l'histoire des océans, les adaptations aux milieux extrêmes ou les limites de la vie. Ces observatoires sous-marins bénéficient de l'expertise de scientifiques de nombreuses disciplines (écologie, chimie, physique, sismologie, microbiologie, ingénierie, etc.). Le développement des biotechnologies ne cesse d'accroître le potentiel de ces observatoires et est la clé qui percera les mystères les plus profonds de notre planète. Désireux de rencontrer ces habitants abyssaux ? Naviguez dès maintenant sur l'infrastructure Ocean Networks Canada[14] pour une rencontre en direct avec les fonds océaniques. ◎

RÉFÉRENCES

[1] NOUVIAN, Claire. *Abysses*, Paris, Fayard, 2006.

[2] BAKER, Edward, Christopher GERMAN et Henry ELDERFIELD. « Hydrothermal plumes over spreading-center axes: Global distributions and geological inferences », dans HUMPHRIS, Susan E. et collab. (dir.). *Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological, and Geological Interactions*, Washington, American Geophysical Union, 1995, p. 47-71.

[3] BAKER, Edward et Christopher GERMAN. « On the global distribution of hydrothermal vent fields », dans GERMAN, Christopher et collab. *Mid-Ocean Ridges*, Wiley, 2004, p. 245-266.

[4] CORLISS, John et Robert BALLARD. « Oases of life in cold abyss », *National Geographic*, vol. 152, nº 4, 1977, p. 441-453.

[5] Ifremer, « La découverte de la vie dans les grandes profondeurs », http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-decouvertes/Vie-au-fond/Historique, page consultée le 8 décembre 2014.

[6] EDMOND, John M., Karen VON DAMM, Russell E. McDUFF et Christopher I. MEASURES. « Chemistry of hot springs on the East Pacific Rise and their effluent dispersal », *Nature*, vol. 297, nº 5863, 1982, p. 187-191.

[7] ALT, Jeffrey C. « Subsea floor processes in mid-ocean ridge hydrothermal systems », dans HUMPHRIS, Susan E. et collab. (dir). *Seafloor Hydrothermal Vents: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions*, Washington, American Geophysical Union, 1995, p. 85-114.

[8] HANNINGTON, Mark D., Ian R. JONASSON, Peter M. HERZIG et Sven PETERSEN. « Physical and chemical processes of seafloor mineralization at mid-ocean ridges », dans HUMPHRIS, Susan E. et collab. (dir.). *Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological, and Geological Interactions*, Washington, American Geophysical Union, 1995, p. 115-157.

[9] DESBRUYERES, Daniel et Michel SEGONZAC. *Handbook of Deep-Sea Hydrothermal Vent Fauna*, Éditions Quae, Versailles, 1997.

[10] AUFFRET, Yves, Jozée SARRAZIN, Pierre-Marie SARRADIN, Jean-Yves COAIL, Laurent DELAUNEY, Julien LEGRAND et collab. « Tempo-Mini: A custom-designed instrument for real-time monitoring of hydrothermal vent ecosystems », *Instrumentation Viewpoint*, vol. 8, 2009, p. 17.

[11] BARNES, Chris R., Mairi M. BEST et Adam ZIELINSKI. « The NEPTUNE Canada regional cabled ocean observatory », *Technology*, vol. 50, 2008, p. 3.

[12] BARNES, Chris R., Mairi. M. BEST, Fern R. JOHNSON, Lucie PAUTET et Benoît PIRENNE. « Challenges, benefits, and opportunities in installing and operating cabled ocean observatories: Perspectives from NEPTUNE Canada », *Oceanic Engineering, IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 38, nº 1, 2013, p. 144-157.

[13] AUFFRET et collab., *op. cit.*, p. 17.

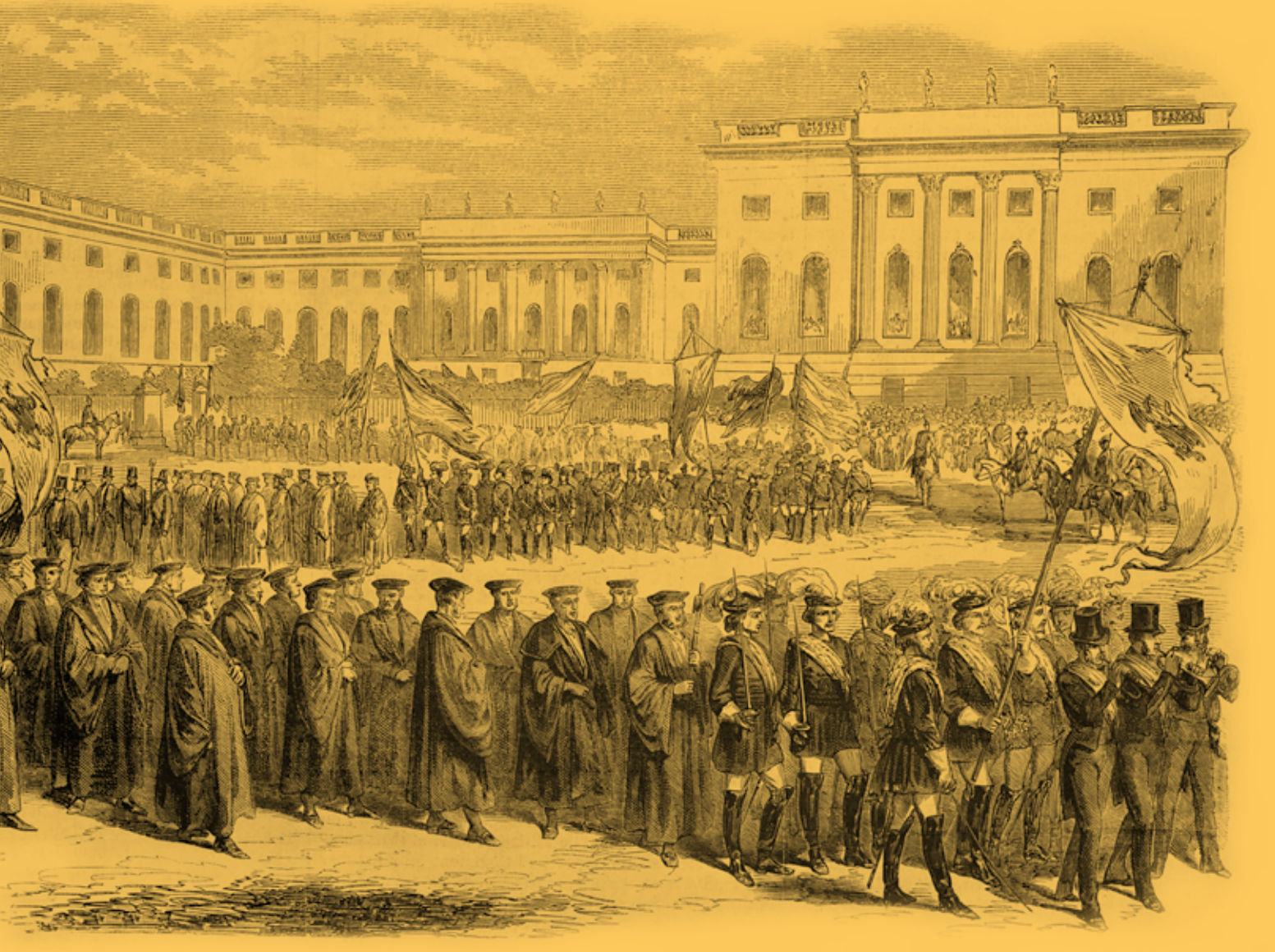
[14] Ocean Networks Canada, http://www.oceannetworks.ca, page consultée le 8 décembre 2014.

POURQUOI LA FORMATION GÉNÉRALE AUJOURD'HUI ? L'EXEMPLE DE LA FONDATION DE L'UNIVERSITÉ DE BERLIN

Crédit photo : gary yim / Shutterstock.com

BLANDINE PARCHEMAL, blandine.parchemal@umontreal.ca
Programme de doctorat en philosophie

À l'automne 2014, le gouvernement québécois annonçait des compressions budgétaires de l'ordre de 200 M$ dans le réseau universitaire québécois. Des coupes dont les programmes en arts, lettres et sciences humaines semblent en faire majoritairement les frais. Pourtant, ces disciplines, constitutives de la formation générale universitaire, ne sont déjà pas les mieux loties au sein de l'université. Alors, pourquoi maintenir la formation générale à l'université ? Pourquoi a-t-elle été considérée, il y a deux siècles, comme un élément central du parcours universitaire et quel est son apport encore aujourd'hui ? Pour le savoir, un retour aux fondements de l'Université de Berlin, établissement dont l'objectif fut de donner une place essentielle à la formation générale, s'impose.



Contrairement à une idée reçue, la formation générale n'a pas précédé la formation professionnelle à l'université. Les universités du Moyen-Âge dispensaient avant tout un enseignement professionnel à travers les facultés traditionnelles de droit, de médecine et de théologie. Ces dernières étaient même considérées comme des facultés supérieures en regard de celle de philosophie, qui, elle, était dite inférieure[1]. Devant cette situation, le projet qui caractérise le concept d'université défendu par les fondateurs de l'Université de Berlin va consister à renverser cet ordre et à subordonner les facultés spécialisées et « professionnalisées » à une composante plus généraliste, orientée vers l'exploration du savoir humain[2]. L'université garde certes comme fonction la formation professionnelle, mais son but plus large est alors, comme le dit Schleiermacher, d'« *éveiller l'esprit scientifique général*[3] ». La formation générale devient l'élément central du cursus universitaire.

La fondation de l'Université de Berlin

À la suite de la défaite subie en 1807 par la Prusse face à Napoléon Ier, la paix de Tilsit imposa à cette dernière l'abandon du duché de Magdebourg, alors siège de sa plus importante maison d'enseignement supérieur : l'Université royale de Halle. Envisagée dès 1802 par le ministre de la Justice d'alors, Carl Friedrich Beyme, la création de l'Université de Berlin devint, sous l'effet des circonstances, une nécessité intellectuelle. Une fois prise la décision de transférer l'institution, le ministre s'adressa à divers représentants du monde culturel pour leur demander comment ils concevraient, à cette occasion, l'organisation et la fonction de cette université[4].

Contrairement à une idée reçue, la formation générale n'a pas précédé la formation professionnelle à l'université.

Invité à prendre part au projet dès septembre 1807, Johann Gottlieb Fichte, philosophe rattaché au courant de l'idéalisme allemand, envoya en octobre au ministre son

C'EST SEULEMENT À PARTIR DE CE SAVOIR GÉNÉRAL QUE L'ÉTUDIANT SERA ENSUITE EN MESURE DE PLACER LES SAVOIRS PARTICULIERS AU SEIN D'UN RÉSEAU DE RELATIONS, DE FAIRE DES LIENS ENTRE EUX, DE COMPRENDRE LEURS FONDEMENTS.

Plan déductif d'un établissement supérieur à fonder à Berlin. À la suite de Fichte, deux autres philosophes de renom, Schleiermacher et Humboldt, furent appelés eux aussi à fournir leurs projets pour cette future université. C'est ainsi que Friedrich Schleiermacher répliqua quelques semaines après en publiant ses *Pensées de circonstances sur les universités*. Quant à Wilhelm von Humboldt, c'est à lui que le ministre Beyme confia en 1808 la mise sur pied de l'université berlinoise qui porte maintenant son nom. En 1810, il écrit sans l'achever l'inédit *Sur l'organisation interne et externe des établissements scientifiques supérieurs à Berlin*.

Si l'institution universitaire ne s'établit plus dans le même contexte qu'en 1807 et si ses fonctions se sont diversifiées, les réflexions de ces trois philosophes au sujet du rôle de la formation générale restent d'actualité. Mieux, la place prépondérante acquise de nos jours par la formation professionnelle rend d'autant plus nécessaire le retour à ces textes, lesquels offrent des éléments d'orientation pour penser la légitimité et l'avenir de la formation générale au sein des universités contemporaines.

Éveiller l'esprit scientifique général

Les penseurs de l'Université de Berlin vont mettre l'accent sur un élément essentiel à leurs yeux : la poursuite de l'unité du savoir. Il s'agit pour eux de revenir au concept même d'« uni-versité », qui implique que du multiple ou du divers, on se tourne vers l'unité. Ainsi, selon Schleiermacher, l'université doit embrasser toutes les formes du savoir et « *exprimer, dans la manière dont elle traite chaque branche, sa relation intérieure naturelle à la totalité du savoir*[5] ». C'est seulement à partir de ce savoir général que l'étudiant sera ensuite en mesure de placer les savoirs particuliers au sein d'un réseau de relations, de faire des liens entre eux, de comprendre leurs fondements. Ce point central lui permettra de pénétrer plus en avant dans les connaissances particulières et de les comprendre.

Or, pour les philosophes allemands du début du XIXe siècle, cette recherche de l'unité du savoir implique une réorganisation interne complète de l'université. Il n'est en effet plus possible de s'en tenir aux quatre facultés héritées du Moyen-Âge, des facultés fermées sur elles-mêmes et entre lesquelles les relations semblent de pures juxtapositions. Il s'agit au contraire de réarticuler les différentes disciplines en une unité ou totalité. Et c'est à la faculté de philosophie que va revenir ce rôle, cette dernière étant perçue comme une entité indépendante qui constitue l'unité, le fondement commun aux trois autres facultés, reliées plus immédiatement aux besoins de l'État.

Ce souci de parvenir à recomposer un ensemble, à donner une cohésion au savoir, est selon Humboldt ce qui doit différencier l'université des écoles spécialisées. Les universités ne peuvent plus être regardées comme de simples pépinières de futurs fonctionnaires administratifs, mais comme les centres de l'« *enseignement supérieur*[6] ».

De la formation générale à la formation professionnelle

Les philosophes de l'idéalisme allemand placent donc, à travers la faculté de philosophie, la formation générale comme première étape de l'enseignement universitaire. Néanmoins, ils ne se contentent pas simplement de professer une pure défense de la formation générale, mais s'emploient aussi à montrer sa nécessité vis-à-vis des savoirs plus spécialisés.

Pour Fichte, par exemple, l'art de la philosophie est un préalable à l'art conféré aux savoirs particuliers, et il s'agit d'entamer le programme universitaire par des cours encyclopédiques[7]. Schleiermacher élabore, de son côté, la forme que doit prendre l'enseignement dans l'organisation d'une université quelconque, soit de l'élément le plus général à la séparation en domaines particuliers.

Or, c'est parce qu'il pense cette articulation entre savoir général et savoir particulier — le premier permettant d'orienter le second — que Schleiermacher va défendre l'importance de la formation générale pour des étudiants ne poursuivant pas cette formation ou se destinant à une profession hors

de l'université. Dans cette optique, il critique l'idée d'instituer, à côté de l'université, des établissements particuliers pour ceux qui ne seraient pas aptes à la « *formation scientifique* » et qui poursuivraient une formation spécialisée plus orientée vers un métier. Selon lui, cette idée inspire « *terreur et crainte à toute personne qui prend part activement à la formation de la jeunesse*[8] » dans la mesure où c'est à travers ces années de consolidation de connaissances générales que les étudiants pourront se former l'esprit, développer leurs talents et ensuite découvrir, par eux-mêmes, leur véritable vocation.

Apprendre par le savoir à s'orienter

Si l'université pensée par ces philosophes doit embrasser toutes les formes du savoir, elle ne vise pas pour autant la pure accumulation de connaissances spécialisées, mais doit transmettre un savoir qui forme l'esprit. De fait, contrairement à l'enseignement secondaire, qui ne propage que des connaissances établies, l'université, elle, à travers son activité indépendante de recherche, se définit comme formatrice. Pour Humboldt, le passage de l'école à l'université constitue en effet le passage vers la liberté, vers une activité autonome ou encore vers le développement d'une « *aspiration intérieure qui conduit à la science et à la recherche*[9] ». Pour lui, la formation universitaire prend alors la forme d'un processus nommé « *Bildung* », lequel est la poursuite du développement personnel d'un individu et la réalisation de ses pleines potentialités.

La formation générale n'est donc pas simplement là pour transmettre des connaissances ; elle est aussi ce qui va donner une orientation à l'individu, que ce soit dans sa vie personnelle ou dans ses futures activités professionnelles. C'est pourquoi, selon Schleiermacher, les universités doivent être organisées de manière à être aussi des écoles supérieures, afin de « *faire progresser ceux dont les talents, même s'ils renoncent eux-mêmes aux honneurs de la science, peuvent cependant la servir fort*

LA FORMATION GÉNÉRALE N'EST DONC PAS SIMPLEMENT LÀ POUR TRANSMETTRE DES CONNAISSANCES ; ELLE EST AUSSI CE QUI VA DONNER UNE ORIENTATION À L'INDIVIDU, QUE CE SOIT DANS SA VIE PERSONNELLE OU DANS SES FUTURES ACTIVITÉS PROFESSIONNELLES.

utilement[10] », c'est-à-dire ceux qui utiliseront les apports de cette formation générale dans leur future profession.

Selon cette vision, Fichte mentionne également que l'on n'étudie pas simplement pour reproduire ce que l'on a appris, « *mais pour l'appliquer aux situations survenant dans l'existence et ainsi le mettre en œuvre ; non pas pour seulement le répéter, mais pour — avec [ce savoir] et à partir de lui — faire quelque chose d'autre*[11] ». Il s'agit donc d'apprendre comment utiliser notre savoir général au sein de contextes particuliers. Comme le soulignera le philosophe et sociologue allemand Jürgen Habermas en 1963, il n'y a pas de séparation entre la théorie et la pratique chez les philosophes de l'idéalisme allemand. La formation scientifique comme formation générale est un préalable à un véritable agir[12].

L'insuffisance d'enseigner un savoir-faire

Dans son ouvrage, Schleiermacher prend l'exemple des fonctionnaires de l'État, pour lesquels l'acquisition d'une formation générale est un atout pour occuper ensuite des fonctions supérieures. De fait, selon lui, pour remplir ces fonctions, il ne faut pas seulement une masse de connaissances bien acquises, mais aussi « *une vision d'ensemble générale, un jugement correct sur les rapports entre les différentes parties, un pouvoir de combinaison largement développé, une richesse d'idées et de moyens*[13] ». Or, si l'exigence d'une formation générale était déjà justifiée il y a deux siècles, elle est devenue d'autant plus nécessaire du fait de la spécialisation accrue du savoir.

En effet, pour Habermas, bien que les sciences enseignent aujourd'hui un savoir-faire particulier, elles ne transmettent que peu souvent un savoir-agir. Ainsi, selon lui, des médecins et des gestionnaires ayant reçu une formation relevant des seules sciences expérimentales « peuvent » certes faire plus de choses que les praticiens des générations précédentes dans le même ordre, mais « *ils manifestent en même temps dans l'entreprise et dans la pratique médicale des faiblesses étonnantes*[14] ». Bref, l'acquisition des techniques est insuffisante pour permettre une réflexion sur le sens de nos actions.

Dans ce contexte, le défi actuel des sciences humaines et sociales est alors de donner aux futurs professionnels un savoir-agir, en plus de leur formation technique. Actuellement, les cours d'éthique appliquée en constituent un exemple. Ces cours, dispensés la plupart du temps par des philosophes, semblent ainsi en partie apporter l'orientation pratique appelée par Habermas en amenant les sciences particulières à réfléchir sur elles-mêmes. Mais sont-ils suffisants et quelle est leur réelle portée ? Une analyse plus fine du développement de ces cours d'éthique et de leur impact serait à élaborer.

Quel avenir pour la formation générale ?

D'un point de vue quantitatif, la place des disciplines associées à la formation générale (lettres, philosophie, langues, histoire, etc.) accuse un net recul par rapport à celle des disciplines à vocation professionnelle. Par exemple, si dans les années 1930, la moitié des étudiants britanniques étaient dans les facultés des arts, en 2009, ceux qui étudiaient les sujets de pures « humanités » représentaient seulement 11 % des effectifs au premier cycle et 9 % au deuxième cycle[15]. Dorénavant, la majorité des étudiants d'un grand nombre d'universités britanniques se concentrent dans des disciplines à vocation professionnelle. En Amérique du Nord, la situation est semblable. Le nombre de bacheliers issus des humanités a en effet chuté de moitié aux États-Unis ces dernières décennies, passant de 14 % en 1966 à 7 % en 2010. Quant au Québec, les diplômés en sciences humaines y représentaient seulement 8 % de l'ensemble des diplômés possédant un certificat ou un grade universitaire en 2010[16].

Néanmoins, des auteurs relèvent également une prise en compte croissante de l'importance de la formation offerte dans ces disciplines pour la société en général. En effet, comme

le souligne la philosophe américaine Martha Nussbaum dans un ouvrage datant de 2010, « *il y a des raisons de penser que l'éducation en arts libéraux nourrit des qualités d'imagination et de pensée indépendante qui sont cruciales pour maintenir une culture d'innovation féconde dans les entreprises*[17] ». Dans cette optique, une étude conduite par l'Université d'Oxford en 2013 a recensé les trajectoires de ses diplômés en sciences humaines de 1969 à 1989[18]. Près de 11 000 diplômés ont ainsi été questionnés afin de mesurer l'impact de ces disciplines. Résultats : 20,0 % travaillent dans le commerce, 11,3 % en justice, 11,4 % dans les médias et 10,4 % en finance. Si la situation des étudiants en sciences humaines de l'Université d'Oxford est particulière, elle corrobore cependant les propos de Fichte, de Schleiermacher et d'Humboldt, à savoir que la formation générale se présente comme un préalable à la formation professionnelle par les compétences qu'elle transmet.

Réduire les investissements liés à la formation générale aujourd'hui peut paraître au premier abord facile et sans conséquence à court terme, dans la mesure où les savoirs qu'elle transmet sont réputés inutiles et rapporter peu économiquement. Mais les penseurs de l'Université de Berlin nous mettent en garde contre les conséquences à long terme de telles compressions. De fait, que ce soit en ce qui concerne notre capacité à nous orienter dans les savoirs spécialisés et à comprendre leurs impacts sur notre société, ou que ce soit sur le plan de l'aptitude du système éducatif à former des professionnels capables d'adopter un point de vue réflexif sur leurs activités, l'ensemble de ces compétences seraient sérieusement menacées si la formation générale venait à être reléguée dans les sous-sols des universités.

RÉFÉRENCES

1 KANT, Emmanuel. *Le conflit des facultés en trois sections*, trad. de l'allemand par Jean GIBELIN, Paris, Vrin, 1997, p. 15.

2 RENAUT, Alain. *Les révolutions de l'université : essai sur la modernisation de la culture*, Paris, Calmann-Lévy, 1995, p. 143.

3 SCHLEIERMACHER, Friedrich. « Pensées de circonstances sur les universités de conception allemande », FERRY, Luc, Jean-Pierre PESRON et Alain RENAUD (dir.), dans *Philosophies de l'université : l'idéalisme allemand et la question de l'université*, Paris, Payot, 1979, p. 273.

4 FERRY et collab., *op. cit.*, p. 10.

5 SCHLEIERMACHER, *op. cit.*, p. 278.

6 COLLINI, Stefan. *What are Universities for?*, Londres, Penguin, 2012, p. 23.

7 FICHTE, Johann Gottlieb. « Plan déductif d'un établissement d'enseignement supérieur à fonder à Berlin qui serait en liaison intime avec une académie des sciences », dans FERRY et collab., *op. cit.*, p. 201.

8 SCHLEIERMACHER, *op. cit.*, p. 279.

9 HUMBOLDT, Guillaume. « Sur l'organisation interne et externe des établissements scientifiques supérieurs à Berlin » dans FERRY et collab., *op. cit.*, p. 322.

10 SCHLEIERMACHER, *op. cit.*, p. 279.

11 FICHTE, *op. cit.*, p. 170.

12 HABERMAS, Jürgen. *Théorie et pratique 2*, trad. de l'allemand par Gérard RAULET, Paris, Payot, 1975, p. 140.

13 SCHLEIERMACHER, *op. cit.*, p. 317.

14 HABERMAS, *op. cit.*, p. 140.

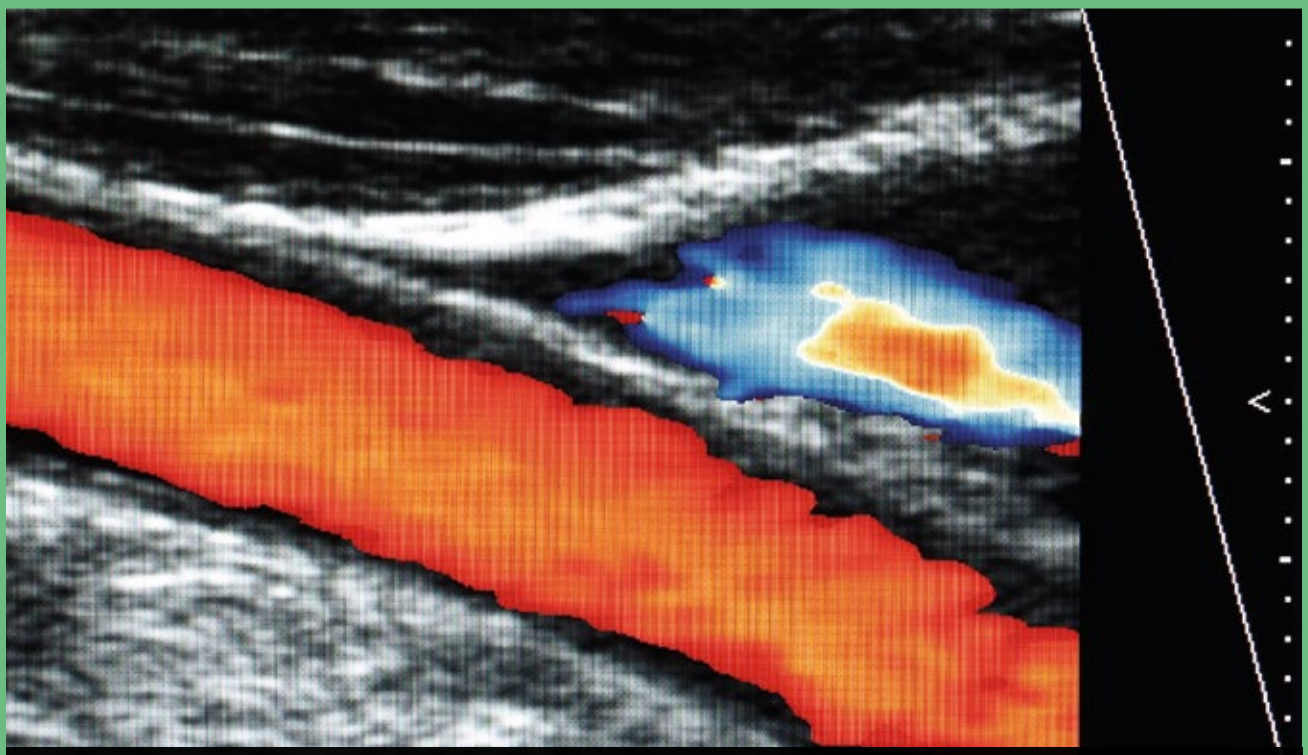
15 COLLINI, *op. cit.*, p. 31-32.

16 BRISSON, Pierre-Luc. *Le cimetière des humanités*, Montréal, Poètes de brousse, 2014, p. 31.

17 NUSSBAUM, Martha. *Les émotions démocratiques : comment former le citoyen du XXIe siècle ?*, trad. de l'anglais par Solange CHAVEL, Paris, Flammarion, 2011, p. 70.

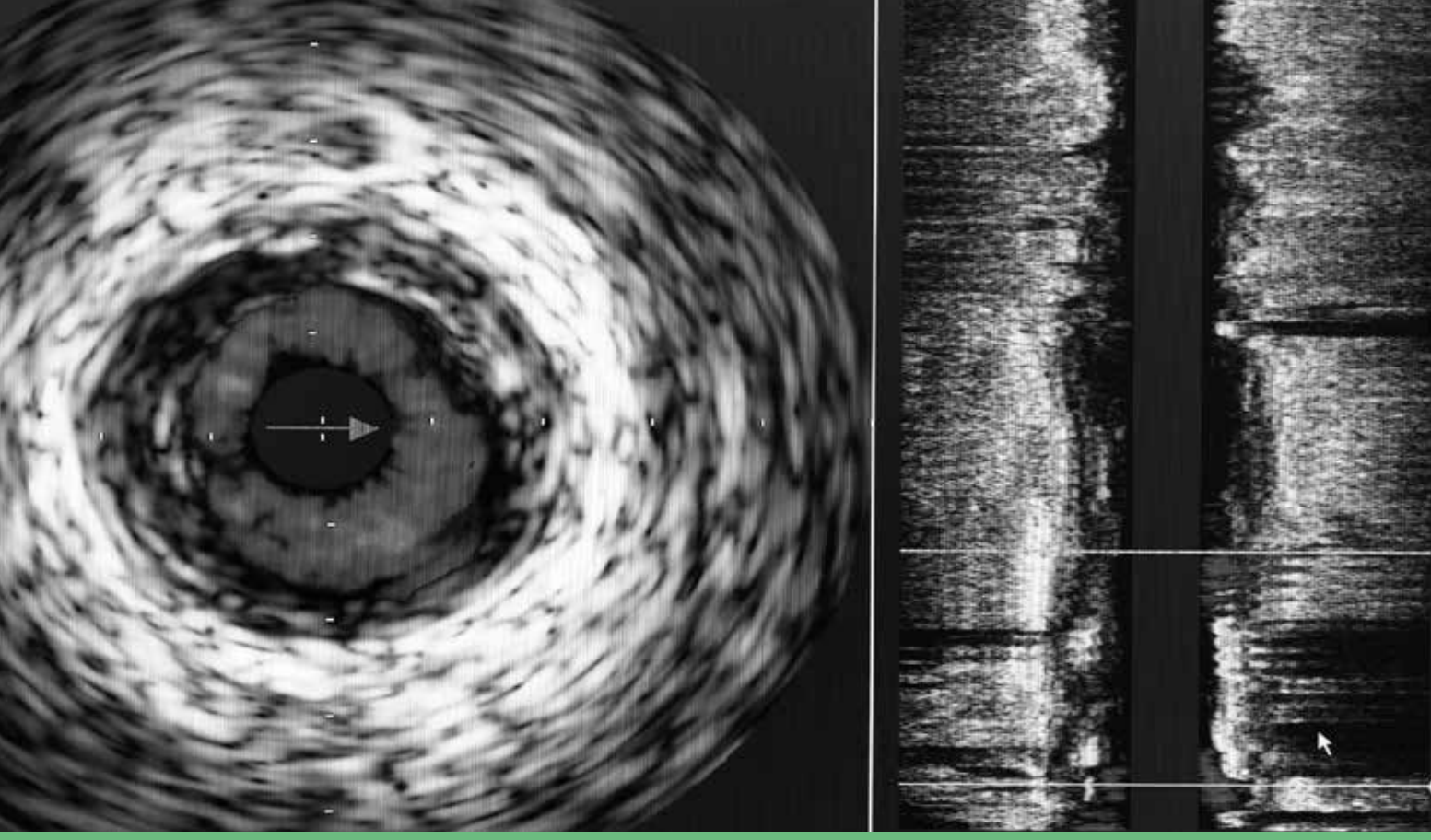
18 QUILLET, Lucile. « Oxford : ces diplômés en philosophie qui deviennent traders », http://etudiant.lefigaro.fr/les-news/actu/detail/, page consultée le 20 septembre 2013.

L'ÉLASTOGRAPHIE : CARTOGRAPHIER LE CORPS HUMAIN



ANTONY BERTRAND-GRENIER, antony.bertrand.grenier@gmail.com
Programme de doctorat en physique médicale

Est-il possible de détecter des maladies par leurs propriétés mécaniques ? Existe-t-il des variables biomécaniques que nous pourrions mesurer afin de diagnostiquer ces maladies ? L'imagerie par élastographie répond par l'affirmative à ces deux questions. Les avancées récentes en imagerie médicale ont, en effet, permis l'élaboration de cette technique permettant d'accéder à de nouveaux renseignements pour les diagnostics cliniques, plus particulièrement en cancérologie et dans l'étude des maladies cardiovasculaires.



***TISSU**
Ensemble de cellules formant un tout et remplissant une fonction spécialisée.

***NODULE**
Petite tumeur en forme de boule dure et bien délimitée.

***KYSTE**
Cavité pathologique contenant une substance liquide ou semi-liquide, molle ou solide.

L'un des plus vieux concepts en médecine est le principe de la palpation, décrit par Hippocrate dans la Grèce antique il y a plus de 2 000 ans. Cette méthode est encore utilisée de nos jours afin d'obtenir une évaluation subjective de la rigidité des **tissus*,** plus particulièrement pour trouver des **nodules*** ou des **kystes*,** par exemple dans la détection d'un cancer du sein, de la prostate ou de la thyroïde. Toutefois, la palpation effectuée par le médecin est d'une efficacité limitée, étant donné qu'elle fournit des informations superficielles et qu'elle ne relève que des anomalies de taille relativement importante, ce qui indique malheureusement déjà un stade avancé de la maladie. De plus, palper le corps d'un patient ne permet pas d'accéder à des renseignements quantitatifs précis sur les tissus.

L'élasticité est la capacité d'un corps à reprendre son état d'origine après avoir été déformé. Les propriétés élastiques changent en présence de certaines pathologies[1]. Les informations au sujet de l'élasticité — plus rigoureuses que celles que fournit la palpation — sont d'une importance fondamentale en milieu clinique, car elles peuvent mener à de meilleurs diagnostics pour des patients atteints de certaines maladies.

Avant les années 1990, aucune technologie d'imagerie médicale ne permettait d'obtenir une représentation visuelle intelligible de l'élasticité des tissus. La conception d'une nouvelle technique d'imagerie permettant d'accéder à ces informations mécaniques était donc de mise. C'est maintenant chose faite grâce à de récents développements dans le domaine médical, lesquels ont permis de mettre en œuvre l'élastographie, un procédé pouvant donner accès à ces données essentielles.

Origines et petite histoire de l'élastographie

L'élastographie voit le jour à l'Université du Texas à Houston, en 1991[2]. Deux méthodes principales ont d'abord été développées avec **l'échographie*** : l'élastographie statique et l'élastographie dynamique. Plus récemment, une troisième méthode a été proposée afin de mesurer l'élasticité des tissus à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

***ÉCHOGRAPHIE**
Méthode d'exploration par ultrasons.

La première technique, l'élastographie statique ultrasonore, permet d'estimer les déformations d'un tissu en appliquant une légère pression sur le corps du patient[3]. Dans un premier

temps, une imagerie échographique du corps est réalisée sans le comprimer, puis celui-ci fait l'objet de nouvelles images alors qu'un médecin applique une légère pression à l'aide d'une sonde ultrasonore.

La figure 1 montre trois objets de même volume mais de différentes rigidités soumis à une pression. Elle représente, en deux graphiques, les déplacements engendrés entre les images échographiques saisies avant et après l'application de la pression, et la déformation des objets. Plus un objet est rigide, moins il changera de forme. Grâce à ce principe, l'élastographie statique fournit des informations sur la rigidité des objets.

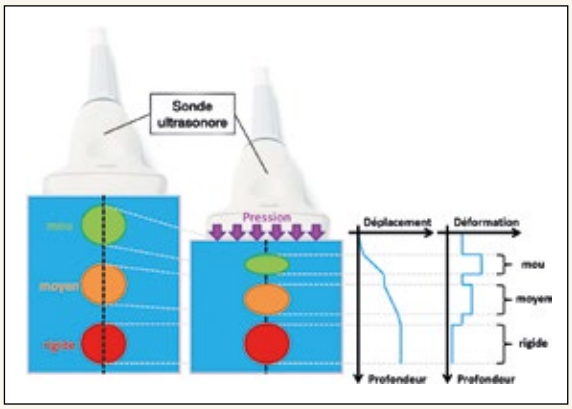


FIGURE 1

Visualisation du procédé de l'élastographie statique. L'information est acquise avant et après la compression, permettant d'évaluer les propriétés élastiques des tissus.

Source : Antony Bertrand-Grenier

Malheureusement, cette technique ne donne que des informations qualitatives, puisqu'il est difficile de déterminer la pression exacte qu'applique le médecin avec la sonde. De plus, les tissus ne se déforment pas de façon homogène en profondeur.

C'est pour résoudre ces problèmes qu'a été développée l'élastographie dynamique vers la fin des années 1990[4]. Cette nouvelle technologie allait, en effet, permettre d'obtenir des renseignements quantitatifs, plus particulièrement sur l'organisation structurelle et la composition des tissus[5].

Pour trouver ces valeurs quantitatives et calculer la rigidité d'un corps, la procédure de l'élastographie dynamique implique de concentrer des **ultrasons*** en un point, ce qui tend à déplacer les tissus[6], comme en témoigne la figure 2. Les tissus bougent alors dans le corps à la manière d'une vague. Par la suite, la sonde ultrasonore détecte ces vagues et en mesure la vitesse, qui est transposée en images. La rigidité du corps est donc calculée à partir de la mesure de la vitesse obtenue[7].

***ULTRASON**
Onde sonore de fréquence plus élevée que ce que l'oreille humaine peut entendre.

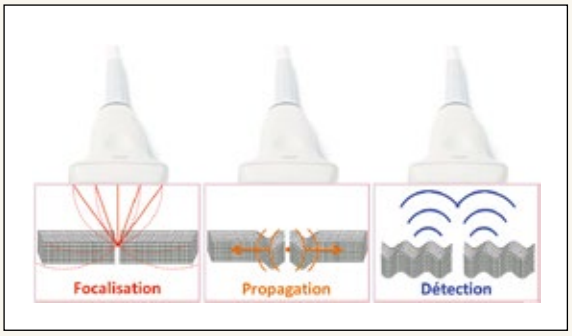


FIGURE 2

Description de la procédure de l'élastographie dynamique, se lisant de gauche à droite. La focalisation d'ondes ultrasonores engendre des déplacements dans les tissus. Ces déplacements se propagent à une certaine vitesse. La sonde mesure la vitesse de ces déplacements, ce qui permet de déterminer la rigidité du corps.

Source : Antony Bertrand-Grenier

Grâce à une large gamme de valeurs, l'élastographie dynamique offre une meilleure visualisation des tissus et des changements structurels. En milieu clinique, cette information est d'une grande importance afin d'émettre un diagnostic fiable en présence d'une pathologie ou encore d'effectuer un suivi plus approprié au cours de traitements thérapeutiques.

Plusieurs avantages distinguent l'élastographie ultrasonore dynamique des autres techniques (coût peu élevé, imagerie en temps réel et caractère inoffensif pour le patient). Toutefois, certains inconvénients ne peuvent être niés. Les ultrasons sont fortement absorbés par les os, ce qui rend impossible l'obtention de bonnes informations élastographiques de la tête, le crâne absorbant ces ondes. De plus, les résultats de ces examens cliniques dépendent de l'expérience et de la rigueur de l'opérateur des machines, car ces dernières ne sont pas automatisées, à l'inverse de l'IRM classique.

Explorations mécaniques des tissus à l'aide d'un champ magnétique intense

Une autre technique pour recueillir de l'information sur les propriétés mécaniques des tissus est l'IRM. Cette méthode d'imagerie médicale utilise un champ magnétique intense pour obtenir un bon contraste entre les **tissus mous***[8], ce qui facilite la visualisation du corps humain dans toute sa profondeur. L'élastographie par IRM

***TISSU MOU**
Tissu supportant les organes et les structures du corps (p. ex., muscles, vaisseaux sanguins).

AVEC L'ÉLASTOGRAPHIE, IL EST MAINTENANT POSSIBLE D'OBSERVER L'ÉLASTICITÉ DES TUMEURS CANCÉREUSES, CE QUI EST FORTEMENT SOUHAITABLE POUR LEUR DÉTECTION ET POUR LA CLASSIFICATION DES LÉSIONS SELON LEUR CARACTÈRE BÉNIN OU MALIN.

consiste à mettre un vibreur sur le patient afin d'engendrer des mouvements continus dans son corps. Par la suite, l'appareil à résonance magnétique, illustré à la figure 3, mesure la vitesse de ces mouvements[9].

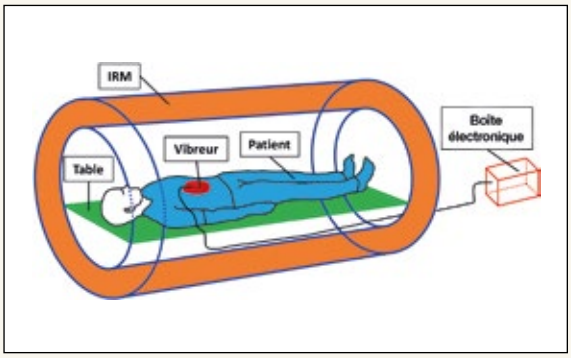


FIGURE 3

Représentation du dispositif clinique de l'élastographie par IRM. La boîte électronique envoie un signal au vibreur, qui induit des déplacements de tissus dans le corps du patient. Par la suite, l'appareil IRM mesure la vitesse de ces déplacements — et donc la rigité du corps — et la transforme en images.

Source : Antony Bertrand-Grenier

Le plus grand avantage de l'élastographie par IRM est de fournir une représentation des déplacements en trois dimensions, ce qui constitue un intérêt majeur pour préciser les diagnostics des maladies. Cette technique est toutefois plus lente que celle qui emploie les ultrasons. Il faut, en effet, plusieurs minutes pour obtenir des images en trois dimensions de bonne qualité, ce qui diminue le nombre de patients qu'il est possible d'examiner avec un même appareil, dont les coûts d'achat et d'utilisation demeurent élevés.

Perspectives technologiques et innovations médicales

Somme toute, les techniques d'élastographie reposent sur la caractérisation tissulaire, soit le fait de « cartographier » l'élasticité des tissus. Elles ont d'abord été conçues pour obtenir de meilleurs diagnostics concernant deux des causes de mortalité les plus élevées au monde, soit le cancer et les maladies cardiovasculaires. De nos jours, l'élastographie augmente les perspectives de découvertes et favorise les progrès relatifs à ces maladies.

Pour ce qui est du cancer, des techniques d'imagerie médicale comme l'échographie et la mammographie ne permettent pas de bien estimer la **bénignité*** ou la **malignité*** d'une tumeur. Une ponction peut donc être nécessaire afin de déterminer la sévérité de cette tumeur, ce qui est pénible pour le patient et coûteux. Les tumeurs cancéreuses malignes sont généralement plus rigides que les tissus sains environnants, une information primordiale pour le diagnostic clinique[10]. Or, avec l'élastographie, il est maintenant possible d'observer l'élasticité des tumeurs cancéreuses, ce qui est fortement souhaitable pour leur détection et pour la classification des lésions selon leur caractère bénin ou malin.

***BÉNIGNITÉ**
Caractère de ce qui est bénin, soit sans conséquence.

***MALIGNITÉ**
Caractère malin (grave) d'une tumeur cancéreuse.

L'élastographie ultrasonore présente pour sa part un grand potentiel, surtout dans la détection des cancers du sein, de la thyroïde et de la prostate, car les ultrasons peuvent bien se propager dans ces tissus. Pour ce qui est de l'élastographie

par IRM, elle offre d'excellents résultats, plus particulièrement en ce qui a trait à l'imagerie du cerveau. La figure 4 montre d'ailleurs l'élasticité d'un cerveau humain, par les images d'une IRM classique et d'une élastographie par IRM.

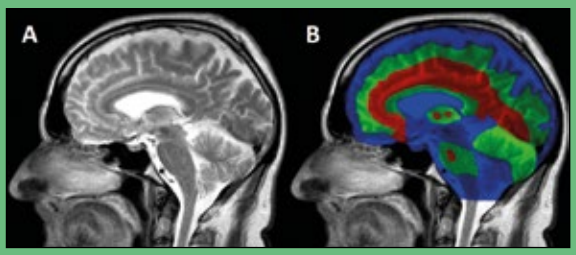


FIGURE 4

Exemple d'une carte de rigidité des tissus dans le cerveau humain.
A) IRM classique. B) Élastographie par IRM. L'échelle de couleur va du bleu (moins rigide) au rouge (plus rigide), en passant par le vert.

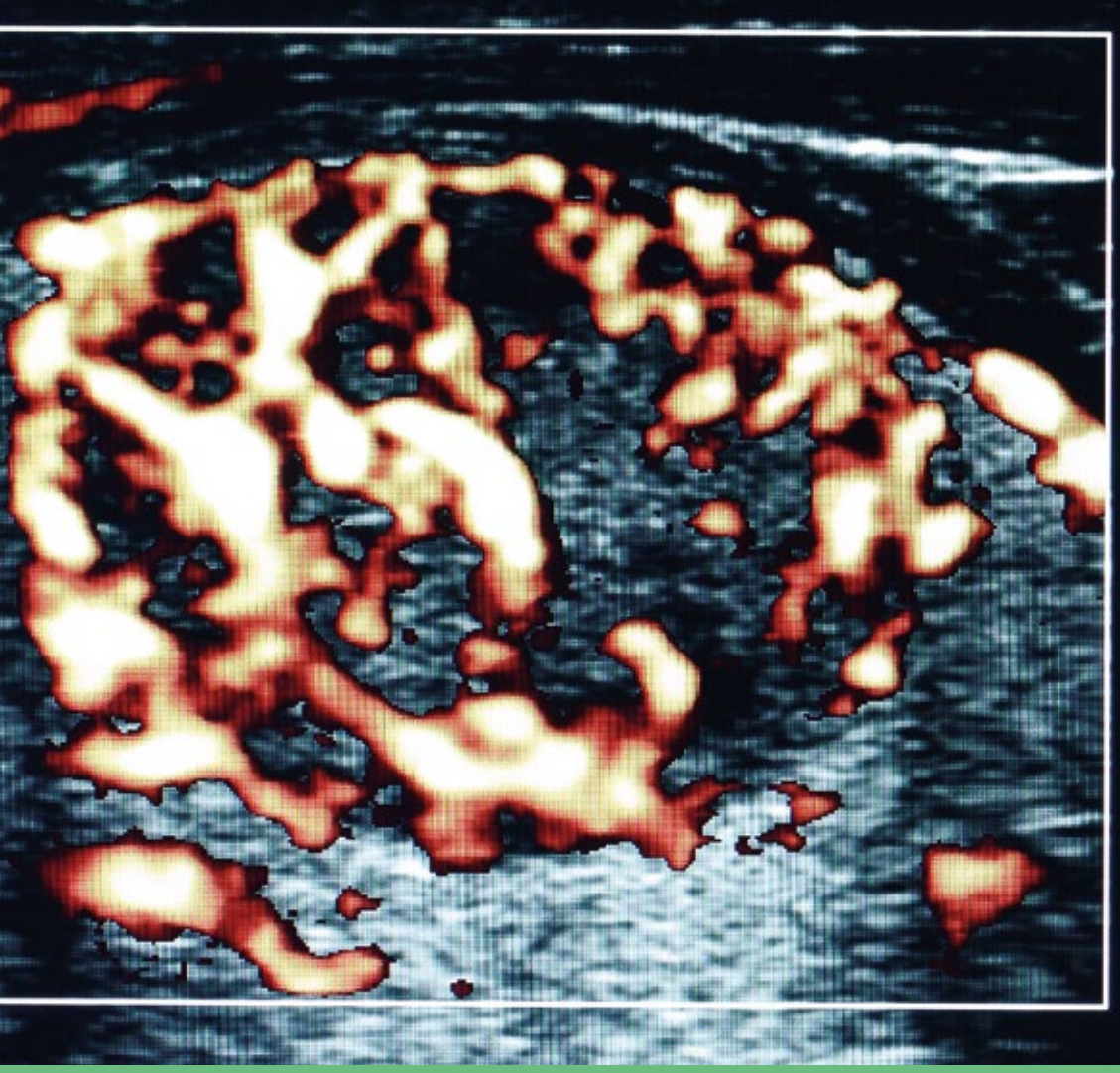
Source : Antony Bertrand-Grenier

Les maladies cardiovasculaires, quant à elles, impliquent un changement de certaines propriétés biomécaniques du corps. L'athérosclérose, caractérisée par le dépôt de gras sur les parois vasculaires, est à l'origine de la plupart de ces maladies[11].

La circulation du sang, qui transporte les substances nutritives et l'oxygène, se trouve alors ralentie ou bloquée, ce qui engendre un changement de l'élasticité des vaisseaux sanguins. L'athérosclérose peut survenir dès l'enfance et est un problème pouvant déclencher une crise cardiaque ou un accident vasculaire cérébral, ou même causer la formation d'un **anévrisme*.** Elle est une véritable préoccupation en matière de santé publique, et c'est pourquoi il est souhaitable de constamment mettre au point de nouveaux outils de diagnostic, comme l'imagerie par élastographie.

***ANÉVRISME**
Dilatation d'une artère pouvant mener à sa rupture.

Les nouvelles données acquises par élastographie pourraient non seulement améliorer les diagnostics, mais aussi contribuer à la planification de traitements chirurgicaux[12]. Un médecin qui connaîtrait exactement la consistance d'une tumeur procéderait plus facilement à une chirurgie. Ainsi, celle-ci durerait moins longtemps, le patient serait moins incommodé, et il y aurait une atténuation des risques de complications ou de dommages aux tissus avoisinants. ◎



RÉFÉRENCES

[1] SARVAZYAN, A. P., A. R. SKOVORODA, S. Y. EMELIANOV, J. B. FOWLKES, J. G. PIPE, R. S. ADLER et collab. « Biophysical bases of elasticity imaging », *Acoustical Imaging Symposium*, vol. 21, 1995, p. 223-240.

[2] OPHIR, J., I. CESPEDES, H. PONNEKANTI, Y. YAZDI et X. LI. « Elastography: A quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues », *Ultrasonic Imaging*, vol. 13, nº 2, 1991, p. 111-134.

OPHIR, J., S.K. ALAM, B. GARRA, F. KALLEL, E. KONOFAGOU, T. KROUSKOP et collab. « Elastography: Ultrasonic estimation and imaging of the elastic properties of tissues », *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers [H.]*, vol. 213, nº 3, 1999, p. 203-233.

[3] OPHIR et collab., 1991, *op. cit.*

[4] SARVAZYAN, A. P., O. V. RUDENKO, S. D. SWANSON, J. B. FOWLKES et S. Y. EMELIANOV. « Shear wave elasticity imaging: A new ultrasonic technology of medical diagnostics », *Ultrasound in Medicine & Biology*, vol. 24, 1998, p. 1419-1435.

[5] SATO, T., A. FUKUSIMA, N. ICHIDA, H. ISHIKAWA, H. MIWA, Y. IGARASHI et collab. « Nonlinear parameter tomography system using counterprop agating probe and pump waves », *Ultrasonic Imaging*, vol. 7, nº 1, 1985, p. 49-59.

[6] SARVAZYAN et collab., *op. cit.*

[7] HIBBELER, R. C. *Mechanics of Materials*, 8e éd., Champaign (Ill.), Pearson Education, 2008, p. 84-125.

[8] BUSHBERG, Jerrold T., J. Anthony SEIBERT, Edwin M. LEIDHOLDT et John M. BOONE. *The Essential Physics of Medical Imaging*, 2e édition, Philadelphie (Penns.), Lippincott Williams & Wilkins, 2003, p. 415-468.

[9] TANTER, Mickael, Jérémy BERCOFF, Ralph SINKUS, Thomas DEFFIEUX, Jean-Luc GENNISSON et Mathias FINK. « L'élastographie par ultrasons ou résonance magnétique : de nouveaux outils de diagnostic en cancérologie », *Médecine nucléaire*, vol. 31, nº 4, 2007, p. 132-141.

[10] TANTER et collab., *op. cit.*

[11] TOUSSAINT, Jean-François, Marie-Paule JACOB, Laurent LAGROST et John CHAPMAN. *L'athérosclérose : physiopathologie, diagnostics et thérapeutiques*, Paris, Société française d'athérosclérose, 2003.

[12] CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA. « Gratouiller la matière grise », http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/dimensions/, page consultée le 15 août 2014.

LAURÉATS ET PERSONNALITÉS

CATHERINE MALBOEUF-HURTUBISE
PLAIDOYER POUR LE BONHEUR

MARIE-PAULE PRIMEAU / rédactrice en chef

La méditation pleine conscience sort des sentiers battus depuis quelques années et attire l'attention du milieu médical tout en gagnant en popularité au Québec. Approche ésotérique ou saugrenue, croient certains. Tout le contraire, en fait. La méditation pleine conscience, mise au point par Jon Kabat-Zinn, est reconnue pour les bienfaits efficaces et durables qu'elle procure à ceux qui la pratiquent. Le programme de réduction du stress basé sur la pleine conscience (MBSR : *Mindfulness-Based Stress Reduction*) est propulsé par la recherche d'un bien-être personnel et d'un savoir-vivre ensemble. Voilà pourquoi cette approche fait désormais partie du cursus de médecine de l'Université de Montréal, et ce, depuis 2012. Pas étonnant donc que la même année, Catherine Malboeuf-Hurtubise ait eu envie, en choisissant son sujet de recherche pour sa thèse en psychologie, de l'apprivoiser et de soumettre cette approche au défi de la réalité. Comment aider un jeune en difficulté ? Tout comme Catherine, nombre de parents se posent la question et se sentent démunis face aux problématiques vécues par leur enfant. La méditation pleine conscience leur propose une approche gratuite, accessible en tout temps, et dont les effets bénéfiques ont été scientifiquement prouvés par la communauté médicale. Difficile alors de ne

LE PROGRAMME MBSR (*MINDFULNESS-BASED STRESS REDUCTION*) EST UNE FORMATION DE HUIT SEMAINES, DONNÉE EN GROUPE, QUI INTRODUIT LES PRINCIPES DE LA PLEINE CONSCIENCE À L'AIDE DE MÉDITATIONS GUIDÉES, DE DISCUSSIONS ET D'EXERCICES INDIVIDUELS. LA PLEINE CONSCIENCE PROPOSE DE PORTER UNE ATTENTION PARTICULIÈRE ET CONSCIENTE AU MOMENT PRÉSENT AINSI QU'AUX ÉMOTIONS RESSENTIES, DE MANIÈRE OUVERTE ET LIBRE DE JUGEMENT. ELLE PERMET DONC DE CULTIVER UNE CONNAISSANCE DE SOI, ET D'ENTRAÎNER SON ESPRIT À ÉTABLIR UN NOUVEAU RAPPORT AVEC SOI-MÊME ET LES AUTRES. LES PARTICIPANTS APPRENNENT DONC À LA FOIS LA THÉORIE ET LA PRATIQUE DE LA MÉDITATION PLEINE CONSCIENCE.

pas être curieux quant à ce moyen d'intervention, surtout lorsque celui-ci est proposé par un spécialiste de la santé. Doctorante en psychologie à l'Université de Montréal, Catherine s'intéresse aux bienfaits de cette technique de méditation appliquée chez les enfants et les adolescents aux prises avec des problèmes de santé. Entretien avec une chercheuse enthousiaste de son sujet.

J'ai été intriguée par votre choix de sujet de recherche au doctorat, l'application de la méditation pleine conscience chez des adolescents atteints de cancer. D'où vient votre intérêt pour cette approche ?

J'ai commencé par faire un baccalauréat en économie à l'Université de Sherbrooke. Pendant mes études, je me suis rendu compte que je n'étudiais pas dans le bon domaine. Puisque je ressentais le besoin d'être en contact avec les gens, j'ai opté pour un baccalauréat en psychologie à l'Université Concordia. J'ai obtenu mon diplôme avec une mention d'excellence ; j'avais trouvé ma voie. Ensuite, j'ai décidé de poursuivre des études au doctorat, en recherche et intervention, à l'Université de Montréal (UdeM). Ce programme combiné me permettra de pratiquer comme psychologue clinicienne, et j'aurai également un Ph. D. Je savais d'emblée que je voulais me spécialiser en intervention auprès des enfants et des adolescents. De là, je cherchais un sujet de recherche et un professeur avec lequel j'aurais envie de travailler. Je suis tombée par hasard sur un protocole d'intervention en méditation pleine conscience. Cette idée m'allumait. Ma thèse a donc été rédigée sous la direction de Marie Achille, professeure au département de psychologie de l'UdeM. Je me souviens d'avoir trouvé cela « trippant » que l'on puisse faire de la méditation et de la science en même temps. Marie Achille et moi-même avons rencontré la psychiatre Marjorie Vadnais, de l'hôpital Sainte-Justine, qui souhaitait justement entreprendre un protocole de recherche sur le programme de méditation MBSR. Ensemble, nous avons modifié le programme afin qu'il soit adapté à des adolescents atteints de cancer.

Quels sont les bienfaits de la méditation pleine conscience ?

Chez les enfants et les adolescents, la recherche sur la méditation pleine conscience en est à ses débuts. À ce jour, elle a surtout été appliquée dans des contextes scolaires ou dans le but de modifier certains comportements difficiles chez des jeunes souffrant de différentes problématiques de santé mentale. En milieu scolaire, des études ont démontré l'impact positif de la méditation pleine conscience sur la réduction de l'absentéisme scolaire et des suspensions, le respect des règles, l'attention en classe, les capacités d'autorégulation et le respect des autres. D'autres études ont aussi démontré l'effet positif de la méditation pleine conscience sur les comportements hyperactifs chez des enfants. Une récente étude a démontré l'effet bénéfique de la méditation pleine conscience sur la gestion du stress, de la rumination, des pensées intrusives et du niveau d'inquiétude chez des enfants issus de milieux défavorisés. L'intervention aurait aussi des effets sur les capacités de maîtrise de l'agressivité et de comportements agressifs involontaires, permettant globalement à ces jeunes de mieux gérer leur stress.

Les parents étaient-ils réticents à ce que leur enfant participe à une étude basée sur une méthode marginale au Québec ?

Afin de nous assurer de l'adhésion des parents, nous avions formulé notre présentation de l'étude en leur disant que c'était une thérapie pour gérer le stress. En fait, c'est exactement ce qu'offre la méditation pleine conscience. Nous avions la crainte que le projet de recherche ne soit pas pris au sérieux si nous disions qu'il s'agissait uniquement d'une intervention basée sur la méditation. Nous avons donc pris le temps de bien expliquer aux parents le contenu des séances, soit un équilibre entre des techniques de méditation et des outils pour apprendre à mieux gérer son stress.

Quelles conclusions avez-vous tirées de l'étude (*Un pilote randomisé avec liste d'attente : effets de la méditation pleine conscience sur la qualité de vie, le sommeil et l'humeur chez les adolescents atteints de cancer*) ?

Puisque les jeunes soumis à cette étude fonctionnaient bien malgré leur maladie et que leur niveau de détresse était peu élevé, nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre le groupe suivi en pleine conscience et le groupe contrôle. Nous avons conclu que ce que nous leur proposions ne correspondait pas à un besoin. Nous ne visions pas dans le mille. Toutefois, l'aspect primordial pour moi de ce projet de recherche était de tirer des leçons. Dans ce sens, l'expérience a été riche d'apprentissages.

Vous avez décidé de continuer votre travail d'intervention, au niveau postdoctoral, en utilisant le MBSR et la MBCT *(Mindfulness-Based Cognitive Therapy)* combinés. Les données récoltées à ce jour sont-elles plus encourageantes ? Quelles sont les incidences positives observées auprès des jeunes qui participent à l'étude ?

Effectivement. Sous la direction d'Éric Lacourse, professeur au département de sociologie de l'UdeM et chercheur au GRIP (Groupe de recherche sur l'inadaptation psychosociale chez l'enfant), j'ai poursuivi la recherche dans ce domaine, en collaboration avec l'école primaire St-Rémi de Montréal-Nord,

où je travaille présentement en tant que conseillère en rééducation/doctorante en psychologie clinique. J'ai appliqué là aussi les principes du MBSR, mais bonifiés par des composantes thérapeutiques de la MBCT. De l'hiver jusqu'au printemps 2014, j'ai suivi un groupe de 14 enfants faisant partie d'une classe « DGA » (difficultés graves d'apprentissage). Puisque ces enfants avaient un trouble identifié, il était pertinent d'ajouter au projet certains aspects de l'intervention cognitivo-comportementale. Ces enfants ont suivi le programme pendant huit semaines, à raison de 45 à 60 minutes par semaine. Au début et à la fin du projet, nous avons recueilli, à l'aide de questionnaires, la perspective des enfants et celle de leur enseignant sur plusieurs variables préalablement identifiées (dépression, anxiété, hyperactivité, inattention, etc.). Les données récoltées auprès des enfants étaient très encourageantes : diminution significative de l'anxiété de la dépression; celles de l'enseignant aussi : diminution de l'agressivité, des problèmes de comportement, de l'opposition et de l'inattention. Cette année, de février au début avril 2015, j'ai entrepris un projet avec trois élèves de 3e et de 4e année du primaire qui ont des troubles langagiers en plus d'avoir un trouble anxieux ou dépressif. Le programme à peine commencé, les enseignants remarquent déjà une nette amélioration dans le comportement de leurs élèves. Des mesures de suivi seront prises à la fin avril, en mai et en juin. Nous pourrons donc vérifier si les acquis se maintiennent dans le temps.

Quels sont vos prochains projets auprès des jeunes qui impliquent le MBSR ?

Avec M. Lacourse, nous travaillons sur un projet-pilote en psychiatrie, en collaboration avec l'hôpital Sainte-Justine. Nous voulons comparer l'impact d'une intervention pleine conscience et d'une intervention dialectique comportementale. De plus, un des objectifs poursuivis est d'évaluer le rapport coûts/bénéfices de ces deux interventions. Autrement dit, quelle intervention est à privilégier ? Nous souhaitons, entre autres, répondre à cette question. Le groupe à l'étude serait composé d'adolescents qui ont des traits de personnalité qui interfèrent avec leurs traitements médicaux, par exemple, un jeune diabétique qui présente certains traits de personnalité pouvant s'apparenter à ce qu'on observe chez des individus ayant un trouble de la personnalité limite. Ces jeunes ont été ciblés par leur médecin, car ils sont des patients difficiles, voire réticents à adhérer au traitement requis. Nous espérons mettre en branle ce projet, qui devrait durer cinq ans, dans les prochains mois. Nous visons à recruter 180 adolescents. Il s'agit donc d'un projet important.

À la lumière de vos dernières années de recherche et d'intervention, pourquoi choisissez-vous encore le MBSR comme approche dans chacun de vos projets ?

Tout d'abord, parce que les résultats que l'on obtient en milieu scolaire depuis deux ans sont vraiment prometteurs. Puis, plus personnellement, parce que c'est une forme de thérapie que j'aime mettre en pratique avec les jeunes. Moi-même, je pratique la méditation pleine conscience et j'en constate l'efficacité. Sans compter que la pleine conscience s'inscrit dans un mouvement de psychologie positive. Ce courant, moins connu en psychologie traditionnelle, s'intéresse à tout ce qui va bien chez les gens : le bonheur, l'espoir, l'optimisme. Ça me parle énormément, car je peux intervenir sur ces paramètres que j'affectionne. J'ai un faible pour le bonheur ! J'aime profondément l'idée de me pencher sur le positif. Cela m'attire davantage que la psychologie traditionnelle, qui s'intéresse aux troubles mentaux et à tout ce qui ne va pas bien chez une personne. Finalement, je me passionne pour la recherche. Puisque les résultats avec la pleine conscience sont de bon augure, ça m'encourage à continuer. J'allie deux facettes de mon travail que j'adore, quoi demander de mieux ? ◎

ÉCOLE D'ÉTÉ
DOCTORALE ET
POSTDOCTORALE

INNOVATION ET MARKETING DES CONNAISSANCES

10 ET 11 JUIN 2015

LES SAISONS DE LA FESP

UN LIEU OÙ LE SAVOIR-FAIRE SE CONFIRME

WWW.FESP.UMONTREAL.CA

ACTIVITÉ PRÉSENTÉE EN COLLABORATION AVEC

CHAIRE DE RECHERCHE POLITIQUES CONNAISSANCES SANTÉ

mosaic HEC MONTRÉAL Pôle créativité & innovation

Université de Montréal

FICSUM

LE FICSUM, AU SERVICE DES ÉTUDIANTS DES CYCLES SUPÉRIEURS

DIRE

LA REVUE PAR ET POUR LES ÉTUDIANTS

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

SOUTIEN FINANCIER

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

MRE

MOIS DE LA RECHERCHE ÉTUDIANTE

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

NOUVELLES

JOIGNEZ LA CONVERSATION

FICSUM.COM

FICSUM

FONDS D'INVESTISSEMENT
DES CYCLES SUPÉRIEURS
DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

PAVILLON MARGUERITE-D'YOUVILLE
2375, CHEMIN DE LA CÔTE-SAINTE-CATHERINE, BUREAU 1125-7
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3T 1A8