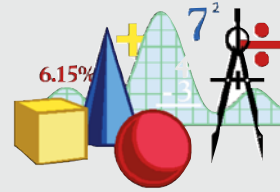


Du côté de la science



Les gènes de la schizophrénie

Une grande étude génétique parue fin juillet dans la revue *Nature* [1] annonce le repérage de 108 gènes associés à la schizophrénie – dont 83 non connus auparavant. Bien sûr, tous ces gènes sont présents chez chacun d'entre nous, mais ils existent sous différentes formes dans la population, et certains variants augmentent le risque de schizophrénie. Il s'agit là de données très solides, obtenues en étudiant près de 37 000 patients et plus de 110 000 témoins, avec la technique appelée GWAS (*Genome-Wide Association Study*) qui, on l'a vu ces dernières années, donne des résultats fiables et reproductibles. À cette occasion, bien des médias semblent découvrir que la génétique joue un rôle



Adolf Wölfli (1864-1930). A. Wölfli a été interné pour schiz-

important dans cette affection (Europe 1 : « La schizophrénie serait liée à des variations génétiques »), fait pourtant prouvé par de multiples études depuis plus de cinquante ans. Il faut dire que l'antipsychiatrie et *Family life*¹ sont passés par là, alors même que l'« hérédité » de la schizophrénie (sa « part génétique ») est aujourd'hui évaluée à plus de 80%... [2]

Que nous apprend donc ce travail ? Que la schizophrénie (maladie mentale se manifestant notamment par la déconnexion du réel) est une affection très fortement multigénique : le risque conféré par chaque variant défavorable est très faible, et c'est seulement la réunion, chez la même personne, d'une constellation de tels variants qui la rend fortement susceptible de se manifester. Au total, plusieurs centaines de gènes sont sans doute impliqués.

Parmi ceux qui ont été repérés dans cette étude figurent certains qui interviennent dans le métabolisme du neuro-transmetteur appelé dopamine (ce qui est cohérent avec les données cliniques actuelles), mais aussi plusieurs gènes impliqués dans les fonctions immunitaires, ce qui suggère de nouvelles pistes de recherche.

De fait, ce travail ne va pas aboutir à l'identification du « gène de la schizophrénie » (puisque'il y en a des centaines), ni à un diagnostic par analyse d'ADN vu la complexité de la situation. Son intérêt principal est de fournir des pistes pour la compréhension des mécanismes aboutissant à cette affection, ce qui aura certainement – mais à long

terme – des retombées thérapeutiques importantes.

Bertrand Jordan

Biologiste moléculaire – Directeur de recherche émérite au CNRS

¹ Film de Ken Loach (1971) montrant comment une jeune femme est rendue schizophrène par son environnement familial, social et médical, et contestant donc les bases organiques de cette affection.

[1] L'article discuté dans cette brève : "Biological insights from 108 schizophrenia-associated genetic loci."; Schizophrenia Working Group of the Psychiatric Genomics Consortium. *Nature*. 2014 ; 511 : 421-7.

[2] Une méta-analyse des travaux sur l'hérédité de la schizophrénie : "Schizophrenia as a complex trait: evidence from a meta-analysis of twin studies". Sullivan PF, Kendler KS, Neale MC. *Arch Gen Psychiatry*. 2003 ; 60 : 1187-

Connaître nos bactéries intestinales

On considère que 100 000 milliards de bactéries peuplent l'intestin de chaque être humain. Elles pourraient représenter un millier d'espèces différentes. Comprendre l'écosystème digestif – le « microbiote intestinal » – est important car ces bactéries jouent un rôle dans certaines maladies comme le diabète de type 2, la maladie de Crohn, etc. Cependant, seulement 15% de ces bactéries sont connues, c'est-à-dire que leur génome – l'ensemble de leurs gènes – a été séquencé. Cela signifie que l'on a déterminé l'enchaînement des lettres constituant l'information héréditaire, l'ADN. La plupart des autres bactéries intestinales ne peuvent être cultivées en laboratoire. Il est donc impossible d'étudier chaque espèce individuellement. On a alors recours à la métagénomique : il s'agit de séquencer collectivement les gènes de tous les organismes présents dans le milieu,

sans les détailler espèce par espèce, comme s'il s'agissait d'un seul organisme. On détermine ainsi un « métagénome » et on tente, seulement ensuite, de rendre à César ce qui appartient à César.

Dans un premier temps, c'est relativement aisé car, d'une part, les techniques de séquençage des gènes ont fait des progrès fulgurants et, d'autre part, on peut comparer sur ordinateur les gènes détectés dans un échantillon et les gènes répertoriés dans les catalogues de gènes de bactéries connues. Mais on se heurte ensuite au problème des bactéries inconnues – celles précisément que l'on souhaite étudier – en se retrouvant avec des séquences de gènes, certes déterminées, mais qu'il faut assembler tel un puzzle, ou plutôt tels mille puzzles mélangés.

Pour faciliter l'analyse du métagénome intestinal, une approche originale a été développée par le consortium européen MetaHIT (www.metahit.eu/) pilotée par l'Inra et impliquant treize partenaires, dont des équipes du CEA, du CNRS et de l'Université d'Evry. La méthode repose sur le fait que l'abondance relative des différentes espèces bactériennes varie fortement (entre 10 et 1000 fois) si l'on



compare différentes personnes. Les chercheurs ont comparé cette abondance de gènes bactériens entre différents individus en considérant que les gènes dont l'abondance varie similairement appartiennent à une même espèce bactérienne. Ainsi en analysant le metagénome de 396 échantillons de selles, ils ont réparti 3,9 millions de gènes en groupes de co-abondance, et pu reconstituer le génome complet de 238 bactéries intestinales – dont 75% jusqu'alors inconnues. Ils ont également démontré plus de 800 relations de dépendance, par exemple des virus bactériophages nécessitant la présence de telles bactéries pour survivre.

Marcel Kuntz

Biologiste – Directeur de recherche au CNRS

Référence : www.nature.com/nbt/journal/vaop/ncurrent/full/nbt.2939.html

Insectes transgéniques contre la dengue

Le virus de la dengue infecte 50 millions de personnes par an dans les régions tropicales et subtropicales. Cette maladie, qui est handicapante et responsable de 100 000 morts par an, est véhiculée par certains insectes. Pour éviter l'usage massif d'insecticides, des insectes mâles stérilisés par irradiation sont depuis longtemps relâchés dans la nature. Ces insectes entrent en compétition avec leurs homologues sauvages pour la fécondation des femelles. Ce procédé permet de faire diminuer localement le nombre d'insectes mais avec une efficacité limitée due au fait que l'irradiation diminue la capacité de reproduction des mâles. La modification génétique des insectes a été considérée comme une alternative possible [1].



Une entreprise britannique Oxitec propose de relâcher massivement, au Brésil, des insectes contenant un transgène codant pour une protéine qui s'oppose au développement des larves. Le système a été conçu pour permettre de ne garder que les larves mâles des insectes qui ne peuvent se développer qu'en présence d'un inducteur chimique, la tétracycline (sans rapport avec ses propriétés antibiotiques). Ces insectes élevés en milieu confiné et arrivés à maturité dans ces conditions sont normalement féconds. Lorsqu'ils sont disséminés dans l'environnement, ils fécondent les femelles dont les descendants contiennent le transgène. Les larves des descendants dépérissent ainsi spontanément car elles ne sont pas en présence de l'inducteur tétracycline. Ce procédé a été testé avec succès en 2011 dans une des îles Caïman.

Une inconnue demeure. Un petit pourcentage des larves transgéniques arrivent à se développer malgré l'absence de tétracycline, ce qui ne remet pas en cause l'efficacité du procédé. Il reste par contre essentiel de savoir si ces larves résistantes à

l'absence de tétracycline contiennent effectivement bien toutes le transgène ou si celui-ci est inactivé. Les larves résistantes sont en effet potentiellement capables de disséminer le transgène de manière incontrôlée. Le transgène ne présente à priori aucun avantage sélectif qui favoriserait le développement des insectes transgéniques aux dépens de ceux qui ne le sont pas, mais ceci doit être précisément évalué. Par ailleurs, le test réalisé dans les Iles Caïman est semble-t-il unique, ce qui paraît insuffisant pour développer les insectes à l'échelle industrielle. Des commissions brésiliennes et internationales évaluent l'importance de ces problèmes.

Un autre procédé anti-dengue consiste à faire exprimer chez les insectes des gènes codant pour des ARN interférents¹ dirigés contre des ARN essentiels du virus. Ce procédé est parfaitement efficace mais il ne vise qu'à empêcher la dissémination du virus, pas celle des insectes qui en l'occurrence sont transgéniques. Les ARN interférents en question n'ont que très peu de chance de conférer un quelconque avantage sélectif aux insectes. On sait par ailleurs que plusieurs plantes transgéniques exprimant des ARN interférents dirigés contre des virus sont exploitées sans problème.

Indépendamment de la transgénèse, des vaccins contre le virus de la dengue sont en cours de développement.

Louis-Marie Houdebine
Biologiste – Directeur de recherche
honoraire INRA

¹ Petits ARN qui inhibent spécifiquement l'expression des gènes au niveau des ARN messagers

Diesel 6 fois plus polluant que prévu

Une étude du bureau de recherche TNO a montré que les émissions de NOx (soit les monoxyde et dioxyde d'azote) des automobiles diesel étaient plus élevées que celles auxquelles on pouvait s'attendre sur base de la norme Euro 6. Cette norme est entrée en vigueur en 2014 et vise la réduction des émissions de polluants des automobiles, notamment.

Malgré la plus grande sévérité de la norme Euro 6 (80 mg/km) par rapport à la norme Euro 5 (180 mg/km), les émissions de NOx en conditions réelles (par opposition aux tests en laboratoire), des véhicules Euro 6 testés lors de cette étude, sont généralement de 400-500 mg/km. Les tests en laboratoire, quant à eux, sont bien en accord avec la norme Euro 6. Seul un des véhicules testés était en accord avec cette norme en conditions réelles de roulage. L'étude démontre également que la technologie de post-traitement des gaz d'échappement est déterminante. Les émissions réelles de NOx des automobiles diesel varient du tout au tout selon les conditions de test ainsi que la technologie utilisée dans le véhicule. Durant les tests en laboratoire, les protocoles de contrôle sont actifs, mais durant les tests en conditions réelles, les systèmes de post-traitement peuvent devenir (partiellement) inefficaces.

www.tno.nl/downloads/investigations_emission_factors_euro_6_ld_vehicles_tno_2013_r11891.pdf.

Résumé de NdV

Regards sur la science



Gaz de schiste et gaz de roche mère

Le premier puits de gaz naturel est creusé à la pelle, en 1821, à Fredonia (État de New-York, aux États-Unis), à 9 mètres de profondeur, dans des roches carbonifères naturellement fracturées et il est rentable (le gaz remplaçant l'huile de baleine valait 2 000 \$/baril en termes actuels). De 1850 à 1900, d'autres puits sont forés en Europe (Angleterre surtout) et États-Unis (Louisiane, Michigan), et exploitent également l'huile de schiste ou *shale oil*¹. Ce premier essor de mise en valeur de gisements d'hydrocarbures non conventionnels est stoppé net par la découverte des grands gisements de pétrole conventionnels du Moyen-Orient dans les années 1950-1960.

Face à l'épuisement relatif des hydrocarbures conventionnels, grâce surtout aux progrès technologiques (forages horizontaux) et aux nouvelles connaissances géologiques dans les techniques d'exploration-production, nous redécouvrons les hydrocarbures non conventionnels qui semblent promis à une seconde jeunesse. Ils « dorment » à plus de 1 000 m de profondeur et ils ne sont pas rentables au-delà de 4 000 m de profondeur. Ils sont donc principalement exploités entre 1 000 et 4 000 m sous des conditions de pression de 300 à 600 bars (qui compensent les pressions

litho- et hydrostatiques, c'est-à-dire le poids de la colonne sédimentaire surincombante et de l'eau interstitielle qu'elle contient). Ces pressions sont donc énormes puisque la pression atmosphérique au niveau de la mer est de 1 bar. Les formations qui les contiennent doivent être cassantes pour la fracturation, donc renfermer suffisamment de minéraux résistants (quartz, feldspaths, carbonates) de sorte que, souvent, il ne s'agit plus de « schistes » *sensu stricto*. Si l'eldorado du pétrole conventionnel est bien au Moyen-Orient, celui des *shale gas* se trouve aux États-Unis qui possèdent la meilleure composition minéralogique pour la fracturation. Leur porosité (inférieure à 5%) et perméabilité (inférieure à 0,001 mD²) sont très faibles, et inférieures à celles d'une brique, d'où la nécessité de les fracturer, ce qui permet un gain jusqu'à 7 ordres de grandeur dans l'échelle des perméabilités. C'est George P. Mitchell (1919-2013) qui relança, à ses risques et périls financiers, la seconde jeunesse des *shale gas*. La première fracturation eut lieu en 1947 dans le champ d'âge permien de Hugoton (Texas). Il exécuta, au cours de sa carrière, plus de 10 000 puits et développa la technique de fracturation qui a toujours cours aujourd'hui. Les fracturations sont nombreuses car la production des puits décline rapidement. Le nombre d'appareils à forer dans les



roches mères est passé de 100 à 1 500 entre 2003 et 2010 et rien ne semble arrêter cette progression.

Aujourd'hui, pour produire un volume de gaz non conventionnel équivalent au conventionnel, il faut 100 à 200 fois plus de puits (horizontaux), et 1 000 fois plus par rapport à l'eldorado des puits (verticaux) du conventionnel du Moyen-Orient. Plusieurs millions de fracturations ont déjà eu lieu aux États-Unis (500 000 en 2012). La tendance aujourd'hui est à l'exploitation des *shale oil* avec ou sans *shale gas*, ce qui est économiquement plus rentable. Les impacts macroéconomiques et géostratégiques sont très importants, surtout pour les États-Unis.

Que faut-il penser de cette nouvelle ruée sur l'or noir ? Impossible de répondre dans cette rubrique trop courte, mais chaque jour nous sommes 200 000 consommateurs de plus sur la Terre (naissances moins décès), à chaque instant 500 000 personnes environ sont dans les 24 000 avions qui se déplacent 24h

sur 24... Nous sommes des énergivores invétérés : cela fait aussi partie de la question.

Alain Préat

Géologue – Professeur à l'Université Libre de Bruxelles

Sur ce sujet, voir aussi le dossier de *Science et pseudo-sciences* n°301 de juillet 2012.

¹ À ne pas confondre avec oil shale (schistes bitumineux) qui renferme de la matière organique immature sous forme de kérogène. Les terrains mésozoïques du Bassin de Paris, par exemple, contiennent beaucoup plus d'oil shale - peu ou pas rentable - que de shale oil, plus intéressant.

² mD : milliDarcy (du nom de l'hydraulicien français) - unité de mesure de la porosité.

Tricherie et suicide...

Deux articles publiés dans la revue *Nature* en janvier 2014 par plusieurs laboratoires associés dont le principal est au Japon, ont été retirés en juillet [1-6]. Cet événement rare a été suivi du suicide d'un des auteurs de ces articles. Les données des articles n'ont pas pu être obtenues par d'autres laboratoires spécialisés et les résultats ont donc été considérés comme

frauduleux. Le sujet concerne le retour expérimental des cellules différenciées d'organes de souris à l'état de cellules embryonnaires très peu différenciées (cellules pluripotentes).

Il est parfois difficile de faire une claire distinction entre une erreur et une tricherie. Le suicide d'un des auteurs des articles ne signifie pas forcément un aveu de tricherie. Cette personne avait de hautes responsabilités administratives dans l'institut de recherche japonais et il était accusé de malversation financière.

L'organisation des laboratoires de recherche, en particulier en biologie, est telle que des tâches spécialisées sont confiées aux personnes les plus compétentes. Ce dispositif repose sur la confiance et il est donc vulnérable. Dans le cas présent, la commission d'enquête a fait le constat que les expériences clefs probantes étaient dans les mains d'une seule personne [6]. Les expériences ont été répétées mais toujours par la même personne et les différents

laboratoires impliqués dans cette aventure ont cru aux résultats, en réalité assez invraisemblables quand on y réfléchit calmement.

La question se pose de savoir ce qui permet de telles confusions. Sans doute des motifs classiques ; la recherche de postes, de crédits et de notoriété, peuvent jouer un rôle. Il faut se rendre à l'évidence, il y a beaucoup de subjectif dans le cerveau des chercheurs mais ceci est une des clefs de la découverte. L'expérimentation est par contre sans pitié. Aucune fantaisie n'est acceptable à ce stade de la démonstration. Toute erreur ou tricherie est un jour décelée et le mauvais joueur est toujours perdant.

Pour diminuer la fréquence de tels événements, il pourrait être utile de mieux former les futurs chercheurs dans les universités. On pourrait aussi imaginer des systèmes de contrôle à l'intérieur des laboratoires : s'imposer des expériences effectuées en parallèle par différentes personnes dès lors que les résultats bousculent particulièrement des faits établis. Les comités éditoriaux des revues pourraient être plus critiques et exiger des démonstrations plus approfondies ainsi que des protocoles expérimentaux plus détaillés. La revue *Nature* annonce qu'elle va prochainement publier sa nouvelle politique d'évaluation des articles [7].

Il n'est pas rare que les comités éditoriaux fassent en sorte que des articles traitant du même sujet soient publiés de manière synchrone dans le même numéro de la revue. Ceci permet une première validation des résultats s'ils sont concordants. Les responsables des revues sont bien conscients du rôle essentiel qu'ils jouent dans la



transparence et la diffusion rapide du savoir mais on ne peut ignorer le fait qu'ils ne veulent surtout pas rater la publication d'un article qui fera référence. Au total, la tricherie ou la simple négligence contraint la science à payer un certain tribut à la fraude. Il ne faudrait pas exagérer la gravité de tels événements étant donnée leur rareté. Il ne faudrait surtout pas profiter de ces incidents de parcours pour dénigrer la science. En effet, quoi qu'il arrive, tous les résultats publiés sont soumis tôt ou tard au jugement international par les pairs. Les médias sont, à juste titre, friands d'informations nouvelles et plus ou moins révolutionnaires. Ils ne font pas tous bon usage de ces informations. De leur côté, certains chercheurs font indûment appel aux médias pour se faire valoir. La science est apatride et accabler la recherche japonaise en biotechnologie est de mauvais aloi. La découverte des cellules iPS¹ a été un événement scientifique de tout premier ordre et les chercheurs japonais qui en sont les auteurs ont bien mérité leur prix Nobel.

Louis-Marie Houdebine
Biologiste – Directeur de recherche
honoraire INRA

¹ Les cellules iPS sont semblables aux cellules embryonnaires souches pluripotentes (ES). Elles sont obtenues in vitro à partir de cellules d'organes différenciées dans lesquelles ont été introduits des gènes exprimés spécifiquement dans les cellules pluripotentes naturelles.

Une version détaillée de cette brève est disponible sur notre site.

[1] Obokata H et al Stimulus-triggered fate conversion of somatic cells into pluripotency. *Nature*. 2014 Jan 30;505(7485):641-7. doi: 10.1038/nature12968

[2] Obokata H et al. Bidirectional developmental potential in reprogrammed cells with acquired pluripotency. *Nature*. 2014 Jan 30;505(7485):676-80.

[3] Obokata H et al, Retraction: Stimulus-triggered fate conversion of somatic cells into pluripotency. *Nature*. 2014 Jul 3;511(7507):112. doi: 10.1038/nature13598

[4] Obokata H et al Retraction: Bidirectional developmental potential in reprogrammed cells with acquired pluripotency. *Nature*. 2014 Jul 3;511(7507):112. doi: 10.1038/nature13599

[5] www.ipscell.com/tag/stap-cell-retraction/

[6] <http://retractionwatch.com/2014/06/04/obokata-agrees-to-retract-both-stap-stem-cell-papers-report/>

[7] STAP retracted *Nature News & Comment*.html doi:10.1038/511005b

Machine de Wimshurst, ozone et asthme

On trouve la machine de Wimshurst (figure) dans le laboratoire de physique de tous les lycées de France. C'est une machine électrostatique dite à influence : la rotation en sens inverse de deux disques isolants recouverts de secteurs métalliques induit la formation d'un arc électrique entre les boules d'un éclateur du fait de la haute tension existant entre elles, avec comme conséquence importante pour notre propos, la production d'ozone (O₃).

Au-delà de sa curiosité scientifique, la machine eut son heure de gloire au début du XX^e siècle en électrothérapie médicale : elle était le générateur d'électricité statique utilisé en « franklinisation », c'est-à-dire l'application de décharges électriques sur des patients. Ceci étant, on fit rapidement observer que les effets bénéfiques pouvaient aussi provenir de cet ozone abondamment engendré par l'arc électrique. Binz ayant signalé, en 1882, l'endormissement provoqué par l'ozone [1], des études se succédèrent alors rapidement pour évaluer les bienfaits du gaz, en particulier sur la tuberculose [2], l'anémie, la chlorose, la névrose, la dyspepsie, la

goutte, la gravelle, l'obésité [3], puis plus spécifiquement sur l'asthme. L'électrothérapeute A. Roussel peut ainsi écrire en 1902 que « *dès le début du traitement, quand la patiente m'arrivait avec du spasme bronchique, cet état cédait en une ou deux minutes par la seule inhalation de l'air ozoné de mon cabinet* » [4].

L'approche tomba progressivement dans l'oubli, sans doute, par absence, pour le moins, de résultats bien établis. Cent ans plus tard, la situation a totalement changé : l'ozone, associé à la pollution atmosphérique, est accusé de bien des maux et on peut se demander comment les patients du début du XX^e siècle ont bien pu survivre aux traitements décrits ci-dessus (quoique la concentration en ozone obtenue avec la machine de Wimhurst n'ait pas été mesurée exactement). Il est maintenant bien établi que l'ozone est extrêmement nocif pour les poumons, les reins, le cerveau et les yeux. À titre d'exemples, une concentration de 9 parties par million dans l'air (le seuil de détection olfactive est de 0,01 ppm) entraîne des œdèmes pulmonaires, et la fréquence des crises d'asthme obser-

vées en urgences pédiatriques est directement corrélée au taux d'ozone atmosphérique.

Mais la situation n'en est pas restée pas là ! Beaucoup plus récemment et en contradiction avec ce qui est maintenant couramment admis, l'« ozonothérapie » refait son apparition dans le florilège des médecines non conventionnelles. Je laisse le lecteur se plonger avec délices dans l'amphigouri de la littérature correspondante. Il pourra lire que l'ozone est « de l'oxygène concentré », que c'est « la forme pure de l'oxygène », que « l'ozone médical n'a rien à voir avec celui de la stratosphère ». Il pourra apprendre que l'ozonothérapie est un moyen thérapeutique de haute efficacité, sans aucune toxicité (ni immédiate, ni par effet de cumul), aux innombrables applications... dont le traitement de l'asthme, et qu'elle a un effet préventif. Aucune dépendance ne serait à craindre et il n'y aurait pratiquement aucune contre-indication à son administration. Il faut reconnaître que l'inhalation n'est généralement pas la méthode préconisée. Cependant, lorsque ce mode d'administration est utilisé, c'est après barbotage dans de l'eau ou de l'huile, car l'ozone « ne peut être respiré directement »... Mais alors, où est-il passé ?

Dans cette approche « ozonothérapie », la France apparaît (pour une fois) en retard par rapport à la Suisse, le Canada, l'Autriche... mais, en l'occurrence, faut-il s'en plaindre ?

Jacques Bolard

Biophysicien – Directeur de recherche
honoraire au CNRS

[1] Binz, C., Ozonisirte Luft, ein schlafmachendes Mittel, Berlin. Klin. Wochenschr. 1882, XXIX, 1,2

[2] Caratzalis, A., Application thérapeutique de l'ozone, Gazette Hebdomadaire de



Médecine et de Chirurgie, 1901, 8, 93

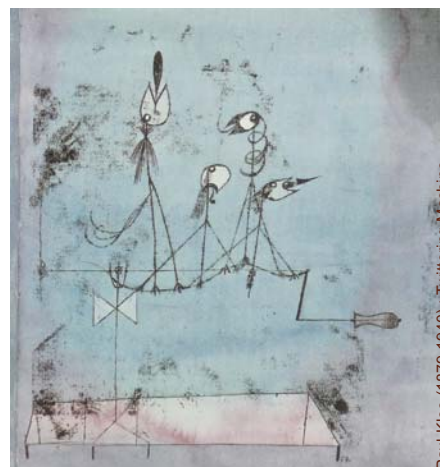
[3] Chardin, C., Précis d'électricité médicale, 1896, éd. O. Berthier, Paris

[4] Roussel, A., La franklinisation réhabilitée, p. 94, 1904, éd. Octave Doin, Paris

N'en demandons pas trop aux jeunes chercheurs

Une nouvelle classe d'exigences auprès des professeurs et des étudiants est apparue : elle a pour objectif la préparation de l'avenir professionnel des docteurs *es sciences*. On demanderait aux professeurs, et leur avancement en dépendrait, de se préoccuper de l'emploi de leurs doctorants. On voudrait aussi que, à grand renfort de séminaires et de doctoriales, les étudiants se préparent aux entretiens d'embauche, édifient des plans de carrière et apprennent à se « vendre » (ô le vilain mot) auprès des industriels.

Bel et bon. Tous ces soucis de qualification sont utiles, mais, évidence oubliée, ces préparations prennent du temps. Or, l'apprentissage des sciences et le maniement des techniques sont œuvres de patience et d'assimilation à des vitesses qui dépendent de la forme de pensée et de l'exigence interne des jeunes scientifiques. Dans l'esprit de quelques décideurs industriels, le travail sur la thèse de doctorat serait une application des acquisitions scientifiques obtenues précédemment sans que les jeunes chercheurs aient besoin d'étoffer leurs connaissances dans des domaines auxquels leurs études préalables ne les ont pas initiés. Or, bien souvent, les idées inventives résultent d'une adaptation intelligente d'un domaine étranger à celui de la spécialisation initiale et cette percep-



tion peut s'acquérir lors de la maturation de la thèse. Le travail du chercheur consiste aussi en un zapping de curiosité qui élargit sa vision, et le hasard dont tire avantage la serendipité peut-être fructueux.

Enfin, si la préparation « marketing » du chercheur peut s'appliquer à certaines sciences comme la physique, la chimie, la biologie ou les mathématiques, dans des disciplines comme l'archéologie, la paléontologie, l'histoire, la géographie où les sciences humaines, l'adéquation est moins efficace. Notre civilisation a été bouleversée par le transistor, et les physiciens qui l'ont inventé et mis au point ne se préoccupaient guère, et cela est heureux, de « merchandiser » leur invention, résultat d'une connaissance approfondie de la physique fondamentale.

Une trop grande dispersion des jeunes chercheurs pourrait être malencontreuse, voire nuisible.

Philippe Boulanger

Physicien – Fondateur de la revue *Pour la Science*

