

d'eau. Si l'humidité ambiante est grande, un gramme de chlorure de calcium «absorbe» jusqu'à un gramme d'eau. Dans la pratique, la capacité d'absorption des cristaux utilisés dans les sachets et dans les autres absorbeurs d'humidité est d'un demi-gramme d'eau par gramme, car le chlorure de calcium y est associé à d'autres composés indispensables au bon conditionnement. Grâce à cette capacité d'absorption, on contrôle l'humidité de l'air ambiant. À 20 °C, de l'air saturé (cent pour cent d'humidité) contient une dizaine de grammes d'eau par mètre cube. Dans un tel climat, un sachet de 100 grammes de chlorure de calcium suffit pour maintenir sèche une grande armoire (environ deux mètres cubes). La méthode n'a qu'un inconvénient : le chlorure de calcium absorbe tellement l'humidité, qu'il en devient déliquescent : il se transforme en une saumure peu esthétique dont il faut se débarrasser régulièrement.

GEL DE SILICE

Si cette saumure ne nous convient pas, nous pouvons revenir à notre idée première et utiliser un matériau solide offrant une très grande surface à l'eau, comme des granules de «gel» de silice. Une molécule de silice est constituée d'un atome de silicium et de deux atomes d'oxygène (SiO_2). Le gel de silice est constitué de granules de quelques millimètres de diamètre, très poreux (un quart de leur volume est vide). Ce squelette de silice, obtenu par évaporation du solvant d'une suspension de silice (gélifiée) dans ce même solvant, a une masse volumique de seulement 0,7 gramme par centimètre cube.

Le vide interne de chaque grain est constitué par une multitude de pores interconnectés de taille «nanoscopique», formant une surface totale considérable. Ainsi, chaque gramme de gel de silice présente une surface interne de 700 mètres carrés et un volume interne de 0,35 centimètre cube. Au cours de la préparation du gel de silice, on fabrique de nombreux groupements polaires qui attirent l'eau.

La surface interne des grains de silice est donc «friande» d'eau. En se gorgeant, les pores de la silice fixent jusqu'à 0,35 gramme d'eau par gramme, soit un peu moins que le chlorure de calcium, mais sans l'inconvénient de la formation de saumure : même saturée d'eau, la silice reste sèche au toucher. Ces avantages expliquent que l'on en trouve partout, au sein des emballages d'appareils photographiques comme dans ceux des médicaments. Les déshydratateurs industriels qui fonctionnent par adsorption en contiennent aussi : l'air à traiter y est envoyé à travers le gel de silice où il abandonne sa vapeur d'eau. Pour faire «rendre son eau» au gel de silice, il suffit de le chauffer jusqu'à 130 °C. Ainsi, l'oxyde de silicium, l'un des minéraux les plus courants à la surface de la Terre, permet de produire un déshydratant d'usage non seulement universel, mais réversible !

Est-il vraiment utilisé partout ? Les jeunes parents connaissent les réveils nocturnes résultant de l'irritation des fesses mouillées de bébé. Les couches contiennent-elles du gel de silice ? Non. Chaque miction représente environ 50 grammes de liquide et pour absorber les trois mictions de bébé, pas moins de 430 grammes de gel de silice seraient nécessaires. Or, nous savons que les couches de bonne qualité ne deviennent pas humides malgré leur finesse et qu'elles pèsent moins de 100 grammes ! Que contiennent-elles ?

De l'acide acrylique polymérisé, c'est-à-dire de longues chaînes dont chacun des maillons est une molécule d'acide acrylique. Sec, ce polymère a l'aspect d'un sel, car pour le produire, on doit notamment neutraliser l'acide acrylique avec de la soude ou de la potasse. De ce fait, le polymère contient de nombreux atomes d'oxygène chargés négativement liés à des ions sodium ou potassium chargés positivement. En outre, les chaînes sont connectées par des liaisons moléculaires élaborées au



La masse de polyacide acrylique contenue dans une couche-culotte absorbe et y fixe jusqu'à un demi-litre d'eau. L'ajout de chlorure de sodium ou de tout autre sel en libère la plus grande partie.

moment de la préparation. Au final, ce polymère forme un réseau tridimensionnel comparable à des spaghettis reliés par un grand nombre de fils de fromage fondu.

Comment ce gel se comporte-t-il en présence d'eau ? Avec l'acide acrylique polymérisé, les physiciens pensent avoir réalisé une sorte d'«éponge ultime», dont les pores sont de taille moléculaire. En outre, puisque le réseau formé par les chaînes de ce polymère contient de nombreux cations de sodium et de potassium et de nombreux anions d'oxygène, il constitue un véritable «paradis» pour une molécule polaire comme l'eau. Une fois introduites dans le réseau, les molécules d'eau trouvent mille partenaires à qui se lier : tandis que certaines se rapprochent des ions d'oxygène négatifs, d'autres entourent les ions positifs (les hydratent). Ainsi partiellement libérés de l'attraction électrostatique des ions positifs, les ions d'oxygène négatifs se repoussent ; les chaînes du polymère se déplient et le volume du matériau augmente. Toutefois, les liaisons inter chaînes sont suffisamment solides pour que le matériau gonfle sans se dissoudre : il ne donne pas la saumure exécrée. Les résultats obtenus grâce à l'acide acrylique polymérisé sont vertigineux : ce matériau absorbe de 500 à 3 000 fois sa masse d'eau distillée !

Hélas, l'absorption est plus faible avec de l'eau salée ou de l'urine qui contiennent des ions. Ces derniers retiennent les molécules d'eau, contrecarrant ainsi l'attraction exercée par les ions qui se trouvent au sein du polymère. Pour cette raison, la masse de polymère absorbe seulement environ 30 fois sa masse. Une couche absorbe, par exemple, jusqu'à 500 grammes d'eau et la fixe si bien qu'elle y reste même si on comprime le polymère (bébé s'assoit).

Ce type de super absorbant n'est plus cantonné aujourd'hui aux couches-culottes ou aux serviettes hygiéniques. Coincé entre deux couches de tissus, il joue les déshydratants dans les barquettes alimentaires. Mélangé avec du caoutchouc, il donne un mortier d'étanchéité incroyablement efficace. Un tel mélange a par exemple été utilisé pour prévenir les infiltrations d'eau du tunnel sous la Manche. Si de l'eau parvient près du mortier, celui-ci gonfle, bouchant ainsi les fractures d'une barrière imperméable. Jamais, nous n'aurions imaginé un super absorbant capable de bloquer la Manche !

Jean-Michel COURT est physicien, chargé de recherche au CNRS. **Édouard KIERLIK** est physicien et maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie.

F. BUCHHOLZ, *Journal of chemical education*, vol. 73, p. 512, 1996.

P.-G. de GENNES, F. BROCHARD-WYARD et D. QUÉRÉ, *Gouttes, bulles, perles et ondes*, Belin, 2002.

Géologie

Les cris du volcan

Stanley Williams et Fen Montaigne, Éditions Guérin, 2002 (448 pages, 23 euros).

Le 14 janvier 1993, une équipe internationale de dix volcanologues étudiait le sommet du Galeras (4 548 mètres), en Colombie, sous la conduite de l'Américain Stanley Williams, et le regard de trois touristes. Sur ces 13 personnes, 9 ne reviendront pas vivantes et les 4 autres seront grièvement blessées par une explosion du volcan. Dans cet ouvrage, Stanley Williams, miraculé, raconte cette tragédie, du point de vue scientifique et humain.

Le Galeras est un volcan actif appartenant au «Cercle de feu» du Pacifique. Il se réveille en 1988, après 50 ans de sommeil, et menace directement la ville de Pasto (300 000 habitants) et ses environs. Nul n'a oublié la catastrophe du Nevado del Ruiz dans le même pays, qui tua 25 000 personnes, le 13 novembre 1985, et la surveillance du Galeras semble nécessaire. Stanley Williams y participe activement (au total, il a fait 25 voyages en Colombie, en 15 ans). Il est spécialiste des gaz volcaniques et plus particulièrement du système COSPEC (pour *Correlation spectrometry*) qui, du sol ou d'un moyen aéroporté, permet de mesurer à distance la teneur en dioxyde de soufre d'un panache volcanique. Le bilan du tonnage journalier émis est lié au dégazage du magma profond et donc à l'activité du volcan.

En janvier 1993, une conférence internationale sur le Galeras rassemble à Pasto différents spécialistes du monde entier. Plusieurs excursions sur le terrain, initialement prévues le 13 janvier, sont fina-

lement organisées le 14, dont une au sommet du volcan pour effectuer des prélèvements et différentes mesures. L'auteur du livre explique qu'il n'y avait alors aucun signe précurseur inquiétant, si ce n'est quelques rares «tornillos», des signaux sismiques de longue période difficiles à interpréter. Les scientifiques atteignent les lèvres du cratère sommital, lui-même situé dans un amphithéâtre plus vaste. En début d'après-midi, une brusque explosion vulcanienne (la plus forte depuis cinq ans, mais qui reste modeste à l'échelle de l'histoire du volcan) éjecte cendres, blocs et bombes en quantité. Malgré leur tentative de fuite, les malheureux sont littéralement mitraillés. Stanley Williams raconte précisément chaque instant précédant l'éruption, puis donne les différents témoignages, parfois divergents, de ce qui a suivi.

Il décrit sa peur («Je n'étais plus qu'un paquet d'adrénaline»), ses blessures, son évacuation douloureuse et dramatique rendue possible grâce à deux femmes volcanologues courageuses, Marta Calvache et Patty Mothes, puis sa longue rééducation (17 interventions chirurgicales). Il avoue que ses souffrances physiques ne furent rien à côté de ses souffrances morales : les critiques, dans son dos, de certains collègues le rendent responsables des morts ; il éprouve par ailleurs des difficultés à réfléchir (son cerveau a été touché). Malgré lui, il devient «Monsieur Galeras», invité en vedette par de grandes chaînes télévisées américaines. Par la suite, il retournera à six reprises sur le volcan.

Au fil des pages, l'auteur donne une belle leçon de volcanologie scientifique : origine et histoire thermique de la Terre, les éruptions anciennes (Vésuve, Tambora) et récentes (mont Saint Helens, Pinatubo), les risques volcaniques, l'impact des éruptions sur le climat et la biosphère. Il revient sur le déroulement de l'éruption fatale : plusieurs années après, il apparaît que l'absence de signaux précurseurs résultait d'un colmatage complet du volcan, empêchant toute émission de gaz. Ces gaz, en s'accumulant sous le dôme, provoquent une gigantesque surpression.

À titre personnel, ce livre m'a beaucoup ému. J'ai rencontré Stan Williams pour la première fois en décembre 1978 à Quetzaltenango au Guatemala, au pied du complexe volcanique Santa-Maria/Santiaguito. Nous avions à peu près le même âge (un quart de siècle) et nous commençons avec enthousiasme nos thèses respectives sur le volcanisme explosif. Nous sommes restés en contact par courrier, nous rencontrant lors de colloques. En août 1992, au congrès géologique international de Kyoto au Japon,

il me raconta son travail sur le Galeras et sa prochaine mission. C'est dire mon inquiétude quand j'appris par la presse la mort de certains collègues sur ce volcan. Nous nous sommes revus depuis. Stan est remarquable de courage, mais pour toujours, il y aura un «avant» et un «après Galeras».

Jacques-Marie BARDINTZEFF,
Université Paris-Sud Orsay,
IUFM de Versailles

Histoire des sciences

Les Arago – François et les autres

François Sarda, Éditions Tallandier, 2002 (442 pages, 21,50 euros).

Lorsqu'un auteur décide de s'atteler à la biographie d'un personnage historique, il ignore à l'avance la longueur du parcours et les difficultés de la tâche, les années de recherche dans les archives publiques et privées, d'enquêtes et d'énigmes partiellement résolues. De plus, il doit éviter la subjectivité comme l'hagiographie. François Sarda a surmonté tous les écueils de cet exercice difficile et livre un portrait attachant de François Arago (1786-1853), illustre méconnu qui a donné son nom à tant de boulevards et de lycées. Son étude porte sur toute la famille Arago : ascendants, collatéraux, descendants. C'est une véritable performance tant les destins sont variés et les sources documentaires abondantes. Et pour ne rien gâcher, la lecture de cette présentation érudite n'est jamais ennuyeuse, servie par une langue élégante : est-ce le style de l'avocat émérite du Barreau de Paris ou l'aisance de l'ancien maire d'une commune des Pyrénées-Orientales ? Les affinités de François Sarda pour François Arago tournent-elles autour de leur commune terre d'origine et d'une certaine vision de la France ? Il n'est pas interdit de le penser.

Les Arago sont des Catalans français, très attachés à leur terre. Tandis que Marie, la mère (1755-1845), a toujours fait preuve d'une foi religieuse inébranlable, Bonnaventure, le père (1754-1814), s'écarte de la religion. Ce patriarche a connu un parcours riche et évolutif : citoyen paysan, maire royaliste, puis militant anti-monarchiste, révolutionnaire sensible aux idées de liberté, mais hostile aux débordements



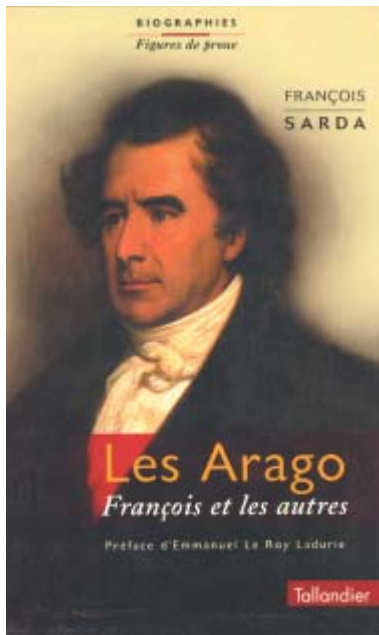
Éruption volcanique explosive nocturne.

Éditions Guérin

sanguinaires, fonctionnaire sous le consulat et l'empire. Il pourrait apparaître opportuniste. En fait, c'est un homme qui tente, dans une période troublée, de servir au mieux sa région, avec une autorité morale qu'on lui reconnaît. Le couple aura 11 enfants : trois filles sont mortes en bas âge et il reste six garçons (dont François est l'aîné) et deux filles.

François est né à Estagel. D'abord élève dans cette bourgade, puis au collège de Perpignan, on le dit moyen, mais attiré par les mathématiques... il intègre tout de même l'École polytechnique en 1803, à 17 ans. En 1805, il est détaché à l'Observatoire de Paris, où il apprend son métier d'astronome et participe avec Jean-Baptiste Biot aux fameuses mesures de la méridienne qui s'étaient arrêtées à Barcelone (1806). Le travail se révèle difficile et semé de péripéties en Espagne et en Algérie : on crut Arago perdu, mais il revint avec ses documents intacts. Sa carrière scientifique et enseignante se déroule entre l'Observatoire (sa véritable maison) dont il deviendra Directeur des observations, l'Académie des sciences (élu en 1809) et l'École polytechnique, où il enseigne l'analyse appliquée à la géométrie, la géodésie et « l'arithmétique sociale » (les probabilités). Si son nom n'est attaché à aucune découverte scientifique majeure, Arago possède une profonde intuition qui lui permet de mettre « sur la bonne voie » des Fresnel et des Ampère : Arago « devine, trouve et fait trouver ». Il se disperse, on le dit indolent, mais il possède de grandes qualités de communicateur et fait œuvre de vulgarisation scientifique : pour lui, le savoir doit être accessible à tous et il donnera des cours d'astronomie populaire de 1813 à 1846.

Sa carrière politique débutera sous la monarchie de juillet. En 1830, après les Trois glorieuses, Charles X est renversé et Louis-Philippe accède au trône. À partir de 1831, François sera un député des Pyrénées-Orientales et de Paris, sans cesse réélu. Il sera toujours soucieux de défendre le peuple, dans un cadre pourtant éloigné de l'idée républicaine à laquelle il ne se rallie que tardivement. Il se préoccupe beaucoup de mesures sociales liées à l'éducation : écoles, formation de techniciens et d'ingénieurs. Soucieux des finances et de l'utilisation des biens publics, il soutient les budgets des écoles militaires, vétérinaires, et du Muséum d'histoire naturelle. Il s'intéresse aussi aux fortifications de Paris, à l'aménagement de la Seine pour une distribution de l'eau aux habitants de la capitale et aux brevets d'invention. En revanche, il s'inquiète des dangers des chemins de fer sur la santé humaine... un principe de précaution avant la lettre assez ridicule.



Le 16 mai 1840, il prononce un discours très remarqué où il réclame le suffrage universel : « Je veux le progrès constant, régulier, sans secousses, sans violence. Ce progrès, le pays l'obtiendra par la réforme électorale. » En 1848, il devient ministre de la Marine, des Colonies et de la Guerre dans le gouvernement provisoire, puis, le 10 mai, après l'écroulement du régime de Louis-Philippe, chef de la Commission du pouvoir exécutif élue par l'Assemblée. Le voici éphémère chef de l'État : 40 jours ! Hélas, la gestion de la Commission est catastrophique : crédits dispersés, incapacité à réaliser des réformes, intrigues ; c'est l'échec, les barricades et une bataille sanglante. La meilleure volonté du monde peut voler en éclats face à la réalité de l'exercice du pouvoir et François en sera très meurtri. Alors qu'il était devenu républicain, l'histoire lui inflige la pire des leçons et lui impose une violence qu'il avait toujours refusée.

Leurs existences entrecroisées avec celle de François, homme de science et de pouvoir scientifique et politique, les autres Arago ne sont pas oubliés dans le livre de F. Sarda. On y trouve un dessinateur, auteur de récits de voyages, de romans et de pièces de théâtre, un militaire discret, et deux frères, Jean et Joseph, qui firent carrière de guérilleros au Mexique. Le remuant Étienne a fondé le *Figaro*, écrit des vaudevilles et des mélodrames, été directeur de théâtre, révolutionnaire, Directeur des Postes (on lui doit le timbre). F. Sarda a poursuivi son exploration jusqu'aux générations suivantes et semble quitter à regrets les descendants de cet arbre généalogique buissonnant.

Jules Ferry, ministre de l'Instruction publique rendit hommage à François Arago en 1879 : « Il a servi avec la même ardeur et le même désintéressement, la science et la patrie ; il a eu foi dans la raison du Peuple, dans la République du suffrage universel, dans le bon sens national, il a cru à l'avenir de la France libérée et républicaine, il a éclairé, servi et glorifié l'humanité : que son nom soit immortel ! »

On peut ajouter : quelle famille et quel livre magnifique !

Michèle FEBVRE

Histoire des techniques

Du nylon et des bombes (Du Pont de Nemours, le marché et l'État américain 1900-1970)

Pap Ndiaye, Éditions Belin, Paris, 2002 (397 pages, 21,20 euros).

Indirectement, un amour déçu a engendré la firme industrielle américaine la plus ancienne encore en activité, une des très grandes entreprises de la chimie mondiale : la société bicentenaire Du Pont de Nemours. Économiste, collaborateur de Turgot, le Français Pierre-Samuel Du Pont de Nemours (1739-1817) était un familier du couple Lavoisier et, en 1781, il devint l'amant de Madame. Lorsque celle-ci se détacha finalement de lui, le dépit qu'il en conçut et les difficultés matérielles qu'il rencontra en France l'incitèrent à émigrer aux États-Unis, avec sa famille, en 1799. C'est là que son fils Élèuthère Irénée (1771-1834), formé à la chimie des poudres par Lavoisier lui-même, crée en 1802, près de Wilmington (Delaware), une poudrerie qui fournit l'armée américaine, les chasseurs des frontières de l'Ouest, les entrepreneurs de mines et de travaux publics (ces derniers ne disposeront de dynamite que plusieurs dizaines d'années plus tard). C'est le début de la Société *Du Pont de Nemours*.

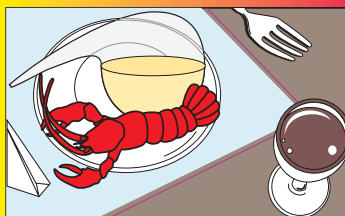
Entre les deux guerres, la société se développe considérablement, notamment grâce au Nylon. Inventé dans les laboratoires de recherche de la société, à la fin des années 1930, ce polymère lui rapportera des milliards de dollars. Les très emblématiques « bas nylon » sont commercialisés à partir de 1939, et 64 millions de paires de bas seront vendues en

FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

vous invitent
à écouter la chronique
de Marie-Odile Monchicourt :

Info Sciences

Tous les jours
sur **France Info**
à 15 heures 41,
17 heures 10,
20 heures 12,
22 heures 12,
et 23 heures 42



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 26 novembre 2002.



1940! Lors de la guerre, la production de Nylon est entièrement destinée à la fabrication de toiles de parachutes, et les autorités civiles vont jusqu'à demander aux femmes américaines de se séparer de leurs bas nylons pour l'effort de guerre. La vente de bas en Nylon reprend en 1946, dans une atmosphère frisant parfois l'émeute. On lut même dans le *Chicago Sun* : «La paix est enfin là : les nylons sont en vente». Un journal demanda à 60 jeunes Américaines ce dont elles avaient manqué le plus pendant la guerre : 20 répondirent «des hommes», 40 «des nylons». Et un habitant de Los Angeles avait écrit aux dirigeants de *Du Pont* pour les mettre en garde : «La pénurie de nylon pourrait jeter les femmes dans les bras des communistes (sic).»

Lors de la Seconde Guerre mondiale, la Société *Du Pont* participe à une autre grande aventure : le projet *Manhattan* de construction de la bombe atomique. Un contrat signé le 21 décembre 1942 avec l'armée confiait à *Du Pont* la construction et la mise en œuvre de l'usine de plutonium, grâce à laquelle les bombes atomiques furent opérationnelles en 1945. Ces études firent de *Du Pont* une composante importante du «complexe militaro-industriel» qui, la guerre terminée, continua à modeler l'économie américaine.

P. Ndiaye étudie cette histoire en s'attachant à l'évolution d'un groupe professionnel : les ingénieurs chimiste de *Du Pont*, dont il examine la formation, les activités, les carrières et les prises de responsabilité au sein du groupe. Une société comme *Du Pont* a toujours eu besoin de spécialistes capables de traduire efficacement les résultats de recherche, du laboratoire à l'usine, et d'optimiser les productions ; autrement dit, la société avait besoin d'ingénieurs chimistes ayant reçu une formation sérieuse en génie chimique. L'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) créa, en 1888, le premier cours de «génie chimique». Un enseignement se développa rapidement, notamment avec l'émergence de la chimie sous hautes pressions dans la synthèse de l'ammoniac, à laquelle *Du Ponts* s'intéresse à partir de 1920.

L'expérience acquise en chimie sous hautes pressions fut cruciale dans l'élaboration du Nylon. Directeur, dès 1928, du Département de recherches en chimie organique de *Du Pont*, Wallace Carothers (1896-1937) dirigea la mise au point d'un caoutchouc synthétique, le Néoprène, en 1932 ; puis il orchestra les travaux de la société sur le Nylon. Ce chimiste de haute volée était sujet à de graves crises de dépressions ; au cours de l'une d'elles, il se suicida.

La lecture du livre de P. Ndiaye est dense, mais l'intérêt ne se relâche pas



devant cette grande fresque qui défile devant nous et nous présente d'une manière aussi originale que bien documentée cette page de l'histoire économique d'une des principales firmes chimiques du monde. Le livre est excellent et j'en recommande donc la lecture... je suis d'autant plus à l'aise pour laisser le chimiste qui ne s'endort jamais tout à fait en moi «râler» un bon coup! Pourquoi l'auteur n'a-t-il pas rassemblé en annexe (une page aurait largement suffi) les équations des quelques réactions chimiques qui conduisent à la synthèse du Nylon? Une équation chimique a rarement aveuglé celui qui la lit ; elle aide même à combler les imprécisions que l'on trouve dans la description «littéraire» de réactions chimiques.

Soyons justes, l'auteur a écrit une équation chimique, celle de la synthèse de l'ammoniac (p. 121), mais (manque de chance?) le signe utilisé pour unir les deux membres de l'équation n'est pas, comme il conviendrait, la double flèche — qui signifie que les composés écrits à gauche sont en équilibre, coexistent, avec ceux de droite —, mais une flèche à deux pointes qui a un sens tout à fait différent : c'est le symbole que les chimistes écrivent entre deux configurations électroniques différentes d'un même composé. Une fois encore, on voit un spécialiste de sciences humaines, bien qu'excellent, faire peu de cas du langage de la chimie, laquelle est pourtant l'objet de son intérêt. Pourquoi une faute aussi récurrente?

Chimistes, mes frères, rejoignez toutefois les rangs de ceux qui liront ce livre : les reproches que vous lui ferez sans doute avec moi ne gâcheront pas le plaisir et l'intérêt de votre lecture.

Georges BRAM,
Université Paris-Sud (Orsay)

Neurologie

L'Homme de vérité

Jean-Pierre Changeux,
Éditions Odile Jacob, 2002
(288 pages, 26 euros).

Près de 20 ans séparent *L'Homme Neuronal* de *L'Homme de vérité*. Pendant ce temps, des résultats spectaculaires ont été obtenus en sciences du cerveau. Les sciences cognitives et de nombreux courants philosophiques contemporains ont suscité l'espoir de pouvoir enfin aborder, autrement que de façon purement spéculative, un vaste répertoire de questions sur la nature humaine. La validité de la connaissance perceptuelle, l'expression de la pensée par le langage, l'origine des capacités numériques, le caractère normatif d'énoncés éthiques ou du discours sur l'art, la construction de savoirs scientifiques, en sont des exemples.

Des cadres conceptuels récents, issus notamment du croisement de cultures diverses, et des outils expérimentaux nouveaux permettraient de naturaliser les caractéristiques individuelles les plus rebelles (jusqu'ici) à l'approche scientifique standard. La conscience, les productions les plus abouties de la culture, la diversité des

langues, les mythes ou les théories scientifiques elles-mêmes, deviennent ainsi objets d'une science de la nature. C'est le projet de Jean-Pierre Changeux dans son dernier livre : «Mettre en relation, si possible de manière causale, l'organisation anatomique et les états d'activité de notre cerveau avec les fonctions cognitives par excellence que sont l'acquisition de la connaissance et l'évaluation de sa vérité.»

Le premier chapitre, *La matière pensante*, résume les découvertes sur l'anatomie, le développement et les fonctions du cerveau faites depuis *L'Homme neuronal*. L'auteur insiste sur le rôle fondamental joué par l'activité spontanée des cellules nerveuses. C'est elle, qui «pousse l'organisme à continuellement explorer et à tester l'environnement physique, social et culturel, à se saisir des réponses et à les confronter à ce qu'il possède en mémoire». Elle contribue à une sorte de «générateur de diversité» de type darwinien. Ce (néo)darwinisme amène l'auteur à épouser une vision globale de l'organisme vivant, véritable homéostat produisant «une représentation de l'environnement appropriée à sa survie».

Les deux chapitres suivants contiennent, à mon avis, les deux hypothèses les plus fortes de l'ouvrage : les jeux cognitifs et l'espace de travail neuronal. Selon la première, l'activité exploratoire constante, caractéristique du jeune enfant, s'accompagne de la production d'hypothèses spontanées ou pré-représentations, déjà présentes dans *L'Homme neuronal*. Ces pré-représentations sont mises à l'épreuve et sélectionnées, par essais et erreurs, par ces activités exploratoires elles-mêmes que J.-P. Changeux, en écho aux «jeux du langage» de Wittgenstein, appelle jeux cognitifs. Selon cette conception, l'acquisition des connaissances résulte de la sélection des pré-représentations. On retrouve ici, au niveau des compétences cognitives, l'adoption d'un modèle sélectif de développement et d'acquisition qui s'oppose au modèle instructif dont J.-P. Changeux n'eut de cesse, depuis près de 30 ans, de souligner les insuffisances. Néanmoins, une question importante se pose dès lors que l'on prend la mesure de la très grande variabilité qui existe dans les connexions entre neurones.

Comme le dit J.-P. Changeux, «la formation des milliards de millions de synapses que comprend le cerveau adulte échappe dans une certaine mesure au contrôle absolu des gènes». L'auteur expose la grande variété des mécanismes synaptiques et biochimiques susceptibles de contribuer à la régulation «épigénétique» du développement des réseaux de neurones, régulation qui, échappant

à un déterminisme génétique strict, est soumise aux contraintes imposées par l'environnement. Ces mécanismes concourent à façonner le cerveau, et «Il paraît donc plausible que, tout au long de la vie de l'organisme, un équilibre s'établisse entre croissance et régression des connexions nerveuses. L'activité évoquée et spontanée circulant dans le réseau réglerait de manière plus directe cet équilibre pendant certaines «fenêtres critiques» du développement».

Dès 1973, J.-P. Changeux, avait établi que le même message afférent peut stabiliser des connexions différentes, mais présentant cependant les mêmes rapports entre entrée et sortie, ce qui rend compte de la constance de nombreuses fonctions cérébrales en dépit de la forte variabilité de l'organisation neuroanatomique du cerveau. Toutefois, le nombre des possibilités de variations, *a priori* infini, serait contraint par l'organisation anatomique du réseau cérébral lui-même, ce qui limite le nombre des combinaisons possibles des pré-représentations, évitant ainsi une «explosion combinatoire». La créativité des processus cognitifs cérébraux trouverait ici son explication biologique.

Deux mécanismes permettraient de sélectionner la pré-représentation adéquate à l'environnement : par la «récompense» ou par la «résonance». Sans entrer dans les détails, il suffit de dire que des mécanismes synaptiques identifiés permettent de stabiliser et stocker des «significations ou connaissances» dans des réseaux de neurones, et concourent par là même à créer un modèle réduit neuronal de la réalité extérieure mis en mémoire dans le cerveau. L'idée selon laquelle le cerveau permet de modéliser le monde extérieur n'est pas nouvelle, mais elle reçoit ici un traitement explicite en termes de mécanismes moléculaires, cellulaires ou d'ensembles de neurones.

Le fameux slogan de *L'Homme neuronal* «apprendre c'est éliminer» est réaffirmé et étendu à la sémantique, comprise comme la construction du sens qui traduit la «conformité entre des faits ou des objets du monde extérieur et des objets de pensée, des états intérieurs produits par notre cerveau». La thèse défendue s'oppose aussi bien à l'empirisme pour lequel l'esprit est une table rase où les objets du monde viennent s'imprimer, qu'au rationalisme innéiste selon lequel les objets du monde extérieur n'ont d'autre réalité que celle que leur confèrent nos idées. Au risque de faire un discutable jeu de mot, nous dirions que la thèse défendue est celle d'une «harmonie post-établie», post- parce qu'issue d'une histoire évolutive.

Jean-Pierre
Changeux
L'Homme
de vérité

