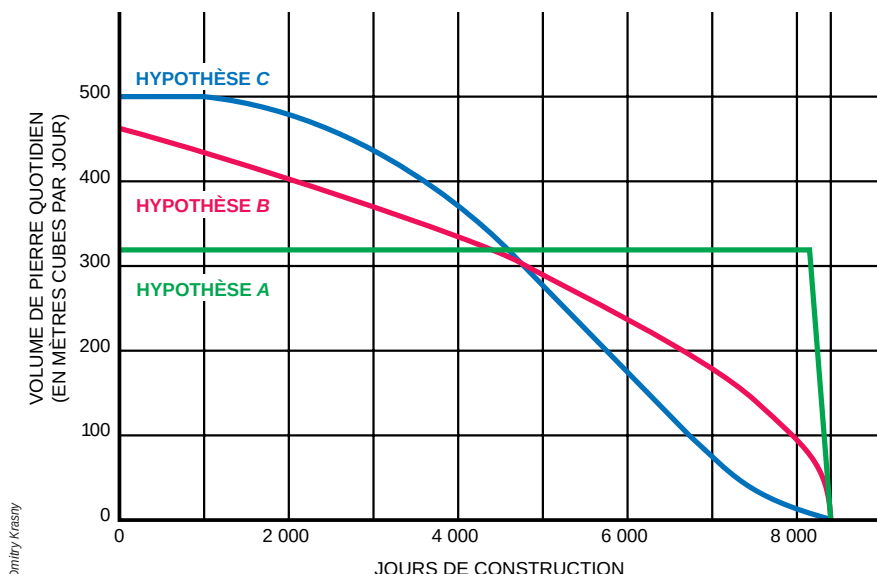




3. Trois façons de répartir la main-d'œuvre pour achever la Grande Pyramide en 8 400 jours.

S. Wier tient compte (par un facteur 1,5) de la relative inefficacité du travail musculaire. Il n'oublie pas non plus la main-d'œuvre requise pour le transport des pierres, de la carrière jusqu'au site de construction, éloigné de quelques centaines de mètres et plus élevé de 19 mètres.

Les pyramides contiennent des passages et des chambres, quelquefois remarquables, mais l'essentiel de la construction reste un empilage de blocs. Certains archéologues pensent que les blocs étaient hissés sur de longues rampes de sable ; d'autres supposent l'utilisation d'un système de leviers.

Des gravures égyptiennes montrent que les blocs de pierre étaient halés, à leur sortie de la carrière, sur des rondins de bois. Pour calculer le nombre d'hommes requis pour le halage, S. Wier a tenu compte de l'énergie perdue par les frottements contre le sol des rondins de bois chargés d'un bloc de pierre. Il a également considéré l'énergie nécessaire à l'extraction des pierres, à leur taille ou à leur installation sur la pyramide. Il propose, pour l'ensemble de ces travaux parallèles, un maximum de 14 hommes par mètre cube de pierre et par jour.

Ces calculs supposent un travail constant par un nombre d'ouvriers invariable, mais l'hypothèse est-elle juste ? Aucune information ne le précise, et plusieurs cas sont possibles.

Le quotient du volume V par le temps de travail (8 400 jours) indique une moyenne de 310 mètres cubes de pierre mis en place chaque jour. Cependant, quand la construction progresse, les ouvriers doivent porter les blocs de plus en plus haut, tandis que l'espace de travail (la surface au niveau atteint) diminue.

La construction devait ralentir lorsque la pyramide s'élevait.

S. Wier a considéré trois cas (voir la figure 3). Dans l'hypothèse A, pendant 8 110 jours, 315 mètres cubes sont posés chaque jour, puis le volume diminue rapidement avec la surface de travail disponible au sommet de la pyramide. Dans l'hypothèse B, de 462 mètres cubes le premier jour, le volume de pierre décroît lentement pendant 8 000 jours, et plus rapidement ensuite. L'hypothèse C, enfin, suppose la mise en place d'un volume de 500 mètres cubes pendant 1 000 jours, puis une diminution brusque jusqu'à presque atteindre zéro au bout de 7 000 jours. Dans les trois cas, la pyramide est achevée au bout de 8 400 jours.

La figure 2 montre la quantité de main-d'œuvre nécessaire à chaque étape de la construction réalisée suivant l'hypothèse B. Au début, la moitié des travailleurs déplacent les blocs, l'autre moitié les extraient ou les installent. À la fin, seulement un quart des ouvriers déplacent les blocs. Beaucoup d'ouvriers travaillent au début, mais leur nombre n'excède pas 12 800, soit environ un pour cent de la population égyptienne estimée de cette époque. Les hypothèses A et B conduisent à des résultats similaires.

Le cas le plus simple est sans doute l'emploi d'une main-d'œuvre constante, sauf vers la fin de la construction, lorsque l'espace de travail est réduit. Dans un tel cas, 10 600 hommes auraient pu construire la Grande Pyramide de Gizeh. Une main-d'œuvre encore inférieure aurait assuré la construction des autres pyramides de Gizeh ou celles de Dashour. En dépit de l'énormité des pyramides, l'Égypte ancienne disposait d'une main-d'œuvre bien suffisante.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSES SÛRES

DIDIER NORDON

Des cailloux dans les choses sûres



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 65 F

Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

Histoire des sciences

Michel-Eugène Chevreul, Un savant des couleurs

Sous la direction de Georges Roque, Bernard Bodo et Françoise Viénot. Éditions du Muséum national d'histoire naturelle/EREC, 1997.

Art et science de la couleur. Chevreul et les peintres, de Delacroix à l'abstraction

Georges Roque. Éditions Jacqueline Chambon, 1997.

Le nom de Michel-Eugène Chevreul est plus connu pour des raisons postales et toponymiques que scientifiques : armé de patience et d'un *Minitel*, le chimiste Jean Jacques, un des auteurs du premier volume considéré ici, a montré en 1988 que Chevreul est, après Marcelin Berthelot, le chimiste français du XIX^e siècle qui a donné son nom au plus grand nombre de voies publiques. Quel était ce personnage auquel viennent d'être consacrés deux ouvrages ? Il est né à Angers en 1786, et mort à l'âge de 103 ans, à Paris. Son activité scientifique fut considérable : il fut l'auteur d'environ 800 notes, mémoires ou livres, et, en 1885, âgé de 99 ans, il publiait encore une note dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences de Paris ! Son activité protéiforme a concerné non seulement la chimie, la science des couleurs, mais aussi l'agriculture, l'alimentation, la teinture, l'histoire de la chimie, la théorie de la connaissance, la baguette divinatoire et les tables tournantes (il était très critique)...

Son centenaire, en 1886, est un événement national : 52 discours sont prononcés, une statue est inaugurée, une médaille est frappée, une réception à l'Hôtel de ville de Paris est suivie d'un banquet de 1 000 couverts et d'une retraite aux flambeaux sur les grands boulevards, un entretien que Chevreul accorde à Nadar, illustré de photographies expressives, est le premier reportage photographique paru dans la presse française (il est

publié par le *Journal Illustré*). Tous les journaux relatent les manifestations du centenaire.

Avant tout, Chevreul a été l'un des grands chimistes de son temps. C'est l'incontesté créateur de la chimie des corps gras, qu'il a commencé à étudier dès 1812 et à laquelle il consacra en 1823 ses *Recherches sur les corps gras d'origine animale*. Ce traité, avec les *Considérations générale sur l'analyse organique* (1824), fait de Chevreul un des pionniers de la chimie organique, discipline alors naissante. Ainsi, en 1825, Chevreul dépose avec Louis-Joseph Gay-Lussac un brevet sur la préparation des bougies stéariques, qui allaient remplacer avantageusement les chandelles fuligineuses ; ce travail aura une importance pratique considérable quand l'industriel Adolphe de Milly aura l'idée de perfectionner les mèches de coton en les imprégnant d'acide borique.

C'est aussi le début de sa grande carrière : en 1824, il est nommé directeur des Ateliers de teinture de la Manufacture des Gobelins, poste qu'il occupera jusque en 1883. Élu à l'Académie des sciences en 1826, il est nommé professeur de chimie appliquée aux corps organiques au Muséum national d'histoire naturelle en 1829 ; il y enseignera durant 60 ans.

La nomination aux Gobelins marquera profondément l'activité de Chevreul. À ses débuts, il s'était initié, auprès de son maître Nicolas Vauquelin, à la chi-

mie des colorants végétaux alors utilisés en teinture, tels l'indigo, la gaude et la garance ; dès sa prise de fonctions aux Gobelins, il est intéressé par les phénomènes de perception des couleurs et par les effets produits en nous par leur juxtaposition. Il comprend ainsi que les plaintes concernant la stabilité de certaines couleurs, notamment les bleus, les violets clairs et les gris, sont justifiées : elles correspondent à une instabilité des pigments colorés ; en revanche, pour d'autres couleurs, tels les noirs utilisés pour les ombres des draperies bleues ou violettes, la stabilité des couleurs utilisées n'est pas en cause. En 1828, il présente ces résultats à l'Académie des sciences dans un mémoire intitulé *Sur l'influence que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre quand on les voit simultanément* ; puis, en 1839, il publie un livre au titre interminable – un procédé dont il usera largement – et qui reste connu par son début : *De la loi du contraste simultané des couleurs*... Il y étudie systématiquement des phénomènes voisins du suivant : quand on juxtapose deux objets colorés, chacun d'eux paraît, non pas de la couleur qui lui est propre, celle qu'il aurait si on le regardait isolément, mais d'une autre couleur. Cette couleur nouvelle résulte d'une modification de la couleur propre de l'objet par la couleur complémentaire de celle qui lui est contiguë.

Chevreul est revenu souvent sur la définition et les propriétés des couleurs complémentaires ; en 1868, il écrivait : « Définissons maintenant la couleur complémentaire d'une autre couleur, celle qui neutralise en même temps qu'elle est neutralisée, soit que, les couleurs étant des rayons solaires, elles reforment de la lumière blanche, c'est-à-dire incolore, soit que les couleurs étant matérielles, elles produisent du gris ». C'est en pensant aux couleurs matérielles (les couleurs des peintres) que Chevreul indique que sont respectivement complémentaires le rouge et le vert, l'orangé et le bleu, le jaune tirant sur le vert et le violet, l'indigo et le jaune orangé.

Sic transit gloria mundi : le bicentenaire de la naissance de Chevreul est passé aussi inaperçu, en 1986, que le centenaire avait été fastueux. Puis seulement deux colloques ont marqué le centenaire de sa mort, en 1989 : celui qui s'est tenu à Angers a concerné la chimie des corps gras ; le second, à Paris, a été une rencontre interdisciplinaire autour de son



Michel-Eugène Chevreul, photographié par Nadar en 1883.

œuvre et, tout particulièrement, de ses travaux sur la vision des couleurs et de leurs répercussions sur l'histoire de l'art. Huit ans plus tard, paraissent les actes de ce colloque, en même temps qu'un livre important sur Chevreul et les peintres, par Georges Roque, un des responsables de l'organisation du colloque parisien.

Les actes montrent que ce colloque fut interdisciplinaire, comme le voulaient les organisateurs. Les communications autour du premier thème, «Chevreul, l'homme de laboratoire et l'homme de la méthode», donnent une excellente vision du chimiste, de son activité et de sa place dans la communauté scientifique de l'époque. Les deux autres thèmes concernent plus directement les travaux consacrés à la couleur. Mentionnons les articles spécialement intéressants sur la théorie de la vision, et les prolongements informatiques du travail de Chevreul, celui très surprenant (c'est un compliment) sur l'art des jardins et celui de G. Roque sur Chevreul et les peintres. Cet article servit de base à son livre, que nous évoquerons après avoir souligné la qualité des illustrations du premier volume, parmi lesquelles on trouve certaines des photographies de Nadar et de belles reproductions de cercles chromatiques de Chevreul.

L'ouvrage de G. Roque est un développement considérable de sa contribution au colloque parisien. La richesse de la documentation et de l'appareil critique font penser à l'adaptation réussie d'un travail de thèse. L'ouvrage est à la fois un livre d'histoire de l'art et un ouvrage d'histoire des sciences. Dans la première partie, en plus d'indications biographiques sur la carrière de chimiste de Chevreul, l'auteur présente la méthode qui servit à l'établissement de la loi du contraste simultané des couleurs.

La seconde partie du livre montre comment les peintres ont accueilli la loi du contraste simultané. Avant d'y venir, mentionnons l'influence pratique des conceptions de Chevreul sur des artisans, tels les peintres d'enseignes ou de dioramas, les fabricants de papiers peints et les spécialistes de l'art des jardins, pour qui la manipulation des couleurs est un outil professionnel. Chevreul écrivit que les peintres ne l'avaient pas attendu pour reproduire correctement les couleurs, mais il était convaincu que la prise en compte du contraste simultané pouvait leur éviter de longs tâtonnements. Si l'influence pratique des théories de Chevreul sur la peinture de Delacroix reste discutée, on sait que le peintre s'intéressait à ces théories, qu'il avait acquis, vers 1850, un carnet de notes prises au cours de Chevreul et qu'il avait manifesté l'intention, qui ne s'est pas réalisée, de



Collection Manufacture des Gobelins

Chevreul s'intéressa à la stabilité des couleurs quand il fut nommé à la Manufacture des Gobelins

le rencontrer. Les rapports entre la peinture des impressionnistes et la loi du contraste simultané restent très controversés ; en revanche, les néo-impressionnistes, tels Georges Seurat et Paul Signac, se réfèrent très explicitement à Chevreul, et Robert Delaunay revendique pour sa peinture, à partir de 1912, le terme de «simultanée».

Le livre est bien écrit et bien illustré : c'est un ouvrage de fond auquel on aura plaisir à revenir. L'origine de l'auteur, philosophe et historien de l'art, se manifeste par de rares coquetteries de langage qu'on lui pardonne volontiers. Était-il utile, par exemple, de qualifier de paradigme le contraste simultané de couleurs ? Certains ont souligné que Thomas Kuhn lui-même, sur la fin de sa vie, avait abandonné l'usage de ce terme galvaudé. D'autre part, G. Roque a tort de reprendre sans nuance une idée fausse sur l'histoire de la chimie : la chimie du XIX^e siècle se serait limitée à une pratique expérimentale hostile à toute spéculation intellectuelle. Au contraire, les faits montrent que l'intense activité pratique s'est toujours accompagnée d'efforts de formalisation théorique ; la plupart des théories, après avoir été opérationnelles, ont été normalement «réfutées», alors que d'autres ont mieux résisté au temps.

Je recommande vivement la lecture des deux ouvrages, en souhaitant que leur parution marque la redécouverte de la figure attachante de Chevreul : est-il nécessaire d'oublier l'homme, son bicentenaire passé ?

Georges BRAM

Neurobiologie

Une introduction aux neurosciences cognitives

J. Delacour. Collection «Neurosciences et Cognition». Éditions De Boeck Université, 1998.

Le livre de J. Delacour a un double intérêt. D'abord, il inaugure une collection consacrée à un thème scientifique d'avenir : «Neurosciences et Cognition». D'autre part, il se présente justement comme une présentation de ce thème très à la mode et souvent mal compris. Pour bien mesurer l'intérêt des neurosciences cognitives, on doit savoir qu'elles sont issues d'une réaction à un grand courant qui a dominé les neurosciences et que l'on peut nommer, au sens large, le courant behavioriste. Pour ce courant, seule était objective la connaissance des comportements en relation avec les stimulus de l'environnement ; le savant sérieux ne devait pas s'intéresser à ce qui se passait entre les stimulus et les réponses comportementales, dans la «boîte noire», c'est-à-dire la boîte crânienne : les mécanismes intermédiaires, ceux qui sous-tendent ce qu'on nomme communément la pensée, ne pouvaient être objectivables et sortaient donc du propos de la science.

Ce que J. Delacour nomme la «révo-

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 30 novembre 1998.

FRANCE

info

lution cognitive» a changé cet état de choses. La révolution cognitive fait suite à la révolution informatique. Les développements de l'informatique, en effet, ont permis d'imaginer des simulations de processus mentaux qui, sans renoncer à l'objectivité du behaviorisme, ont conduit à la conception d'états intermédiaires entre les stimulus et les réponses, notamment, ce qu'on appelle les représentations mentales, dont J. Delacour donne une longue description. Il serait faux de croire que cette révolution cognitive s'appuie seulement sur des systèmes complexes créés par l'homme. Comme le souligne l'auteur, et c'est peut-être le message le plus important de l'ouvrage, la révolution cognitive ouvrirait nécessairement sur la cognition animale, la conception selon laquelle l'animal évolué est également capable de représentations. Dépassant le behaviorisme, la révolution cognitive permettait donc également de réfuter définitivement les thèses de René Descartes et de ses successeurs sur l'animal-automate ! Et, comme beaucoup d'autres thèses biologiques, elle plaçait la théorie de l'évolution au centre de son discours : comme les (autres) fonctions physiologiques, la cognition humaine était le fruit de l'évolution des ancêtres de l'homme ; c'est l'évolution qui «détient les clés de la compréhension de la structure et de la capacité fonctionnelle du système nerveux» (p. 182).

Le corps de l'ouvrage, ce sont, bien sûr, les études concernant l'apprentissage et la mémoire, dont les neurosciences modernes commencent à comprendre certains des processus. Philosophiquement, l'auteur se réclame d'un «matérialisme-identité» qui traduit le parallélisme de fait entre les fonctions biologiques du cerveau et les fonctions mentales. Plus précisément (p. 176) : «À tout état mental correspond un état du système nerveux, mais l'inverse n'est pas vrai – il existe des états du système nerveux qui n'ont pas de contrepartie psychique spécifique.» Cette conception se rattache au grand courant des monismes matérialistes, mais en se démarquant vigoureusement des monismes simplistes et réductionnistes (p. 176) : «À la différence du matérialisme réductionniste, le matérialisme-identité admet, du moins provisoirement, la validité des notions de la psychologie «mentaliste», par exemple les notions d'acte volontaire, de conscience.»

Autrement dit, ce monisme est bien adapté aux connaissances d'aujourd'hui et, notamment, à l'autonomie relative des neurosciences cognitives par rap-

port aux structures moléculaires du vivant. Il permet même une utilisation de concepts issus d'autres disciplines comme la phénoménologie (p. 189) : «La phénoménologie, plus qu'un guide, pourrait être un auxiliaire précieux des neurosciences cognitives, en leur évitant de méconnaître la réalité subjective de la connaissance.» Et ces perspectives, qui offrent à l'étude des représentations une large autonomie, devraient permettre d'intégrer également dans le champ des neurosciences l'étude des structures imaginaires de la pensée. Elles offriraient ainsi une approche nouvelle aux études sur l'art, notamment par l'utilisation, que propose l'auteur en conclusion, du concept de «monde» tel qu'il est perçu par le sujet et qui pourrait donner des normes communes à la science cognitive comme au vécu artistique.

Les neurosciences cognitives sont donc bien, on le voit, à l'origine d'un renouvellement important de la pensée épistémologique. Outre son intérêt didactique pour tous, le présent ouvrage sera d'une grande utilité pour en convaincre ceux qui en douteraient encore.

Georges CHAPOUTHIER

Environnement

L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau

Édité par C. Riou, R. Bonhomme,
P. Chassin, A. Neveu et F. Papy.
INRA Éditions. 1997.

Nous le savons aujourd'hui, le manque d'eau maintiendra les productions agricoles à des niveaux insuffisants dans un nombre croissant de pays, au cours des prochaines années. Globalement, les dernières prévisions font état, pour 2025, de besoins en eau d'irrigation plus de trois fois supérieurs à ce qu'ils étaient en 1995. En France, où la consommation en eau agricole a augmenté de 45 pour cent au cours des dix dernières années, les périodes de sécheresse sont de plus en plus vivement ressenties. Nous le savons aussi, le remède à la pénurie annoncée passe par une adaptation toujours plus précise des besoins à la ressource, par une nouvelle gestion agronomique de l'eau.

Faire découvrir les clés de cette nouvelle gestion, telle est l'ambition de cet