

Les deux marchés : Walras et Keynes

CHRISTIAN WALTER

Les progrès de l'informatique et la volonté de gestion à court terme des titres incitent investisseurs et gestionnaires au mimétisme.

Dans la conception des marchés de l'économiste Léon Walras, les individus tendent à optimiser indépendamment un objectif de satisfaction spécifique, sans se préoccuper de l'attitude du voisin. L'individu observe la nature (extérieure au marché) pour acheter ou vendre. La nature est l'entreprise, l'économie réelle. Dans un tel système, pas de place pour l'imitation : l'investisseur walrasien est un solitaire au comportement «rationnel». Un personnage mythique, le héraut (ou commissaire-priseur) assure l'équilibre entre les offres et les demandes de titres.

Ainsi, dans cette optique, les investisseurs privés achetaient autrefois des actions ou des obligations pour les conserver : c'était le placement de «père de famille». Ces investisseurs s'intéressaient au rendement à long terme de leurs titres : les coupons obligataires ou les dividendes des actions. Les variations des cours boursiers, selon cette perspective, ne résultent que des variations des dividendes futurs escomptés, issus des aléas naturels, qui affectent la vie réelle des entreprises ou de l'économie. Les détenteurs de titres ne réagissent qu'en fonction des

aléas qui modifient la valeur des entreprises... Tout va donc bien sous le meilleur des mondes financiers possibles.

Voire... Les intervenants sont-ils véritablement indépendants? Ne cèdent-ils pas à la pression psychologique du marché, selon laquelle des comportements de foule viennent perturber la «juste» évaluation des titres? Peuvent-ils rester longtemps acheteurs quand l'ensemble du marché baisse? L'histoire boursière montre combien il est difficile d'avoir raison, seul contre le marché.

La gestion moderne de l'épargne incite les gestionnaires de titres à des réactions mimétiques fondées sur les fluctuations du marché. Les possibilités de traitement informatique permettent aujourd'hui l'évaluation quotidienne des titres. Des centaines de milliers de porteurs de parts se préoccupent-ils au jour le jour de leur investissement : aussi les investisseurs s'intéressent moins au rendement à long terme des titres qu'à la performance à court terme du capital.

Les détenteurs d'épargne sont très sensibles aux performances périodiques des Sicav, n'hésitant pas à vendre une Sicav qu'ils estiment insuffisamment per-

formante pour en acheter une autre, à la performance meilleure. Ce faisant, des quantités considérables d'épargne se déplacent rapidement en fonction des résultats des classements périodiques. Ces facteurs obligent les gérants de portefeuille à rechercher sans cesse la meilleure performance pour essayer de stabiliser leurs actifs gérés. D'où un abandon partiel d'une gestion à long terme des actions : la recherche de la performance relative, ou comparative, a acquis plus d'importance que la recherche de la rentabilité à long terme.

Imaginons un gérant de portefeuille qui anticipe une hausse du marché des actions. S'il est certain de son système de prévision, il va acheter des titres sans se soucier de ce que font les autres gérants. Mais il ne peut être absolument certain de ses prévisions : il subsiste toujours une incertitude. Si le marché baisse, que va faire le gérant?

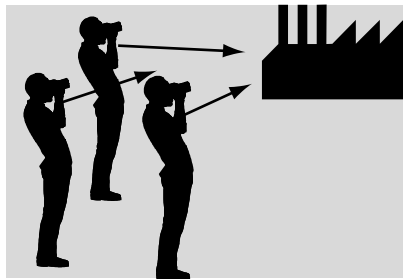
RECHERCHE DE CONFIANCE ET MIMÉTISME

Sous l'influence des classements des performances des fonds gérés, le gestionnaire aura tendance à imiter les comportements d'autres gérants et perdra confiance dans son propre système de prévision. Plus le marché persiste dans un mouvement contraire à l'anticipation du gérant, plus l'anticipation de celui-ci sera sujette à interrogation, et plus il aura tendance à adopter une attitude mimétique par rapport à ses confrères. Mieux vaut se tromper avec tous que d'avoir raison seul contre tous, mais trop tard : après la date du fatidique classement des performances des Sicav. La psychologie du marché acquiert alors autant d'importance que la prévision des dividendes futurs.

L'investisseur professionnel a l'obligation impérieuse d'anticiper les changements prochains dans l'ambiance et l'information ; il recherche la maximisation de la performance comparative. D'où un comportement spéculatif : la spéculation keynésienne consiste à «prévoir la psychologie du marché» dans le but de réaliser une plus-value à court terme, et non d'obtenir un rendement à long terme. L'attitude spéculative revient donc à observer, non la nature réelle du monde extérieur au marché (attitude de l'investisseur), mais le marché lui-même. Les gérants recherchent les paramètres qui agissent sur le comportement de leurs confrères... Cette attitude entraîne l'émergence de bulles spéculatives.

Finalement, avant d'acheter une action, faut-il estimer son dividende futur, ou deviner ce que son voisin pense de ce même dividende?

Le marché d'investisseurs walrasiens



La seule information pertinente pour l'achat ou la vente de titres est exogène : elle concerne la «nature», l'économie réelle.

Le marché de spéculateurs keynésiens



L'information pertinente est endogène : elle porte sur le comportement des autres opérateurs et non plus sur la «nature».



Le coût du patrimoine

JEAN-PAUL DEMOULE

Les responsables politiques imposeront-ils aux aménageurs le paiement des fouilles lorsqu'ils détruisent des vestiges archéologiques ?

Le 17 janvier 1997, un promoteur immobilier entreprenait de raser, sous la protection de clôtures et de vigiles, et avec l'appui d'une lettre du Premier ministre, une partie de la vieille ville médiévale et gauloise de Rodez. Immédiatement, les services du ministère de la Culture chargés de l'archéologie se mettaient en grève, occupant plusieurs locaux administratifs. Des manifestations étaient organisées ; l'une d'elles, le 29 janvier, rassemblait à Paris plus d'un millier d'archéologues professionnels, tandis qu'une conférence de presse était tenue le 4 février par des personnalités du Collège de France, du CNRS et des universités.

Finalement le ministre de la Culture interrompait les travaux de Rodez et les fouilles reprenaient. Puis il annonçait la tenue d'un grand débat national qui rassemblera les scientifiques et les aménageurs sur l'archéologie. Ce débat devrait déboucher sur une loi avant la fin de cette année.

L'affaire de Rodez révélait au public une situation juridique inextricable : la loi interdit de détruire le patrimoine archéologique. Mais elle ne précise pas qui doit payer les fouilles quand des nécessités économiques imposent la destruction d'un site. Lorsqu'il s'agit de grands travaux publics au budget élevé (autoroutes, TGV), on prévoit les opérations de repérage et de fouille des sites éventuels, opérations dont le budget dépasse rarement un pour cent du coût total des travaux et dont le prix est répercuté à l'utilisateur. Ces repérages et ces fouilles sont exécutés par les archéologues d'une agence liée au ministère de la Culture, l'Association pour les fouilles archéologiques nationales, qui emploie environ 2 000 personnes, à temps plein ou partiel, et gère un budget de 400 millions de francs.

Lorsqu'il s'agit de promoteurs privés, la procédure peut s'enrayer. Cer-

tains peuvent être tentés de passer outre, même si le coût des fouilles dépasse rarement cinq pour cent de leur budget total. Certes, plusieurs textes de loi interdisent formellement la destruction de sites archéologiques, dont la Convention européenne de Malte, ratifiée par la France, qui oblige les États membres à protéger leur patrimoine archéologique, mais ces textes restent muets quant aux moyens à mettre en œuvre pour assurer cette protection.

PRESSIONS POLITIQUES LOCALES

La capacité des services de l'État à faire respecter la loi peut dépendre d'un rapport de force politique local. D'autant qu'avec la décentralisation, les services archéologiques sont placés sous l'étroite tutelle des préfets, souvent plus sensibles à l'influence d'agents économiques, parfois liés au pouvoir politique local, qu'aux réclamations d'un service archéologique qui ne compte que 250 personnes pour toute la France ! Ainsi, à Toulouse ou à Épinal, les services archéologiques ont-ils été mis discrètement à l'écart de zones archéologiquement sensibles.

Le cas de Rodez était plus grave, car il pouvait créer un précédent : par l'intermédiaire d'un adjoint au maire, le promoteur avait obtenu une lettre, mal informée, du Premier ministre lui-même, l'autorisant à détruire « sans crainte d'être poursuivi ». De fait, dans les jours qui suivirent, élus locaux et préfets commencèrent à s'autoriser d'une « jurisprudence Rodez » pour tenter de passer en force dans plusieurs dossiers sensibles – à Carcassonne, dans l'Aisne, dans les Ardennes, etc. –, d'où la réaction particulièrement virulente du milieu archéologique et la rédaction peu après d'instructions très fermes du ministre de la Culture destinées aux préfets.

Le « débat national », préalable au projet de loi, doit donc s'ouvrir, sous formes d'assises régionales, puis nationales. Que peut-on en attendre de nouveau ? En 20 ans, près d'une vingtaine de rapports ont été commandés par les Premiers ministres ou les ministres de la Culture successifs. Les termes du débat et les solutions sont donc parfaitement connus. Il paraît raisonnable que les aménageurs prennent en charge le coût des fouilles nécessitées par leurs projets, à charge pour l'État d'instituer un fonds de compensation pour les « petits » aménageurs – particulier construisant sa maison ou cultivateur irriguant ses terres. Un principe analogue où « les pollueurs sont les payeurs » s'est imposé depuis quelques années dans le droit de l'environnement.

Quant à la réalisation des fouilles, il conviendrait de stabiliser l'Association pour les fouilles archéologiques nationales et de la doter d'un statut d'établissement public, même si certaines fouilles peuvent être réalisées par d'autres partenaires (CNRS, universités, services archéologiques des collectivités). La création d'un tel établissement, du type de l'Office national des forêts, est en effet seule capable d'assurer une continuité dans la recherche archéologique. Dans beaucoup d'autres pays, la préservation du patrimoine est du ressort exclusif de l'État. Ni la mode ni le traité de Maastricht ne poussent vers la fonctionnarisation des personnels de l'association ; pourtant ne faudrait-il pas que leur compétence puisse s'exercer dans la durée et qu'ils puissent publier les découvertes ? L'archéologie ne se réduit pas à libérer des terrains pour les aménageurs en mettant des objets en caisses.

La tentation ultralibérale d'imaginer une concurrence entre de multiples bureaux d'études privés a parfois été envisagée : aux États-Unis, où elle a été tentée dans les années 1970, elle s'est pourtant soldée par un gâchis financier et scientifique accablant. La fouille est une opération de recherche qui ne peut relever de critères commerciaux.

C'est donc avant tout une volonté politique que requiert désormais l'archéologie, et cela seulement. Ainsi se concluait déjà le rapport sur l'archéologie remis par Christian Goudineau, professeur au Collège de France, à la demande du Premier ministre de l'époque, il y a... sept ans.

Jean-Paul DEMOULE est professeur d'archéologie à l'Université Paris I.

Les inattendus en neurophysiologie

HENRI KORN

Si le comportement animal est déterminé par la présence de gènes, les capacités d'expression de ces gènes sont le fruit de l'apprentissage.

Le cerveau est associé à «l'intelligence» puisqu'il est le siège de la pensée. Le cerveau humain est le plus développé et le plus riche en neurones ; aussi l'homme a-t-il pu étudier le fonctionnement de son propre organe. Un premier inattendu apparaît aussitôt : c'est en se penchant sur le système nerveux d'animaux moins développés – mollusques, insectes, poissons ou petits mammifères – que nous comprenons en quoi le nôtre est singulier. À condition, cependant, que nous ayons préalablement établi dans quelle mesure notre cerveau partage, avec ces animaux, des mécanismes et des règles de fonctionnement irréductibles et communs.

LA MÉMOIRE

Depuis le siècle dernier, les neurologues savent que les lésions du cortex cérébral s'accompagnent souvent de déficits de la mémoire. Une des premières

expériences modernes a été réalisée par le neurochirurgien canadien Penfield, qui désirait localiser des foyers épileptiques en vue de les exciser à des fins thérapeutiques. Le cortex étant insensible, ce protocole était acceptable. Pour cela, Penfield soumettait les patients, conscients et éveillés, à des stimulations électriques du cortex. Les réactions à ces stimulations prenaient souvent la forme de «flash-back», de souvenirs.

Depuis, deux formes de mémoires sont distinguées. L'une, dite explicite, est consciente : c'est le cas d'une formule mathématique, d'une référence bibliographique. Elle dépend de facteurs cognitifs tels que l'évaluation des faits et leur comparaison avec d'autres épisodes, semblables ou non. C'est la mémoire telle que la définit le langage commun. Elle résulte de l'activité de deux régions cérébrales, le lobe temporal, lui-même relié à l'hippocampe, situé en regard, et qui semble être un intermédiaire obligé

pour la mise en place de la mémoire à long terme. Toute information provenant des autres régions du cortex serait envoyée dans l'hippocampe, y serait traitée et reviendrait dans ces régions pour y être définitivement emmagasinée. Les phénomènes cellulaires qui se déroulent dans l'hippocampe, une sorte de gare de triage, servent de modèle expérimental et de métaphore pour la mémoire à long terme.

La mémoire de second type est implicite, c'est celle qui amène un geste réflexe ou l'utilisation, automatique, de règles de grammaire. Elle ne fait pas intervenir le langage ou la conscience. Elle porte sur des événements simples ou complexes, sans que le sujet se souvienne jamais qu'il les a vécus. De nombreuses régions cérébrales coopèrent lors de ce processus. Cette mémoire implicite est accessible à l'expérimentation directe, laquelle, pour des raisons éthiques évidentes, n'est pas effectuée sur l'homme.

Leurs conditions d'apparition et de mise en jeu rapprochent ces deux formes de mémoire. Elles modifient toutes deux des échanges qui ont lieu aux jonctions entre les neurones, dénommées synapses. Les principes de base du «langage» des neurones, le fonctionnement du système nerveux et les modifications survenant lors de l'apprentissage sont indiqués dans l'encadré de la page 11.

LA COMMUNICATION NEURONALE

Les neurones, les cellules du cerveau sont des entités séparées et, dans les grandes lignes, étonnamment identiques dès qu'apparaissent les formes les plus simples de la vie.

Contrairement à une idée commune, la transmission de l'information par la synapse n'est pas garantie : elle est régie par les lois du hasard. À chaque mécanisme de transmission est associée une probabilité : probabilité d'émission des neuromédiateurs par les neurones qui «s'expriment» lorsqu'ils sont sollicités par l'influx, probabilité de diffusion dans la fente synaptique, probabilité d'interactions entre les neuromédiateurs et leurs protéines de réception situées sur les neurones qui «écoutent», probabilité d'ouverture des canaux ioniques associés à ces récepteurs.

Le «hasard principal» est celui de l'émission des neuromédiateurs. Chaque signal électrique, ou réponse postsynaptique, est composé par un nombre variable d'unités de base ou «quanta» d'amplitude égale. Chaque quantum, ou signal miniature, correspond à l'ouverture d'une des vésicules synaptiques. D'un influx à l'autre, l'amplitude du potentiel synaptique varie,

L'animal «supérieur»?

Supérieur à qui? Aux animaux? Avant Darwin, l'homme est d'une autre essence. Après, il n'est qu'un animal ayant évolué différemment. Aussi Darwin nous a-t-il conjuré de «...ne jamais utiliser les termes supérieur et inférieur». Il a écrit, dans un autre de ses cahiers : «Il est absurde de parler d'un animal plus élevé qu'un autre. Nous considérons ceux dont la structure cérébrale (les facultés intellectuelles) est la plus développée comme plus haute que les autres. Mais une abeille le serait, si les instincts étaient pris comme critère.» L'évolution portait atteinte au concept d'inéluctabilité des progrès vers un but fixé par un Créateur.



Darwin a ainsi opposé à l'argument d'intention, celui de l'adaptation. L'adaptation est un dispositif qui permet à la fois de saisir les occasions génétiques et de diriger le hasard vers des voies compatibles avec la vie dans un milieu donné. Ces deux termes, «occasions génétiques» et «hasard» seront au cœur des études qui seront conduites au ^{xxi}e siècle sur le cerveau.

L'apprentissage et la mémoire sont des propriétés de toute la matière vivante, depuis les invertébrés jusqu'à l'homme. Ils ne sont l'apanage d'aucune espèce particulière : tout organisme vivant apprend.

du fait que 1, 2, 3... n de ces unités ont été libérées simultanément. Ce maximum, n , correspond au nombre de zones d'émissions «actives» établies par chaque neurone sur sa cible. Chacune de ces zones de sécrétion émet donc un quantum selon un mode binaire, avec une probabilité p . Cette loi a été découverte dans mon laboratoire.

La valeur des différentes probabilités est mesurée par l'analyse statistique. Il existe même dans le cerveau des synapses silencieuses ($p = 0$) que mobilisera, si le cas se présente, un protocole d'apprentissage.

Ainsi il existe des lois de fonctionnement du système nerveux régissant la mémorisation et l'apprentissage, car le neurone modifie de plusieurs manières sa force synaptique : il l'accroît en modifiant la probabilité du nombre de vésicules présynaptiques vidées, ou encore le nombre des récepteurs postsynaptiques ouverts après une libération.

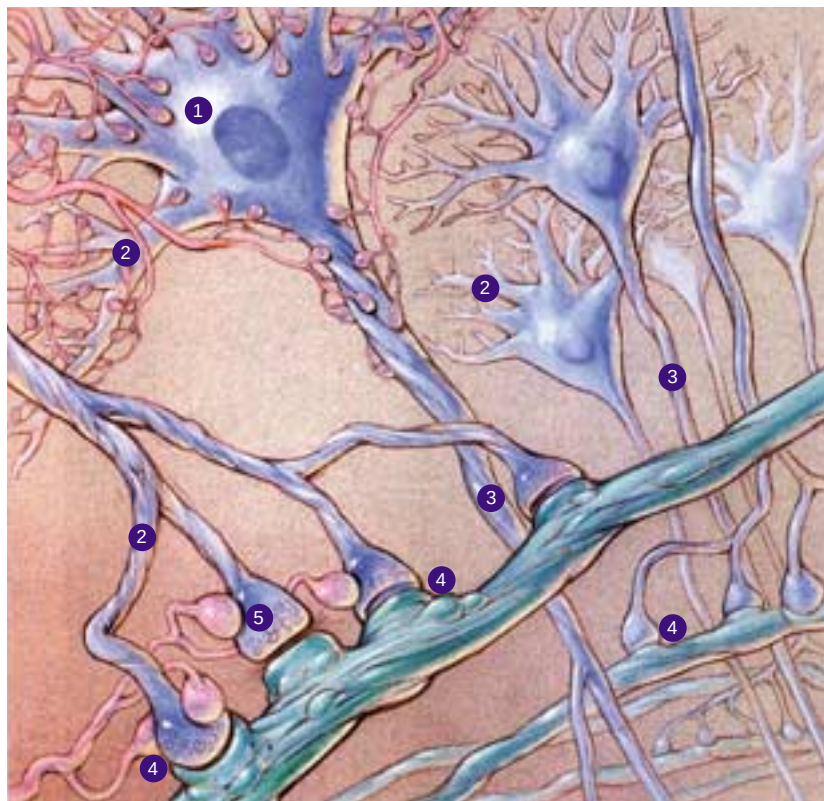
La variabilité de ces lois amène richesse et diversité, dans la mesure où les grands traits évoqués ici diffèrent d'une espèce à l'autre, à l'intérieur d'une structure cérébrale, et d'un neurone à l'autre au sein d'une population donnée. Chaque neurone du cerveau est plus singulier qu'on ne l'avait jamais supposé. Cette individualisation porte de plus sur la nature des récepteurs exprimés en telle ou telle région du neurone ; c'est la structure de ce récepteur qui détermine la forme et la durée des signaux reçus et traités. Les terminaisons de l'axone contiennent plusieurs médiateurs et d'autres substances libérées, selon des modalités diverses et spécifiques. Ces singularités confèrent aux neurones une spécificité de fonction, spécificité qui s'accroît avec le degré de complexité du système nerveux, et qui est maximale chez l'homme.

LE SYSTÈME NERVEUX EST-IL IMMUABLE ?

On a longtemps pensé que le système nerveux était intangible. Dès qu'il est constitué, pensait-on, le cerveau était une structure fixée une fois pour toutes, et qui commençait à mourir dès l'adolescence. Les neurophysiologistes ont montré que cette vue était inexacte.

Les connexions du cerveau sont l'aboutissement d'un long processus qui se déroule lors du développement. Il existe, au cours des stades précoces de la vie, un nombre plus élevé encore de synapses que le chiffre astronomique de 10^{14} du cerveau adulte. Cette phase, dite de redondance, est suivie d'une période de régression, puis de stabilisation des synapses restantes, et cette per-

Les communications des neurones



Le système nerveux est composé de neurones. Chacun de ces neurones est constitué par un corps cellulaire (1) de quelques micromètres qui émet des prolongements plus fins, les dendrites (2), et un axone (3). Ces dendrites reçoivent l'essentiel des messages en provenance des neurones voisins. L'axone suit un long trajet et finit par s'articuler en fin de course, par l'intermédiaire de ses ramifications terminales, à d'autres cellules nerveuses.

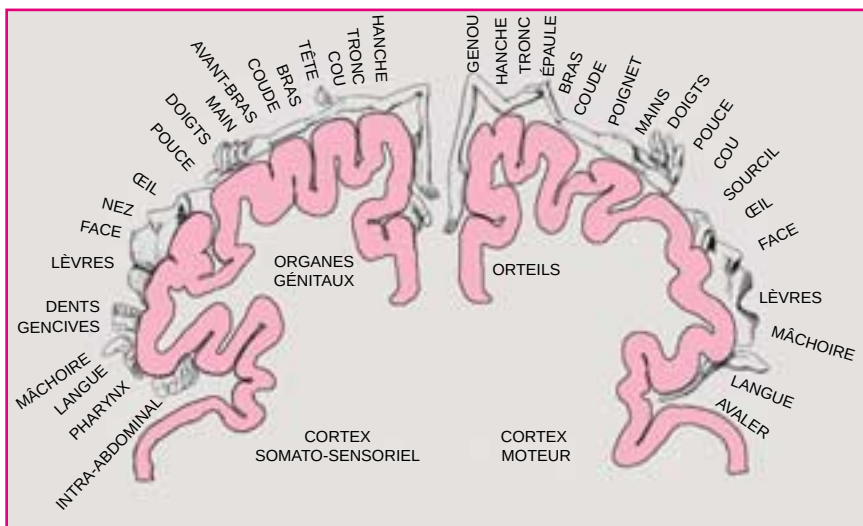
L'élément clef de la communication nerveuse est la synapse (4). La synapse, la zone spécialisée associant les terminaisons axonales du neurone présynaptique (celui qui «parle») avec les dendrites ou le soma de la cellule postsynaptique (celle qui «écoute»). Chaque terminaison de l'axone contient une multitude de petites vésicules (5) où sont stockées des substances chimiques, les neuromédiateurs, et des régions spécialisées où ces vésicules s'accumulent. Excitées, les vésicules déversent leur contenu, les neuromédiateurs, dans la fente sous-synaptique.

Les médiateurs libérés vont se lier avec des protéines spécialisées, les récepteurs canaux postsynaptiques. À la suite de cette liaison, des canaux s'ouvrent un bref instant pendant lequel ils laissent passer des ions à travers la membrane ; ce flux ionique donne naissance à un courant qui restaure le message nerveux interrompu jusque-là par la forte résistance électrique de la synapse.

L'extraordinaire complexité des opérations de transfert dont le cerveau humain est l'objet est illustrée par quelques chiffres : le cerveau contient environ 100 milliards de neurones dont chacun reçoit en moyenne 10 000 synapses, soit 10^{14} à 10^{15} , nombre supérieur à celui des étoiles présentes dans notre Galaxie.

Ces synapses couvrent la totalité du neurone, et leur fonction peut être excitatrice ou inhibitrice, selon la polarité des courants que produit le neuromédiateur qu'elles libèrent. Ces courants, de l'ordre de quelques microampères, peuvent être enregistrés à l'aide de micropipettes de verre remplies d'un liquide conducteur, dont la pointe est assez fine pour qu'ils puissent être insérés à l'intérieur même des neurones. Ces micro-électrodes enregistrent des courants positifs ou négatifs selon que sont activées des synapses excitatrices ou inhibitrices. Ces courants convergent vers une région du neurone où ils s'additionnent.

La région privilégiée où s'effectue cette intégration émet à son tour (ou non) un influx. Cet influx dont l'amplitude est de 100 mV et la durée une milliseconde, se propage le long de l'axone ; après en avoir atteint les terminaisons, il déclenche l'émission de neuromédiateurs, et ainsi de suite, d'un neurone à l'autre.



Homonculus cérébral où se projettent les parties du corps. Les neurophysiologistes ont observé que la taille des aires du cortex correspondant à un organe dépend de l'apprentissage de celui-ci : très exercé, un organe est représenté par une aire plus grande.

sistance résulte d'une interaction entre les axones et leurs cibles : l'activité électrique des neurones déclenche l'émission d'un signal en retour, qui renforce les jonctions les plus actives tandis que les autres disparaissent.

Mais tout ne reste pas en l'état : une analyse plus fine en microscopie électronique a établi que les dendrites des neurones sont porteuses de petites protubérances, appelées épines dendritiques. La taille de ces épines est modifiée par l'apprentissage, et certaines espèces peuvent, de plus, former des jonctions nouvelles lors de celui-ci.

LE POUVOIR DES GÈNES

Il est néanmoins indubitable que les gènes ont le pouvoir de changer la connectivité et donc de modifier certains comportements. Plusieurs preuves confirment le pouvoir déterminant des gènes.

L'un est l'impact des mutations géniques, par exemple sur le cervelet de la souris : les mutations de certains gènes provoque des lésions caractéristiques de certains neurones et synapses, et toutes s'accompagnent de troubles marqués et définitifs de la locomotion.

Examinons un autre exemple : la programmation génétique des rythmes biologiques présents chez tous les animaux et chez l'homme. Ainsi le produit du gène dénommé *period* (ou *per*) contrôle les rythmes physiologiques de la mouche (dont le cycle est de 24 heures) et la fréquence du battement des ailes du mâle, lorsque celui-ci fait sa cour. Ces battements se répètent toutes les 55 secondes et durent 10 secondes. Chez les mutants ayant un cycle circadien plus court ou plus

long, l'intervalle des battements est réduit ou accru, et les vibrations sont totalement arythmiques chez la mouche qui a perdu tout repère circadien.

Cependant, l'identification des gènes produisant des molécules «spécialisées» dans la rétention et la réactivation des traces mnémoniques est rendue difficile par le nombre élevé de gènes impliqués dans ces processus ; de plus, des mécanismes de compensation sont mis en place lorsque des mutations ponctuelles sont produites expérimentalement. Enfin ces gènes codent des substances ayant des rôles multiples dans l'organisme et il est très difficile de déterminer lesquelles agissent spécifiquement dans la mise en place de la mémoire à long terme.

D'autre part, des facteurs liés à l'activité et à l'expérience du sujet sont également déterminants pour la construction et pour l'activité du cerveau.

L'APPRENTISSAGE

Les circuits et les synapses qui composent le système nerveux sont constamment modifiés par l'apprentissage.

On trouve déjà chez un mollusque marin, l'Aplysie, toutes les formes d'apprentissage implicite décrites chez les mammifères par Pavlov. Ce mollusque a un système nerveux composé d'environ 20 000 neurones, et ceux-ci contrôlent des réflexes de défense tels que le retrait des branchies, provoqué par un choc tactile appliqué sur la queue. Ce réflexe diminue d'amplitude après des chocs répétés (habituation), ou au contraire devient plus marqué si les stimulations redeviennent intenses (sensitisation). Dès qu'il est établi, ce conditionnement peut persister plusieurs semaines.

Ces modifications du comportement sont déterminées par le nombre des neurones agissants et par les variations de l'efficacité des synapses entre les neurones sensoriels et les motoneurones qui contrôlent les muscles.

Le modèle expérimental de «mémoire» cellulaire le plus étudié aujourd'hui est la potentialisation à long terme. Pour l'étudier, on découpe des tranches d'une structure corticale, l'hippocampe de mammifères que nous avons mentionné plus haut. Sur ces tranches maintenues en survie, on étudie les modifications de l'efficacité des synapses sous l'effet des mêmes «conditions» que celles qui sont efficaces chez l'animal entier.

La potentialisation à long terme consiste en un accroissement prolongé de l'efficacité des synapses à la suite de stimulations électriques par des trains d'impulsions à hautes fréquences (100-200 hertz), appelées tétaniques. Les synapses émises par une voie soumise à un tel protocole deviennent plus efficaces pendant des heures, parfois des jours, voire pendant plusieurs semaines, et cette facilitation peut toucher des jonctions peu actives, voire silencieuses.

Les propriétés de la potentialisation à long terme sont celles que l'on attend d'un processus de mémorisation. Elle est coopérative : la mise en jeu de deux voies, l'une faible et l'autre forte, a pour conséquence de renforcer la première. Elle est associative : deux voies distinctes se renforcent l'une l'autre lors de telles manipulations expérimentales. Enfin, elle est spécifique des voies activées et ne touche pas les jonctions voisines de celles qui ont été effectivement tétanisées.

La potentialisation à long terme n'est pas l'apanage des synapses excitatrices. Cette forme de mémoire est également présente dans les jonctions inhibitrices, comme l'ont montré d'abord dans mon laboratoire les recherches effectuées sur un neurone de poisson, la cellule de Mauthner, qui commande le réflexe de fuite en direction opposée à un signal menaçant, auditif par exemple. Cette plasticité a été retrouvée sur d'autres synapses inhibitrices, tels le cervelet et le cortex des mammifères. Cet exemple illustre comment sont effectuées certaines recherches sur le cerveau : elles sont d'abord effectuées sur des préparations «simples» (ici le poisson), puis la généralité éventuelle des observations initiales est vérifiée sur des espèces plus complexes, tels des mammifères ou des primates.

La potentialisation à long terme a été identifiée dans presque toutes les structures centrales. Sa mise en jeu est due à l'entrée de calcium dans la cellule

cible, mais son maintien est généralement provoqué par une substance rétrograde, qui diffuse en retour, à partir du neurone qui «écoute» vers celui qui parle», et qui provoque l'augmentation de la probabilité de libération des transmetteurs, voire le recrutement des synapses préalablement silencieuses. Ici se dessine d'ailleurs une analogie entre développement et apprentissage.

Les propriétés de la potentialisation à long terme démontrent la validité d'une loi énoncée en 1949 par le psychologue américain Hebb, selon laquelle le pivot de l'apprentissage est synaptique et que cet apprentissage nécessite l'activation conjointe des deux versants de la synapse.

PLASTICITÉ DU CORTEX CÉRÉBRAL

Nous pouvons maintenant évoquer l'aptitude du cortex cérébral, siège des fonctions appelées cognitives chez l'homme, à se modifier en fonction de différentes expériences.

Il existe, au cours du développement, des périodes critiques qui sont déterminantes pour l'apprentissage d'une fonction : celle-ci peut être abolie sans retour possible si elle n'est pas exercée durant cette période. Cette propriété du système nerveux est particulièrement marquée au cours des premiers âges de la vie. Ainsi un chaton dont l'un des yeux a été obturé pendant une semaine choisie durant la période critique qui va de la naissance à l'âge de six mois, perd la vision stéréoscopique. La presque totalité des cellules corticales n'est sensible qu'aux seuls influx transmis par l'œil resté ouvert.

Chez l'adulte, les organes des sens se projettent sur des régions précises du cerveau. Sur ces régions, des cartographies précises du corps ont été identifiées en déplaçant, lors de stimulations appropriées de la peau, une électrode sur la surface du cortex. Toute la surface du corps est représentée, mais elle est déformée et elle semble grotesque. L'importance de la surface périphérique représentée sur le cortex est un reflet de la vie sensorielle, qui varie en fonction de l'espèce : le museau et les moustaches dominent chez le chat, la queue et la face chez le singe, la main et les régions orales chez l'homme. Ces cartes diffèrent d'un individu à l'autre en fonction de son expérience. Ainsi chez le singe, la zone de représentation de la main a tendance à se réduire si les doigts ont été mis au repos, ou si les nerfs périphériques ont été sectionnés. Inversement, à la suite d'un apprentissage durant lequel l'animal a été encouragé

à utiliser les doigts médians, on constate que leur aire de représentation s'est étendue par rapport à celle d'animaux contrôles.

Ces faits montrent combien le système nerveux est plastique, à tous les niveaux et non seulement aux âges précoces de la vie. Cet inattendu est rassurant. Il souligne le caractère dépassé du vieux débat entre l'inné et l'acquis, comme le rappelle François Jacob dans *Le jeu des possibles*. L'adaptation, dit-

il, est le résultat d'un «dialogue permanent entre les gènes et le milieu environnant, entre les facteurs biologiques et culturels».

Les neurosciences pourraient-elles alors nourrir notre savoir sur le plan de l'éducation et de la sélection des talents ? Pas grand-chose de plus que ne dictent déjà les grands principes chers aux humanistes et que les avancées de la génétique ne remettent pas en cause. Et c'est très bien ainsi.

Cerveau et société

Un des arguments en faveur de la hiérarchie sociale provient, implicitement, de la sociobiologie comparée, qui s'appuie par exemple sur l'observation des insectes sociaux. Selon une définition qui témoigne d'une vision anthropomorphique, il existerait dans les sociétés d'insectes sociaux, telle celle des fourmis, des «castes», dont chacune est spécialisée à partir d'une tâche définie : ouvriers, soldats, esclaves capturés dans d'autres colonies, sans oublier la reine.

Or ce qu'il conviendrait mieux de nommer groupes spécialisés n'est pas seulement déterminé par des facteurs génétiques, mais par de nombreux autres éléments : nourriture larvaire, taille (aléatoire) de l'œuf, conditions d'hibernation et posthivernales de sa maturation, présence ou non d'une reine dans l'entourage des larves, ainsi que son âge. Plus important encore : les œufs ayant un long cycle de couveuse peuvent devenir soit reine, soit ouvrière, et la reine peut rester longtemps multipotente, puisqu'elle peut effectuer, durant une longue période, les mêmes tâches qu'un ouvrier.

Dès lors, si chez les êtres simples le comportement est fortement déterminé par les gènes, le programme génétique devient, du fait de sa diversité de plus en plus large, plus «ouvert» chez les organismes plus complexes. Il laisse à ceux-ci capacité de choix et liberté de réponse, apportant des potentialités qu'il pourra développer ou non, selon les hasards de la vie et de l'éducation qu'il aura reçue. C'est ce que disait déjà Lamarck en 1809 dans sa *Philosophie zoologique* : «On peut sans doute apporter en naissant les dispositions particulières pour des penchants que les parents transmettent par l'organisation, mais certes, si l'on n'eût pas exercé fortement et habituellement les facultés que ces dispositions favorisent, l'organe particulier qui en exécute les actes ne se serait pas développé.»

Une seconde question porte sur les «maladies mentales». Un scientisme excessif et des raisons idéologiques pourraient généraliser le sens d'observations importantes, mais encore très fragmentaires sur le rôle de l'hérédité lors de certaines affections psychiatriques. Certes la psychose maniaco-dépressive est d'origine génétique, mais une conclusion semblable concernant toutes les formes d'autisme ou d'affections graves sur le plan social serait prématurée. Il n'est pas possible d'exclure l'intervention de facteurs psychologiques dans leur déclenchement, ou leur maintien.

Une troisième question fort débattue touche à la place de l'homme et des groupes humains dans la société. Certains parlent de «Darwinisme social» sans savoir qu'il s'agit là d'un contresens. En effet, c'est Lamarck qui pensait que les formes simples de la vie progressent selon une hiérarchie allant du simple au complexe pour aboutir finalement à la race humaine. En ajoutant la lutte pour la survie chère à Spencer, qui était philosophe, et non pas biologiste, on obtient ce qui aurait dû être appelé plus justement un Lamarckisme social. Au contraire, Darwin concevait l'évolution comme un arbre à ramifications multiples, qu'il a illustré d'ailleurs en exergue de son *Évolution des espèces* (1859) et non pas comme une échelle. On voit sur cet arbre que les espèces évoluent de manière divergente, en fonction de variations fortuites, et que subsistent celles qui sont le mieux adaptées aux conditions de vie. Ceux qui prétendent trouver appui sur le Darwinisme et plus généralement sur quelque acquis scientifique isolé de son contexte pour justifier les inégalités sociales et parfois même le racisme, trichent sur les arguments qu'ils mettent en avant. C'est le contraire que nous enseigne chacune des avancées de la science.

Henri Korn est Directeur de recherches à l'INSERM et Professeur à l'Institut Pasteur.

Ce texte est une retranscription du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France-Culture le 7 mai 1997.

La cuisson

HERVÉ THIS

Comment déterminer les temps de cuisson pour conserver une viande tendre et juteuse.

Voici un rôti de bœuf : comment le cuisons-nous ? Le problème est ancien ; dans sa *Physiologie du goût*, Jean Anthelme Brillat-Savarin montrait un «professeur» morigénant son cuisinier à propos d'une sole ratée : «Ce malheur vous arriva pour avoir négligé la théorie dont vous ne sentez pas toute l'importance. Vous êtes un peu opiniâtre, et j'ai de la peine à vous faire concevoir que les phénomènes qui se passent dans votre laboratoire ne sont autre chose que l'exécution des lois éternelles de la nature ; et que certaines choses que vous faites sans attention, et seulement parce que vous les avez vues faire à d'autres, n'en dérivent pas moins des plus hautes abstractions de la science.»

Quelles sont ces lois qui président aux diverses méthodes de cuisson ? Si l'on écarte quelques cas exotiques, telle la cuisson à l'acide des poissons à la Tahitienne (les poissons sont mis à mariner dans du jus de citron vert), le cuisinier gagnera à reconnaître que la cuisson est une transformation des aliments par la chaleur. D'où la question : comment transmettre cette chaleur ? Classiquement les cuisinières et cuisiniers chauffent les aliments par l'intermédiaire de gaz, de liquides ou d'ondes. Examinons ici une des trois gammes de procédés : le chauffage par des gaz, c'est-à-dire le fumage, le séchage, le braisage, la cuisson au four ou la cuisson à la vapeur.

Dans le séchage comme dans le fumage, la cuisson est lente, car la température du fluide chaud est peu supérieure à la température ambiante. La cuisson à la vapeur est plus efficace, car l'aliment reçoit à la fois l'énergie cinétique de la vapeur et l'énergie résultant de la condensation de la vapeur sur l'aliment ; toutefois, la température est alors limitée à 100 degrés environ. Au four, en revanche, l'air, éventuellement chargé de vapeur d'eau, atteint des températures élevées : d'où des problèmes de détermination des temps de cuisson que les cuisinières et cuisiniers ont résolu empiriquement, par des formules du type : «douze minutes par livre, plus dix minutes pour le pot». Ces règles ont-elles un fondement ? Remarquons tout d'abord que c'est l'épaisseur maximale d'un aliment qui détermine le temps nécessaire pour

que sa température soit partout supérieure à une température donnée. Aussi une saucisse d'un kilomètre de longueur mettra le même temps à cuire qu'une saucisse de seulement dix centimètres de long, pourvu que les diamètres soient égaux.

D'autre part, un doublement de l'épaisseur doit s'accompagner d'un quadruplement du temps de cuisson, parce que la distance à chauffer est doublée, ainsi que la quantité de matière. Pour un corps sphérique, le temps de cuisson est alors proportionnel à la racine 2/3 de la masse,



DR
Braisière française du début du siècle, en terre. Les rebords du couvercle permettent de retenir les braises.

variation qui se modélise bien par une courbe comportant une partie linéaire après une augmentation rapide : on retrouve approximativement la loi empirique, inapplicable aux aliments trop petits.

Également assuré par un gaz chaud, le braisage à l'ancienne est une opération remarquable, puisque, après la destruction des micro-organismes de surface au cours d'un brunissement à haute température, la viande est enfermée dans une enceinte (classiquement une braisière, aujourd'hui une cocotte) et laissée «cendre dessus et cendre dessous», écrivaient les bons auteurs. Ainsi la température du fluide chauffant, inférieure à 100 °C, évapore l'alcool éthylique de l'eau-de-vie toujours employée dans les braisés, ainsi que divers composés aromatiques de la garniture : la viande cuit dans une atmosphère parfumée, sans perdre son eau, puisque la température est inférieure aux 100 °C fatidiques de l'ébullition.

Ce procédé est aujourd'hui à la mode dans de nombreux restaurants, où il est nommé «cuisson sous vide à basse tem-

pérature» : les aliments sont scellés dans un sachet en plastique d'où l'on a retiré l'air, et pochés à une température inférieure à 100 °C. La cuisson est longue, comme pour les braisés anciens, mais elle permet de préparer les plats à l'avance. Cet avantage était si bien connu des chefs anciens que M. Menon, l'auteur d'une *Science du Maître d'Hôtel Cuisinier* (1750) ne mentionne aucun temps de cuisson dans son traité : il savait que le résultat ne change pas notablement tant que la cuisson est douce. De surcroît, les aliments sont alors d'une remarquable tendreté, car les sucs des viandes ne sont pas évaporés ; or la jutosité contribue à la tendreté.

Jadis difficile (on craignait les «coups de feu»), le braisage donne aujourd'hui de remarquables résultats pourvu qu'on utilise un four préalablement calibré et qu'on connaisse quelques températures clefs : à 40 °C, la viande s'opacifie, parce que les protéines de la viande commencent à se dénaturer (les protéines sont de longues molécules repliées en pelote ; leur déroulement, avant la coagulation, est la dénaturation) ; puis, à 50 °C, les fibres commencent à se contracter ; à 55 °C, la partie fibrillaire de la myosine (une protéine essentielle à la contraction musculaire, avec l'actine) coagule tandis que le collagène (une protéine qui donne aux viandes leur dureté) commence à se dissoudre ; à 66 °C, diverses protéines coagulent ; à 70 °C, la myoglobine ne fixe plus l'oxygène, et l'intérieur de la viande devient rose ; à 79 °C, l'actine coagule ; à 80 °C, les parois cellulaires sont rompues et la viande devient grise ; à 100 °C, l'eau est évaporée ; et, à une température supérieure à 150 °C, les réactions chimiques, dites de Maillard, engendrent des produits bruns et aromatiques.

Que faire de ces repères ? Si le four dispose d'une bonne régulation de température, le cuisinier pourra choisir le point exact de cuisson qu'il voudra atteindre, sans se reposer sur des indications empiriques peu fiables et sans craindre les coups de feu qui ruinaient jadis les braisés. Naturellement la viande saignante a ses adeptes, mais ceux-ci n'oublieront pas que de trop basses températures favorisent la prolifération de micro-organismes dangereux. La cuisson à basse température est périlleuse... mais donne de si beaux résultats !

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 26 mai 1997, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt