

John Foley



L'innovation et le paradigme industriel

ALAIN ETCHEGOYEN

La création d'emplois passe aussi par l'innovation appliquée au secteur des services.

Dès qu'il s'agit de développer ou favoriser l'innovation, les acteurs économiques français raisonnent, depuis 25 ans, selon un paradigme industriel. L'innovation serait toujours l'aboutissement d'un courant qui prendrait sa source dans la recherche fondamentale, s'écoulerait dans le développement, pour déboucher sur des brevets et des innovations industrielles. D'où l'étude toujours renouvelée de l'efficacité de chaque maillon de la filière innovation : comptabilité des brevets, calcul des innovations issues des formations universitaires, comparaison des performances des grandes écoles

Sans doute, faut-il perfectionner cette filière de production d'innovations en améliorant chaque maillon, l'X, Centrale, les grandes universités et les grands groupes industriels... Mais cette manière exclusive de raisonner nuit à l'avènement d'innovations économiquement importantes.

Au début des années 1980, Michel Crozier avait déjà souligné que les possibilités du secteur service étaient inversement proportionnelles à la considération dont il jouissait dans les milieux économiques et politiques. Parallèlement d'autres voix avaient critiqué l'identification par Jacques Attali des professions de service aux «coiffeurs» où il ne pouvait y avoir de gains de productivité. Les temps et les hommes ont changé, mais le modèle industriel reste présent.

Or des entreprises françaises très performantes comme les grands groupes de distribution, comme Sodexo, Decaux ou Nouvelles Frontières s'intègrent mal à nos représentations classiques des processus d'innovation. D'ailleurs, ceux qui les dirigent, les ont créées ou développées, ne sont issus ni des grandes écoles d'ingénieurs ni des universités les plus reconnues en matière de recherche. Dans la philosophie spontanée des scientifiques et des industriels, le secteur des services échapperait à toute maîtrise en amont de ses opérations et il s'y trouverait moins de matière grise.

Il est dangereux de raisonner ainsi : la différence principale entre l'industrie et

les services porte sur la manière de considérer l'innovation. Dans l'industrie, la relation entre la production et le client est médiatrice et indirecte, tandis que dans les services elle est immédiate et directe. Autrement dit, les processus d'innovation sont pilotés différemment : la recherche en amont du service ne jouit pas de l'autonomie dont elle dispose dans l'industrie. On y recense moins de tâtonnements, moins d'essais et erreurs, moins de chantiers avortés, car la sanction est beaucoup plus rapide.

Il est désormais décisif que le client «innovation» de la recherche scientifique perde son identité industrielle pour s'élargir à l'ensemble des secteurs. N'est-il pas regrettable, par exemple, qu'un grand groupe de distribution français soit contraint de rechercher outre-Atlantique les opérateurs susceptibles de l'aider pour développer des systèmes d'information ou d'automatisation ? Les filières de la recherche appliquée française refusent, par manque de souplesse, qu'une entreprise de distribution ait son mot à dire en matière d'innovation. Or les entreprises de services ont plus que jamais besoin de machines, de logiciels, de processus spécifiques qui incorporent une grande quantité de matière grise.

La caractéristique principale de l'innovation dans les services découle directement de la relation prestataire/client. Ce qui constitue l'essence même de l'activité de service – la relation du coiffeur et du coiffé, du restaurateur et du restauré, du voyageur et du touriste – permet de distinguer l'innovation dans le *back office* de l'innovation dans le *front office*, l'innovation invisible et l'innovation visible. La première n'est pas très différente de l'innovation industrielle : en matière de gestion, d'organisation, de systèmes d'information, de nombreuses innovations sont communes. Mais les relations entre le *front office* et le *back office* sont beaucoup plus directes et cruciales. Quand le système Socrate (*back office*) connaît des ratés, c'est tout le *front office* qui en est affecté et le client de la SNCF proteste.

L'industrie n'a pas cette rapidité de réaction imposée par le client. Mais c'est pour cette même raison que l'innovation est la clef du secteur des services.

Si l'on veut donc réfléchir sur les conditions de l'innovation dans l'économie, tous les éléments de la recherche et de la technologie devraient s'ouvrir à des partenaires qui ne leur sont pas naturels. L'ANVAR avait décidé d'élargir ses compétences au secteur des services, mais le modèle industriel est resté prégnant. Bien que chacun sache le rôle croissant des services pour l'emploi dans une économie moderne, l'innovation technologique ne se met pas encore au service de ses clients potentiels comme s'il fallait une sorte de révolution culturelle.

L'exemple des recherches actuellement menées dans le multimédia est particulièrement intéressant. La réussite des innovations dépend à la fois d'une technologie de pointe, de contenus appropriés et d'un bon placement sur le marché. Quand on ne tient pas ces trois éléments, tout projet est voué à l'échec. La perfection n'est pas de mise si elle déséquilibre ce triumvirat : si la volonté de perfection retarde l'introduction d'un nouveau produit sur le marché, un autre, plus bricolé, moins parfait, prendra le dessus en imposant ses normes.

L'innovation dans les services enseigne, plus que toute autre, l'impératif du client et l'importance du marché. Une relation plus étroite entre la recherche et le secteur des services serait efficace économiquement, mais aussi pédagogiquement : elle permettrait d'ancrer toujours plus le souci du client dans un pays où, malgré tous les efforts accomplis, la mesure de la qualité reste souvent plus la perfection dans la réalisation d'un cahier des charges que la satisfaction des clients sur un marché.

Alain ETCHEGOYEN est professeur de philosophie et conseiller d'entreprises.

La malédiction du tyrannosaure :

suite et fin?

Après avoir défrayé la chronique judiciaire plus que suscité des études paléontologiques, le tyrannosaure *Sue*, trouvé dans le Dakota du Sud en 1990, extrait par les chercheurs « commerciaux » du *Black Hills Institute*, puis saisi par le FBI, a enfin trouvé un gîte définitif. À l'issue de brèves enchères à New York, le squelette a été acquis par le *Field Museum* de Chicago, pour la somme de 8,4 millions de dollars (soit environ 50 millions de francs avec la commission de Sotheby). Voilà qui doit satisfaire Maurice Williams, le propriétaire du terrain où fut trouvé le fossile, qui empochera la plus grande partie du butin, et faire grincer quelques dents, notamment celles de Peter Larson, du *Black Hills Institute*, qui avait réalisé les fouilles, et qui a passé quelques mois en prison à la suite de ses démêlés avec la justice américaine suite au procès sur la propriété du dinosaure.

Si prestigieuse fut-elle, une institution comme le *Field Museum* n'aurait pas eu les moyens de s'offrir *Sue* à un tel prix. Les universités de l'État de Californie ont donné un coup de main, mais ce sont deux généreux mécènes qui ont per-



Résultat de la vente aux enchères de *Sue*, le *Tyrannosaurus rex*.

mis au musée de Chicago de l'emporter, à savoir les Sociétés *McDonald* et *Walt Disney*. En échange de leur aide, les mécènes en question utiliseront des moulages du squelette à des fins publicitaires, ce qui n'est que justice.

Les paléontologues professionnels se réjouiront sans doute de savoir que ce squelette de *Tyrannosaurus rex* trouvera sa place dans une collection publique, où il sera à la fois disponible pour étude scientifique et visible par le public. Il est aussi plutôt satisfaisant de voir des entreprises privées s'intéresser de la sorte à la paléon-

tologie (même si la « tyrannomanie » ambiante et le caractère spectaculaire du fossile ne sont pas étrangers à cet intérêt). Beaucoup de grandes collections paléontologiques de par le monde doivent certains de leurs trésors à des mécènes privés (un des premiers exemples étant celui de Werner von Siemens, qui, en 1877, permit au Musée de Berlin d'acquérir le deuxième squelette d'*Archaeopteryx*). L'exemple de la vente de *Sue* suscitera-t-il un regain de ce type de mécénat scientifique ? On ne peut que l'espérer. Mais ce que l'on peut déplorer, c'est le prix incroyable qu'il a fallu payer pour acquérir ce tyrannosaure. On peut se demander s'il est vraiment raisonnable de dépenser pour se procurer un seul spécimen, si beau soit-il, d'un dinosaure déjà relativement bien connu, une somme qui aurait permis de financer des centaines d'expéditions paléontologiques susceptibles de collecter des milliers de fossiles, et d'apporter quantités de données nouvelles. Pour donner un terme de comparaison, la *Dinosaur Society*, une des principales fondations finançant la recherche sur les dinosaures, a dépensé depuis 1993, pour soutenir des dizaines de projets dans le monde entier, la somme de 980 000 dollars.

Y a-t-il une morale à l'histoire mouvementée de *Sue* le tyrannosaure ? S'il y en a une, elle est pour le moins obscure. N'est-il pas étonnant que des musées aient surenchérit les uns sur les autres ?

Eric BUFFETAUT

La mémoire saisie au vol

Quelle quantité d'informations captions-nous en un coup d'œil ?

Quand nous scrutons une scène ou lisons un texte, le regard se pose sur un détail pendant une fraction de seconde, puis saute et se pose ailleurs, et les informations captées au cours des fixations successives sont assemblées en un tout cohérent. Quelle quantité d'informations est-elle saisie à chaque étape ? Le jeu des sept erreurs montre que cette information est limitée. Dans ce jeu, deux dessins identiques, à

sept différences près, sont placés côte à côte. Quand nous regardons les dessins attentivement, à tour de rôle, ils nous paraissent d'abord identiques, puis les différences se manifestent, une à une, et deviennent alors évidentes. Quand nous fixons une portion d'image où se trouve une différence et que nous ne voyons pas celle-ci, c'est que nous n'avions pas mémorisé de manière suffisamment détaillée la portion correspondante sur l'autre image. D'où l'idée d'évaluer, à travers ce jeu, la capacité de la mémoire visuelle à court terme.

Pour faire des mesures, nous utilisons des images à trame carrée, en damier, dont les cases sont noires ou blanches par tirage au sort. Les trames sont déformées de manière contrôlée, ce qui rend les images moins austères. Nous affichons,

côte à côte, sur un écran d'ordinateur, des paires d'images qui ne diffèrent que par une seule case, qui, de noire dans une image, est devenue blanche dans l'autre.

Le temps mis par les sujets pour localiser la différence est, en moyenne, égal au nombre de cases dans l'image, multiplié par 50 millisecondes, soit en moyenne 0,45 seconde pour traiter un couple d'images 3×3 telles que (a), et 11,2 secondes pour des images 15×15 telles que (c). Le temps est le même, que le damier soit parfaitement carré, comme en (a) ou déformé comme en (b) et en (c). La présence d'une trame qui discrétise l'image et sépare les éléments, comme en (b), ne facilite pas le travail : dans ce cas, il faut 15 millisecondes de plus par case pour trouver la différence. Le cerveau

humain préfère donc travailler sur des formes continues. Les changements les plus facilement détectés sont ceux de nature topologique, quand, par exemple, un filet noir d'un seul tenant dans une image se retrouve scindé en deux dans l'autre, ou quand un bloc compact noir dans une image se retrouve incrusté d'un carré blanc dans l'autre.

Les 50 millisecondes par case mesurées pour les images complexes, de type (c), comprennent le temps pour capter et interpréter les informations des images gauche et droite, ainsi que le temps pour déplacer le regard d'une image à l'autre. Le temps de comparaison lui-même devrait être bien inférieur, peut-être de l'ordre de 10 ou 20 millisecondes par case.

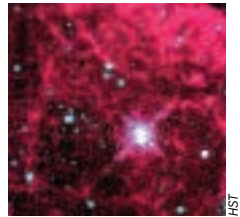
Quelle est la quantité d'informations captée à chaque fixation du regard ? Pour le savoir, changeons de protocole :

cette fois, nous présentons des couples d'images qui sont, soit identiques, soit différentes, et le sujet doit apprécier si les images sont les mêmes ou non. Avec des couples d'images très élémentaires (par exemple, un simple carré blanc *versus* un simple carré blanc ou noir), une image est captée en une fois, et la comparaison avec l'autre image conduit également vite à la réponse, qu'elle soit «oui» ou «non». Avec des images très complexes, le sujet met en moyenne moins de temps pour répondre «non» que pour répondre «oui» : quand les images sont différentes, la réponse «non» est acquise dès que la différence est localisée, et l'exploration s'arrête. Dans le cas contraire, le sujet doit explorer plus à fond pour se convaincre qu'elles sont identiques. Une inégalité entre les temps de réponse «oui» et «non» commence à se manifester avec

BRÈVES

Un sacré pistolet

L'étoile du pistolet, ainsi nommée en raison de la forme de la nébuleuse qui l'abrite, a étonné les astronomes par sa taille. Cachée dans la poussière du centre de notre Galaxie, elle est 100 fois plus grosse que le Soleil et dix millions de fois plus lumineuse. À l'aide du Télescope spatial *Hubble*, les astronomes ont détecté cette géante au mois d'octobre 1997. Comme la durée de vie d'une étoile varie en raison inverse de sa masse, cette «cigale énergétique» ne vivra que 100 000 ans.



Les risques de la pauvreté

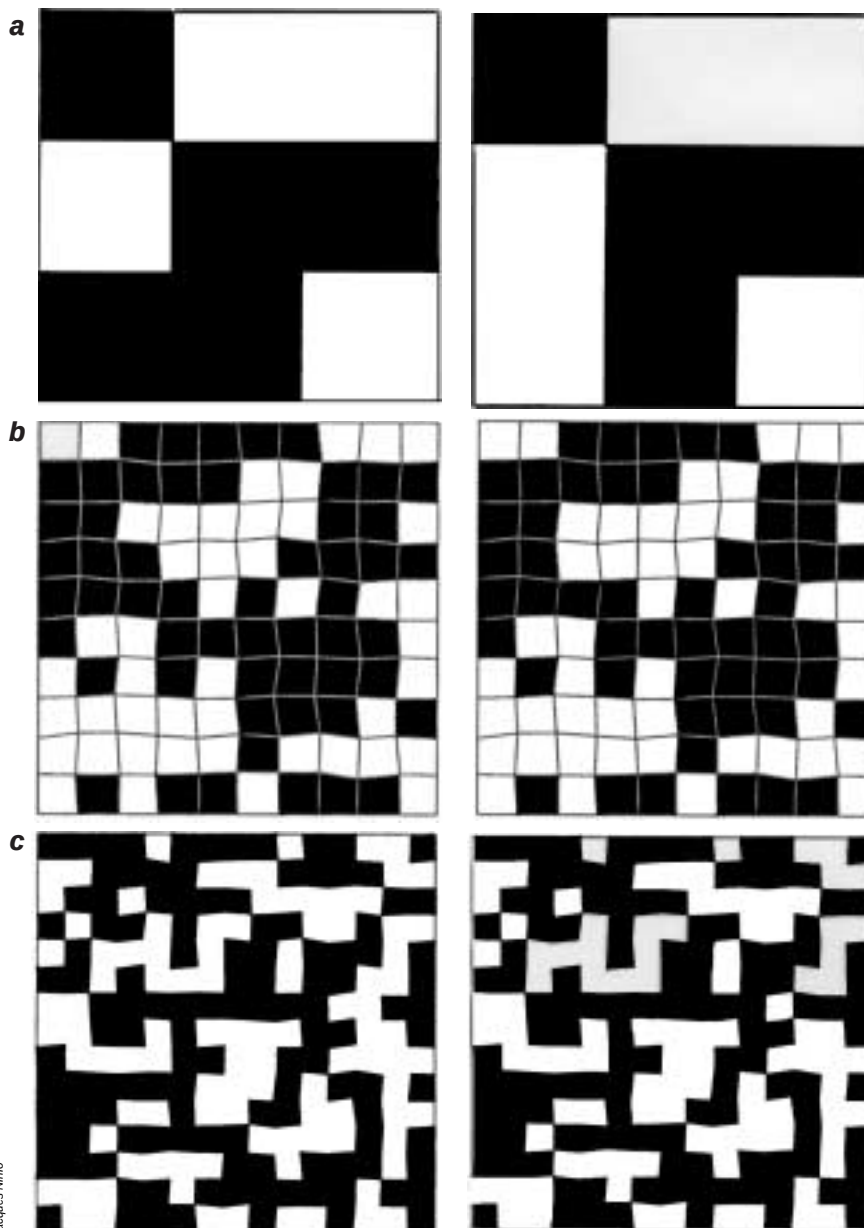
Les enfants des familles pauvres écossaises risquent plus (deux à dix fois) d'être victimes d'un grave accident de la circulation que les adolescents issus de familles aisées. Cette aggravation du risque résulte d'une présence accrue des enfants pauvres dans les rues. Résultat prévisible d'une cause connue, l'ampleur de l'augmentation étonne toutefois.

Du collagène, pas du bitume

Il y a 8 200 ans, des hommes ont laissé dans la grotte de Nahal Hemar, en Israël, un ensemble d'objets parmi lesquels des paniers et des crânes décorés qui étaient enduits d'une substance noire et collante. Selon Arie Nissenbaum, de l'Institut Weizmann, cette substance, que l'on pensait être du bitume à cause de la proximité de gisements, est en fait du collagène. Les hommes du Néolithique ancien savaient donc déjà extraire cette protéine fibreuse, la plus abondante dans les organismes animaux, et l'utilisaient comme adhésif. Le collagène était probablement extrait de peaux.

Fort de café

Pourquoi une goutte de café laisse-t-elle en séchant une trace au contour sombre ? L'évaporation en un point de la goutte est d'autant plus rapide que l'épaisseur est faible. La goutte conservant à peu près le même contour pendant l'évaporation, le liquide s'évapore vite près du bord : le profil de surface n'est maintenu que grâce à un flux de liquide du centre vers le bord. Les particules en suspension, qui se déposent lorsque l'eau s'évapore, s'accumulent donc sur le contour.



Trois paires de grilles utilisées pour mesurer la quantité d'informations captées par le regard.

Suite page 26

Détection des prions anormaux

Jusqu'à présent, on ne pouvait établir avec certitude le diagnostic de la maladie de

Creutzfeldt-Jakob qu'en observant le cerveau des patients décédés. Une équipe de la Société suisse *Prionics* a mis au point un anticorps qui reconnaît spécifiquement le prion anormal qui semble être la cause de la maladie. Ce test, validé sur des cerveaux, sera peut-être suffisamment sensible pour que le prion anormal soit détecté dans les amygdales ou dans les ganglions des per-

sonnes atteintes. Si cet anticorps réussit à inactiver le prion anormal, il deviendrait un agent thérapeutique.



Fred Cohen

Pomme de terre et peinture

Les végétaux synthétisent des molécules complexes, qu'il serait intelligent d'extraire et de transformer, au lieu de synthétiser difficilement des composés organiques à partir de pétrole. Cette idée est aujourd'hui passée dans l'industrie des peintures : des chimistes de la Société *ICI* ont proposé de remplacer des composés acryliques ou vinyliques par de l'amidon purifié à partir de maïs, de blé ou de pommes de terre. Les peintures à l'amidon durcissent comme les peintures classiques et ne pourrissent pas sur les murs : l'amidon est au sein du dépôt, protégé des micro-organismes qui le consommeraient.

L'hygiène sur Mir

Maladies de peau, infections respiratoires, contamination des aliments : l'hygiène sur la station orbitale *Mir* est médiocre. Selon les études d'un microbiologiste italien, les astronautes qui vivent dans l'atmosphère confinée de *Mir* libèrent 15 fois plus de micro-organismes par minute que dans des conditions normales. Dans l'espace, le système immunitaire est affaibli, de sorte qu'à la fin d'un vol de longue durée les risques d'infection sont accrus.

Satellites irréguliers

Deux nouveaux satellites d'Uranus ont été observés avec le télescope du Mont Palomar, en Californie. De 80 à 150 kilomètres de diamètre, ces deux agglomérats de glace et de poussières tournent sur des orbites «irrégulières», excentriques et inclinées par rapport au plan de l'écliptique à six et huit millions de kilomètres de la planète. Cette découverte porte à 17 le nombre de satellites d'Uranus.

Suite page 28

des images 3×3 pour certains sujets, et des images 4×4 pour d'autres, d'où la conclusion que la quantité moyenne d'informations saisies en une fixation du regard est intermédiaire entre 9 et 16 éléments binaires, soit environ 12 bits, plus ou moins 3 bits. Avec des couples d'images 4×4 présentant une seule différence, de nombreux sujets font des erreurs, et les jugent identiques, ce qui montre, d'une autre manière, que la région saisie avec précision est inférieure à 4×4 .

Ce résultat sur la «mémoire en vol» cadre bien avec ce que l'on sait de la lecture : le regard se pose sur un mot, capte exactement un petit nombre de lettres significatives, et les autres lettres sont moins lues que devinées en fonction du contexte, d'où la difficulté pour repérer certaines erreurs typographiques. Il cadre aussi avec des expériences plus anciennes faites dans les années 1960 par George Sperling, à l'Université Harvard : Sperling avait présenté brièvement à des sujets des tableaux de 12 lettres et observé qu'ils en retenaient environ quatre ou cinq seulement à leur emplacement exact.

Utilisant nos images de synthèse, nous avons entrepris de caractériser l'acquisition d'informations en mémoire sur de plus longues durées. Un sujet observe une image isolée pendant un temps déterminé, puis un couple tel que (c) qui contient d'une part cette image (soit à gauche, soit à droite), d'autre part une image qui en diffère en un nombre q de cases, et il doit dire si l'image vue en premier est celle de gauche ou de droite. Quand q est petit – par exemple, égal à un –, le sujet risque de répondre au hasard, parce qu'il ne se souvient pas de l'image initiale de manière suffisamment détaillée. En choisissant q convenablement, on arrive à cerner, pour chaque sujet, la quantité d'informations acquises.

Typiquement, quand un sujet voit une image 8×8 pendant une seconde, il la reconnaît une fois sur deux au sein d'un couple présentant trois différences, et

répond au hasard les autres fois, d'où l'on calcule qu'il mémorise environ 13 bits par image. Quand il examine l'image pendant huit secondes, il mémorise un peu plus : en moyenne 20 bits. On aurait pu s'attendre à trouver des valeurs bien supérieures, sachant que les 12 bits de la mémoire en vol sont acquis en 200 ou 300 millisecondes. Les prises d'information visuelle ne s'additionnent donc pas de manière simple, du moins avec nos images de synthèse. Selon toute vraisemblance, la mise en mémoire réclame une appréhension analytique allant au-delà de la première impression. Notre vocabulaire des formes, pour décrire les motifs abstraits, est sans doute insuffisant. Le problème est différent, dans la lecture ou lors du déchiffrement d'une partition musicale, car, grâce à des années d'apprentissage intense, nous convertissons très efficacement les symboles visuels en entités ayant un sens, facilement mémorisables.

L'interprétation d'une image ayant une portée écologique est particulièrement rapide : Simon Thorpe et ses collègues du Centre de recherche cerveau et cognition à Toulouse ont montré qu'en 140 millisecondes, le cerveau humain sait si une image représente ou non un animal, et nous verrions bien plus d'une scène naturelle soudain révélée par un éclair lumineux que nos 12 bits de base. Ici aussi, il apparaît que l'information qui se grave n'est pas exprimée par une séquence de pixels, comme le serait une image vidéo, mais plutôt par la présence ou l'absence de certains éléments significatifs : visage, animal, plante, maison, plan d'eau, masse rocheuse... Une représentation qui s'exprimerait comme une combinaison de matériaux déjà en mémoire pourrait être compacte, et néanmoins riche, dans la mesure où chacun des éléments pris en compte serait lui-même complexe.

Jacques NINIO et Nicolas BRUNEL
École normale supérieure, Paris

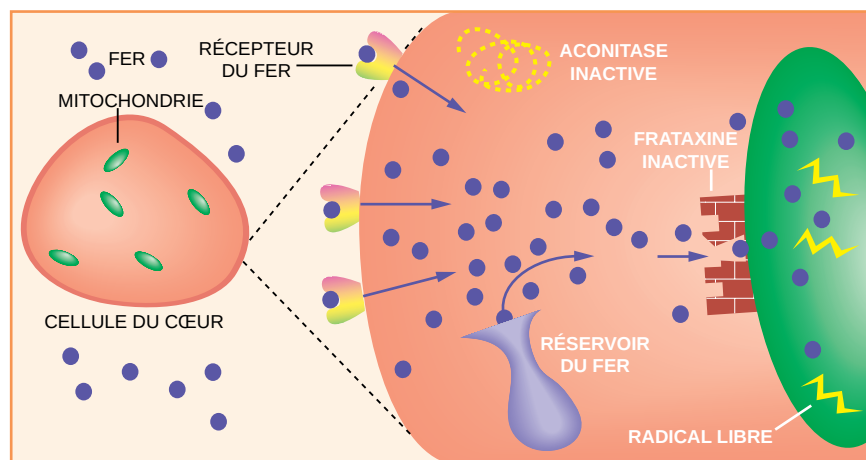
L'ataxie de Friedreich

Cette maladie génétique résulte d'une accumulation de fer dans les «centrales énergétiques» des cellules.

L'ataxie de Friedreich est une maladie neurodégénérative qui touche environ une personne sur 50 000. En 1996, le gène responsable de la maladie a été isolé ; il code une petite protéine, la frataxine, dont la fonction était encore inconnue. Agnès Rötig et ses col-

lègues de l'Unité INSERM 393, à l'Hôpital Necker-Enfants Malades, viennent de montrer que l'absence (ou une quantité insuffisante) de cette protéine chez les malades perturbe la production de l'énergie des cellules.

La maladie se manifeste par une mauvaise coordination des mouvements, des troubles moteurs et une faiblesse musculaire ; les malades ont souvent un cœur anormalement gros. Avant même d'en avoir la preuve, on pensait que l'ataxie de Friedreich était une maladie mitochondriale, ce type de maladies qui résultent d'une anomalie des mitochondries, les «centrales énergétiques» des cellules



Chez les personnes atteintes de la maladie de Friedreich, les deux remparts qui protègent les cellules et ses constituants contre un excès de fer sont inactifs : l'aconitase n'empêche pas la fabrication des récepteurs membranaires du fer et les «réservoirs» du fer ne stockent pas l'élément, de sorte que le fer s'accumule dans le cytoplasme ; le second rempart inopérant, la frataxine, laisse pénétrer le fer dans les mitochondries qui subissent l'attaque destructrice des radicaux libres créés par le fer.

qui, grâce à la chaîne respiratoire, produisent l'énergie dont l'organisme a besoin pour fonctionner. Chaque cellule contient des centaines de mitochondries, et leur répartition entre ses cellules filles est aléatoire (à chaque division cellulaire, le stock de mitochondries double, de sorte que chaque cellule fille hérite d'un nombre constant de mitochondries). Quand un ovule fécondé contient quelques mitochondries dont l'ADN est muté, certaines cellules filles héritent de nombreuses mitochondries mutées, tandis que d'autres reçoivent surtout des mitochondries normales. La nature et la gravité des symptômes varient d'une personne à l'autre selon la localisation et la quantité des mitochondries anormales. Quand la production d'énergie par les mitochondries est insuffisante, certains organes, tels le cœur, le cerveau ou les muscles ne fonctionnent plus correctement et la maladie s'installe.

L'équipe de Necker-Enfants Malades a étudié un enfant qui présentait une hypertrophie du cœur et une maladie de Friedreich. Or cet enfant avait aussi une anomalie mitochondriale très rare, touchant simultanément plusieurs protéines de la chaîne respiratoire mitochondriale, et aussi l'aconitase, une enzyme du cytoplasme qui sert à la régulation de la concentration en fer des cellules. Le déficit des enzymes normalement produites par les mitochondries ne fut décelé que dans le cœur.

Simultanément, des études sur la levure montraient qu'en l'absence de l'homologue de la frataxine, les levures ont une production d'énergie anormale et que tout le fer s'accumule dans les mitochondries. Ainsi, la frataxine contrôle l'apport du fer dans les mitochondries, puisqu'en son absence, le fer s'y accumule. Les divers résultats ont montré que l'ataxie de Friedreich est une maladie mitochondriale

résultant d'une anomalie de la concentration en fer dans les mitochondries.

La perte de l'activité de l'aconitase amplifie l'anomalie, car c'est une enzyme essentielle pour l'introduction du fer dans les cellules et pour son stockage. Normalement, en présence d'un excès de fer, les cellules fabriquent des sortes de réservoirs (des molécules de ferritine) et peu de récepteurs du fer : l'élément ne pénètre pas dans les cellules et sa concentration à l'état libre est limitée. Au contraire, en cas de carence en fer, la fonction de l'enzyme aconitase change : elle perd ses propres atomes de fer, inhibe la fabrication des réservoirs de fer et favorise la production des récepteurs membranaires du fer (davantage de fer entre dans les cellules). L'aconitase sert de premier rempart de régulation de l'entrée du fer dans les cellules. Quand l'aconitase n'est pas fonctionnelle, comme c'est le cas chez les personnes atteintes de la maladie de Friedreich, le fer abonde dans les cellules. Normalement, la frataxine devrait servir de second rempart, en empêchant que le fer ne traverse la membrane mitochondriale. Lorsqu'elle n'est pas fonctionnelle, le fer s'accumule dans les mitochondries. Or, cet élément est un agent oxydant qui engendre la production de radicaux libres toxiques pour la chaîne respiratoire mitochondriale, donc pour la production de l'énergie cellulaire.

Il reste à comprendre comment la frataxine régule l'entrée du fer dans les mitochondries, et pourquoi le cerveau et le cœur sont parmi les organes les plus atteints. Maintenant que l'on connaît la cause cellulaire de la maladie de Friedreich, on pourra peut-être réduire les effets dévastateurs de l'anomalie en luttant contre l'accumulation du fer dans les mitochondries ou contre les conséquences du stress oxydatif qui en résulte.

Le colza et la ravenelle

Le colza transgénique transfère un gène de résistance à sa cousine, la ravenelle.

Déjà produits outre-Atlantique, les végétaux transgéniques, contenant un gène dont ils sont normalement dépourvus, ne sont cultivés qu'à titre expérimental en Europe. Toute variété nouvelle est accueillie avec circonspection : c'est le cas d'un colza génétiquement modifié pour résister à un herbicide. Lors de l'épandage de cet herbicide, les mauvaises herbes seraient

éliminées et, seul, le colza serait préservé... à condition que le gène de résistance ne soit pas transmis aux autres plantes. Or, l'équipe d'Anne-Marie Chèvre, à l'INRA de Rennes, vient de montrer que le colza se croise avec sa cousine la ravenelle, et lui transmet, notamment, son gène de résistance à un herbicide.

Depuis une cinquantaine d'années, le colza est cultivé en France (quelque 750 000 hectares) surtout pour ses graines oléagineuses. En serre, des croisements forcés, où la pollinisation est faite à la main, donnent des hybrides entre le colza et des espèces proches, tels le chou, la moutarde noire ou encore

la ravenelle, une mauvaise herbe qui pousse naturellement à proximité du colza et fleurit au même moment. Que se passe-t-il en plein champ, quand la pollinisation n'est pas forcée par l'homme ?

Le pollen (les gamètes mâles) est alors véhiculé par les insectes ou par le vent vers les pistils (portant les gamètes femelles). Pour reproduire des conditions naturelles, les agronomes de l'INRA ont planté côte à côte des quantités équivalentes de colza et de ravenelle. Pour le colza, ils ont choisi une variété sans pollen, de sorte que la fécondation se faisait seulement par l'intermédiaire du pollen de ravenelle. Ce choix leur permettait