

Hérédité de l'accident

A en croire la vulgate darwinienne, l'homme descend du singe. Erreur : l'homme descend de l'accident.

Considérez n'importe quel être humain sur cette terre, et songez aux cent, aux mille, aux dix mille maillons de la chaîne qui, d'ascendant en ascendant, le relie à Adam et Ève. Il est absolument certain que, parmi ces innombrables aïeux, l'un au moins n'était pas désiré par ses parents et n'a vu le jour qu'à la suite de ce qu'on nomme un accident.

La solidité d'une chaîne est celle du maillon le plus faible. Pas un seul de nous ne vivrait si tous ses ancêtres s'étaient parfaitement contrôlés. Imaginez que les hommes, jamais, ne causent ni n'aient causé d'accidents : leur espèce serait depuis longtemps éteinte.

Le paranormal ignoré

Nous raillons volontiers le scientisme borné du XIX^e siècle. Or, selon B. Méheust, notre univers intellectuel est plus fermé que ne l'était celui du scientisme.

B. Méheust s'intéresse à l'attitude de l'institution scientifique vis-à-vis des phénomènes dits paranormaux – magnétisme animal, lucidité somnambulique, hyp-

nose... Au XIX^e siècle, écrit-il, les savants n'hésitaient pas à y aller voir. Même si leur rationalisme a pu les mener à une brutale intransigeance, ils ont au moins pris la peine d'examiner ces phénomènes dans des revues prestigieuses. Rien de tel aujourd'hui : il n'est pas de plus puissant tabou, dans le domaine de la connaissance, que l'interdit sur la métapsychique. «Pour faire court, l'intelligentsia a pardonné plus facilement à Heidegger d'avoir été nazi, qu'à Bergson, qui porta l'étoile jaune, d'avoir été (en 1913) président de la Society for Psychical Research.»

Aucun savant reconnu, aucune institution, n'accepte plus de débattre de l'étrange. Aussi assiste-t-on «à la prolifération incontrôlée d'une littérature bas de gamme constituée par les débris des recherches du XIX^e siècle, eux-mêmes recombinaison à une foule d'influences hétéroclites – fatras qui n'a plus grand-chose à voir avec la haute tenue des publications magnéto-hypnotiques de cette période».

Selon B. Méheust, le problème de la réalité des phénomènes paranormaux n'a pas été réglé par la négative. Il est en suspens, car ce n'est plus convenable de le poser. Méheust ne nie pas que les recherches sur le paranormal soient difficiles, qu'elles puissent être une poursuite de chimères, qu'elles constituent un défi pour la rationalité. Mais ces difficul-

tés ne devraient-elles pas être une raison de plus pour oser affronter le problème ? (Bertrand Méheust, *Épistémologiquement correct*, Alliage, n° 28.)

Ultima ratio

S i un phénomène semble intemporel, c'est bien la mort. Pourtant non : sa définition change avec l'époque. Dans l'Antiquité, l'arrêt du souffle ou celui du cœur la caractérisent. De nos jours, la notion de mort cérébrale s'est introduite – et encore subit-elle des variations d'un pays à l'autre pour des raisons éthiques, religieuses, culturelles. Si bien que Jocelyne Vaysse a cette formule curieuse : «Être mort au XX^e siècle paraît presque plus complexe que dans les siècles précédents.» (Jocelyne Vaysse, *Petit traité de médecine psychosomatique*, Les Empêcheurs de penser en rond, 1996, p. 94.)

Un espoir d'immortalité naît alors : rendons les conditions de la mort tellement complexes que personne ne parviendra à les réaliser ! Définissons le moment de la mort d'un organisme comme celui où les éléments de cet organisme cessent tout échange physico-chimique avec le reste de l'univers. Cela confère à chacun de nous une espérance de vie égale à celle de l'univers. Il n'y a en effet aucune raison que ces échanges s'arrêtent avant lui : tant qu'il est là, rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. Ce n'est pas encore l'immortalité, mais c'est un sur-sis inespéré. Suffira-t-il à diminuer notre angoisse devant la mort ? Qui vivra verra...

De bonnes œuvres

«**O**n a écrit plus de livres en ce siècle qu'en cinq mille ans.» Encore une triste lamentation sur l'explosion de matière imprimée que notre époque détraquée ne peut maîtriser ?

Non. La phrase a été écrite par Tommaso Campanella (1568-1639) dans son ouvrage *La cité du soleil*, et il débordait d'enthousiasme. Témoin de l'essor des sciences, il voyait l'homme connaître un nouvel élan qui coïncidait avec une accélération de l'histoire (voir Paolo Rossi, *Les philosophes et les machines 1400-1700*, PUF, 1996).

La même promenade, qui sera un parcours de santé pour le jeune homme, tuera le vieillard...

Étymologie préhistorique

L'affaire se passe au XVII^e siècle, à Düsseldorf. Le vicaire et organiste de Saint-Martin, Joachim Neumann, est compositeur. Selon la mode de l'époque, il transcrit son patronyme dans une langue classique, en l'occurrence le grec. *Neu* (nouveau, en allemand) se traduit par *néos*, et *Mann* (homme) par *andros*. Notre musicien tente donc de s'immortaliser sous le nom hellénisé de Joachim Neander.

Son œuvre n'est finalement pas restée au répertoire. L'homme, toutefois, a suffisamment marqué ses ouailles pour qu'un vallon près de Düsseldorf porte son nom.

Et il a fallu que ce soit dans ce vallon-là que, deux siècles plus tard, soient découverts pour la première fois des restes d'un homme préhistorique promis à une célébrité mondiale. Cet homme parut incroyablement nouveau à l'époque puisqu'on n'en avait encore jamais vu ; cet homme nous paraît au contraire terriblement ancien, puisqu'il a disparu depuis des dizaines de milliers d'années et a été remplacé par l'homme moderne ; cet homme a reçu le nom du lieu où il a été trouvé. En un mot comme en cent, c'est l'«homme de Néandertal» (*Tal*, en allemand, signifie vallon). Ainsi, l'homme ancien gisait dans le vallon de l'homme nouveau. Embrassade rocambolesque entre l'histoire et la préhistoire ! Laquelle mène l'autre ? Joachim Neumann a-t-il finalement conquis son immortalité ?

L'épisode ci-dessus est raconté dans le livre (fort mal écrit) d'Erik Trinkaus et Pat Shipman, *Les hommes de Néandertal*, Seuil, 1996. Reste une question. Si Neumann s'appelait ainsi, c'est que l'ancêtre à l'origine de sa lignée a paru nouveau à ses contemporains. Nouveau, certes, mais en quoi ? Bon sang, mais c'est bien sûr : il a été le premier à supplanter l'homme de Néandertal ! Neumann descendait en droite ligne du premier homme moderne apparu sur cette terre ! La boucle est bouclée...

Voir sans être vu

La vision sans interaction permise par la mécanique quantique (voir *Voir sans regarder*, par Paul Kwiat, Harald Weinfurter et Anton Zeilinger, *Pour la Science*, janvier 1996) résout un problème fondamental, ancien et douloureux, de la littérature de science-fiction, celui de l'homme invisible. Plusieurs critiques ont reproché à Herbert George Wells que, pour voir, l'homme invisible devait interagir avec la lumière et donc être au moins localement visible, ou bien aveugle.

Voici le grand Wells réhabilité. Avec l'équipement convenable, l'homme invisible peut voir sans être vu. C'est une simple affaire de technologie.

Gérard KLEIN, Paris

Le chien distingue les filles

Dans *L'erreur du Grand Inquisiteur* (voir *Pour la Science*, décembre 1996), Ian Stewart présente un amusant paradoxe. Vous vous rendez chez des amis qui ont deux enfants. Vous apercevez une fille, mais l'autre enfant vous est caché par un chien. Quelle est la probabilité qu'il s'agisse également d'une fille ?

Le premier raisonnement consiste à dire que vos amis ont au moins une fille : ils ont deux filles, ou une fille aînée et un garçon cadet, ou un garçon aîné et une fille cadette. La probabilité cherchée est $1/3$.

Le second raisonnement consiste à dénombrer quatre possibilités : ils ont deux filles, et l'aînée joue avec le chien ; ils ont deux filles et la cadette joue avec le chien ; ils ont une fille aînée et un garçon cadet qui joue avec le chien ; ils ont un garçon aîné qui joue avec le chien et une fille cadette. La probabilité que l'enfant caché soit une fille est alors $1/2$.

Il existe en fait deux situations différentes. Si vos amis vous apprennent par téléphone qu'ils ont au moins une fille, c'est le premier raisonnement qui est correct. Si vous allez chez vos amis et que vous voyez une fille, c'est le second : outre que vous savez qu'ils ont au moins une fille, le fait de rencontrer justement une fille augmente la probabilité qu'ils en aient deux.

Gérard LAVAU, Dijon

Limites et infini

Les difficultés soulevées par John Casti (voir *Peut-on dépasser les limites logiques de la science ?*, *Pour la Science*,

décembre 1996) sont liées à la complexité des problèmes abordés par la science. Le fait de ne pas pouvoir déterminer la stabilité du Système solaire ne remet toutefois pas en cause la théorie de Newton : elle souligne simplement notre incapacité à résoudre des problèmes trop complexes, mettant en jeu un trop grand nombre de paramètres ou une trop grande précision dans l'observation. Pour y faire face, nous faisons intervenir l'infini dans nos raisonnements. Nous nous exposons alors aux théorèmes d'incomplétude, mais il n'y a là rien d'effrayant.

Les ensembles finis me font beaucoup plus peur que les ensembles infinis. Même si nous ne savons pas si l'Univers est fini ou non, nous ne prenons pas de grands risques en affirmant que l'ensemble des événements observables au cours d'une expérience ne dépend que d'un nombre fini de causes. Nous devrions donc être capables de répondre à toutes les questions en utilisant seulement des ensembles finis. Bien que cela soit aussi vrai du jeu d'échecs, personne n'a jamais trouvé de méthode pour gagner systématiquement. Les ensembles finis sont le royaume de la contingence et du hasard : nous pensons bien les comprendre mais, quand ils sont trop grands, nous n'en avons plus aucune intuition. Au contraire, les ensembles infinis, en particulier les ensembles continus, sont symétriques, homogènes et se prêtent facilement à l'abstraction. Bien sûr, pour les utiliser, nous devons renoncer à pouvoir tout découvrir.

Fabien BESNARD, Paris

Électrothérapie

Thierry Viéville écrit, à propos des appareillages de commande cérébrale des ordinateurs (voir *Des signaux nerveux pour commander les ordinateurs*, par Hugh Lusted et Benjamin Knapp, *Pour la Science*, décembre 1996) que les mêmes électrodes «ont servi à anéantir le cerveau de nombreux humains classés comme fous, avec ces trop célèbres électrochocs». En fait, aucune atteinte cérébrale n'a jamais été provoquée par cette technique seule, quand elle est réalisée dans des conditions correctes.

Les indications majeures des électrochocs, ou électroconvulsivothérapie, sont la dépression sévère résistante mettant en jeu le pronostic vital (c'est alors le traitement le plus efficace en prenant en compte les effets secondaires) et chez les patients fragiles ne supportant pas les thérapeutiques médicamenteuses. Il ne s'agit donc pas de

«fous» issus d'une quelconque «nef» du Moyen Âge.

Philippe GAILLARD, Tours

Réponse de Thierry Viéville

L'électroconvulsivothérapie n'a pas d'effets néfastes si elle est réalisée dans des conditions correctes : c'est le point fondamental. Cette pratique est délicate à réaliser et est réservée à des indications précises.

L'électroconvulsivothérapie d'aujourd'hui et les électrochocs pratiqués il y a plus de 20 ans sont deux techniques différentes. C'est de la seconde dont j'ai rappelé l'usage abusif et non spécifique, dans le passé et surtout aux États-Unis. Ces débordements sont révolus, mais on voit bien, à la protestation légitime de P. Gaillard, qu'ils entachent encore la réputation des bonnes techniques qui en sont issues. Ils ne sont pas le seul exemple de mauvaise utilisation d'une bonne technique : au début de la radiothérapie, on avait prescrit les rayons X comme «thérapie universelle», détruisant des organismes avant d'en faire le bon usage actuel.

Grand premier

Les nombres de Mersenne sont de la forme $2^n - 1$, où n est un entier naturel, et non $2^n + 1$ (voir *Brèves*, *Pour la Science*, janvier 1996). Si le nombre $2^n - 1$ est premier, alors n est lui-même premier, mais la réciproque n'est pas toujours vraie. Pour prendre un exemple simple, $2^{11} - 1$ n'est pas premier.

En outre, le nombre de Mersenne où n est égal à 1 398 269 s'écrit avec beaucoup plus de 400 chiffres. En effet, le nombre de Mersenne pour n égal à 3 217 s'écrit déjà avec 969 chiffres.

A. BERGER, Venelles

Le nombre de Mersenne pour n égal à 1 398 269 est bien le 35^e connu. Son rang dans la suite est peut-être plus grand : des tests systématiques n'ont été pratiqués que pour les nombres inférieurs à 559 000, et de nouveaux nombres de Mersenne pourraient s'intercaler. En outre, $2^{1\,398\,269} - 1$ s'écrit avec 420 921 chiffres (soit un peu moins que le nombre de caractères que contient cette revue).

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. L'adresse de *Pour la Science* sur Internet est 101641.3525@compuserve.com. Indiquez *Tribune* dans la

JEU-CONCOURS

PIERRE TOUGNE

N°32

LE MEILLEUR POINT DE VUE DE SATURNE

Comme chacun sait, la planète Saturne est entourée d'anneaux que les Saturniens ne se lassent pas

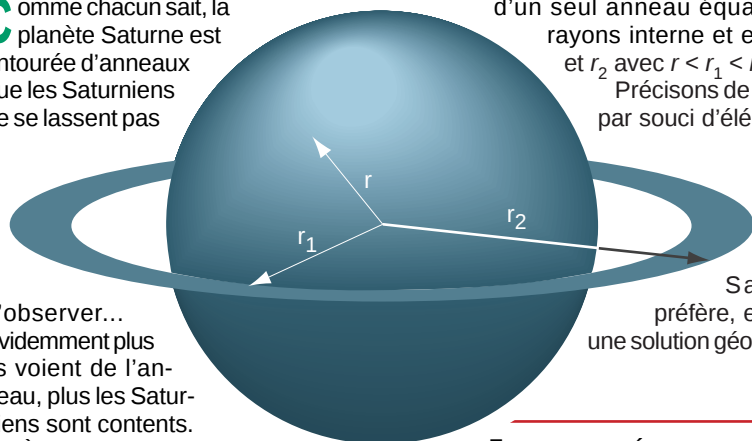
d'observer...

Évidemment plus ils voient de l'anneau, plus les Saturniens sont contents.

À quelle latitude doit se placer le Saturnien pour avoir le meilleur point de vue, c'est-à-dire voir l'anneau sous le plus grand angle possible, et quel est cet angle? Pour simplifier notre problème, nous supposons que Saturne est une sphère de rayon r entourée

d'un seul anneau équatorial de rayons interne et externe r_1 et r_2 avec $r < r_1 < r_2$.

Précisons de plus que, par souci d'élégance, le



Saturnien préfère, et de loin, une solution géométrique.

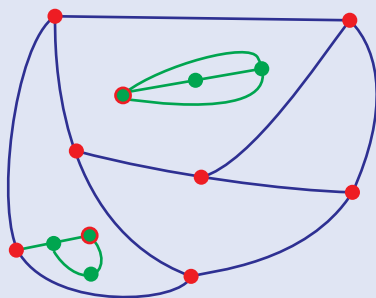
Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à *Pour la Science*, 8, rue Férou, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de février 1997, dix gagnants tirés au sort recevront le livre *Les abeilles*, coll. Univers des Sciences.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N°30

Pour obtenir le nombre de coups maximum dans un jeu de couplage avec n points, il suffit de remarquer que chaque point de départ a trois possibilités de couplage, soit au total $3n$ possibilités. D'autre part, à chaque coup, on supprime deux possibilités de couplage avec l'arc joignant les deux points (ou le point à lui-même). En revanche, le point ajouté sur cet arc en acquiert une, soit au total une diminution des possibilités d'une unité. Quand le jeu s'arrête, le dernier point créé a encore une possibilité de couplage dont le nombre maximum de coups est $3n - 1$.

Le nombre minimum de coups est un peu plus délicat à obtenir.

Nous raisonnerons par récurrence. Désignons par C_{n-1} ce nombre pour $n - 1$ points. Le jeu étant terminé, il ne reste que des points ayant épuisé leurs



possibilités de couplage ou des points ayant une possibilité de couplage, mais séparés par un arc infranchissable. Si l'on ajoute un point libre, soit il ne peut se coupler à aucun autre point et l'on n'aura que deux coups supplémentaires en le connectant à lui-même, soit on peut le coupler

à un point ayant une possibilité de liaison, mais là encore le nouveau point créé ne pourra se coupler qu'au point ajouté et la partie sera encore terminée en deux coups. On a donc $C_n = C_{n-1} + 2$. Comme $C_1 = 2$, on montre facilement que $C_n = 2n$.

France Culture
et
Pour la Science

vous invite
au Palais
de la Découverte
à l'enregistrement

des Inattendus
de la science

Samedi
8 février 1997
à 15h

*L'apport inattendu
des fractales*

avec Benoît Mandelbrot
l'inventeur des fractales,
mathématicien et professeur
à Yale

Invitations à demander
au 08 36 68 10 99 (2,23F/mn)



Palais de la découverte

POUR LA
SCIENCE

Les migrations

HERVÉ LE BRAS

Le monde politique reste rarement serein quand il évoque le problème des migrations internationales.

Dans *La grande migration*, l'essayiste allemand Hans Magnus Enzensberger écrit : «Au lieu de guerres coloniales organisées étatique-ment, au lieu de campagnes de conquête et au lieu de déportations, on va sans doute assister à des migrations massives de caractère moléculaire» (c'est-à-dire analogues au mouvement des gaz, des hautes pressions vers les basses pressions). Tout indique aujourd'hui, au contraire, que les migrations prochaines seront moins massives que celles de la fin du XIX^e siècle ou des années 1960 et qu'elles suivront des processus politiques et économiques subtils et différenciés.

L'émoi suscité par les migrations tient en grande partie à la complexité des mouvements actuels : des tendances anciennes, en voie de résorption, vagues migratoires et liens coloniaux, coexistent avec des tendances nouvelles, drainage des cerveaux, mobilité des populations industrialisées et réfugiés de guerres civiles. Passons en revue ces divers flux.

Depuis deux siècles, les migrations se déroulent selon un schéma assez uniforme : des individus partent d'abord seuls pour travailler à l'étranger ; puis, à mesure qu'ils s'intègrent à l'économie du pays d'arrivée, ils font venir leur famille, montent dans l'échelle sociale et perdent finalement le contact avec leur pays d'origine. Cette histoire fut celle des Italiens et des Belges qui s'installèrent en France au début du siècle, puis des Polonais importés par le patronat durant l'entre-deux-guerres ; elle se produit aujourd'hui pour les Algériens arrivés en France il y a 30 ans (ils sont passés de 805 000 en 1982 à 650 000 en 1990) ou pour les Italiens en Suisse (405 000 en 1983, 365 000 en 1993).

La vague s'étale aussi dans l'espace. Alors que les migrants venus d'un pays donné se concentrent d'abord dans un seul pays d'arrivée et dans quelques métiers, ils diffusent ensuite, progressivement dans les pays voisins et vers des métiers autres.

Les migrations empruntent la voie de contacts habituels, entre pays frontaliers et au sein des empires coloniaux. Ainsi Marocains, Algériens et Tunisiens sont-ils deux fois plus nombreux en France que dans le reste de l'Europe (1,4 million et 0,7 million respectivement ; les

Indiens sont majoritairement installés en Grande-Bretagne, les Indonésiens aux Pays-Bas, etc. Cette observation contredit sérieusement une théorie moléculaire de la migration.

Les vagues migratoires qui viennent d'être citées ont déjà culminé et semblent devoir décliner dans les prochaines années. En revanche, un régime traditionnel de migration se prolongera en provenance de l'Afrique subsaharienne, car la vague a commencé récemment.

VAGUES OU VAGUELETTES?

Les migrants sont aujourd'hui bien moins nombreux qu'au début du siècle, en valeur absolue comme en proportion. En 1907, 1,3 million de personnes entrèrent légalement aux États-Unis ; de 1900 à 1915, la moyenne annuelle des entrées fut de un pour cent de la population totale, tandis qu'elle ne dépasse pas 0,3 pour cent pour la dernière dizaine d'années. De même, une proportion considérable de la population quittait les pays d'émigration : 1,4 pour cent de la population de l'Irlande quittait le pays chaque année entre 1871 et 1901, et 2,1 pour cent des Italiens s'expatriaient entre 1906 et 1914. Si la migration des Indiens ou des Chinois était aujourd'hui identique, plus de 40 millions d'immigrants gagneraient annuellement les pays industrialisés.

En 1960, à la création du Haut-Commissariat des Nations unies pour les réfugiés, ces derniers étaient 1,5 million ; ils sont estimés à plus de 20 millions en 1994. À ce rythme, ils pourraient constituer la majorité des résidents étrangers dans le monde, au cours des prochaines années. Les réfugiés sont des gens pauvres qui ne peuvent pas fuir très loin des frontières de leur pays. Quand ils parviennent à gagner les pays industrialisés, leur sécurité n'est pas acquise pour autant, car l'augmentation rapide du nombre des demandes de droit d'asile a suscité un changement de législation dans la plupart des pays industrialisés.

Ceux-ci ne paraissent d'ailleurs pas menacés par l'afflux des réfugiés : plusieurs experts avaient prévu des dizaines de millions de réfugiés en provenance de l'Est, après l'effondrement des régimes communistes, mais les mouvements ont été 10 ou 20 fois inférieurs aux prévisions, et ont principalement concerné

les Allemands «ethniques», vivant encore dans ces pays. La migration entre pays industrialisés et le drainage des cerveaux seront probablement le principal phénomène migratoire futur. La mondialisation des échanges de marchandises entraîne, dans son sillage, la mondialisation de nombreuses professions. Déjà, près de 1,5 million de Français et plus de 5 millions d'Américains vivent en permanence en dehors de leur pays natal ; en passant de 83 000 à 110 000 entre 1983 et 1993, les Américains sont devenus la troisième nationalité étrangère en Grande-Bretagne. D'autre part, les personnes en provenance des pays en développement ont une qualification de plus en plus élevée : de plus en plus d'étudiants venus du Sud restent dans les pays du Nord, où ils ont fait leurs études.

Il est devenu courant de parler d'évolution économique «en sablier» dans les pays occidentaux, pour signifier que les personnes à très bas revenu et à très haut revenu deviennent de plus en plus nombreuses, tandis que les classes moyennes s'effritent. On peut étendre le constat aux migrations. Durant les deux derniers siècles, ce sont des classes moyennes qui ont émigré pour parer la descente sociale qui les menaçait dans leur pays d'origine. Arrivées pauvres dans les pays neufs ou en France, elles ont pris une «revanche sociale» en s'élevant dans la société d'accueil.

Désormais, au contraire, ce sont les classes les plus riches et les plus pauvres qui se déplacent. Les plus riches se trouvent partout chez eux, selon la devise des hôtels Sheraton. Les plus pauvres ne peuvent franchir que quelques dizaines de kilomètres avant de s'entasser dans des camps de réfugiés à la frontière d'un pays où leur vie a été mise en danger. Ce changement de nature des migrations tient au bouleversement du marché du travail : les mécanismes d'ascension sociale sont devenus plus longs et plus sélectifs dans les pays industrialisés. Pour les classes moyennes des pays en développement, il devient plus rentable de tenter sa chance sur place que d'émigrer.

Hervé LE BRAS est directeur du Laboratoire de démographie historique à l'École des hautes études en sciences sociales.

Rapport SOPEMI, Paris, OCDE, 1995.

H. M. ENZENSBERGER, *La grande migration*, Gallimard, 1995.

***Population migration and the changing world order*, sous la direction de W. T. S. Gould et A. M. Finlay, Academic Press, 1994.**

Les inattendus de l'informatique

JEAN-MARIE SOURIAU

Il est surprenant que l'informatique nous ait permis de mieux connaître nos propres processus de réflexion et d'apprentissage. Le dialogue homme-ordinateur augmente les possibilités de l'ordinateur et améliore l'analyse de nos facultés cognitives.

En informatique, l'inattendu est la règle, la prévision exacte, l'exception. D'abord pour ce qui est des possibilités. Les ingénieurs pensaient, dans les années 1960, que les circuits intégrés ne fonctionneraient jamais, car les transistors n'étaient pas assez fiables individuellement pour être groupés par milliers sans panne générale. Cette impossibilité a été balayée en quelques années par les progrès de la technique.

Ensuite pour ce qui est des besoins. Les industriels de l'informatique pensaient que deux ou trois calculateurs de l'époque, de la puissance d'un micro-ordinateur actuel, suffiraient à l'ensemble des scientifiques. Depuis on a multiplié par des milliards la puissance de calcul nécessaire à l'industrie et la recherche.

Enfin, pour ce qui concerne les utilisations. Nul prévisionniste n'a prévu l'expansion des micro-ordinateurs, comme machine à écrire intelligente et comme support de jeu. Parallèlement, aucun mathématicien ne pensait que l'ordinateur lui apporterait une aide importante : en 1976, apparaissait la première preuve par ordinateur, et l'informatique aide aujourd'hui le mathématicien pour les routines calculatoires et l'examen systématique et exhaustif des configurations.

LE NUCLÉAIRE ET L'INFORMATIQUE

En cette fin de siècle, propice aux bilans, une conclusion s'impose : l'industrie nucléaire et l'informatique sont les grandes industries du siècle. Le développement de la première était entièrement prévisible, l'expansion de la seconde totalement imprévue.

L'expérience de Becquerel et les travaux de ses continuateurs prouvaient

l'existence d'une énergie inattendue à l'intérieur des atomes, énergie que les physiciens ont maîtrisée puis exploitée. La formule d'équivalence $E = mc^2$, les expériences de Rutherford et des Curie sur les atomes, la découverte par Frédéric Joliot-Curie de la radioactivité artificielle, ont placé les physiciens, puis les ingénieurs, sur les rails du développement de l'industrie nucléaire, militaire et civile : le projet Manhattan a été mené à bien dans les délais, et l'aboutissement était prévu. Cette prévisibilité est mesurée par la science-fiction, un excellent thermomètre de l'imagination. Parmi les ouvrages de science-fiction des années 1930, un livre s'appelait *On va faire sauter Paris* : il décrivait assez précisément la bombe atomique. Au contraire, dans les œuvres de science-fiction des années d'après-guerre toutes les anticipations du calcul de l'ordinateur sont ridiculement timorées. La science-fiction fantasmait sur la robotique, sur des machines imitant l'homme ; aucune œuvre ne décrivait l'ordinateur portable et ses fonctions.

LES BALBUTIEMENTS DE L'INFORMATIQUE

Les travaux des pères fondateurs de l'informatique datent d'avant-guerre. Le mathématicien anglais Turing fut l'un des précurseurs. Dans les années 1936, il imagine une machine «virtuelle» qui lui permet d'établir des concepts importants et de poser les questions fondamentales, la notion de calculabilité par exemple : qu'est-ce qui est calculable, qu'est-ce qui ne l'est pas ? Un autre mathématicien John von Neumann pense, dans les années 1940, l'architecture des ordinateurs modernes. L'informatique pratique naît pendant la guerre, imposée par des

nécessités de calcul scientifique sur les réactions nucléaires.

Dans les années 1946-1948, j'étais ingénieur dans un grand organisme de recherche et le centre de calcul scientifique était un bureau où travaillait une dizaine de personnes, chacune d'elles munie d'une machine à calculer à manivelle, genre machine de Pascal améliorée. Pour faire une multiplication par 748, il fallait donner sept coups de manivelle, déplacer le chariot, faire quatre tours, déplacer le chariot, et enfin donner huit tours de manivelle. Cela prenait 15 à 30 secondes. On se rendait bien compte qu'il fallait automatiser ce calcul, notamment la rotation de la manivelle.

Aux États-Unis, les premiers ordinateurs incorporent ces automatismes, mais, pour réaliser un programme, il fallait relier les éléments avec des fils de câblage, comme dans les centraux téléphoniques de l'ancien temps. J'ai assisté à une démonstration qui se passait place Vendôme, au siège d'IBM. En un quart d'heure, le démonstrateur a déterminé les solutions d'une équation du troisième degré avec six décimales exactes. La fabrication avait demandé au programmeur une bonne semaine de travail de branchement.

On a réussi ensuite des programmations moins astreignantes à l'aide de cartes perforées où les trous symbolisaient les branchements : un programme était un paquet de cartes perforées semblable aux programmes musicaux des orgues de barbarie ou les cartes des métiers à tisser. Un progrès notable a été de s'affranchir du support papier pour transmettre les instructions. Parallèlement le microprocesseur a permis la miniaturisation et avec elle la puissance de calcul, la vitesse d'exécution et la diminution des coûts. Toutefois l'architecture d'un ordinateur actuel, à part quelques petits détails importants techniquement, mais secondaires conceptuellement, n'a pas évolué par rapport à l'Eniac, le premier ordinateur à tubes électroniques.

LA PUISSANCE : UN CHANGEMENT QUALITATIF

Ce que n'ont pas vu la plupart des décideurs, c'est que l'augmentation de la puissance de calcul permettait des actions spectaculaires. Les décideurs politiques français ont été particulièrement aveugles car ils ne connaissaient rien à la technique et se réfugiaient dans les idées générales. Quand les décisions concernant une nouvelle technique sont prises par des personnes incompétentes, il est clair qu'ils visent mal. Les décisions prises ont un semblant de logique, mais les prévisions passent à côté de toutes les cibles

par méconnaissance des possibilités d'innovation. Quel énarque aurait pensé aux traitements des images par l'informatique ?

Les machines actuelles multimédia fonctionnent parce qu'un ordinateur peut calculer 50 millions de cosinus par seconde et ainsi calculer une image avec tous les éclairages et la puissance du traitement est telle qu'on ne distingue plus les images virtuelles des images réelles. Actuellement, aux États-Unis, on vend autant d'ordinateurs que de téléviseurs, ce qui montre la concurrence du virtuel calculé et du réel.

Il y a eu d'autres effets inattendus de la révolution informatique. Ainsi l'horlogerie. Il y a 25 ans les professionnels pensaient : « Il n'est pas possible de réaliser des petites montres-bracelets autrement que par les dispositifs traditionnels, les montres en mécanique à échappement ». La disparition partielle du métier d'horloger était complètement inattendue dix ans avant qu'elle se produise. Des quantités de métiers disparaissent ou sont profondément modifiés par l'emploi d'un microprocesseur. Même la musique : le terme de musique techno est significatif. Il est assez ridicule de dire c'est bien ou c'est mal. Nous vivons une révolution : l'essentiel est de la comprendre.

LE MATHÉMATICIEN ET L'INFORMATICIEN

Les scientifiques étaient-ils armés pour prévoir ce qui allait se passer ? Les mathématiciens, qui auraient dû être intéressés au premier chef, n'ont rien vu venir, à part quelques exceptions. Ils ne voulaient pas entendre parler de ces machines calculantes. J'ai des amis, mathématiciens

de très haut niveau, qui n'ont jamais touché un ordinateur autrement que pour faire du traitement de texte. Pour eux, l'utilisation de l'informatique était une humiliation. Pourquoi ? Peut-être parce que les mathématiciens se préoccupent essentiellement de l'infini et que l'ordinateur, pensaient-ils, ne fera jamais qu'un calcul fini. Il se trouve toutefois qu'entre les pratiques des mathématiciens concernant l'infini et les algorithmes des informaticiens, les liens sont plus profonds qu'on ne pouvait le croire.

Avec un calcul fini, un algorithme, Euclide a démontré qu'il y a un nombre infini de nombres premiers. Euclide suppose qu'il existe un plus grand nombre premier p . Il construit alors le produit des nombres premiers inférieurs à p auquel il ajoute 1. Ce nombre est soit premier, et alors plus grand que p , ou est divisible par un nombre premier supérieur à p . Donc pour tout nombre premier, il en existe un qui est plus grand et le mathématicien tout réjoui énonce : l'ensemble des nombres premiers est infini. Avec un raisonnement court, fini, il est parvenu à un résultat infini. Cette stratégie s'appelle la récurrence ou plutôt, chez les informaticiens, la récursivité.

Pour passer du fini à l'infini, l'informaticien transforme une donnée en variable. Prenons un exemple tout à fait différent, le jeu des chiffres et des lettres. On donne des chiffres et six plaques sur lesquelles est écrit 50, 9, 3, 100, 25 et 4 ; avec les quatre opérations, l'addition, la soustraction, la multiplication et la division quand elle tombe juste, il faut obtenir un certain résultat, ici 531. Peut-on écrire un programme informatique qui résolve ce problème ? Nous souhaitons

traiter ce problème par récursivité, mais récursivité sur quoi ? Rien ne bouge ! Alors là, il faut faire un acte de création, imaginer une règle infinie qui contiendra cette règle finie. On suppose tout simplement que le nombre des plaques est une variable dénommée p . Si nous savons résoudre le problème avec p plaques, nous saurons très bien résoudre le problème avec $p + 1$ plaques. Autrement dit, pour résoudre le problème à p plaques, il suffira de résoudre le problème à $p - 1$ plaques, pour résoudre le problème à $p - 1$ plaques, on examine le problème à $p - 2$ plaques, etc.

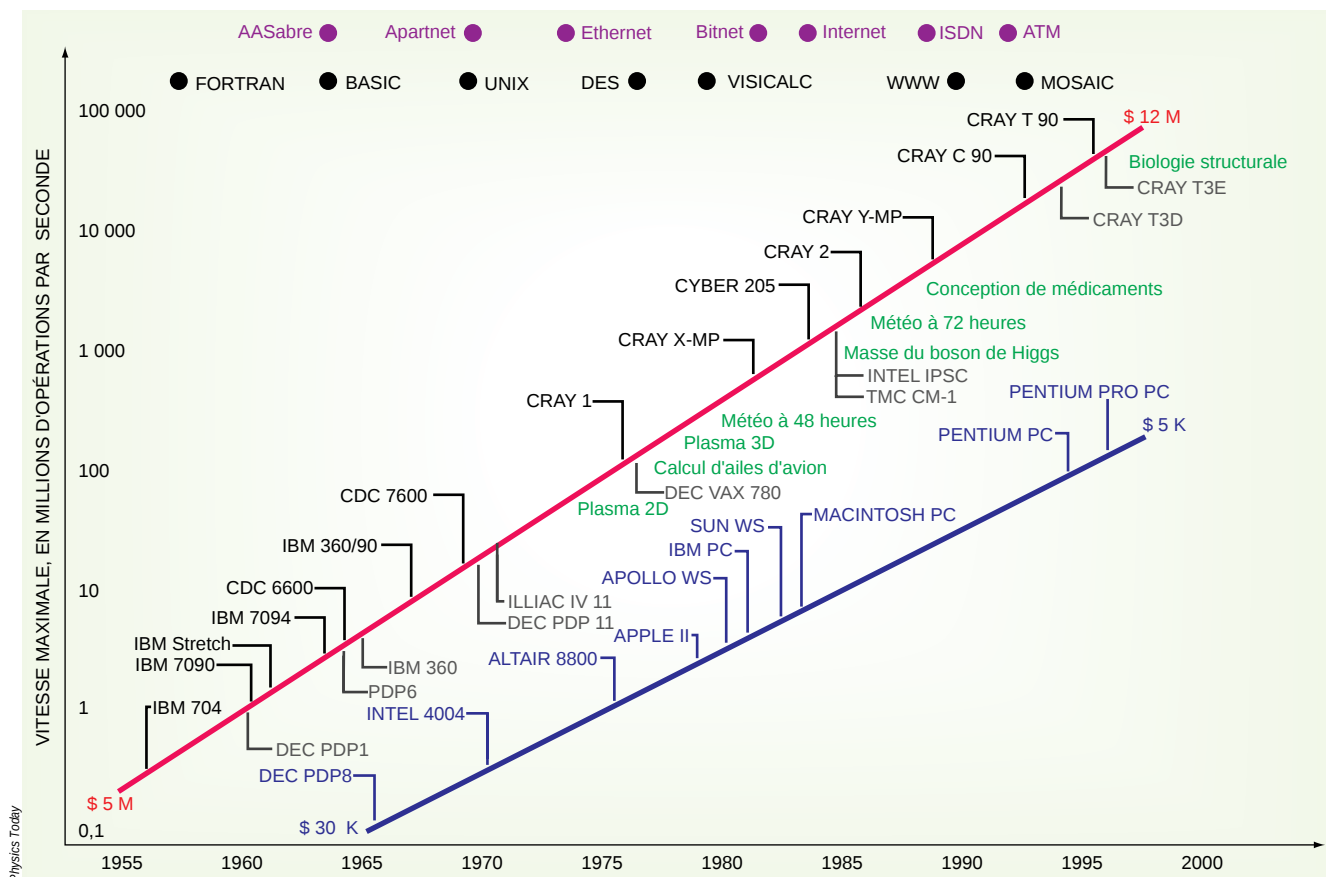
Autrement dit, dans le jeu des chiffres et des lettres, le programme prend deux plaques et il les remplace par une seule, mais cette plaque est une variable dont la valeur peut prendre tous les résultats des quatre opérations sur les couples de nombres des deux plaques. La démarche consiste ainsi à ramener le problème à p plaques à beaucoup de problèmes à $p - 1$ plaques. Et la machine continue ainsi en diminuant le nombre des plaques. Pour chaque opération, elle compare le résultat obtenu avec 531 et s'arrête quand elle a une coïncidence. Si elle n'a pas de coïncidence après avoir examiné toutes les possibilités, le problème est impossible.

Pour résoudre un problème fini d'informatique, la bonne méthode de programmation consiste à l'envisager comme un problème infini. Les mathématiciens ne se rendaient pas compte que les informaticiens adoptaient la même tactique qu'eux : transformer un nombre en une variable, ce qui revient à faire un détour vers l'infini. Quand on vous raconte la règle du jeu, vous entendez le nombre



Il dit que notre intelligence est réelle, et que la nôtre est artificielle...

Derrière tout grand homme, il y a un grand ordinateur...



Évolution de l'informatique depuis 1955. On a distingué les performances des grands ordinateurs et des ordinateurs personnels.

6, mais vous savez que ce n'est pas très important. Vous savez déjà que ce nombre pourrait être variable et la récursivité fait ainsi partie de notre pensée. La démarche utilisée est proche de celle d'Euclide pour démontrer qu'il y a un nombre infini de nombres premiers.

Dans l'exemple que je vous ai donné, la solution relativement difficile à trouver est la suivante : on commence par multiplier 50 par 100, on trouve 5 000, on ajoute 4, on obtient 5 004. On divise par 9, ce qui donne 156, et, ô merveille, 556 moins 25, est égal à 531, le résultat cherché.

LA MACHINE DÉVOILE NOTRE PENSÉE

Ce qui est inattendu, c'est que le dialogue homme-machine nous renseigne sur notre façon de penser. Et sur une nouvelle manière de concevoir certaines démonstrations de théorèmes. Ainsi, des mathématiciens ont utilisé l'informatique pour démontrer des théorèmes, le théorème des quatre couleurs par exemple. Alors l'aide de l'informatique est précieuse, si elle est bien employée. Il me semble que le mathématicien doit interroger lui-même la machine, c'est-à-dire programmer son problème, sans laisser ce soin

à d'autres. S'il laisse la programmation à un programmeur, il se crée deux espèces d'individus, les uns qui savent une chose et les autres qui en savent une autre, et c'est très dangereux pour l'avenir de l'humanité. Il est infiniment préférable et plus efficace que les scientifiques connaissent les deux approches pour les faire progresser en synergie.

D'autres progrès décisifs dans l'utilisation de l'informatique ont été les icônes et les fenêtres. On croit trop souvent que c'est Apple qui a inventé ces possibilités de conversation, en fait ce sont des ingénieurs de la Société Rank Xerox qui désiraient classer des documents. Les relations homme-machine s'amélioreront encore avec les machines à reconnaissance vocale et à reconnaissance de caractère. Personne n'avait prévu ces moyens de conversation : ils cachent à l'utilisateur le fait qu'il y a un calcul derrière.

La reconnaissance des caractères introduit de nouvelles techniques de programmation utilisant des réseaux de neurones. Dans cette technique, le programme doit être éduqué. Il demande à Monsieur Dupont, son acquéreur, d'écrire quelques phrases. Le programme examine cette information, et au bout d'un certain temps la machine sait lire l'écriture de M. Dupont. Jamais le programmeur

n'a dit : il y a des 0, des courbes fermées, des points sur les *i*. Il a dit à la machine, éduquez-vous vous-même et la façon dont elle s'éduque c'est son affaire, ce qui importe c'est qu'elle obtienne les résultats analogues aux nôtres. Nous réfléchissons sans savoir comment notre cerveau travaille, et ces programmes font de même. Nous ne savons pas, ni sous quelle forme, ni comment ils ont mémorisé l'information.

Des travaux de ce genre sont à l'origine de ce qu'on appelle les neurosciences, les sciences cognitives. Évidemment neurosciences, sciences cognitives, c'est un peu ronflant, et parfois le refuge des farfelus. Je pense néanmoins que c'est une discipline riche de promesses.

Les machines nous enseignent des aspects de notre propre pensée, et c'est cela qui était inattendu...

Jean-Marie SOURIAU est mathématicien, physicien et cosmologiste, professeur émérite à l'Université de Provence.

Ce texte est une transcription du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France Culture le 5 février 1997, à 9h05.

Les inventions insolites d'Edison

NEIL BALDWIN

Le père du phonographe et de l'ampoule électrique a déposé plus de 1 000 brevets.

L'employé des chemins de fer de la gare de Saint Clemens, Mackenzie, raconte : «Le train manœuvrait. Il était allé prendre un wagon sur la voie de garage et lui avait donné une poussée suffisante pour que, tout seul, il rejoigne le fourgon sur la voie principale. [Edison], resté sur le quai, se retourna par hasard et vit mon petit Jimmy, inconscient du danger, qui jouait sur cette voie. Il jeta sa casquette ainsi que les journaux qu'il avait sous le bras, et se précipita au péril de sa vie pour sauver son petit ami. Ils plongèrent de la voie au moment où le wagon arrivait. On les

retrouva la figure incrustée de cailloux du ballast.» Pour le remercier, Mackenzie lui offre de lui apprendre la télégraphie. Peu après, Edison devient télégraphiste ambulant. Ces télégraphistes louaient leurs services au plus offrant, changeant d'emploi souvent sur un coup de tête. Plusieurs de ceux qui deviendraient des capitaines d'industrie à la fin du XIX^e siècle commencèrent par être télégraphistes ambulants.

À Stratford Junction, Edison fait partie de l'équipe des télégraphistes de nuit. Comme il consacre ses journées à ses expériences, il s'arrange à prendre le maxi-

mum de repos pendant son service. Il lui faut s'affranchir du signal qu'il doit envoyer toutes les heures pour montrer qu'il est à son poste, bien éveillé. Il monte une roue à encoches sur un réveil et, à chaque heure, la roue établit les contacts nécessaires pour envoyer le signal.

Les inventions les plus célèbres d'Edison sont le phonographe, l'ampoule électrique et la caméra, mais cet inventeur a déposé plus de 1 000 brevets en 60 ans. Dépourvu de bases scientifiques solides, il a su s'entourer des meilleurs scientifiques et ingénieurs. Il remplit des centaines de cahiers de laboratoire, mais tous ses projets n'ont pas abouti. Il perdit notamment deux millions de dollars dans l'exploitation d'une carrière de minerai de fer : le minerai était broyé et coulait devant un aimant qui attirait le fer. Malheureusement, le prix du fer s'effondra après la découverte d'un minerai très riche, dans le Nord du Minnesota ; l'usine dut fermer, car son procédé d'extraction n'était plus rentable.

Inventeur infatigable, il était sans cesse en train d'imaginer de nouveaux procédés, et de cultiver ce qu'il nommait son «art». Il ne reconnaissait jamais qu'il s'était trompé, toujours poussé à aller de l'avant, sans se demander si son invention serait réalisable dans la pratique.

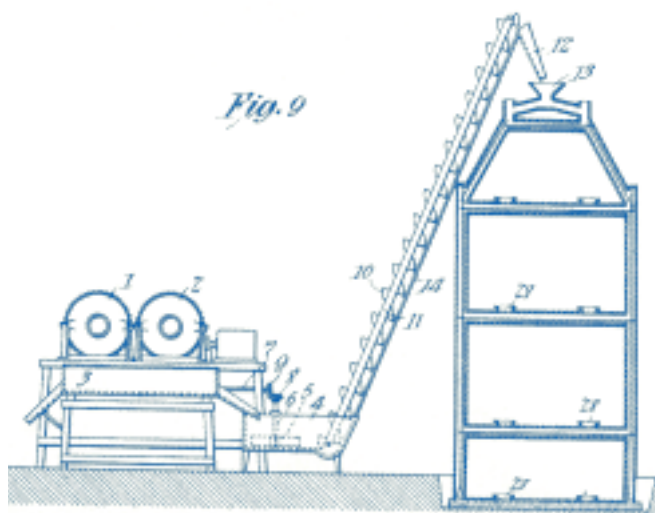
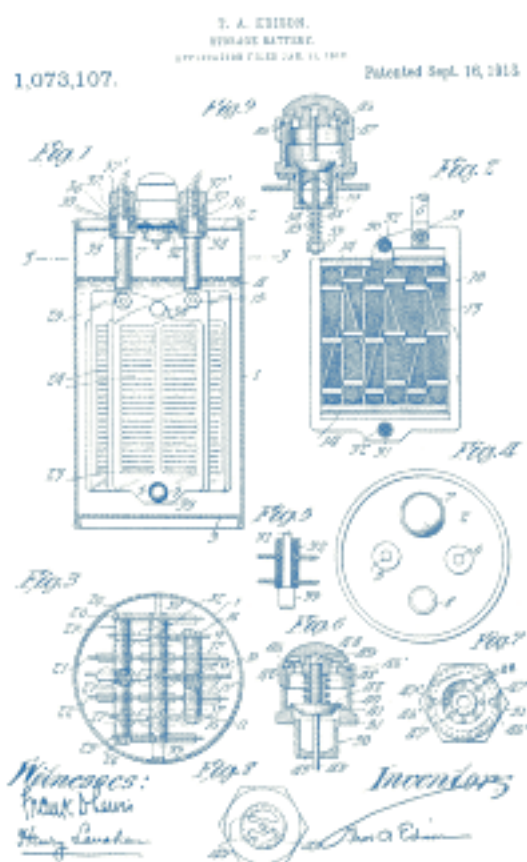


Au début de 1876, Edison (le sixième en partant de la gauche, avec un bonnet) veut fonder un laboratoire de recherche industrielle. Il découvre à Menlo Park, à 40 kilomètres de New York, un petit groupe de maisons au milieu des fermes et des champs. Edison achète la plus grande et fait construire un long bâtiment en bois à un étage pour le laboratoire, un atelier de mécanique et une petite menuise-

rie. Il y réunit des scientifiques de renom et, quatre ans après son ouverture, le laboratoire compte 200 personnes. Ce sera le berceau du phonographe et de la lampe à incandescence. Au deuxième étage du laboratoire principal, sont entreposées 2 500 bouteilles contenant des produits chimiques. Un orgue (au fond) est le point de rassemblement des chercheurs, après leur travail.

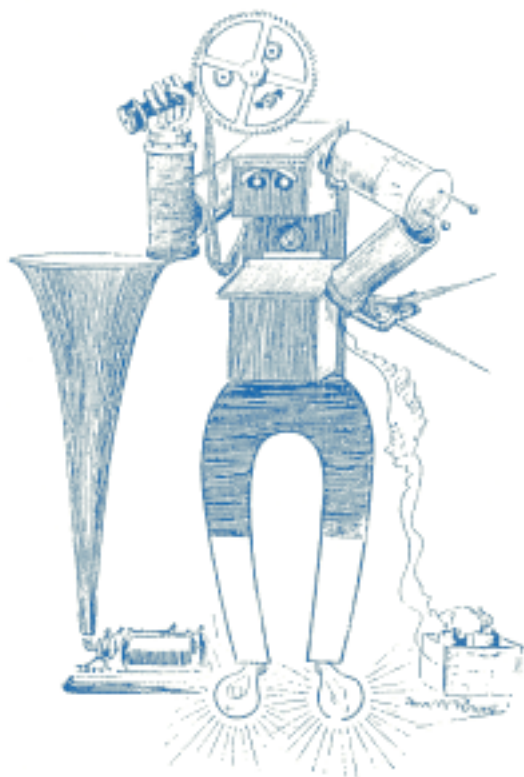


Conscient des menaces de pollution posées par l'industrialisation croissante, Edison déclare que «L'avenir appartient à la voiture électrique», bien que son ami Henry Ford ait notablement amélioré le moteur à combustion. Avec ses collègues, il met au point une batterie à accumulation : il remplace la solution d'acide sulfurique dans laquelle plongeaient les électrodes par une solution aqueuse. La batterie est rapidement rechargeable et représente une source d'énergie «propre». Cette voiture de la *Compagnie Bailey* datant de 1910 (ci-dessus) est équipée de la batterie d'Edison (schéma à droite). Le slogan publicitaire affirme que la voiture a une autonomie de près de 2 000 kilomètres grâce aux nouveaux accumulateurs d'Edison.



Edison imagine la maison en béton moulé. En août 1908, il dépose un brevet : «L'objet de mon invention est de réaliser un bâtiment de béton, en le coulant d'une seule pièce. L'ensemble – les murs, le toit, les cloisons, les planchers – constituera une seule masse. Le moule serait fait d'éléments en fonte, montés de façon à ménager le vide où serait coulé le ciment (ci-dessus). Pour augmenter la résistance, on noierait des fils métalliques, par endroits dans le ciment.» C'était la première fois que l'on préconisait l'emploi de béton armé aux États-Unis. Un fois le béton pris, le moule serait démonté, libérant la maison achevée (à droite, une maquette). Une maison fut effectivement construite. Six jours après avoir coulé le béton, on retira le moule. Il ne restait plus qu'à aménager portes et fenêtres et à installer la plomberie et l'éclairage. Pourtant, malgré la rapidité de construction et les propriétés isolantes du matériau, la maison en béton moulé n'obtint pas la faveur du public.





Edison (*en haut, à gauche*) était la cible des caricaturistes, qui l'ont représenté, vers 1890, sous le titre «Le magicien de Menlo Park» (*ci-contre*). Il était symbolisé par ses inventions les plus célèbres : le phonographe, l'ampoule électrique, un récepteur téléphonique amélioré et une caméra cinématographique. Parmi ses autres inventions, la poupée qui parle (*ci-dessus*) : on introduisait, dans la poupée, un cylindre de phonographe miniaturisé qui était actionné par une clé que l'on remontait dans le dos. L'usine produisait 500 poupées par jour. Les acheteurs avaient le choix entre plusieurs chansons enfantines, enregistrées par les ouvrières de l'usine. Le nouveau phonographe reproduisait fidèlement la voix humaine.

Neil BALDWIN dirige la Fondation américaine de littérature, à New York.

Ronald CLARK, *Edison, L'artisan de l'avenir*, éditions Belin, collection Un savant, une époque, 1986.