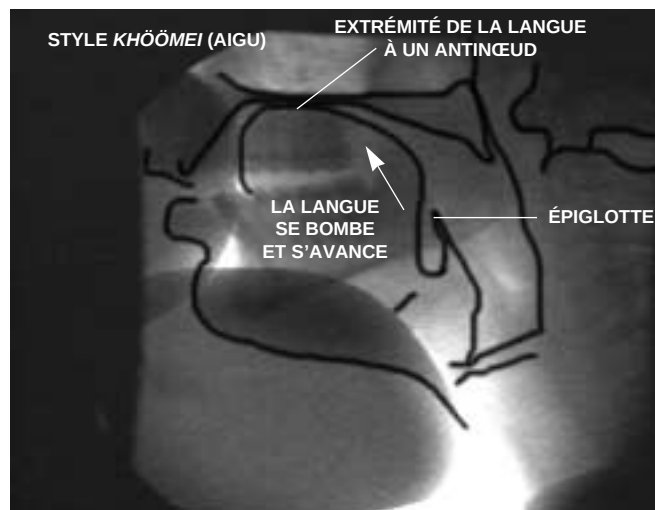
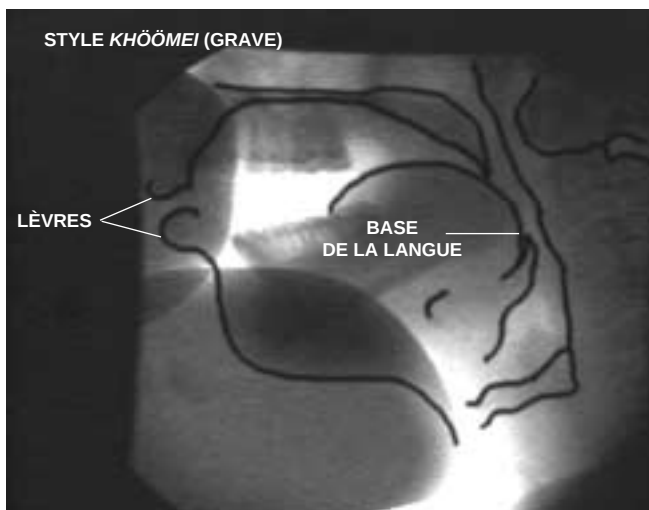
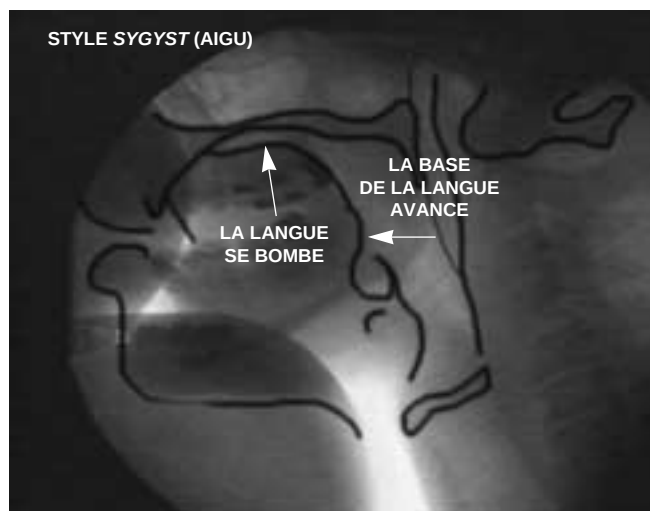
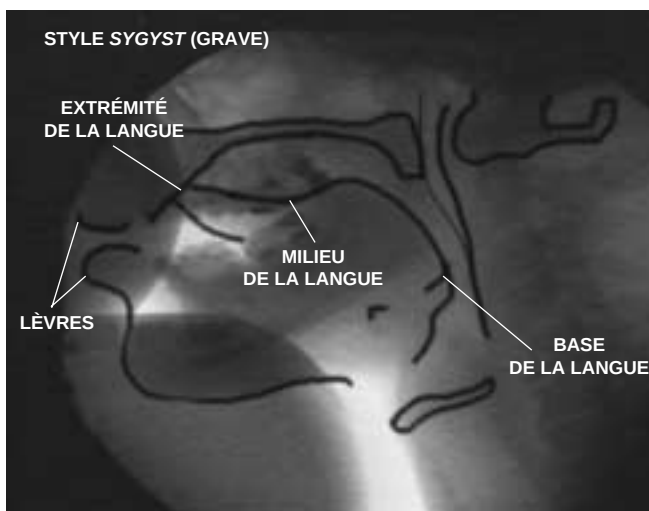




8. LA RADIOGRAPHIE AUX RAYONS X montre le mécanisme du chant de gorge. Dans le style *sygyt* (*en haut*), les chanteurs gardent la pointe de la langue plaquée contre les dents du haut. En bombant la langue et en avançant la base de la langue, ils passent des harmoniques graves

(*en haut, à gauche*) aux harmoniques aiguës (*en haut, à droite*). Dans le style *khöömei* (*en bas*), le ton monte lorsque la langue entière se déplace de la position basse et arrière (*en bas, à gauche*) vers la position haute et avant (*en bas, à droite*).

Les différents styles sont tous inspirés de l'idée esthétique centrale d'imitation des sons. Le chant de gorge n'est que l'un des moyens utilisés par les éleveurs-chasseurs pour interagir avec leur environnement acoustique naturel. Les Touvas emploient également des vocalisations variées pour imiter les cris des animaux sauvages et domestiques. Ils jouent d'instruments tels l'*ediski*, un roseau qui imite la femelle du chevreton porte-musc, le

khirlee, une mince pièce de bois que l'on tourne pour reproduire le bruit du vent, l'*amyrga*, un cor de chasse qui simule le brame du cerf, et le *chadagan*, une cithare que le vent fait résonner lorsque les bergers touvas la placent sur le toit de leur yourte. Les joueurs de *khomus*, une sorte de guimbarde, imitent également les sons humains, notamment la parole : les bons joueurs de *khomus* codent des textes qu'un auditeur expérimenté comprend.

C'est toutefois dans le chant de gorge que les Touvas reconnaissent l'aboutissement de l'imitation, l'élément vénéré d'un langage expressif qui commence là où s'arrête le langage parlé. Pour les bergers, il exprime les sentiments de jubilation et d'indépendance que les mots ne peuvent formuler. La paix intérieure s'épanouit au milieu des contraintes les plus strictes, qui sont ici les limites physiques des gammes d'harmoniques.

Theodore LEVIN est professeur d'ethnomusicologie au collège Dartmouth. Michael EDGERTON est compositeur.

Des extraits sonores et vidéo sont disponibles sur le site Internet : <http://www.sciam.com/1999/0999issue/0999levinissue.html>

Trân QUANG HAI et Hugo ZEMP, *Le*

chant des harmoniques, film produit par le CNRS et le musée de l'Homme, 1989.

Ingo R. TITZE, *Principles of Voice Production*, Prentice Hall, 1994.

Mark VAN TONGEREN, *A Tuvan Perspective on Throat Singing*, in *Oideion : The Performing Arts Worldwide*, vol. 2, pp. 293-312, sous la direction de Wim van Zanten et Marjolijn van Roon,

Centre of Non-Western Studies, University of Leiden, 1995.

Galsan TSCHINAG, *Ciel bleu, une enfance dans le Haut-Altai*, Anne-Marie Métailié, 1996.

Theodore LEVIN, *The Hundred Thousand Fools of God : Musical Travels in Central Asia (and Queens, New York)*, Indiana University Press, 1997.



L'enseignement des sciences

WAYT GIBBS • DOUGLAS FOX

Une enquête internationale menée dans une cinquantaine de pays a montré que les lycéens français ont de bons scores en mathématiques. En revanche, ils sont plutôt mal classés en sciences.

Depuis la fin des années 1940, de nombreux pays se lamentent cycliquement : le niveau des étudiants baisse dans les matières scientifiques. Le pessimisme a atteint son paroxysme, aux États-Unis, en 1957, quand l'Union soviétique a lancé le premier *Sputnik*. Les Américains étaient persuadés que les Russes étaient de bien meilleurs scientifiques qu'eux, notamment parce que l'enseignement dispensé aux lycéens était plus rigoureux en sciences et en mathématiques. Puis le Japon les inquiéta : les Japonais, eux, avaient su enseigner les sciences appliquées à leurs étudiants, et ils maîtrisaient désormais les techniques nouvelles.

Si les circonstances qui déclenchent les crises varient, quelques éléments demeurent. Chaque fois, le corps enseignant tire la sonnette d'alarme. De plus en plus de pays se demandent si leur système éducatif est adapté aux valeurs et aux enjeux de leur société. On s'interroge sur les connaissances réellement acquises par les jeunes, sur les moyens qui sont mis ou que l'on devrait mettre à leur disposition pour satisfaire les exigences auxquelles ils seront soumis au cours de leur vie professionnelle.

En analysant les rapports sur l'enseignement publiés au cours des 30 dernières années, Gregory Cizek, de l'Université de Toledo, a dénombré plus de 4 000 livres et articles où les enseignants déplorent la baisse du niveau des élèves. Une autre question revient périodiquement : à quel point

la réussite économique d'un pays dépend-elle du niveau scientifique et technique de ses étudiants ? Selon G. Cizek, la domination économique et scientifique des États-Unis s'effrite parce que les universités ne produisent plus assez de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens de haut niveau. Ce manque de bons scientifiques menacerait le développement économique et limiterait l'augmentation du niveau de vie. Une des difficultés vient sans doute du fait que, dans les périodes de crise, on préfère mettre en chantier de vastes réformes dont les fondements sont fragiles plutôt que des réformes plus limitées, mais sans doute plus efficaces.

En fait, le niveau en mathématiques et en sciences des élèves parvenant en fin d'études secondaires a-t-il vraiment baissé ? D'après un test réalisé à l'échelon national, aux États-Unis, le niveau des élèves est meilleur qu'il y a dix ans, et, en moyenne, les jeunes adultes ont davantage de connaissances en sciences fondamentales que leurs parents ou leurs grands-parents.

Entre 1980 et 1995, le nombre des lycéens américains a augmenté de près de 30 pour cent, malgré la baisse du nombre des adolescents. En France, si le nombre des collégiens est resté quasiment stable pendant cette période, le taux d'accès au baccalauréat a plus que doublé, atteignant 68 pour cent d'une classe d'âge, et la proportion de ceux qui obtiennent un niveau de formation reconnue (brevet

d'enseignement professionnel, certificat d'aptitude professionnelle ou baccalauréat) a atteint 91 pour cent. Depuis une dizaine d'années, le nombre de maîtrises obtenues en sciences et technique a augmenté, en France comme aux États-Unis.

Un demi-million d'étudiants dans 50 pays

Pour évaluer objectivement le niveau en mathématiques et en sciences des élèves de fin d'études secondaires, 500 000 jeunes d'une cinquantaine de pays de tous les continents ont participé à une étude internationale, la Troisième étude internationale sur les mathématiques et sur les sciences (TIMSS), organisée sous l'égide de l'IEA, l'Association internationale pour l'évaluation du rendement scolaire. Trois « populations » d'élèves constituaient cette cohorte : des élèves de neuf ans, de 13 ans et de fin d'études secondaires. La France a participé à l'évaluation des élèves de 13 ans, c'est-à-dire des collégiens des classes de cinquième et de quatrième, et des élèves de fin d'études secondaires d'enseignement général, technologique et professionnel.

Les élèves devaient répondre à diverses questions à choix multiple ou à des questions ouvertes, où l'on ne

1. EXPÉRIMENTATIONS en milieu naturel et en classes de travaux pratiques doivent aider les élèves à élaborer leur culture générale en sciences.



B. Daemrich, The Image Works

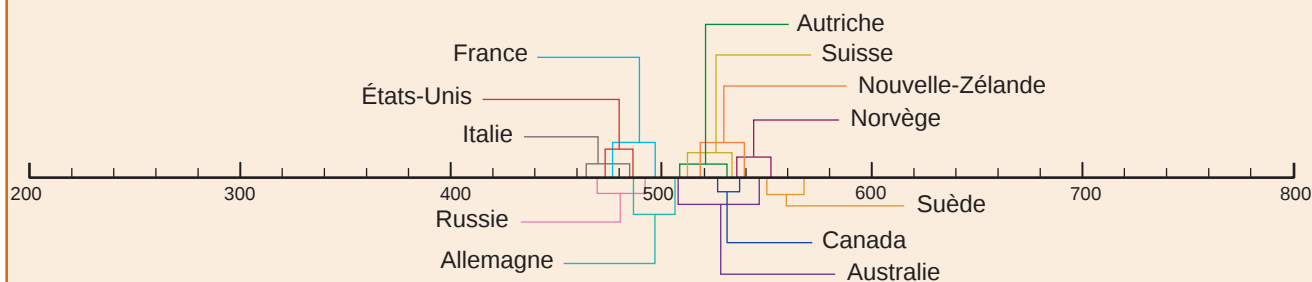


X. Tesselin/Rapho



Caroline Aulbold/Rapho

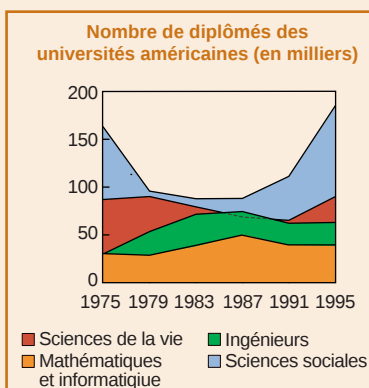
Comparaison des résultats obtenus en fin d'études secondaires



2. LES RÉSULTATS globaux obtenus par les lycéens des différents pays qui ont participé aux tests comparatifs sont voisins. Les Suédois viennent en tête. La France, les États-Unis et l'Italie obtiennent des résultats comparables si l'on tient compte des marges d'erreurs.

La recherche américaine n'est pas en crise

Quel que soit le niveau des lycéens en sciences et en mathématiques, les universités américaines ne manquent pas d'élèves brillants. Le nombre de doctorats en sciences et de diplômés d'ingénieur délivrés a augmenté de 130 pour cent depuis 1966, tandis que la population des États-Unis n'a progressé que de 35 pour cent. Les progrès ont été plus marqués dans certaines disciplines, les thésards en physique ayant diminué de 27 pour cent depuis 1992. Selon Patrick Mulvey, de l'Institut de physique américain, cette évolution reflète une diminution du nombre d'offres d'emploi dans l'industrie de l'armement et dans les industries dérivées, depuis la fin de la guerre froide.



Dans d'autres disciplines, un excès de thésards serait plus à craindre qu'un manque. Ainsi, en France comme aux États-Unis, la sonnette d'alarme doit être tirée en biologie. En 1988, le département américain de la recherche a demandé de limiter le nombre de thèses en biologie.

La situation aux États-Unis est encore compliquée par le fait que, traditionnellement, ce pays accepte de nombreux étudiants en thèse, voire même après la thèse, et que la proportion des étudiants qui veulent rester après leur thèse augmente. En 1996, près de 68 pour cent des étudiants étrangers ayant obtenu un doctorat scientifique ou technique voulaient s'installer aux États-Unis, contre 49 pour cent en 1980.

propose pas un choix de réponses (voir l'encadré page 66). Ces tests évaluaient les connaissances générales en mathématiques, les connaissances générales en sciences et la capacité de raisonnement de l'ensemble des élèves en fin d'études secondaires ; s'y ajoutaient des questions sur l'environnement et sur la société. Les lycéens répondaient également à un questionnaire sur leur environnement social et culturel, sur leurs opinions et attitudes par rapport aux mathématiques et aux sciences, et sur certains aspects des méthodes pédagogiques utilisées par leurs enseignants.

Selon William Schmidt, qui a coordonné l'enquête aux États-Unis, une telle étude – largement soutenue et prise en compte par le gouvernement américain – présente l'intérêt de clarifier comment les différentes méthodes d'enseignement modèlent les connaissances des élèves. Toutefois, les résultats de cette enquête, due à une collaboration internationale solide, doivent être interprétés avec quelque précaution : l'âge des élèves, le nombre d'heures de cours, la structure des études, les programmes et les types d'enseignement pris en compte dans l'étude varient notablement d'un pays à l'autre.

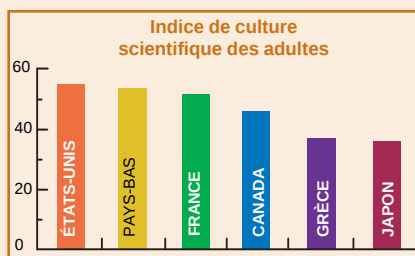
Dans les pays qui ont les scores les meilleurs, les élèves sont parfois plus âgés, mais ne font pas de petits métiers pour payer leurs études, ce qui est souvent le cas aux États-Unis. Toutefois, l'étude n'a pas montré que les résultats sont meilleurs quand on allonge la durée des études ni quand on offre des allocations aux étudiants – c'est le cas en Suède.

Certains ingrédients considérés comme nécessaires et suffisants à l'obtention de bons résultats ont été remis en question par l'étude. Dans les pays obtenant les meilleurs scores, les

Non, le niveau ne baisse pas

Contrairement au dogme, le niveau des élèves en sciences ne baisse pas. D'après une étude conduite par Jon Miller, à Chicago, la culture scientifique des adultes a augmenté depuis 1985, et les résultats obtenus à des tests de culture scientifique générale par des jeunes de 18 à 29 ans sont meilleurs que les résultats des plus de 40 ans. Les résultats obtenus en mathématiques et en sciences par des jeunes de 17 ans sont un peu meilleurs que les résultats de 1982, mais restent inférieurs aux résultats de tests datant de la fin des années 1960. Toutefois, même dans les pays qui obtiennent les meilleurs scores, beaucoup d'étudiants ne savent pas répondre à des questions telles que : qu'est-ce qu'une

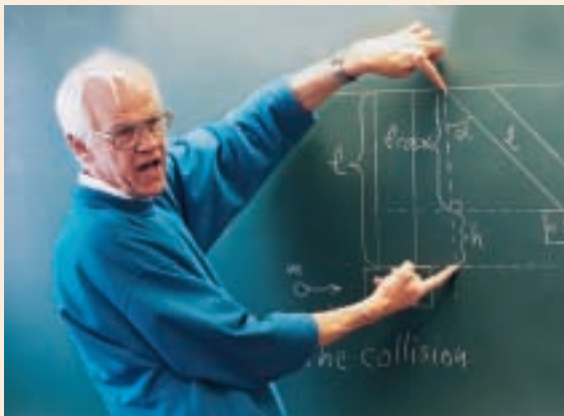
molécule ? (11 pour cent seulement de réponses correctes) ; qu'est-ce que l'ADN ? (22 pour cent de réponses correctes) ; les lasers fonctionnent-ils avec des ondes sonores ? (39 pour cent) ; quelle est la durée d'une révolution de la Terre autour du Soleil ? (48 pour cent).



Pour une culture scientifique générale

L'enseignement des sciences de la nature (de la physique, de la chimie ou de la biologie) s'effectue parfois en trois étapes : les professeurs commencent par enseigner les concepts ; puis ils les illustrent par des exercices qu'ils résolvent au tableau et ils donnent des exercices d'application ; enfin, ils donnent des instructions précises pour que les élèves fassent des expériences dont ils connaissent déjà le résultat. Diverses études ont montré que les élèves, face à une information nouvelle, ne raisonnent pas de la même façon que les adultes. Quand on dit à un enfant que la densité d'un objet est égale à sa masse divisée par son volume, il pense au «volume» de son baladeur, ou à son frère qui l'a qualifié, la veille, de «lourd». Les enfants se sentent parfois frustrés de ne pas comprendre le sens même des mots.

D'autres approches, où l'expérience vient en premier, semblent préférables. On peut notamment encourager les élèves à explorer eux-mêmes un phénomène. L'enseignant cherche ensuite à aider les élèves à formuler des hypothèses sur ce qu'ils ont observé. Alors seulement le professeur formalise le problème étudié. D'autres expériences, divers problèmes, des lectures complémentaires font ensuite le lien entre ce nouveau savoir et les expériences de la vie quotidienne.



Johan Gunseus, Pressens Bild/SABA

Les élèves qui bénéficient de ce type d'enseignement semblent retenir mieux ce qu'ils apprennent, apprécier davantage les sciences, atteindre des niveaux de raisonnement supérieurs et mieux résoudre les problèmes scientifiques de la vie courante. Il semble également que la culture scientifique générale soit meilleure quand les enseignants se limitent à quelques concepts fondamentaux, ce qui leur laisse du temps pour élaborer avec les élèves des projets à long terme qui font le lien entre la science du laboratoire et celle que l'on côtoie tous les jours.

Lorsque les élèves abordent les sciences physiques, ils ont parfois des idées fausses sur le fonctionnement du monde. Certains pensent que des matériaux, telle la laine, sont intrinsèquement chauds,

tandis que d'autres, par exemple les métaux, sont froids. Même un cours ne réussit souvent pas à battre en brèche ces idées fausses. Pour les combattre, certains enseignants proposent aux enfants d'exposer leurs idées, qu'ils utilisent comme point de départ pour des expériences qui leur servent à exposer des hypothèses scientifiques. Les enseignants doivent posséder parfaitement leur sujet pour rendre cette approche efficace. Quand ils y parviennent, les élèves résolvent beaucoup mieux les problèmes de physique.

TIMSS : des années de coopération internationale

L'enquête TIMSS a-t-elle été l'objet d'une compétition internationale acharnée, ou bien chaque pays s'est-il enrichi des réflexions des autres participants ? Selon Anne Servant, du ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, qui a coordonné l'étude pour la France, des pédagogues d'horizons et de pays variés ont participé, dès 1991, à la mise en place d'un cadre général de contenus et de compétences accepté par tous. Plusieurs comités spécialisés dans divers domaines ont été créés, regroupant de nombreux partenaires. Loin de se borner à des tests proposés aux élèves, l'enquête a recueilli un grand nombre d'informations sur les opinions des élèves et des professeurs, et sur les pratiques pédagogiques. Une analyse comparative approfondie des programmes d'enseignement a été menée.

Les réunions bisannuelles de représentants de tous les pays et de compétences diverses ont permis de confronter différentes problématiques. Ainsi, en 1993, près de 700 exercices destinés aux élèves de 13 ans ont été traduits dans toutes les langues et expérimentés, puis revus, corrigés, discutés durant des années en fonction des différentes remarques formulées. L'élaboration d'exercices adaptés aux élèves de fin d'études secondaires des différents systèmes éducatifs a été ardue.

Les informations recueillies au collège montrent que les sciences n'occupaient pas, en France, en 1995, la place qu'elles avaient dans l'environnement social d'autres pays : la France était le dernier pays sur 37 où les professeurs considéraient comme important que les élèves fassent preuve de créativité, le trente-quatrième à considérer que la science est un guide pratique et structuré pour traiter des problèmes concrets, le troisième pays sur 39 où les élèves et leur entourage considéraient qu'il est plus important de réussir en mathématiques qu'en sciences.

Les résultats obtenus par les élèves français de 13 ans ont été médiocres. Même si peu d'exercices de sciences correspondaient aux programmes de ces élèves, les résultats n'étaient guère meilleurs quand on ne retenait que les exercices correspondant au programme, et le classement changeait peu. En Corée, de nombreux exercices ne correspondaient pas non plus au programme ; pourtant les collégiens ont bien réussi. Il semble que, dans ce pays, les sciences occupent une bonne place dans l'environnement social (émissions de télévision consacrées aux sciences, par exemple).

À la fin des études secondaires, l'enquête a donné des informations sur les connaissances générales de l'ensemble des jeunes en mathématiques et en sciences, et des épreuves spécifiques ont été réservées aux lycéens de la série S. Les résultats médiocres en connaissances générales, très bons en mathématiques, mais faibles en physique sont peut-être la suite de certaines constatations faites au collège.

Grâce à TIMSS, une voie d'échanges approfondis entre les pays des divers continents a été ouverte. C'est à ce besoin d'ouverture qu'ont répondu les établissements scolaires : ils ont activement pris part à l'enquête à une période de l'année où les élèves passent le baccalauréat, et la mise en place de l'étude dans toutes les filières n'a pas été aisée. Le ministère français de l'Éducation nationale s'est engagé dans l'étude, souhaitant bénéficier d'informations complémentaires dans un processus général de réflexion ; depuis, il a poursuivi cet effort et l'a approfondi, voulant doter le pays de tous les moyens de réflexion sur un enseignement de mieux en mieux adapté aux besoins des jeunes face à la société moderne.

étudiants ont, en moyenne, moins de devoirs à faire à la maison que dans les pays où les résultats sont moins bons, et les effectifs des classes sont souvent supérieurs. En Suède, plus de 40 pour cent des élèves de classes à dominante scientifique ont déclaré avoir des devoirs de mathématiques à faire à la maison moins d'une fois par semaine, tandis qu'aux États-Unis plus de 80 pour cent des élèves font des devoirs plus de trois fois par semaine. Parmi les pays qui donnent le plus de devoirs à la maison, la France est troisième.

La Suède est en tête du classement dans les épreuves de culture générale de mathématiques et de sciences, tandis que la Fédération de Russie et les États-Unis ont des résultats inférieurs

à la moyenne internationale. Si, en France, plus de 85 pour cent des élèves «généralistes» (toutes sections confondues) testés faisaient régulièrement des mathématiques et des sciences, cette proportion ne dépassait pas 65 pour cent en mathématiques pour les Pays-Bas ou les États-Unis, et 50 pour cent en sciences pour les États-Unis, le Canada ou la Suède. Les lycéens qui ont les meilleurs résultats sont ceux qui ont l'habitude de faire beaucoup d'exercices de raisonnement.

Les jeunes Américains ont eu des scores un peu inférieurs à ceux des jeunes des autres pays testés lors de questionnaires à choix multiples sur des questions scientifiques et techniques élémentaires. Toutefois, des

scores élevés à ces tests ne prouvent pas nécessairement que l'étudiant ait une culture scientifique solide ni qu'il soit apte à résoudre les problèmes concrets. L'enseignement des sciences sert depuis longtemps à sélectionner les élèves les plus brillants et les plus motivés, ceux qui mémorisent facilement les formules. Ce n'est qu'une sélection pour les études supérieures, pas une préparation à la vie.

Niveau scientifique et compétitivité économique

L'étude ne semble pas montrer que la façon dont sont enseignées les sciences influe sur la productivité ou sur la compétitivité d'un pays. Deux études indépendantes sur la santé économique de

Les résultats de l'enquête internationale pour la France

La Troisième étude internationale sur les mathématiques et sur les sciences a classé les lycéens français de terminale S premiers en mathématiques : 16 pays ont fait passer aux élèves des classes terminales à dominante scientifique des tests de haut niveau en mathématiques et en physique, et des tests moins difficiles de culture générale en mathématiques et en sciences. Ainsi, les lycéens français de terminale S sont premiers en mathématiques, mais passent à la cinquième place avec les questions de «culture générale en mathématiques», et à la treizième pour les questions de physique, avec une moyenne très inférieure à la moyenne internationale. Ces élèves semblent d'autant plus à l'aise que le sujet est abstrait.

Dans l'ensemble, les élèves de l'enseignement général obtiennent de meilleurs résultats que ceux de l'enseignement technologique et de l'enseignement professionnel, mais certaines sections de l'enseignement technologique ont des résultats équivalents à ceux des terminales ES, à dominante économique, de l'enseignement général. En ce qui concerne les sciences, les proportions de réussite, pour toutes les séries, sont plus élevées pour les sciences de la vie et de la terre que pour la physique et la chimie.

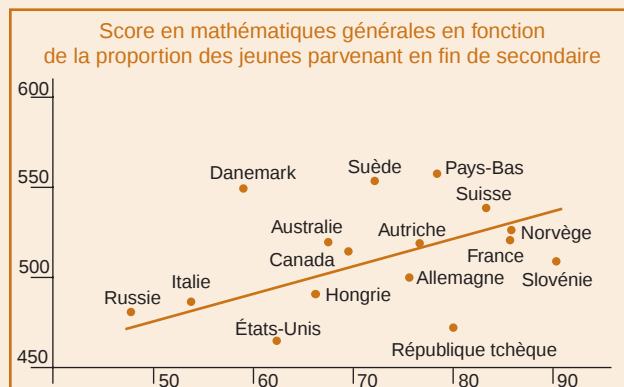
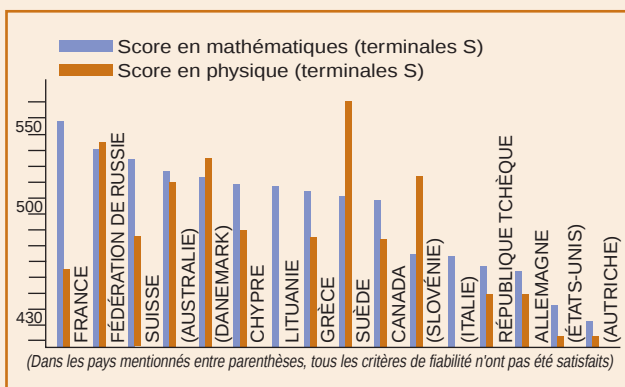
Dans toutes les sections, sauf en terminale littéraire et en BEP, les élèves préfèrent les mathématiques aux sciences. En sciences, les élèves préfèrent les sciences de la vie aux sciences

de la terre, la physique et la chimie étant les moins appréciées. Les élèves ont souvent des difficultés à résoudre certains exercices liés à la vie quotidienne et à l'environnement. Les garçons réussissent mieux que les filles : sur l'ensemble des élèves, on note une différence de 40 points en faveur des garçons, en mathématiques et en sciences, même dans les classes de terminales scientifiques.

En France, l'ensemble des élèves de fin d'études secondaires a obtenu en mathématiques un score de 523 et en sciences un score de 487, ce qui classe le pays au septième rang en mathématiques, mais à nouveau au treizième rang en sciences sur 21 pays.

Comment les résultats obtenus sont-ils liés à la proportion d'une génération qu'un pays fait parvenir en fin d'études secondaires ? D'après les données obtenues, et contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, les résultats ne sont pas meilleurs quand l'accès en fin d'études secondaires est limité, c'est-à-dire quand la sélection est forte. La tendance semble même inverse. En France, 84 pour cent d'une classe d'âge parvient en fin d'études secondaires.

D'après des données dont l'analyse statistique a été réalisée par Fabrice Murat, alors au ministère de l'Éducation nationale, de la recherche et de la technologie - Direction de la programmation et du développement.



Quelques exemples d'exercices proposés aux collégiens

En mathématiques :

«Si m représente un nombre positif, quelle est l'expression égale à $m+m+m+m$?»

a – $m + 4$

b – $4m$

c – m^4

d – $4(m + 1)$

«Il y a 28 élèves dans une classe. La proportion de filles par rapport aux garçons est de 4 pour 3. Combien y a-t-il de filles dans la classe?»

En physique :

«En mer, les équipages de deux bateaux peuvent communiquer en criant. Pourquoi est-ce impossible pour les équipages de deux vaisseaux spatiaux séparés par la même distance dans l'espace?»

a – Le son est plus réfléchi dans l'espace

b – La pression est trop élevée à l'intérieur des vaisseaux spatiaux

c – Les vaisseaux spatiaux voyagent plus vite que le son

d – Il n'y a pas d'air dans l'espace pour permettre au son de se déplacer.

En sciences de la vie et de la terre :

«Quelle est la fonction de la chlorophylle dans une cellule végétale?»

a – Absorber l'énergie lumineuse et produire de la nourriture

b – Enlever les déchets par un transport actif

c – Produire de l'énergie chimique à partir de la nourriture

d – Contrôler la forme de la cellule

«Les combustibles fossiles se sont formés à partir...?»

a – d'uranium

b – d'eau de mer

c – de sable et de graviers

d – de plantes et d'animaux morts

Quelques exercices proposés aux lycéens de fin d'études secondaires

En sciences (culture générale) :

«Certaines chaussures à talons hauts ont la réputation d'abîmer les sols. Le diamètre à la base de ces très hauts talons est d'environ 0,5 centimètre, et il est d'environ 3 centimètres pour les talons ordinaires. Expliquer brièvement pourquoi les très hauts talons peuvent abîmer les sols.»

«L'énergie nucléaire peut être produite par fission ou par fusion. La fusion n'est pas couramment utilisée comme source d'énergie dans les réacteurs. Pourquoi?»

a – Les principes scientifiques sur lesquels la fusion est basée ne sont pas encore connus

b – Les procédés technologiques d'utilisation sans danger de la fusion ne sont pas développés

c – Les matières premières nécessaires ne sont pas aisément disponibles

d – Les déchets produits par le processus de fusion sont trop dangereux

«Les CFC (chlorofluorocarbones) ont révolutionné la vie personnelle et industrielle ces 30 dernières années. Ils ont servi de réfrigérant dans les réfrigérateurs et de propulseur dans les aérosols, les emballages sous pression et les extincteurs. Il y a maintenant de très forts mouvements internationaux pour arrêter l'utilisation de ces substances, parce qu'...?»

a – elles sont chimiquement inertes

b – elles contribuent à l'effet de serre

c – elles sont toxiques pour les humains

d – elles détruisent la couche d'ozone

En mathématiques (série S seulement) :

«Quelles sont toutes les valeurs de x pour lesquelles l'inéquation $5x + 5/3 \leq -2x - 2/3$ est vraie?»

a – $x \leq -7/9$

b – $x \leq -1/3$

c – $x \geq 0$

d – $x \geq 7/3$

e – $x \geq 9/3$

«Dans un repère orthonormal, les sommets du triangle PQR sont les points : P(1;2), Q(4;6) et R(-4;12). Parmi les phrases suivantes, laquelle est vraie pour le triangle PQR?»

a – PQR est un triangle rectangle en P

b – PQR est un triangle rectangle en Q

c – PQR est un triangle rectangle en R

d – PQR n'est pas un triangle rectangle

«Un examen consiste en 13 questions. Un étudiant doit répondre seulement à une des deux premières questions et seulement à neuf des questions restantes. Combien de choix de questions l'étudiant a-t-il?»

a – $C_{13}^{10} = 286$

b – $C_{11}^8 = 165$

c – $2 \times C_{11}^9 = 110$

d – $2 \times A_{11}^2 = 220$

e – Un autre nombre

différents pays ont placé les États-Unis soit à la première place, soit à la deuxième derrière Singapour. Le mérite en fut attribué aux scientifiques qui avaient terminé leurs études depuis une vingtaine d'années, mais pas aux enseignants.

On admet souvent, tel un axiome, que les connaissances en mathématiques et en sciences des lycéens déterminent la santé économique d'un pays. Toutefois, plusieurs arguments semblent aller à l'encontre de cette croyance : dans les rapports évaluant la compétitivité d'un pays, on constate souvent que de nombreux critères de réussite, telle la qualité de l'infrastructure portuaire, viennent bien avant la qualité de l'enseignement ou la compétence des scientifiques ou des ingénieurs. Face à l'urgence, plus de 1 000 lois ont été promulguées aux États-Unis depuis 1970 pour réformer le système éducatif, mais elles semblent avoir eu peu d'effets sur les connaissances scientifiques acquises par les lycéens.

Si le niveau des élèves en sciences ne paraît pas baisser, la culture scientifique qu'ils acquièrent ne leur est peut-être pas utile dans la vie de tous les jours. Nous pensons que les étudiants qui veulent devenir des scientifiques auraient encore le temps, après le lycée, d'apprendre les théories et les faits scientifiques. En revanche, tous les lycéens devraient apprendre à réfléchir, à distinguer le fait de l'opinion, la probabilité de la certitude, la déduction rationnelle de la superstition, les données des suppositions, la science du folklore, la théorie du dogme.

Wayt GIBBS est journaliste à *Scientific American*. Douglas FOX est journaliste scientifique.

A. BEATON et al., *Mathematical and Science Achievement in the Final Year of Secondary School*, IEA, TIMSS International Study Center, Boston College, Chestnut Hill, Ma., USA, février 1998.

Les dossiers d'éducation et formation. Évaluation internationale en mathématiques et en sciences en classes de cinquième et quatrième, ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, Direction de la programmation et du développement, n° 99, juin 1998.

L'état de l'école, ministère de l'Éducation nationale, octobre 1998.

Pourquoi les objets se cassent-ils?

MARK EBERHART

Depuis près d'un siècle, les physiciens utilisent la théorie des liaisons chimiques pour prévoir quand un solide se brise ou se déforme.

Aujourd'hui, on calcule même le type de dégradation qui se produira.

Un objet qui se brise ou qui se tord est une petite catastrophe. Pour moi, au contraire, c'est un plaisir : en regardant du verre brisé, je me surprends à assembler mentalement les morceaux, à la recherche de l'origine de la fracture ; devant un vieil arbre, j' imagine comment sa croissance a lentement déplacé la clôture en fer voisine. Je n'ai pas un goût pervers de la destruction, mais je cherche à savoir quand les matériaux sont fragiles et cassent facilement, comme le verre, ou sont ductiles et nécessitent plus d'énergie pour se bri-

ser, comme le fer. Les objets que nous utilisons ne sont-ils pas tous soumis à des contraintes ?

Nombre de techniques sont fondées sur l'utilisation de la dégradation des matériaux. C'est en manipulant des roches cassantes, comme le silex, que l'homme est entré dans la première période technique de l'humanité, l'âge de pierre, il y a environ 2,5 millions d'années. Plus récemment, il y a 5 000 ans, la découverte de substances peu fragiles, comme l'or et le cuivre, a mené l'humanité à l'âge du métal. Les anciens artisans ont utilisé ces métaux malléables pour fabriquer des bijoux et d'autres ornements, car ils

pouvaient être facilement étirés ou martelés. En revanche, bien que ces matériaux soient tenaces et capables d'absorber des quantités d'énergie considérables lors de leur déformation, ils ont une courte durée de vie quand on les utilise pour couper ou pour gratter.

Les matériaux des épées ou des gratte-ciel doivent être suffisamment durs pour conserver leur forme sous l'effort, suffisamment résistants

pour ne pas se briser. C'est pourquoi les métaux sont omniprésents dans notre civilisation. Les outils et les armes de pierre sont devenus obsolètes le jour où les métallurgistes ont appris qu'en mélangeant du cuivre et de l'étain, par exemple, ils obtenaient du bronze, plus résistant à la rupture.

Les alliages de carbone et de fer sont plus durs encore que le bronze ; ils sont apparus 1 000 ans avant notre ère, lorsque les métallurgistes inventèrent des fourneaux qui chauffaient suffisamment pour extraire le fer de son minerai. Bien qu'ils soient durs, les alliages de fer et de carbone sont fragiles : ils n'absorbent que peu d'énergie avant de se casser. Plus récemment, les métallurgistes ont appris qu'en soufflant de l'air dans ce mélange on réduit la quantité de carbone, d'où un produit plus ductile : l'acier ! Enfin, les métallurgistes ont appris à créer des matériaux plus ou moins ductiles ou cassants, à volonté.

Le défaut fatal

Bien que ce lien entre technique et comportement des matériaux soit très ancien, la science n'a élucidé les mécanismes de la rupture qu'au cours du XX^e siècle. Même aujourd'hui, de nombreux mécanismes élémentaires de la rupture restent mystérieux. On ne comprend pas, par exemple, pourquoi trois

1. LES BALLES ET LES BATTES ne se cassent pas lorsqu'elles se heurtent, parce qu'elles absorbent l'énergie de la collision. En revanche, une vitre éclate en morceaux quand elle est soumise à un choc. Le comportement des objets soumis à des contraintes dépend des liaisons chimiques entre leurs atomes.