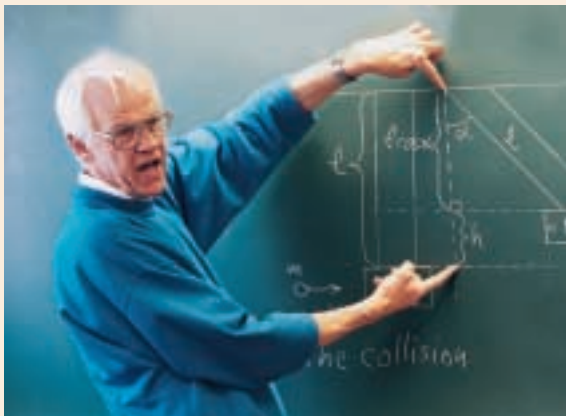


Pour une culture scientifique générale

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.



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.

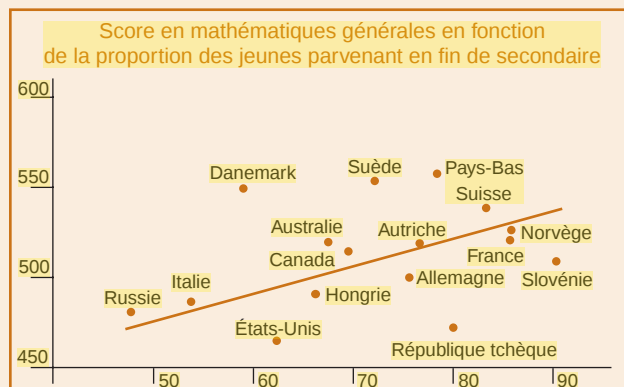
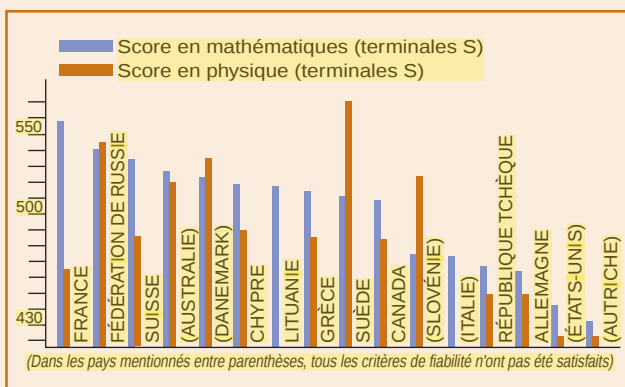
Dans toutes les sections, sauf en terminale littéraire et en BEP, les élèves préfèrent les mathématiques aux sciences. En sciences, les élèves préfèrent les sciences de la vie aux sciences

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.