

ACADÉMIE DES SCIENCES

AVIS

sur

L'enseignement scientifique et technique
dans la scolarité obligatoire :
école et collège

6 juillet 2004

Préambule

Il n'y a pas deux cultures, il n'y en a qu'une, du moins si l'on donne à ce beau mot son sens vigoureux, celui d'une *tension vers le savoir* et non celui, plat, d'une accumulation du savoir. Il n'y a pas une culture qui serait fondée sur les humanités et une autre structurée par la science, une qui nous porterait vers l'*être* et l'autre vers le *faire*. Il y a un désir, immémorial, qui tend l'homme vers un dépassement de soi, nourri par une connivence avec le monde où il vit. Nous attendons de l'école qu'elle ouvre aux enfants cette double voie où chacune des harmoniques joue un rôle irremplaçable dans le concert.

Cette familiarité avec le monde, la science – au sens large – participe puissamment à la rendre possible. *Les mathématiques* nous introduisent tout à la fois à une superbe création de l'esprit humain et au langage dans lequel, selon le mot de Galilée, « est écrit le grand livre du monde ». *L'informatique* cimente les différentes pièces du puzzle, résolvant par la création d'une langue abstraite les plus concrets de nos problèmes. *Les sciences de la nature*, expérimentales et d'observation, nous dévoilent comment celle-ci est ordonnée et comment, des objets inertes au monde du vivant, cette nature "fonctionne". *La technique* n'est pas ce domaine froid et sec duquel il serait permis de se désintéresser – ce dont certains, curieusement, se vantent – mais un signe fort de l'intelligence humaine, appelant à la fois notre admiration et notre vigilance éthique.

Aucune des branches de la science ne se déboîte des autres composantes d'une éducation idéale : humanités, philosophie, histoire, éducation civique, géographie, langues modernes, langues anciennes, éducation physique..., toutes ont des résonances intimes avec tel ou tel fragment de la science, comme elles en ont les unes avec les autres. Cette éducation idéale, telle peut-être celle du jardin d'Akademos, doit favoriser les fécondations mutuelles et s'interdire de créer barrières ou hiérarchies. Si le *collège* demeure *unique* – question qu'il faut poser mais qui dépasse l'objet de cet Avis – au moins doit-il refléter cette diversité des possibles et donc offrir au talent de chacun, tourné pour l'un vers le concret, pour un autre vers plus d'abstraction, la possibilité de se développer au mieux.

Dans l'impossibilité où nous sommes de prévoir les évolutions de nos sociétés, le meilleur viatique que nous puissions donner aux enfants est de développer chez tous, et de façon solidaire, les facultés qui ont permis dans le passé la survie et l'évolution de l'espèce humaine : la *curiosité* qui vise à connaître et à comprendre, la capacité de *formaliser* et de *transmettre les savoirs* qui est à la racine de tous les progrès passés et futurs, et l'*inventivité* qui permet de nous outiller dans tous les domaines.

Cette inventivité, qui est celle de l'artisan comme elle est celle de l'artiste, doit permettre au jeune adulte, à partir du socle des connaissances qu'il a acquises, de bâtir, d'élaborer, d'échafauder, de transformer... bref de créer. C'est ainsi qu'il pourra trouver au mieux, chacun à son niveau, chacun avec son talent particulier, sa place dans la société. Encore faut-il que l'enseignement scientifique et technique qu'on lui donne – notamment au collège et à condition que ce dernier s'ouvre à une certaine diversité – intègre dans sa perspective l'idée des *métiers* ; qu'il s'adapte à leur variété et tienne compte de leurs rapides mutations ; qu'il permette ainsi, à ceux qui souhaitent ou doivent quitter tôt les études, de le faire en un projet positif et non dans un sentiment d'échec.

Au jardin d'Akademos, l'éducation pouvait être un luxe réservé à quelques-uns. Aujourd'hui, c'est une exigence universelle, qui doit être tendue vers la nécessité de déceler, puis de conforter, puis de développer les capacités de chacun, que celles-ci soient d'une nature plus intellectuelle, ou plus technique, ou plus manuelle.

Dans cette éducation, la science tient sa place en tant que valeur fondamentale de notre culture, en tant qu'élément essentiel pour tout citoyen, en tant que facteur déterminant de développement économique pour le pays.

Conclusions et recommandations

Une éducation scientifique et technique de qualité à l'école et au collège pour tous les jeunes, progressivement diversifiée selon leurs talents, voici l'objectif difficile mais essentiel que propose l'Académie des sciences, non seulement au ministère de l'éducation nationale, mais aussi aux maîtres, aux parents, aux élus, aux entreprises et à la communauté scientifique. Car cela concerne l'avenir du pays, donc tous. La voie a été ouverte à l'école primaire et la preuve apportée d'un progrès possible. Le chemin sera long, des changements profonds sont indispensables, leur mise en place demandera du courage et de la ténacité, de la souplesse, de l'expérimentation et de la concertation, la volonté de trancher.

Cet Avis, établi en liaison avec l'Académie des technologies qui se prononce de son côté, sera complété en 2005 par un Rapport traitant des trois voies du lycée et de la formation initiale et continue des maîtres du second degré, enseignant sciences ou techniques.

NOTE. Dans tout ce qui suit, le terme *sciences* recouvre les mathématiques, l'informatique, ainsi que les sciences expérimentales et d'observation (physique, chimie, astronomie, sciences de la Terre, sciences du vivant...) : l'ensemble de ces dernières y est spécifiquement désigné par le terme générique de *sciences de la nature*.

À L'ÉCOLE PRIMAIRE :

Quatre objectifs essentiels sont retenus pour conforter la dynamique engagée :

- ◆ Dans le cadre des programmes rénovés de 2002, poursuivre résolument et de façon institutionnelle l'effort engagé depuis 1996 autour de *La main à la pâte* en y associant les mathématiques ;
- ◆ Au-delà de l'usage qu'en fait la science, donner à l'emploi de l'ordinateur et à la fréquentation du monde numérique par les enfants une attention beaucoup plus soutenue ;
- ◆ Revoir en profondeur le dispositif de formation initiale en sciences et techniques en IUFM, tant dans son volume que dans son contenu ;
- ◆ Introduire une obligation de formation continuée pour les professeurs des écoles, afin de soutenir les efforts de rénovation de l'enseignement.

LE COLLÈGE :

Le collège est une étape si essentielle pour l'avenir de ses élèves que de profondes transformations y sont impératives, afin de doter l'ensemble de la scolarité obligatoire d'un contenu scientifique et technique entièrement rénové, non seulement dans ses programmes, mais encore et davantage dans ses modalités d'enseignement. Ces évolutions requièrent une expérimentation limitée dans le temps, mais approfondie et novatrice :

- ◆ L'Académie soutient très fortement les propositions du Rapport BACH-SARMANT, remis au ministre en 2004, qui, pour rester significatif, ne saurait être mutilé de ses lignes directrices.
- ◆ Initialement basé sur la démarche d'investigation, qui part de l'observation et l'expérimentation, l'enseignement visera progressivement à l'approfondissement des connaissances ;

- ◆ En classes de 6^{ème} et 5^{ème}, une transition, dans l'organisation des cours comme dans le rôle et la formation des professeurs, doit permettre aux élèves de passer progressivement de *la science* aux *sciences* et de saisir que les sciences de la nature, les mathématiques et l'informatique d'une part, les techniques d'autre part, font partie de ce grand domaine de la connaissance qu'est la science ;
- ◆ Pour mettre en place une réelle démarche d'investigation et d'expérimentation, une proportion raisonnable du temps doit être consacrée à du travail en groupe, à l'image de ce qui a été pratiqué à l'école. Des laboratoires de mathématiques sont à mettre en place ;
- ◆ En classes de 4^{ème} et 3^{ème}, le maintien des structures actuelles doit s'accompagner d'un effort de convergence entre disciplines autour de thèmes communs ;
- ◆ Les parcours doivent se diversifier suffisamment pour que des élèves aux talents et aux tempéraments très divers trouvent précocement leur voie entre des enseignements ici plus classiques, ou théoriques, là plus techniques, ou professionnels, sans qu'à aucun moment ces derniers soient dévalorisés aux yeux des enfants et de leurs familles.

LES TROIS VOIES DU LYCÉE :

L'Académie des sciences, collaborant avec d'autres Académies, se propose de conduire pour juin 2005 une étude concernant le rôle et la place des sciences au sein des trois voies (professionnelle, générale et technologique) du lycée.

LA FORMATION INITIALE ET CONTINUÉE DES MAITRES :

La rapidité et la complexité d'évolution de la science rendent indispensable de repenser la formation initiale ou continuée – aujourd'hui très insatisfaisante - de ceux qui l'enseignent, à l'école comme au collège, dans le cadre d'un enseignement à rénover.

- ◆ Les professeurs des écoles, outre les mesures proposées en I. pour leur formation en sciences, devraient à l'avenir pouvoir obtenir un mastère professionnel, délivré par l'Université au vu de la consolidation de connaissances disciplinaires (dont les sciences) complétant leur formation à l'éducation. Des dispositions analogues seraient à appliquer aux titulaires de CAPES et CAPET ;
- ◆ Le diplôme de CAPES comprendrait une majeure et une mineure, ainsi qu'une épreuve de culture scientifique générale et historique, afin d'assurer une formation scientifique plus large, préparer à l'enseignement dans la transition primaire-collège et atténuer l'actuel excès de spécialisation ;
- ◆ La formation continuée devrait revêtir un certain caractère d'obligation professionnelle, assortie d'incidence sur le déroulement de la carrière. Ceci suppose une réelle mobilisation de la communauté scientifique pour développer les outils et ressources de médiation nécessaires.

I. Science et technique à l'école primaire

A l'âge d'or de la curiosité, les années d'école maternelle et élémentaire jouent un rôle primordial dans la construction de l'enfant et dans l'attitude qu'il aura tout au long de ses études, puis de sa vie, face aux mathématiques, aux phénomènes de la nature, à la réalisation des objets techniques, pour y user de sa raison, de sa curiosité et de son habileté. Les sciences cognitives en plein développement confirment aujourd'hui le savoir des pédagogues, à savoir combien les structures, qui se mettent tôt en place dans le cerveau de l'enfant, bénéficient de la richesse des expériences sensorielles et langagières faites entre l'âge de deux ans et celui de la puberté. Poursuivant une double ambition de formation de l'esprit et d'acquisition de connaissances, l'enseignement des sciences peut développer chez les enfants l'attitude active d'investigation et d'observation, la confiance en soi et l'initiative, l'esprit critique et rationnel, la capacité d'argumenter, la rigueur et la richesse d'expression orale ou écrite. De multiples expériences et témoignages montrent combien cet enseignement, s'il est bien fait, épanouit la diversité des formes d'intelligence, révèle des aptitudes souvent cachées et contribue à l'éclosion des talents, en s'appuyant simplement sur la curiosité des enfants et leur désir, à ces âges, de comprendre le monde qui les entoure. Si ces bases sont acquises, ce sont sur elles, plus que sur l'accumulation de connaissances, que pourra se construire l'avenir au collège et au lycée.

1. État des lieux et perspectives.

1.1. Dix ans de rénovation : 1995-2004

Dans les sciences de la nature et la technique, l'action de *La main à la pâte* depuis 1996, quoi qu'en soit inachevée, a montré la voie pour mettre en œuvre ces principes¹. En moins de dix ans, ses propositions ont commencé à transformer l'enseignement des sciences de la nature à l'école primaire en France, tout en recevant un écho international considérable : modification du style pédagogique, même dans les matières autres que les sciences, chez nombre de professeurs; contribution – aux dires mêmes de ces derniers- à une maîtrise accrue du langage chez les enfants, à l'oral comme à l'écrit; impact dès l'école maternelle, excellente en France; effet favorable sur l'intégration scolaire des plus défavorisés, ou des enfants issus de l'immigration, grâce à l'universalité de la science; lien original établi entre enseignants et communauté scientifique. Insistant sur le contact des enfants avec le réel, cette pédagogie utilise aussi l'ordinateur pour la communication entre classes ou pays lors de projets coopératifs, et pour la mise en forme de résultats.

Un excellent et officiel *Plan de rénovation* a touché entre 2000 et 2003 le cycle 3, équipant les écoles en matériels peu coûteux. Les *Programmes officiels* de 2002 ont reconnu la valeur de cette démarche et mis en avant la pédagogie d'investigation. On assiste à un renouvellement de l'offre d'un matériel pédagogique de qualité, à la création de sites pilotes et de salles de sciences, qui profitent souvent de locaux rendus disponibles par une démographie décroissante, à la fréquente participation des familles, à l'intérêt durable des médias.

En mathématiques, le mouvement s'est manifesté sous des formes diverses, en rupture avec

¹ L'exposition *Sciences à l'école : quelle histoire !*, réalisée par l'Académie des sciences et appelée à circuler dans tous les IUFM de France à partir de l'automne 2005, souligne comment la rénovation entreprise par *La main à la pâte* s'inscrit dans une longue histoire antérieure.

le formalisme qui avait accompagné la réforme dite des mathématiques modernes. L'accent a été mis sur des problèmes conduisant à introduire et utiliser de nouveaux outils. Un sérieux travail pédagogique a été mené dans les IREM (Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques) et en particulier par la commission des IREM pour les enseignements élémentaires (COPIREM). Plus récemment, la commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques a insisté dans ses rapports au ministre sur le lien entre l'apprentissage des mathématiques et les activités expérimentales et pratiques : lier les nombres et la mesure des grandeurs, calculer les ordres de grandeurs, articuler les différents modes de calcul (exact et approché, sur papier, mental et à la machine). Ce courant est malheureusement loin d'être dominant. Il poursuit les mêmes objectifs que *La main à la pâte* : rendre l'enfant acteur dans la constitution des nouveaux savoirs scientifiques, en lui donnant l'occasion de poser lui-même les questions, au lieu d'apprendre des réponses obligées à des questions qu'il ne s'est pas posées.

Les principes de *La main à la pâte*, élaborés pour les sciences de la nature et la technique, gardent toute leur valeur pour l'enseignement des mathématiques. Pourtant, les deux mouvements se sont développés indépendamment l'un de l'autre, même si, dans les classes, certains maîtres ont su les faire coopérer. Il y a des raisons de fond à ceci, dont l'analyse méritera un travail plus approfondi. Les situations étudiées n'ont pas le même statut dans les deux disciplines : dans les sciences de la nature, elles sont en elles-mêmes un objet d'étude, alors qu'elles sont, principalement en mathématiques, l'occasion de construire de nouveaux outils. La coordination des deux voies ne se fait donc pas si facilement, et constitue un projet ambitieux : il réclame des compétences disciplinaires, une claire compréhension des enjeux et un bon niveau de culture scientifique.

Les nouveaux programmes de l'école primaire, appliqués depuis la rentrée 2002 et auxquels l'Académie a apporté son concours, ont pris en compte ces expériences. Leurs orientations globales sont satisfaisantes, mais leur mise en œuvre concrète demande une grande attention.

1.2. Des objectifs à poursuivre.

Des évaluations multiples mais encore partielles montrent déjà un réel impact des actions entreprises dans la décennie écoulée. Pourtant, si le « compter » est plus ou moins enseigné par tous les maîtres, un enseignement scientifique rénové dans l'esprit de *La main à la pâte* ne l'est encore que par moins du tiers d'entre eux. L'effort doit donc être résolument continué.

- S'agissant des *sciences de la nature (expérimentales et d'observation)* et de la technique qui leur est étroitement associée, l'impact du *Plan de rénovation 2000-2003* montre la voie à suivre. Ce Plan serait avantageusement suivi d'actions analogues pour les deux autres cycles, dès l'école maternelle, en s'appuyant sur des municipalités volontiers convaincues par les résultats déjà observés et sans négliger la poursuite d'une action en profondeur au Cycle 3. Formation et accompagnement des maîtres sont désormais la clef d'une dissémination touchant toutes les classes et font ci-dessous l'objet d'observations particulières.
- S'agissant des *mathématiques*, leur enseignement gagnera à bénéficier d'une coordination avec celui des sciences de la nature, et le bénéfice sera mutuel. L'intervention du monde réel dans l'apprentissage des mathématiques peut s'organiser dès le plus jeune âge : c'est une illusion de penser que les élèves ne savent que ce qu'on leur enseigne à l'école. En arrivant au cours préparatoire, ils savent parler, dessiner, ils ont quelques premières notions, très variables, sur les nombres, ils connaissent toutes sortes de jeux. Les mathématiques scolaires vont s'articuler avec ces premières connaissances, vont les développer, les systématiser et les organiser. Les livres les plus remarquables partent de connaissances communes pour développer le sens de la géométrie et celui du calcul.
- Quant à l'apprentissage élémentaire des *technologies numériques de l'information*, qui dépasse évidemment l'usage qu'en font les sciences mais dont les concepts informatiques

sont clairement scientifiques, il requiert une attention beaucoup plus soutenue que celle accordée aujourd'hui, car l'ordinateur ou le monde numérique au sens large (téléphone par exemple) font désormais l'objet d'une fréquentation comparable, quoique différente, à celle du papier et du crayon : collecte de données, classement, production ou modification de textes, communication intègrent de façon réfléchie et construite l'ordinateur dans la vie de l'élève, en font progressivement un moyen normal de communication entre le maître et l'élève, entre l'élève et le monde du savoir, sans dépasser le niveau d'une algorithmique presque aussi naïve que celle qu'emploie l'élève pour s'y retrouver dans ses livres ou classeurs.

Mathématiques, sciences de la nature, techniques, usage des technologies numériques gagneront désormais à conjuguer ou coordonner leurs efforts pour leur but commun, mettant à profit la polyvalence des professeurs des écoles qui autorise une véritable et féconde interdisciplinarité, comme le montre déjà la rénovation entreprise.

2. Formation et accompagnement des professeurs d'école.

Depuis une décennie, toutes les enquêtes et analyses menées en France, comme dans bien d'autres pays par les Académies, montrent que l'état de déshérence générale de tout ou partie de l'enseignement élémentaire des sciences de la nature tient à la crainte qu'éprouvent les instituteurs devant les leçons de science. Bien que les programmes les prescrivent, ces enseignants se sentent démunis devant la complexité, supposée dissuasive, de la science et des techniques d'aujourd'hui, devant la manipulation de matériel en classe ou les questions des enfants immergés dans l'information donnée par les médias. Formation des maîtres et accompagnement au long de leur parcours pédagogique sont donc les deux ingrédients incontournables pour toute rénovation.

Contrairement à une opinion répandue et comme le montrent de multiples exemples, il n'est pas nécessaire d'avoir fait des études scientifiques longues (au niveau de la licence) pour enseigner excellemment les sciences en primaire, tant il est essentiel de se garder d'évidences trop bien construites pour « *comprendre que l'élève ne comprend pas* » (Bachelard). Enseigner les sciences à ce niveau ne requiert du maître polyvalent ni plus ni moins de spécialisation qu'enseigner le français ou l'histoire. Mais un effort spécifique est à faire, en mathématiques comme dans les sciences de la nature, pour que le maître exerce davantage sa réflexion personnelle sur les matières à enseigner.

On ne saurait trop souligner ici l'importance que jouent les expériences réussies, les classes ou écoles pilotes, la parole de maîtres convaincus et capables de partager.

2.1. Formation initiale.

Celle-ci est désormais de cinq années après le baccalauréat. L'Académie soutient l'organisation de licences pluridisciplinaires, proposées par certaines Universités. Bien adaptées à la formation des professeurs d'école, il convient qu'elles soient conçues pour que leurs débouchés dans le cadre du LMD puissent s'étendre au-delà de cette seule carrière.

Il est de la plus haute importance que tous les professeurs des écoles, principalement issus des *Instituts universitaires de formation des maîtres*, aient de la science et de la technique en premier lieu, de leur pédagogie ensuite, une connaissance et une pratique suffisamment approfondies. Ceci est d'autant plus important la majorité d'entre eux est issue d'autres disciplines. La situation actuelle, datant de la réorganisation des IUFM en 2000, est totalement insatisfaisante : elle limite la formation en sciences de la nature & techniques à quelques dizaines d'heures sur deux années et l'oblige souvent à se dissimuler en formation artistique ou linguistique, voire sportive.

- Cette formation doit aller au-delà des stricts contenus enseignés à l'école primaire, pour donner une vision plus authentique et plus globale de la science, de ses méthodes, de son histoire ;

- Une distinction trop poussée entre les diverses disciplines scientifiques n'est pas souhaitable, ce qui implique une coordination entre les différents formateurs des IUFM ;
- Les maîtres enseignant souvent comme ils ont eux-mêmes été enseignés, il serait vain d'attendre d'eux la mise en œuvre d'une pédagogie d'investigation si elle ne leur a pas d'abord été appliquée, à l'IUFM ou auparavant ;
- Cette formation est souvent confiée à des formateurs plutôt impliqués dans la recherche didactique. Les scientifiques présents dans les laboratoires universitaires et acteurs d'une science vivante doivent être bien davantage associés à cette formation.

La question de la certification de la formation est abordée au chapitre IV.

2.2. Formation continuée (continue).

Les professeurs d'école se doivent de montrer au cours de leur carrière une capacité d'adaptation professionnelle et un souci de formation continuée, au-delà des connaissances initialement reçues et nécessairement limitées. Ceci, s'agissant des sciences, est primordial.

A l'exception de trois courtes demi-journées pédagogiques par an, cette formation continuée relève strictement de la décision individuelle dans son volume et son objet, face à une offre de stages multiformes structurée par un plan annuel à l'échelon de chaque académie. Sans se prononcer sur les modalités, l'Académie des sciences doit constater que les efforts de rénovation du cycle 3 n'ont conduit, en moyenne, qu'à environ 2 % des enseignants choisissant de tels stages (d'une semaine ou plus) en sciences expérimentales, ce qui porterait à cinquante ans la durée nécessaire pour toucher l'ensemble de la population enseignante ! Une enquête officielle récente montre aussi que la formation ne touche que la moitié des professeurs d'école en poste. Ce sont donc toutes les modalités de cette formation continuée qui sont à revoir, car la situation actuelle handicape gravement tout effort de modernisation : il est indispensable que cette formation, s'agissant des sciences, fasse partie des obligations professionnelles normales.

Pour l'usage des technologies de l'information, la modification des habitudes traditionnelles de travail des enseignants demande un effort soutenu, qu'il est souhaitable d'étaler sur toute l'année scolaire : l'objectif est d'assurer une transition progressive, mettant en parallèle le monde de l'écrit imprimé et celui de l'écrit électronique, par une réflexion raisonnée.

2.3. L'accompagnement des maîtres.

S'agissant de l'accompagnement des maîtres dans leur pratique quotidienne, dix années d'expérimentation et de rénovation en matière de sciences de la nature et de techniques permettent de discerner quelques composantes indispensables au succès, et d'en dessiner des généralisations nécessaires et possibles :

mise en place systématique de conseillers départementaux « science et technique » ; mise en valeur de centres d'excellence, à la pédagogie innovante, et mutualisation de leurs pratiques ; création de centres de ressources à l'échelle de la circonscription, de la ville ou du département, disposant notamment de matériel expérimental, avec le concours des municipalités ; utilisation de l'outil Internet pour l'échange, l'interrogation de consultants scientifiques ou pédagogiques, l'accès à des ressources, le travail coopératif entre écoles du même ou de différents pays ; collaboration avec le monde des scientifiques ou des ingénieurs, avec les organismes de recherche ou les associations, dans le respect d'une charte de l'accompagnement scientifique veillant à la pertinence des interventions ; production de ressources de qualité, impliquant ces derniers. Insistons sur l'importance que ces lieux et moments d'accompagnement associent sciences de la nature, mathématiques, informatique et autres techniques.

La solution d'« intervenants extérieurs à l'école », qui se substitueraient aux maîtres polyvalents dans les domaines où leur compétence ne paraît pas suffisante, n'est, s'agissant des sciences, en aucun cas recommandée.

L'effort de rénovation conduit en France a éveillé des échos dans le monde. Il est significatif que le prix Félix Klein, la plus importante distinction internationale dans le domaine de l'enseignement mathématique, soit décerné pour la première fois à un Français, Guy Brousseau. On sait que les principes ou outils de *La main à la pâte* font école dans de nombreux pays, devenant parfois un produit d'exportation culturelle. En retour, nos élèves, leurs maîtres, les formateurs des IUFM trouvent là une précieuse ouverture au monde, qu'il convient de soutenir et développer. La France peut ainsi devenir motrice dans la réussite d'une Europe de l'éducation, que la déclaration de Lisbonne appelle de ses vœux pour 2010, c'est-à-dire pour demain.

Les bases d'un enseignement moderne de sciences et techniques à l'école primaire sont bien posées. La mise en œuvre demande de reconsidérer entièrement la formation initiale en IUFM, de faire un effort tenace de formation continue et d'accompagnement, d'établir un partenariat durable avec les associations de professeurs, les communes, les scientifiques et les ingénieurs, en impliquant fortement les Universités, les Ecoles et les laboratoires. A ce prix, un socle solide sera établi pour tous, sur lequel le collège pourra construire des savoirs, développer chez les adolescents le contact avec le concret autant qu'avec l'abstraction, et préparer leur orientation positive vers la diversité des filières et des métiers.

* * * * *

II. Sciences et techniques au collège

1. État des lieux...

en passant du primaire...

La récente refonte du programme relatif à l'enseignement des sciences de la nature en primaire témoigne d'une rénovation des thèmes abordés et surtout de la manière de les aborder. Nos propositions pour l'école primaire en tiennent compte. Celles qui suivent, pour le collège, visent à établir une transition primaire/secondaire meilleure qu'actuellement.

Nous partons ici du constat que, à l'école primaire,

- les enfants, peu conscients de l'existence de disciplines distinctes, parlent tout naturellement de *la science* ;
- dans leur grande majorité, ils aiment cette activité et ils adoptent vis-à-vis d'elle une attitude positive, souvent enthousiaste, dont leurs récits ou leurs dessins témoignent ;
- ils font peu de différence entre ce que leur professeur appelle la *science* et ce qu'il appelle la *technologie*.

... au secondaire

La situation change du tout au tout à l'entrée au collège, non du fait de la qualité des professeurs – le plus souvent très grande – mais parce que, pour les élèves (et parfois pour les professeurs), *La science* se mue pour eux en *Les sciences* (physique, chimie, sciences de la vie, sciences de la Terre, technologie), à quoi s'ajoutent les mathématiques et l'informatique², et que des professeurs différents (en principe quatre) les enseignent. Il est peu probable qu'ils perçoivent beaucoup d'unité entre ces matières qui couvrent, au total, 3 heures/semaine de leur emploi du temps en 6^{ème} et 4,5 heures/semaine en 5^{ème}.

Dans ce contexte, *les mathématiques* méritent une attention particulière. D'une part, comme le mentionne le programme de la classe de 6^{ème}, "une proportion importante d'élèves s'intéressent à pratiquer les mathématiques et y trouvent du plaisir". Mais d'autre part, une proportion notable se trouve là en situation d'échec durable. Sans être une panacée, l'articulation de l'enseignement des mathématiques avec celui des autres disciplines (français, histoire, géographie, langues, arts et sport, autant qu'autres disciplines scientifiques) à laquelle les programmes officiels de mathématiques incitent fortement, devrait être plus sérieusement pensée et organisée. La création de laboratoires de mathématiques, pourvus de matériel, permettant à la fois d'observer, d'expérimenter et de construire des objets de nature mathématique, a été recommandée pour les collèges et les lycées et elle a été récemment réalisée en quelques endroits (10 Établissements sur 45 dans l'académie de Montpellier). Il faudra veiller au fonctionnement de ces laboratoires, où les élèves et les professeurs de mathématiques devraient pouvoir retrouver, pour les guider dans les chemins nouveaux, des personnels (en particulier informaticiens) et des professeurs d'autres disciplines. Un changement est nécessaire, et il est en cours, dans la façon dont les mathématiques sont envisagées au collège : l'interaction avec les autres disciplines, sur laquelle une séance de travail à l'Académie des sciences avait mis l'accent dès l'année 2000, est à l'ordre du jour.

Pour *l'informatique*, il convient d'y sensibiliser les élèves, en vue notamment d'une ouverture du collège sur les métiers qu'ils pourront plus tard exercer, et de les préparer à l'usage des outils qui sont désormais utilisés à tous les niveaux, pour acquérir, classer, retrouver des informations, pour communiquer avec ses collègues au sein de l'entreprise ou

² Il est nécessaire de distinguer ici entre *l'informatique* en tant que partie des sciences et l'usage des *techniques de l'information/communication* comme activité servant toutes les disciplines.

avec le vaste monde, pour rédiger, corriger, mettre en forme imprimable des textes, pour dessiner, insérer des photographies...

S'agissant des *sciences de la nature (d'expérimentation et d'observation)*, il n'est pas question de remettre ici en cause une diversification naturelle et nécessaire qui, d'ailleurs, ira en croissant, pour l'élève, au cours de ses études (collège, lycée, éventuellement université). En revanche il convient d'une part d'en transformer profondément la pédagogie, d'autre part de remédier à une transition trop brutale qui déconcerte bien des enfants et peut leur donner brusquement, de la science, l'image d'un manteau d'Arlequin et d'un monde parcellaire, sans unité visible. Cette transition trop brutale est sans doute en partie responsable de la forte corrélation observée entre résultats médiocres en fin de 6^{ème} et sortie du collège en situation d'échec.

Par ailleurs, c'est le plus souvent au collège que se crée chez l'enfant (et chez ses parents) ce *désamour*, à vieille connotation sociologique et auquel contribuent parfois les conseils d'orientation, vis-à-vis des filières technologiques³ et professionnelle qui aboutit à ce qu'elles soient choisies non par motivation positive mais par le constat d'un échec ou d'une insatisfaction dans les filières classiques. Ce désamour se manifeste le plus souvent par un inintérêt envers les *techniques* et par une méconnaissance profonde des *métiers*. La filiation naturelle et continue entre science et techniques d'une part, puis entre techniques et métiers d'autre part, devrait apparaître à l'enfant comme une évidence, ce qui n'est souvent pas le cas.

Il faut impérativement inverser cet état d'esprit qui, dans une même spirale vicieuse, ternit l'image des techniques, envoyant dans ces filières des enfants réputés inaptes aux matières générales, et dans les filières classiques nombre d'enfants qui n'y sont pas à l'aise et vont à l'échec. Une refonte des enseignements de la voie technique au lycée est essentielle pour ce changement d'image.

2. Recommandations

Face au double constat précédent, l'Académie des sciences propose, pour l'enseignement des sciences au collège, les remèdes suivants, directement inspirés du Rapport BACH-SARMANT, remis au ministre au printemps 2004 (ci-dessous RBS). Les présentes recommandations ont été élaborées en concertation avec l'Académie des Technologies.

Nous les présentons dans un regroupement 6^{ème}-5^{ème} d'une part, 4^{ème}-3^{ème} d'autre part, qui nous semble, mieux que l'actuel, correspondre à deux étapes de la maturation des adolescents.

1. Rapport BACH-SARMANT (2004).

L'Académie en soutient les conclusions et considère, s'agissant des disciplines scientifiques dont il traite (mathématiques, informatique, physique & chimie, sciences de la vie et de la terre), qu'il forme une base solide pour les propositions qui suivent. Elle demande sa mise en application.

2. Les sciences de la nature (expérimentation et observation) en 6^{ème} et 5^{ème}.

Il est proposé la création, en 6^{ème} et 5^{ème}, d'un *cours unifié de science et technique*, développant une pédagogie d'investigation basée sur l'observation et l'expérimentation. Deux procédures, successives dans le temps, sont proposées : la première – initialement testée en 6^{ème} – pouvant être mise sur pieds rapidement (dans les mois qui viennent) sans modification des horaires ni du corps enseignant (*infra* 2.1.1.), et la seconde plus ambitieuse et de construction plus élaborée (horizon 2008 : *infra* 2.1.2.).

³ Il conviendra de réfléchir à la pertinence, au collège et au lycée, du mot « *technologie* » en regard de celui de « *techniques* ». C'est bien en effet à celles-ci que l'on veut introduire l'enfant – comme on l'introduit à la science, aux mathématiques, aux langues... et non pas à un « discours sur » la technique.

2.1.1 Une proposition pour le court terme.

Les professeurs (qui s'en portent volontaires) de sciences de la vie et de la terre, de physique & chimie, de technologie entament à l'échelle de leur collège une concertation détaillée et bâtissent un enseignement finement articulé, basé sur la démarche d'investigation, en y associant les professeurs de mathématiques et en réservant des heures au travail par groupes. Deux manières de faire sont envisageables, à la discrétion de l'Établissement :

- un même professeur se charge de l'ensemble de l'enseignement de ce cours de *science et technique* tout le long de l'année (variante ; durant un trimestre, à charge d'une rotation de cette responsabilité entre professeurs), *ou bien* :
- les professeurs concernés conservent la mainmise sur leur enseignement propre mais ils mettent à disposition de leurs collègues le détail de leur cours en sorte que chacun puisse faire de multiples allusions aux autres cours (« Vous avez vu hier, en chimie, que ... »).

Certains thèmes se prêtent mieux que d'autres à cette fertilisation croisée (*L'eau, L'énergie, L'électricité, Les plantes...*) et il est possible que certains aménagements du programme soient bienvenus, à l'avenir, en vue de favoriser ces liens interdisciplinaires. Mais dès maintenant, sans le moindre changement ni du programme ni des heures attribuées, une expérience pourrait officiellement être lancée en cours d'année scolaire 2004-2005 (par exemple à la rentrée 2005) sur un nombre restreint (par exemple 50) de collèges volontaires, par exemple en *Zones d'éducation prioritaire* où le corps enseignant est volontiers prêt à des innovations notamment s'il est soutenu par ailleurs. L'expérience pourrait être étendue, à la rentrée 2006, sur quelques centaines de collèges. Un groupe commun aux Académies des sciences et des technologies pourrait, en lien avec le Ministère de l'éducation nationale, accompagner cette expérience et proposer une formation adéquate aux enseignants concernés.

2.1.2 À moyen terme

A la suite des expérimentations qui précèdent, un enseignement unifié de *Science et Techniques* (S&T) est créé pour les classes de 6^{ème} et de 5^{ème}, à l'échelle nationale, muni d'un programme spécifique et visant la rentrée 2008.

Les actuels professeurs de sciences et ceux de technologie sont chargés, en 6^{ème} et 5^{ème}, du cours correspondant où – en relation étroite avec le cours de mathématiques – les sciences (sciences de la matière, du vivant, de l'univers) et les techniques sont présentées de manière unifiée, par un seul professeur. Selon sa « dominante » actuelle (physique & chimie, sciences de la vie et de la terre, technologie), celui-ci aura suivi des stages de formation complémentaire sur les matières autres que la sienne et bénéficiera d'un accompagnement spécifique si nécessaire.

La pédagogie demeure, ici, proche encore de l'investigation et soutenue par l'expérimentation, mais elle commence, en biseau, à devenir plus « frontale », l'enfant devant impérativement s'approprier, durant ces deux années, un socle de connaissances définies comme nécessaires pour les cursus ultérieurs.

La partie « *Techniques* » de ce cours doit s'attacher à établir une relation forte avec le cours de science (et réciproquement) en sorte que les élèves perçoivent parfaitement la continuité entre les sciences expérimentales et les techniques ainsi que, au-delà, entre celles-ci et les métiers qui en sont des applications directes. Il est indispensable qu'à cette occasion, les enfants s'approprient cette idée simple que beaucoup des métiers auxquels ils pourront avoir à se former au lycée sont, au travers de cette filiation, en prise directe avec la science et que c'est là une raison de plus de les respecter et de les admirer.

Des travaux expérimentaux, réalisés en petits groupes, illustreront à raison d'un par semaine les notions récemment acquises. La constitution de groupes d'élèves, propice à la

mise en œuvre de la démarche d'investigation, devient possible à l'intérieur du volume horaire global, et reconfiguré, des trois disciplines concernées.

Il va de soi que cette voie, contrairement à la précédente, nécessite une mise en place plus approfondie et plus longue. En particulier, elle suppose que la formation de Mastère et de CAPES comprenne en mineur une discipline complémentaire (voir Chap. IV) ce qui va dans le sens d'une bonne perception de la pluridisciplinarité, et que les Etablissements soient dotés du matériel nécessaire au volet expérimental de l'enseignement, ce qui est d'ailleurs souvent déjà le cas.

2.2. Les sciences de la nature et les techniques en 4^{me} et 3^{me}. Poursuite des matières traditionnelles actuelles par leurs professeurs spécialisés tels qu'actuellement, visant à l'approfondissement des connaissances mais avec un recours renouvelé à l'observation, l'expérimentation et une liaison plus étroite les unes avec les autres tout autant qu'avec les autres matières du curriculum, notamment la *géographie*, l'*histoire*, l'*éducation civique* et l'*éducation physique*, grâce en particulier aux *Thèmes de convergence* (voir RBS).

On s'attachera en particulier à établir de fréquentes références – fussent-elles, le plus souvent, allusives – à l'histoire des sciences, dans leur contexte intellectuel et social, ainsi qu'aux questions éthiques que science et technique posent ; on insistera, à l'aide d'exemples concrets, sur la fertilisation croisée entre ces deux disciplines ; et l'on insistera, chaque fois que propice, sur l'extraordinaire connivence qui lie le monde des mathématiques (nombres, fonctions élémentaires, géométrie, repères...) et celui de la physique.

Les liens qui s'établissent naturellement entre les *disciplines* enseignées (mathématiques, sciences de la nature, techniques ainsi, bien entendu, que celles du pôle *Humanités*) et les divers *métiers* qui en dépendent directement devront être établis en utilisant notamment les capacités et potentialités locales. En particulier, c'est là que le pôle *Technologie* doit cultiver sa vocation principale.

La mise en place dans le programme de *Thèmes de convergence* (voir RBS) rendra naturelles les liaisons et les références évoquées ci-dessus et qui auront pour l'un de leurs objectifs majeurs de donner aux élèves une vision positive des filières technologique et professionnelle.

Les enseignements de mathématiques et de sciences de la nature formeraient à terme un tronc commun entre, d'une part un pôle *humanités*, d'autre part un pôle *techniques* qui pourraient être développés en options fortes.

2.3. Les mathématiques L'enseignement des mathématiques, nous l'avons dit, doit interagir plus fortement avec les autres disciplines. Cela nécessite un effort de la part des professeurs (de mathématiques comme des autres disciplines). Une façon de stimuler cet effort est, sur certains sujets, d'organiser des stages de formation continue s'adressant à des professeurs de plusieurs disciplines : *probabilités* et *statistiques* fournissent aisément de tels sujets. En perspective, une initiation des élèves aux probabilités est très souhaitable.

Des laboratoires de mathématiques sont à créer et, comme pour toute expérience, un bilan doit en être tiré. Celui-ci s'impose dès aujourd'hui pour les IDD (itinéraires de découverte) qui sont riches de promesses, mais ne les tiennent pas toujours, en matière d'interdisciplinarité.

2.4. L'informatique et les technologies de la communication. L'enseignement de l'*informatique* ne sera pas celui de la "science informatique". Il n'est pas non plus exclusivement un jeu. La création et la mise en œuvre du *Brevet Informatique & Internet*, et les moyens afférents, représentent un premier pas significatif et important. Il faut conduire les élèves à utiliser, pratiquement dans toutes les matières, les outils informatiques aussi bien que les outils traditionnels. À côté des papier et stylo, ils tiendront des cahiers

électroniques, remettront des devoirs électroniques, consulteront des bases de données électroniques, pour une partie de leur temps. La puissance et la sophistication des ordinateurs et de leurs logiciels appropriés font que leur bon usage nécessite un long apprentissage qui se poursuivra tout le temps du collège, mais simplement en les utilisant et non sous forme de cours ou de travaux dirigés d'informatique.

* * * * *

III. Les trois voies du lycée

Les deux chapitres qui précèdent traitent de l'école et du collège. Ils proposent d'accroître la qualité de l'enseignement des sciences en insistant sur le caractère de formation de l'esprit, l'aptitude à l'observation, les premières approches de construction intellectuelle, la réalisation et les discussions d'expériences ou d'observation. Ils soulignent aussi l'apport au maniement du vocabulaire et de l'écriture de la langue française, à l'apprentissage d'une vie communautaire apaisée par le dialogue, nécessaire pour conduire un programme (raisonnement, manipulations, présentation). Ceci vaut quel que soit le devenir des écoliers et des collégiens dans le système éducatif.

Or, à la sortie du collège, trois filières d'étude en lycée existent et sont, par ordre d'importance numérique :

- La voie professionnelle ;
- La voie générale ;
- La voie technologique.

Dans l'état actuel des données réunies et des entretiens conduits, nous ne sommes pas en mesure d'analyser ni a fortiori d'émettre des propositions concernant l'enseignement des sciences dans ces trois voies.

Nous nous proposons de conduire, si possible avec l'Académie nationale de médecine, l'Académie d'agriculture de France et l'Académie des technologies, une étude qui viendrait à échéance en juin 2005 et aborderait :

- les modalités de choix entre voies à l'issue de la scolarité obligatoire ;
- la structure indifférenciée de la classe de seconde ;
- les programmes scientifiques et technologiques dans les trois voies ;
- la formation initiale et permanente des enseignants ;
- les métiers et l'entrée dans la vie active ;
- l'entrée dans l'enseignement supérieur ;
- la formation tout au long de la vie.

Dans cette étude, la place et le rôle de la science, au sens défini dans ce texte, seront examinés en tant que valeur fondamentale de notre culture, en tant qu'élément essentiel pour tout citoyen, en tant que facteur déterminant de développement pour le pays.

* * * * *

IV. La formation des maîtres

La formation initiale (CAPES ou CAPET pour le plus grand nombre, agrégation pour une minorité) donnée en France aux futurs professeurs de sciences ou de techniques des collèges et lycées est à juste titre réputée pour sa qualité. Pourtant, le constat fait au chapitre II sur les évolutions nécessaires de l'enseignement appelle de profondes modifications. Nécessairement progressives, elles constituent néanmoins un préalable majeur de toute réussite, comme les transformations conduites dans le primaire l'ont déjà démontré.

Quelle que soit sa discipline, un professeur de collège ou de lycée doit, au fil de sa carrière, développer ses compétences et connaissances. S'agissant des sciences et techniques au rythme d'évolution extrêmement rapide et à la complexité sans cesse croissante, cette obligation devient particulièrement ardente, et simultanément difficile à satisfaire. Il n'est donc pas surprenant que les dispositifs traditionnels de formation continuée se révèlent aujourd'hui fort mal adaptés, malgré la bonne volonté individuelle, souvent grande, des personnes, malgré l'effort remarquable et trop peu soutenu des associations spécialisées de professeurs, voire des sociétés savantes professionnelles, ou encore celui plus récent des organismes de recherche dans leur volonté de « partage du savoir » (l'*outreach* anglo-saxon).

Dans l'un comme dans l'autre cas, la multiplication d'initiatives ponctuelles est souhaitable, mais ne dispensera pas les personnels et les pouvoirs publics de se saisir de la question sur le fond. Sans entrer ici dans le détail de modalités complexes, l'Académie souhaite souligner quelques aspects de ces indispensables évolutions, étroitement liées à celles de la science elle-même, mais également à son contexte national, européen ou international.

1. La formation initiale.

1.1. Les professeurs des écoles. Ce point a déjà été abordé au Chap. I, où sont formulées plusieurs recommandations concernant les licences pluridisciplinaires et les études en IUFM. Il est impératif qu'au-delà de la licence, cette formation, à mieux équilibrer, comprenne d'authentiques éléments de connaissances scientifiques, enseignés aux côtés des aspects psychologiques, sociologiques ou didactiques requis par l'exercice de la profession. Revenant à la loi de création des IUFM, cette formation devrait, dans l'avenir, être validée par un mastère professionnel, mention « enseignement général », enseigné avec la collaboration de scientifiques actifs et délivré par l'Université après vérification de la consolidation des notions acquises. Ainsi serait préservée la possibilité de mobilité des personnes, notamment dans l'espace européen, et mieux garantie leur capacité de faire évoluer leurs connaissances scientifiques et leur pédagogie.

1.2. Les professeurs de collège (et de lycée). Les évolutions proposées au Chap. II doivent s'accompagner de modifications significatives de leur formation, aujourd'hui majoritairement certifiée par un CAPES ou un CAPET, préparé en IUFM ou en Université.

- Pour atténuer l'actuel excès de spécialisation, il est proposé d'introduire dans les CAPES disciplinaires actuels (physique & chimie, sciences de la vie et de la terre), les notions de *majeure* et de *mineure* de formation. Sans aller jusqu'à une bivalence complète, ceci assurerait au futur enseignant une vision plus globale de la science et des relations fécondes entre disciplines spécialisées, et lui donnerait la capacité d'assurer les enseignements de « sciences et techniques » en 6^{ème} et 5^{ème}. L'introduction complémentaire d'une formation (et de l'épreuve associée) en culture scientifique générale, incluant des éléments d'histoire des sciences, va dans le même sens. Dans tous

les cas, le lien entre les sciences et les techniques devra être souligné et développé. On veillera également à donner aux futurs professeurs une méthodologie de mise à jour de leurs connaissances, et éventuellement de contact avec la science en train de se faire, par l'utilisation de la richesse d'information présente dans les outils de communication numérique. Ces mesures, pour l'essentiel, concerneraient des unités spécifiques, proposées aux côtés des matières de *majeure*, lors de la première année de maîtrise dans les universités (M1) ;

- Veiller à ce que la formation professionnelle comprenne une préparation à la mise en œuvre de la démarche d'investigation dans la classe ;
- Par combinaison d'un complément de formation disciplinaire assuré par l'Université et de la formation professionnelle assurée par l'IUFM, le diplôme de Mastère professionnel, mention « enseignement spécialisé en ... », devrait être délivré, avec les mêmes bénéfices que signalés en 1.1. ci-dessus.

Une partie, sinon la totalité de ces évolutions peut se faire à très courte échéance, et marquer ainsi une volonté de rénovation de l'enseignement des sciences et des techniques au collège.

Atténuer les barrières disciplinaires, favoriser la démarche expérimentale et d'investigation, veiller à la culture générale des enseignants, leur donner les bases d'un perfectionnement ultérieur sont des objectifs également adaptés aux besoins du lycée, où enseignent également des titulaires du CAPES.

1.2. Des propositions à venir.

Dans son étude programmée pour juin 2005, l'Académie abordera la question de l'agrégation. Pour répondre aux besoins spécifiques à un enseignement des sciences rénové au collège, au lycée, en classes préparatoires et dans les premiers cycles universitaires, elle envisagera l'instauration d'un concours de pré-recrutement au terme de la première année de licence, au-delà duquel les études seraient structurées par paliers menant respectivement au CAPES rénové, à une agrégation rénovée, à un doctorat.

2. La formation continuée des professeurs de collège.

Une enquête nationale sur la formation continue (INSEE, 2000) a montré quelques spécificités de celle-ci chez les enseignants, toutes disciplines confondues. S'il apparaît que les enseignants ont plus souvent recours à la formation continue que les autres salariés, les formations qu'ils suivent sont plus courtes. L'enquête montre également que cette formation est le plus souvent à l'initiative des enseignants eux-mêmes, et que ceux-ci ont des comportements bien distincts vis-à-vis de la formation : si près d'un tiers avait suivi régulièrement des formations, plus d'un autre tiers n'en avait suivi que peu ou pas dans la période triennale couverte. Dans le second degré, la part déclarée « d'auto-formation » est très faible.

Un constat fréquemment fait est la difficulté qu'ont, dans les matières scientifiques, les professeurs de collège à maintenir un réel contact avec la science vivante dans leur spécialité, et a fortiori au-delà. Contrairement à d'autres disciplines (lettres, langues, histoire) où une grande diversité de travaux ou de lectures permet de maintenir un tel contact, la rapidité et la complexité de l'évolution des sciences et des techniques rend désespérée, pour beaucoup d'enseignants, toute velléité de mise à jour. Cette situation ne manque pas d'avoir un impact sur leur enseignement. Faut-il voir un signe de ceci dans les conclusions d'une récente enquête (février 2003) de la *Direction de l'évaluation et de la prospective* ? Celle-ci souligne que les enseignants de science consacrent moins de temps à se documenter et à des recherches personnelles que ceux des matières littéraires. Il faut sans doute y lire le signe d'une grave

absence de médiation entre la science en train de se faire et ceux qui l'enseignent dans le second degré, absence dont les scientifiques portent une importante responsabilité.

L'Académie, qui reviendra sur ce point essentiel dans son étude de 2005, se borne ici à quelques observations, spécifiques à l'enseignement des sciences :

- il est difficilement concevable de maintenir une situation où n'existe pas, sous des formes à définir, une obligation professionnelle de formation, permettant aux professeurs de collège de renouveler leurs connaissances et leur rapport à une science active. En retour, outre les concours internes, un tel renouvellement doit se traduire par des incidences positives et significatives sur leur carrière
- cette mise à jour de ceux qui enseignent implique aussi, à l'évidence, une mise à jour de ceux qui ont la difficile tâche de les inspecter ;
- l'émergence de la communication informatisée offre des moyens exceptionnels pour échanger l'information et la traiter, pour mettre au point des outils de simulation, pour mettre à disposition résultats et méthodes de la recherche de façon claire et attrayante. Des sites Internet, comme celui de *La main à la pâte* pour les professeurs des écoles ou celui des Ecoles normales supérieures pour ceux du lycée, révèlent à la fois l'ampleur de la demande, le coût à consentir pour y répondre, et le succès des réponses proposées, notamment par une interactivité avec la communauté scientifique.

* * * * *