

**ENSEIGNEMENT DES SCIENCES
ET ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL
DES ENSEIGNANTS ET ENSEIGNANTS-CHERCHEURS**

Jean-Pierre DEMAILLY

**Professeur de mathématiques à l'Université de Grenoble I
Membre Correspondant de l'Académie des Sciences**

Rapport transmis au gouvernement début août 2001 - (extraits)

NDLR : ce rapport concerne l'enseignement des sciences dans sa globalité et la section I présentée ci-dessous est, pour des raisons de place, très raccourcie par rapport à la version intégrale qui est consultable et téléchargeable à l'adresse :

<http://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~demailly/rapport.html>

L'analyse soutenue dans ce rapport est que la qualité de l'enseignement public scolaire et universitaire s'est considérablement dégradée depuis une dizaine d'années, pour des raisons objectives et quantifiables, et que c'est cette dégradation globale, massive, qui est la cause principale de la désaffection des étudiants dans les filières scientifiques, ainsi que de la difficulté qu'éprouvent les enseignants et enseignants-chercheurs à pouvoir exercer efficacement leur métier. Bien entendu, si le texte est très fortement critique, c'est aussi parce qu'il se concentre à dessein sur les difficultés et ne s'étend pas sur les aspects positifs (cela ne veut pas dire qu'il n'en existe pas aux yeux de l'auteur de ce texte...)

1. ENSEIGNEMENT DES SCIENCES : UN ÉTAT DES LIEUX

Notre pays ne forme plus assez de scientifiques dans un certain nombre de secteurs clé (sciences « fondamentales », informatique, technologies de pointe, etc.), et il en est de même pour nos principaux partenaires européens, cf. [1]. Dans le même temps, le niveau des étudiants qui se préparent à entrer dans le professorat ne cesse de baisser...

... des réformes successives et trop rapprochées ont été mises en œuvre, venant fragiliser l'édifice délicat patiemment mis en place par les générations précédentes, faisant parfois table rase de la longue expérience accumulée, aboutissant dans tous les cas à une diminution du

potentiel adaptatif. Les réformes ont souvent été menées au nom de soucis louables « d'égalité des chances » et de « démocratisation de l'enseignement », mais dans la réalité, au prix du choix systématique du plus petit dénominateur commun. Puisque ce plus petit dénominateur imposait une réduction des contenus, on a taillé sauvagement dans les programmes. Au lieu de repenser les programmes dans leur globalité, les contraintes de temps ont fait qu'on a préféré concevoir les programmes au coup par coup. Ceci a abouti à la conception de programmes en « structure de gruyère ». En Sciences, beaucoup de parties explicatives fondamentales, souvent celles qui permettaient aux élèves d'asseoir leurs connaissances sur une compréhension de fond ou d'alimenter leur réflexion citoyenne, ont été supprimées sans raison et sans aucune analyse didactique sérieuse des résultats que ces décisions pouvaient engendrer ¹.

Il est à noter que l'on n'enseigne actuellement presque aucune « informatique sérieuse » au Lycée, juste une formation à l'usage de logiciels assez spécifiques comme les tableurs ou les instruments de calcul, en général dans des contextes qui réduisent les élèves à l'état d'utilisateurs passifs de techniques venues d'ailleurs, et qui leur restent totalement étrangères au plan de la compréhension des mécanismes ².

1 Souvent, les orientations prises par l'institution éducative semblent résulter d'idées assez naïves soutenues par quelques personnalités très en vue, tout aussitôt déformées et poussées à leur extrême dans leur application, et reprises comme la vérité unique par les responsables administratifs, sans réelle concertation ou va-et-vient avec les acteurs du terrain. Il en a été ainsi pour la réforme dite des maths modernes dans les années 1970, qui prétendait que la seule clé de la compréhension scientifique était l'introduction de la méthode axiomatique formelle dès la classe de sixième, voire dès la maternelle. On en a vu les piteux résultats. Aujourd'hui - en retour de balancier si l'on peut dire - des scientifiques éminents ont fait remarquer que la science expérimentale était peut-être un point faible de notre pays et devait donc être davantage prise en compte dans le système éducatif. Il semble malheureusement en avoir été conclu qu'il fallait évacuer tout concept un tant soit peu théorique des programmes de l'enseignement secondaire ! Si des cas d'expérimentateurs purs comme Faraday existent, il y a aussi de nombreux exemples de théoriciens dont les résultats ont abouti à des retombées pratiques considérables (Poincaré, Einstein, Bohr...). La science, presque par définition, est une combinaison harmonieuse d'expérimentations et de modélisations théoriques, et elle doit évidemment apparaître comme telle dans l'enseignement.

2 Il a été écrit a de nombreuses reprises, y compris par des scientifiques reconnus, mais surtout par des milieux proches des média et du monde politique, que fait de disposer via les ordinateurs d'une grande puissance de calcul automatique aller pouvoir dispenser l'être humain de la plus grande partie de ses efforts intellectuels. Mais si l'on imagine que les ordinateurs d'aujourd'hui sont capables de simuler certains processus intellectuels, c'est probablement, en dehors de quelques cas de systèmes experts très particuliers et très limités, qu'on ne dépasse guère le niveau de l'intelligence simiesque (et encore... les singes

Bien sûr, une formation à l'usage de logiciels spécifiques est compréhensible pour des filières courtes à visée professionnelle (secrétariat, comptabilité, etc.), mais ce type de formation n'a pas sa place dans les filières générales. Des expériences tentées il y a environ une quinzaine d'années dans les programmes du secondaire ont montré qu'il était possible, en option informatique, d'enseigner des choses beaucoup plus intéressantes, telles que la programmation dans un langage informatique de base - par exemple en relation avec les mathématiques et la compréhension des concepts logiques fondamentaux (cf. aussi l'analyse de Bernard Lang parue dans [8]). Ces concepts restent hélas presque totalement ignorés dans l'enseignement actuel au Lycée. Cela est consternant, compte tenu de l'importance croissante que jouent ces concepts dans la technologie contemporaine et même dans la vie quotidienne³.

Mesures concrètes

c) Lycée

- Grande diversification des filières. La filière d'enseignement général, par exemple, pourrait se scinder (peut-être par paliers et/ou avec des tronc communs) au moins en A) Arts et lettres B1) Sciences économiques B2) Sciences sociales C) Sport et société L) Langues SF) Sciences fondamentales ST) Sciences et technologie SI) Sciences et informatique SV) Sciences de la Vie et de la Terre ;
- Les horaires seraient fortement différenciés en fonction des filières. Dans les filières SF, ST, SI, le poids des mathématiques serait

font beaucoup mieux que l'ordinateur dans quantité de domaines!). S'il s'agit d'épargner à l'être humain des efforts de calcul purement mécaniques, l'argument peut éventuellement s'entendre. Mais certains inspecteurs généraux de l'Éducation Nationale sont allés jusqu'à prétendre qu'il n'y avait plus lieu de développer les capacités de calcul chez les élèves, ni de s'interroger sur les principes de fonctionnement de la technologie, et que seuls les résultats accessibles via la prothèse électronique comptent. Je me permets de m'inscrire en opposition totale farouche contre ce point de vue. Car en définitive, cela revient à peu près à dire que le citoyen n'aura plus aucun moyen de contrôle sur la technologie qu'il utilise, ni aucun moyen d'évaluer la pertinence des choix technologiques que la société lui impose. Et qu'il sera donc livré sans défense possible aux appétits de quelques « élites » disposant seules de la connaissance scientifique et technique. On voit déjà les prémises de cette situation avec l'émergence de monopoles technologiques mondiaux.

³ La plupart des étudiants qui entrent à l'Université semblent très mal comprendre les liens qui peuvent exister entre la numération en base 2, la codage de l'information et les connecteurs logiques comme « et », « ou », etc. Rien d'étonnant à cela : on ne le leur a jamais appris. Mais on prétend cependant que nous allons bientôt entrer dans l'ère du tout numérique !

élevé, de même que la Physique dans les filières SF et ST. La filière SI pourrait sceller la création d'une véritable filière d'enseignement de l'informatique et de la programmation ;

- L'informatique serait présente (1 à 2 heures par semaine environ) dans les autres filières. Dans tous les cas, il s'agirait de l'apprentissage des concepts de base de l'informatique et de la programmation, en relation avec la logique élémentaire et le raisonnement mathématique [et non pas de l'utilisation passive des outils, comme dans les programmes actuels !]

IV. ENTRÉE DANS LA SOCIÉTÉ DE L'INFORMATION : PLAIDOYER POUR UN LIBRE ACCÈS À LA CONNAISSANCE SCIENTIFIQUE

C'est presque un lieu commun de dire aujourd'hui que nous sommes entrés dans la Société de l'Information. Les nouveaux moyens de communication ont engendré un bouleversement important des méthodes de travail, dans un premier temps dans le monde scientifique – où l'utilisation massive de l'Internet remonte au moins à une quinzaine d'années – puis petit à petit dans l'ensemble de la société, acteurs économiques et grand public.

Le gouvernement a clairement pris la mesure des enjeux sociaux et industriels, et va devoir s'engager dans des décisions de grande envergure au niveau des infrastructures : réseaux à haut débit, équipement des établissements publics et des particuliers. Mais comme chaque fois qu'une nouvelle technologie en rupture brutale avec le passé apparaît, de nouveaux dangers apparaissent aussi. En l'occurrence, ici, le danger le plus menaçant est l'appropriation des nouvelles technologies par un petit nombre d'acteurs mus uniquement par des intérêts privés, en contradiction avec l'intérêt général, la liberté individuelle et le libre exercice du travail scientifique. On observe déjà de grandes manœuvres d'intimidation et de lobbying de la part de quelques grands groupes et grandes sociétés, tendant à détourner à leur profit ce qui devrait être le bien commun, en particulier la connaissance scientifique. Seule la puissance publique a le pouvoir de réguler ce qui doit l'être (et ne pas réguler ce qui ne doit pas l'être), et de prendre les mesures nécessaires pour faire prévaloir l'intérêt général. Je voudrais expliquer ici quels sont à mon sens les grands enjeux en matière de Sciences et d'Éducation.

1. Une certaine conception de l'éthique de la connaissance

L'idée que des connaissances fondamentales puissent être accaparées par des sociétés privées pour leur seul profit (tout en barrant l'accès à ces connaissances - ou en « rançonnant » cet accès par le biais de la commercialisation) suscite à l'heure actuelle bien des interrogations et de forts mouvements d'opposition. On l'a vu à l'occasion des tentatives de prise de brevets sur le génome humain ; la réprobation a été si forte que les sociétés de biotechnologies concernées ont dû dans une certaine mesure faire machine arrière, mais le danger est loin d'être écarté ⁴.

D'une façon parallèle, nous avons assisté depuis environ deux décennies à une mainmise insidieuse d'un petit nombre de sociétés sur les technologies de l'information et de la communication. Insidieuse, parce que le phénomène a été très progressif, que les consommateurs y ont trouvé quelques échappatoires, et qu'on n'y pouvait de toutes façons pas grand chose à l'échelon individuel.

Les citoyens qui ne sont pas directement concernés n'y prennent pas vraiment garde, surtout par manque d'information sur ce qui se trame en coulisses, mais à l'heure actuelle une course féroce a lieu pour le contrôle de l'accès à l'information, via les banques de données, les systèmes de télévision par câbles ou par satellites, etc. Cela fait peut-être partie du jeu commercial normal pour les programmes de télévision, les données ludiques, les œuvres musicales ou artistiques. Mais on entre dans des eaux troubles dès qu'un « contrôle » s'exerce pour limiter ou contraindre les données que l'utilisateur produit lui-même. Ainsi, aujourd'hui, beaucoup d'utilisateurs ne se rendent même pas compte que les textes qu'ils produisent avec leur traitement de texte Microsoft-Word est encodé dans un format obscur et non documenté dont seul Microsoft possède l'algorithme de décodage ; ce format, de plus, change régulièrement tous les 2 ou 3 ans, de façon à obliger l'utilisateur à procéder à des mises à jour de son environnement propriétaire, dont il devient littéralement prisonnier.

Le même problème se pose avec l'usage de programmes de calcul propriétaires comme Maple ou Mathematica - bien que les équipes de chercheurs et d'ingénieurs qui les produisent aient certainement en la

⁴ Des manifestations de plus en plus claires montrent bien la ferme opposition des citoyens les plus clairvoyants à ces menaces bien réelles. L'actualité récente et les manifestations hostiles liées à la réunion du G8 à Gênes en sont une illustration évidente. Il y a d'autres signes montrant une certaine ébullition de la communauté scientifique : pétitions de biologistes, etc.

circonstance des intentions moins pernicieuses. Supposons par exemple que Maple soit utilisé pour démontrer ou achever la vérification de résultats nécessitant des calculs très compliqués qui ne peuvent pas être faits à la main ou par d'autres moyens. Il y a là une rupture du contrat fondamental qui veut que les preuves mathématiques reposent sur des éléments vérifiables indépendamment par tous. Ici, un maillon essentiel de la preuve repose sur un calcul qui n'est pas vérifiable puisque le code source du programme utilisé n'est pas connu (il peut y avoir des bogues, des cas oubliés, etc.). Il n'est pas non plus garanti que le logiciel commercial sera disponible sur une longue durée de temps ⁵.

Fort heureusement, la « révolte gronde » aujourd'hui et d'autres issues apparaissent. Richard Stallman, qui était alors chercheur au MIT, a lancé il y a une quinzaine d'années l'idée que les logiciels informatiques de base devaient être librement accessibles à tous, et ne jamais contraindre leurs utilisateurs. Dans la foulée, au milieu des années 1980, il crée la Free Software Foundation (FSF) - je ne sais pas si les responsables administratifs en ont connaissance, mais une grande partie des logiciels fonctionnant sur les systèmes Unix (commerciaux ou non) qui équipent les départements de recherche fondamentale sont issus du travail de la FSF (logiciels GNU [10], comme l'éditeur de textes Emacs). Plus récemment, on a assisté avec l'essor du système Linux [11] à la création de systèmes informatiques complets et très performants en source libre ⁶.

5. Malheureusement, ce sont bel et bien des logiciels commerciaux et propriétaires comme Maple et Matlab qui constituent la recommandation implicite (voire explicite) des programmes de Classes Préparatoires scientifiques, ainsi que des programmes de l'Agrégation de Mathématiques. Et ce, alors que des programmes alternatifs libres et performants existent (Pari/GP, Maxima, Scilab...).

6. Linux n'est que le plus répandu et le plus connu de ces systèmes. Il y en a d'autres, très similaires, comme FreeBSD, OpenBSD, NetBSD et peut-être d'autres encore. Ces systèmes sont développés grâce à un travail collaboratif des informaticiens et scientifiques impliqués, s'échangeant les codes informatiques via les serveurs et le courrier électronique. Les codes concernés sont en libre accès sur des sites se comptant par milliers, répartis dans tous les pays du monde. Chacun peut y contribuer en les testant, en les améliorant, ou tout simplement en les utilisant. À titre personnel, je conseille à tous mes collègues et étudiants de préférer systématiquement Linux aux systèmes propriétaires - les chercheurs de mon Institut doivent être équipés maintenant à plus de 75% suivant cette solution. Une fois passé le choc éventuel du changement d'habitudes et celui d'avoir à faire face à un outil puissant et intelligent, on dispose alors d'un système pratiquement gratuit, plus fiable, plus performant, beaucoup moins sensible aux virus et disposant d'à peu près tous les programmes dont on peut rêver, par exemple par téléchargement direct sur Internet [11], [12], [13]...

Linux compte aujourd'hui plus de 20 millions d'utilisateurs, et il est d'ores et déjà largement en tête sur le créneau des serveurs web du réseau Internet. Depuis un an ou deux, Linux a fait des percées considérables dans l'industrie et les systèmes embarqués (téléphones mobiles, terminaux d'accès, consoles de jeux...). Si l'évolution favorable constatée ces dernières années se poursuit encore quelques années de plus, des pans entiers du secteur des technologies de l'information et de la communication pourraient se trouver « libérés ». Il faut s'en réjouir, car la science ne peut se nourrir que d'une libre circulation de l'information - et l'informatique sera un maillon important de la chaîne en ce début de millénaire ⁷.

Encore faudrait-il, cependant, que les États ne prennent pas, sous la pression des lobbies privés, des décisions légales ou juridiques qui mettraient en péril le travail des scientifiques ; j'y reviendrai en beaucoup plus de détails dans le paragraphe concernant les brevets logiciels.

2. Accès aux données scientifiques

Les scientifiques ont pris l'habitude, depuis des décennies, de consulter les œuvres de leurs pairs et de leurs prédécesseurs dans les grandes revues internationales, et l'accès à ces travaux est en effet indispensable au développement de la science.

Cependant, depuis environ 10-15 ans, les modes de communication ont été bouleversés avec l'apparition du courrier électronique et des serveurs de données. Dans le même temps, certaines communautés très actives ont développé des standards ouverts de formats de données, comme TeX qui est maintenant utilisé par la très grande majorité des chercheurs en mathématiques et en physique pour la rédaction de leurs travaux ⁸.

7. La prise de conscience se développe dans de nombreux pays. Le Mexique a ainsi décidé de doter toutes ses écoles (soit tout de même 150 000 établissements...) de systèmes Linux [14]. La Chine Populaire vient de choisir Linux pour son appareil administratif, indépendance nationale oblige. La Maison Blanche a émis il y a un peu plus d'un an un rapport recommandant l'usage des logiciels libres pour les grosses applications scientifiques [15]. En France également, des associations très actives comme l'AFUL [16] contribuent à une évolution positive de la situation, cf. [23].

8. La pérennité de l'accès aux documents TeX est assurée pour une très longue durée, puisque ce sont des formats universels et entièrement documentés dont l'éminent informaticien américain Donald Knuth a bien voulu faire don à l'humanité. Au besoin, il serait assez facile de convertir automatiquement les textes saisis *en TeX* dans de nouveaux formats - et cela sera de plus en plus facile à mesure que la puissance des processeurs augmente.

Ceci a permis de créer des serveurs de prépublications qui couvrent maintenant presque tout le champ de la physique théorique et des mathématiques, comme le serveur *arXiv* créé par Paul Ginsparg à Los Alamos⁹.

De ce fait, les scientifiques se trouvent aujourd'hui dans une situation paradoxale. Les manuscrits de recherche sont de plus en plus souvent immédiatement accessibles à la communauté via le web, mais à une certaine étape vient le moment de soumettre les travaux à des revues. Et là, au moment de la publication, il leur faut signer des documents cédant tous les droits de publication à la revue X. Moyennant quoi, cette revue X va se charger de publier l'article dans un fascicule imprimé, et en *revendre* quelques centaines d'exemplaires aux bibliothèques des départements scientifiques concernés, à des tarifs souvent exorbitants au regard du travail d'édition fourni (dont la plus grande partie est d'ailleurs assurée par les chercheurs eux-mêmes). On ne peut même pas dire que la qualité d'impression y a gagné par rapport aux publications électroniques, puisque le plus souvent, le chercheur va se contenter de photocopier l'article dans la revue X, avec une qualité de reproduction aléatoire et très inférieure à ce qu'on peut obtenir en imprimant directement le fichier source électronique.

L'an dernier, des dizaines de milliers de biologistes ont publié une pétition sur Internet pour protester contre la mainmise de quelques grands éditeurs sur l'édition scientifique. De nouveau, on assiste à des manoeuvres diverses de la part de ces éditeurs (comme le regroupement des revues par « lots », dotés de tarifs soit disant préférentiels vis à vis des bibliothèques universitaires), en vue de tenter de reconquérir le « terrain perdu » sur la plus grande autonomie acquise par les scientifiques grâce à Internet.

Je voudrais plaider ici pour une démarche résolue de la puissance publique, visant à aider les scientifiques à poursuivre la mise en place de revues électroniques et bases de données scientifiques en libre accès. Le recours à de telles bases de données aurait l'énorme avantage de se prêter au fonctionnement systématique des moteurs de recherche,

9. Ce serveur possède de nombreux miroirs passifs dans le monde, avec en projet un miroir « actif » qui devrait être implanté à Lyon sous la responsabilité du CCSD, grâce à un financement du CNRS.

permettant ainsi de retrouver facilement des informations au milieu d'une masse de données en croissance exponentielle ¹⁰.

Certes, de tels systèmes auraient un coût de fonctionnement, mais vu le prix actuel de la technologie (lire de nouveau ce qui précède sur le système Linux !), ce coût serait assez modeste et comporterait essentiellement des frais de secrétariat et de maintenance informatique. Il serait certainement très inférieur à la somme cumulée des coûts supportés par les bibliothèques scientifiques pour acheter les revues imprimées, où pour payer l'accès aux revues électroniques, dans le cas où l'accès serait payant. De plus, on s'épargnerait l'effort pénible et le coût d'avoir à exercer un contrôle policier sur qui télécharge quoi, et on permettrait aussi aux pays en voie de développement (ou tout simplement aux chercheurs non membres des seuls départements scientifiques abonnés à la revue X) d'y avoir accès rapidement et sans efforts.

Pour que cette idée puisse voir le jour, il faudrait un certain niveau de mobilisation et de consensus autour de ces questions, et surtout que les instances de tutelle veuillent bien reconsidérer leur politique de financement, en reversant aux revues une petite partie des sommes qui étaient autrefois affectées à l'équipement des bibliothèques, et en considérant qu'il y a là un besoin de financement permanent sur de longues périodes. (On peut imaginer cependant que l'idée de réaliser à terme des économies sera plutôt vue d'un bon œil !). D'un point de vue technique, il faudrait que la communauté scientifique s'assure de disposer en continu des compétences nécessaires pour la maintenance des systèmes informatiques, et de développer ou faire développer les plates-formes logicielles requises (pour éviter d'avoir à reproduire les mêmes efforts en plusieurs endroits) et **surtout** de bénéficier d'un cadre légal lui autorisant la libre gestion des données (à l'abri par exemple de poursuites judiciaires provenant de prises indues de brevets sur ce qui serait en fait de pures connaissances scientifiques). Ceci pourrait très

10. Pour se convaincre que la technologie est au point, on peut par exemple essayer de faire des recherches sur <http://www.google.org> qui indexe le monde entier, soit plus d'un milliard de pages web. Quelle que soit l'information entrée, sa langue et son niveau de sophistication, on obtient en général en une fraction de seconde la localisation de l'information cherchée, et les premières lignes sont effectivement presque toujours les plus pertinentes possibles grâce à une technologie très performante de classement des informations. Par parenthèse, la technologie Google est entièrement basée sur des logiciels libres et fonctionne grâce à une colossale « ferme » de systèmes Linux. Je recommande systématiquement à mes collègues d'encourager Google en le visitant plutôt que les autres moteurs de recherche. De toutes façons, Google est bien plus performant, d'accès gratuit, et n'impose pas un assaut de bannières commerciales à ses usagers !

bien se faire à l'échelle européenne, et pourrait contribuer alors à un plus grand rayonnement européen en matière de diffusion de la connaissance.

Je crois qu'il y a là une grande urgence. Une évolution des mentalités est nécessaire au niveau administratif et politique - et je suis personnellement convaincu que les scientifiques doivent fortement accroître la pression sur les pouvoirs politiques pour leur faire davantage prendre conscience des enjeux. On constate déjà des évolutions sensibles aux États-Unis, avec une frilosité nettement moins grande vis à vis de l'accès public aux données (au milieu, il est vrai, de menaces autrement plus redoutables pesant sur la libre circulation des connaissances technologiques). Qu'on visite les sites de la NASA et de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), et on constatera qu'une grande quantité d'informations très intéressantes est en libre service.

3. Le danger des brevets sur les logiciels

La protection des innovations techniques par le brevet n'est justifiée que par l'utilité sociale, c'est-à-dire le bénéfice apporté à la Société, quelle qu'en soit la forme. Dans ce contexte, il n'est pas possible d'analyser dans les mêmes termes les brevets sur les innovations matérielles, qui ont un coût de production permanent et incompressible, et les innovations logicielles, beaucoup plus proches par leur statut de la connaissance scientifique pure, ayant éventuellement un coût de création initial mais un coût de reproduction et de diffusion pratiquement nul.

Il faut tenir compte aussi de la bien plus grande interdépendance scientifique de connaissances qui se situent très en amont de la science et qui sont souvent proches d'algorithmes purement mathématiques. Ainsi, toute la cryptographie et les techniques de sécurisation des données reposent sur des concepts arithmétiques tels que la factorisation des entiers, l'arithmétique des courbes elliptiques, etc. Instaurer des brevets sur de tels algorithmes mathématiques revient à condamner à des restrictions draconiennes de diffusion toute science qui viendrait en aval (et, pour ce qui concerne l'arithmétique, on peut dire qu'il s'agit de presque toutes les sciences fondamentales !). Les scientifiques et les citoyens dans leur ensemble auraient alors à subir des restrictions de diffusion d'information totalement arbitraires, contraires en tout point à l'éthique scientifique la mieux établie ¹¹.

11. Un chercheur de renom de l'Université de Princeton, Edward Felten, s'est ainsi vu interdire la publication de travaux de recherche théoriques concernant la sécurisation des

Beaucoup de recherches récentes qui se situent au cœur de l'informatique contemporaine, comme l'étude des langages formels et des procédés de compilation, reposent sur l'utilisation de multiples « boîtes à outil logicielles ». Celles-ci pourront le cas échéant tomber sous le coup de brevets, ce qui interdira ensuite la libre exploitation des langages informatiques, et ouvrira une véritable brèche dans la liberté de recherche scientifique, si ce n'est pas dans la communication scientifique elle-même...

Je renvoie aux études sérieuses et très fouillées faites par des associations comme l'AFUL [21], sur l'impact économique que pourraient avoir la décision d'instaurer des brevets sur les logiciels. Cet impact ne serait positif que pour quelques grandes sociétés déjà en situation de quasi-monopole. L'impact serait extrêmement négatif, à l'inverse, pour tous les scientifiques concernés, pour les jeunes sociétés assurant la création et la diffusion des logiciels libres (il y en a d'extrêmement dynamiques en France, comme MandrakeSoft), et pour la grande majorité des petites PME/PMI qui n'ont pas les moyens financiers suffisants pour déposer des brevets ou effectuer les actions en contrefaçon.

Dans ces conditions, je ne peux que m'étonner des conclusions rendues par la « Commission brevetabilité » animée par Jacques Vincent-Carrefour dans le cadre de l'Académie des Technologies. Ces conclusions, qui sont favorables à l'instauration de brevets logiciels, reposent sur une

données, en particulier la possibilité théorique de craquer la technologie d'authentification SDMI, suite à des lettres de menace envoyées par la puissante RIAA (Recording Industry Association of America, intervenant au titre de la protection du Copyright des oeuvres artistiques), cf. [17]. À long terme, on peut s'interroger sur la pertinence d'une échelle de valeurs sociales qui « évalue » un Michael Jackson ou un Steven Spielberg à plusieurs centaines de millions (sinon milliards) de Dollars, et un Albert Einstein, pourtant découvreur de connaissances fondamentales ayant valeur pour l'éternité et pour l'ensemble de l'univers, à l'équivalent de quelque chose comme 10 000 Dollars mensuels. La réglementation actuelle du copyright artistique a pour principal effet de maintenir la richesse extravagante d'artistes – quel que soit leur talent – constituant une infime minorité de la communauté des hommes d'art ou de lettres. Et de transformer en cybercriminels les millions d'internautes qui s'échangent les fichiers MP3 ou les codes informatiques (illégalement, mais suivant ce qu'on peut cependant estimer être un « bon droit naturel »). Pour moi, le « bon droit naturel » est justifié par le coût effectif presque nul de la reproduction des données – ainsi, une lithographie reproduisant une œuvre de Salvador Dali n'est pas du tout considérée comme équivalente à l'œuvre originale. Depuis l'apparition des nouvelles technologies, l'unique valeur d'une œuvre réside dans le travail de création initial, qui devrait donc être rémunéré suivant des principes nouveaux à trouver et à définir, en fonction de l'impact social (et non pas en fonction du volume de diffusion de copies ayant une valeur intrinsèque presque nulle, mais auxquelles on affecte artificiellement une valeur commerciale).

analyse partielle et partielle, et constituent une véritable insulte à l'éthique scientifique. Il est vrai que la composition même de la commission, constituée pour l'essentiel de représentants de très grands groupes industriels et d'à peu près aucune personnalité scientifique indépendante de renom, laissait planer assez peu de doute sur les conclusions qui pouvaient être atteintes. La commission n'a même pas voulu entendre la position d'associations éminemment intéressées comme l'AFUL (voir [22]), n'a pas voulu prendre en compte des pétitions signées par des dizaines de milliers d'informaticiens et de scientifiques en Europe. Des rumeurs bien informées (fuites de brouillons de documents...) montrent que le rapport de la commission était déjà rédigé moins de 5 semaines après la constitution de la commission, avant même que l'enquête ait pu être sérieusement conduite. Bernard Lang, Directeur de recherches à l'INRIA, bien placé pour connaître les tenants et aboutissants de cette affaire, parle de « malhonnêteté intellectuelle » et de « tentative de manipulation délibérée » vis-à-vis des instances de décision. On ne saurait mieux dire, et j'espère que la communauté scientifique saura réagir de façon vigoureuse.

4. L'administration au service du citoyen et de la société

Je ne voudrais pas m'étendre longuement sur des aspects qui sont *a priori* éloignés de mes préoccupations professionnelles premières. Cependant, il me semble en tant que citoyen qu'il y a de nombreuses opportunités mal exploitées, qui permettraient de mieux mettre le potentiel de l'Internet au service de la Société, en particulier dans le rapport de l'administration avec ses usagers.

Tous les grands services de l'état devraient être consultables et exploitables en ligne - c'est déjà le cas dans une certaine mesure. Mais les formats de documents ne sont pas toujours ouverts (rappelons que les divers formats MS-Word **ne sont pas** des formats de document ouverts, et ils sont d'ailleurs partiellement incompatibles entre eux !). L'État devrait systématiquement favoriser l'usage de formats de documents ouverts pour tous les échanges de données entre les administrations, et encore plus, entre les administrations et les usagers (cf. rapport Carcenac [24] remis au Premier Ministre en avril 2001).

Des aberrations de gestion subsistent. C'est le cas par exemple pour le Bottin Administratif. La liste des services des différentes administrations et institutions est une donnée publique qui concerne en premier chef les citoyens dans leurs rapports avec la puissance publique,

et aussi, en grande partie l'administration elle-même. Or on constate par exemple que le Bottin Administratif n'est disponible que moyennant une somme exorbitante avoisinant 2 000 francs ! Cet argent n'est certes pas perdu pour tout le monde (Société Française du Bottin, qui est une société de droit privé), mais il est assurément gaspillé en grande partie par l'État - évidemment, ceci ne concerne pas la réalisation des annuaires liés à l'Industrie, au Commerce, etc., pour lesquels une gestion privée est parfaitement logique et adéquate. L'État ferait mieux de subventionner la constitution d'une base de donnée électronique publiquement accessible, recensant les adresses et services pertinents relevant de la puissance publique¹².

5. Enseignement et TICE.

Il y a à l'heure actuelle une véritable frénésie autour des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement), sans doute à la faveur de la prise de conscience récente de l'importance économique de l'Internet par la puissance publique. Mais aussi en partie parce que des intérêts privés puissants s'expriment haut et fort dans le but de « placer » leurs technologies auprès du système éducatif, moyennant espèces sonnantes et trébuchantes !

L'analyse développée dans les volets I et II de mon rapport tend à montrer, au moins en matière scientifique, que la plus grande prudence devrait être de mise en ce qui concerne l'introduction des TICE. L'urgence devrait être au contraire de dire qu'il n'y a pas urgence à précipiter l'usage massif de logiciels dont la valeur éducative, le plus souvent, n'est pas suffisamment éprouvée (voir à ce propos la remarquable contribution [25], parue en 1995 dans *Libération*, de Jean-Louis Gassée, principal artisan du système d'exploitation BeOS et expert mondialement connu en Informatique).

Beaucoup de logiciels proposés dans le commerce, notamment pour l'enseignement primaire et secondaire, s'avèrent être des logiciels à caractère essentiellement ludique, et n'ont pas un intérêt éducatif évident. S'ils en ont, il peut y avoir des problèmes d'accessibilité dans le temps ou dans l'espace (en raison de la faible durée de vie des logiciels commerciaux, de leur coût, de la difficulté à les déployer sur une base

12. À vrai dire, dès que les services concernés ont eux-mêmes un site web, les informations afférentes sont disponibles directement par le web via les moteurs de recherche comme Google. Le Bottin Administratif, dans sa forme actuelle, est donc sans doute en voie d'obsolescence rapide.

suffisante, du manque de formation des enseignants, etc.). Les technologies en question ne devraient donc être recommandées dans les programmes scolaires et universitaires qu'après des expérimentations pédagogiques poussées, effectuées par des acteurs indépendants des groupes ou sociétés privées qui les proposent. Le label « Logiciel d'intérêt pédagogique » ne devrait pas être délivré par les services de l'État sans les expérimentations poussées évoquées plus haut.

À l'inverse, l'État doit évidemment dans un premier temps mettre en place l'infrastructure nécessaire pour assurer l'accès à l'Internet des établissements d'enseignement. En particulier, l'État doit veiller à ce qu'une formation permanente adéquate soit disponible pour un grand nombre d'enseignants (c'est un point clé, très loin d'être assuré à l'heure actuelle), nommer de jeunes enseignants bien formés et des personnels techniques appropriés en nombre suffisant, initier des structures collaboratives, si possible sur un plan national, permettant aux enseignants de créer et d'échanger des documents pédagogiques de qualité. Bien entendu, chaque fois que les documents sont produits avec le soutien de l'argent publique et à destination de l'enseignement publique, il devrait y avoir une incitation très forte (voire une réglementation explicite) pour que ces documents soient en libre accès. Dans ces conditions, il est clair que les logiciels libres et documents en source libre pourraient aisément constituer la meilleure solution pour le système éducatif, pourvu que des efforts coordonnés soient faits dans la bonne direction (en Octobre 1998, un accord cadre a été signé entre l'AFUL et le Ministère de l'Éducation nationale [23], mais les moyens mis en œuvre pour donner une suite concrète à cet accord ne semblent pas avoir été à la hauteur de ce qui aurait été nécessaire) :

- Des solutions réseaux extrêmement performantes en logiciels libres existent d'ores et déjà, et ont été déployées à grande échelle sur plusieurs académies pilote (l'Académie de Grenoble est une de celle-là, avec environ 300 établissements dotés de serveurs Linux).
- De nombreux logiciels libres pertinents existent dans beaucoup de domaines pouvant intéresser l'enseignement, notamment la bureautique de base et les matières scientifiques (il y a un manque relatif dans les matières littéraires et artistiques, dû en partie aux limitations créées par le droit d'auteur, mais, même là, il y a des logiciels libres intéressants, pour la musique par exemple ; consulter le site mis en place par le CNDP sous l'impulsion de Jean-Pierre Archambault, responsable de la veille technologique au CNDP, et coordonné par Yves Potin [18]). Il conviendrait néan

moins, si l'on veut que l'initiation aux technologies informatiques ait réellement un sens, que les programmes scolaires veuillent bien inclure des sujets d'intérêt scientifique un tant soit peu consistants, comme l'apprentissage des rudiments de la programmation (ceci concerne a priori surtout les filières scientifiques à la fin du Lycée et au delà, cf. volets I et II)¹³.

Enfin, l'État devrait inciter les institutions scientifiques et les établissements de recherche publics à offrir plus systématiquement en libre accès les données scientifiques qui présentent un intérêt éducatif - en prenant dans ce domaine (le bon) exemple sur ce qui se pratique couramment aux États-Unis (NASA, NOAA...)¹⁴

Ceci vaut pour les documents d'histoire naturelle, les documents historiques, géographiques, géologiques ou muséologiques, dans la mesure où les données font partie du patrimoine culturel de l'humanité. Des subventions adéquates de l'État, probablement peu coûteuses, pourraient venir compenser le coût de maintenance des serveurs.

De nouveau, c'est le rayonnement culturel du pays qui est en jeu. Il faut avoir à l'esprit que des conditions restrictives abusives sur le droit de reproduction des données va empêcher la libre exploitation des documents par les enseignants pris individuellement. Bien sûr, ce n'est pas le cas pour les grands groupes multimédia, qui ont actuellement tous les moyens pour effectuer les démarches nécessaires, exercer des poursuites légales en cas de besoin, arracher des accords privilégiés, obtenir des « prix de gros » qu'ils rentabilisent aussitôt sur les volumes de vente de cassettes ou CD-Rom, souvent à des prix nettement supérieurs aux coûts de production, lorsque la concurrence est inexistante.

13. Je peux relater l'anecdote suivante, intervenue l'an dernier. Je cherchais alors sur Internet un logiciel libre permettant la réalisation « d'images magiques » tridimensionnelles. Assez rapidement, je tombe sur le site d'un chercheur allemand avec qui j'engage des discussions, et qui ont abouti à la réalisation en commun d'un modélisateur permettant de visualiser des formes 3D à partir de leurs équations mathématiques, et de les rendre en « images magiques ». Une fois le travail fait, je réalise qu'il ne s'agit pas en fait d'un chercheur, mais d'un lycéen allemand qui a démarré ce travail remarquable dès l'âge de 15 ou 16 ans, et qui m'annonce qu'il doit interrompre un moment le développement du logiciel parce qu'il va passer l'Abitur (Baccalauréat allemand) ! (voir son site « Stereograph for Linux » [26])

14. En France, par contre, il n'est même pas possible de se procurer des cartes géographiques à petite échelle du pays sans tomber sur l'icône : « carte bancaire » – cf. le site de l'IGN : <http://www.ign.fr>, dont je ne partage pas l'auto-glorification proclamée. Il m'a fallu aller sur un site américain pour trouver une carte décente de la France ou de la région grenobloise. Qu'est donc devenu le vieil idéal républicain d'instruction laïque et gratuite ?

La mondialisation, oui, si c'est la mondialisation au service du citoyen, et en suivant les modèles les plus exemplaires de développement collaboratif. La mondialisation, non, si c'est l'appropriation du patrimoine culturel et scientifique de l'humanité par des intérêts privés et des grands monopoles !

6. Recommandations

Je ne redétaillerai pas ici la longue liste des mesures que j'ai préconisées dans les paragraphes précédents, mais je voudrais souligner l'urgence de mesures allant dans le sens de l'éthique scientifique et du droit des citoyens. Dans un rapport adressé au Secrétariat d'État à l'Industrie au début 1998, j'avais préconisé la création d'une Agence Publique des Logiciels Libres. Compte tenu de ce qui précède et des nécessités scientifiques expliquées plus haut, une telle mesure me paraît plus que jamais à l'ordre du jour ; il y a d'ailleurs eu dans l'intervalle plusieurs propositions ou rapports intéressants liés à ces questions, à la fois d'origine parlementaire (Rapport Carcenac en avril 2001, proposition de loi Le Déaut-Paul-Cohen en 2000) ou sénatoriale (proposition de loi Laffitte et rapport Laffitte, Cabanel et Trégouët en 1999). La question mérite certainement un examen approfondi par l'État et un débat public de grande ampleur, qui n'a malheureusement pas encore pu avoir lieu.

Nota : Le texte a été entièrement rédigé sur un système GNU/Linux, au moyen de l'éditeur Emacs de Richard Stallman et du système de traitement de texte TeX de Donald Knuth. La conversion au format HTML a été obtenue grâce au logiciel libre Amaya développé par l'INRIA et le W3C (Consortium international régulant les standards de communication de l'Internet).

RÉFÉRENCES

- [1] *Le Monde Informatique* du 9 juin 2000, <http://www.lmi.fr/ENQUETES/2000/20000609-57-informaticiensetrangersbienvenueeneurope.htm>
- [8] Bernard Lang, <http://pauillac.inria.fr/~lang/ecrits/ailf/>
- [10] Logiciels GNU de la FSF, <http://www.gnu.org/>
- [11] Linux, <http://www.linux.org/>

- [12] Applications scientifiques sous Linux, <http://www-sor.inria.fr/mirrors/sal/index.shtml>
- [13] Site d'annonces Freshmeat, <http://freshmeat.net> (souvent plus de 50 annonces par jour...)
- [14] Initiative Red Escolar au Mexique, <http://redesc.linux.org.mx/>
- [15] Rapport PITAC de la Maison Blanche, <http://www.fcw.com/fcw/articles/2000/0918/web-open-09-18-00.asp>
- [16] Association Française des Utilisateurs de Linux et des Logiciels Libres, <http://www.aful.org>
- [17] Informations sur la page d'Edward Felten, <http://www.cs.princeton.edu/sip/sdmi/>
<http://www.cs.princeton.edu/sip/sdmi/riaaletter.html>
- [18] Logiciels libres pour l'enseignement (site du CNDP), <http://shalmaneser.sortilege.org/cndp/>
- [21] Bernard Lang, Enjeux de la brevetabilité du logiciel, <http://pauillac.inria.fr/~lang/ecrits/terminal/p.html>
- [22] Opposants à la brevetabilité des logiciels totalement ignorés, <http://www.internet-actu.com/archives/une/une97.html>
- [23] Accord-cadre entre l'AFUL et le MENRT, <http://www.aful.org/education/accord.html>
- [24] Rapport Carcenac, <http://www.internet.gouv.fr/francais/textesref/rapcarcenac/sommaire.htm>
- [25] Jean-Louis Gassée (concepteur du système BeOS) : « Ordinateurs à l'école, la grande illusion » <http://users.skynet.be/aped/fr/math/documents.html>
- [26] Stereograph for Linux by Fabian Januszewski, stereograph.sourceforge.net/index.html