

Réflexions sur la place des mathématiques dans l'enseignement scientifique

Daniel Duverney

1. Introduction

Le but de ce travail est essentiellement d'analyser l'évolution des enseignements scientifiques en France depuis une vingtaine d'années, dans le but d'expliquer la « désaffection pour les études scientifiques », unanimement dénoncée.

Le cadre général sera fourni par un historique rapide des différentes réformes du système éducatif en France depuis 1960.

Dans une deuxième et troisième parties, j'apporterai des informations chiffrées sur l'état actuel de l'enseignement scientifique du second degré, sur son évolution dans les vingt dernières années, et sur son paramètre fondamental : les élèves. Ces informations proviennent des données statistiques de la Direction de la Prospective et du Développement, d'enquêtes sociologiques, et du Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale.

L'interprétation de ces informations mettra en évidence, dans la quatrième partie, qu'il existe un problème de définition générale des objectifs de l'enseignement scientifique en France, et que ce problème est une des causes principales de la « désaffection ».

La place des mathématiques dans la définition des objectifs de l'enseignement scientifique et leur mise en œuvre apparaîtra ainsi comme un problème central, auquel il faudra s'intéresser très rapidement, sous peine d'une aggravation de la situation. Je ferai quelques propositions à ce sujet dans la cinquième partie.

2. Bref historique

C'est une platitude de dire que l'enseignement français a profondément changé en 50 ans. Le but principal de ces changements a été la démocratisation du système ; il s'agissait d'assurer la possibilité, pour tous les enfants, quel que soit leur milieu social d'origine, d'accéder aux mêmes études. Cette démocratisation, généreuse dans son idée, correspondait en même temps à une évolution rapide du secteur productif et marchand, qui demandait des travailleurs de plus en plus qualifiés.

Pour atteindre ce but, on a prolongé le tronc commun de l'école élémentaire le plus loin possible durant les études secondaires. Les principales réformes entreprises et mises en œuvre ont été les suivantes :

- La *réforme Fouchet*, à partir de 1963, supprime les cours complémentaires et crée les CES pour tous, tout en prolongeant la scolarité obligatoire jusqu'à 16 ans. Un palier d'orientation demeure néanmoins en fin de Cinquième, où certains élèves sont orientés en CAP. Au niveau du collège, demeurent des différences entre sections (classique ou moderne). L'orientation se fait en fin de troisième : pour les lycées d'enseignement général, on peut accéder à une seconde A (littéraire), B (économique), ou C (scientifique). À la fin de la seconde C, un palier d'orientation conduit à la première C (mathématiques-sciences physiques) ou à la première D (mathématiques-biologie).
- La *réforme Haby*, mise en œuvre en 1975, crée le collège unique en supprimant les différences entre sections. Le palier d'orientation en fin de Cinquième est supprimé.
- La *réforme du second cycle* poursuit la réforme Haby en supprimant, à partir de 1980, les différences entre sections en classe de seconde dans les lycées d'enseignement général. En fin de seconde indifférenciée, l'orientation se fait en première A (littéraire), première B (économique) ou première S (scientifique). À la fin de la première S, un deuxième palier d'orientation conduit à la terminale C (mathématiques-sciences physiques) ou à la terminale D (mathématiques-biologie).
- Sans donner lieu à une réforme de structure, l'objectif de *80 % d'une classe d'âge au niveau du baccalauréat*, proposé par la commission Prost [18], et repris par le ministre Chevènement (1983), entraîne un net accroissement des effectifs des lycées et une mise en cause du rôle ultra-sélectif joué par les mathématiques.
- La *réforme des lycées* se met en place à partir de 1993 en classe de seconde. Pour « redonner une égale dignité » à toutes les sections du lycée d'enseignement général, elle fusionne la terminale C et la terminale D pour les transformer en terminale S, avec trois spécialités : Mathématiques, Physique-Chimie, et Sciences de la Vie et de la Terre. Elle supprime donc, en fait, le palier d'orientation qui existait pour les sections scientifiques en fin de première S. Les sections littéraires sont rebaptisées L, et les sections économiques et sociales ES. Elle est préparée par Lionel Jospin et mise en place par son successeur, François Bayrou.
- Engagée en 1999 pour les classes de seconde et préparée par Claude Allègre, la *deuxième réforme des lycées* introduit notamment les TPE (Travaux Personnels Encadrés) et l'aide individualisée en seconde, ainsi que d'importants changements d'horaires. Elle est mise en œuvre par les successeurs de Claude Allègre, Jack Lang [10] et Luc Ferry.

Jusqu'en 1995, les effets de cette politique ont été remarquables en termes d'élévation du niveau d'ensemble de qualification. Entre 1958 et 1982 par exemple, les effectifs des seconds cycles longs des lycées passent de 324 000 à 1 127 000, c'est-à-dire sont multipliés par 3,5 [18, page 11].

En ce qui concerne le baccalauréat C, on passe de 17 000 bacheliers en 1960 à 63 000 en 1994, les chiffres correspondants étant de 15 500 et 66 000 respectivement pour le baccalauréat D (source : DPD).

Il ne saurait donc être question, en référence à un mythique « âge d'or » où tout fonctionnait « mieux », de remettre en cause le principe d'un choix d'orientation le plus tardif possible. Il a clairement prouvé son efficacité. Cependant, comme un seul individu ne peut étudier toutes les matières de manière approfondie, il est nécessaire de faire des choix d'orientation à un moment donné de la scolarité.

Quel pourrait être ce moment pour les études scientifiques ?

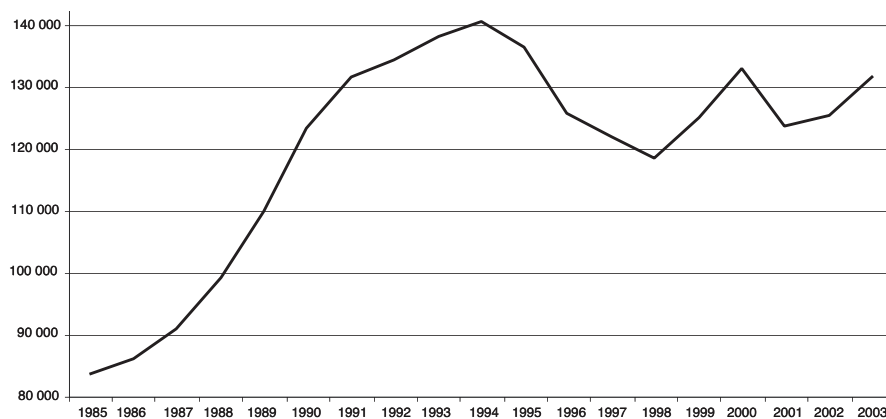
Pour essayer de répondre à cette question sans a priori, je pense qu'il faut être pragmatique, et observer les effets des différents choix politiques et pédagogiques effectués dans les années passées sur l'évolution des séries scientifiques des lycées.

Nous commençons, dans la section 3, par donner des informations brutes sur cette évolution.

3. Évolution des sections scientifiques des lycées depuis 20 ans

3.1. Les bacheliers scientifiques

Le graphique 1 donne l'évolution du nombre de bacheliers S depuis 1985 ; il a été établi à partir des statistiques de la DPD.



Graphique 1 : Évolution du nombre de bacheliers S

On observe une forte augmentation du nombre de bacheliers scientifiques de 1985 à 1994 (dernière année d'existence des baccalauréats distincts C, D et E, regroupés ici). Par contre, dès la première session du baccalauréat S (1995), ce nombre chute de manière spectaculaire. J'ai montré dans [8] que cette chute n'était due en aucune façon à une baisse démographique.

Depuis le point bas de 1998, on assiste à une certaine remontée. Celle-ci doit être imputée à une augmentation du taux de réussite. Il était par exemple de 78,9 % en

1998 [14] ; il est de 84,7 % en 2003 [15]. À taux de réussite inchangé, le nombre de bacheliers S serait de 122 537 en 2003, contre 118 532 en 1998. Il aurait donc peu varié.

Quoi qu'il en soit, le graphique 1 montre une diminution de 10 000 bacheliers S depuis le baccalauréat 1994.

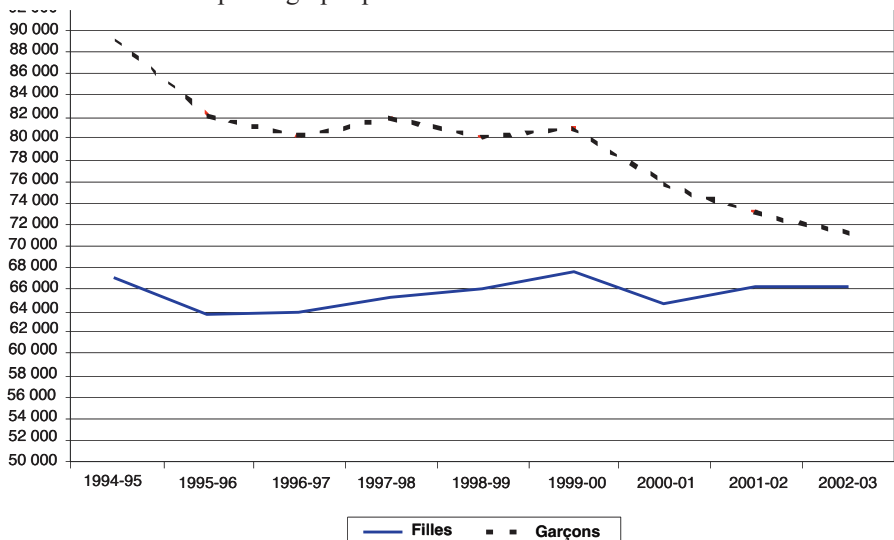
Il est donc faux de dire, comme on l'entend souvent ([17], [12]), que le nombre de bacheliers S demeure stable. Il baisse tendanciellement depuis 1995, et l'orientation scientifique au niveau des lycées baisse encore plus, comme nous allons le voir.

3.2. Qui fuit les études scientifiques depuis 1995 ?

Le tableau ci-dessous montre l'évolution des effectifs de la terminale S classique (celle qui a réuni les terminales C et D) depuis 1995. Il provient du fichier central de la DPD.

Effectifs de Terminale S SVT – France Métropolitaine			
Année	Filles	Garçons	Total
1994-95	66 843	89 163	156 006
1995-96	63 565	82 023	145 588
1996-97	63 873	80 260	144 133
1997-98	65 164	81 882	147 046
1998-99	65 911	80 119	146 030
1999-00	67 681	80 998	148 679
2000-01	64 573	75 698	140 271
2001-02	66 277	73 094	139 371
2002-03	66 111	71 202	137 313

Ce tableau se traduit par le graphique 2.



Graphique 2 : Effectifs de Terminale S Voie Générale (« SVT »), 1994-95 à 2002-2003

Celui-ci montre que le nombre de filles est resté à peu près stable depuis 1995 en terminale S. Par contre, le nombre de garçons a diminué, dans la même période, de 18 000 environ, soit 20 %. *Ce sont eux qui fuient les études scientifiques dans le secondaire depuis la réforme des lycées.* Sachant que ce sont aussi eux qui poursuivent plus volontiers des études scientifiques dans le supérieur, il n'est pas surprenant que la « désaffection » soit amplifiée à l'entrée dans l'enseignement supérieur.

Ce dernier phénomène peut être partiellement estimé grâce à une enquête réalisée dans l'académie de Bordeaux en 1999 [7]. Nous extrayons de ce travail le tableau suivant (page 35), qui donne les premiers vœux de poursuite d'étude de 450 élèves de terminale S, suivant le sexe :

	Masculin	Féminin	Ensemble
Sciences	54,7 %	46,4 %	50,9 %
Études médicales	13,2 %	26,6 %	19,3 %
STAPS	7,8 %	1,4 %	4,9 %
Lettres et sciences humaines	5,8 %	10,1 %	7,8 %
Commerce et administration	7 %	7,2 %	7,1 %
Études juridiques	0,8 %	2,4 %	1,6 %
Autres	10,7 %	5,8 %	8,4 %
Total	100 %	100 %	100 %

La différence entre garçons et filles est très nette. Les « autres formations » comprennent pour une large part les BTS et surtout les IUT. Cette orientation massive des garçons vers les études technologiques courtes a été étudiée par Bernard Convert [6].

3.3. Évolution du choix de spécialité en terminale S

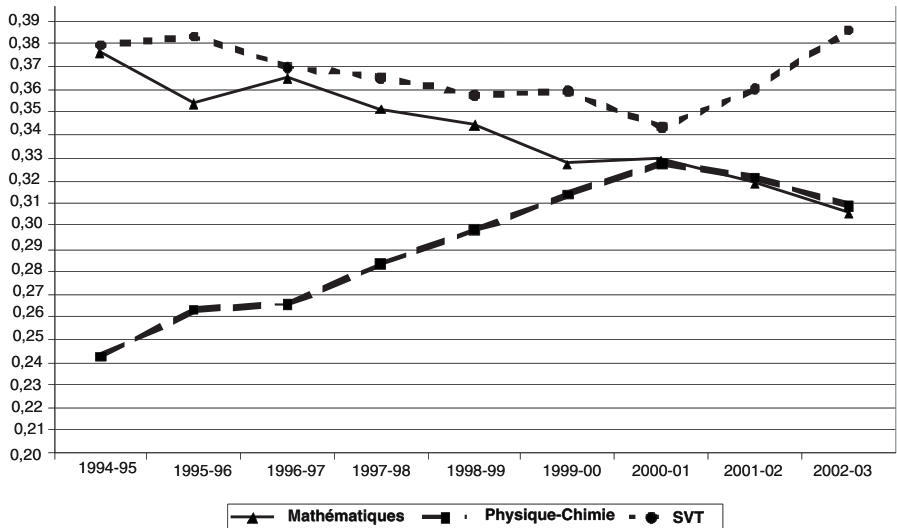
Les tableaux suivants donnent l'évolution des choix de spécialité obligatoire en Terminale S « générale » (Mathématiques, Physique-Chimie ou Sciences de la Vie et de la Terre), en effectifs et en pourcentage (France métropolitaine ; source DPD).

Spécialité	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03
Maths	58 720	51 461	52 547	51 645	50 272	48 638	46 156	44 390	41 907
P-C	37 860	38 296	38 268	41 649	43 541	46 645	45 960	44 779	42 426
SVT	59 169	55 821	53 318	53 752	52 217	53 396	48 155	50 202	52 980
TOTAL	156 006	145 588	144 133	147 046	146 030	148 679	140 271	139 371	137 313

Spécialité	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03
Maths	38 %	35 %	36 %	35 %	34 %	33 %	33 %	32 %	31 %
P-C	24 %	26 %	27 %	28 %	30 %	31 %	33 %	32 %	31 %
SVT	38 %	38 %	37 %	37 %	36 %	36 %	34 %	36 %	39 %

Ces tableaux se traduisent par le graphique 3, qui montre la diminution constante du nombre d'élèves choisissant la spécialité Mathématiques depuis 1994, au profit d'abord de la Physique-Chimie. Depuis deux ans, une nouvelle évolution se dessine ;

elle montre la remontée du choix de la spécialité Sciences de la Vie et de la Terre, couplée à une baisse simultanée du choix des spécialités Mathématiques et Physique-Chimie.



Graphique 3 : Choix de spécialité en Terminale S « SVT » (pourcentages)

Notons que, avec les horaires actuels, seuls 30 % des élèves de Terminales S ont un horaire de 7,5 heures hebdomadaires de mathématiques (ceux qui choisissent la spécialité mathématiques). Les 70 % restants n'ont que 5,5 heures hebdomadaires.

Ajoutons que le choix de la spécialité en terminale S conditionne en partie le choix de poursuite d'études, comme le montre le tableau ci-dessous, extrait de [7, page 33].

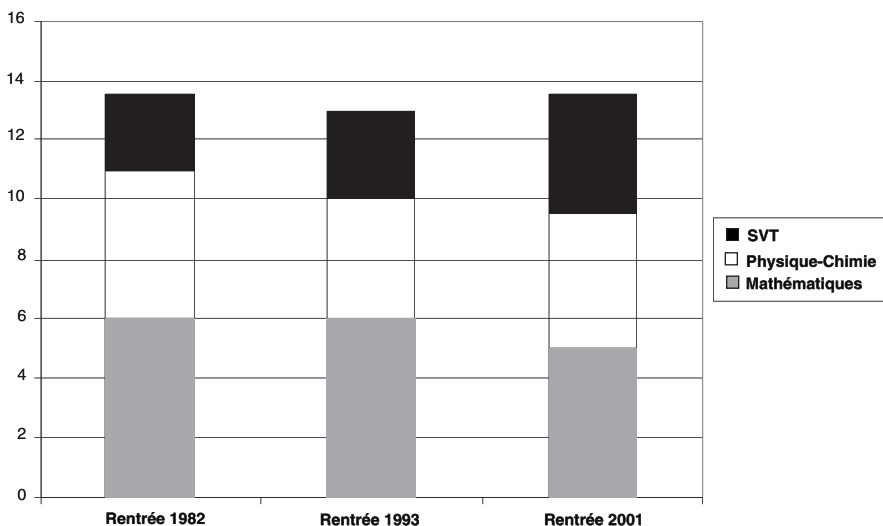
	SVT		Mathématiques		Physique-chimie		Total	
	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%
Sciences	58	38,2	91	61,5	80	53,3	229	50,9
Études médicales	44	28,9	23	15,5	20	13,3	87	19,3
Autres formations	9	5,9	11	7,4	18	12	38	8,4
Lettres, sciences humaines	19	12,5	7	4,7	9	6	35	7,8
Commerce et administration	10	6,7	11	7,4	11	7,4	32	7,1
STAPS	11	7,2	2	1,4	9	6	22	4,9
Études juridiques	1	0,6	13	2,1	3	2	7	1,6
TOTAL	152	100	148	100	150	100	450	100

3.4. Évolution des horaires des disciplines scientifiques

3.4.1. Classe de première S

L'évolution des horaires d'enseignement en Classe de Première S a été la suivante :

	Rentrée 1982		Rentrée 1993		Rentrée 2001	
	Cours	TD	Cours	TD	Cours	TD
Français	4		4		4	
Histoire Géo	4		3		2,5	
Langue vivante 1	3		3		1	1
Langue vivante 2					1	1
Mathématiques	6		5		4	1
Sciences Physiques et Chimiques	3,5	1,5	2,5	1,5	2,5	2
Sciences de la Vie et de la Terre	1	1,5	1,5	1,5	2	2
Éducation Physique et Sportive	2		2		2	
Éducation Civique, Juridique et Sociale						0,5
Modules choisis parmi						
Maths (obligatoire)				1		
Autres matières				1		
Travaux personnels encadrés						2
Une option obligatoire à choisir parmi : (options facultatives à la rentrée 2001)						
Grec ancien	3		3		3	
Latin	3		3		3	
Langue vivante 2	3		3			
Langue vivante 3	3					
Arts Plastiques	2		3		3	
Musique	2		3		3	
Cinéma-Audiovisuel			3		3	
Théâtre-Expression dramatique			3		3	
Sciences Economiques et Sociales	2		3		3	
Enseignement manuel et technique	2			3		
Sciences expérimentales (Phys-Ch, SVT)				3		
Horaire total obligatoire	25,5-26,5	3	24	5	19	9,5



Graphique 4 : Horaires des matières scientifiques en première S

Ce qui frappe en premier lieu, c'est l'évolution des poids respectifs des trois matières scientifiques : la part des Mathématiques et de la Physique a progressivement été diminuée pour arriver à parité avec les Sciences de la Vie et de la Terre, comme le montre clairement le graphique 4.

Il faut noter également la diminution de l'horaire de langue vivante 1, réduit à deux heures, et le rétablissement à la rentrée 2001 de la langue vivante 2 obligatoire.

3.4.2. Classe de terminale scientifique

Le tableau suivant donne l'évolution des horaires d'enseignement en Classe de Terminale Scientifique (Terminale C et Terminale D avant la réforme des lycées).

	Rentrée 1983				Rentrée 1994		Rentrée 2002	
	Terminale C		Terminale D		Term S		Term S	
	Cours	TD	Cours	TD	Cours	TD	Cours	TD
Philosophie	3		3		4		2	1
Histoire Géo	3		4		3		2	0,5
Langue vivante 1	2		2		3		1	1
Langue vivante 2							1	1
Mathématiques	8	1	6		6		4,5	1
Sciences Physiques et Chimiques	3,5	1,5	3,5	1	3,5	1,5	3	2
Sciences de la Vie et de la Terre	1	1	2	3	1,5	1,5	2	1,5
Éducation Physique et Sportive	2		2		2		2	
Éducation Civique, Juridique et Sociale								0,5
Un enseignement de spécialité obligatoire parmi								
Mathématiques					2		2	
Physique-Chimie						2		2
Sciences de la Vie et de la Terre						2		2
Travaux personnels encadrés								2
Options facultatives :								
Grec ancien	3		3		3		3	
Latin	3		3		3		3	
Langue vivante 2	3		3		3			
Langue vivante 3	3		3		3		3	
Arts Plastiques	2		2		3		3	
Musique	2		2		3		3	
Cinéma-Audiovisuel					3		3	
Théâtre-Expression dramatique					3		3	
Sciences Economiques et Sociales	2		2		3			
Enseignement manuel et technique	2		2		3			
Total enseignement obligatoire	22,5	3,5	22,5	4	25	3	19,5	10,5

Rappelons que le fait marquant, qui s'est produit lors de la réforme des lycées et a pris effet à la rentrée 1994, a été la fusion de la Terminale C (à dominante Mathématiques-Physique) et de la terminale D, où Mathématiques, Physique et Sciences de la Vie et de la Terre se trouvaient dans une relative parité.

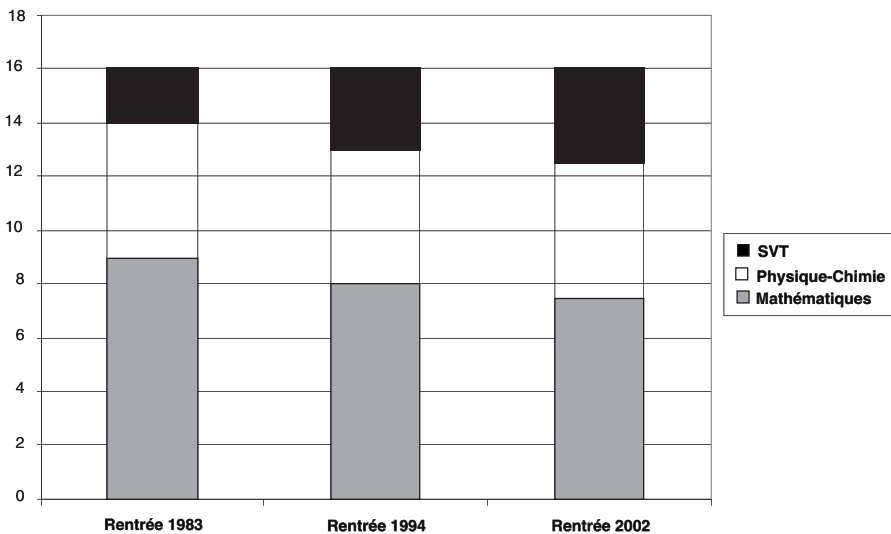
La Terminale S ainsi formée a pris le nom de Terminale S « SVT ». La Terminale E, quant à elle, s'est transformée en Terminale S « Sciences de l'Ingénieur »

(l'enseignement de Sciences de la Vie et de la Terre y est remplacé par un enseignement de Sciences Industrielles). En termes d'effectifs, elle représente environ 10 % de la voie « SVT ». Implantée dans les lycées techniques industriels, elle est composée majoritairement de garçons (80 %). Nous nous limitons ici, pour des raisons de simplicité, à l'étude de la voie « classique » (SVT), qui fournit les plus gros bataillons.

Comparons l'évolution des horaires des trois matières scientifiques pour trois types d'élèves :

a) L'élève Lambda est en Terminale C dans les années 80, puis en Terminale S Spécialité Mathématiques (environ 31 % des effectifs à l'heure actuelle).

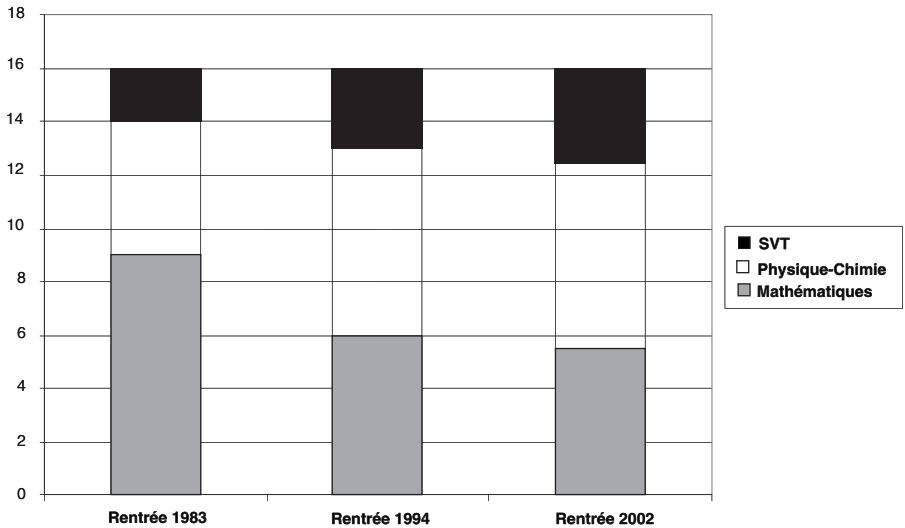
Le graphique 5 montre qu'il a conservé son horaire global de Physique-Chimie. Il a perdu progressivement 1,5 heures de Mathématiques, qui ont été remplacées par 1,5 heures de Sciences de la Vie et de la Terre.



Graphique 5 : Horaires des matières scientifiques en terminale S, spé maths

b) L'élève Lambda est en Terminale C dans les années 80, puis en Terminale S Spécialité Physique-Chimie (environ 31 % des effectifs à l'heure actuelle).

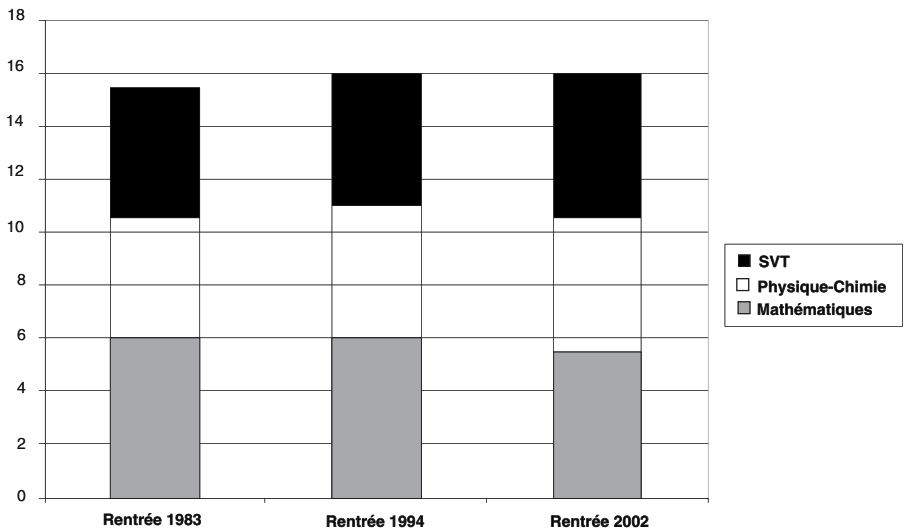
L'évolution de ses horaires est donnée dans le graphique 6 (page suivante) Son horaire de Physique-Chimie a augmenté de 2 heures, ce qui est cohérent avec la création d'une voie scientifique centrée sur la physique et la chimie. Son horaire de Mathématiques a diminué de 3,5 heures, tandis que son horaire de Sciences de la Vie et de la Terre a augmenté de 1,5 heures.



Graphique 6 : Horaires des matières scientifiques en terminale S, spé physique-chimie

c) L'élève Lambda est en Terminale D dans les années 80, puis en Terminale S Spécialité SVT (environ 39 % des effectifs à l'heure actuelle).

Le graphique 7 montre que ses horaires dans les trois principales matières scientifiques ont peu évolué.



Graphique 7 : Horaires des matières scientifiques en terminale S, spé SVT

3.5. Évolution des programmes de mathématiques

Une première étude de l'évolution des programmes de mathématiques a été réalisée par l'Inspection Générale de Mathématiques en 2002 [9].

On trouvera ici en annexe 1 une étude plus détaillée prenant en compte les modifications de la rentrée 2002 ; cette étude porte sur les programmes de Terminale C de 1982 à 1994, puis de terminale S de 1994 à aujourd'hui.

On notera que, durant cette période, pas moins de cinq changements de programme ont été effectués, soit une moyenne d'un tous les quatre ans.

Les allègements successifs, liés à des considérations pédagogiques et aux diminutions d'horaires aussi bien dans les sections scientifiques qu'en seconde et au collège, sont considérables.

Parmi les sujets qui ne sont plus étudiés par les bacheliers actuels (même ceux qui ont suivi la spécialité mathématique), on notera : les équations différentielles linéaires homogènes du second ordre, les coniques, le produit vectoriel, la recherche de l'ensemble de définition d'une fonction, la recherche des asymptotes obliques à une courbe $y = f(x)$, les calculs avec des paramètres, les notions élémentaires de théorie des ensembles.

Parmi les sujets où les capacités exigibles ont fortement diminué, on notera la trigonométrie, la géométrie du plan et de l'espace, le calcul intégral, les suites, les fondements de l'analyse.

Par contre, l'évolution des programmes fait une place de plus en plus grande au calcul des probabilités et statistiques.

3.6. Une conception nouvelle de l'enseignement des sciences

La réforme des lycées a vu apparaître une nouvelle conception de l'enseignement des sciences au lycée. Cette conception est exposée en détail dans le préambule aux programmes de physique-chimie de seconde, tels qu'ils ont été remaniés à partir de la rentrée 2000 [4]. Ce texte est un peu long, mais je le reproduis ici en entier, car il est important pour le problème qui nous occupe.

« L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques.

L'aspect culturel doit donc être privilégié. Naturellement, il est impossible d'apprécier une discipline, sans avoir un certain nombre de connaissances de base. L'enseignement conduira donc à faire acquérir à l'élève une culture scientifique élémentaire. Il incitera certains élèves à s'orienter vers les filières à dominante scientifique et à choisir plus tard des métiers liés aux sciences et aux technologies. Mais pour ceux qui choisiront une autre voie, cet enseignement devra les amener à continuer à s'intéresser aux sciences, à ne pas en avoir peur, à pouvoir aborder ultérieurement la lecture des revues scientifiques de vulgarisation sans appréhension, enfin, à participer à des choix citoyens sur des problèmes où la science est impliquée.

Une règle guide l'élaboration des programmes scientifiques (sauf en mathématiques). L'enseignement du lycée doit être construit comme un tout, donc indépendant de l'enseignement fait au collège qui ne se place pas sur le même registre de modélisation et de formalisation. Le contraste souhaitable lors du passage de la classe de troisième à celle de seconde est assuré en évitant, dans toute la mesure du possible, de reprendre les mêmes sujets d'étude.

Cet enseignement des sciences au lycée est construit, sans doute pour la première fois, comme un tout et non comme une simple juxtaposition de disciplines contiguës.

L'idée première est que l'on ne peut évidemment pas faire de géologie sans biologie, chimie et physique, que l'on ne peut pas comprendre la biologie sans chimie et un peu de physique, que l'on ne peut faire de chimie sans physique. Il y a donc un degré de dépendance. En même temps chaque discipline a des raisonnements, des approches, des apports qui sont indépendants, originaux et spécifiques. De plus, les programmes des disciplines expérimentales ne sont tributaires des mathématiques ni dans leur libellé, ni dans l'évaluation notamment terminale des élèves. Les programmes de mathématiques prennent en compte ceux des autres sciences tout en gardant leur logique interne et leurs objectifs propres.

Au souci d'intégration des diverses disciplines dans une conception globale de la science, fait écho un autre souci : celui de situer les développements scientifiques dans le contexte historique. Ainsi un certain nombre de développements scientifiques emblématiques seront examinés à la fois dans les cours de sciences et dans les cours d'histoire dont les programmes rénovés engloberont cette dimension.

De la même manière, les questions traitant de l'environnement seront abordées sous des angles complémentaires en sciences naturelles, en physique et chimie, en géographie.

Ces exemples montrent que les enseignements devront être coordonnés afin de chercher à offrir un enseignement global plus intégré marquant clairement les liens entre sciences et non pas une approche parcellisée. Ce travail est difficile à faire mais indispensable. Le travail d'intégration est facilité d'une part par le libellé des programmes proprement dits, d'autre part par l'existence nouvelle d'enseignements thématiques et de travaux personnels encadrés faisant appel à plusieurs disciplines.

Le choix des sujets et l'organisation de l'enseignement thématique sont faits par l'enseignant en toute liberté. Cet enseignement ne doit introduire aucune notion nouvelle, il peut concerner l'approfondissement d'un chapitre du cours ou un sujet transversal rapprochant quelques notions apparemment éloignées. Son contenu pourra faire l'objet d'un travail entre disciplines, qu'elles soient scientifiques, historiques ou même littéraires, et pousse donc à une intégration des enseignements. La meilleure manière de faire comprendre aux élèves les liens profonds entre les disciplines scientifiques est de leur faire acquérir, à partir d'approches pluridisciplinaires, des repères fondamentaux. Ces approches seront développées par l'équipe enseignante en utilisant en particulier les enseignements thématiques et les travaux personnels encadrés.

Les problèmes d'environnement offrent un exemple typique. L'approche des systèmes complexes, qui est celle des sciences de la vie et de la Terre par excellence, est reprise dans toute son ampleur à leur sujet. L'élève prend conscience que pour comprendre ces problèmes d'environnement il devra, dans sa démarche, faire appel au-delà des sciences de la vie et de la terre, aux sciences physiques, aux mathématiques, à la géographie voire à d'autres disciplines.

La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire.

L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences.

L'expérimentation est une démarche essentielle des sciences. Elle consiste à imaginer, à inventer des situations reproductibles permettant d'établir la réalité d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. Cette démarche qui appartient à toutes les sciences envahit aujourd'hui du fait de l'ordinateur, les mathématiques. Il faut enseigner à l'élève cette démarche, en acceptant les tâtonnements, les erreurs, les approximations. Pour ce faire, il vaut mieux faire réaliser quelques expériences, en petit nombre mais bien choisies et bien comprises, plutôt que de multiplier les expériences rapides.

La science n'est pas faite de certitudes, elle est faite de questionnements et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps. Tout ceci montre qu'il faut privilégier avant tout l'enseignement de la démarche scientifique incluant l'apprentissage de l'observation et de l'expérience. Il faut également éliminer l'idée que la difficulté doit croître de la seconde à la terminale. Au contraire, un esprit de quinze ans est stimulé par une réflexion sur un sujet difficile autant qu'un esprit de dix-huit ans. Mais le mot difficulté n'est pas synonyme de degré de mathématisation. La structure de l'ADN est difficile à bien comprendre, la notion d'inertie en physique est subtile à assimiler.

Enfin, et ce n'est pas la moindre difficulté de l'enseignement scientifique, il faut pousser l'élève à se poser des questions et éviter de donner des réponses avant qu'il ait formulé les questions. L'élève bien sûr ne va pas poser à lui seul les "bonnes questions" – il ne faut pas être naïf – mais on peut petit à petit amener la classe dans son ensemble, si ce n'est à toujours énoncer les questions pertinentes, tout au moins à comprendre le mécanisme du questionnement.

Dans bien des cas, rien ne peut remplacer l'exposé historique. Celui-ci a un côté culturel irremplaçable, qui situe la découverte scientifique dans son contexte temporel mais aussi montre comment les découvertes scientifiques ont influencé le cours de l'histoire. L'exposé historique permet de mesurer la difficulté que l'humanité a rencontrée pour résoudre des problèmes qui peuvent aujourd'hui sembler élémentaires (2 000 ans pour que l'on comprenne que la chute des corps dans le vide est identique pour tous les corps, quels que soient leur volume ou leur masse).

Les mathématiques sont aujourd'hui dans une situation particulière. Science des formes et des nombres, la mathématique est amenée à sortir de son style et de ses pratiques traditionnelles grâce au développement et à la généralisation de l'ordinateur. Elle se rapproche des sciences expérimentales, grâce à l'expérimentation numérique, à la simulation, et à ce que l'on peut appeler la démonstration empirique. En même temps, libérées du poids des calculs, notamment en analyse, les mathématiques peuvent mieux se concentrer sur la manipulation de nouveaux concepts, sur le développement de nouvelles applications comme celles requises justement par l'informatique. Ici encore le récit des développements et des débats historiques, des approches variées de l'efficacité nouvelle des mathématiques appliquées doivent faire partie intégrante de l'enseignement. La notion de fonction est centrale au lycée et son étude donne l'occasion d'aborder des phénomènes non linéaires dans diverses disciplines.

Alors même que nous développons l'usage des technologies de l'information et de la communication au lycée (95% des lycées sont connectés sur Internet), on ne comprendrait pas que l'enseignement scientifique ne soit pas en priorité engagé dans cette utilisation. Tous les programmes seront donc réalisés en faisant appel à ces techniques. »

4. Le travail des lycéens

4.1. Des journées de 24 heures

L'enseignement scientifique a beaucoup évolué depuis 20 ans, comme on vient de le voir, mais la réflexion sur le travail des lycéens n'a pas beaucoup avancé. En 1982 déjà, le rapport de la commission Prost signalait que, « avec une unanimité sans faille, toutes les personnes interrogées dénoncent la surcharge des journées scolaires » [18, page 99].

L'analyse faite par cette commission était la suivante :

« Nous commencerons donc par nous demander quelle est la durée optimale du temps que des jeunes gens d'une quinzaine d'années peuvent consacrer chaque jour à une activité scolaire efficace.

Une première évaluation consiste à soustraire des 24 heures le temps nécessaire à la satisfaction des besoins correspondant à une bonne hygiène physique et mentale. Les données dont on dispose sur ce point sont les suivantes :

- sommeil : 9 à 10 heures, avec des écarts allant de 7 à 12 ;
- toilette, habillage : 1/2 heure à 1 heure ;
- repas et repos associés : 2 heures ;
- jeu et détente : 2 heures.

On aboutit ainsi, en prenant 9 heures de sommeil et 1 heure de toilette, à 14 heures par jour. Il reste donc 10 heures pour le lycée, les transports, l'étude individuelle et les activités (clubs, musique, ateliers, sport, etc.). Or les déplacements, très variables selon les localités, prennent entre 1/2 heure et 3 heures. Si nous comptons en moyenne 1h 1/2, il reste 8h 1/2 pour les cours, l'étude et les activités. Dans les disciplines théoriques, y compris la technologie, une heure de cours devrait entraîner une heure de travail personnel, encadré ou non. Dans ces conditions, et sans les activités extra-scolaires, il reste 4 heures par jour pour les cours. »

Et plus loin [18, page 106] : « Pour le second cycle général, notre groupe propose donc de ramener l'horaire effectif des élèves à 24-25 heures par semaine, non compris l'éducation physique et sportive et les arts ».

4.2. Les sections scientifiques

Quand on étudie le problème de la « désaffection » pour les études scientifiques, il faut rappeler que les temps de présence scolaire sont différents suivant les sections. Ils sont plus importants dans la section S.

Tableau 1 : Temps de présence scolaire hebdomadaire obligatoire selon les sections (en heures de présence devant un professeur ou en TPE, EPS comprise)

	S	L	ES
Classe de Première	28,5 heures	25,5 heures	28,5 heures
Classe de Terminale	30 heures	26,5 heures	28,5 heures

En outre, la section S impose un plus grand nombre de disciplines, qui sont toutes obligatoires. La section S n'est pas une *section scientifique*, elle est une *section encyclopédique*. Aucune option n'est possible, à l'exception du choix de la spécialité en Terminale S.

Tableau 2 : Nombre de matières obligatoires par section

	S	L	ES
Classe de Première	9	7	8
Classe de Terminale	9	6	7

4.3. Le temps de travail personnel

Outre les horaires officiels, il est nécessaire d'estimer le temps de travail des élèves en dehors de leurs heures de cours. Il s'agit d'une estimation difficile et assez peu fiable, puisqu'on est obligé de questionner les élèves à ce sujet, et que leur réponse

est forcément teintée de subjectivité. Néanmoins, leurs choix d'orientation le sont aussi, et dépendent a priori de leurs goûts, de l'image qu'ils ont des différentes voies en termes de débouchés, et de l'estimation de leurs capacités de travail (en termes d'investissement personnel et de capacités intellectuelles).

D'une année sur l'autre, les lycéens choisiront, en partie, leur orientation à partir des informations qu'ils reçoivent de leurs aînés.

Les données les plus récentes sont dues à Anne Barrère [2]. Selon l'auteur, les chiffres obtenus sont en accord avec d'autres études antérieures, notamment celle de C. Larue [11].

4.3.1. *Le temps de travail dans les différentes sections*

Anne Barrère [2, p. 75] a interrogé les élèves des classes de première et terminale de deux lycées de la région lilloise sur leur temps de travail hors lycée :

Tableau 3 : Temps de travail hebdomadaire selon les sections (en %)

	S	L	STT
Moins de 8 heures	14,5	21	24
De 8 heures à 15 heures	49	50	52
Plus de 15 heures	36,5	29	24
Total	100 (eff. : 109)	100 (eff. : 91)	100 (eff. : 101)

La section ES est absente de ce tableau, malheureusement. On peut néanmoins estimer qu'elle se situe entre la section S et la section L, sans doute plus proche de la section L. Le tableau ci-dessus montre qu'il existe une différence importante, au niveau du travail à la maison, entre la section S et les autres.

Les tableaux 2 et 3 montrent qu'on demande beaucoup plus de travail en section S que dans les autres. Rappelons que trois heures de plus de travail représentent une demi-journée. Six heures de travail de plus représentent une journée entière, et font la différence, en terminale, entre un samedi et un dimanche matin libres ou passés à travailler. Il est certain que nombre d'élèves (et d'adultes !) peuvent être sensibles à cet aspect des choses.

4.3.2. *Temps de travail suivant le sexe*

Anne Barrère fournit les données suivantes, qui concernent l'ensemble des classes de seconde, première et terminale des deux lycées cités plus haut :

Tableau 4 : Temps de travail hebdomadaire selon le sexe (en %)

	Filles	Garçons
Moins de 8 heures	18	38
De 8 heures à 15 heures	56	46
Plus de 15 heures	25	15
Total	100 (eff. : 358)	100 (eff. : 153)

Elle ajoute : *Les écarts les plus considérables sont à observer au niveau de la classe de seconde, où 55 % des garçons travaillent moins de 8 heures par semaine, contre seulement 20 % des filles. Ils restent considérables en première, même s'ils se réduisent (16 points d'écart). En terminale, 42 % des lycéennes travaillent plus de 15 heures, contre 28 % des garçons* [2, page 79].

Anne Barrère conclut : *Deux traits font « éclater » l'apparente communauté d'expérience du travail scolaire des lycéens : l'appartenance ou non à la section S, l'appartenance sexuelle* [2, page 80].

4.4. Conclusion

On demande trop de travail aux élèves dans les sections scientifiques.

Je pense que ceci suffit à expliquer la désaffection des garçons pour les sections scientifiques des lycées (cf section 3.2). Si l'apprentissage des sciences et l'image de la science étaient en cause, ce phénomène toucherait aussi, probablement, les filles. Il n'en est rien.

La théorie qui consiste à considérer que les sciences ont une image négative dans le public et que ceci explique la désaffection est donc très certainement, dans une large mesure, fausse.

Toute décision se basant sur cette théorie, sans tenir compte des faits précédents, risque de conduire à de nouveaux effets catastrophiques pour l'avenir de l'enseignement des sciences et de l'état futur de l'économie de notre pays : est-il besoin de rappeler que nous vivons dans une société dont le bien-être matériel repose sur la science et la technologie ?

5. La place des mathématiques dans l'enseignement secondaire

5.1. La réforme des « maths modernes »

L'enseignement français a subi, dans les années 1970, un véritable traumatisme. La « réforme des maths modernes », mise en place par la commission Lichnerowicz (alors président de la SMF), bouleverse l'enseignement secondaire à partir des préoccupations bourbakistes des chercheurs en mathématiques. Le projet, porté par l'euphorie techniciste des « trente glorieuses », place rapidement les mathématiques en position dominante et en fait le principal outil de sélection.

« De par les modalités de sa mise en place, la réforme de l'enseignement des mathématiques n'est pas à proprement parler une réforme pédagogique, car elle n'est ni motivée par des arguments pédagogiques, ni menée par les instances habituelles en ce domaine. En décidant de cette réforme en octobre 1966, Christian Fouchet cède à la pression de la SMF et de l'APMEP, qui ont dénoncé à travers plusieurs colloques ce qui a toujours existé, à savoir un décalage entre l'état actuel de la recherche en mathématiques et celui de son enseignement, mais qui ont rajouté dans leur argumentaire un lien nouveau avec le développement : *Si vous ne faites pas la Réforme avant dix ans, la France sera un pays sous-développé*, aurait dit au ministre le président de l'APMEP. La réforme annoncée n'est pas la réponse à une carence

constatée dans l'enseignement par ceux qui ont la charge de le faire, à savoir le corps des inspecteurs généraux. Elle n'est pas non plus conduite par eux comme c'est normalement leur rôle » [3, page 79].

Le structuralisme est érigé en principe fondamental de ce qui devient *la* mathématique. Dans cette entreprise, les mathématiciens purs sont soutenus par les spécialistes de sciences humaines : « La nouveauté n'est pas seulement dans l'adhésion au structuralisme de la plupart des phares de la recherche en sciences sociales, mais bien dans cet engouement rapide des chercheurs en sciences humaines pour la nouvelle mathématique, qu'ils pensent enfin capable de faire faire à leur discipline un pas décisif vers une plus grande scientificité » [3, page 83].

Malgré les réticences évidentes (et justifiées) des utilisateurs des mathématiques « classiques » (ingénieurs et physiciens), un refonte totale de l'enseignement des mathématiques à tous les niveaux s'engage sur ces bases.

Il s'agit typiquement d'un projet de type *idéologique* et *totalisant*. Les mathématiques structurales sont partout et doivent être enseignés à tous. Lichnerowicz ne déclare-t-il pas en 1972 : « La mathématique utilise comme langue naturelle le langage ensembliste et celui-ci gagne peu à peu d'autres activités humaines : on le rencontre de manière inattendue aussi bien dans certaines parties du code de la route que dans l'énoncé des règles de rugby » [3, page 86].

Comme pour tout projet basé sur l'idéologie, et visant à imposer à tous une manière unique de penser, la réforme des mathématiques modernes se heurte à de nombreuses résistances : mathématiciens (René Thom entre autres), Inspection Générale de Mathématiques, quasi-totalité des physiciens.

Pour s'imposer, elle utilise trois types de méthodes :

- Convaincre les autorités politiques par des arguments d'autorité non justifiés et non chiffrés.
- L'argument de « modernité » permet, lors du combat idéologique, de faire passer les opposants pour des passéistes, voire des réactionnaires, quels que puissent être par ailleurs leurs arguments.
- Le noyautage des instances de décision et d'élaboration des programmes par des partisans de la réforme marginalise les opposants. Ce fait a été reconnu par Lichnerowicz lui-même : « L'inspection générale était partagée. Je voulais avoir affaire à deux d'entre eux qui étaient favorables » [3, page 79].

Enfin, la réforme des « mathématiques modernes » impose à tous une vue extrêmement *restrictive* de la discipline. Cette vue restrictive se traduit par deux aspects :

- Les mathématiques n'ont pas à s'occuper des applications dans d'autres disciplines, notamment en physique. Ceci est exprimé diplomatiquement par Le Morvan et Gimié d'Arnaud dans la préface à leur livre, publié en 1978 : « Depuis quelques années l'exploitation mathématique de leurs connaissances paraît de moins en moins évidente à nos étudiants ; s'ils possèdent encore un certain bagage mathématique, tout se passe comme si ce dernier demeurait à

l'état potentiel... et inutilisable ! (...) Nous ne pouvons nous permettre d'en analyser les causes, elles sont multiples et certaines sont de notoriété publique ! » [13].

- Même à l'intérieur des mathématiques, certains aspects, et notamment ceux qui concernent les applications, sont déconsidérés. Ceci se traduit notamment par l'éclatement de la SMF, et la création de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) en 1983.

Cette vue restrictive, imposée durant leur formation à la plupart des enseignants de mathématiques actuellement en exercice, crée encore aujourd'hui de grandes difficultés pour le travail interdisciplinaire dans les établissements.

5.2. La réaction pédagogique

Après une dizaine d'années, l'aspect totalisant des « mathématiques modernes », qui se manifeste notamment par la sélection féroce qu'elles exercent, est devenu insupportable pour l'ensemble du système scolaire. Dans le rapport de la commission Prost, on peut lire par exemple : « Une réaction semble même indispensable, car la surenchère atteint des proportions inacceptables. Quand on subordonne, par exemple, l'inscription en première d'adaptation des élèves venant du B.E.P. à une moyenne en mathématiques supérieure à 15, quels que soient les autres éléments du dossier, on passe la mesure » [18, page 28].

Sous l'impulsion de Claude Pair, directeur des lycées, et de Jean-Louis Ovaert, IG de mathématiques, Inspecteurs Généraux et IPR se mettent à sillonner la France pour prêcher la modération aux professeurs de mathématiques. En même temps, les programmes sont réformés (voir le programme de mathématiques de 1987 en annexe 1). L'étude exhaustive des structures disparaît. Elle est remplacée notamment par une étude plus détaillée des suites, en vue des applications de l'analyse au calcul numérique.

L'objectif est alors de doubler le nombre d'ingénieurs formés, ce qui est nécessaire à cause de l'évolution rapide de la structure des emplois (évolution qui se poursuit d'ailleurs de nos jours, voir annexe 2). Les résultats de cette politique sont remarquables :

- Le nombre de bacheliers C, qui stagnait autour de 32 000 de 1974 à 1983, passe à 34 280 en 1984, 48 170 en 1989, pour atteindre 63 340 en 1994, ce qui est cohérent avec l'objectif du doublement du nombre d'ingénieurs formés.
- Le nombre de bacheliers D passe de 51 500 en 1983 à 66 760 en 1994.
- Le rapport bacheliers C / bacheliers D passe de 0,61 en 1983 à 0,95 en 1994, ce qui dénote une moindre sélectivité par les mathématiques.

5.3. La réaction idéologique

Elle se traduit par la *réforme des lycées*, qui se met en place en deux temps (1993 et 2000 pour la classe de seconde).

Cette nouvelle réforme idéologique est exprimée dans le préambule aux programmes scientifiques de seconde rapporté *in extenso* en section 3.6, page 14 ci-dessus, et dans le rapport Porchet [17], notamment.

5.3.1. Une réforme totalisante

Elle est basée sur une nouvelle conception de la science ; celle-ci donne la *primauté aux sciences expérimentales*, qui réalisent l'unité de la science :

« L'expérimentation est une démarche essentielle des sciences (...). Cette démarche qui appartient à toutes les sciences envahit aujourd'hui, du fait de l'ordinateur, les mathématiques (ci-dessus, page 378) ».

Les exemples donnés de cette nouvelle intégration des sciences sont éclairants :

- « L'idée première est que l'on ne peut évidemment pas faire de géologie sans biologie, chimie et physique, que l'on ne peut comprendre la biologie sans chimie et un peu de physique, que l'on ne peut faire de chimie sans physique » (page 377 ci-dessus).
- « Les problèmes d'environnement offrent un exemple typique. L'approche des systèmes complexes, qui est celle des sciences de la vie et de la terre par excellence, est reprise dans toute son ampleur à ce sujet » (page 378 ci-dessus).
- « La structure de l'ADN est difficile à bien comprendre, la notion d'inertie en physique est subtile à assimiler » (page 378 ci-dessus).
- « Les sciences sont nécessairement croisées et la pluridisciplinarité devrait être plus fréquente dans nos enseignements. Ainsi, la physique et la chimie permettent d'expliquer partiellement le vivant. Encore faut-il que la pratique pédagogique soit adaptée. Les mathématiques ont beaucoup de difficulté à emprunter cette direction » [17, page 62].

Malheureusement, cette conception unitaire de la science est très discutable.

Pour les mathématiques, il n'y a pas à discuter : les mathématiques ne sont pas une science expérimentale, même si elles s'appuient évidemment sur l'expérience sensible et si on y utilise l'outil informatique.

En ce qui concerne la physique, le débat a traversé toute la deuxième moitié du 19^e siècle [3, page 47]. La réunion, au niveau de l'enseignement, de la physique et de la chimie, date de cette période, qui vit triompher le point de vue du physicien qui *expérimente* tandis que le mathématicien *théorise*.

Même si l'expérience tient une très grande place en physique, il n'est pas sûr du tout que la physique soit une science expérimentale. La notion de science expérimentale suggère que la théorie est issue de l'expérience par induction. Cela ne semble pas être le cas pour la physique. C'est volontairement que j'ai mis Newton en première page de ce travail⁽¹⁾ : il est certain que Newton n'a pas conçu la loi de la gravitation universelle par induction. Plus profondément, les travaux récents de philosophie des sciences ([5] notamment) confortent l'idée d'une physique qui est sœur jumelle des

(1) sur un texte distribué lors d'un Comité national APMEP.

mathématiques, et qui s'est développée avec elle, même si les mathématiques sont plus anciennes.

Maurice Porchet l'admet d'ailleurs de manière assez imagée [17, page 53] :

« La science est au cœur de nombreuses controverses sociétales et pédagogiques. Schématiquement, on peut distinguer deux grandes tendances :

- Une conception historique, presque « religieuse », où la science apparaît comme un objet monolithique, inattaquable, un bloc à apprendre et à accepter. C'est le « front du savoir » qui avance en se nourrissant d'abstractions. On ne peut se positionner qu'au-dedans ou au-dehors de ce système. La science décrit des vérités qui sont autant de lois de la Nature. Nous devons nous plier à ses exigences disciplinaires. C'est le culte du programme scolaire ou universitaire. On peut rapprocher cette vision de celle de l'éducation de base (*lire, écrire, compter*) tout à fait essentielle mais qui par le prolongement de ses méthodes conduit à un apprentissage livresque des sciences. Cette voie privilégie la théorisation qui a toujours été la voie de l'élite dans le passé. C'est la science de beaucoup de mathématiciens et de physiciens.
- Une conception plus contemporaine est apparue dans les années 1980. C'est une vision plus « libertaire » qui fissure le système ancien. La connaissance est fragile. L'illusion de tout comprendre un jour s'est effondrée. Les vérités immuables sont devenues éphémères et révisables. La complexité s'impose et le chercheur a bien conscience de se trouver sur un chemin très étroit, de ne disposer que d'une faible lueur pour éclairer et comprendre son environnement. C'est la science des biologistes et des médecins. »

On notera, comme dans la réforme Lichnerowicz, l'idée qu'il existe des « anciens » et des « modernes ». Mais désormais, les mathématiques sont devenues une science ancienne ! Dans le préambule des programmes scientifiques de seconde, « la mathématique est amenée à sortir de son style et de ses pratiques traditionnelles grâce au développement et à la généralisation de l'ordinateur » (page 379 ci-dessus).

Pour faire entrer *de force* les mathématiques et la physique dans le schéma, il a donc fallu d'abord diminuer les horaires de mathématiques, comme on l'a vu plus haut ; en outre, on a augmenté le poids des probabilités et statistiques et des méthodes numériques (par exemple la méthode d'Euler pour les équations différentielles non linéaires).

Pour la physique, on a suivi l'analyse de Maurice Porchet [17, page 40] : « À partir de la classe de 3ème, l'enseignant de physique doit appliquer strictement le programme qui théorise (mathématise) beaucoup trop tôt la physique ».

La physique du lycée a donc été largement *démathématisée*. Contrairement au point de vue exprimé dans le préambule aux programmes scientifiques du lycée, l'activité de modélisation mathématique a été réduite à presque rien. On s'en convainc aisément en feuilletant les manuels actuels. Une épreuve de travaux pratiques (4 points sur 20) a été rajoutée au baccalauréat depuis la session 2003.

La conséquence de cette politique (idéologie) a été une baisse régulière, rapide et catastrophique du niveau et des capacités des bacheliers scientifiques en mathématiques : or, selon Maurice Porchet lui-même, c'est le « niveau en mathématiques » qui conduit l'élève à se sentir « capable » ou non, d'entreprendre des filières scientifiques [17, page 39].

Cette démathématisation de la physique du second cycle, couplée à la réduction drastique des horaires de mathématiques, ne suffit-elle pas à expliquer la chute dramatique du nombre d'étudiants en physique dans l'enseignement supérieur depuis la réforme des lycées [6] ?

Cette démathématisation a frappé de plein fouet les populations les plus vulnérables vis-à-vis de l'enseignement scientifique supérieur : les garçons de milieu modeste (qui se dirigent davantage vers des études technologiques courtes) et les filles (qui se dirigent plutôt vers des études non scientifiques). Le manque de confiance de ces populations dans leur niveau en mathématiques renforce, au niveau de l'entrée dans le supérieur, l'effet de la baisse du nombre de bacheliers scientifiques, signalée plus haut.

5.3.2. La « désaffection » pour les études scientifiques

Cette idée de « désaffection » traverse le problème de l'enseignement scientifique depuis 1995. C'est ainsi que le préambule aux programmes scientifiques du lycée (section 3.6) affirme, dès la première ligne : « L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves... ». Plus loin, on lit : l'enseignement des sciences doit amener « à ne pas en avoir peur ».

Maurice Porchet, tout en reconnaissant que les sondages ne montrent aucun rejet de la science chez les jeunes [17, page 22], conclut qu'il « faut donner l'envie aux jeunes de vaincre leurs appréhensions et de s'engager dans une carrière scientifique ». Pour montrer que « la Société se méfie des scientifiques », il utilise les témoignages de trois reporters, d'une étudiante à l'École Supérieure de Journalisme de Lille, de deux étudiants en arts plastiques, d'un étudiant en sciences naturelles, d'un artiste, d'un imam et d'un prêtre [17, pages 26-27] ; cela n'est pas très convaincant.

La théorie de la « désaffection » est une belle théorie ; malheureusement, elle est fautive, comme le prouvent les sondages et l'activité quotidienne de tous ceux qui travaillent sur le terrain.

La baisse du nombre d'étudiants scientifiques ne s'explique pas par une quelconque « désaffection » ou désamour des lycéens actuels pour les sciences. Elle s'explique par des causes structurelles, qui se sont manifestées en France par la réforme des lycées, comme on l'a vu.

Cette réforme, purement idéologique, mise en place contre l'avis clairement exprimé d'une grande partie des praticiens et de nombreux responsables du système éducatif (notamment de nombre d'inspecteurs généraux et I.P.R.), a amené la disparition des deux voies traditionnelles de l'enseignement scientifique, pour ne conserver que la voie « sciences expérimentales ».

Dès sa mise en place, l'orientation scientifique a baissé [16] et le nombre de bacheliers scientifiques a suivi (graphique 1). Dès la rentrée suivante, l'enseignement scientifique supérieur était touché à son tour [6], [8].

5.3.3. Des conceptions pédagogiques surprenantes

Dans le préambule aux programmes scientifiques des lycées (section 3.6 ci-dessus), on lit : « Une règle guide l'élaboration des programmes scientifiques (sauf en mathématiques). L'enseignement du lycée doit être construit comme un tout, donc indépendant de l'enseignement fait au collège qui ne se place pas sur le même registre de modélisation et de formalisation ».

Et un peu plus loin : « Il faut éliminer l'idée que la difficulté doit croître de la seconde à la terminale. Au contraire, un esprit de 15 ans est stimulé par une réflexion sur un sujet difficile autant qu'un esprit de 18 ans. Mais le mot difficulté n'est pas synonyme de degré de mathématisation ».

Ou encore : « La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire ».

Ces affirmations péremptoires, cohérentes avec l'idée d'un monde mouvant, instable, qui ne se laisse pas appréhender, ne manqueront pas de laisser rêveurs les enseignants de terrain. Il paraît certain que, mises en pratique (et elles le sont actuellement), elles ne sont pas de nature à alléger la charge de travail des élèves.

5.3.4. Conclusion

L'analyse qui précède montre que la réforme des lycées (comme la réforme des « maths modernes ») a été un échec lourd de conséquences. À l'heure où l'évolution de la structure de l'emploi nécessite que nous formions de plus en plus d'ingénieurs et de cadres commerciaux, la voie Mathématiques-Physique a été laminée, ce qui provoque déjà une pénurie qui, visiblement, est en train de s'aggraver, et qui va se révéler particulièrement dramatique dans quelques années, au moment du départ à la retraite de la génération du baby-boom.

Est-il besoin de rappeler que tous les appareils qui facilitent notre vie et nos loisirs fonctionnent grâce aux « certitudes » d'une technologie fondée sur la physique, la chimie, les sciences industrielles et l'informatique, sciences qui s'appuient lourdement sur les « certitudes » fournies par les mathématiques ?

Est-il besoin de rappeler que la plupart des décisions économiques et de marketing, qui permettent le fonctionnement d'une société aussi complexe que la nôtre, sont fondées sur des modèles incluant une large part de mathématiques ?

Face à la pénurie de cadres supérieurs technologiques qui s'annonce, et dont nous avons analysé les causes, les entreprises françaises n'auront guère que deux choix : importer des cadres d'autres pays, essentiellement du tiers-monde, ou bien

délocaliser carrément dans des pays comme la Chine ou l'Inde, qui développent leur enseignement scientifique et technologique et offrent une main-d'œuvre moins chère.

6. Que faire ?

La gravité de la situation suggère qu'il serait souhaitable que chacun prenne ses responsabilités. Il est clair que nous nous trouvons devant des choix urgents, surtout compte tenu du grand « débat sur l'école » piloté par la commission Thélot.

6.1. Que faire dans l'immédiat ?

Il serait souhaitable que les enseignants de mathématiques et de physique du supérieur (université et classes préparatoires) prennent pleinement conscience du nouveau public lycéen qui arrive cette année.

Leur formation initiale mathématique et physique est très en-deçà de celle de leurs aînés immédiats (voir les dernières modifications de programmes en annexe 1).

Il conviendra donc d'adapter la pédagogie à ce nouveau public ; **faute de quoi, l'échec sera massif et les abandons nombreux**. Or, nous ne pouvons plus nous permettre de perdre davantage d'étudiants scientifiques.

Toute information négative fournie par cette génération aura des effets négatifs sur les suivantes dans leurs choix d'orientation.

J'invite donc tous les enseignants de mathématiques et de physique du supérieur à examiner avec soin quels sont les **objectifs de leur enseignement**, l'adéquation des notions qu'ils font étudier avec la **formation initiale de leurs étudiants**, et à évaluer aussi précisément que possible la **masse de travail totale** qu'ils leur demandent (compte-tenu de l'ensemble des disciplines qu'ils ont à étudier).

Notamment, il serait souhaitable que les enseignants de mathématiques tiennent le plus grand compte, dans leur enseignement, des notions dont ont besoin les physiciens, et s'efforcent de les traiter à temps, quitte à sacrifier la « rigueur » pour l'efficacité immédiate.

De même, il faudrait que les enseignants de physique s'interrogent sur le degré de complexité des outils mathématiques qu'ils utilisent, de façon à ne pas décourager les nouveaux arrivants en cumulant les difficultés propres à la physique et les difficultés proprement mathématiques.

Allez voir vos étudiants, discutez avec eux, demandez-leur ce qu'ils comprennent de votre cours, et surtout : **écoutez-les et encouragez-les !** Car ils en ont besoin.

6.2. Que pourrait-on faire à moyen terme ?

Il faudrait s'attaquer aux causes de la « désaffection », telles qu'elles ont été analysées plus haut : suppression de la voie maths-physique et excès de travail demandé aux élèves qui veulent s'engager dans la voie scientifique.

6.2.1. La première S

La première S commune a fait la preuve de son efficacité durant les années 80, et doit donc être conservée. Il convient cependant d'en alléger les horaires. Une possibilité serait de supprimer une heure d'histoire-géographie, et de rendre la langue vivante 2 facultative. On pourrait suggérer l'horaire proposé ci-dessous.

La suppression d'une heure d'Histoire-Géographie et des Travaux Personnels Encadrés, jointes au passage de la Langue Vivante 2 en option facultative, permet de rajouter une heure de Langue Vivante 1 et une heure de mathématiques, le tout pour un horaire global de 25,5 heures par semaine (27,5 heures avec une option), ce qui est raisonnable.

L'heure ajoutée en mathématiques ne devrait pas être utilisée pour une augmentation de programme (on peut conserver les programmes actuels, qui sont satisfaisants), mais pour des exercices supplémentaires permettant d'encourager les élèves les plus faibles.

L'augmentation de l'horaire de langue vivante 1 (en pratique, le plus souvent, l'anglais) est cohérente avec un projet d'études scientifiques.

Une alternative consisterait à conserver l'horaire actuel de mathématiques et de langue vivante 1, ainsi que les deux heures de Travaux Personnels Encadrés. On doit cependant se poser la question du coût élevé de ceux-ci, et le mettre en rapport avec leur efficacité pédagogique, qui devrait être évaluée.

	Horaire proposé	
	Cours	TD
Français	4	
Histoire Géo	2	
Langue vivante 1	2	1
Mathématiques	5	1
Sciences Physiques et Chimiques	2,5	2
Sciences de la Vie et de la Terre	2	2
Éducation Physique et Sportive	2	
Une ou deux options non obligatoires à choisir parmi :		
Grec ancien	2	
Latin	2	
Langue vivante 2	2	
Arts Plastiques	2	
Musique	2	
Cinéma-Audiovisuel	2	
Théâtre-Expression dramatique	2	
Sciences Economiques et Sociales	2	

6.2.2. Les terminales scientifiques

L'étude qui précède montre qu'il serait peut-être souhaitable de rétablir un palier de spécialisation à la fin de la première S. Pour la voie « classique », une terminale S « SVT » et une terminale S « MPC » devraient être envisagées. Dans les deux cas, leurs horaires devraient être allégés de manière substantielle. Une partie de cet allègement peut s'obtenir grâce à une plus grande spécialisation, une autre partie grâce à la suppression de l'enseignement obligatoire d'histoire-géographie, qui passerait en spécialité, et de la langue vivante 2, qui passerait en option.

Une proposition d'horaire pour ces deux voies de Terminale S se trouve ci-dessous.

On aboutirait ainsi, dans les deux branches de la terminale S, à un horaire obligatoire de 26 heures, et à un nombre de matières raisonnable. L'histoire-géographie pourrait être évaluée en fin de première S par une épreuve de baccalauréat anticipée.

Une telle structure reste compatible avec une réorientation en fin de terminale.

Elle est **cohérente** avec les deux grandes voies de débouchés scientifiques : les cadres supérieurs et techniciens de la biologie, de l'agronomie et de la santé d'une part, les cadres supérieurs et techniciens de l'industrie, d'autre part.

Le maintien de l'histoire-géographie sous forme de spécialité permettrait aux futurs cadres du management et du commerce de choisir une formation scientifique au lycée.

	Term S « SVT »		Term S « MPC »	
	Cours	TD	Cours	TD
Philosophie	2	1	2	1
Langue vivante 1	2	1	2	1
Mathématiques	4	1	6	1
Sciences Physiques et Chimiques	3	2	4	2
Sciences de la Vie et de la Terre	4	2	2	1
Éducation Physique et Sportive	2		2	
Un enseignement de spécialité obligatoire parmi :				
Histoire-Géographie	2		2	
Mathématiques				2
Physique-Chimie		2		2
Sciences de la Vie et de la Terre		2		
Options facultatives (deux au maximum) :				
Grec ancien	2		2	
Latin	2		2	
Langue vivante 2	2		2	
Arts Plastiques	2		2	
Musique	2		2	
Cinéma-Audiovisuel	2		2	
Théâtre-Expression dramatique	2		2	
Sciences Economiques et Sociales	2		2	

Annexe 1 : Évolution des programmes de mathématiques de terminale scientifique

Le tableau ci-après montre l'évolution des programmes officiels de mathématiques de Terminale Scientifique depuis une vingtaine d'années. J'ai dénombré depuis 1982 au moins cinq programmes successifs (soit un changement tous les quatre ans en moyenne !). J'en ai peut-être oublié quelques-uns. Pour des raisons de simplicité, je n'ai pas inclus dans le tableau le programme publié dans le BO n° 4 du 12 Juin 1997, qui a pourtant introduit des modifications importantes par rapport au précédent (notamment l'introduction d'une partie d'arithmétique dans le programme de spécialité).

À partir de la rentrée 1994, la Terminale C est supprimée et remplacée par une Terminale S où une partie (2 heures hebdomadaires) de l'enseignement de mathématiques devient optionnel (enseignement de spécialité). Le programme correspondant à cet enseignement de spécialité est indiqué en italique dans le tableau. À l'heure actuelle, il n'est donc suivi que par 30 % environ des élèves de Terminale scientifique.

1982 TERMINALE C (9 heures par semaine)	1987 TERMINALE C (9 heures par semaine)	1994 TERMINALE S + Spécialité Maths (8 heures par semaine) (BO n°7 du 07/07/94)	2002 TERMINALE S + Spécialité Maths (7,5 heures par semaine) (BO n°4 du 30/08/01)
Combinatoire et statistiques. Applications d'un ensemble fini dans un autre. Nombre d'injections. Arrangements. Combinaisons. Coefficients binômiaux, formule du binôme. Droites de régression. Inertie d'un nuage.	Dénombrements et probabilités Réunion, intersection de deux ensembles. <i>p</i> -listes d'un ensemble à <i>n</i> éléments. Arrangements. Combinaisons Coefficients binômiaux, formule du binôme. Probabilités sur les ensembles finis.	Dénombrements et probabilités <i>p</i> -listes d'un ensemble à <i>n</i> éléments. Arrangements. Combinaisons Coefficients binômiaux, formule du binôme. (Le calcul élémentaire des probabilités a été vu en première S) Indépendance. Probabilités conditionnelles. Variables aléatoires discrètes.	Dénombrements et probabilités-statistiques Combinaisons. Coefficients binômiaux, formule du binôme. (Le calcul élémentaire des probabilités a été vu en première S) Indépendance. Probabilités conditionnelles. Variables aléatoires discrètes, espérance et variance. Lois de Bernoulli, binomiale, uniforme sur [0,1], loi exponentielle. Statistique et simulation.

<p>Suites numériques (Le raisonnement par récurrence a été introduit en première, ainsi que les suites arithmétiques et géométriques) Définition de la limite avec des ε. Théorème des suites monotones (admis). Suites adjacentes. Exemples d'études de suites récurrentes de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$, $u_{n+1} = a u_n + b u_{n-1}$ et $u_{n+1} - u_n = P(n)$.</p>	<p>Suites numériques (Les suites arithmétiques et géométriques ont été vues en première) Raisonnement par récurrence. Définition de la limite par les suites de référence. Théorème des suites monotones (admis). Exemples d'études de suites récurrentes de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$.</p>	<p>Suites numériques (Les suites arithmétiques et géométriques ont été vues en première) Raisonnement par récurrence. Définition de la limite de façon intuitive. <i>Théorème des suites monotones (admis).</i> Exemples d'études de suites récurrentes de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$.</p>	<p>Suites numériques (Les suites arithmétiques et géométriques ont été vues en première) Raisonnement par récurrence. Définition de la limite de façon intuitive. Théorème des suites monotones (admis). Suites adjacentes. Exemples d'études de suites récurrentes de la forme $u_{n+1} = f(u_n)$.</p>
<p>Fonctions numériques Compléments sur continuité et limites (vus en première avec des ε). Dérivée des fonctions composées, d'une fonction réciproque. Dérivées successives. Notion de dérivée partielle. Fonctions logarithme et exponentielle et leurs croissances comparées. Recherche d'une asymptote oblique. Exemples d'études de familles de courbes dépendant d'un paramètre. Développements limités usuels jusqu'à l'ordre 3. Théorème de Rolle. Inégalité des accroissements finis.</p>	<p>Fonctions numériques Continuité et limites définies par les fonctions de référence. Dérivée des fonctions composées, d'une fonction réciproque. Dérivées successives. Fonctions logarithme et exponentielle et leurs croissances comparées. Recherche d'une asymptote oblique. Exemples d'études de familles de courbes dépendant d'un paramètre. Inégalité des accroissements finis.</p>	<p>Fonctions numériques Limites définies de manière intuitive. Continuité sur un intervalle. Dérivée des fonctions composées. Dérivées successives. Fonctions logarithme et exponentielle et leurs croissances comparées. Racine n-ième dans \mathbf{R}, fonctions trigonométriques. Notion d'asymptote. Approximations affines de e^h et $\ln(1 + h)$. Inégalité des accroissements finis.</p>	<p>Fonctions numériques Continuité et limites définies de manière intuitive. Dérivée des fonctions composées. Fonctions logarithme et exponentielle et leurs croissances comparées. Racine n-ième dans \mathbf{R}, fonction tangente. Notion d'asymptote. Approximations affines de e^h et $\ln(1 + h)$</p>

<p>Calcul intégral Calcul d'aires (exact, approché). Intégration par parties, changement de variable affine. Inégalité de la moyenne, valeur moyenne. Équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier et du second ordre sans second membre.</p>	<p>Calcul intégral Calcul d'aires (exact, approché). Intégration par parties. Inégalité de la moyenne, valeur moyenne. Équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier et du second ordre sans second membre.</p>	<p>Calcul intégral Calcul d'aires (exact, approché). Intégration par parties. Inégalité de la moyenne, valeur moyenne. Équations différentielles linéaires à coefficients constants du premier et du second ordre sans second membre.</p>	<p>Calcul intégral Calcul d'aires (exact, approché). Intégration par parties. Inégalité de la moyenne, valeur moyenne. Équations différentielles $y' = ay + b$, où a et b sont des constantes.</p>
<p>Fonctions vectorielles et cinématique (Le produit scalaire dans l'espace et le produit vectoriel ont été introduits en première S). Dérivée d'une somme, d'un produit scalaire, d'un produit vectoriel. Courbes paramétrées (sans branches infinies). Étude des mouvements rectiligne, circulaire uniforme, oscillateur harmonique.</p>	<p>Fonctions vectorielles et cinématique (Le produit scalaire dans l'espace a été introduit en première S). Produit vectoriel. Courbes paramétrées (sans branches infinies).</p>	<p>Fonctions vectorielles et cinématique (Le produit scalaire dans le plan a été introduit en première S). Produit vectoriel. Produit scalaire dans l'espace. <i>Courbes paramétrées (sans branches infinies).</i></p>	<p>Fonctions vectorielles et cinématique (Le produit scalaire dans le plan a été introduit en première S). Produit scalaire dans l'espace.</p>
<p>Nombres complexes Corps des nombres complexes. Forme exponentielle. Linéarisation des polynômes trigonométriques. Racines n-ièmes de l'unité. Groupe des racines n-ièmes de l'unité. Équation du second degré à coefficients complexes.</p>	<p>Nombres complexes Corps des nombres complexes. Forme exponentielle. Racines n-ièmes de l'unité. Résolution dans \mathbf{C} de l'équation du second degré à coefficients réels lorsque $\Delta < 0$.</p>	<p>Nombres complexes Nombres complexes. Forme exponentielle. Linéarisation des polynômes trigonométriques. <i>Racines n-ièmes de l'unité.</i> Résolution dans \mathbf{C} de l'équation du second degré à coefficients réels lorsque $\Delta < 0$.</p>	<p>Nombres complexes Nombres complexes. Forme exponentielle. Résolution dans \mathbf{C} de l'équation du second degré à coefficients réels lorsque $\Delta < 0$.</p>

<p>Algèbre linéaire (Les définitions d'espace vectoriel et d'application linéaire ont été vues en première S) Opérations dans \mathbf{R}^n, base canonique. Sous-espace vectoriel engendré. Lien entre application linéaire et matrice. Système générateur, libre. Théorème de la base incomplète. Résolution de systèmes par la méthode du pivot de Gauss. Espaces vectoriels de dimension finie.</p>	<p>Algèbre linéaire Résolution de systèmes par la méthode du pivot de Gauss.</p>	<p>Algèbre linéaire Résolution de systèmes par la méthode du pivot de Gauss.</p>	<p>Algèbre linéaire</p>
<p>Géométrie Calcul barycentrique (dans le plan et dans l'espace). Les isométries sont des applications affines qui conservent le barycentre. Groupe des déplacements du plan. Similitudes directes du plan. Lien avec les nombres complexes. Coniques (aspect géométrique et analytique). Transformations élémentaires de l'espace.</p>	<p>Géométrie Calcul barycentrique (dans le plan et dans l'espace). Les isométries sont des applications affines qui conservent le barycentre. Déplacements du plan. Similitudes directes du plan. Lien avec les nombres complexes. Coniques (aspect géométrique et analytique). Transformations élémentaires de l'espace.</p>	<p>Géométrie Calcul barycentrique (dans le plan et dans l'espace). Droites et plans de l'espace en géométrie analytique. <i>Les isométries du plan conservent le produit scalaire.</i> <i>Déplacements du plan.</i> <i>Similitudes directes du plan. Lien avec les nombres complexes.</i> <i>Coniques (aspect géométrique et analytique).</i></p>	<p>Géométrie Calcul barycentrique (dans le plan et dans l'espace). Droites et plans de l'espace en géométrie analytique. Translations et rotations dans le plan. Lien avec les complexes. <i>Similitudes directes et indirectes du plan.</i> <i>Quelques sections de surfaces de l'espace par des plans.</i></p>
			<p>Arithmétique Divisibilité et congruences dans \mathbf{Z}. Nombres premiers, décomposition d'un entier en produit de nombres premiers. Théorèmes de Bezout et de Gauss.</p>

Annexe 2 : Structure du marché de l'emploi

Le tableau ci-dessous, tiré de [1], donne l'évolution de l'emploi par catégorie socio-professionnelle entre 1982 et 1999. L'auteur de l'article observe que « la croissance de l'emploi des cadres supérieurs demeure très forte, 46 000 emplois supplémentaires chaque année entre 1990 et 1999 ; elle est cependant deux fois moindre qu'entre 1982 et 1990. Les emplois techniques des entreprises contribuent tout particulièrement à cette progression. En revanche, les créations nettes d'emploi dans l'administration et le commerce des entreprises sont bien moindres qu'elles ne l'étaient dans la période précédente ».

Catégorie	Effectif France Métropolitaine en 1999 (en milliers)	Variation annuelle 82-90 (en milliers)	Variation annuelle 90-99 (en milliers)
Agriculteurs	626	- 57,7	- 42,1
Artisans, commerçants, Chefs d'entreprise	1 520	- 8,3	- 25,3
Cadres supérieurs	2 996	+ 90,9	+ 46,1
Professions intermédiaires	5 268	+ 82,3	+ 93,2
Employés	6 599	+ 47,6	+ 82,3
Ouvriers	5 794	- 66,8	- 72,7
Ensemble, dont	22 803	+ 87,9	+ 81,4
Professeurs, professions scientifiques	659	+ 24,9	+ 12,1
Cadres supérieurs administratifs, commerciaux, d'entreprise	734	+ 19,5	+ 12,4
Ingénieurs, cadres techniques d'entreprise	688	+ 26,1	+ 12,4
Instituteurs et assimilés	852	- 3,3	+ 13,1
Professions intermédiaires de la santé et du travail social	957	+ 18,2	+ 24,8
Professions intermédiaires administratifs, commerciaux, d'entreprise	1 604	+ 46,8	+ 37,4
Techniciens	866	+ 8,1	+ 16,9
Employés civils de la fonction publique	2 182	+ 31,9	+ 30,2
Employés administratifs, d'entreprise	1 725	- 18,1	- 19,1
Employés de commerce	854	+ 13,2	+ 14,4
Employés de services directs aux particuliers	1 351	+ 18,9	+ 47,0
Ouvriers qualifiés	2 534	- 1,4	- 25,0
Ouvriers non qualifiés	3 016	- 61,1	- 48,8

Références bibliographiques

- [1] **Bernard Aubry**, *Les métiers se redéploient sur le territoire métropolitain*, INSEE Première, n° 792, juillet 2001.
- [2] **Anne Barrère**, *Les lycéens au travail*, PUF, 1997.
- [3] **Bruno Belhoste, Hélène Gispert et Nicole Hulin** (éditeurs) : *Les sciences au lycée : un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, Vuibert-INRP, 1996.
- [4] **Bulletin Officiel**, Hors série n° 2 du 30 août 2001.
- [5] **Alan F. Chalmers**, *Qu'est-ce que la science ?*, Éditions La Découverte, 1987.
- [6] **Bernard Convert**, *La « désaffection » pour les études scientifiques*, IFRESI-CNRS, 2000.
- [7] **Jean-Pierre Dubos**, *La désaffection des bacheliers S pour les études scientifiques universitaires*, Rapport d'enquête remis à M. le Recteur de l'Académie de Bordeaux, 2000.
- [8] **Daniel Duverney**, *Réflexions sur la désaffection pour les études scientifiques*, Gazette des mathématiciens, n° 96, avril 2003.
- [9] **Inspection Générale de Mathématiques**, *Mathématiques, l'état de la discipline*, mars 2002.
- [10] **Jack Lang**, *Une école élitaine pour tous*, Gallimard Folio, 2003.
- [11] **C. Larue**, *Le travail personnel des élèves en dehors de la classe*, Éducatons et formations, Décembre 1995.
- [12] **Pierre Le Hir**, *Comment redonner aux élèves le goût des disciplines scientifiques*, « Le Monde » du mercredi 3 décembre 2003.
- [13] **G. Le Morvan et J. Gimié d'Arnaud**, *Mathématiques pour les physiciens*, Vuibert, 1978.
- [14] **Note d'information no 98-34**, DPD, 1998.
- [15] **Note d'information no 03-42**, DPD, 2003.
- [16] **Jean-Louis Piednoir**, *L'orientation scientifique*, Inspection Générale de Mathématiques.
- [17] **Maurice Porchet**, *Les jeunes et les études scientifiques*, Rapport au ministre de l'Éducation Nationale, avril 2002.
- [18] **Antoine Prost et al.**, *Les lycées et leurs études au seuil du 21^{ème} siècle*, Ministère de l'Éducation Nationale, 1983.