

# Plaidoyer pour l'enseignement de la chimie

*François Mathey*

**L**a situation de la chimie en France est paradoxale. Son image auprès du public est floue : est-ce réellement une science ? Ne serait-ce pas plutôt une sorte de cuisine nécessaire mais nauséabonde et dangereuse ? D'une certaine façon, la chimie ne serait-elle pas l'antithèse de la nature ? Est-il vraiment nécessaire d'enseigner la chimie ? Un minimum de connaissances chimiques doit-il faire partie du bagage culturel de l'honnête homme ? Toutes ces questions et bien d'autres transparaissent dans le comportement du public à l'égard de cette discipline scientifique. Les raisons de ces interrogations sont profondes. Elles touchent à la philosophie et à l'histoire de notre culture et de notre pays. Nous allons essayer d'y répondre.

## LA CHIMIE : UN NAIN CULTUREL, UN GÉANT ÉCONOMIQUE

Derrière les premières questions se profile la trop fameuse « classification des sciences ». Pour la majorité des enseignants et des chercheurs non chimistes, la chimie pêche par ses approximations et n'a que peu de pouvoir prédictif et explicatif. Pour eux, seule la physique remonte à la source des

phénomènes et les explique, seule la physique est réellement une science dans toute l'acception du terme. Cette situation reflète évidemment l'énorme complexité des phénomènes chimiques par rapport aux phénomènes physiques. Cette complexité interdit la connaissance et le contrôle de tous les paramètres significatifs et empêche rationalisations et prédictions avec le même degré de perfection qu'en physique. Deux remarques s'imposent toutefois. Tout d'abord, la compréhension des phénomènes chimiques a fait récemment d'énormes progrès. On sait aujourd'hui étudier la réaction d'une molécule isolée avec une autre molécule en l'absence de tout autre partenaire, et l'on peut corrélérer les résultats expérimentaux ainsi obtenus avec une théorie précise de la réaction chimique dans les cas les plus simples. La compréhension du phénomène chimique élémentaire est donc aujourd'hui en cours d'acquisition. Reste, à l'aide d'approches statistiques et de modèles, à passer de la compréhension de l'acte élémentaire à la modélisation d'expériences chimiques réelles mettant en jeu d'immenses assemblées de molécules comprenant une multitude d'impuretés, des solides en suspension, des parois, etc. D'un autre côté, la complexité chimique est un ordre de grandeur plus faible que la complexité biologique, et les approximations des chimistes ne sont rien en regard de celles des biologistes. La biologie n'en est pas moins considérée comme une science à part entière, dont l'impact culturel et médiatique est considérable. En fait, on retrouve là un des grands problèmes de la chimie en France. L'effort de vulgarisation des chimistes est très faible, comparé à celui des physiciens et des biologistes. Il en résulte que, pour beaucoup de non-initiés, la chimie semble être une science ancienne (Lavoisier...) dont le développement se serait arrêté à la fin du dix-neuvième siècle. Ainsi, dans l'ouvrage récent de Michel Serres consacré à l'histoire des sciences <sup>1</sup>, la dernière découverte significative des chimistes remonte à 1869, avec la mise au point de la classification périodique des éléments par Mendeleïev. Dans un premier tableau, nous nous sommes amusés à réunir un certain nombre de découvertes importantes effectuées par les chimistes au cours du vingtième siècle. Toutes ces découvertes ont eu un impact conceptuel ou pratique de première grandeur. Pour clore notre réponse par une remarque plus pointue, signalons que 90 % de la chimie enseignée à l'École polytechnique depuis la réforme de 1987 repose sur des découvertes postérieures à la seconde guerre mondiale. La chimie est donc une science moderne en plein développement. Sa renaissance est postérieure au développement de la mécanique quantique et contemporaine du développement de la biologie moléculaire.

La troisième question est liée philosophiquement à l'opposition entre naturel et artificiel. Elle nous renvoie à Rousseau et à Baudelaire. Plus ou moins consciemment, elle est liée aux images de sorciers et d'alchimistes fabriquant des philtres ou recherchant la pierre philosophale. Même les chimistes, avant la découverte de l'urée par Wöhler en 1828, croyaient qu'une force vitale mystérieuse présidait à la fabrication des substances de la vie. Même si le développement de la chimie organique a totalement démenti une telle croyance, beaucoup de gens

sont encore persuadés aujourd'hui qu'il y a une différence entre une même substance extraite de la nature ou synthétisée au laboratoire. La vitamine C du citron n'est, pour eux, pas identique à l'acide ascorbique des chimistes. Or, dans les faits, le second est plus pur que la première et, surtout, plus reproductible dans ses effets.

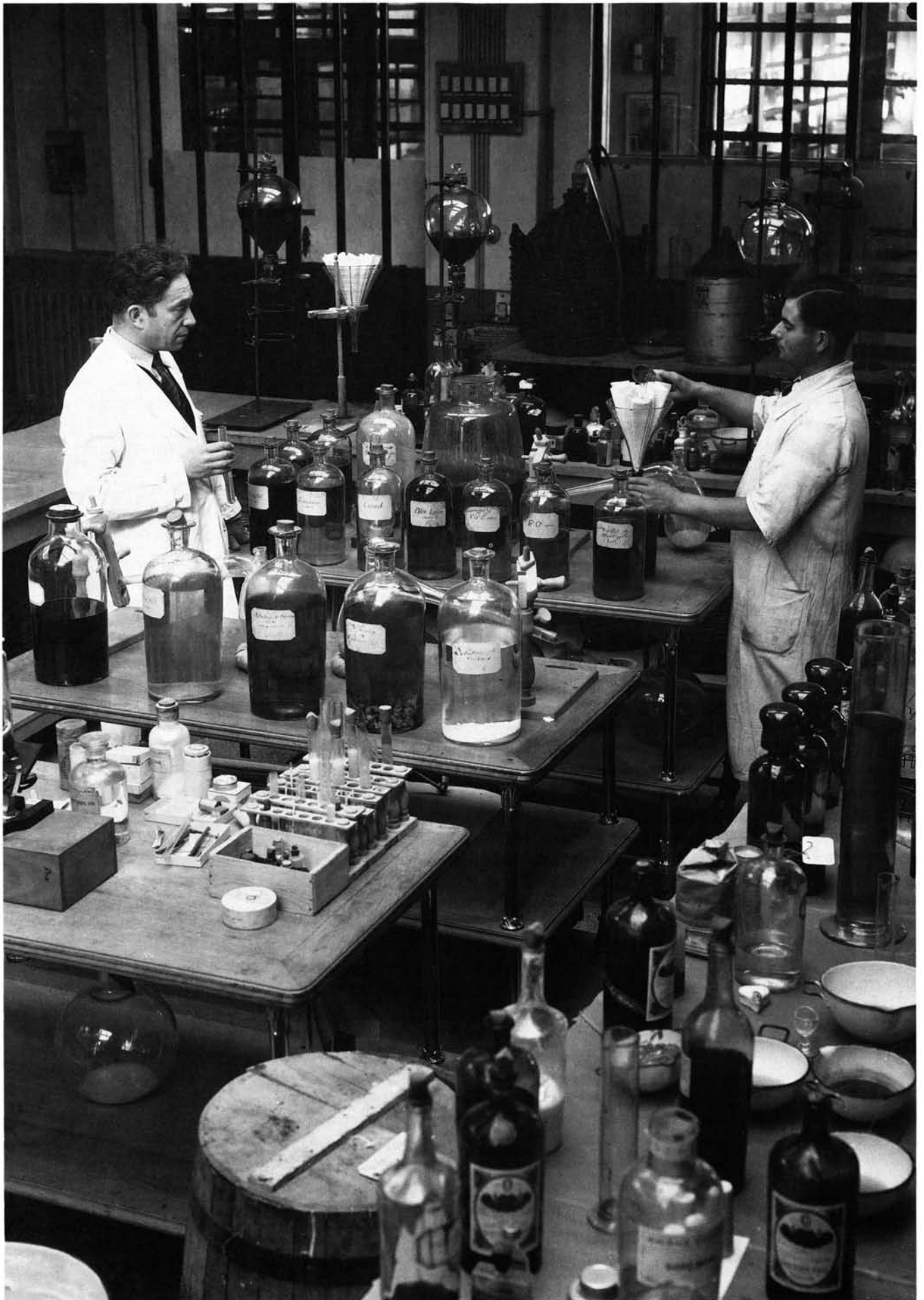
Le problème de l'enseignement de la chimie se pose évidemment à plusieurs niveaux. Mais, pour une part, la quatrième question reflète un certain scepticisme quant au pouvoir formateur de la chimie. Comme le temps et les moyens disponibles sont comptés, il est souhaitable de concentrer l'enseignement sur les disciplines réellement formatrices. Or, la chimie peut jouer un rôle fondamental dans l'apprentissage du dialogue avec la matière. Schématiquement, la physique cultive l'infiniment petit, l'astronomie l'infiniment grand et la biologie l'infiniment complexe. La réalisation d'expériences significatives dans ces domaines peut donc poser certains problèmes. La chimie, qui ne touche à aucun de ces extrêmes, est donc bien placée pour servir d'introduction aux sciences expérimentales. Elle constitue, de ce point de vue, un outil de formation exceptionnel. L'attraction qu'exercent les expériences de chimie sur les jeunes est d'ailleurs un phénomène bien connu. Les moyens à mettre en œuvre pour réaliser des expériences attirantes et significatives sont plus modestes qu'en physique. L'interprétation de ces expériences est plus facile et le temps de réalisation plus court qu'en biologie.

Quelle que soit la réponse à la dernière question, on ne peut que constater l'immense ignorance du public pour ce qui concerne la chimie. Peu de personnes sont capables de distinguer le dioxyde de carbone que l'on expire du monoxyde de carbone qui nous empoisonne, l'ozone toxique mais nécessaire pour le filtrage des rayons ultraviolets dans la haute atmosphère de l'oxygène que nous respirons. Comment l'honnête homme peut-il se prononcer sur les problèmes fondamentaux que pose le développement de notre société, s'il ne connaît rien du monde moléculaire qui nous entoure et dont il fait lui-même partie ? Comment peut-on soutenir que le mécanisme de la respiration, acte éminemment chimique, le transport de l'énergie dans l'organisme (ATP), la transmission de l'influx nerveux, le contrôle hormonal des phases de la grossesse et du développement de l'embryon, la composition de l'atmosphère, la combustion des hydrocarbures, la confection des puces électroniques, la composition des matières plastiques, etc. ne font pas partie du bagage de connaissances élémentaires nécessaire à la compréhension de la vie et du monde moderne ? Or tous les sondages semblent indiquer que la seule molécule dont la formule soit connue du grand public est celle de l'eau. Même la formule du sel dépasse les connaissances du plus grand nombre ! Il semble bien qu'en France l'ignorance scientifique soit de bon ton. Un tel préjugé risque, à terme, de nous reléguer au niveau des nations sous-développées.

A toutes ces questions plus ou moins latentes limitant l'impact culturel de la chimie en France, on peut opposer

---

*Un laboratoire de chimie. © Collection Viollet.*



l'impact économique majeur de cette science. Que serait le monde moderne sans les pesticides, les peintures, les vernis, les fibres synthétiques, le caoutchouc artificiel, les médicaments, les matériaux plastiques, les explosifs, les carburants de synthèse, le silicium monocristallin, etc. ? Les chiffres parlent d'eux-mêmes<sup>2</sup>. En 1988, le chiffre d'affaires de la chimie française s'est élevé à 317 gigafrancs. Elle a produit 13 % de la valeur ajoutée industrielle française. Les exportations ont représenté 40 % de son chiffre d'affaires et 16,3 % des exportations industrielles de la France. Elle est au troisième rang des chimies exportatrices dans le monde après les USA et la RFA. Son excédent commercial s'est élevé en 1988 à 22 gigafrancs. Elle emploie 270 000 personnes et on observe une forte progression des emplois très qualifiés. Bref, la litanie des chiffres traduit une réalité incontournable : la chimie est, juste après l'automobile, un des secteurs les plus importants de l'activité économique française. Même si sa progression est, à l'heure actuelle, perturbée par la crise du Golfe, la position centrale de la chimie dans le dispositif industriel français ne saurait être remise en cause.

## L'ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE EN FRANCE : EN QUEUE DU PELOTON EUROPÉEN ?

À l'occasion de notre travail au sein de la commission « Bourdieu-Gros » chargée de préparer la réforme de nos programmes éducatifs, nous avons été amenés à comparer l'enseignement de la chimie dans les classes du secondaire en France, en Allemagne et en Grande-Bretagne. Le système anglais, plus proche du nôtre que le système allemand, nous a servi de point de comparaison principal. Mais toutes les conclusions tirées de cette comparaison restent valables si l'on se réfère au système allemand. Les données chiffrées les plus significatives sont réunies dans l'annexe II. Nous reprenons ci-contre les conclusions de notre rapport auxquelles nous n'avons rien à ajouter ou retrancher :

En gros, les horaires de physique et de biologie sont approximativement égaux en France, Grande-Bretagne et RFA, si on les totalise sur la période allant de la sixième à la seconde : physique : 5 % (GB), 4,7 % (RFA), 4,7 % (F) ; biologie : 5 % (GB), 4,7 % (RFA), 4,7 % (F). En revanche, la chimie est très défavorisée. Alors que, dans les deux autres pays, la chimie se situe à parité avec la physique et la biologie (5 % et 4,7 % respectivement), en France elle ne bénéficie que d'un horaire moitié moins important (2,2-2,6 %). Notons que cette absence de parité est acceptée par la grande majorité des professeurs et qu'elle est justifiée par le faible poids de la chimie aux examens et par la classification des sciences<sup>3</sup>. Si l'on traduit ces horaires en sommes de connaissances, le jeune anglais quitte la seconde avec un bagage en chimie équivalent à celui du jeune français en terminale C. Au niveau du bac scientifique, le jeune anglais a des connaissances en chimie correspondant à peu près à Bac + 2 en France. Ce formidable retard initial occulte tous les autres problèmes posés par

l'enseignement de la chimie en France. Il est illusoire de vouloir replâtrer les programmes de chimie si l'on ne donne pas à cette discipline la place qui lui revient.

Quelques autres points méritent d'être notés. Tout d'abord, l'enseignement expérimental de la chimie est à parité avec l'enseignement théorique chez nos deux voisins. Les concepts chimiques sont souvent introduits par l'expérience. Cette méthode a l'avantage de relativiser aux yeux des élèves la validité des modèles explicatifs. Ce ne sont que des modèles et non des dogmes. Si l'expérience ne les confirme pas, ce n'est pas nécessairement l'expérience qui a tort. La sacralisation des théories est un trait caractéristique des enseignants et des étudiants français. Elle peut coûter cher. Ainsi, la découverte de la supraconductivité à haute température a remis en cause le dogme de son inexistence. Elle aurait pu avoir lieu dans notre pays.

Un autre aspect important des systèmes anglo-saxons concerne l'existence de professeurs de chimie spécifiques bien entraînés sur le plan expérimental. Cela concourt bien évidemment à la qualité de l'enseignement. Enfin, un point mineur mais intéressant : les manuels anglais couvrent plusieurs années successives. Cette couverture assure l'homogénéité de l'approche des problèmes d'une année sur l'autre. Les élèves sont également obligés de traiter leurs livres avec soin ce qui n'est pas un mal.

## UNE EXPÉRIENCE : LA RÉFORME DE L'ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

La structure pyramidale de notre système d'enseignement est bien connue. Dans le domaine scientifique, l'École normale supérieure et l'École polytechnique servent de points de mire pour les professeurs, les élèves et leurs parents dès la classe de seconde. Ces deux écoles sont considérées, à tort ou à raison, comme des temples dédiés aux mathématiques et à la physique. Restaurer l'enseignement de la chimie à l'École polytechnique devrait à terme, par contagion à partir du haut, modifier le statut de la chimie dans les classes préparatoires et, partant, en première S et terminale C.

En 1985 s'est déroulé un audit consacré à l'enseignement et à la recherche en chimie à l'École polytechnique. Cet audit s'est traduit par une refonte complète du département de chimie. L'équipe enseignante a été partiellement renouvelée, de nouveaux groupes de recherche se sont installés à l'école, d'autres l'ont quitté ou ont été dissous. Indépendamment mais simultanément, l'école a mis en place une nouvelle structure d'enseignement. Ainsi, depuis 1987, la moitié du temps est-elle consacrée à un enseignement uniformément dispensé à l'ensemble d'une promotion (tronc commun), l'autre moitié à un enseignement optionnel (majeures). Ce renouvellement concomitant du cadre de l'enseignement et de l'équipe enseignante du département chimie s'est traduit par la mise en place progressive depuis 1987 de toute une série de nouveaux modules de chimie offerts aux élèves : chimie organique

synthétique, spectroscopie, chimie organométallique et catalyse homogène, chimie bio-inorganique, modélisation moléculaire. En pratique, depuis l'année scolaire 1987-1988, tous les élèves reçoivent en première année un enseignement de chimie organique théorique, puis effectuent un choix entre quatre matières : mathématiques, physique, mécanique-matériaux et chimie. La répartition des élèves entre ces quatre matières donne une idée de l'impact des différentes disciplines auprès d'une promotion :

Nombre d'élèves par année et par discipline				
Année scolaire	87-88	88-89	89-90	90-91
Mathématiques	69	84	98	67
Physique	139	125	104	149
Mécanique	100	71	65	74
Chimie	49	58	76	82

Le démarrage de la chimie a été lent mais elle s'est maintenant affirmée comme une discipline à part entière.

Le succès de la majeure de chimie de première année centrée sur la chimie organique et la spectroscopie a incité l'École à offrir une autre majeure de chimie en seconde année consacré à la chimie organométallique, à la catalyse homogène et à la chimie bio-inorganique. Ce nouvel enseignement a démarré en 1991. Il a été offert aux élèves en parallèle avec huit autres possibilités.

Le début est modeste mais prometteur : 23 élèves de la promotion 1988 disposeront bientôt d'une formation complète de chimie moléculaire comparable à celle des élèves de l'université. Ils pourront suivre avec le maximum de chances de succès l'enseignement du DEA mixte de chimie lancé par l'université d'Orsay et l'École polytechnique à partir de 1989. Nous pensons que la formation d'un flux régulier de polytechniciens chimistes bien formés devrait avoir des répercussions heureuses pour l'industrie chimique et, plus généralement, pour l'avenir de notre discipline. Rétrospectivement, le succès de la chimie à l'École polytechnique signifie que la mauvaise situation de la chimie dans l'enseignement français n'est pas irréversible.

## Notes

1. M. Serres, *Éléments d'histoire des sciences*, Bordas, 1989.

2. Données fournies par M. Parenteau, de l'Union des industries chimiques.

3. Données extraites d'un sondage réalisé par SCP Communication en avril 1989 pour le compte du ministère de l'Éducation nationale.

## Quelques découvertes importantes ou domaines nouveaux de la chimie du XX<sup>e</sup> siècle

### Chimie théorique

Acides et bases de Lewis	1915-1925
La règle d'aromaticité de Hückel	1932
Les orbitales frontières	1952
Les calculs semi-empiriques	1960-1970
Les calculs ab-initio	1970-nos jours

### Chimie inorganique

Radiochimie	1900-1950
Éléments transuraniens	1940-nos jours
Ferrocène (nouveau type de liaison chimique)	1951
Catalyseur de Wilkinson (prototype des catalyseurs homogènes modernes)	1966
Chimie des gaz rares	1960-nos jours

### Chimie organique

Théorie électronique d'Ingold	1930-1940
Débuts de l'analyse conformationnelle	1950
Les règles de Woodward-Hoffmann (la symétrie en chimie organique)	1965

### Les polymères

Nylon	1928 (découverte)
Polyéthylène = procédé Ziegler-Natta	1955

### Chimie analytique

Résonance magnétique nucléaire	1960
Rayons X - Détermination des structures moléculaires en routine	1970

### Les médicaments

Aspirine	1899
Insuline	1922
Vitamines B1 et C	1926-1928
Pénicilline	1929
Cortisone	1936
Pilule anticonceptionnelle	1956
Ciclosporine (anti-rejet)	1969

### Quelques problèmes en cours d'étude

Synthèse des gènes
Naissance de la vie (chimie prébiotique)
Conducteurs et supraconducteurs organiques
Ordinateurs chimiques

### L'enseignement scientifique anglais dans le secondaire

<b>Classe</b>	<b>Sciences expérimentales</b> h/semaine (% du total)	<b>Mathématiques</b> h/semaine (% du total)
Sixième, cinquième	programme combiné P+C+B 2,7 h (10%) 108 h/an	3,3 h (12,5%)
Quatrième	programmes séparés P,C,B ratios 1/1/1 4 h (15%) 160 h/an	3,3 h (12,5%)
Troisième, seconde	programmes séparés P,C,B ratios 1/1/1 5,4 h (20%) 216 h/an	3,3 h (12,5%)

Données recueillies par le professeur John Osborn, Université de Strasbourg.  
Horaire global : 27 heures par semaine, 40 semaines par an, soit 1080 heures par an.