

Le film « Loin de l'équilibre ».

Prix du film scientifique d'enseignement du 2^e Festival du film scientifique de Toulouse 1978

Film conçu par A. Pacault, C. Vidal, P. De Kepper et A.M. Merle de l'Université de Bordeaux I, et réalisé par A. Bedos et C. Moncel, avec Ph. Lavalette pour le tournage, L. Ferrari pour la musique, F. Didio pour la prise de son, et M. Fillières pour le montage. Les voix sont celles de F. Luxereau et de Mme Delorme.

Formes et rythmes n'apparaissent pas seulement dans le monde vivant, car de récentes expériences prouvent que des systèmes physico-chimiques évoluant loin de l'équilibre peuvent, eux aussi, leur donner naissance. La thermodynamique des processus irréversibles offre une description synthétique de tels phénomènes qui va de la physique à la biologie et, peut-être au-delà.

Quelques rythmes et organisations spatiales introduisent le film : le cœur battant d'une coureuse essoufflée, de belles ailes de papillon, des oscillations chimiques, des cellules de Bénard...

La première partie privilégie le langage, sans la clarté duquel tout n'est que confusion : d'où la définition imagée d'un vocabulaire et d'une axiomatique adaptée à la compréhension des phénomènes présentés ultérieurement.

La deuxième partie est consacrée à la thermodynamique linéaire

des processus irréversibles, désormais classique, qu'illustrent la conduction thermique, la diffusion et la thermodiffusion.

Certains travaux, réalisés à Bordeaux, sont abordés dans la troisième partie qui traite des réactions chimiques périodiques et d'étranges phénomènes associés : multistabilité, transition par perturbation et par variation de contraintes, régulation, etc...

La quatrième partie montre que l'organisation de l'espace n'est pas le privilège du vivant et que, grâce à une réaction chimique, l'inhomogène peut naître de l'homogène.

La cinquième partie, enfin, suggère que les nouveaux concepts, fructueusement appliqués aux populations moléculaires, pourraient l'être sans doute à d'autres populations.

Ce film a été conçu pour stimuler la réflexion et l'imagination. Il comporte plusieurs niveaux de perception et de compréhension, de sorte qu'il peut toucher aussi bien un public cultivé que spécialisé.

S'il y a rigueur scientifique et réussite artistique, ceci est dû à l'étroite collaboration qui harmonisa sciences, image et musique.

La formation des analystes et l'enseignement de la chimie analytique

Le congrès de chimie analytique, organisé par le Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectroscopiques et physico-chimiques d'analyse (G.A.M.S.), la Division Chimie analytique de la Société Chimique de France et le Groupe de chimie analytique de la Société de Chimie Industrielle a été l'occasion, le 1^{er} décembre dernier, d'une importante table ronde consacrée à la formation des analystes et à l'enseignement de la chimie analytique. Plus de 150 personnes, représentant l'industrie chimique, les fabricants de matériel, les enseignants de plusieurs Universités (Sciences, Pharmacie et Ecoles de Chimie) et la formation professionnelle (A.F.P.A.) ont participé à cette réunion dont les grands objectifs étaient :

- en premier lieu, de définir la fonction du chimiste analyste dans les différents secteurs d'activité où il intervient : industries chimiques et parachimiques, labo-

ratoires de toute nature en particulier laboratoires biomédicaux.

- en second lieu et en conséquence, de définir la formation adaptée à cette fonction, (formation initiale ou formation continue).

Des exposés de présentation, consacrés à quelques-uns des aspects de la fonction et de la formation des analystes ont précédé l'ouverture de la discussion : Le profil de l'analyste dans l'industrie et les besoins de ce secteur ont été précisés par J.P. Billon (Rhône-Poulenc) ; le rôle des analystes en biochimie clinique a été exposé par F. Rousselet (Professeur à la Faculté de Pharmacie, Paris) ; un troisième secteur d'application : celui de l'instrumentation analytique a été présenté par J. Ch. Lefebvre, Vice Président du Comité Interprofessionnel des Fournisseurs du Laboratoire (C.I.F.L.).

Deux types de formation ont également fait l'objet d'exposés préliminaires : celle qui est proposée par le G.A.M.S. dans le cadre de la formation permanente, a été précisée par G. Branche, Président de la commission d'enseignement du G.A.M.S., et enfin celle que donne l'Association pour la Formation Professionnelle des Adultes (A.F.P.A.) qui était présentée par J.C. Lucy.

La table ronde était animée par J.C. Merlin (Professeur à l'Université de Lyon), et une synthèse des débats a été présentée par B. Trémillon, (Professeur à l'Université de Paris).

Les conclusions de cette table ronde peuvent intéresser un très grand nombre d'enseignants et d'industriels. Nous en présentons ci-dessous les points essentiels.

Jacques Devynck.

La chimie analytique et l'analyste

La fonction de l'analyste, la définition même de la discipline qu'il pratique (la chimie analytique) sont souvent l'objet de controverses et de malentendus. Il importe donc de préciser d'abord quelques définitions qui ont été posées par M. Billon et reprises dans l'exposé de synthèse de M. Trémillon.

La définition de la chimie analytique

communément admise fait référence à l'analyse chimique, c'est-à-dire à l'identification et à la détermination quantitative des constituants chimiques de la matière. L'objet de la chimie analytique est donc de concevoir et d'exploiter les moyens (physiques, chimiques, biologiques, etc.) permettant de résoudre le problème de l'identification et de la détermination (qualitative, quantitative et

structurale) des constituants chimiques de la matière. Il s'agit essentiellement d'une méthodologie, fondée sur les propriétés fondamentales de la matière et s'appuyant sur l'instrumentation la mieux adaptée.

La chimie analytique est donc l'appui nécessaire, non seulement de la chimie, mais également de très nombreux autres

domaines où elle est indispensable. Il n'existe pratiquement aucun secteur industriel qui ne soit tributaire de l'analyse chimique, et son rôle est capital pour le progrès scientifique et technique.

Un problème se pose aux frontières avec les autres disciplines chimiques : *la chimie analytique commence au moment où le fondamentaliste envisage d'exploiter une propriété générale pour concevoir un moyen d'analyse*. Par exemple, la chimie des réactions en solution est avant tout une discipline de base ; exploitable aussi bien dans un but préparatif que dans un but analytique, et c'est quand il se préoccupe d'une exploitation analytique (titrage, séparation préalable à des dosages, par exemple), que le spécialiste de cette discipline se comporte en analyste. De même, une méthode spectroscopique est souvent conçue par les fondamentalistes comme un moyen d'étude des propriétés de la matière ; à côté de cette exploitation fondamentale se développent les applications analytiques, qui font entrer

la méthode, du point de vue de ses applications seulement, dans le domaine de la chimie analytique.

Ces définitions étant posées, quelle est la fonction du chimiste analyste dans l'exercice de sa profession ? Une distinction, largement reprise au cours de la discussion a été proposée par M. Billon qui voit deux catégories d'analystes (sans qu'une distinction hiérarchique s'établisse entre elles) :

L'analyste *spécialiste* (sous-entendu : de l'exploitation d'une méthode ou d'une famille de méthodes) et l'analyste *généraliste*. La spécialisation est motivée par un souci d'efficacité et rendue nécessaire par l'extrême complexité des méthodes modernes. L'analyste généraliste est plus préoccupé par la formulation des problèmes analytiques, à partir des besoins exprimés par un demandeur ; il propose un choix judicieux de méthodes appropriées à la résolution de ces problèmes (dont l'application est alors confiée à un spécialiste si c'est nécessaire) et interprète

les résultats d'analyse pour que le demandeur soit en mesure d'en tirer les conclusions qui l'intéressent. La fonction de «généraliste» exige une vue plus générale de l'ensemble de la chimie analytique, au détriment évidemment de la précision des connaissances méthodologiques.

M. Rousselet précise, par exemple, les connaissances nécessaires à l'analyste en biochimie clinique, qui correspondent à une formation très complexe comprenant à la fois de la biochimie fondamentale, de la biochimie clinique et de solides connaissances en chimie analytique générale.

Le secteur de l'instrumentation de laboratoire demande, lui aussi, des qualités particulières qui sont précisées par M. Lefebvre : il demande bien évidemment des spécialistes des différentes techniques, mais il a aussi besoin de généralistes dont l'expérience industrielle est souvent très appréciée.

La place des analystes dans les différents secteurs

Le profil des analystes et la formation qu'il conviendra de leur donner, est donc tributaire de la place qu'on souhaite leur accorder dans les différents secteurs d'activité. M. Billon fait remarquer que la grande majorité des chimistes qui se trouvent dans les industries en aval du secteur chimique font de l'analyse et c'est dans les domaines extérieurs à la chimie que l'on trouve 60 % des analystes de toute l'industrie. Leur place est donc considérable.

Dans l'industrie chimique, l'analyste intervient à tous les niveaux : contrôle des produits de synthèse, optimisation des procédés en production, contrôle de qualité des produits finis, contrôle de pollution, etc... Certains secteurs d'activité, comme l'industrie pharmaceutique, néces-

sitent des développements analytiques considérables. L'automatisation de plus en plus poussée de l'analyse chimique déplace le rôle de l'analyste, mais lui garde toute son importance, l'automatisation permettant surtout une diminution du nombre des laborantins. On assiste à la même tendance, comme l'a fait remarquer M. Rousselet, dans l'analyse biologique.

La place de l'analyste dans l'instrumentation de laboratoire obéit à certaines contraintes, après avoir été longtemps du domaine des seuls électroniciens, la fabrication et la vente du matériel moderne nécessitent de plus en plus une «culture générale» en chimie analytique qui permettent d'appréhender les problèmes de façon suffisamment complète. De vastes

débouchés, que M. Lefebvre évalue à 100-150 personnes par an existent pour ce type d'analystes à mi-chemin entre l'instrumentaliste et le généraliste, à un niveau correspondant à celui du D.U.T. ou de technicien supérieur (B.T.S., A.F.P.A.).

Généralistes et spécialistes sont tous deux nécessaires et c'est la conjonction de leurs efforts qui rend le meilleur service à l'analyse. Cependant, l'évolution vers la trop grande spécialisation est, selon M. Billon, regrettable pour ce qui concerne l'industrie. Il existe un besoin de chimistes analystes non cantonnés dans l'exploitation d'une seule méthode et plus disponibles pour envisager les problèmes analytiques sous l'angle le plus large.

La formation du chimiste analyste

Au cours des 25 dernières années, les techniques d'analyses servies par l'essor de l'instrumentation, se sont développées à un rythme si rapide qu'il a fallu, pour suivre l'évolution, former un grand nombre de spécialistes pour chacune des méthodes (chromatographie, spectrométrie, électrochimie, etc...). Après cette spécialisation à outrance, il semble que la priorité doit être donnée au niveau de la formation initiale, à *la formation de généralistes*. De nombreuses interventions au cours de la discussion concordent sur ce point.

Ceci implique qu'une priorité soit accordée à la méthodologie analytique, en insistant essentiellement sur les principes d'exploitation des propriétés générales

pour l'identification et la détermination quantitative des espèces chimiques et sur les performances comparées des méthodes : domaine d'application et nature des informations recueillies, sélectivité, limite d'application et précision escomptée.

La connaissance de l'instrumentation doit pouvoir être limitée à l'essentiel de la mise en œuvre des méthodes. Ce que l'étudiant doit d'abord acquérir est une *connaissance critique de l'arsenal méthodologique* dont la chimie analytique dispose.

Un des problèmes rencontrés par l'enseignant de chimie analytique, qui a été soulevé à plusieurs reprises est le suivant : quelle est l'importance des bases fonda-

mentales qu'il convient de fournir à l'étudiant ? L'étendue des connaissances auxquelles il est couramment fait appel est aujourd'hui considérablement plus vaste qu'il y a 20 ou 30 ans.

Elle va de la thermodynamique et de la cinétique chimique à la spectrochimie (interactions rayonnement-matière) et à la chimie nucléaire, de l'optique et de l'électronique au calcul statistique et à l'informatique.

L'enseignement de chimie analytique n'a en principe pas pour objet de fournir ces connaissances que l'étudiant devrait avoir acquises par ailleurs dans l'étude des disciplines fondamentales.

Mais des rappels sont souvent nécessaires pour pallier les insuffisances. Le choix de ces rappels est particulièrement difficile et les enseignants sont souvent tentés de les limiter à quelques méthodes, donc à trop spécialiser et à enfermer l'étudiant dans un cadre trop étroit d'où il sortira difficilement.

L'importance de la formation initiale dans les différents cycles de formation de l'enseignement supérieur a été mise en évidence au cours de plusieurs interventions qui ont critiqué certaines formations trop spécialisées. Une bonne coordination doit être réalisée entre les diverses matières : dans un domaine aussi large que l'analyse biologique, cette coordination n'est pas toujours, selon M. Rousset, bien réalisée.

Il apparaît donc qu'un effort considérable doit être fait sur le plan de la formation générale en chimie, l'efficacité du généraliste dépendant de la connaissance qu'il a de la chimie.

La formation initiale doit donc comprendre une partie importante des connaissances méthodologiques de base nécessaires à la formation de généraliste. Mais la formation continue est parfaitement adaptée à la spécialisation c'est-à-dire l'étude approfondie d'une méthode.

C'est, en effet, en se trouvant amené à pratiquer une méthode que l'ingénieur ou

le technicien ressentira le besoin d'approfondir ses connaissances sur cette méthode. Les cycles de formation organisés par exemple par le G.A.M.S., qui ont été présentés par M. Branche, remplissent parfaitement ce rôle : ils peuvent être actualisés et tenir compte des derniers progrès réalisés dans la fabrication du matériel et l'exploitation de la technique.

L'Association Nationale pour la Formation Professionnelle des Adultes présentée par M. Lucy propose deux types de formation professionnelle :

- un enseignement intensif d'un an permettant de former des analystes généralistes ayant de bonnes connaissances tant sur le plan des méthodes d'analyse et de leurs applications les plus diversifiées, que sur la technologie instrumentale. Il vise le développement de l'adaptabilité et de l'esprit d'initiative plutôt que l'amoncellement des connaissances. Le niveau auquel il forme (Technicien supérieur) est bien adapté à une demande, qui d'après certaines interventions, semble souvent négligée,
- des stages de formation continue de durée variable, permettant à des techniciens, en poste dans l'industrie, de s'initier à de nouvelles techniques analytiques, ou d'approfondir leurs connaissances dans un domaine précis.

Compte tenu des différentes interventions, M. Trémillon formule quelques recommandations aux employeurs éven-

tuels de jeunes analystes. La principale est de ne pas exiger une connaissance parfaite de la technique qu'il aura à développer (si l'employeur a une technique de prédilection), cette connaissance pouvant être rapidement acquise ; mais, en revanche, attacher beaucoup d'importance à la formation générale, qu'il est possible d'acquérir avec les quelques enseignements de chimie analytique générale qui sont proposés dans les écoles ou à l'Université.

On peut regretter, à l'heure actuelle, que le nombre des enseignements de ce type soit toujours, malgré leur intérêt sur le plan des débouchés professionnels, aussi faible, stagnant depuis plusieurs années, sinon en régression, dans les Universités de Sciences. Une action est certainement à entreprendre à nouveau auprès des autorités universitaires pour réaffirmer l'intérêt de soutenir ces enseignements.

L'intérêt de ces enseignements n'est d'ailleurs pas seulement lié aux débouchés professionnels sur lesquels la discussion a été axée. Il faut insister sur le profit que tout chimiste peut tirer de la formation analytique générale, qui constitue une discipline d'esprit, une méthode d'approche de nombreux problèmes non analytiques. Vue sous cet angle, elle facilite, dans le domaine industriel, le transfert de l'ingénieur du laboratoire d'analyse vers d'autres secteurs techniques, transfert dont les ingénieurs eux-mêmes et leurs employeurs ressentent fréquemment le besoin.

Colloque sur l'enseignement expérimental de la chimie

L'Université de Provence organise, en juin - juillet 1978, une double manifestation visant à promouvoir la chimie, tant auprès de l'opinion publique que dans le domaine pédagogique (*L'actualité chimique*, n° 6, 1977) :

- Organisation d'expositions dans les différents musées de Marseille sur : Chimie au service de l'art ; Chimie et photographie ; Chimie et industrie ; Chimie et nature.

- Colloque pédagogique à l'Université du 3 au 6 juillet concernant la présentation d'un certain nombre d'expériences axées sur :

1. l'enseignement des sciences physiques (chimie) dans les classes de 6^e à 3^e des lycées et C.E.S., concernant les modules déjà expérimentés (polymères, photographie, chimie) ou des thèmes entièrement nouveaux ou en cours de réalisation.
2. l'enseignement de la chimie au niveau de l'entrée en Faculté (charnière classes terminales-supérieures). Ces expériences peuvent porter sur le programme de Deug, mais aussi sur toute manipulation qui pourrait mettre en évidence un phénomène ou une technique.

Le but souhaité est qu'à partir d'une réalisation concrète, une confrontation d'idées puisse avoir lieu et que cette analyse serve aux différentes catégories d'enseignants participant à cette manifestation en vue d'une amélioration ou d'un développement plus approfondi des connaissances et applications pratiques. Ces expériences auront lieu dans les laboratoires de la Faculté qui prêtera (dans la mesure du possible) le matériel nécessaire. Des salles spéciales seront prévues pour l'installation de posters, appareils de projection pour films, diapositives.

Vous trouverez, ci-dessous, une première liste des titres d'expériences présentées qui vous permettra de vous faire une idée du contenu scientifique de cette manifestation. La volonté des organisateurs est d'en faire à la fois une "Session de publications expérimentales" où les auteurs feront, sous leur responsabilité, la démonstration commentée de "leur" expérience et aussi une sorte de "Foire aux expériences de chimie", où chacun pourra venir chercher des idées et un savoir-faire

pour les utiliser très légitimement dans son enseignement.

Liste des expériences et manipulations proposées (au 20 mars 1978)

- Étude thermodynamique de la formation d'un oxyde métallique.
- Stéréochimie ; réduction du camphre par NaBH_4 .
- Calorimétrie ; capacité calorifique d'un métal.
- Détermination d'une enthalpie de mélange à dilution infinie.
- Séparation par chromatographie haute pression.
- Électrophorèse en fil de polyacrylamide et chromatographie sur séphadex.
- Réactions "au chronomètre".
- Télé TP d'initiation à l'analyse quantitative.
- Calorimétrie adiabatique d'une réaction d'oxydo-réduction.
- Équilibre chimique solide-gaz, variation des fonctions d'état.
- Synthèse de la phénidone.
- Séparation de 2 constituants en chimie organique, purification, identification.

- Réaction de Wittig.
- Réaction de Diels-Alder.
- Extraction de la caféine du thé ou du café.
- Électrode à hydrogène en milieu non aqueux.
- Étude d'une électrode spécifique à fluorure.
- Étude du champ de ligands dans les complexes octaédriques du Cr.
- Observation des domaines ferromagnétiques dans les aciers.
- Étude de la diffusion Cu-Zn.
- Détermination de la structure en spinelles par diffraction X.
- Diverses démonstrations de cours : variation degré d'oxydation, acidité et oxydo réduction, composés peu solubles, extraction par changement de solvant, force ionique et équation de Nernst, utilité du montage à 3 électrodes en polarographie, protection cathodique des métaux.

- Influence du solvant sur les équilibres de dissociation des acides.
- Variation de la conductivité d'un oxyde métallique non stœchiométrique avec Po_2 .
- Tracé de courbes intensité-potentiel.
- Variation de la solubilité avec la force ionique.
- pK d'un acide benzoïque substitué, relation de Hammett.
- Variation de la f.e.m. d'une pile avec T.
- Passivation d'un acier inoxydable.
- Polarisation anodique du nickel et polissage électrolytique.
- Variation de la solubilité d'un sel en fonction de la constante diélectrique.
- Calorimétrie comparaison avec une méthode physique.
- Simulation sur ordinateur.
- Oxydo réduction en photographie.
- Analyse d'une eau de mer par polarographie.
- Expériences sur les plastiques.

- Oxydes de l'azote dans les gaz d'échappement et dans les bec de gaz.
- Dureté de l'eau.
- Pouvoir calorifique du butane.
- Tension de vapeur d'eau.
- Réalisation des étudiants dans le domaine de l'énergie solaire.
- Moteur sterling.
- Radioactivité.
- Détecteur de gaz toxiques.
- Appareil de dosage des gaz.

Vous pouvez encore vous inscrire pour une présentation expérimentale, ou comme participant, en vous adressant le plus rapidement possible auprès de Mlle Dubusc, Laboratoire de chimie générale, Université de Provence, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille Cedex 3.