Réflexions sur la chimie analytique et son évolution pendant le dernier demi-siècle

Bernard Trémillon* *professeur honoraire, ancien directeur de l'ENSCP*

Summary : ***Thoughts about the analytical chemistry and its evolution during the last fifty years***

Analytical chemistry has known a deep evolution during the last 50 years. Taking the opportunity of his retirement, B. Tremillon draws this evolution. He shows how the evolution of chemical analysis has led to instrumental methods more and more sofisticated and how general analytical chemistry, according to the definition of G. Charlot constitutes an efficient tool in defining solution processes. Examples in the field of hydrometallurgy, nuclear chemistry, electrochemistry, solvents and molten salts chemistry are proposed. Consequences of the evolution of analytical chemistry on the education is also described.

Mots clés : ***Chimie analytique, analyse, procédés, hydrométallurgie, nucléaire, solvants, sels fondus, électrochimie, enseignement.***

Key-words : *Analytical chemistry, analysis, processes, hydrometallurgy, nuclear chemistry, solvents, molten salts, electrochemistry, education.*

Au moment de prendre, pour une ultime fois, la parole devant un auditoire dans cet amphithéâtre de l'ENSCP, je ressens une certaine émotion en pensant que je l'ai fait pour la toute première fois il y a quarante ans déjà et que, depuis, j'ai donné ici cours à des étudiants au moins 1 500 fois. Il y a en effet juste quarante ans, à l'automne 1958, mon maître Gaston Charlot a obtenu de la Société Chimique de France la création de la première division de cette société, la division de Chimie analytique, dont des réunions publiques ont commencé de se tenir, ici même, une fois par mois, indépendamment des autres réunions mensuelles de la Société. A l'époque, la chimie analytique était en plein renouveau en France, principalement grâce à l'action du professeur Charlot, et les chimistes analystes tant industriels qu'universitaires manifestaient le désir d'acquérir sans tarder les connaissances de base des méthodes qu'ils commençaient à utiliser. Gaston Charlot et le cofondateur de la division, le professeur J.A. Gautier (de la faculté de pharmacie de Paris), avaient donc décidé de faire présenter, à chacune des réunions, une conférence de mise au point sur l'une de ces méthodologies analytiques en plein essor (en réalisant ce que l'on appellerait aujourd'hui une action de formation continue). C'est ainsi que, thésard presque débutant et jeune collaborateur d'enseignement à l'ESPCI de Gaston Charlot, celui-ci me chargea, pour assurer le démarrage de la division, d'un certain nombre de ces conférences (portant aussi bien sur les méthodes absorptiométriques, les méthodes polarographiques modernes, que sur les méthodes chromatographiques, les méthodes de séparation par extraction liquide-liquide et par les résines échangeuses d'ions, sur les premières utilisations des solvants non aqueux, etc.). Je ne sais si ces conférences répondirent complètement aux attentes de formation de leurs auditoires, mais elles me permirent, personnellement, à la fois d'acquérir un savoir très large sur la chimie analytique du moment et de me familiariser avec l'art de l'enseignement magistral que je devais pratiquer peu de temps après.

Depuis cette époque déjà lointaine, la chimie analytique a subi une profonde évolution qui a fait apparaître deux chemins divergents, que je désignerai, l'un, comme la voie de la chimie analytique « traditionnelle » et, l'autre, comme celle d'une chimie analytique plus « générale », ainsi que G. Charlot l'avait lui-même désignée.

Évolution de la chimie analytique au cours du dernier demi-siècle

La définition usuelle de la chimie analytique est qu'il s'agit de la branche de la chimie qui a pour objet la conception, le développement et le perfectionnement des moyens, méthodes expérimentales et méthodes de raisonnement, permettant de résoudre un problème clé de la chimie : celui de la détermination de la composition chimique de la matière (sous forme d'échantillons), c'est-à-dire le problème de l'**analyse**

Exposé présenté à la Journée scientifique du 24 septembre 1998 à l'ENSCP, organisée en l'honneur de B. Trémillon.

* École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05.
Tél. : 01.43.29.54.74. Fax :01.43.25.79.75.

chimique. A l'époque où il avait entrepris de promouvoir le renouveau de la chimie analytique, c'est-à-dire dans les années quarante et cinquante, Gaston Charlot insistait fortement sur la **nécessité de distinguer la chimie analytique de l'analyse chimique** qui en est l'**application**. Le rôle de la chimie analytique, science dite de transfert, c'est-à-dire d'exploitation du fondamental avec un objectif défini d'application (au même titre que le génie chimique par exemple), est de faire appel à toutes les propriétés physicochimiques sur lesquelles peuvent être fondées ses méthodes (auxquelles correspondent des connaissances de base qu'il convient donc, dans l'objectif d'une formation à cette discipline, d'**enseigner sous la forme adaptée à cette exploitation particulière**).

La méthodologie de l'analyse chimique se trouvait constituée à cette époque, pratiquement en totalité, par des identifications et des mesures effectuées sur des **solutions** (ce qui nécessitait en général une mise en solution préalable des échantillons contenant les espèces chimiques à déterminer). La théorie contenue dans la chimie analytique était donc pour l'essentiel relative, d'une part à l'étude des réactions chimiques en solution (aqueuse principalement) et aux raisonnements systématiques permettant de les mettre en œuvre pour atteindre les objectifs analytiques visés (notamment de sélectivité), d'autre part aux propriétés physicochimiques et aux méthodes expérimentales grâce auxquelles les déterminations qualitatives et quantitatives pouvaient être réalisées au sein des solutions (je parle ici de la chimie analytique dite moderne à l'époque, celle que Charlot enseignait, car, auparavant, il s'agissait surtout d'un catalogue de protocoles permettant soit de mettre en évidence des entités chimiques par une succession de précipitations plus ou moins sélectives, soit de les doser gravimétriquement ou volumétriquement). La systématisation des réactions chimiques employées pour l'analyse - systématisation découlant du raisonnement analytique, dont le point de départ est la distinction entre les réactions d'échange de diverses « particules » (électrons, protons et autres ions) - avait permis d'établir des **modes de prévision précise** et d'arriver ainsi à optimiser le choix des conditions expérimentales permettant d'atteindre un **but fixé à l'avance** : mettre en évidence sélectivement une substance, en évitant autant que possible d'avoir à effectuer sa séparation préalable d'avec d'autres substances en présence. Ce fut le principe même de la méthode d'analyse qualitative qui fut désignée à cette époque sous le nom de « méthode Charlot ». Pour les cas les plus complexes où le recours à une séparation restait nécessaire, des méthodes efficaces se développèrent (en plus de la méthode classique de séparation par précipitation sélective) : l'extraction par un solvant immiscible à l'eau (avec un réactif d'extraction approprié, le plus sélectif possible) et une méthodologie sophistiquée, désignée par le terme de **chromatographie**, exploitant les différences de distribution des substances entre des phases différentes et une procédure répétitive par percolation ou écoulement à contre-courant (méthodologie née au début du siècle, mais dont la théorie ne s'est développée, à la suite des travaux fondamentaux du suédois Tiselius dans les années quarante, que dans les années soixante et soixante-dix, essentiellement).

Au cours des décennies suivantes, la nécessité de résoudre les problèmes ardus d'analyse chimique suscités par les développements scientifiques et techniques, en faisant rechercher par les professionnels de l'analyse des méthodes de plus en plus performantes (à la fois sur le plan de leur puissance de discrimination entre des espèces chimiques faiblement différenciées, de leur rapidité d'exécution et de leur automatisation), a conduit peu à peu à la prééminence actuelle de méthodes physicochimiques sans utilisation de réactions, et même sans mise en œuvre de solutions, ce qui a donné à cette chimie analytique traditionnelle un caractère fortement instrumental - et a ainsi déplacé le domaine de connaissances concerné par la formation de base des chimistes analystes vers l'exploitation des interactions matière-rayonnements électromagnétiques et vers l'ensemble des interactions moléculaires mises en œuvre dans les diverses techniques chromatographiques ou assimilées.

Une autre voie d'exploitation de la chimie analytique « générale » (en solution) : l'application de ses méthodes dans le domaine des procédés chimiques modernes

La branche de la chimie analytique que G. Charlot avait dénommée « générale », ayant pour objet de décrire les réactions d'une manière analytique pour ensuite savoir les mettre en œuvre systématiquement, d'une manière **contrôlée**, en les combinant en vue d'obtenir la meilleure efficacité dans leur exploitation à des fins pratiques, a en revanche trouvé son **champ d'application dans la mise au point**, non plus tant de procédures en vue d'établir des protocoles d'analyse chimique que, beaucoup plus largement, de **divers procédés chimiques**.

Pour le chimiste, tout procédé de fabrication de produit comporte généralement deux stades, l'un étant celui de la synthèse conduisant à la formation du produit cherché, l'autre consistant à isoler le produit et à le purifier, pour le mettre sous sa forme d'utilisation ou de commercialisation : il s'agit donc d'un stade de séparation. Il faut souligner que la qualité d'un produit dépend essentiellement de ce stade de séparation, qui peut paraître secondaire à côté de la synthèse proprement dite, mais qui, pourtant, met souvent en jeu des moyens techniques et aussi économiques bien supérieurs à ceux nécessités par la synthèse. La conception d'une méthode de préparation impliquant pour commencer le choix d'un processus de réactions adapté à la matière de départ et aux diverses contraintes (en particulier d'ordre économique), et compte tenu de ce que l'utilisation de milieux réactionnels liquides est propice au déroulement rapide et au contrôle des processus réactionnels dans les conditions ambiantes de température et de pression, ainsi que de la facilité de manutention des liquides, c'est la chimie **en solution** qui tend à occuper dans le domaine des procédés de préparation industrielle, surtout les procédés dits de chimie fine, la place prédominante. De même, ce sont des séparations également en solution que

l'on fait intervenir dans de nombreux procédés modernes. On conçoit alors que le chimiste expert à mettre en œuvre, de façon raisonnée et systématique, les réactions en solution et les méthodes de séparation fine puisse remplir un rôle de premier plan en ce qui concerne la définition des processus chimiques intervenant dans les procédés industriels (avant de procéder à une autre forme d'optimisation relevant du domaine de l'ingénierie chimique et conduisant, en tenant compte des phénomenes liés aux transferts de matière et d'énergie, à la définition du matériel, du réacteur, requis pour réaliser l'opération à l'échelle industrielle).

C'est dans le domaine des procédés hydrométallurgiques que cette intervention de l'expert en systématique des réactions et méthodes de séparation en solution est la plus évidente, s'agissant en effet d'un terrain idéal d'application des connaissances correspondantes. Notamment, le développement de l'industrie nucléaire (de naissance relativement récente) a été la principale occasion d'une telle application, pour réaliser l'extraction des éléments fissiles (l'uranium tout spécialement) de leurs sources naturelles, dont la pauvreté exigeait de faire appel à des traitements de ce type, et pour le retraitement des combustibles nucléaires afin d'en séparer les produits de fission. Grâce aux connaissances acquises en chimie analytique des solutions (ou selon les méthodes de celle-ci), les ingénieurs du nucléaire ont pu exploiter d'une manière systématique la formation des complexes, les réactions d'oxydoréduction et le contrôle de l'acidité pour mettre au point l'extraction sélective de l'uranium des solutions d'attaque du minerai, et celle des produits formés lors de la fission des noyaux de l'uranium dans les réacteurs nucléaires. Les éléments transuraniens (synthétiques), dont il existe diverses applications, sont ainsi l'objet de traitements en solution afin de les isoler de leur source de produits de fission et de les séparer entre eux. La résolution des problèmes de décontamination et plus généralement de gestion des déchets radioactifs doit également faire un large appel aux connaissances de propriétés en solution.

C'est un fait reconnu en métallurgie que les seules techniques capables de faire atteindre les normes de pureté qu'imposent certaines applications technologiques sont souvent de type **hydrométallurgique**. A cet égard, le cas des éléments dits des terres rares est significatif : c'est grâce au développement d'une séparation par extraction par solvant, directement inspirée des séparations analytiques, qu'une grande société industrielle française est devenue le premier producteur mondial d'éléments séparés (à taux de pureté élevé) des terres rares, exploités dans des applications spécifiques de haute technologie. La récupération d'éléments mineurs, mais de haute valeur, au cours de traitements pour l'obtention d'éléments majeurs constitue également un objectif que l'on peut atteindre au moyen de méthodes d'extraction par solvant basées sur des processus chimiques exploités pour traiter le cas des séparations à l'échelle analytique.

La chimie des solutions permet également de proposer des voies nouvelles de traitement en solution utilisant des liquides réactifs autres que les solutions aqueuses traditionnelles, allant des solutions réalisées avec des solvants organiques ou inorganiques (oléums, ammoniac et fluorure d'hydrogène liquides, chlorure de thionyle, etc.) aux sels, hydroxydes et oxydes à l'état fondu (donc à des températures élevées par rapport aux liquides précédents), **en y appliquant les mêmes modes de raisonnement que dans les solutions aqueuses**.

Les connaissances et les méthodes de la chimie en solution ont connu aussi une pénétration importante dans le domaine de la fabrication de produits organiques et, tout spécialement, dans celui des biotechnologies pour lesquelles les outils chimiques se ramènent le plus souvent aux méthodes d'isolement des produits utiles (formés par réaction biochimique). On peut citer, comme exemples, la purification et la séparation des aminoacides, de glucides, d'antibiotiques, par l'emploi des résines échangeuses d'ions ou de l'extraction par solvant. Les techniques de séparation chromatographiques préparatives, dérivées dans leurs principes physicochimiques des mêmes techniques analytiques, ont pris un essor considérable, devenant le moyen universel de séparation fine en chimie organique et bio-organique, sur le plan préparatif comme sur le plan de l'analyse.

De la même manière, on peut évoquer les procédés électrochimiques, dont l'intérêt pour la technologie moderne est de plus en plus fréquemment souligné. De tels procédés possèdent souvent, pour la préparation ou le traitement post-préparatoire de produits ou de matériaux originaux, une efficacité, une souplesse de mise en œuvre, une « propreté » opératoire, supérieures à celles des procédés chimiques. Il ne manque encore, à l'heure actuelle, qu'une « ingénierie » bien adaptée pour que des procédés électrolytiques viennent se substituer en grand nombre à des procédés n'utilisant que des processus chimiques. La mise au point d'un procédé électrolytique, dans sa première phase de l'étude d'un processus réactionnel exploitable, est quant à elle du ressort de l'**électrochimie analytique** : c'est la méthodologie d'analyse des caractéristiques courant-potentiel des réactions électrochimiques et la connaissance des moyens d'action sur ces dernières qui permettent de définir les conditions précises de réalisation expérimentale d'opérations préparatives ou séparatives par voie électrochimique.

Chimie analytique générale et formation du chimiste

La conclusion à tirer de ces considérations peut être fournie en citant Roland Gauguin, ancien directeur scientifique à la société Rhône-Poulenc : « *La chimie des solutions doit rester enseignée et, pour être efficace, enseignée avec une finalité concrète, dont le domaine analytique, facile à cerner, paraît le support idéal. Elle doit donc subsister à côté des autres spécialités analytiques. Elle doit par ailleurs être traitée avec une largeur de vue suffisante pour que l'analyste puisse voir s'ouvrir à lui un vaste domaine d'intérêt renouvelé et que la mise au point des procédés en profite* » [1].

Les divers problèmes que cette chimie analytique générale peut contribuer à résoudre s'avèrant sans cesse renouvelés, il apparaît continuellement de nouveaux besoins de connaissances

Carrière et travaux scientifiques de Bernard Trémillon

Curriculum vitae

Né en 1930, Bernard Trémillon a fait ses études universitaires à l'ESPCI (École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris), dont il sortit en 1954, et à la faculté des sciences de Paris. Il prépara sa thèse (soutenue en 1959) sous la direction de G. Charlot et ouvrit avec lui, dès cette époque, une longue et fructueuse période de collaboration.

Nommé maître-assistant à la faculté des sciences de Paris en octobre 1960, maître de conférences en octobre 1965 et professeur titulaire en octobre 1970, il fut également professeur à l'ENSCP ou il enseigna l'électrochimie et la chimie analytique jusqu'en 1992, et professeur à l'INSTN (Institut National des Sciences et des Techniques Nucléaires) de Saclay à partir de 1967.

Lorsque le DEA de chimie analytique fut créé, en octobre 1960, sous l'égide à la fois de la faculté des sciences de Paris et de l'INSTN, il seconda G. Charlot, le directeur de cette formation doctorale, jusqu'à la retraite de celui-ci en 1975 et prit sa succession comme directeur de la formation jusqu'en 1995.

A l'ENSCP, il occupa la charge de directeur des études à partir de décembre 1988 et jusqu'à sa nomination comme directeur de l'école en avril 1992.

Au cours de sa carrière, il fut membre de nombreux conseils, comités et commissions scientifiques et techniques, sur le plan national (auprès des ministères de l'Éducation, de la Recherche, de l'Industrie, auprès du CNRS, de la Société Chimique de France...) et sur le plan international (IUPAC). Conseiller scientifique auprès du CEA à partir de 1967, conseil de la Société Rhône-Poulenc pendant quelques années, il collabora scientifiquement avec de nombreuses sociétés industrielles.

Sur le plan des responsabilités de recherche, il créa à l'ENSCP, en octobre 1962, le nouveau laboratoire de chimie analytique de la faculté des sciences de Paris, qui devint, en 1966, l'une des trois parties (les deux autres étant localisées à l'ESPCI) du laboratoire de chimie analytique générale, associé au CNRS (LA 28), dirigé par G. Charlot, avant d'être, en janvier 1974, un laboratoire associé distinct, sous l'intitulé de laboratoire d'électrochimie analytique et appliquée (LA 216). Cette formation associée resta dirigée par B. Trémillon de 1974 à 1984 puis de 1988 à fin 1992.

Travaux de recherche de B. Trémillon et de son laboratoire de l'ENSCP

Les premiers travaux de recherche entrepris par B. Trémillon, ont porté sur les séparations chimiques fines, principalement au moyen des résines échangeuses d'ions. L'un des apports principaux a consisté à mettre en œuvre les complexes en solution pour accentuer les facteurs de séparation. Ces travaux, effectués dès le départ en collaboration avec le CEA, ont débouché sur des études de séparations isotopiques (bore), de séparation de métaux aux propriétés chimiques très voisines (Zr-Hf) et sur des essais de réalisation de colonnes industrielles fonctionnant en continu à contre-courant. Ils ont initié pour B. Trémillon une longue collaboration avec le CEA et lui ont permis de tirer de sa connaissance approfondie des séparations par les résines échangeuses d'ions un ouvrage sur ce thème publié en 1965.

Le deuxième secteur de recherche dans lequel G. Charlot a lancé B. Trémillon, en même temps que dans le secteur précédent, est la chimie des milieux réactionnels non aqueux. Presque au début de leur entreprise dans ce domaine, tous deux ont éprouvé l'envie et le besoin de faire le point et la synthèse des connaissances du moment et de développer à partir de là un système raisonné pour le traitement cohérent de cette chimie. Ce qui les a conduits à la rédaction d'un ouvrage, publié en 1963 (et traduit en plusieurs langues par la suite), ouvrage qui a fait école tant en France qu'à l'étranger

L'apport essentiel réside dans le développement, sur le plan quantitatif, du traitement des réactions suivant les différentes théories « acide-base » (particulièrement la théorie peu usitée auparavant dite de la « solvoacidité », dont l'application s'est révélée tout spécialement fructueuse dans le cas des milieux formés par les sels fondus) et dans l'établissement des relations traduisant la dépendance des transformations par réactions redox du niveau d'acidité (au sens généralisé) du milieu réactionnel.

C'est à l'utilisation des sels fondus que B. Trémillon a accordé la plus grande attention en raison de l'intérêt industriel considérable que l'emploi de ces liquides suscitait dans des domaines variés : générateurs électrochimiques, stockage d'énergie thermique, traitement et élaboration de matériaux, effets catalytiques et, principalement, métallurgie extractive - intérêt justifié soit par des besoins technologiques nouveaux, soit par la recherche de procédés économes en énergie. Une partie des recherches de B. Trémillon et de ses collaborateurs relatives à la chimie et à l'électrochimie dans les sels fondus a été notamment orientée vers des processus pouvant servir à la conception de nouveaux procédés de métallurgie extractive, en collaboration avec les sociétés industrielles intéressées (Pechiney, Rhône-Poulenc, Metaleurop).

Le troisième volet des travaux de recherche de B. Trémillon se situe dans le domaine de l'électrochimie, dont il a fait sa principale discipline d'appartenance depuis la création, en janvier 1974, de son unité de recherche associée au CNRS. C'est aussi un domaine abordé dès le début de sa carrière en collaborant avec le professeur Charlot à la rédaction de l'ouvrage « *Les réactions électrochimiques - Les méthodes électrochimiques d'analyse* », paru en 1959 (et traduit également en plusieurs langues). Ce livre, écrit à une époque où les pratiquants de l'électrochimie moderne n'étaient encore qu'assez peu nombreux en France, a nettement contribué au développement de la discipline dans notre pays, en inspirant non seulement une rénovation de son enseignement mais aussi les travaux de nouvelles équipes de recherche dans l'université et dans l'industrie.

La grande majorité des travaux du laboratoire de B. Trémillon relèvent donc du domaine de l'énergie (travaux reliés au captage de l'énergie solaire, au stockage et au transport d'énergie par des sels fondus caloporteurs, par des batteries thermoamorçables, etc.) et de celui des économies d'énergie et de matières premières (travaux portant sur les effets catalytiques et la conception de nouveaux modes de traitement de matières minérales ou organiques). A côté, l'élaboration électrochimique de matériaux pour les technologies modernes (notamment, des semiconducteurs, des alliages métalliques à base de terres rares) a constitué également une voie de recherche fructueuse.

B. Trémillon est l'auteur d'environ 170 mémoires et de 6 livres. Il a dirigé ou codirigé plus de 130 thèses de doctorat.

fondamentales qui suscitent des études analytiques et, par conséquent, alimentent la recherche propre au domaine. Comme ces problèmes surgissent surtout dans les domaines scientifiques ou techniques de la plus grande actualité, la collaboration avec les spécialistes qui y sont confrontés conduit *ipso facto* à évoluer en suivant cette actualité et à un renouvellement fréquent des idées dont profite le contenu de la chimie analytique générale elle-même. A titre d'exemple, je citerai seulement le cas d'activités développées au sein de deux équipes de mon laboratoire. L'association, il y a une vingtaine d'années, de l'une de ces équipes aux recherches (françaises et européennes) effectuées en vue du développement des batteries solaires, a conduit cette équipe (et par suite le laboratoire) à intégrer, dans ses modes d'approche des processus étudiés, les concepts de physique et chimie des solides exploités dans le domaine de la conversion photovoltaïque, ce qui lui a permis par la suite de s'orienter avec succès vers la mise au point de méthodes de traitement et d'élaboration douce et contrôlée (grâce à l'utilisation de solutions et de l'électrochimie) de matériaux non métalliques de haut intérêt technologique comme les semiconducteurs ternaires ou quaternaires. De même, et très différemment quant au domaine scientifique, une autre équipe du laboratoire s'est trouvée récemment engagée aux côtés de biologistes pour apporter son aide, par sa maîtrise des processus électrochimiques, à la résolution d'un problème fondamental important du domaine biomédical, celui du rôle complexe du monoxyde d'azote dans les processus biologiques.

Ma conviction est que les connaissances de la chimie en solution (dans tout milieu, aqueux comme non aqueux, y compris les milieux fondus) peuvent à tout moment être utiles et même nécessaires dans la résolution de problèmes nouveaux, sur le plan fondamental comme sur celui des applications, dans de nombreux secteurs scientifiques.

Un autre grand intérêt que je trouve également à cette approche est que, s'agissant surtout d'une démarche intellectuelle basée sur des connaissances larges et générales, elle permet de conserver une vue elle-même générale obligeant à l'ouverture d'esprit permanente. C'est à mes yeux une grande différence avec l'autre volet de la chimie analytique, celui du développement des méthodes d'analyse chimique, qui suit un chemin tout à fait opposé ; ces méthodes devenant si sophistiquées qu'elles exigent aujourd'hui une spécialisation très poussée - en recherche comme souvent dans le domaine technique, on a cessé d'être un chimiste analyste complet, qui sait choisir parmi ses méthodes, on est devenu de façon bien plus restrictive un chromatographiste, un spectroscopiste de masse, ou de RMN, etc. -, avec pour conséquence prévisible de renvoyer la chimie analytique dans l'isolement, par rapport aux autres disciplines de la chimie, qu'elle a connu avant que Gaston Charlot l'en fasse sortir par sa conception généraliste.

Transmettre une formation

Le point de vue que je viens d'exprimer est celui selon lequel ont été construits nos enseignements de chimie analytique, à la conception desquels j'ai personnellement constamment accordé la plus grande place dans mes activités professionnelles (en vertu du principe qu'enseignement et recherche sont pour un enseignant universitaire totalement indissociables). La **transmission d'une formation** a toujours été ma préoccupation majeure et ma principale motivation scientifique. C'est ce même intérêt pour la transmission de formation (et pas seulement de connaissances) qui m'a aussi poussé à la rédaction d'un certain nombre de livres - un virus communiqué par mon maître Gaston Charlot, avec qui j'ai collaboré à mes débuts pour la rédaction de deux ouvrages.

C'est grâce à l'existence, depuis 38 ans, du **DEA de chimie analytique** - placé actuellement sous l'égide de cinq établissements universitaires parisiens : l'UPMC, l'INSTN, l'ENSCP, l'ESPCI et l'ECP -, DEA que j'ai dirigé, après le professeur Charlot, de 1975 à 1995 (et après avoir secondé celui-ci depuis la création en 1960) que cette conception de la chimie analytique a pu recevoir toute son ampleur dans un programme d'enseignement approfondi. Nous y avons constamment associé l'enseignement de la chimie analytique « générale » précédemment définie - l'aspect le plus formateur d'esprit pour un futur ingénieur - à celui des grandes méthodes instrumentales utilisées dans le domaine de l'analyse chimique (axé essentiellement sur les fondements de ces méthodes et sur leurs principes d'exploitation). De la sorte, nous pensons avoir formé et continuer de former de véritables **ingénieurs en chimie analytique**, capables aussi bien de s'intégrer à un service d'analyse chimique, c'est-à-dire de devenir chimistes analystes (en acquérant éventuellement la spécialisation **technique** plus poussée nécessitée par la méthodologie dominante du service), que d'intervenir efficacement dans la mise au point de procédés chimiques ou électrochimiques.

Pour l'équipe d'enseignants qui se consacrent à cette formation aujourd'hui très renommée (attirant de nombreux étudiants de province et de l'étranger), c'est un grand sujet de satisfaction et de confortement que de constater que les emplois trouvés par les étudiants à la sortie des enseignements relèvent très majoritairement de leur formation de chimie analytique générale plutôt que de leur connaissance des méthodes d'analyse.

C'est sur cette orientation particulière de la chimie analytique « générale » que j'ai centré tout au long de ma carrière les activités scientifiques de mon laboratoire de l'ENSCP (en s'écartant donc de la voie traditionnelle de la chimie analytique consacrée au développement des méthodes d'analyse chimique), en y trouvant la motivation des très nombreux problèmes industriels que l'apport de nos modes d'approche et de nos connaissances fondamentales acquises par les études analytiques a pu contribuer à résoudre.

Pourquoi avoir conservé le cadre général de la chimie (et l'électrochimie) analytique pour y développer ces activités, en dépit de l'ambiguïté de ce qualificatif qui suscite fréquemment une confusion sur le contenu du domaine en question ? La raison en est d'abord historique, ainsi que je viens de le souligner, mais aussi **épistémologique** en conservant au mot **analytique** son sens logique premier : dont la démonstration

procède par analyse, opération intellectuelle consistant à remonter d'une proposition à d'autres propositions reconnues pour vraies d'où l'on puisse ensuite la déduire [*cf* dictionnaire Robert]. La raison profonde est aussi la **volonté d'affirmer une démarche particulière dans le traitement des problèmes chimiques** qui peuvent recevoir une réponse par nos moyens, démarche reposant sur une **combinaison systématique des outils de la chimie en solution, à partir de l'analyse des réactions** permettant une **prévision quantitative** des effets de celles-ci.

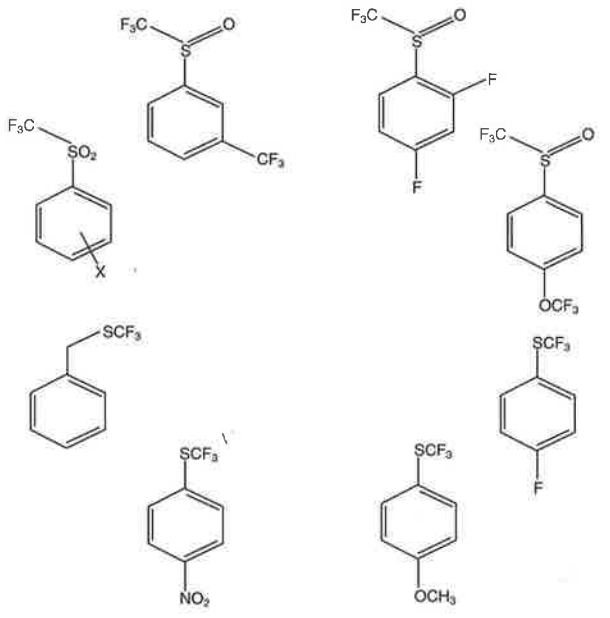
Référence

[1] De la chimie analytique aux procédés industriels, *L'Actualité Chimique*, sept. **1983**, p. 11-16.

Principaux ouvrages de B. Trémillon

- Charlot G., Badoz-Lambling J., Trémillon B., *Les réactions électrochimiques - Méthodes électrochimiques d'analyse*, Masson, Paris, **1959** ; traduction anglaise, **1962** ; espagnole, **1969**.
- Charlot G., Trémillon B., *Les réactions chimiques dans les solvants et les sels fondus*, Gauthier-Villars, Paris, **1963** ; traduction anglaise, **1969** ; polonaise, **1968** ; japonaise, **1975**.
- Trémillon B., *La chimie en solvants non aqueux*, collection SUP, Presses Universitaires de France, Paris, **1971** ; traduction anglaise, **1971** ; espagnole, **1973**.
- Trémillon B., *Les séparations par les résines échangeuses d'ions*, Gauthiers-Villars, Paris, **1965** ; traduction polonaise, **1970**.
- Trémillon B., *Électrochimie analytique et réactions en solution*, tome 1 : *Réactions en solution*, Masson, Paris, **1993** ; traduction anglaise, **1997** ; tome 2 : *Réactions et méthodes électrochimiques*, Masson, Paris, **1993**.

RHODIA ORGANIQUE FINE PROPOSE UNE NOUVELLE FAMILLE DE PRODUITS



EXEMPLES DE MOLECULES :

- TRIFLUOROMETHYL SULFURES
- TRIFLUOROMETHYL SULFOXYDES
- TRIFLUOROMETHYL SULFONES

RHODIA ORGANIQUE FINE
LEADER DANS LES INTERMEDIAIRES ORGANOFLUORES