Introduction

À l'aube du XXIe siècle, peut-on définir la *Chimie Analytique* ? Le terme même de *Chimie Analytique* a-t-il un sens scientifique absolu ou ne recouvre-t-il seulement qu'un concept dont la définition fluctue d'un pays à l'autre en fonction de racines éminemment culturelles et historiques ?

L'Encyclopedia Universalis propose la définition suivante de la chimie analytique : « *La chimie analytique est la branche de la chimie qui a pour but l'identification, la caractérisation et la quantification des substances chimiques ainsi que le développement des méthodes nécessaires à cette analyse. Elle s'intéresse également à la compréhension des phénomènes mis en jeu dans les processus et les techniques d'analyse afin de pouvoir sans cesse les améliorer* ».

S'il n'existe aujourd'hui pratiquement aucun domaine socio-économique ou scientifique qui puisse s'affranchir des apports de l'*Analyse Chimique*, cela confère-t-il un rang particulier à la *Chimie Analytique* à l'intérieur du corpus scientifique ? La chimie analytique est-elle seulement une branche de la chimie spécialisée dans l'analyse chimique ou dispose-t-elle de ses concepts et connotations propres qui en font une science ou une discipline à part entière ? En d'autres termes, lorsque l'ensemble du monde socio-économique et scientifique s'appuie sur la chimie analytique, utilise-t-il la chimie analytique ou n'a-t-il seulement besoin que d'analyses chimiques ? Le cas échéant, l'analyse chimique serait-elle possible sans chimie analytique ?

Étymologiquement, l'analyse chimique implique « *l'étude détaillée d'un tout complexe par séparation en ses composants chimiques essentiels* », ce qui semble devoir ramener le processus à une simple juxtaposition de savoir-faire techniques. Dans cette acception commune, la chimie analytique ne serait que le thesaurus de ces savoir-faire. Il n'y aurait alors ni science ni discipline, mais simplement une collection de savoir-faire s'élaborant continûment à partir d'interrogations issues

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

d'autres domaines scientifiques ou socio-économiques et des avancées technologiques réalisées pour résoudre ces interrogations.

Mais que signifient réellement les termes « tout complexe », « séparation » et « composants chimiques essentiels » sur lesquels s'appuie la définition précédente ? Peut-on et doit-on analyser de la même manière un fragment de roche lunaire, un tissu biologique ou un écosystème ? Peut-on et doit-on réaliser de la même manière une analyse ponctuelle, quelles que puissent être d'ailleurs son ampleur et l'importance du problème posé, et une analyse métrologique systématique destinée par exemple à vérifier une norme imposée en agroalimentaire ?

La notion de composant chimique essentiel est-elle la même lorsqu'il s'agit d'analyser un élément chimique, au sens de Mendeleiev, dans un minéral, dans un milieu (présence du même élément sous des formes chimiques différentes), dans un organisme vivant compartimenté (présence de l'élément sous des formes chimiques différentes et à des concentrations différentes selon les compartiments)... Est-elle la même lorsqu'il s'agit de rechercher l'énantiomère d'une molécule organique, une séquence d'ADN ou protéique ?

Séparer et mesurer ont-ils le même sens lorsqu'il s'agit d'étudier un échantillon unique, quelques millilitres d'un fluide biologique émanant du vainqueur d'une étape du Tour de France par exemple, ou lorsqu'il s'agit de contrôler systématiquement la teneur en dioxine dans la viande de poulet destinée au marché alimentaire ? Séparer et mesurer ont-ils encore le même sens lorsqu'il s'agit de détecter la présence de méthanol dans une huile normalement destinée à l'alimentation humaine ou lorsqu'il s'agit de vérifier le non-coupage d'un vin ou la non-contamination d'une essence naturelle par une molécule de synthèse chimiquement identique à la molécule naturelle qu'elle remplace indûment ?

Appréhender un tout complexe peut-il procéder de la même démarche lorsque l'objet d'étude est inerte, comme un petit fragment d'astéroïde, ou lorsqu'il s'agit d'un objet démesuré et essentiellement dynamique comme l'atmosphère et les océans, ou microscopique, très compartimenté et en interaction rapide et complexe avec son milieu externe comme une cellule vivante. Un tout complexe a-t-il la même définition lorsqu'il s'agit d'un colorant dont la couleur exacte ne résulte que de la superposition des spectres de ses composants, ou lorsqu'il s'agit d'une odeur ou d'un parfum dont la propriété odorante n'est que virtuelle puisqu'elle ne traduit que la stimulation simultanée d'un ensemble de neurones par les différents composants du tout odorant ?

Ces différents exemples montrent à l'évidence que la définition précédente, pour commune qu'elle soit, est sémantiquement vide. Pourtant, son analyse a fait ressortir l'une des démarches de base de la

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

chimie analytique : sa capacité à développer des méthodes de mesure et d'analyse fiables (science métrologique) en vue d'obtenir des informations chimiques quantitatives sur des systèmes complexes (banques de données, chimiométrie), destinées à résoudre un problème souvent posé par une autre discipline scientifique, par le monde socio-économique, en un mot par la société.

Pour répondre aux questions qui lui sont posées, la chimie analytique élabore-t-elle ses concepts, stratégies et outils propres comme peut le faire la chimie de synthèse pour construire une molécule organique complexe ? Sur un plan strict, il est quasiment impossible de définir de tels outils, stratégies et concepts qui soient propres à la chimie analytique. Dans son ensemble, elle développe, optimise et intègre à sa méthode des concepts et des outils de nature et d'origines profondément diverses, relevant aussi bien de la chimie, de la physico-chimie, de la biochimie, de la biologie, de la physique et même des mathématiques.

Par exemple, les chimistes synthétisent leurs molécules et démontrent eux-mêmes la justesse des structures qu'il ont synthétisées : ils sont souvent les meilleurs experts pour utiliser et appliquer les méthodes physiques et spectrométriques (RMN, spectroscopies, spectrométrie de masse, *etc.*) à leurs problématiques. Les biochimistes sont certainement les meilleurs experts en analyse du génome ou en chromatographie d'exclusion des protéines. Les géologues sont les meilleurs utilisateurs et développeurs de la spectrométrie de masse élémentaire à haute résolution. Les spécialistes de l'environnement proposent des démarches originales fondées sur des systèmes biologiques (en quelque sorte les descendants modernes plus sélectifs et micro-intégrés des fameuses truites des réservoirs d'eau potable) pour caractériser des polluants organiques ou inorganiques... En résumé, lorsqu'un problème d'analyse se présente dans une discipline, celle-ci s'attelle au problème et le résout en s'appuyant sur des principes empruntés aux autres disciplines. L'histoire de la RMN illustre parfaitement cette démarche. Née en physique, elle a trouvé son essor chez les (et grâce aux) chimistes, pour connaître la gloire auprès du grand public grâce à l'imagerie médicale.

En ce sens, il n'y aurait donc pas de chimie analytique proprement dite mais seulement des approches pragmatiques empruntées à diverses disciplines et élaborées par d'autres disciplines afin de produire des informations chimiques ou biochimiques (présence-concentration-structure-compartimentation d'espèces chimiques ou biochimiques cibles) à partir de systèmes isolés ou complexes de nature et de taille éminemment variables. Ce constat explique donc facilement pourquoi le contour de la chimie analytique à l'intérieur des sciences chimiques varie en fonction de paramètres historiques et culturels. Alors existe-t-il une chimie analytique ?

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

La tradition historique de la chimie analytique ne reflète plus son état et sa nature actuelle. Le terme chimie analytique pouvait être considéré comme décrivant correctement la discipline lorsque ses moyens et domaines d'application étaient chimiques par essence et même essentiellement restreints, à l'intérieur de la chimie, à l'analyse des minéraux et matériaux inorganiques. Que l'on songe au chimiste de Jules Verne, naufragé sur une île déserte mais capable de reconnaître les matériaux bruts et les minéraux nécessaires à sa survie. Aujourd'hui cette acception ne peut plus être retenue même si elle reste confusément ancrée dans les esprits.

La chimie analytique n'est pas seulement le domaine métrologique de la chimie. Ce n'est pas une science ou une discipline métrologique appliquée. Ce n'est pas un ensemble d'outils ou de moyens stratégiques voués à produire des mesures destinées au monde scientifique ou socio-économique. Les caractéristiques les plus saillantes de ce que représente la chimie analytique actuelle s'énoncent ainsi :

– elle identifie et résout le problème analytique à l'intérieur d'une problématique plus large posée par le monde scientifique, technologique ou socio-économique. Elle propose ainsi des réponses analytiques relatives à des problèmes pris dans leur globalité matérielle ou à l'échelle de leurs composants individuels ;

– elle possède un caractère fondamental en ce sens qu'elle « comprend et interprète » les propriétés chimiques, physico-chimiques, biochimiques…, pour développer ses techniques et ses méthodes, mais aussi un caractère pratique : ses méthodes ne peuvent être qu'applicables, quel que soit le caractère fondamental des recherches et des études qui y ont conduit. Elle transcende par essence même la dichotomie si habituelle entre « fondamental » et « appliqué », ce qui lui confère d'ailleurs son caractère si ambigu à l'intérieur des autres disciplines scientifiques ;

– comme toutes les sciences, elle utilise et affine des techniques et des outils qui proviennent de champs scientifiques et technologiques très divers pour les transformer ou les adapter à un problème analytique particulier ;

– elle fait partie intégrante de la métrologie, sans pour autant être une « science de l'analyse » ou une « science de l'instrumentation ». Ses instruments constituent son moyen d'expression scientifique mais ne la qualifient pas pour autant. La ramener uniquement à ses outils reviendrait à ramener le chimiste de synthèse à sa colonne à distiller, le géologue à son marteau ou le physicien à ses équations…

– elle qualifie ses méthodes et techniques en termes de « qualité de mesure » et définit ses propres systèmes et matériaux de référence destinés à vérifier et certifier cette qualité de mesure.

Sur la base de ces principales caractéristiques, la chimie analytique est donc intimement liée à la production innovante d'informations quali-

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

tatives (au sens de la nature des espèces) et quantitatives, fiables, obtenues selon des protocoles vérifiables (traçabilité des méthodes d'analyse et de leurs intervalles de confiance, et non plus seulement celles des échantillons analysés) et exportables, par comparaison à des étalons parfaitement définis (matériaux de référence). L'information nécessaire à la résolution du problème scientifique, technologique ou socio-économique posé est constituée par l'ensemble de la mesure proprement dite mais aussi son protocole d'obtention et son interprétation (propriétés analytiques).

Obtenir ces informations avec la précision et l'exactitude adéquates, à l'intérieur de la gamme de valeurs nécessaires et dans les types d'échantillons souhaités ne peut passer que par une recherche fondamentale pointue et efficace destinée à l'élaboration de nouveaux concepts qui deviendront de nouvelles stratégies analytiques. Cette recherche peut passer par la mise au point de procédés analytiques entièrement nouveaux, ou par l'adaptation de stratégies connues à des contraintes nouvelles (réduction des volumes des échantillons, plus faibles seuils de détection, temps d'analyse réduits, nombres d'analyses accrus, exploitabilité des méthodes hors des laboratoires, *etc.*) grâce à des ouvertures technologiques nouvelles (biotechnologies, miniaturisation, robotisation, *etc.*) comme l'illustre parfaitement l'effort récent en direction des systèmes bio-intégrés, comme les puces à ADN par exemple. La recherche correspondante est développée pour une part à l'intérieur de structures de recherche traditionnellement consacrées à la chimie analytique. Elle est aussi développée pour une part importante à l'extérieur de ces structures par des acteurs de la recherche d'autres disciplines, comme nous l'avons expliqué plus haut. Cependant, le chimiste, le biologiste, le géologue, qui invente un nouvel outil ou une nouvelle stratégie destinés à résoudre son problème, problème qui n'a pu émerger qu'à l'intérieur de sa propre discipline, reste-t-il un chimiste, un biologiste ou un géologue lorsqu'il effectue cette recherche analytique ? Est-il devenu pour autant un chimiste analyticien ? Entre la mise au point d'un nouvel outil adapté à la résolution du problème qui a poussé à cette mise au point, et la transformation de cet outil, adapté à une recherche spécifique, en un outil validé, certifié et exportable, adaptable à d'autres problématiques connexes, il y a une distance considérable, qui n'est généralement pas franchie par le chimiste, le biologiste, ou le géologue précédent. Si la méthode présente un intérêt scientifique ou socio-économique qui aille bien au delà du problème qui a conduit à sa mise au point, elle nécessitera une phase de recherche et développement afin de conduire à une méthode certifiée, à un appareil ou un instrument. Cette phase ne peut être conduite qu'au sein de structures de recherche et développement analytiques, publiques ou privées, car le chimiste, le biologiste, ou le géologue précédent, ayant eu la réponse à

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

son problème préférera toujours se tourner vers un problème nouveau qui émergera à l'intérieur de sa discipline ou qui découlera des conséquences conceptuelles de ses propres résultats.

Ces nouveaux outils et nouveaux procédés analytiques, qu'ils soient nés au sein de la chimie analytique ou à l'extérieur, enrichissent en permanence le corpus constitué par ceux qui ont été développés auparavant et continuent d'être appliqués, tout en subissant plus ou moins d'adaptations en fonction des possibilités technologiques et connaissances nouvelles, afin d'accroître leurs performances analytiques. L'éducation et la formation des chimistes analyticiens remplissent dans ce cadre une mission capitale en maintenant la continuité des concepts fondamentaux de la discipline. La transmission de ce corpus et de ces concepts, en réduisant l'importance des composantes obsolètes mais en l'enrichissant à partir des enjeux fondamentaux et des succès modernes de la chimie analytique, tout comme des avancées et interrogations des autres disciplines, peut seule satisfaire l'ambition de cette discipline d'assumer pleinement ses responsabilités scientifiques envers la société et la communauté scientifique, pour répondre à leurs nouvelles exigences devenues siennes. Ces exigences existent déjà mais elles sont aujourd'hui exacerbées par les défis de plus en plus nombreux nés des interrogations et des attentes de la société, nécessitant des décisions politiques péremptoires parce que centrées sur l'Homme lui-même, et exigeant corrélativement des réponses analytiques tout aussi péremptoires.

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit

Fig. II.13 – Cette statuette parthe (IIe siècle avant – IIe siècle après J.-C.), représentant vraisemblablement la déesse Ishtar, va être analysée en utilisant le système d'analyse en faisceau extrait de l'accélérateur AGLAE. Le cabochon rouge incrusté dans l'œil est en position pour l'analyse par méthode PIXE. Cette technique non-destructive s'applique directement et sans préparation à l'objet considéré.

© Tec & Doc – La photocopie non autorisée est un délit