



Sciences Analytiques : Acteurs Incontournables de l'Innovation et du Développement Économique

Christian Amatore, HonFRSC, HonFCCS, FISE, FECS, FCE

*PASTEUR, Département de chimie, Ecole Normale Supérieure, PSL Research University,
Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France,*

and

*State Key Laboratory of Physical Chemistry of Solid Surfaces, College of Chemistry and
Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen, 361005, China*

christian.amatore@ens.psl.eu, Christian.Amatore@academie-sciences.fr



❑ Que sont les Sciences Analytiques ?

✓ *Tout d'abord, et malgré les caractéristiques qu'on leur attribue communément, elles ne sont pas seulement :*

- Les domaines métrologiques de la chimie, de l'environnement, de la médecine, etc.,
- pas plus que des sciences de l'instrumentation ou des disciplines appliquées,
- ni même des compendia d'outils et de méthodes certifiés et destinés à produire des mesures utiles au monde scientifique, technologique, culturel ou socio-économique.

✓ *En fait, elles ne sont rien de ceci en particulier mais tout cela à la fois :*

- Elles font leur toute connaissance fondamentale et technologique issue d'autres champs scientifiques et technologiques,
- ... afin de produire des informations qualitatives (caractérisation d'espèces chimiques et biochimiques) et quantitatives issues de méthodes souvent innovantes ou adaptées de concepts et méthodes existants, mais toujours fiables, vérifiables, reproductibles et exportables.

○ *Ce sont les Sciences qui garantissent la précision et l'exactitude de leurs mesures à l'intérieur des gammes de valeurs requises par le problème posé, la validation de leurs intervalles de confiance, la traçabilité des protocoles d'analyse, l'origine et l'utilisation de références-étalons (matrices complexes).*



Sciences Analytiques : Acteurs Incontournables de l'Innovation et du Développement Économique

Les Sciences Analytiques et le Monde Socio-économique



□ Les Sciences Analytiques et le Monde Socio-économique

✓ *Les échanges économiques entre nations demandent une garantie des services et des biens, lesquels ne sont négociables qu'en fonction de certitudes objectives (Normes) :*

- Cela implique des preuves de qualité et une fiabilité de ces preuves telles que définies par les normes reconnues par des accords internationaux,
- La fiabilité de la production des biens produits puis acquis par un tiers (individus, groupes industriels, entités étatiques, etc.) ne peut que s'appuyer sur le résultats de mesures, d'essais et de contrôles,
- Ces résultats conditionnent non seulement les prix – ou les actions en justice et les dédommagements en cas de manquement ou de tromperie avérée ou prétendue telle – mais aussi les accords de libre-échange commerciaux entre états.

✓ *Ces relations ne conditionnent pas uniquement les produits industriels et commerciaux mais aussi beaucoup de domaines réputés « non marchands » tels que :*

- L'environnement et les seuils écologiques (pesticides, nitrates, hormones, etc.)
- La santé du public (analyses médicales, autorisation de mise sur le marché de médicaments, etc.),
- La justice et la police (par exemple les preuves de culpabilité ou d'innocence fondées sur l'ADN, le dopage et les fraudes sportives, etc.)
- et même les domaines de la sécurité civile et militaire (par exemple liés à la toxicité de métaux utilisés dans les obus ou les peintures de navires de guerre), etc.

❑ L'Exemple d'une Crise Economique : les Poulets « à la Dioxine » (1999)

- ✓ *Trois ans après le séisme sanitaire et médiatique provoqué par le scandale de la vache folle, l'Union Européenne est confrontée à celui du « poulet à la dioxine » :*
 - Une hécatombe survient en février 1999 dans plusieurs élevages en batteries de poulets en Belgique et dans plusieurs zones limitrophes en France, Allemagne et aux Pays-Bas,
 - Les services sanitaires Belges de l'agroalimentaire mettent rapidement en évidence (dès avril 1999) que le problème n'avait pas une origine bactérienne ou virale mais que des graisses chargées en dioxines avaient été frauduleusement introduites dans l'alimentation de ces poulets atteignant des doses 140 fois supérieures aux normes sanitaires en vigueur,
 - Or, suite à la catastrophe de Seveso (1976) les dioxines avaient acquis une réputation de produits ultra-toxiques ce qui avait conduit l'UE à inscrire dans son cinquième programme d'action pour l'environnement un objectif de réduction de 90 % des émissions entre 1985 et 2005, d'où le déclenchement d'une tempête médiatique internationale.
- ✓ *Cela bloqua immédiatement de nombreux échanges commerciaux, tout d'abord entre l'UE et les USA, mais rapidement entre l'UE et plusieurs pays Asiatiques :*
 - En effet, non seulement les poulets et toutes les préparations alimentaires à base de poulet sont directement touchés (transmission de la contamination mise en évidence fin mai 1999),
 - mais donc aussi tous ceux liés aux poulets, dont évidemment les œufs et les confections alimentaires (biscuits, etc.) qui en incorporent et, plus surprenant :
 - bien d'autres produits que l'homme de la rue relierait difficilement aux volailles comme par exemple ceux issus du traitement des plumes : cosmétiques (kératine), préparations pharmacologiques (cystine et cystéine), engrais biologiques, etc.

□ La Solution Apportée par la Chimie Analytique

- ✓ *S'engagent alors d'après négociations entre les USA et l'UE, en particulier dans un contexte de représailles économiques contre l'embargo de 1988 imposé par l'UE sur les OGM et de celui sur la viande de bœuf aux hormones en provenance des Etats Unis :*
 - En effet, un respect scrupuleux des règles sur les seuils admissibles (environ 0,25ng de dioxines par gramme de produit frais) retenus par les traités commerciaux n'était absolument pas viable économiquement et, de plus, ces analyses n'étaient praticables à l'époque que par un très petit nombre de laboratoires très spécialisés (coût d'environ 1000 à 1500€ par échantillon en 1999 ; 5 à 10 échantillons traitables par jour par laboratoire).
 - En effet, l'analyse d'ultra-traces de dioxines (<ppb) dans des matrices complexes, implique des techniques de séparation éprouvées (c'est-à-dire, par comparaison à des *échantillons références*), suivies de chromatographie en phase gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse à haute résolution.
- ✓ *La solution est apportée par la chimie analytique compte tenu des pratiques en vigueur dans les élevages et des connaissances analytiques sur les contaminants :*
 - Il faut savoir que la concurrence étant très vive notamment sur les produits de bas de gamme, les poulets en question étaient engraisés en quarante jours avec des aliments à bas coût contenant un maximum de déchets issus de l'industrie agroalimentaire,
 - En Belgique, les huiles usées des friteries entrent ainsi dans la préparation des aliments destinés à l'élevage des poulets, mais il était peu probable que celles-ci contenaient des dioxines compte tenu des contrôles en vigueur pour l'alimentation humaine,
 - On s'est ainsi rapidement orienté vers la recherche de circuits frauduleux.

□ La Solution Apportée par la Chimie Analytique

- ✓ *Les Dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxins, PCDD) ne sont pas des produits primaires de l'industrie ; elles résultent le plus souvent :*
 - Du chauffage accidentel à trop hautes températures (supérieures à 350 °C avec combustion incomplète) de composés organiques chlorés dans l'industrie (par exemple, lors de l'accident de Seveso),
 - De procédés thermiques et de combustion mal réglés (mauvaise utilisation de combustibles, incinérateurs de déchets, traitements thermiques, etc.),
 - Ou dérivent d'huiles isolantes essentiellement utilisées comme diélectriques dans les transformateurs à pyralène, lesquels faisaient l'objet d'interdictions depuis 1986 précisément compte tenu de leur teneur en dioxines et en polychlorobiphényles (PCB).
- ✓ *Or l'analyse des échantillons de poulets démontra que la présence de dioxines y était toujours associée à celle de PCB présents à bien plus forte dose et donc bien plus faciles à caractériser et à doser, d'où le lancement d'études de traçabilité fondées sur les empreintes différentes PCDD / PCB selon les différentes sources de dioxines :*
 - Cela mis immédiatement en évidence la source de la contamination, à savoir l'incorporation d'huiles de pyralène issues d'un circuit frauduleux mis en place par quelques entreprises chargées de la destruction de transformateurs au pyralène,
 - Dés lors, analytiquement parlant, il suffisait de mesurer la quantité de PCB (valeur maximale 0,1 mg/kg de produit frais) pour prévoir, puis vérifier le cas échéant, si celle des dioxines de l'échantillon dépassait ou non le seuil retenu par les traités commerciaux (environ 0,25pg/kg).

□ De la Solution Analytique à la Validation de Normes Exceptionnelles

- ✓ *Les normes incluses dans les traités d'échanges internationaux ne considèrent cependant que ce qui avait été entendu et entériné lors des traités officiels :*
 - Or, en l'occurrence, ces normes ne considèrent que la teneur en dioxine déterminée selon un cadre analytique spécifique et rigoureux,
 - Il a donc fallu établir la validité de la méthode de traçabilité fondée sur la mesure des PCB,
 - Et faire valider dans l'urgence une nouvelle méthode de mesure des concentrations en PCB, fiable et acceptable par toutes les parties.
 - Les USA décidèrent alors de ne contrôler que les PCB et de ne rechercher la présence de dioxine que si la concentration en PCB dépassait 0,1 mg / kg d'échantillon,
 - *Mais cela n'a été obtenu par l'UE qu'en échange d'une promesse d'assouplissement de ses directives concernant l'entrée des OGM et de bœuf aux hormones dans l'UE.*
- ✓ *Finalelement, la crise a ainsi été rapidement résolue et la solution analytique adoptée par l'UE pour d'autres contrôles sanitaires et environnementaux liés à la recherche de dioxines, par exemple :*
 - En Hollande, mesure et validation des empreintes PCB / dioxines de chaque incinérateur,
 - d'où une recherche facile de ces empreintes dans le lait des vaches (hors contamination) permettant de certifier l'endroit où ces vaches sont élevées,
 - ou encore, l'application à la surveillance de l'activité d'incinérateurs, comme par exemple la détection de l'incinération de pneus usagés non autorisée.

□ Anticiper les Demandes & se Protéger

✓ *Comme on vient de le voir à l'occasion de la crise du poulet, les marchés internationaux sont régulés par des traités officiels s'appuyant sur des normes qu'il est impossible de révoquer sans d'âpres négociations ou de blocage des relations de libre-échange affectant toutes les parties. Il en est de même pour les règlements sanitaires et environnementaux à l'intérieur de chaque pays.*

○ Cela implique que le respect de ces normes doit être vérifiable, c'est-à-dire qu'une méthode de mesure analytique de référence pour le produit en question (par exemple un type de vêtement, de jouet ou de pièce de mobilier) existe et ait été validée et acceptée par toutes les parties (international) et/ou par le législatif (national),

○ **Cependant, le législateur ne peut pas imposer l'absence totale d'un contaminant ce qui, chimiquement parlant, n'a d'ailleurs aucun sens,**

○ En outre, médicalement parlant, on ne sait pas facilement évaluer les conséquences entraînées par une exposition à de faibles doses de contaminants (ou de nanoparticules), en particulier lorsque ces doses sont permanentes et à la limite de ce qui est détectable,

○ Les législateurs ou les rédacteurs de traités commerciaux fixent donc des seuils qui, au moment de leur rédaction, correspondent à une présence indétectable analytiquement. Si par exemple, pour un contaminant donné dans une matrice donnée (par exemple, des sels de chrome dans les cuirs) les meilleures méthodes analytiques permettent alors une mesure de X ng/kg, la norme adoptée stipulera que le produit doit contenir moins de 0,1X ng/kg, voire de 0,01X ng/kg, ce qui est sémantiquement équivalent à dire que la présence de ce produit est indémontrable au moment où la loi est rédigée ou le traité signé.

□ La Législation et les Traités Confrontés à l'Evolution de la Science

✓ *Cependant, les performances des méthodes et instruments analytiques s'accroît au fur et à mesure des recherches et souvent de nouvelles méthodes viennent rendre possibles des mesures réputées impossibles auparavant (par exemple les datations fondées sur le rapport $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ ont supplanté celles antérieures utilisant le rapport $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ dont la limite n'est que d'environ 35 000 ans).*

○ Ainsi, un seuil fixé initialement par le législateur comme étant équivalent à « zéro » peut devenir mesurable avec une très bonne précision et une très bonne exactitude quelques années seulement après, avec des conséquences alléchantes pour les médias car l'homme de la rue ne comprend pas que la science évolue :

➤ *Par exemple, des eaux réputées « potables » peuvent soudainement devenir officiellement « non potables » bien que leur contenu en pesticide n'ait pas changé, voire ait même diminué du fait des régulations en cours sur leur emploi ;**

**: Cf par exemple "Du poison dans l'eau du robinet », diffusé par France 3 le 2 mars 2012 à 23h15.*

➤ *De même, si l'on en croit les médias[§] et certains organismes environnementaux, les nanoparticules semblent avoir envahi nos villes alors que du fait de l'amélioration des carburants et des moteurs, des pots catalytiques ou de l'abandon du chauffage au bois ou au coke, leur concentration actuelle est bien inférieure à ce qu'elle était il y a seulement 20 ans. Cependant, à l'époque où on ne disposait pas de moyens analytiques permettant leur détection...*

§: Cf par exemple "Pollution : la mère est exposée aux particules fines, le fœtus aussi", émission diffusée par France Inter le 29 juillet 2016 à 8h33.

➤ etc.

□ La Législation et les Traités Confrontés à l'Evolution de la Science

- ✓ *En outre, tout pays sachant qu'une nouvelle méthode analytique plus sensible sera bientôt disponible dans l'un de ses laboratoires et permettra de bloquer un concurrent ou d'obtenir des prix d'achat plus faibles de denrées exportées, aura tendance à entamer un processus de lobbying auprès des législateurs visant à abaisser la valeur de la norme en vigueur dans les textes de loi ou les accords précédents.*
 - Par exemple, sans vouloir faire aucun procès d'intention, semble-t-il économiquement raisonnable que les deux pays européens disposant de la plus grande proportions de centres d'analyse chimique ultra-performants soient la Hollande et l'Espagne ?
 - *Cela se comprend en partie pour l'Espagne qui fonde une grande partie de son économie sur l'Agroalimentaire et doit donc être en mesure de contre-attaquer toute nouvelle norme ou prendre les devants ;*
 - *Mais qu'en est-il de la Hollande qui ne produit à peu près rien (à part des fleurs, des fromages non fermentés et... des coureurs cyclistes) ? Mais qui par contre est l'une des plus grandes places mondiales pour les échanges commerciaux...*
- ✓ *Enfin, la détection ou non d'un dopage sportif implique une compétition serrée entre le chimiste analytique qui aura à réaliser la mesure, le législateur qui fixe les normes maximales s'appliquant à tel ou tel produit susceptible d'être utilisé comme dopant et le « médecin véreux » d'une équipe sportive qui prescrira des doses juste inférieures.*
 - Cf le cas de Lance Armstrong qui après 7 victoires au Tour de France dues, semble-t-il, à plusieurs dopants (corticoïdes, hormone de croissance, testostérone, EPO) administrés « sous la barre mesurable » n'a pu être confondu que grâce à des prélèvements antérieurs réalisés lorsque les seuils analytiques de détectabilité étaient encore trop hauts.



Sciences Analytiques : Acteurs Incontournables de l'Innovation et du Développement Économique

... Et de bien d'autres aspects sociétaux et économiques essentiels

- ... Justice (ADN, etc.)
- ... Santé (analyses, vaccins, ...)
- ... Environnement
- ... Économie Durable
- ... Energie
- ... Agroalimentaire
- ... Contrôles Qualité
- ... etc.





Sciences Analytiques : Acteurs Incontournables de l'Innovation et du Développement Économique

Quelques Recommandations en Guise de Conclusion



❑ *Quelques Recommandations en Guise de Conclusion*

- ✓ *Pas plus que toutes autres sciences, les Sciences Analytiques ne doivent être ramenées à leurs outils; ce sont des sciences à part entière qui doivent être enseignées comme telles:*
 - Créant ainsi de jeunes diplômés formés dans des métiers techniques et précis, qui pourront irradier d'autres secteurs économiques, en particulier dans les pays en développement ,
- ✓ *Comme les autres sciences, pour être efficaces elles :*
 - Se doivent de mettre en œuvre des concepts et des instrumentations scientifiques pointues, appropriées et performantes, et de les améliorer en continu,
 - Et pour cela, s'appuyer sur les autres disciplines connexes (chimie-physique, physique, biologie, etc.) afin d'y puiser de nouveaux concepts fondamentaux utiles à ses développements innovants et aux besoins des autres sciences et de la société,
- ✓ *Pour ce faire, au niveau académique, il est essentiel que des centres dédiés, spécialisés mais pluridisciplinaires grâce à leurs interactions fortes soient organisés en réseau consacrés Sciences Analytiques et à leurs développements conceptuels et instrumentaux:*
 - Ces réseaux de centres nationaux ou trans-nationaux publics doivent être en relation constante avec l'industrie de l'instrumentation analytique à travers de véritables partenariats d'envergure. Il faut aller bien au-delà des partenariats à caractère « opportuniste »,
 - Ces réseaux doivent aussi pouvoir s'adosser à des centres privés similaires aux Instituts Fraunhofer allemands prenant en charge les parties liées plus directement aux développements et la pénétration des marchés industriels via des opérations de « *venture capital* » à la hauteur des enjeux.



Remerciements

□ *Mes plus sincères remerciements vont à tous les Membres du Groupe de Travail que j'avais constitué au sein de l'Académie des Sciences lors de la rédaction de son Rapport sur la Science et la Technologie (RST n°6) dont elle m'avait confié la charge. Je ne peux pas les citer tous ici, mais je souhaite rappeler les noms de quelques collègues dont j'ai beaucoup appris à l'époque :*

○ *Marie-Claire HENNION,*

○ *Maurice LEROY,*

○ *Jean-Pierre MOHEN & Philippe WALTER*

□ *Ainsi que d'autres avec lesquels j'ai beaucoup interagit depuis ou dont les contributions m'ont éclairé sans qu'ils le sachent :*

○ *Olivier Donard & Ryszard Lobinski,*

○ *Hélène Budzinski*





IYBSSD2022

**International Year of Basic Sciences
for Sustainable Development**