

Chimie, environnement et développement durable : les enjeux de l'éducation

De l'approche corrective techno-scientifique à l'approche préventive transdisciplinaire

Philippe Garrigues et Uri Zoller

- Résumé** Les déclinaisons du développement durable gagnent tous les secteurs de l'activité humaine, qu'ils soient économique, politique, culturel ou scientifique, d'où la nécessité d'un changement profond dans la manière d'appréhender et d'enseigner les connaissances. Celles-ci apparaissent comme une chaîne continue de savoirs et de transmission de savoirs avec une prise en compte plus importante de l'environnement et de l'histoire de notre planète. La chimie n'échappe pas à cette remise en cause qui ne peut qu'être bénéfique pour la reconnaissance de cette discipline et de cette activité industrielle, majeures dans l'histoire de l'humanité.
- Mots-clés** **Science-technologie-environnement-société (STES), interdisciplinarité, substances chimiques.**
- Abstract** **Chemistry and sustainable development: from technological and correction approaches to a transdisciplinary prevention approaches**
Sustainable development approaches spread over all the human activities (economics, politics, science). It means an important change in the way of teaching and learning, which are part of an endless chain of education and knowledge-transfer for a better integration of the environment and the history of our planet. Chemistry is also part of that progress which will be fruitful for the recognition of chemistry and its importance in the history of the humankind.
- Keywords** **Science-technology-environment-society (STES), interdisciplinarity, chemicals.**

Les perspectives de développement

Les principaux problèmes de notre « village planétaire » sont liés aux attentes irréalisables des Hommes dans un monde fini à ressources limitées, avec des intérêts individuels et collectifs aux valeurs souvent opposées et conflictuelles. L'un des objectifs finaux de ce monde est le développement de sociétés humaines, depuis les stades dits sous-développés à ceux en voie de développement, pour finir au stade de pays développés, avec toujours plus de croissance (*A quand la reprise ? Quel indice boursier aujourd'hui ?*) et de surconsommation (*Quel indice de la consommation des ménages ce mois-ci ?*), particulièrement dans les pays développés, avec toutes les conséquences sur l'environnement que l'on connaît depuis des décennies. Le slogan « *Penser globalement, agir localement* » pour un monde durable doit se traduire en actions politiques pour amener des changements dans l'attitude des individus, des institutions, des sociétés, des gouvernements et des industries, et pour permettre un développement et une croissance tenant compte des limites de notre planète [1]. Cet appel pour un développement durable – *qui se décline différemment selon les groupes d'individus ou de sociétés* – nécessite une sélection difficile et raisonnée parmi plusieurs options, entre le déjà existant et des alternatives à mettre en place, voire à inventer.

Chacun de ces choix a des implications à court et à moyen terme. Dans la plupart des cas que nous pouvons étudier *a posteriori*, on s'aperçoit que les conséquences à long terme ont été ignorées et même souvent non évaluées, non seulement par rapport au respect de l'environnement mais aussi sans prendre en compte les divers intérêts des Hommes et des sociétés. Dans le processus de redistribution des ressources naturelles (eau, gaz, pétrole, denrées) *via* les systèmes de distribution, la production industrielle et les lois du marché économique dans le cadre du développement et de la croissance des sociétés humaines, toutes les questions environnementales ramènent aux questions : *Qui fait quoi ? Pour quel prix ? Au bénéfice de qui et dans quel ordre de priorité ?*

Le défi actuel est *comment assurer un développement durable ?* Le problème est simple : bien que la science et la technologie soient utiles pour indiquer ce qui peut être fait, aucune d'elles, séparément ou ensemble, ne peut dire ce qui doit être fait.

Entreprendre d'appréhender des problèmes complexes dans des systèmes complexes, dans le contexte science/technologie/environnement/société (STES), nécessite le développement d'un mode de pensée évaluative et l'application de jugements de valeurs par des citoyens doués de raison, capables d'intégrer les approches techniques et scientifiques ainsi que sociologiques dans un processus

continu de résolution de problèmes et de prises de décision [2-6]. Cela requiert un changement de paradigme important : d'une approche ancienne techno-scientifique, monodisciplinaire et très spécialisée qui corrige ses propres erreurs *a posteriori*, il nous faut aller vers une approche pluridisciplinaire, orientée vers des solutions aux problèmes environnementaux, dans le cadre d'une orientation préventive dans la gestion des pratiques d'exploitation, de production et de commerce ainsi que dans les politiques sociales, environnementales et technologiques, en tenant compte des contraintes socio-économiques et politiques [7].

L'idée première de durabilité vis-à-vis de l'environnement est basée sur trois principes : la gestion des systèmes biophysiques qui procurent à toute vie les ressources qui l'entretiennent, la préservation de la biodiversité, et l'utilisation durable des ressources naturelles [8]. Cela implique la participation active des personnes dans la gestion de leur propre environnement. Le mot « durable » (*sustainable*) a été appliqué jusqu'alors aux ressources naturelles et aux modes de gestion des déchets qui ne mettaient pas en péril la survie à long terme de l'environnement contenant ces ressources. En bref, la réalité au jour le jour signifie que le développement durable doit équilibrer les bénéfices immédiats économiques et de qualité de la vie avec les effets à long terme sur la disponibilité, la faisabilité économique et technologique, et la fourniture des ressources.

La résolution de tels systèmes environnementaux complexes nécessite une compréhension systémique ainsi que des approches pluridisciplinaires [9-10]. Il n'est plus possible de se concentrer exclusivement sur la science, la technologie et l'opérabilité commerciale. L'écologie industrielle, incluant la chimie, commence à appréhender la durabilité à travers des approches transdisciplinaires et des partenariats méta-disciplinaires [11-12].

L'éducation pour un avenir viable

Au Sommet de la Terre de Johannesburg en 2002, l'Unesco a été nommé maître d'œuvre de la mise en place du programme international sur l'éducation [13] et la sensibilisation vers un développement durable par la Commission intergouvernementale de développement durable (CIDD). Le programme de travail vise les objectifs majeurs suivants :

- faire connaître le concept et les messages clés de l'éducation pour le développement durable,
- réviser et réorienter les systèmes d'éducation formelle,
- intégrer l'éducation en vue du développement durable.

Le comité Unesco a été rejoint par de nombreux organismes internationaux dont l'Association internationale des universités. L'éducation pour le développement durable est une notion dynamique recouvrant une vision nouvelle qui cherche à impliquer toute personne dans le processus de création d'un avenir viable. Le développement durable nous oblige à reconnaître les relations existant entre les besoins de l'Homme et le milieu naturel. Il exige que l'éducation serve à élaborer un système d'éthique et de valeurs qui soit ouvert sur l'identité culturelle, le dialogue multiculturel, la prise de décisions démocratiques et l'exploitation et la gestion raisonnée des ressources naturelles [14].

Chimie et environnement : les enjeux de l'éducation

Comment les chimistes du futur développeront-ils de nouvelles substances chimiques entre respect de

l'environnement, innovation et moindre coût, en bref une chimie de la viabilité ? Pour accepter l'idée que respect de l'environnement et développement « économique » sont liés, il faut intégrer les concepts d'anticipation des impacts potentiels comme idée sous-jacente à toute réflexion sur les processus de production et de fabrication. La prévention de la pollution prône ainsi une réduction ou une élimination des déchets et des contaminants à la source des processus de fabrication, ainsi que la prise en compte de la minimisation de la consommation d'énergie.

Ainsi, les étudiants en chimie doivent-ils prendre en compte les contraintes liées à la santé de l'Homme et de l'environnement dans l'établissement d'un schéma réactionnel de synthèse, au même titre que le rendement, la stéréospécificité et la sélectivité qui ont été longtemps les critères de sélection d'une réaction de synthèse chimique. De telles considérations ont un impact important et durable sur la manière dont les étudiants appréhenderont la discipline qu'est la chimie, mais cette connaissance se prolongera aussi dans leurs décisions quotidiennes en tant que consommateurs dans notre société et diffuseurs de connaissances dans leur sphère citoyenne.

La question est de savoir comment former les étudiants pour qu'ils comprennent et prennent en compte les impacts à grande échelle (de temps et d'espace) des composés chimiques et de leur utilisation. Des formations universitaires pluridisciplinaires intégrant des considérations de santé et d'environnement appliquées aux sciences chimiques devraient permettre de répondre à cette question. Ces approches intégrées se sont développées dans certaines universités étrangères depuis quelques années. En France, elles commencent à pénétrer nos écoles d'ingénieurs (enseignement HSE : hygiène-sécurité-environnement) et aussi les cursus universitaires avec la mise en place du système européen LMD (licence-maîtrise-doctorat) qui intègrent pour certains d'entre eux chimie, biologie, évaluation du risque, économie et gestion, sciences politiques et sociologie, sciences de la communication, aspects éthiques [15].

De tels changements ne se résument pas à bannir l'utilisation de produits dangereux et la mise en œuvre de réactions dangereuses. L'analyse « préventive » d'une réaction chimique nécessite la mobilisation de critères scientifiques et non scientifiques pour équilibrer les coûts et les bénéfices pour la société. De telles analyses sont complexes, incertaines et parfois subjectives. Cependant, les décideurs et le grand public s'attendent à ce que les chimistes de demain incluent les principes de prévention et d'analyse du cycle de vie des produits dans leur processus de décision. C'est de la responsabilité des établissements d'enseignement de donner aux étudiants en chimie une formation appropriée afin de former les décideurs multidisciplinaires et multitâches du monde durable de demain.

Chimie et environnement : les enjeux planétaires

Pendant des décennies, les chimistes se sont sentis concernés par la résolution des problèmes sociaux tels que réduire la pauvreté et les maladies, se déplacer plus rapidement et rendre notre vie plus facile et agréable. L'environnement était alors considéré comme une source de ressources naturelles qui pouvait être exploitée pour le développement social et économique. La chimie était perçue

comme un moyen de mettre les ressources naturelles au service de nos vies. Hélas, en apportant des solutions aux besoins immédiats de notre société, les scientifiques ont créé parfois des problèmes avec des impacts importants.

La production et l'utilisation de produits chimiques dans notre vie quotidienne ont été accompagnées d'une contamination de l'environnement à grande échelle, de l'épuisement des ressources naturelles et d'impacts sur la santé. Il y a quelques décennies, ces divers problèmes étaient imprévisibles, du fait de la méconnaissance scientifique et de l'incapacité à mesurer le devenir, le transport et la toxicité des substances chimiques dans l'environnement. Les préoccupations relatives à la sécurité d'une substance étaient souvent appréciables à des échelles limitées à la fois dans le temps, dans l'espace et dans leurs cibles. Le transport sur de longues distances et les impacts sur l'environnement et la santé n'étaient pas à l'ordre du jour des préoccupations des scientifiques, des décideurs et du grand public.

La décroissance de la couche d'ozone stratosphérique par les chlorofluorocarbones (CFC) montre clairement le besoin de mieux connaître les impacts des substances chimiques utilisés dans notre société. Pendant près de 50 ans, les CFC ont été considérés comme une classe de substances inoffensives du fait de leur très faible toxicité aiguë et de leur non-réactivité. Leurs prix très compétitifs en ont fait un produit d'usage courant pour des applications touchant les réfrigérateurs, les gaz dans les bombes aérosols, les solvants industriels et aussi la stérilisation en milieu hospitalier. La production mondiale va ainsi passer de 0,2 million de tonnes en 1960 à 1,2 million de tonnes en 1988. En 1974, deux chimistes atmosphériques publient des résultats suggérant que les CFC pouvaient être responsables de la disparition de la couche d'ozone stratosphérique. Ces résultats rencontrèrent un grand scepticisme parmi les scientifiques, les décideurs et le grand public. Cependant, ils furent confirmés treize ans plus tard lorsque d'autres chercheurs montrèrent que le chlore contenu dans les CFC entraînait effectivement la destruction de la couche protectrice d'ozone au-dessus de l'Antarctique.

Cet exemple montre la dichotomie entre le bénéfique et les impacts négatifs des substances chimiques dans notre société et indique aussi la position ambivalente des chimistes. On attend d'eux qu'ils exaucent les besoins (ou les désirs ?) de notre société en produits innovants. Cependant, ils sont aussi confrontés aux critiques des impacts (souvent inconnus à l'origine) de leurs travaux sur la santé de l'Homme et de l'environnement. Les chercheurs et ingénieurs qui ont développé les CFC n'avaient pas la connaissance pour prédire les impacts à long terme associés à ces substances. Leurs efforts de recherche se sont concentrés sur la conception de produits chimiques inoffensifs, peu coûteux, avec des propriétés spécifiques. Cependant, les impacts à long terme de leur utilisation, qui se sont révélés beaucoup plus tard, montrent un réel besoin pour les chercheurs de développer un ensemble plus important de critères sélectifs dans la conception de substances chimiques. Il en va du développement d'un monde que chacun voudrait durable.

Le changement de paradigme à mettre en œuvre concernant les approches métadisciplinaires STES est le premier pas crucial à la fois pour le développement durable dans le temps et pour la survie à long terme de l'Homme sur la planète Terre. En ce qui concerne la chimie de l'environnement, le changement doit se traduire en actions durables et visibles portant sur la formation et l'éducation,

ce qui implique des filières pluridisciplinaires dans lesquelles la chimie aura une part essentielle.

Références

- [1] Davis S.B., Needed behavioral change: steps towards environmental security, *Surviving with the Biosphere*, N. Polunin, J. Burnett (éds), Edinburgh University Press, 1993.
- [2] Zoller U., Environmental education and the university: the « Problem Decision Making Act » within a critical system-thinking framework, *Higher Educ. in Europ.*, 1990, 15 (4), p. 5.
- [3] Zoller U., Lecture and learning: are they compatible? Maybe for LCOS; Unlikely for HOCS, *J. Chem. Educ.*, 1993, 70 (3), p. 195.
- [4] Zoller U., The development of students HOCS – the key to progress in STES education, *Bull. Sci., Technol. & Soc.*, 1996, 16 (5-6), p. 268.
- [5] Zoller U., Environmental chemistry: the disciplinary/corrective-transdisciplinary/preventive paradigm shift, *Environ. Sci. and Pollut. Res.*, 1999, 7 (2), p. 63.
- [6] Zoller U., The challenge for environmental chemistry, *Environ. Sci. and Pollution Res.*, 2001, 8 (1), p. 1.
- [7] Scholz R.W., Flückiger B., Schwarzenbach R.C., Stauffacher M., Mieg H., Neuenschwander M., Environmental problem solving ability profiles in application documents of research assistants, *J. Environ. Edu.*, 1997, 28, p. 37.
- [8] IUCN, UNEP et WWF, *World Conservation Strategy: living resources conservation for sustainable development*, IUCN, Gland, Switzerland, 1980.
- [9] Jorgensen S.E., Environmental management in the 21st century, *Environ. Sci and Technol.*, 1999, 33 (17), p. 376A.
- [10] Suk W.A., Anderson B.E., Thomson C.L., Bennet D.A., Vandermeer D.C., Creating multidisciplinary research opportunities, *Environ. Sci. and Technol.*, 1999, 33 (11), p. 241A.
- [11] Graedel T.E., The evolution of industrial ecology, *Environ. Sci. and Technol.*, 2000, 34 (1), p. 28A.
- [12] Frischknecht P., Oberle B., Perch-Nielsen S., Walter A., Schmiech B., Teaching Transdisciplinarity in a First Year Course, *Transdisciplinarity: Joint problem-solving among science, technology and society. Workbook 1: Dialogue sessions and idea market*, R. Häberli, R.W. Scholz, A. Bill, M. Welti (éds.), Haffmans Sachbuch Verlag, Zürich, 2000, vol. 1, p. 629.
- [13] UNESCO, *Éducation pour un avenir viable*, 2002, <http://www.unesco.org/education/tlsf>
- [14] Scholz R.W., Mutual learning as a basic principle of transdisciplinarity, *Transdisciplinarity: Joint problem-solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity*, R.W. Scholz, R. Häberli, A. Bill, M. Welti (éds.), Haffmans Sachbuch, Zürich, 2000, p. 13.
- [15] Gondran N., Kammen D., De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs écoloyens, *Disdaskalia* (soumis).



P. Garrigues

Philippe Garrigues

est directeur de recherche CNRS et directeur du Laboratoire de physico-toxicochimie (LPTC) à l'Université de Bordeaux 1*. Il est l'actuel président (2003-2005) de la division Chimie et environnement de la Federation of European Chemical Societies (FECS) et le co-président du groupe Environnement de la SFC.



U. Zoller

Uri Zoller

est professeur émérite en science de l'éducation et en chimie à l'Université d'Haïfa-Oranim en Israël**. Il est membre de la division Chimie et environnement de la FECS et président du sous-comité à l'Éducation en chimie de l'environnement.

* LPTC, UMR 5472 CNRS, Université de Bordeaux 1, 33405 Talence.

Tél. : 05 40 00 63 05. Fax : 05 40 00 22 67.

Courriel : p.garrigues@lptc.u-bordeaux1.fr

** Courriel : uriz@research.haifa.ac.il