

## **LA MICROCHIMIE : DEFINITION ET PRATIQUE EXPERIMENTALE DANS TROIS CONTEXTES CULTURELS DIFFERENTS (ETATS-UNIS, FRANCE, AFRIQUE)**

**Richard-Emmanuel EASTES<sup>1</sup>**

**Ecole Normale Supérieure (Paris), Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences (Genève)**

**MOTS-CLEFS : CHIMIE EXPERIMENTALE – PETITES QUANTITES – RICHESSE  
PEDAGOGIQUE – SECURITE – ECONOMIES – ENVIRONNEMENT**

**RESUME :** Le concept de microchimie est né aux Etats-Unis il y a une vingtaine d'années ; dix ans plus tard, nous l'avons importé en Europe en l'adaptant à l'enseignement des sciences tel qu'il se pratique en France, dans un contexte culturel très différent de celui des pays anglo-saxons. Par la suite, nous l'avons développé en Afrique sub-saharienne après l'avoir intégralement recontextualisé au contexte économique de cette région du monde. Ce faisant, nous avons pu confronter notre approche à celles développées indépendamment en Afrique du Sud et à Madagascar.

**ABSTRACT:** The “microscale chemistry” concept appeared in the US about twenty years ago; ten years later, we imported it in Europe and adapted it to the French chemistry teaching approach, in a very different cultural context. Later on, we also developed it in West-Africa after having contextualised it to this continent's economical context. We had then the opportunity to compare our approach to the way microscale chemistry was performed in South Africa and Madagascar.

A. GIORDAN, J-L. MARTINAND et D. RAICHVARG, Actes JIES XXV, 2003

## INTRODUCTION

Depuis les années 70, en dehors des synthèses préparatives, les quantités de produits chimiques utilisées en recherche comme en enseignement n'ont cessé de diminuer, pour atteindre un seuil imposé par la taille des instruments traditionnels (100 mg à 1 g en moyenne pour une synthèse) ; ce seuil se réfère à ce que dans la suite de l'article nous nommerons « échelle usuelle », qui correspond à la pratique de la chimie « de type macro ». Aujourd'hui, l'attention croissante portée aux problèmes de sécurité et les interrogations liées à l'impact des émanations des laboratoires (vapeurs et déchets condensés) sur la santé et l'environnement incitent à tenter de réduire au maximum la production de substances potentiellement dangereuses, ainsi que l'exposition des élèves et des enseignants à ces substances<sup>2</sup>. Les progrès effectués dans les domaines de pointe de la chimie rendent le problème encore plus crucial, dans la mesure où l'introduction dans l'enseignement de réactifs pouvant présenter des toxicités ou des coûts élevés, tels que respectivement les composés de coordination des métaux de transition ou les composés chiraux, devient peu à peu nécessaire pour illustrer les avancées majeures de la chimie.

Afin de permettre aux lycées de respecter les exigences de nouveaux programmes de plus en plus orientés vers l'enseignement pratique, il est pertinent de mettre en œuvre toutes les méthodes susceptibles d'entraîner la réduction des achats de matériel et de produits chimiques, et par suite la réduction des coûts liés au retraitement des déchets. Ces quelques réflexions conduisent tout naturellement à tenter de travailler à la plus petite échelle possible. Aussi la microchimie semble-t-elle apporter un certain nombre de réponses adaptées à ces problèmes, en permettant de diviser par 10 à 100 les quantités de réactifs utilisés traditionnellement, grâce à une miniaturisation ingénieuse de l'ensemble des instruments fondamentaux utilisés en chimie expérimentale<sup>3</sup>.

Que ce soit aux Etats-Unis où elle a été inventée, en Europe où elle s'est ensuite propagée, ou dans les pays en voie de développement où elle répond à des besoins très spécifiques, la microchimie se pratique actuellement partout dans le monde et à tous les niveaux scolaires, des lycées aux universités. Cependant, comme il s'agit davantage d'une « façon de faire » que de techniques et de matériel de conception figée, elle a été adaptée à chaque contexte culturel et économique, selon des variantes dont la comparaison présente un vif intérêt.

### AUX ETATS-UNIS : « WASTE REDUCTION AT THE SOURCE »<sup>4</sup>

Né aux Etats-Unis et largement développé puis diffusé par le *National Microscale Chemistry center* (NMC<sup>2</sup>) de Boston (figure 1), le concept de microchimie a reçu dès le départ un soutien

extraordinaire de l'*Environment Protection Agency* (EPA). Ce soutien, autant politique que financier, conjugué à une étroite collaboration avec des entreprises de fabrication de matériel scientifique, a permis aux responsables du NMC<sup>2</sup> de bénéficier de conditions très favorables à l'implantation de la microchimie dans les collèges et lycées de l'ensemble du pays.

Celle-ci s'est faite essentiellement par le biais du développement de kits de micromatériel.

Il s'agissait d'instruments d'un type totalement nouveau, d'une simplicité d'emploi remarquable, parfois inspirés du matériel de la recherche de pointe, de conception ingénieuse mais très spécifique à la pratique de la microchimie<sup>5</sup>. Un exemple de montage pouvant être réalisé est présenté sur la figure 2.



**Figure 1 :** salle de formation du National Microscale Chemistry Center (Boston)



**Figure 2 :** montage de micro synthèse magnésienne aux Etats-Unis

Par ailleurs, le succès de la microchimie aux Etats-Unis a conduit plusieurs professeurs d'universités à développer une multitude de manipulations dans les divers domaines de la chimie. Ces expériences ont ensuite été publiées régulièrement dans le *Journal of Chemical Education* puis dans des ouvrages édités essentiellement par Wiley<sup>6</sup>. De nombreux autres ouvrages et articles ont également été publiés<sup>7</sup>.

Mais dans le cas de ce pays, il est intéressant de constater que si les quatre grands types d'intérêts qu'offre la pratique de la microchimie y sont toujours avancés pour justifier sa pratique, ils le sont dans un ordre qui correspond tout à fait aux conditions dans lesquelles le concept s'est développé ; un ordre différent de celui que l'on avance dans les autres pays. De fait, on peut lire dans un dépliant du NMC<sup>2</sup>...

*Microscale chemistry offers many benefits :*

- *It reduces chemical use*
- *It reduces waste at the source drastically*
- *It makes recycling easier*
- *It improves laboratory safety and air quality*
- *It reduces exposure to potentially dangerous materials*
- *It virtually eliminates fire hazards*
- *It changes the psychology of people who use chemicals*

*All these benefits translate into significant savings...*

Ainsi, ce sont les aspects environnementaux qui sont cités en premier, suivis de près par les problèmes de sécurité. La question des avantages financiers figure en bonne place, juste avant les aspects pédagogiques qui sont généralement simplement évoqués.

### **EN FRANCE : « UN NOUVEL ETAT D'ESPRIT DANS LA PRATIQUE DE LA CHIMIE »<sup>8</sup>**

En France en revanche, ce sont les aspects pédagogiques qui ont prévalu lors du développement de notre approche, même si les autres avantages n'ont jamais été ignorés. Ce faisant, nous nous sommes basés sur trois postulats :

- La microchimie, pour pouvoir être pratiquée dans un lycée, ne doit pas nécessiter de lourd achat préalable à l'expérimentation, et en particulier de kits spécialisés ;
- La microchimie ne doit pas être une nouvelle discipline ou une nouvelle branche de la chimie, elle doit pouvoir être pratiquée en continuité avec la chimie telle qu'elle est enseignée usuellement ;
- La microchimie doit constituer un outil que l'on emploie dans les cas où cela se justifie, et non une obligation.

Par suite, notre premier objectif a été de montrer que l'on pouvait s'inspirer des techniques mises au point aux Etats-Unis pour pratiquer la chimie avec un « état d'esprit » différent, et qu'en faisant simplement réfléchir les élèves et les enseignants aux moyens de miniaturiser les expériences avec le matériel dont ils disposaient déjà, on les amenait à adopter une réelle démarche expérimentale, digne de celle qui se pratique dans les laboratoires de recherche. Pour parvenir à cet objectif, la solution réside essentiellement dans la valorisation du matériel qui se trouve déjà dans le laboratoire d'enseignement et qui doit permettre à chacun de pratiquer sa propre microchimie grâce à son ingéniosité, son inventivité et éventuellement quelques achats bien choisis. Aussi la transformation d'un laboratoire peut-elle être effectuée à moindre coût, et sans en révolutionner l'organisation.

En outre, nous avons publié plusieurs expériences de synthèses organiques et minérales adaptées aux enseignements secondaire et supérieur, qui ne nécessitent que peu de matériel spécifique, dans différents domaines de la chimie<sup>9</sup>.

Toutefois, la pratique de la chimie dans l'enseignement supérieur nécessitant souvent un matériel spécifique, en chimie organique et organométallique notamment, nous avons été amené à proposer à notre tour un kit de micro-matériel destiné aux expériences plus élaborées (telles que les synthèses magnésiennes<sup>10</sup>) et dans lequel on trouve les instruments nécessaires à la réalisation de n'importe quel montage<sup>11</sup> (figures 3 et 4).

La connexion entre les différents éléments de la verrerie est réalisée par un filetage externe sur lequel se visse un capuchon. L'étanchéité est assurée par un joint. Cela évite l'emploi de graisse qui, à cette échelle, nuirait gravement à l'état de pureté des produits, et permet de n'utiliser qu'une seule pince de fixation pour le montage.



**Figure 3 :** kit de petit matériel.

Mais en vertu de notre second postulat, nous avons tenu à ce que tous ces instruments soient similaires à ceux qui préexistaient dans les laboratoires d'enseignement, afin de ne pas créer de rupture avec les anciennes pratiques.

Ainsi les montages que ce kit permet de réaliser ne se distinguent des montages usuels que par leur taille, et sans la présence de l'agitateur magnétique sur la figure 4, il serait impossible de déterminer l'échelle des dispositifs présentés. Par la suite, plusieurs sociétés françaises se sont inspirées du kit que nous avons conçu, mais en y insérant toujours des instruments aisément reconnaissables<sup>12</sup>.



**Figure 4 :** montages types de chimie organique : distillation fractionnée, décantation, synthèse sous atmosphère inerte.

La meilleure solution nous a en revanche toujours semblé être le mode « semi-micro », où le matériel spécifique et même l'échelle réduite de la microchimie ne sont employés que lorsque cela devient nécessaire, la pratique usuelle n'étant pas pour autant remplacée et oubliée, comme ce fut le cas dans de nombreux établissements scolaires et universitaires américains.

## **EN AFRIQUE : « DES TECHNIQUES ADAPTEES AUX MOYENS FINANCIERS »**

Dans les pays en voie de développement, les enseignements secondaire et supérieur constituent souvent la clef des progrès futurs des sociétés. Or les moyens financiers faisant cruellement défaut dans la plupart des cas, c'est évidemment l'enseignement expérimental qui souffre le plus du

manque de crédits, et rares sont les étudiants qui réalisent plus d'une séance de manipulations au cours d'une année scolaire ou universitaire. Là encore, la microchimie peut apporter des solutions, sans pour autant mettre en œuvre du matériel miniaturisé spécialisé. Et c'est en effet ce que nous avons tenté de montrer dans divers colloques africains, auprès de la Société Ouest-Africaine de Chimie par exemple, ou au sein de programmes éducatifs tels que le dispositif ARCHES d'harmonisation des programmes de lycée des pays francophones africains.

Bien entendu dans le cas des pays africains, c'est l'aspect économique qui prévaut, même si encore une fois les intérêts pédagogiques sont pris en compte, tout comme ceux liés à la sécurité et à la protection de l'environnement. C'est pourquoi notre approche consistant à valoriser le matériel préexistant était particulièrement adaptée. Il aurait été illusoire de vouloir répandre des kits de matériel dont le prix d'achat à l'unité dépasse parfois le budget annuel d'un lycée en équipement pédagogique. En outre, nous avons noté une forte opposition à tout ce qui pouvait ressembler à de la science « au rabais », de la physique de « bout de ficelle » ; à tort ou à raison, tel n'est pas notre propos. Quoiqu'il en soit, notre approche n'entrait pas dans cette catégorie, dans la mesure où elle propose l'emploi de matériel scientifique détourné de son usage : la pipette Pasteur à la place de la colonne à chromatographie, le tube à centrifuger à la place de l'ampoule à décanter...

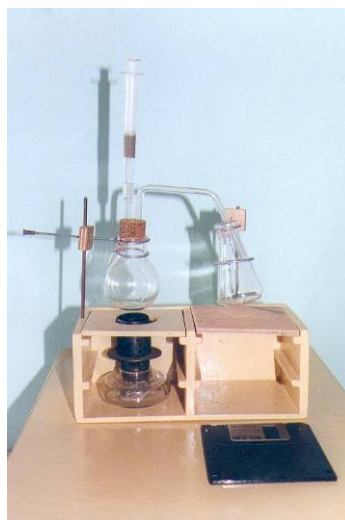
C'est ainsi qu'à divers endroits, à Dakar (Sénégal) par exemple, on a vu se redévelopper l'ébauche d'un enseignement de l'expérimentation en chimie, alors que les séances de travaux pratiques avaient été abandonnées.

Mais parallèlement aux problèmes financiers en Afrique, ce sont les effectifs pléthoriques qui entravent le développement d'une réelle pratique expérimentale dans l'enseignement des sciences, certaines classes comptant jusqu'à 200 élèves. L'approche que nous avons décrite ci-dessus n'est assurément pas adaptée dans ce cas, dans la mesure où elle nécessite du temps et un encadrement rapproché des élèves. Heureusement, une initiative Sud-Africaine a été bienvenue pour permettre à de nombreux étudiants de manipuler eux-mêmes, plutôt que de se contenter des démonstrations de leur professeur. L'équipe du Pr. Bradley a en effet développé, avec le soutien de l'UNESCO, un mini-kit de chimie en matière plastique, de conception très ingénieuse à un prix très accessible (une quinzaine d'euros). Conçu à partir d'une plaquette contenant des puits d'un volume de l'ordre du millilitre et diverses pièces en métal ou en matière plastique, ce kit n'a évidemment rien de commun avec le matériel de chimie usuel, mais il présente l'insigne intérêt de permettre l'illustration de maints phénomènes physico-chimiques tels que distillation, filtration, décantation, etc.

Par suite, les pays africains les plus riches, tels que la Côte d'Ivoire, le Cameroun et d'autres encore, se sont massivement équipés en matériel de microchimie sud-africain. Outre les problèmes spécifiques de rangement, de lavage et d'entretien que pose ce matériel, il s'est avéré utile dans bien des cas pour permettre une pratique minimale de la chimie à des étudiants qui en étaient jusqu'alors

privés.

Enfin, la microchimie a permis de faire naître des initiatives locales prodigieuses, telle que la conception d'un vrai kit de micro matériel à Madagascar, sur le modèle de celui que nous avons conçu en France. Conçu avec des matériaux plus frustes (des bouchons de liège à la place des joints Rodavis, du verre au lieu du Pyrex, des réchauds à alcool pour le chauffage, etc.), ce kit très séduisant et extrêmement facile d'emploi est présenté sur la figure 5 à côté d'un exemple de montage, une micro distillation de la taille d'une disquette d'ordinateur.



**Figure 5** : kit de micro matériel (à gauche) et micro distillation (à droite) à Madagascar.

## CONCLUSION

Quel que soit le contexte culturel ou économique, qu'on la considère sous l'angle de la pédagogie, de la sécurité, de la protection de l'environnement ou sous un angle financier, la microchimie semble être en parfaite adéquation avec les exigences de l'enseignement actuel de la chimie expérimentale. Plus qu'une nouvelle façon de manipuler, sa pratique relève d'une nouvelle façon de considérer la chimie dans son ensemble, en tentant de « reproduire exhaustivement les avancées de la chimie moderne, de la manière la plus simple et la plus sûre possible, dans une attitude de respect de la nature », en accord à la fois avec l'évolution actuelle des idées en matière d'enseignement et avec les préceptes du développement durable.

## BIBLIOGRAPHIE

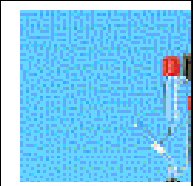
[0] Retrouvez l'article entier sur : <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/>

[1] Alazard J.P., Picot A. *Que deviennent les déchets chimiques de laboratoire ?* L'Actualité

Chimique, juin 1997, **6**, p.20-30.

- [2] Cheymol N., Eastes R.-E., Hoff M. *La microchimie : une voie d'accès à la chimie des métaux précieux dans l'enseignement supérieur* ; L'actualité chimique, avril 1999, p. 34.
- [3] Cheymol N., Eastes R.-E., Hoff M. *Expérience en version " microchimie ". Addition d'un organocuprate sur une ènone* ; L'Actualité Chimique, février 1998, **2**, p.18-21
- [4] Cheymol N., Eastes R.-E. *Expériences de cycloadditions [4+2] et [2+2] en version microchimie ; étude théorique par l'exploitation des diagrammes de corrélation d'états ; règles de Dewar-Zimmerman* ; L'actualité Chimique, juin 2000, page 41.
- [5] Cheymol N., Hoff M. *Microchimie : techniques et expériences* ; De Boeck Université, 1999.
- [6] Cheymol N., Hoff M. *Expérience en version microchimie : extraction d'un produit naturel* ; Bull. Un. Phys., déc. 1997, **799**, p.2111-2116.
- [7] Cheymol N., Eastes R.-E., Hoff M. *Un exemple de synthèse multiétape en version semi-micro aux Olympiades internationales de chimie* ; L'Actualité Chimique, avril 1998, **4**, p.31-34.
- [8] Singh M.M., Szafran Z., Pike R.M. *Construction and use of an inexpensive microburet* ; J. Chem. Ed., vol. 68, mai 1991, **5**, p.A125.
- [9] Martin N.H., Waldman F.S. *The three R's of resource management in the undergraduate organic chemistry laboratory* ; J. Chem. Ed., vol. 71, nov. 1994, **11**, p.970-971.
- [10] Szafran Z., Singh M.M., Pike R.M. *The microscale inorganic laboratory safety, economy and versatility* ; J. Chem. Ed., vol. 66, nov. 1989, **11**, p.A263-A267.
- [11] Perlmutter H.D., Kapichak R.K. *A multiscale approach to organic chemistry laboratory, introduction of kilo-scale experiments* ; J. Chem. Ed, vol. 69, juin 1992, **6**, p.507-508.
- [12] Silberman R.G. *Running a microscale organic chemistry lab with limited resources* ; J. Chem. Ed., vol. 71, juin 1994, **6**, p.A140-A141.
- [13] *Micro/mini-lab, kits and components* ; Ace Glass catalog.
- [14] Zipp A.P. *Introduction to « the microscale laboratory »* ; J. Chem. Edu., vol. 66, nov. 1989.
- [15] Wood C.G. *Microchemistry* ; J. Chem. Ed, vol. 67, juillet 1990, **7**, p.596-597.
- [16] Zubrick J.W. *The organic chem lab survival manuel, a student's guide to techniques*, 3<sup>rd</sup> éd. John Wiley, New York, 1992.
- [17] Cheymol N., Eastes R.-E., Hoff M. *La " microchimie " : une nouvelle façon de penser dans l'enseignement de la chimie expérimentale* ; L'Actualité Chimique, février 1998, **2**, p.10-17.
- [18] Cheymol N., Eastes R.-E., Hoff M. *La " microchimie " : un état d'esprit différent dans l'enseignement de la chimie expérimentale* ; Bulletin de l'Union des Physiciens, octobre 1998.
- [19] Cheymol N., Eastes R.-E. *Illustration de la stéréosélectivité de la réaction de bromation d'une liaison éthylénique grâce aux techniques de la microchimie* ; Bull. Un. Phys., mai 2000.
- [20] Cheymol N., Hoff M. *Synthèse et dosage d'un organomagnésien mixte : utilisation des*





*techniques de la microchimie* ; Bull. Un. Phys., mars 1998, p.473.

[21] *Kit de microchimie enseignement supérieur* ; catalogue Jeulin 1999.

[22] *Kit de microchimie enseignement secondaire* ; catalogue Sonodis 2000.

[23] Cheymol N., Eastes R.-E. *Réalisation et analyse d'une réaction de Wittig par utilisation des techniques de la microchimie* ; Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie, déc. 1999.

---

<sup>1</sup> Cet article est fondé sur les travaux réalisés en commun depuis 1995 par l'auteur et deux de ses anciens collègues du Département de chimie de l'École normale supérieure, également professeurs agrégés de sciences physiques, Nicolas Cheymol et Michaël Hoff.

<sup>2</sup> Voir la référence [1].

<sup>3</sup> Les intérêts pédagogiques de la microchimie ont été largement décrits dans les publications citées dans la bibliographie (références [2] à [7]). Nous invitons néanmoins le lecteur avide d'en savoir plus à se référer à l'article complet que nous ne pouvons reproduire ici faute de place, accessible sur le site Internet du LDES (référence [0]).

<sup>4</sup> Consulter à ce sujet les références [8] à [12].

<sup>5</sup> La référence [13] indique un exemple de catalogue dans lequel il est possible de trouver ce type de kits.

<sup>6</sup> Références [14] à [16].

<sup>7</sup> Consulter la référence [0] pour davantage d'informations.

<sup>8</sup> Consulter à ce sujet les références [17] à [19].

<sup>9</sup> Voir l'ensemble des références françaises citées dans la bibliographie.

<sup>10</sup> Référence [20].

<sup>11</sup> Référence [21].

<sup>12</sup> Référence [22].