

Plaidoyer pour une meilleure prise en compte de l'électrochimie dans les cursus universitaires

Jean-Lou Sculfort* professeur

L'électrochimie est une science à part entière, comme le montrent son histoire et son développement, au croisement de nombreuses disciplines scientifiques (chimie, physique, biologie). Elle n'a pas à l'heure actuelle la place qu'elle mérite dans les cursus universitaires français.

Cet article constitue un plaidoyer pour que cette science prenne toute sa place au niveau de la formation dans les différents cycles de l'enseignement secondaire et postbaccalauréat qu'ils soient technologiques (IUT, BTS, écoles d'ingénieurs, IUP, MST, DESS...), ou généraux (Deug, licence, maîtrise ou DEA), comme au niveau de la formation continue. Après avoir démontré l'intérêt de l'électrochimie dans le domaine de l'industrie chimique, un appel à toutes les bonnes volontés sera lancé et des propositions pour améliorer la situation actuelle seront faites.

Un constat

Quel que soit le cycle de formation, qu'elle soit initiale ou continue, l'électrochimie est enseignée sous forme fragmentée, voire fragmentaire.

Rappelons l'état des lieux en fonction des cycles.

Enseignement secondaire

L'électrochimie semble actuellement bien représentée dans les programmes de chimie et physique des lycées. Mais si l'ensemble du programme paraît satisfaisant, certains points délicats sont exposés de manière trop simplifiée.

Parmi ces points, on peut citer les processus réactionnels lors de l'électrolyse, l'utilisation de la pile Daniell comme seul exemple de transformation de l'énergie chimique en énergie électrique, ou même la synthèse de matériaux comme l'aluminium sans tenir compte de la limitation du solvant.

Enseignement supérieur

L'électrochimie est enseignée dans tous les cycles des universités comme dans une grande partie des écoles d'ingénieurs, et certains départements d'IUT. Néanmoins, le programme proposé dépend fortement de la nature de la formation :

Formations générales

- *En premier cycle* (CPGE, Deug, IUT), quelques heures lui sont réservées et les programmes portent essentiellement sur les propriétés des solutions. Si dans certaines classes préparatoires scientifiques, le programme semble ambitieux (détermination des constantes d'équilibre, d'acidité, ou de formation des complexes, les diagrammes potentiel-pH ou même potentiel-pX), la manière d'aborder ces thèmes ne correspond pas toujours à la réalité des phénomènes physiques et chimiques mis en jeux. Ainsi, la notion de potentiel électrochimique est souvent occultée et les activités se réduisent aux concentrations sans préciser les domaines de validité de

cette simplification. Les principes des interactions ion-ion et ion-solvant ne sont pas envisagés, tout comme les propriétés de transport de matière au sein des solutions électrolytiques ou l'influence du solvant. Aucune notion ne concerne les mécanismes intervenant dans les systèmes réels, c'est-à-dire l'étude des cellules électrochimiques parcourues par un courant, comme les problèmes liés au contact entre deux phases solide/liquide. La sensibilisation aux applications industrielles est absente de tout cursus, même en IUT où l'électrochimie se résume souvent à une application simplifiée des courbes intensité-potential dans le domaine de l'analyse chimique des solutions, ou à quelques notions qualitatives dans le domaine de la corrosion.

- *En deuxième cycle* (licence, maîtrise, écoles d'ingénieurs...), l'électrochimie figure explicitement dans tous les programmes.

Cependant, dans la plupart des cas, les enseignements de l'électrochimie constituent des modules d'une vingtaine d'heures ne permettant de couvrir qu'un programme limité traitant les aspects fondamentaux les plus traditionnels.

Cette manière d'aborder l'électrochimie n'entraîne pas les étudiants à poursuivre dans cette discipline, pourtant très formatrice. D'ailleurs, un certificat de maîtrise spécialisé en électrochimie existe uniquement à Paris, Grenoble et Toulouse.

Les cours d'électrochimie des maîtrises générales concernant l'ionique (propriétés des solutions électrolytiques) ou l'électrodique (électrochimie des réactions aux électrodes, c'est-à-dire l'électrochimie interfaciale) sont alors souvent limités à quelques notions et à

* Département GMP, IUT, Troyes, 9, rue de Québec, 10026 Troyes Cedex. Tél. : 25.42.46.46. Fax : 25.49.37.03. LEI, CNRS, 1, Place Aristide Briand, 92190 Meudon. Tél. : (1) 45.07.54.83.

l'étude de quelques concepts de base utiles dans d'autres domaines comme la synthèse de produits organiques, la préparation de métaux purs, la corrosion des matériaux qui sont étudiés dans des cursus parallèles (chimie organique, chimie des matériaux, métallurgie...). Dans ces conditions, l'électrochimie est alors considérée comme une technique et non comme une science à part entière.

Formations spécialisées

Il existe très peu de formations spécialisées en électrochimie en France. Citons :

- Une licence d'électrochimie appliquée (Besançon). Cette licence n'est pas suivie d'une maîtrise, ce qui limite son impact en recherche et dans le domaine industriel.
- La formation des électrochimistes est assurée à partir des certificats C4 de maîtrise suivies de DEA d'électrochimie. Les cursus complets existent uniquement à Paris, Toulouse et Grenoble.

Aucun DESS n'existe à ma connaissance, et pourtant les techniques électrochimiques sont largement utilisées par les industriels, notamment dans le domaine de la synthèse de matériaux organiques et inorganiques, des traitements de surfaces... D'ailleurs, ces industriels, surtout les cadres et dirigeants des PME et PMI, sont très demandeurs de conseils et ont souvent besoin d'électrochimistes compétents.

Ces centres ne forment qu'un très faible nombre d'électrochimistes tout comme les écoles d'ingénieurs (Insa, Ensi, Enseeg Grenoble) ou même le Cnam puisque le nombre total n'excède pas quelques dizaines. Ces organismes forment néanmoins des électrochimistes possédant un excellent niveau scientifique.

Ce constat montre que la France ne forme pas d'électrochimistes en nombre suffisant. De plus, les formations en électrochimie des chimistes, physiciens et biologistes ne sont pas suffisantes et, ainsi, les industriels ne voient pas l'intérêt de développer les concepts électrochimiques dans leur domaine de recherche.

Des causes

Les causes de ce constat proviennent d'origines diverses. On peut les trouver

au niveau de l'historique et des concepts de la recherche fondamentale comme au niveau des objectifs et de la réalisation des recherches appliquées de la discipline.

Historique

Il y a toujours eu vis-à-vis de l'électrochimie, et principalement de la part des physiciens et des physico-chimistes, une attitude réservée. En effet, le développement des théories concernant les solutions électrolytiques ont encore à l'heure actuelle un certain retard par rapport aux modèles concernant les autres phases condensées et les progrès sont très lents, simplement eu égard à la complexité du système solide/liquide.

Concepts

Les méthodes électrochimiques sont très simples à mettre en œuvre ; ce sont des méthodes *in situ* et les grandeurs que l'on peut mesurer sont d'une grande précision car elles sont généralement de nature électrique (courant, tension, impédance...), ou optique (réflectivité, indice...). Elles ont pour origine l'interface ; ce sont donc des grandeurs de volume intéressant une épaisseur variable pouvant aller de quelques μm à quelques centièmes de monocouche, ce qui correspond aux précisions atteintes par certaines méthodes d'analyse de surface. Malheureusement, elles restent souvent aveugles quant à la détermination de la nature chimique de l'espèce impliquée dans la transformation de la surface. Les méthodes électrochimiques doivent alors être couplées avec d'autres techniques caractérisant la chimie de surface, mais ce sont généralement des méthodes *ex situ*. Les résultats obtenus par les méthodes électrochimiques sont le plus souvent des valeurs moyennes obtenues sur toute la surface réactionnelle, ce qui a fait dire à certains que l'électrochimie ne permettrait jamais d'atteindre des renseignements à l'échelle atomique à propos de la détermination des sites réactionnels même sur des surfaces monocristallines parfaites. Des progrès considérables ont été obtenus dans ce domaine, mais il faut bien reconnaître, à l'heure actuelle, qu'ils restent une exception. On citera les couplages électrochimie/microscopie à effet tunnel et électrochimie/microscopie à force atomique.

Objectifs et réalisation des recherches appliquées

Les recherches extrêmement nombreuses, qui chaque jour se développent dans des directions nouvelles, n'ont pas toujours été à la hauteur de l'attente des industriels.

On peut citer, à ce propos, quelques «échecs» qui ont coûté très cher à la communauté des électrochimistes.

- La mise en place de la filière des piles à combustible lors des années soixante qui n'a conduit à aucune application pratique rentable.
- Les travaux concernant les photopiles électrochimiques qui n'ont pas obtenu le succès espéré mais débouchent actuellement sur d'autres applications plus fondamentales, tournées vers la physique du solide et l'électronique.
- Enfin, plus récemment encore, la fusion froide qui a mis en émoi de nombreux électrochimistes et qui a encore exacerbé la critique, voire la raillerie de la part des physiciens vis-à-vis de l'électrochimie.

Ces raisons ont conduit certains chercheurs à se tourner vers les applications de l'électrochimie en laissant de côté les problèmes de concepts et les études fondamentales. L'électrochimie étant devenue une technique, son enseignement a été morcelé. Ainsi, les processus de corrosion sont étudiés dans les cours de métallurgie, les courbes intensité-potentiel dans les cours de chimie analytique, les générateurs électrochimiques en énergétique et en génie chimique, la synthèse des corps organiques en chimie organique, la production de métaux et les traitements de surface en chimie industrielle...

Tout ceci a fait que l'électrochimie n'est pas considérée comme une discipline scientifique à part entière.

Une réalité

Malgré tout, l'électrochimie reste bien vivante et se développe constamment en s'ouvrant vers des horizons extrêmement variés.

L'électrochimie

Une grande tradition française

- Dans le domaine de la recherche fondamentale ou appliquée

De nombreux laboratoires universitaires ou associés au CNRS comptent dans leurs rangs des chercheurs ou des équipes utilisant les concepts de l'électrochimie ou les techniques électrochimiques. Ainsi, il y a une grande reconnaissance au niveau international des travaux fondamentaux effectués dans les domaines de l'énergétique, de la corrosion, de la synthèse, de l'électrocatalyse et de la caractérisation de matériaux nouveaux (applications des interfaces métal-électrolyte et semiconducteur-électrolyte)...

• Dans le domaine de l'application technologique

L'industrie électrochimique est vivante et son développement actuel est encourageant. De nouveaux débouchés s'ouvrent dans le domaine de la biologie, de l'environnement, du traitement des déchets et de la pollution, de l'industrie électronique, des traitements de surface, des capteurs, de l'obtention de générateurs électrochimiques d'une autre génération (véhicules électriques), de la catalyse... De nombreux chercheurs sont attirés vers l'électrochimie par cette explosion d'applications potentielles et les industrielles sont très demandeuses de formation. La fabrication de structures à l'échelle du nanomètre (nanostructures) nécessite l'utilisation de techniques *in situ* performantes, et détectant des ions en surface, ce qui met en avant, une fois de plus, l'intérêt de l'électrochimie.

Un science à part entière

- Elle étudie le passage, d'une phase à une autre, de charges de natures différentes et, dans tous les domaines scientifiques, il existe des interfaces chargées.
- Elle permet des transformations d'énergie directes et étudie ces transformations.
- Elle donne le pouvoir à l'expérimentateur de moduler à souhait la thermodynamique et la cinétique des réactions.
- Elle possède des techniques expérimentales propres et diversifiées permettant une étude *in situ* des phénomènes,
- L'électrochimie est une science au carrefour de nombreuses disciplines fondamentales, ayant de multiples applications dans des domaines variés, allant de l'électronique au traitement des déchets, de la biologie à la synthèse de matériaux, de la métallurgie à l'ingénierie, de la chimie à la géologie, les nanotechnologies...

- Elle a des applications multiples liées à sa spécificité de science de l'interface.

- Toutes ces applications utilisent des concepts macroscopiques simples et des techniques expérimentales ultrasensibles et faciles à mettre en œuvre.

Un science du XXIe siècle

- L'électricité provenant des transformations énergétiques utilisant l'électrochimie sera l'énergie la moins chère, ce qui rendra toutes les applications électrochimiques, généralement grosses consommatrices d'énergie, beaucoup plus rentables
- L'homme deviendra dépendant de l'énergie et contraint à recycler les produits comme à traiter les problèmes de pollution, et l'électrochimie lui sera d'une aide considérable à la fois pour synthétiser les produits comme pour les recycler ou éliminer les déchets.
- Les concepts de l'électrochimie des interfaces et des propriétés des membranes en particulier seront utilisés de manière plus intensive dans les domaines biologiques, dans le traitement des déchets, dans la conversion d'énergie, dans les nanostructures...

Des propositions

Pour lutter contre une situation qui semble défavorable alors que nous disposons, en France, d'un tissu dense d'hommes de qualité et de projets d'études dynamiques, il est nécessaire de modifier fortement les structures actuelles afin d'éviter la fuite du savoir et du savoir-faire actuel de nos chercheurs et enseignants, et de créer un nouveau vivier d'électrochimistes pouvant répondre à la demande des industriels et former les électrochimistes du XXIe siècle.

Pour réaliser ces objectifs, quelques mesures doivent être prises le plus rapidement possible si l'on veut enrayer cette spirale. Il faudra bien entendu choisir l'ampleur de ces mesures, les domaines dans lesquels il faudra investir des idées, des hommes et de l'argent en tenant compte des potentialités actuelles dont nous disposons et qui sont importantes, comme nous venons de le démontrer. Pour que ces propositions ne restent pas lettre morte, il est nécessaire d'agir dans plusieurs direc-

tions. Ainsi, il est nécessaire que tous les scientifiques concernés par ces problèmes se sentent motivés et agissent afin de mettre en œuvre une véritable politique de développement de la formation en électrochimie.

Ce plaidoyer est un appel à toutes ces bonnes volontés car il est nécessaire, tous ensemble :

D'agir

- Au niveau des organismes nationaux (Dred, CNRS) pour amplifier la formation à l'électrochimie...
- Au niveau du patronat PME, PMI, afin de faire connaître les spécialistes en électrochimie, l'état de leurs connaissances et les moyens de formation continue dans cette discipline. Il serait également important de connaître les besoins de ces entreprises dans les domaines scientifiques concernés par l'électrochimie afin de mettre en œuvre une véritable politique de recherche appliquée dans ces directions.

Afin de montrer :

- Notre dynamisme dans tous les domaines en faisant connaître nos objectifs vis-à-vis des autres sciences, en développant des synergies au niveau des programmes de recherches amenant les jeunes, provenant d'horizons divers, vers notre discipline.

Pour refondre ou créer :

- Les cursus d'enseignement universitaires en mettant en place des enseignements d'électrochimie comme des certificats C4 dans les maîtrises de chimie physique et de sciences physiques, des options «lourdes» au niveau des écoles d'ingénieurs ou même des cycles de spécialisation au niveau des IUP et IUT. Enfin, il sera nécessaire de créer un véritable enseignement d'électrochimie au niveau des formations d'IUFM.
- La formation continue des enseignants, des ingénieurs, des techniciens dans le domaine de l'électrochimie en impliquant tous les partenaires (enseignants, chercheurs, industriels).
- La synergie entre les disciplines en mettant en place des réunions thématiques en relation avec les autres disciplines (électronique, biologie, chimie, environnement...).
- Une structure du type de celles existant

tant dans les pays anglo-saxons et permettant l'édition d'ouvrages traitant de l'électrochimie en langue française à tous niveaux.

Ces propositions peuvent paraître trop imprécises et mal définies, mais le but de cet article est simplement de mettre l'accent sur les problèmes existants et de créer une dynamique de la part des scientifiques français afin qu'ils s'engagent pour développer la formation et l'enseignement de l'électrochimie au sein des organismes d'éducation.

Conclusion

Il existe un très grand nombre de chercheurs, ingénieurs et enseignants chercheurs en France qui se disent concernés par l'électrochimie. Il leur appartient de faire effort pour développer cette science qui a une potentialité de développement énorme tant sur le plan fondamental que dans le domaine des applications ! Les propositions qui ont été présentées ici seront alors mises en place par les autorités concernées (ministère de la Recherche et de la Technologie, minis-

tère de l'Industrie, ministère de l'Éducation nationale, collectivités territoriales, groupes industriels, PME, PMI...) et permettront de hisser l'électrochimie française au niveau qu'elle mérite !

Si vous êtes convaincu de la nécessité de regrouper toutes les forces pour promouvoir l'électrochimie, vous pouvez écrire à la Société Française de Chimie, à l'attention du groupe Électrochimie.

Toute initiative qui contribuerait à promouvoir l'électrochimie sera bien accueillie par la SFC.

SFC

Division de Chimie Organique

JCO 95

JOURNEES de CHIMIE ORGANIQUE

Ecole Polytechnique - Palaiseau, France
12 au 15 Septembre 1995

Le programme comprendra dix conférences, des communications orales et par affiches.

Liste des conférenciers invités :

Sir D. Barton (Texas A & M University, USA); P. Boger (Scripps Research Institute, USA); A. Commerçon (R.P. RORER, France); H.J. Cristau (ENSC Montpellier, France); A. Fürstner (Max-Planck Institut für Kohlenforschung, Mülheim, Allemagne); J. Goré (Université Claude Bernard Lyon I, France); P. Knochel (Philipps Universität Marburg, Allemagne); R.A. Lerner (Scripps Research Institute, USA); P. Metzner (ISMRA Caen, France); L.E. Overman (University of California Irvine, USA).

JOURNEE PASTEUR : Mercredi 13 Septembre, sous le patronage de la Société Française de Biochimie et Biologie Moléculaire, la Société de Cristallographie et Minéralogie et la Société française de Chimie.

Liste des conférenciers invités :

A. Collet (ENS Lyon, France); E.N. Jacobsen (Harvard University, USA); J. Jacques (Collège de France, Paris); M. Lahav (Weizman Institute of Science Rehovot, Israël); P. Ribereau-Gayon (Université Bordeaux II, France); D. Thibaut (R.P. RORER, France).

Inscriptions date limite : 30 Juin 1995

S'adresser à : JCO 95 ; Congrès Scientifiques Services
Mme C. IANNARELLI
2, Rue des Villarmins ; B P 124 ; 92 210 SAINT CLOUD ; France.
Tel. (33 1) 47 71 90 04 Fax (33 1) 47 71 90 05

Communications par affiches date limite : 30 Avril 1995.

Société Française de Chimie - Division de Chimie Organique - 250 rue Saint Jacques - 75005 Paris
Association loi 1901 reconnue d'utilité publique