

Enseigner la chimie de manière créative

Florence Boulc'h et Jean-Yves Briend

- Résumé** Cet article décrit une nouvelle approche pédagogique fondée sur la transdisciplinarité et expérimentée au sein de la licence « Sciences et Humanités » de l'Université d'Aix-Marseille. La première partie présente les fondements de cette approche et la seconde développe l'articulation réalisée entre art, mathématiques et chimie dans le cadre d'un cours centré sur la photographie.
- Mots-clés** Enseignement, licence Sciences et Humanités, transdisciplinarité, photographie, cyanotypie, réactions d'oxydoréduction, JIREC 2013.
- Abstract** **Teaching chemistry creatively**
This article describes a new pedagogical approach based on transdisciplinarity and developed within Sciences and Humanities diploma in Aix-Marseille University. The first part presents the ideas of this approach, and the second one develops the example of the course focused on photography and based on chemistry, mathematics and arts knowledge.
- Keywords** Teaching, Sciences and Humanities diploma, transdisciplinary approach, photography, cyanotypes, oxydoreduction reaction, JIREC 2013.

La XIX^e édition des Journées de l'innovation et de la recherche pour l'enseignement de la chimie (JIREC) a retenu pour thème la question d'un enseignement d'une chimie « économe et créative ». Ce choix résultait du souci de réfléchir, au sein de ces journées, à la promotion d'une vision moderne et positive de la chimie. Nous souhaitons dans ce texte élargir cette question à une réflexion sur l'enseignement des sciences exactes dans le supérieur.

Avec le développement d'Internet, le savoir est désormais disponible partout et à tout instant. La question de l'articulation entre l'élève et le maître se pose dans un tel contexte avec acuité : pourquoi et comment transmettre un savoir alors que celui-ci est d'une part disponible (souvent de manière bien expliquée, documentée et illustrée), d'autre part contesté, critiqué et mis en doute ? Ferme-ment convaincus que l'apprentissage et la compréhension des sciences ne peuvent se faire dans un face-à-face solitaire avec les sources, nous souhaitons relater ici l'approche pédagogique que nous avons choisie pour répondre à cette question et qui nous a conduits à créer, au sein de l'Université d'Aix-Marseille, une nouvelle licence intitulée « Sciences et Humanités », fondée sur une approche transdisciplinaire du savoir. Nous avons pour cela mené une réflexion en tenant compte des changements du monde étudiant, mais aussi en nous interrogeant sur la place et le rôle que nous souhaitons pour l'Université au sein de la société.

Comment enseigner à l'université ?

L'idée de la licence « Sciences et Humanités » est née au printemps 2009 dans le contexte des manifestations organisées en opposition à la loi relative aux libertés et responsabilités des universités. Ce mouvement reflétait l'interrogation des universitaires sur la place dévolue à leur institution dans la société actuelle. Ainsi de nouvelles formes de cours et de conférences ont-elles été organisées en plein air, dans les rues ou des lieux publics de plusieurs villes

universitaires afin d'interpeller chacun sur le rôle et la place de la connaissance. À l'issue de ce mouvement, quelques universitaires d'Aix-Marseille ont décidé de se réunir afin d'élaborer un nouveau projet de formation universitaire. Partant du constat d'un cloisonnement des disciplines académiques, ayant pour conséquence une perte de pertinence des enseignements dispensés, nous avons décidé de proposer une formation transdisciplinaire qui, par un dialogue permanent entre chercheurs de différents horizons, a pour objectif la compréhension de la complexité du monde passé et moderne [1].

Comme pour toute formation de licence, l'inscription en licence « Sciences et Humanités » est conditionnée par l'obtention du baccalauréat qui peut aussi bien être S (scientifique), ES (économique et social) que L (littéraire). Le parcours transdisciplinaire est maintenu sur trois années avec pour objectif de permettre aux étudiants d'intégrer des formations généralistes comme les écoles de journalisme, les instituts d'études politiques (IEP) ou les écoles supérieures du professorat et de l'éducation (ESPE). En outre, une spécialisation est proposée en troisième année afin de satisfaire aux exigences des insertions dans les masters disciplinaires de sciences humaines (lettres modernes, sciences du langage, philosophie) ou de sciences exactes (physique, chimie, mathématiques).

La maquette de la licence « Sciences et Humanités » ne fut pas acceptée en première lecture. Il nous a fallu convaincre de nombreux universitaires de notre démarche. L'un des reproches que l'on nous a fait – et que l'on nous fait encore – porte sur l'insuffisance des contenus strictement disciplinaires. Or nous souhaitons bien plus ici questionner notre position d'universitaire : préférons-nous que les étudiants accumulent superficiellement des savoirs en nombre important ou prenons-nous le temps de limiter ces derniers afin de les approfondir en recherchant, au travers du dialogue entre les disciplines, des éléments de réponse pertinents à des problèmes complexes ? Nous sommes persuadés que la



Photographies réalisées par Mathilde, Julia et Leila, étudiantes de la licence « Sciences et Humanités », Université d'Aix-Marseille.

transdisciplinarité permet d'apporter du sens à la connaissance et ainsi d'aider à la compréhension des phénomènes étudiés.

Pour atteindre cet objectif, les enseignants des différentes disciplines ont dû travailler ensemble dans un esprit de complémentarité afin de conjuguer leurs habiletés, sans pour autant sacrifier leur expertise ou leur méthodologie de recherche. Ainsi, chacun des enseignants de l'équipe a dû et doit encore se frotter à de nombreuses disciplines autres que la sienne afin de s'accorder sur le vocabulaire, les concepts et les méthodes et de modifier sa perception de sa propre pratique par l'apport de ces regards extérieurs. Notons que cette exigence est doublée de la contrainte de construire un enseignement adapté aux différents bacheliers de la promotion.

Enseigner de manière transdisciplinaire Exemple de la photographie

Nous souhaitons maintenant présenter notre démarche pédagogique transdisciplinaire dans le cadre d'un cours centré sur la photographie, sur lequel nous travaillons actuellement entre artiste, mathématicien et chimiste, et qui est mis en place en deuxième année de la licence « Sciences et Humanités » au sein de l'unité d'enseignement « Optique, vision, couleurs ». En tant que chimiste, nous souhaitons ici introduire les concepts de base des phénomènes d'oxydoréduction.

Nous pensons débiter ce cours par une brève introduction consacrée à la naissance de la photographie et à son contexte, en nous référant à l'ouvrage de Walter Benjamin, *Une petite histoire de la photographie* [2]. L'idée de cette première partie est de questionner les aspects scientifique, historique, artistique et politique, pour mettre en place le canevas complexe de la naissance de la photographie. Nous souhaitons ici non seulement comprendre le procédé chimique mis en place par Daguerre et Niepce pour la réalisation de la photographie, mais aussi poser les questions suivantes : pourquoi la photographie naît-elle au milieu du XIX^e siècle ? Comment se positionne-t-elle par rapport à la peinture ?

En écho à l'introduction, nous nous penchons ensuite plus particulièrement sur la *chambre photographique* et ses liens avec la géométrie projective. Déjà, dans le cadre simple de la *camera obscura*, apparaissent sur l'image des lignes de fuite semblant créer des points de concurrence pour des familles de droites qui, dans le monde réel, sont parallèles. Cela permet d'introduire assez aisément les premiers concepts de la géométrie projective. On passe ensuite à la chambre photographique moderne où le sténopé est remplacé par une lentille. Se pose alors le problème de la recherche de netteté du dispositif. La recherche du plan de

mise au point en photographie aérienne a amené l'Autrichien Theodor Scheimplfug, à la fin du XIX^e siècle, à publier un brevet énonçant la règle qui maintenant porte son nom, pour le trouver. Elle est en fait une conséquence simple des règles de l'optique géométrique et de la géométrie projective sous-jacente, *via* le théorème de Desargues sur les triangles en perspectives [3].

Dans une troisième partie, nous étudions les travaux d'un mouvement photographique. Par exemple, nous travaillons actuellement sur le mouvement surréaliste et, tout particulièrement, autour du photographe André Kertész. Notre idée est de proposer aux étudiants de réaliser une photographie sur un thème choisi et selon le style développé par Kertész. Par ce fil conducteur, nous pouvons étudier quelques œuvres de cet artiste à travers ses contours, ses lignes, ses contrastes vifs et ses ombres tranchées, à travers ses noirs et blancs et à travers ses plongées [4].

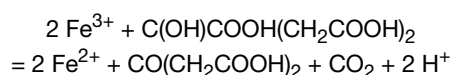
Nous développons la chimie dans la quatrième et dernière partie de ce cours. Dans le cadre de la licence « Sciences et Humanités », nous avons choisi de travailler sur le procédé du tirage sur papier au ferricyanure (ou hexacyanoferrate(III)) de potassium. Ce sont les cyanotypes mis au point par J.F. Herschel en 1842. Cette technique photographique nous permet d'une part, de revenir au bleu de Prusse développé en première année au sein du cours relatif à la synthèse du bleu égyptien, d'autre part de questionner à nouveau l'histoire de la chimie. Notons de plus que cette technique permet de remplacer les coûteux sels d'argent par des composés ioniques à base de fer, bien meilleur marché.

La technique de la cyanotypie est mise en œuvre par les étudiants, de la préparation des réactifs au tirage en passant par l'enduction des supports. Ils réalisent un tirage en bleu de leur photographie en cohérence, par exemple, avec le style et les thèmes de Kertész (*figure 1*). Les photographies sont exposées à l'Université d'Aix-Marseille et accompagnées de textes rédigés par les étudiants, où ils expliquent leur démarche esthétique et technique. Au cours des séances expérimentales, les étudiants peuvent modifier les proportions des réactifs, la nature de l'exposition à la lumière et le temps d'exposition afin de comprendre leurs influences sur la qualité de la photographie obtenue. Il est important de noter que la photosensibilité des composés de fer(III) est améliorée s'ils se trouvent à l'état complexé, donc en présence d'acides organiques – oxalique, tartrique ou citrique [5]. Seul le citrate d'ammonium ferrique est commercialisé⁽¹⁾. L'oxalate et le tartrate ferrique doivent être préparés *in situ* [6]. Afin de préparer la solution photosensible, les étudiants disposent donc de citrate d'ammonium ferrique et de ferricyanure de potassium $K_3[Fe(CN)_6]$. La préparation de la couche photosensible se fait au pinceau à l'abri de la lumière.

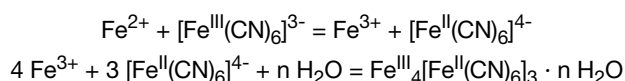


Figure 1 - Photographie et cyanotype de *Chez Mondrian* (1926) d'André Kertész. Afin d'obtenir le cyanotype, nous opérons tout d'abord par contact, c'est-à-dire en juxtaposant le négatif de la photographie d'André Kertész et le papier imprégné de la solution photosensible (citrate d'ammonium ferrique et de ferricyanure de potassium). L'ensemble est ensuite exposé à la lumière solaire ou sous une lampe UV.

L'impression est réalisée en plein soleil ou sous une source UV. Le complexe du fer(III) subit une oxydoréduction interne sous l'action de la lumière : en effet, l'ion Fe(III) est réduit en ion Fe(II) , tandis qu'une partie des ions citrate est oxydée en acide 3-oxopentanedioïque [7-9] selon l'équation de réaction suivante :



Enfin, la révélation est réalisée par formation de bleu de Prusse $\{\text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}\}$ ($n = 14-17$) selon les équations de réaction suivantes :



Des lavages courts et abondants, afin d'éliminer l'excès de ferricyanure de potassium, suffisent pour développer l'épreuve et la fixer. Il est important de savoir que les ions ferricyanure sont eux-mêmes photosensibles : exposés à la lumière, ils sont réduits à l'état de ferrocyanure – ou hexacyanoferrate(II) – qui, en présence de sel ferrique, forme le bleu de Prusse. Toutefois, cette réaction ne prédomine pas car le citrate d'ammonium ferrique est plus sensible que le ferricyanure : il réagit donc le premier [10]. Cependant, si on prolonge suffisamment longtemps l'exposition à la lumière, on observe une inversion de l'image.

Les connaissances développées ci-dessus sont présentées en cours, puis mises en pratique lors de séances expérimentales. Nous souhaitons ici initier les étudiants à l'activité du chercheur en leur faisant concevoir une démarche scientifique menant à l'obtention d'un cyanotype de leur photographie. Ils sont ainsi amenés à formuler explications et hypothèses scientifiques (que nous complétons) afin de construire un ensemble de connaissances relatives aux réactions d'oxydoréduction englobant la notion de couple oxydoréducteur, la classification de ceux-ci, la notion de potentiel d'électrode et celle de réactions électrochimiques. Par cette démarche, nous souhaitons amener les étudiants à faire preuve d'autonomie et à développer leur esprit d'initiative et leur esprit critique, tout en éveillant leur curiosité et leur créativité.

Conclusion

Comment promouvoir une vision moderne et positive de la chimie ? Malgré l'omniprésence des sciences et des technologies au sein de notre société, il semble que l'intérêt des étudiants pour ces sujets décroît régulièrement depuis dix ans. La chimie souffre en outre d'une image relativement négative. Dans ce contexte, comment motiver des étudiants à débiter des études en chimie ? Comment construire à nouveau un climat de confiance face à la chimie au sein du grand public ? Au sein de la licence « Sciences et Humanités », nous sommes convaincus qu'une réponse possible à ces questions est l'apport d'une nouvelle dimension à l'apprentissage de la chimie en la situant dans son contexte philosophique, historique et artistique. L'attitude des deux premières promotions de la licence « Sciences et Humanités » nous conforte dans cette idée. En effet, dans le cadre de la synthèse du bleu égyptien, comme nous l'avons décrit dans l'article précédent [1], la peinture est l'élément-clé de notre démarche vers l'étude historique de l'utilisation de pigments bleus dans l'art. Il est alors intéressant de noter que les élèves utilisent spontanément leurs pigments synthétisés pour peindre. Et nous avons constaté que cette motivation supplémentaire et personnelle a eu un impact important sur leur implication dans les activités expérimentales, à laquelle ils ont consacré une quantité de temps et d'énergie que nous avions rarement observée jusqu'à maintenant dans les filières classiques, résultant en une attitude très positive envers l'apprentissage et la compréhension de la chimie.

Note et références

- (1) Le citrate d'ammonium ferrique est un sel de structure complexe composé de fer, d'ammonium et d'acide citrique.
- [1] Nous avons précédemment présenté cette nouvelle approche pédagogique dans le cadre de la synthèse des pigments bleus en remplaçant celle-ci dans leur contexte historique dans l'article : Boulc'h F., Andrieux M., Morizot O., Audureau E., Anglade E., Hagel G., La transdisciplinarité ou l'art d'enseigner la chimie du bleu, *L'Act. Chim.*, **2013**, 374, p. 30.
- [2] Walter B., *Une petite Histoire de la Photographie*, Allia, **2012**.
- [3] Lelong-Ferrand J., *Les Fondements de la Géométrie*, Presses Universitaires de France, **1985**.
- [4] Sallenave D., *André Kertész*, Centre national de la photographie, **2007**.
- [5] Dubusc M., Soulie A., Réactions photochimiques et anciens procédés de photographie, *Le Bup*, **1989**, 718, p. 1299.
- [6] Verdaguer M., Sarrazin J., *L'Oxydoréduction - Concepts et Expériences*, Ellipses, **2009**.
- [7] Abrahamson H.B., Rezvani A.B., Brushmiller J.G., Photochemical and spectroscopic studies of complexes of iron(III) with citric acid and other carboxylic acids, *Inorg. Chim. Acta*, **1994**, 226, p. 117.
- [8] Ware M., Prussian blue: artists' pigment and chemists' sponge, *J. Chem. Educ.*, **2008**, 85, p. 612.
- [9] Abrahamson H.B., The photochemical basis of cyanotype photography, *J. Chem. Educ.*, **2001**, 78, p. 311.
- [10] Glafkides P., *Chimie et Physique photographiques*, Publications Photocinéma Paul Montel, **1976**.



F. Boulc'h

Florence Boulc'h est maître de conférences en chimie et Jean-Yves Briend, maître de conférences en mathématiques, Aix-Marseille Université*.



J.-Y. Briend

* Licence « Sciences et Humanités », Campus de Saint Charles, 3 place Victor Hugo, F-13331 Marseille Cedex 3.
Courriels : florence.boulch@univ-amu.fr ; jean-yves.briend@univ-amu.fr