

La transdisciplinarité ou l'art d'enseigner la chimie du bleu

Florence Boulc'h, Maryon Andrieux, Olivier Morizot, Éric Audureau, Marie Anglade et Gaétan Hagel

Résumé Cet article présente une nouvelle approche pédagogique de la synthèse des pigments bleus en replaçant celle-ci dans son contexte historique. Dans l'enseignement classique de la chimie, la couleur est abordée sous l'angle de la structure des pigments. Cependant, nous pensons que l'intérêt de ces synthèses ne peut être pleinement compris sans connaître les nombreuses raisons (techniques, économiques, esthétiques...) qui furent à l'origine de leur développement. Notre idée clé est que si les étudiants sont à même de comprendre comment s'est constitué le domaine de la chimie, ils seront en mesure de porter un regard critique sur son état actuel et d'en renouveler les méthodes dans le futur.

Mots-clés **Bleu, pigments, transdisciplinarité, histoire de la chimie, niveaux macroscopique, microscopique et symbolique, JIREC 2012, enseignement.**

Abstract **Transdisciplinarity or the art of teaching blue pigments**
This article describes a new pedagogical approach of the synthesis of different blue pigments, by replacing these works in their historical contexts. Classically, chemical colours are solely taught from a structural point of view. Yet, we firmly believe that the interest of these syntheses can only be fully understood when they are connected to the many factors (technical, economical, esthetic...) that motivate them. Our key idea is the following: if students know how the field of chemistry has been constituted, they will be able to develop a critical thought on its present state and to renew its method in the future.

Keywords **Blue, pigments, transdisciplinary, macroscopic, microscopic and symbolic levels, JIREC 2012, teaching.**



Travaux réalisés autour du bleu égyptien par les étudiants de la licence Sciences et Humanités. Photographies : Jean-Yves Briend, maître de conférences (mathématicien), Université d'Aix-Marseille (briend@cmi.univ-mrs.fr).

L'expérience pédagogique relatée dans cet article est réalisée en première année de la licence Sciences et Humanités (S&H) [1], dans le cadre d'une unité d'enseignement intitulée « Optique, Vision, Couleurs ». Cet exemple se veut représentatif de la manière originale dont les enseignements de cette formation sont conçus. La licence S&H est née d'une réflexion commune, durant plusieurs années, de spécialistes de disciplines aussi diverses que la biologie, l'histoire, les mathématiques, la philosophie, les sciences physiques, les sciences du langage et les sciences sociales sur l'enseignement universitaire. Ainsi, dans le cadre de cette licence, les étudiants sont formés de manière transdisciplinaire à la pratique d'une *pensée complexe* [2] en replaçant l'apprentissage des sciences dans leur contexte tant philosophique qu'historique. L'idée est de développer chez les

étudiants une pensée riche et synthétique sur des thèmes clés du monde moderne, en les abordant du point de vue le plus ouvert et structuré possible. Les contenus de cours sont toutefois calibrés afin de permettre aux étudiants non seulement d'avoir une formation globale – adaptée aux métiers du journalisme ou de l'éducation – mais aussi d'être capables de se diriger ensuite vers le master disciplinaire de leur choix.

La sectorisation disciplinaire des enseignements a été écartée pour faire place à un enseignement selon cinq thèmes : « Nature et Culture », « Logique, Langage, Calcul », « Figures du Pouvoir », « Systèmes du Monde » et « Optique, Vision, Couleurs ». Dans ce dernier, sont introduites des notions de physique, de chimie, de philosophie, de mathématiques, de biologie, de sciences cognitives et de théorie des arts, afin d'explorer aussi largement que possible les

champs complexes de la lumière, de la vision et de la couleur. Nous présentons ici un exemple de cours intitulé « La couleur bleue : du bleu égyptien au bleu Klein », mis en place par une chimiste et une artiste plasticienne. Si la couleur bleue a été choisie plutôt qu'une autre couleur, c'est que si l'on s'intéresse à la fabrication des pigments bleus, on s'aperçoit qu'à de rares exceptions près (lapis-lazuli, azurite), ils furent partout et de tout temps artificiels. Dans ce contexte, il nous semble important de montrer avec quelle ingéniosité les hommes, poussés par la forte charge esthétique de cette couleur [3], ont réalisé artificiellement les matériaux bleus qui leur faisaient défaut. En ce sens, nous pouvons dire des pigments bleus qu'ils constituent des marqueurs de l'histoire de la chimie.

Le bleu : histoire d'une couleur, histoire d'un pigment

Le bleu égyptien est considéré comme le premier pigment synthétique [4]. Son utilisation ne s'est pas limitée au territoire égyptien et le pigment a circulé tout autour de la Méditerranée. Pourtant, malgré sa diffusion, l'emploi du bleu égyptien a cessé au Moyen Âge. Quel pigment bleu utilisaient donc les peintres florentins de la Renaissance ? On pense d'abord au bleu outremer extrait du lapis-lazuli qu'importaient les marchands vénitiens. Mais les remarquables qualités de ce pigment sont malheureusement contrebalancées par un prix exorbitant [5]. Heureusement, on trouvait à acheter à bien meilleur marché un autre pigment bleu, l'azurite, obtenu par broyage d'un minerai de cuivre. Les décors muraux de la chapelle des Scrovegni à Padoue, peints par Giotto vers 1305, en constituent un bel exemple (figure 1). Cependant, l'azurite est extrêmement sensible aux environnements basiques, qui la transforment en malachite de couleur verte. Au XVIII^e siècle, les artistes ne souhaitent plus se contenter d'un pigment bleu aussi instable. Le temps de l'azurite est passé, et le besoin de trouver un véritable substitut au lapis-lazuli est bien réel.



Figure 1 - Intérieur de la chapelle des Scrovegni décoré par Giotto vers 1305.

Le bleu que l'on y trouve est dû à l'azurite, pigment obtenu par broyage d'un minerai de cuivre.

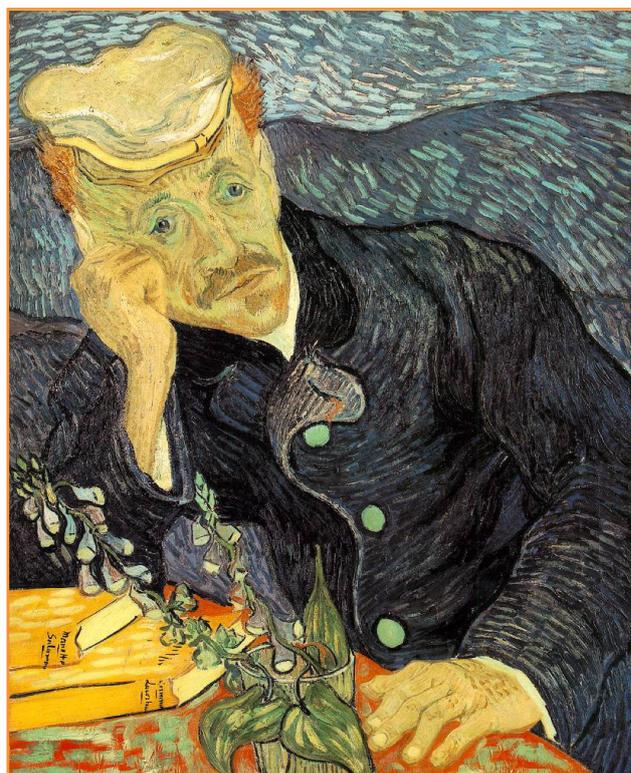


Figure 2 - Van Gogh, *Portrait du docteur Gachet*, 1890. Le fond est peint avec le bleu de Thénard.

La découverte du bleu de Prusse en 1709 procède pourtant d'un hasard habilement exploité. Rapidement, fut mis au point le procédé qui sera rendu public en 1724 : il consiste à concentrer le sang de bœuf par ébullition jusqu'à obtenir une poudre, que l'on traite au rouge par une potasse très concentrée. L'utilisation du bleu de Prusse, scientifiquement attestée pour les tableaux de Watteau intitulés *Les deux Cousines* (vers 1716) et *le Bain de Diane* (1712-1717) [6], révèle la rapidité avec laquelle ce nouveau pigment s'est répandu en Europe. Pourtant, ce bleu perd son éclat lorsqu'il est exposé à une lumière vive. En 1800, Bonaparte charge Thénard de trouver une couleur remplaçant l'outremer naturel avec avantage. Ce nouveau bleu est le premier réel succès de la chimie dans ce domaine. Car si l'invention du bleu de Prusse est due au hasard, celle du bleu de Thénard, nommé bleu de cobalt, procède du raisonnement. Parfaitement adapté à la peinture artistique, il semble donc un candidat tout à fait sérieux pour remplacer l'outremer. En France, le bleu de Thénard est commercialisé dès 1807. Dans sa correspondance, Van Gogh exprime son enthousiasme pour le cobalt à la fin 1885, au tout début de sa période anversoise [7] : « *Le cobalt est une couleur divine, il n'y a rien d'aussi beau pour créer de l'espace autour des objets* » (figure 2).

Les progrès de l'analyse et de la synthèse chimique à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e incitèrent les chimistes à préparer un bleu outremer artificiel. Ainsi, la société d'encouragement pour l'industrie nationale ouvrit un concours en 1824 pour la synthèse d'un bleu outremer à moindre coût. Le lauréat fut Guimet en 1828. Plus d'un siècle plus tard, Yves Klein s'empara du bleu outremer. Il travailla durant cinq années avec un chimiste afin de mettre au point la formulation d'un liant qui lui permit de réaliser des couches picturales ayant la couleur du pigment brut.

Notre approche pédagogique

Parallèlement au cours centré sur l'étude historique et chimique de l'utilisation de pigments bleus dans l'art pictural, les étudiants, par groupe de quatre, doivent mettre au point un protocole expérimental menant à la préparation du bleu égyptien en s'appuyant initialement sur les travaux d'Onorati dont l'article leur est distribué [8]. Puis en milieu de semestre, les salles de travaux pratiques leur sont ouvertes 3 à 4 heures par jour durant une semaine afin de réaliser cette synthèse. Nous sommes présents uniquement afin d'intervenir au niveau de la sécurité, mais nullement au niveau du contenu scientifique : les étudiants déterminent, à partir de leurs recherches bibliographiques, les masses des réactifs et de fondant à utiliser, le temps de séchage, la température de cuisson et les conditions de chauffage à programmer. En fin de semestre, ils sont évalués oralement sur ce travail et disposent de 20 minutes pour présenter leur démarche expérimentale, leurs résultats et leurs interprétations, tout en situant la place du bleu égyptien dans l'histoire des pigments bleus et de la couleur bleue.

Cet ensemble de 20 heures nous amène à questionner les fondements des connaissances en chimie physique des étudiants entrant à l'université et à mettre en évidence leurs sources de difficultés. Ces dernières sont principalement transversales puisqu'il s'agit des passages omniprésents et implicites entre les trois niveaux de savoir : macroscopique, microscopique et symbolique [9]. À travers la présentation des différentes synthèses de pigments bleus contextualisées dans l'histoire de la chimie, nous explicitons comment les observations macroscopiques ont été à l'origine des premières modélisations microscopiques. De plus, l'ensemble de ces synthèses nous permet de développer la symbolique des équations stœchiométriques et les raisonnements quantitatifs des transformations chimiques. Ainsi, nous insistons sur la logique et le langage qui sont fondamentaux en chimie afin d'acquérir la pratique de l'arithmétique des réactions. Nous concluons par la notion de mécanismes réactionnels en nous appuyant sur les travaux d'Onorati [8] qui présentent les étapes élémentaires conduisant au bleu égyptien.

Enfin, afin d'illustrer le début de ce cours, nous visitons le Musée d'Archéologie Méditerranéenne de Marseille, en questionnant la place de la couleur bleue dans la civilisation égyptienne. Le semestre se conclut par la découverte des œuvres d'Yves Klein exposées au Musée d'art moderne et d'art contemporain de Nice, en interrogeant tout particulièrement le choix monochromatique de l'artiste.

Pourquoi associer, comme nous le faisons ici, chimie et peinture ? Nous estimons que l'intérêt de la synthèse des pigments bleus ne peut être pleinement compris sans connaître les raisons réelles qui furent à l'origine de la recherche de cette synthèse. En d'autres termes, pour comprendre pleinement la chimie de la synthèse, il faut convoquer des savoirs extérieurs à la chimie proprement dite, à commencer par son histoire. Cet exemple n'est qu'une illustration parmi d'autres de notre approche pédagogique. Nous nous séparons ainsi d'une approche très répandue de l'enseignement scientifique où l'on se limite à présenter et à justifier l'état actuel de la science. Nous préférons montrer aux étudiants que le domaine d'une science est toujours ouvert et passible de reconfigurations importantes. Des étudiants capables de s'interroger sur la définition du territoire occupé par la chimie au cours de son histoire seront ainsi à même de saisir ce qu'est *l'esprit scientifique*. Le propre de ce dernier est de porter un regard critique sur l'état

de sa discipline, et donc, de ne pas l'accepter dogmatiquement comme un corps de connaissances inébranlables. De sorte qu'en nous tournant vers l'histoire de la chimie, ce n'est pas sur son passé que nous voulons attirer l'attention des étudiants, mais plutôt sur ce que pourrait être son futur.

Conclusion

Il nous faut souligner que cette démarche n'a rien de novatrice : elle était la norme au début du XX^e siècle. Tous les grands savants de cette période, décisive pour le développement de la science contemporaine, connaissaient l'histoire de leurs disciplines et intégraient des éléments de cette histoire dans leurs enseignements et dans l'exposé de leurs recherches. Berthelot, lorsqu'il publiait ses ouvrages sur l'alchimie de l'Antiquité et du Moyen Âge ou sur Lavoisier, pouvait paraître ne satisfaire qu'une simple curiosité intellectuelle. Cependant, il accompagnait ainsi les interrogations soulevées par la naissance de la thermodynamique en mettant la notion philosophique de *substance* au premier plan de la réflexion scientifique. Ce thème sera d'ailleurs l'objet d'une série de cours dans le cadre de l'unité d'enseignement « Systèmes du Monde » de la licence Sciences et Humanités.

Références

- [1] <http://licencesh.hypotheses.org/1>
- [2] Morin E., *Science avec conscience*, Seuil, 1982.
- [3] Pastoureaux M., *Bleu. Histoire d'une couleur*, Seuil, 2002.
- [4] Delamare F., *Bleus en poudre*, Ecole des Mines de Paris, 2007.
- [5] Voir par exemple les documents produits par M. Baxendall, *L'œil du quattrocento*, Gallimard, 1985.
- [6] Chamay Y., de Givry H., *Comment regarder... les couleurs dans la peinture*, Hazan, 2011.
- [7] Van Gogh V., *Lettres à son frère Théo*, Grasset, 2002.
- [8] Onorati G., Conrad G., Michaud L., *C.R. Acad. Sci.*, 1987, 12, p. 651.
- [9] Houart M., Warzée N., Wouters J., Reniers F., Romainville M., La communication pédagogique en cours magistral de chimie : peut-on améliorer son efficacité ?, *L'Act. Chim.*, 2010, 341, p. 29.



F. Boulc'h



M. Andrieux



O. Morizot



E. Audureau



M. Anglade



G. Hagel

Florence Boulc'h (*auteur correspondant*) est maître de conférences (chimiste), **Maryon Andrieux**, artiste plasticienne, **Olivier Morizot**, maître de conférences (physicien), **Éric Audureau**, chargé de recherche (épistémologue), **Marie Anglade**, ATER (historienne des mathématiques) et **Gaëtan Hagel**, maître de conférences (physicien), à l'Université d'Aix-Marseille*.

* Université d'Aix-Marseille, 3 place Victor Hugo, F-13331 Marseille Cedex 3. Courriels : Florence.Boulch@univ-amu.fr ; maryon.andrieux@wanadoo.fr ; Olivier.Morizot@univ-amu.fr ; Eric.Audureau@univ-amu.fr ; anglade_marie@orange.fr ; Gaetan.Hagel@univ-amu.fr