

Comment enseigner la formulation ?

Vangelis Antzoulatos

Résumé Comment aborder l'enseignement de la formulation en évitant à la fois l'écueil du catalogue de recettes et celui d'une approche physico-chimique déconnectée des problématiques industrielles ? C'est la question sur laquelle se penche cet article. Après avoir tracé les contours de cette discipline scientifique porteuse de nombreuses innovations, la question de son enseignement est abordée à travers le cas des peintures, montrant que la formulation doit être considérée comme un atout pour l'enseignant. En plaçant l'étudiant en position active, celle d'un inventeur d'objets chimiques, elle permet de mettre en avant la dimension créatrice de la chimie, de favoriser l'apprentissage à travers l'expérimentation et par suite de stimuler le goût pour la chimie.

Mots-clés Formulation, peinture, polymères, enseignement, JIREC 2015.

Abstract How to teach formulation chemistry?

How to approach the teaching of formulation chemistry whilst avoiding the pitfall of the catalogue of recipes and also the one of a physical chemistry out of touch with the realities of the chemical industry? This paper aims at addressing this question. It first provides an outline of formulation as a scientific field, and then approaches the problem of its teaching through the example of coatings. In particular, the following argument is developed: formulation chemistry shall be regarded as an opportunity for the teacher, as it allows him to put the student in the position of building chemical objects. By doing so, the teacher focuses on the creative dimension of chemistry, which provides a way to stimulate the taste for chemistry.

Keywords Formulation, coatings, polymers, teaching, JIREC 2015.

En intégrant une forte composante de formulation, le BTS Métiers de la chimie pose un défi aux enseignants : comment aborder cette discipline en évitant l'écueil du « catalogue » de recettes ? Est-il possible de la présenter comme un savoir cohérent et unifié ? Quelles en sont les spécificités ? Et d'abord, s'agit-il vraiment d'une discipline scientifique ?

Cet article montrera qu'un cours de formulation n'est pas autre chose qu'un cours de chimie. Il s'agit seulement d'aborder cette discipline à partir d'un point de vue particulier, celui d'un chercheur qui développe son propre produit. Ainsi placé dans une position active, l'étudiant est alors en mesure de s'approprier des concepts dont il perçoit la nécessité. Pour le dire autrement, il les aborde comme des clés qui lui permettent de résoudre des problèmes : comment améliorer la résistance aux intempéries d'une peinture ? Comment rendre plus agréable l'étalement d'une crème solaire ? Comment augmenter le pouvoir moussant d'un shampoing ? Nous montrerons à travers quelques exemples – et sans éluder les difficultés – que cette dimension pratique et ce lien avec l'innovation font de la formulation une véritable opportunité pour l'enseignant.

Qu'est-ce que la formulation ?

La formulation ne répond pas à une définition unique car les avis divergent sur ce point. Certains insistent sur sa dimension opératoire, et lui refusent de fait le statut de savoir scientifique. Ainsi, Wikipédia la définit comme une « opération industrielle » dont la finalité est la conception d'un produit homogène, stable, non toxique, et respectant un cahier des charges [1]. Schorsch parle quant à lui d'un « art de gérer les incompatibilités » [2]. Même lorsque l'accent est mis sur les connaissances scientifiques, celles-ci semblent empruntées à d'autres domaines. Pour Kumar, la formulation est la « connaissance de la science des matériaux et de la chimie physique jointe à l'art d'arriver à la meilleure combinaison de constituants » [3]. La définition donnée par la Royal Society

convoque d'autres champs disciplinaires : « La formulation chimique couvre les champs de la chimie physique, la chimie des colloïdes, ainsi que la chimie analytique, le génie chimique, les sciences biologiques et pharmaceutiques » [4]. Nous avons ainsi affaire à une véritable mosaïque. Faut-il dès lors renoncer à enseigner un savoir unifié ? Pas si sûr, car la cohérence scientifique du domaine est justement en cours d'élaboration. La formulation est une science encore en plein essor, tout comme la chimie à la fin du XVIII^e siècle⁽¹⁾... La définition proposée par Aubry explicite ce qui appartient en propre à cette science : « Ensemble des connaissances et des opérations mises en œuvre lors du mélange, de l'association ou de la mise en forme d'ingrédients d'origine naturelle ou synthétique, souvent incompatibles entre eux, de façon à obtenir un produit commercial caractérisé par sa fonction d'usage et son aptitude à satisfaire un cahier des charges » [5].

La formulation est science des mélanges, des interactions, de la coexistence de substances, le plus souvent sans réaction chimique. Le mélange d'ingrédients est une activité dont les origines remontent à la préhistoire. L'homme a d'abord développé des recettes pour son expression artistique (peintures rupestres) et pour l'amélioration de ses conditions d'existence : confection de céramiques, de savons, de verres, etc. Le terme « formule » était déjà utilisé par les pharmaciens du XV^e siècle. Mais celle-ci est alors le résultat d'une approche empirique, par « essai-erreur ». À partir des années 1970, la formulation gagne ses galons de discipline scientifique : des enjeux économiques et environnementaux de plus en plus prégnants en font un secteur clé de l'industrie chimique et imposent une rationalisation des démarches. Un savoir académique émerge, s'institutionnalise... et devient digne d'être enseigné !

Former des techniciens de formulation

Notre réflexion s'appuie sur le cas particulier de la formation de techniciens, mais peut être transposée à d'autres cursus.

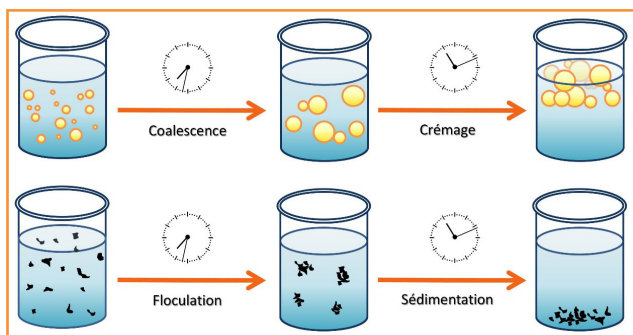


Figure 1 - Rupture de phase dans les milieux dispersés.

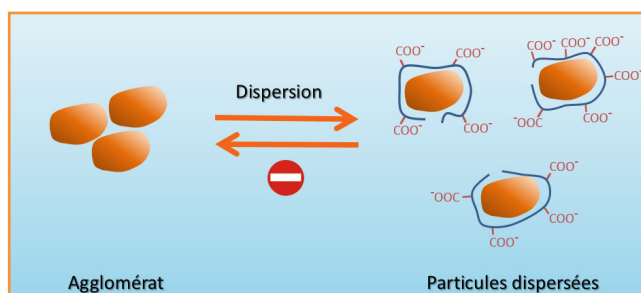


Figure 2 - Stabilisation d'une suspension à l'aide d'un agent dispersant.

D'abord, l'enseignement de la formulation ne doit pas se résumer à un catalogue d'ingrédients, à des recettes (de peintures, de cosmétiques, de produits d'entretien, etc.). Anarchique et indigeste, une telle approche manquerait cruellement de principes directeurs transposables à l'ensemble des activités industrielles concernées. Autre écueil : le catalogue de concepts, déconnecté des problématiques industrielles. La formulation serait alors réduite à ses sciences de « tutelle » : la physico-chimie, la science des matériaux, la chimie des colloïdes, etc. Il ne s'agit en aucun cas de nier l'importance des concepts. Ils devront bien entendu être enseignés, mais ils seront mobilisés dans le cadre de problématiques spécifiques qu'ils permettent de résoudre.

L'approche qui a été retenue dans le BTS Métiers de la chimie est une approche par propriétés : celles qui apparaissent dans le cahier des charges d'un produit commercial et qui sont transversales à l'ensemble des secteurs industriels. L'enseignement sera ainsi organisé autour de thèmes tels que la stabilité, les propriétés d'application (mouillabilité, propriétés rhéologiques), l'aspect (colorimétrie, texturométrie), ou encore l'aptitude à protéger un support (anticorrosion, protection anti-UV). Les matières premières, les formules, les concepts physico-chimiques seront bien des acteurs importants, mais ils ne seront convoqués que pour leur aptitude à résoudre ces problématiques.

Cas des peintures

Prenons l'exemple d'une peinture de façade en phase aqueuse. Pour formuler ce produit, il est nécessaire de connaître les exigences de l'utilisateur. Celles-ci sont détaillées qualitativement et quantitativement dans un document appelé cahier des charges. Seront notamment pris en compte la mise en œuvre du produit livré, c'est-à-dire son homogénéité et sa stabilité au stockage, et son mode d'application. Les propriétés du produit en usage (ici le film sec de peinture) doivent également être spécifiées, comme son rôle protecteur, son aspect, ainsi que sa durabilité. À ces exigences techniques s'ajouteront également des exigences d'ordre économique (coût du produit et de sa mise en œuvre) et réglementaires (protection de l'utilisateur et de l'environnement).

Stabilité

Commençons par l'homogénéité (apparente) et la stabilité. À l'intérieur d'un pot de peinture, durant son stockage et son séjour sur l'étagère d'un magasin, divers phénomènes peuvent conduire à une rupture de phase : sédimentation des pigments, crémage (remontée de matières organiques), etc. (figure 1).

Afin de prévenir ces phénomènes, le formateur doit avoir une connaissance précise des interactions dont les milieux dispersés sont le siège (interactions de van der Waals, liaison hydrogène) afin d'être capable de les modifier à son gré. On peut par exemple stabiliser une suspension de pigments en employant un agent dispersant, additif dont le rôle est de créer des interactions répulsives entre les particules de pigments, au moyen d'effets stériques ou électrostatiques. Dans la figure 2, qui illustre ce second cas, l'agent dispersant est un copolymère acrylique, possédant des fonctions carboxyles ionisables en milieu basique.

Propriétés rhéologiques

De nombreuses autres solutions peuvent être mises en œuvre pour obtenir la stabilité. Il est ainsi possible d'augmenter la viscosité en pot (à bas gradient de vitesse) afin de figer les particules et limiter l'action des forces attractives. On peut à cet effet employer des épaississants à base de polymères hydrophiles, dits épaississants non associatifs (des éthers cellulosiques par exemple, tels que la carboxyméthylcellulose). Ils provoqueront une gélification du milieu par piégeage des molécules d'eau (diminution du volume libre). En plus de ralentir la sédimentation, les épaississants non associatifs apporteront d'autres bénéfices : meilleur chargement de l'outil (donc moins d'aller-retour entre le pot de peinture et le mur !), réduction des coulures, etc. (figure 3).

La rhéologie ne peut pas être optimisée par le seul emploi d'épaississants non associatifs. Il est également nécessaire que la peinture soit garnissante, c'est-à-dire que l'épaisseur déposée soit suffisante pour apporter une opacité satisfaisante. Autrement dit, il est également nécessaire d'augmenter la viscosité sous contrainte, ce que ne savent pas faire les épaississants non associatifs car lors de la déformation de la peinture, leurs chaînes macromoléculaires s'éloignent les unes des autres, ce qui provoque un effondrement des interactions de van der Waals, et par suite de la viscosité. À l'inverse, des épaississants associatifs tels que les polyuréthanes à modifications hydrophobes mettent en jeu des interactions suffisamment fortes pour résister à une déformation de cisaillement, celle à laquelle on soumet la peinture lors de l'application.

La figure 4 montre qu'ils sont constitués d'une chaîne polyuréthane, hydrophile, sur laquelle on a greffé des groupes hydrophobes susceptibles de s'associer avec les autres constituants hydrophobes de la formule, comme le liant. Cette interaction hydrophobe résistante à la contrainte de cisaillement, l'épaississant agit sur la viscosité de la peinture lorsque celle-ci est appliquée, et augmente donc son garnissant. Agir sur les propriétés rhéologiques exige donc de comprendre le mode d'action des différents épaississants et de prévoir leur effet sur les propriétés du produit.

Propriétés mécaniques

Le liant est un autre élément central de la formule. Il donne son nom à la peinture (acrylique, polyuréthane, etc.) et de

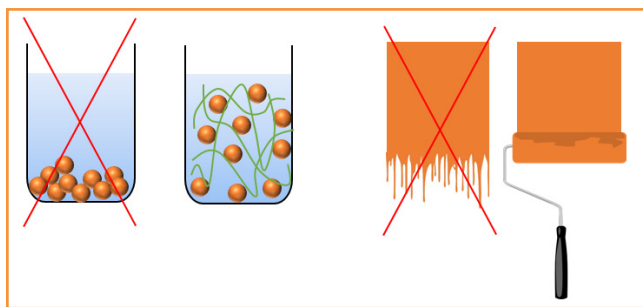


Figure 3 - L'emploi d'épaississants non associatifs permet de réduire les coulures et la sédimentation en augmentant la viscosité à bas gradient de vitesse.

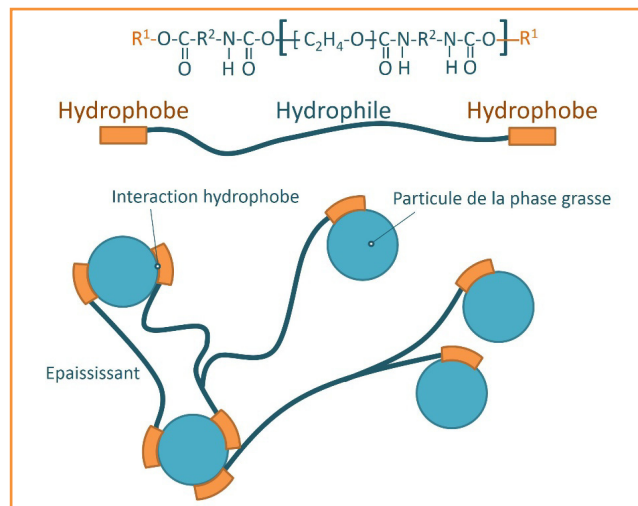


Figure 4 - Un épaississant associatif polyuréthane et les interactions hydrophobes.

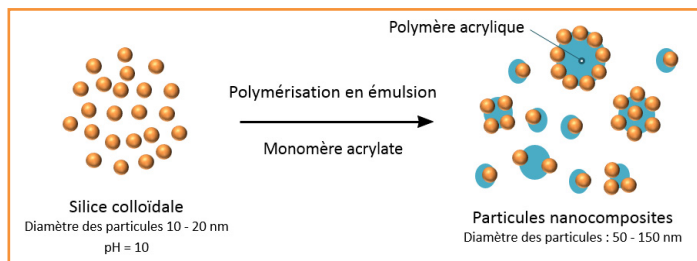


Figure 5 - Obtention d'un nanocomposite par polymérisation en émulsion.

lui dépendent la cohésion du film et son adhésion au support. Il s'agit d'un polymère, souvent employé sous forme de dispersion aqueuse dans le cas des peintures pour le bâtiment. Le choix des liants acryliques s'impose fréquemment en raison de leur polyvalence et de leur stabilité à la lumière. Mais les exigences ne se limitent pas à cela : une peinture façade doit être suffisamment élastique pour assurer l'étanchéité même en cas de fissure. Cela peut s'obtenir en sélectionnant un liant de basse température de transition vitreuse (typiquement, une T_G de l'ordre de 0°C).

Nouvelle difficulté : un tel liant sera certes déformable sans rupture, mais il risque néanmoins d'être collant en surface ! Dès lors, comment éviter un encrassement rapide du film en extérieur, particulièrement en zone urbaine ? Les développements de la chimie des polymères apportent des réponses efficaces à ce problème. Certains liants ont la propriété d'être photoréticulables (ils comportent des insaturations) et durcissent en surface sous l'action de la lumière. Une autre solution est d'employer des nanocomposites, c'est-à-

dire des particules constituées d'une matrice polymère (acrylique par exemple) dans laquelle sont à leur tour dispersées des particules de silice de tailles nanométriques. Une telle structure est obtenue en réalisant une polymérisation en émulsion dans une suspension de silice colloïdale (figure 5). On profite alors de la dureté de la silice, sans affecter la souplesse et la ductilité du liant.

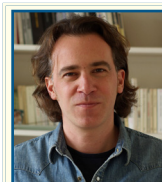
Conclusion : la vie des molécules

Dispersants, épaississants, liants..., autant de composés chimiques qui, sans une compréhension minimale de leur mode d'action, seraient employés comme les ingrédients d'une recette apprise par cœur. Transition vitreuse, polymérisation en émulsion, interactions de van der Waals..., autant de concepts qui se révéleraient bien théoriques pour nos futurs techniciens s'ils n'étaient mobilisés pour résoudre des problématiques industrielles spécifiques. La formulation n'est pas un ensemble de savoirs disjointes. Certes, on ne formule pas un shampoing comme on formule un béton, mais au-delà de ces différences réelles, il existe une cohérence fondée sur une approche toute particulière, dédiée à la compréhension des microcosmes que constituent les formules. Formuler, c'est observer les relations qui se tissent entre les substances partageant leur existence au sein des produits commerciaux. C'est également être capable d'agir sur ces relations en choisissant judicieusement leurs structures chimiques, voire en modifiant ces structures (la formulation concerne également les fabricants de matières premières). L'enseignement de la formulation doit ainsi mettre le futur technicien dans une position active, c'est-à-dire le rendre capable de faire des choix raisonnés pour modifier à son gré les propriétés de son produit. « *Savoir, c'est pouvoir* » disait Francis Bacon.

« *La chimie crée son objet* » semble lui répondre Berthelot, près de trois siècles plus tard, faisant de la chimie la reine des sciences. Depuis longtemps la synthèse permet au chimiste de matérialiser des objets conçus par son esprit. La formulation offre une occasion supplémentaire de placer cette dimension créative au centre de l'enseignement : recherche de nouvelles tendances, développement de formules innovantes, résolution de problèmes en autonomie, chaque étudiant développant son produit, invention de tests permettant de mettre en évidence ses performances. En expérimentant, l'étudiant apprend ainsi à maîtriser progressivement les phénomènes physico-chimiques qui sous-tendent les propriétés recherchées par le public. Comment ne pas voir dans ce véritable terrain de jeu une occasion de stimuler le goût pour la chimie ?

Note et références

- [1] Notons en passant qu'à cette époque, la chimie n'était pas unanimement reconnue comme une « vraie » science car encore en recherche d'un principe unificateur. Or on sait quels furent ses succès au XIX^e siècle ! <https://fr.wikipedia.org/wiki/Formulation> (consulté le 04/09/2015).
- [2] Schorsch G, La formulation : de l'art à la science du compromis. L'histoire et l'actualité de la formulation, *L'Act. Chim.*, **2000**, 241, p. 20.
- [3] Kumar R.N., Anilkumar M. *Formulations. Chemistry, Fundamentals, Units, Calculations, Research, Manipulation, and Data Management*, FRPCAD, **2009**.
- [4] Royal Society of Chemistry, Formulation Science and Technology Group, Rubrique « What is formulating? », www.formulation.org.uk/resources/what-is-formulation.html (consulté le 23/10/2015).
- [5] Aubry J.-M., Schorsch G., *Formulation - Présentation générale*, Techniques de l'Ingénieur, **1999**, j2110, p. 1.



Vangelis Antzoulatos

est enseignant en BTS au lycée de l'Escaut de Valenciennes*.

* Lycée de l'Escaut de Valenciennes, 1 avenue de Saint-Amand, F-59305 Valenciennes Cedex. Courriel : vangelis.antzoulatos@gmail.com