

À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée

Ateliers JIREC 2012 – Introduction

Michel Vigneron

Dans ce dossier figurent des comptes rendus d'ateliers ou encadrés dont les sujets se rapportent aux nouveaux programmes de chimie du lycée : contenus nouveaux, présentations différentes et pratiques pédagogiques fondées sur l'acquisition de compétences par les élèves. Le changement est d'importance et les étudiants qui poursuivront des études supérieures scientifiques auront un profil sensiblement modifié en 2013. Ainsi, les compétences expérimentales ne sont plus centrées uniquement sur la réalisation de protocoles « clés en mains », mais impliquent davantage d'analyses en amont de l'expérience proprement dite et de validation en aval : c'est la démarche dite d'investigation, qui est présente dans l'enseignement de la chimie depuis l'école primaire. Des conséquences de ce choix sont développées dans l'article « **De nouveaux profils étudiants en 2013** » (M.-B. Mauhourat, B. Garreau-de Bonneval et K. Fajerweg, p. II).

Sur le plan des contenus, certains sont totalement nouveaux (RMN du proton, matériaux) et sont en prise avec la chimie qui se fait dans les laboratoires de recherche, alors que d'autres permettent une approche différente de concepts déjà enseignés auparavant : ainsi, les principes de la chimie verte renouvellent l'enseignement de la chimie organique en promouvant une chimie économe et respectueuse de l'environnement – ce qui annonce les JIREC 2013*. La transposition didactique nécessaire pour ensei-

gner ces savoirs nouveaux est évoquée dans l'article « **Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire** » (V. Gilard et A. Gilles, p. V) et celui sur **la chimie organique** (J. Calafell, F. Milon et M. Urrutigoity, p. IX) dans une perspective de formation des enseignants. Enfin, un **zoom sur les nanomatériaux** (p. XI) permet de montrer comment on peut traiter ce sujet et envisager une activité expérimentale appartenant au thème « matériaux » de l'enseignement de spécialité physique-chimie de terminale S, dans ce nouvel esprit.

La lecture de ce dossier détachable permettra certainement à chacun de mieux percevoir les enjeux de cette réforme de l'enseignement de la chimie, dans la perspective d'une meilleure transition entre le lycée et l'enseignement supérieur.

* www.jirec.fr



Michel Vigneron

est Inspecteur d'Académie – Inspecteur Pédagogique Régional (IA-IPR), Académie de Paris*.

* Rectorat de Versailles, 3 boulevard de Lesseps, F-78000 Versailles.
Courriel : Michel.Vigneron@ac-paris.fr

De nouveaux profils étudiants en 2013

Marie-Blanche Mauhourat, Bénédicte Garreau-de Bonneval et Katia Fajerweg

Mots-clés Enseignement, JIREC 2012, nouveaux programmes de chimie au lycée, transition lycée-université.

Cet article fait suite à l'atelier des JIREC 2012 intitulé « Liaison lycée-enseignement supérieur : profil des nouveaux étudiants », qui a réuni une trentaine d'enseignants de l'enseignement supérieur. À la rentrée 2013, toutes les formations post-baccalauréat accueilleront des « nouveaux » lycéens. Afin de favoriser leur réussite en première année, il s'avère nécessaire de bien connaître la formation qu'ils ont

reçue en amont, tant au niveau des contenus que des méthodes d'enseignement. Les programmes dispensés dans les universités, les IUT et les BTS devront prendre en compte ces évolutions. C'est le souci d'assurer une continuité, la plus appropriée possible, qui a prévalu lors de la conception des nouveaux programmes de première année des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE).



L'atelier a débuté par une présentation succincte des nouveaux programmes dont les textes officiels sont publiés au *Bulletin officiel de l'Éducation nationale (BOEN)* [1]. Des documents ressources, notamment les annales zéro du baccalauréat, sont accessibles sur le site « éducol » [2]. Les nouveaux profils, en physique-chimie, des étudiants issus des filières scientifiques des voies générale et technologique sont décrits dans un document rédigé par l'Inspection générale [3]. L'objectif de cette publication est de présenter, de manière synthétique, les thématiques et les contenus abordés en physique-chimie, du collège au lycée, ainsi que les compétences scientifiques et générales visées par les programmes et évaluées au baccalauréat.

Quelques analogies et différences entre ancien et nouveau programme de chimie de la filière S

L'ancien programme de chimie en première S s'articulait autour de « mesurer et créer en chimie », plus précisément autour de l'analyse quantitative et de la synthèse en chimie organique. En terminale S, les propriétés des transformations chimiques – lentes ou rapides, totales ou non, spontanées ou forcées, contrôlables par le chimiste – étaient étudiées.

Dans le nouveau programme, deux modifications sont à noter : une réduction de l'horaire hebdomadaire dédié à la physique-chimie⁽¹⁾ et une approche thématique de la physique-chimie, sans distinction désormais entre la physique et la chimie, autour de trois grandes étapes de la démarche scientifique : « voir » (observer), « comprendre » (modéliser) et « agir ». La plupart des notions et des concepts traditionnellement abordés dans le secondaire sur la constitution, la transformation et l'analyse de la matière le sont toujours. Ce sont approximativement les mêmes que dans les anciens programmes. Une comparaison entre ancien et nouveau programme sur l'exemple des réactions acide-base en filière S est présentée dans l'*encadré* et est résumée dans le tableau publié en *annexe**.

Il faut en outre citer que, pour les filières technologiques STL (Sciences et techniques de laboratoire) et STI2D (Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable), les différences entre les anciens et les nouveaux programmes sont cette fois-ci très importantes, compte tenu des nouveaux objectifs de poursuite d'études qui leur sont assignés. Au niveau des compétences développées et des contenus abordés, les filières technologiques se rapprochent désormais davantage de la voie générale. L'approche contextuelle porte, quant à elle, sur des objets ou systèmes technologiques. L'insertion professionnelle est dorénavant la vocation de la voie professionnelle.

Comparaison entre ancien et nouveau programme sur l'exemple des réactions acide-base en filière S

Quatre points sont abordés pour effectuer cette comparaison : l'étude des transformations et de leur modélisation par une réaction, les couples acide-base, les calculs de pH de solutions aqueuses et les titrages. Un tableau mettant en regard les notions et capacités exigibles dans les deux programmes est présenté en *annexe**.

1. L'évolution d'un système par transformation chimique débutait dès la classe de seconde avec l'établissement du tableau descriptif de l'évolution et la notion d'avancement. Repris en classe de première, ces outils permettaient de déterminer des quantités de matière, notamment lors des titrages, et en classe de terminale d'analyser l'état final d'un système pour introduire la notion d'équilibre chimique, puis d'illustrer l'évolution spontanée vers l'état d'équilibre. Dans le nouveau programme, c'est seulement en classe de première que sont abordées les notions de réactif limitant et d'avancement, le tableau « d'avancement » n'étant plus exigible. La notion d'évolution n'est plus explicitement traitée (suppression du quotient réactionnel) et la notion d'équilibre chimique n'intervient en classe de terminale qu'à propos de la réaction chimique par échange de proton^(a) (partie « comprendre »). La généralisation de ces concepts d'équilibre et de constante d'équilibre associée à une réaction devra être faite dans l'enseignement supérieur. Signalement que le symbolisme d'écriture des équations de réactions n'impose plus le signe égal, mais divers types de flèches.

2. Les couples acide-base étaient introduits en classe de première, à travers la mise en évidence d'un transfert de proton ; ils le sont désormais en classe de terminale seulement. La notion d'acides ou de bases forts ou faibles est à nouveau enseignée. Auparavant, l'étude de l'état final d'un système amenait à attribuer le caractère total ou non à une transformation, et en particulier à celle d'un acide et d'une base sur l'eau. La maîtrise des diagrammes de distribution des espèces devra être assurée dans l'enseignement supérieur.

3. Les calculs de pH en solutions aqueuses faisaient appel, lorsque le cas se présentait, à la constante d'équilibre, à l'état initial et final d'un système, qui permettaient de prévoir ou de valider la valeur d'un pH final. Dans le nouveau programme, seules les « réactions quasi totales » d'acide fort et de base forte dans l'eau ou de mélange d'acide fort et de base forte sont abordées. De ce fait, seul le calcul de pH d'une solution aqueuse d'acide fort ou de base forte de concentration usuelle est exigé. En ce qui concerne les acides faibles, seuls les diagrammes de prédominance sont à réaliser ou à utiliser. Dans l'enseignement supérieur, il conviendra de s'interroger sur les compétences à acquérir dans ce domaine en fonction des nouveaux programmes. En CPGE, il n'est pas explicitement fait référence à des calculs de pH et c'est l'approche de l'ancien programme avec la détermination de l'état final d'un système et l'utilisation des diagrammes de prédominance qui a été privilégiée.

4. Les titrages étaient abordés dès la classe de première S et faisaient l'objet d'une étude approfondie pour bien faire appréhender la notion d'équivalence à travers des suivis conductimétriques et le titrage d'espèces colorées avec des réactions d'oxydo-réduction. Ils étaient repris en classe de terminale avec les suivis pHmétriques et le choix des indicateurs colorés pour les réactions acido-basiques. Ils sont désormais introduits en classe de terminale dans la partie « agir » autour du « contrôle de la qualité par dosage^(b) » ; il s'agit uniquement de titrage direct par pHmétrie, conductimétrie et indicateur de fin de réaction. Le temps consacré aux titrages est donc nettement plus faible que par le passé. En conséquence, la réflexion autour de la notion d'équivalence devra être poursuivie dans l'enseignement supérieur pour une bonne appropriation du concept. Cependant, l'autonomie et l'initiative attendues en travaux pratiques devraient amener les lycéens à avoir davantage de recul et/ou d'esprit critique lors du choix des solutions titrantes ou des résultats des titrages, avec notamment le travail engagé sur les mesures et incertitudes^(c).



- (a) Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a . Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides aminés).
- (b) Dosages par titrage direct ; réaction support de titrage, caractère quantitatif ; équivalence dans un titrage, repérage de l'équivalence pour un titrage pHmétrique, conductimétrique et par utilisation d'un indicateur de fin de réaction.
- (c) Marchal F., Rabier P., Evaluation de l'incertitude de mesure du titre hydrotimétrique d'une eau de boisson, *Le Bup*, 2011, 105(935), p. 719 ; Ducamp C., Hallery I., Marchal F., Estimation de l'incertitude de la mesure, détermination expérimentale du degré d'acidité du vinaigre, *L'Act. Chim.*, 2013, 374, p. 36.

Quelles conséquences pour la conception des programmes de 1^{ère} année de CPGE ou de L1 ?

Lors de l'élaboration des programmes de chimie de CPGE, les concepteurs se sont placés dans un esprit de continuité avec le secondaire, ce qui est explicité dans le préambule commun aux programmes de toutes les filières⁽²⁾. Les contenus disciplinaires débutent tous par l'évolution des systèmes, vers l'état d'équilibre d'une part et leur évolution temporelle d'autre part. Signalons que les compétences expérimentales exigibles s'appuient sur la même grille que celle introduite au lycée et utilisée lors de l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales du baccalauréat [4]. Enfin, les approches documentaires prolongent les analyses et synthèses de documents et les résolutions de problèmes, introduites en spécialité de physique-chimie, sont généralisées à toutes les filières de CPGE.

Dans toutes les universités françaises, les programmes d'enseignement étaient habilités tous les quatre ans par leur ministère de tutelle. Lors de la dernière campagne d'habilitation, l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) a été mandatée par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) pour effectuer les expertises sur les offres de formation proposées. Cette évaluation s'est faite dès 2009 (vague A), lors de plusieurs vagues, et se poursuit actuellement. Dans tous les rapports rendus par l'AERES [5], les items officiels analysés sont les suivants : le projet pédagogique, les dispositifs d'aide à la réussite, l'insertion professionnelle, la poursuite des études et le pilotage des licences. Dans la plupart des universités, les nouveaux parcours de formation proposés permettent une orientation progressive des étudiants en licence (selon le schéma LMD [6]). Certaines universités proposent en plus des parcours dits « spécifiques » ou « spéciaux » (préparations entrée écoles d'ingénieurs, parcours concours et recherche, parcours aménagé pour les bacheliers technologiques), souvent à capacité d'accueil limitée [7]. Force est de constater que, au regard du calendrier de la réforme des programmes du lycée, tous les enseignements universitaires mis en place à ce jour ont été réfléchis sur la base des anciens programmes de lycée.

En termes d'organisation, dans la majorité des habilitations déposées, les enseignements sont structurés autour d'un cours magistral, de travaux dirigés et de travaux pratiques. Or, si cette ancienne répartition correspondait à la vision de l'enseignement à l'université il y a quelques années, il est difficile aujourd'hui d'accueillir dans ce cadre les nouveaux étudiants issus de la réforme du lycée décrite précédemment. À cela s'ajoute le fait que toutes les réformes pédagogiques se heurtent souvent à des problèmes logistiques liés essentiellement au manque de places et de salles d'enseignement disponibles. Il faut souligner également que dans le cadre de la loi relative aux libertés et responsabilités des universités appelée aussi loi sur l'autonomie des universités [8], les différences de coût d'un enseignement dispensé en cours magistral ou en travaux dirigés sont davantage prises en considération. Durant cet atelier des JIREC 2012, les échanges ont porté sur l'ensemble de ces aspects et changements.

En termes de présentation des contenus des offres de formation, les syllabus proposés aux étudiants présentent un résumé succinct des connaissances enseignées, mais en aucun cas des outils pédagogiques mis en œuvre pour l'apprentissage des contenus. Le contrôle des connaissances

en L1 prend la forme, soit d'un contrôle continu tout au long du semestre, soit de partiels et d'un examen terminal à la fin du semestre.

Si l'on s'intéresse aux offres de formation dans le domaine « Sciences, technologie et santé », et particulièrement à la mention « sciences de la matière », les disciplines enseignées sont généralement les mathématiques, la mécanique, l'informatique, les sciences pour l'ingénieur, la physique et la chimie. Ces formations correspondent à la demande du MESR : « **La première année de licence est moins spécialisée et est davantage recentrée sur les fondamentaux** (nouvelles technologies, langues, méthodologie, expression écrite et orale...) » [9]. En fonction des maquettes proposées par chaque établissement, certaines de ces matières peuvent faire partie d'enseignements d'exploration (appelés d'approfondissement ou de découverte) ; ils permettent aux étudiants de conforter leur choix d'orientation ou de se réorienter dès la fin du premier semestre de L1.

Intéressons-nous maintenant plus particulièrement à la chimie. À la lecture des nouveaux programmes de lycée, les étudiants arrivant à l'université en septembre 2013 vont être confrontés en plus des nouvelles structures d'enseignement déjà citées, à une méthode d'apprentissage totalement différente. Les **deux points forts** de la réforme des programmes du lycée portent sur l'**autonomie** des élèves et la **démarche d'investigation** [10]. Le **point faible** est lié à la diminution des heures d'enseignement de physique-chimie. Jusqu'à présent, les travaux pratiques, surtout en L1, n'utilisaient pas ou peu la démarche d'investigation. Ces deux nouveaux paramètres (*techniques pédagogiques d'apprentissage et nouveaux contenus des programmes*) doivent être intégrés de manière urgente dans les enseignements de L1 alors même que la dernière habilitation universitaire vient à peine d'être mise en place dans certaines universités pour plusieurs années, sans calendrier pour les futures modifications. Cette intégration devra donc se faire hors du cadre de l'habilitation. Lors des discussions menées durant cet atelier, les enseignants présents affichaient une connaissance succincte sur ces deux points clés. Pour certains, leurs inquiétudes portaient sur le contenu dans les matières scientifiques en général enseignées au lycée. La suppression de notions mathématiques, comme les équations différentielles, indispensables aux enseignements de physique ou de chimie, est apparue comme alarmante pour la plupart des enseignants universitaires présents ; il conviendra donc de les faire acquérir en L1.

Conclusion

Pour préparer les élèves à l'enseignement supérieur, leur autonomie a été développée au collège et au lycée par le biais d'activités variées, comme les tâches complexes, les démarches d'investigation et les résolutions de problèmes. La prise en charge de ces « nouveaux » lycéens à l'université, et dans toutes les autres formations post-baccalauréat, nécessitera de la part des enseignants de l'enseignement supérieur la connaissance des contenus et des méthodes d'enseignement au lycée. De même que des commissions d'enseignants sont mises en place afin d'améliorer les transitions école-collège et collège-lycée, il serait très opportun de transposer ces dispositifs à la transition lycée-enseignement supérieur. Cela nécessitera des rencontres structurées et préparées entre enseignants du second degré et enseignants de filières post-baccalauréat afin que les enjeux de la formation des élèves-étudiants dans le cadre du cycle bac - 3, bac + 3 soient partagés par tous les acteurs.

Notes et références

- * Annexe téléchargeable librement sur le site www.lactualitechimique.org, à partir de la page liée à cet article.
- [1] 30 minutes en seconde et 1 h 30 en première S de moins en physique-chimie par semaine, ce qui conduit à globalement 72 h de chimie en moins.
 - [2] « Le programme de chimie de la classe de PCSI s'inscrit dans une double continuité, celle des programmes du lycée rénové et celle des enseignements dispensés dans les écoles d'ingénieurs, et plus généralement des poursuites d'études universitaires. »
 - [3] *Bacheliers scientifiques des voies générale et technologique à compter de la session 2013 ; Formation en physique-chimie au collège et au lycée*, document rédigé par le groupe physique-chimie de l'Inspection générale de l'Éducation nationale : <http://eduscol.education.fr/pid26017/programmes-du-lycee.html>
 - [4] <http://eduscol.education.fr/cid58020/des-sujets-de-physique-chimie-au-baccalaureat.html>
 - [5] *Nouveaux profils des étudiants scientifiques en physique-chimie, à partir de la rentrée 2013*, Document de l'Inspection générale de l'Éducation nationale, groupe physique-chimie : http://eduscol.education.fr/mstl/actualites/profils_en_physique-chimie_des_bacheliers_scientifiques_2013
 - [6] <http://physique.discipline.ac-lille.fr/lycee/terminale/terminale-s/evaluations-des-capacites-experimentales/liste-des-sujets/cahier-des-charges/view>
 - [7] www.aeres-evaluation.fr
 - [8] www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20190/organisation-licence-master-doctorat-l.m.d.html
 - [9] www.unistra.fr ; www.univ-tlse3.fr ; www.univ-lille1.fr/etudes/Organisation-etudes/Parcours_specifiques
 - [10] Loi n° 2007-1199 du 10 août 2007 relative aux libertés et responsabilités des universités : www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000824315, consulté le 20/02/2013.
 - [11] www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20277/licence.html
 - [12] Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., La démarche d'investigation pour motiver les étudiants : exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge, *L'Act. Chim.*, **2009**, 334, p. 41 ; Bataille X., Beauvineau E., Calafell J., Cheymol N., Szymczak A., Vigneron M., Évaluer les activités expérimentales..., *L'Act. Chim.*, **2010**, 344, p. 15 ; d'Ham C., La construction de protocole expérimental : objet et moyen

d'apprentissage, *Les Cahiers Pédagogiques*, **2009**, n° 469, www.cahiers-pedagogiques.com/La-construction-de-protocole ; d'Ham C., Girault I., Dans quelles conditions les apprenants peuvent-ils concevoir leurs expérimentations au cours d'investigations scientifiques ?, www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/IMG/pdf/Presentation_JIREC-2012_dHam.pdf.



M.-B. Mauhourat



B. Garreau-de Bonneval



K. Fajerberg

Marie-Blanche Mauhourat

est Inspectrice générale de l'éducation nationale, groupe de physique chimie de l'Inspection générale*.

Bénédicte Garreau-de Bonneval et **Katia Fajerberg** sont maîtres de conférences à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier**.

* Inspection générale de l'Éducation nationale, 107 rue de Grenelle, F-75007 Paris.

Courriel : marie-blanche.mauhourat@education.gouv.fr

** Laboratoire de Chimie de Coordination, 205 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex.

Courriels : katia.fajerberg@lcc-toulouse.fr ;

benedicte.debonneval@lcc-toulouse.fr

Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire

Véronique Gilard et André Gilles

Mots-clés Résonance magnétique nucléaire, RMN, spectroscopie, programme de terminale S, enseignement, JIREC 2012.

Cet atelier à destination des enseignants en lycée avait pour objectif d'échanger autour de l'enseignement de la résonance magnétique nucléaire (RMN) et de la façon d'aborder cet enseignement en terminale. Les programmes de RMN en terminale S ou STL spécifient qu'aucune notion théorique ne peut être exigée. Il s'agit de donner aux élèves les moyens d'interpréter des spectres de molécules simples.

Enseigner la RMN en terminale

Dans le cadre de ce programme (voir encadré), les élèves doivent pouvoir :

- utiliser des tables simplifiées de valeurs de déplacement chimique ;
- utiliser la courbe d'intégration ;
- appliquer la règle $n + 1$.

Extrait du programme de terminale S*

Spectres de RMN du proton

Identification de molécules organiques à l'aide :

- du déplacement chimique
- de l'intégration ;
- de la multiplicité du signal : règle des $(n + 1)$ -uplets

Relier un spectre de RMN simple à une molécule organique donnée, à l'aide de tables de données ou de logiciels. Identifier les protons équivalents ; relier la multiplicité du signal au nombre de voisins.

Extraire et exploiter des informations sur différents types de spectres et sur leurs utilisations.

* MENE1119475A arrêté du 12-7-2011 - JO du 20/09/2011.

Il faut noter que la notion de couplage et l'utilisation des constantes de couplage ne sont pas au programme. La difficulté pour un élève confronté pour la première fois à un spectre de RMN sera d'appréhender puis d'analyser l'ensemble des informations présentes dans le spectre de RMN : déplacement chimique, intégration et multiplicité.

La présentation des notions élémentaires de RMN n'est pas l'objet de cet article. Le lecteur intéressé pourra se reporter aux nombreux ouvrages et sites pédagogiques mis à la disposition des enseignants (voir les références données en fin d'article).

La meilleure façon de présenter l'intérêt de la RMN peut être, pour débiter, de montrer la complémentarité des deux techniques spectroscopiques au programme : l'infrarouge (IR) et la RMN. Dans cette optique, nous avons développé les exemples des spectres de deux esters, le butanoate d'éthyle et le propanoate de propyle, pour lesquels il est aisé de montrer l'apport de la RMN pour la détermination d'une structure développée alors que l'infrarouge ne permet que la détermination de groupes fonctionnels.

La *figure 1* présente les spectres obtenus par spectroscopie IR pour ces deux esters qui sont très similaires. Les bandes d'élongation caractéristiques de la fonction ester, des vibrations C=O ($\sim 1740 \text{ cm}^{-1}$) et C-O ($\sim 1190 \text{ cm}^{-1}$) sont facilement détectables.

Si la spectroscopie IR ne permet pas une discrimination structurale entre ces deux isomères, le spectre de RMN ^1H assure au contraire une distinction aisée, en particulier par l'analyse de la multiplicité des protons méthylènes voisins de la fonction ester. Ainsi, suivant l'ester considéré, le signal le plus déblindé* correspondant au $-\text{CH}_2-\text{O}$ ($\delta \approx 4,1 \text{ ppm}$) est soit un quadruplet, soit un triplet ; il en est de même pour le $-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O}$ ($\delta \approx 2,3 \text{ ppm}$). Ces cas d'esters montrent bien à l'élève l'intérêt de combiner deux méthodes spectroscopiques pour une détermination structurale. La spectroscopie IR permet d'identifier le groupement caractéristique et la RMN de déterminer sa position dans la molécule.

Nous nous sommes ensuite attachés à montrer que des molécules pourtant simples peuvent présenter des spectres relativement complexes ou soulever des difficultés pédagogiques imprévues. Certains points délicats abordés sont brièvement présentés ci-après :

• Les protons labiles des groupes -OH et -NH

Le couplage de ces protons labiles n'est généralement pas observé avec les protons voisins ; ceci est lié au phénomène d'échange de ces protons et à la vitesse de cet échange. À très basse température ou dans des solvants particuliers, on peut observer les couplages de ces protons avec ceux portés par les carbones voisins. Il semble admis qu'en classe terminale, on ne présentera que des spectres avec des singulets pour ces protons labiles.

• Le proton du groupe aldéhyde

Le couplage du signal de ce proton avec les protons des carbones voisins, bien que parfois faible, est observable ; c'est par exemple le cas sur le spectre de l'éthanal où l'on observe un quadruplet ($^3J_{\text{HH}} < 3 \text{ Hz}$). Le spectre se complique dès que la chaîne s'allonge quelque peu. Ainsi pour le propanal, les deux protons du carbone central donnent un quadruplet du fait du fort couplage avec les trois protons du carbone terminal. Mais chaque composante de ce quadruplet (*figure 2*) est décomposée en un doublet par le faible couplage avec le proton du groupe aldéhyde. Ceci est visible même sur un spectre à basse résolution. Ce cas, qui nécessite donc d'appliquer la règle $n + 1$ deux fois successivement, est à la limite du programme de terminale.

• Les protons éthyléniques

Ce cas est complexe car les trois couplages des protons en position *cis* ou en position *trans* ou portés par le même carbone sont tous très différents. C'est le cas du styrène (*figure 3*) pour lequel le couplage géminé (protons portés par le même carbone) est faible ($\approx 1 \text{ Hz}$) et non observable sans étalement du spectre RMN ($J_{\text{trans}} > J_{\text{cis}} > J_{\text{gém}}).$ H_B et H_C ne sont pas équivalents : chacun donne un doublet car il est couplé à H_A . Le proton H_A donne quant à lui un doublet dédoublé du fait des deux couplages différents au lieu d'un triplet.

• Les protons portés par des cycles benzéniques

La spectroscopie de RMN permet d'établir les positions de substituants portés par un cycle aromatique.

Examinons la *figure 4* qui représente l'étalement du spectre de RMN de l'acide acétylsalicylique entre 7 et

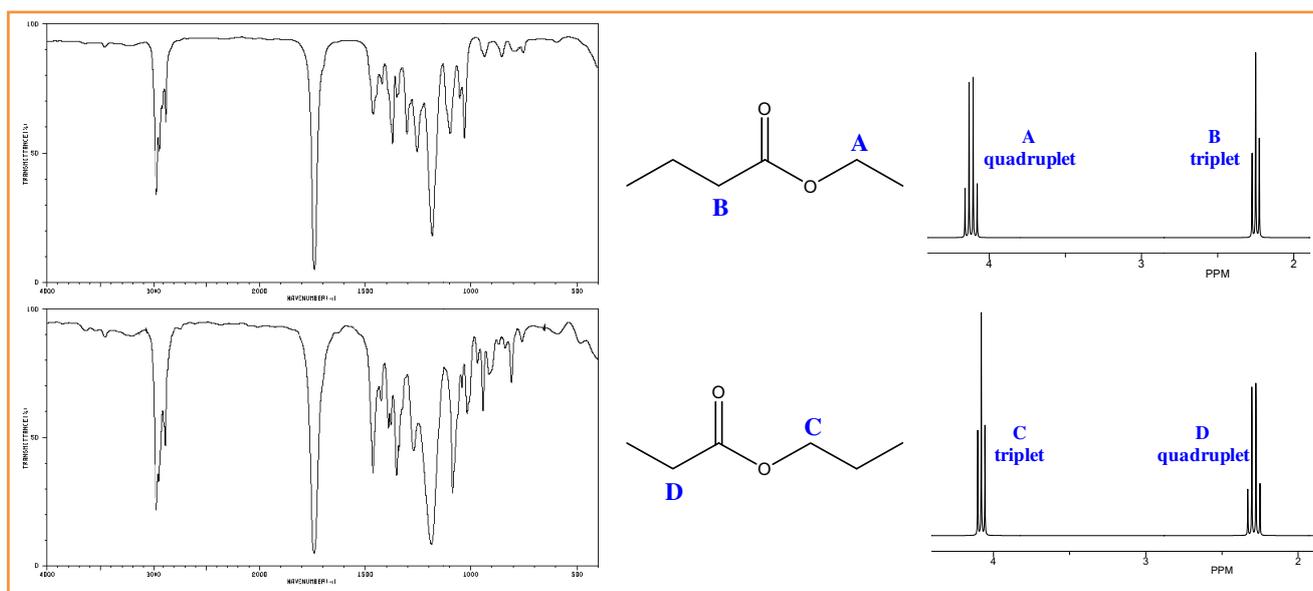


Figure 1 - Spectres IR (SDBSWeb <http://sdbweb.aist.go.jp> - National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 16/04/2013) et spectres de RMN ^1H (spectre partiel de la zone 1,9-4,3 ppm, simulation ChemDraw) du butanoate d'éthyle et du propanoate de propyle.

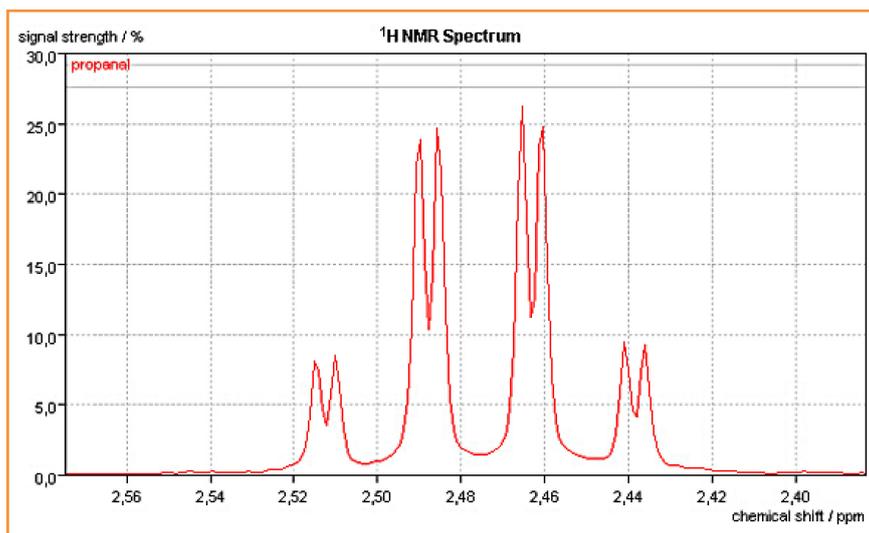


Figure 2 - Étalement du signal du CH₂ du spectre de RMN ¹H du propanal (www.le.ac.uk/spectraschool).

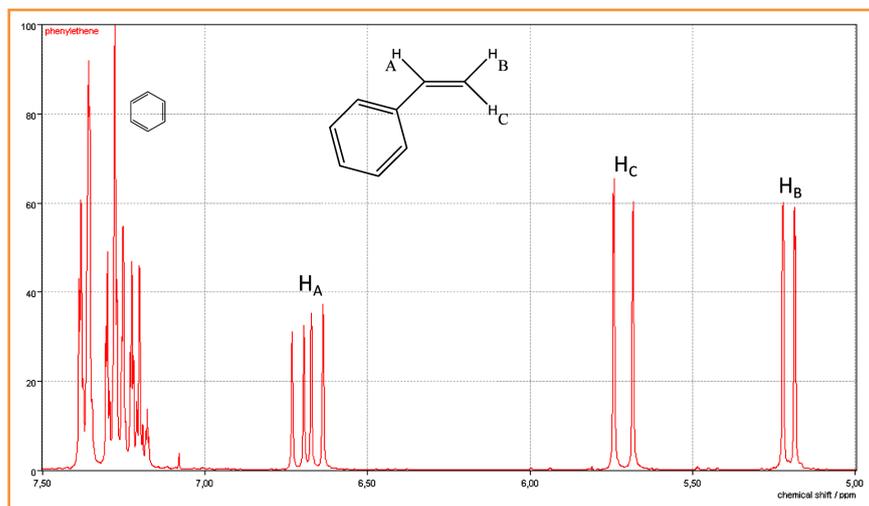


Figure 3 - Spectre de RMN ¹H du styrène (www.le.ac.uk/spectraschool).

8,2 ppm (protons du cycle aromatique). Cette molécule a été choisie car elle est fréquemment rencontrée dans les ouvrages de terminale.

En première approximation, on peut ne tenir compte que du couplage entre les protons qui se trouvent en position *ortho* l'un par rapport à l'autre sur le cycle, c'est-à-dire portés par des carbones voisins. On voit que les protons (c) et

(f) donnent deux doublets alors que les protons (d) et (e) donnent deux triplets. Le spectre confirme donc que dans l'acide acétylsalicylique, les deux substituants sont en position *ortho*. L'approche qui vient d'être décrite est en adéquation avec le programme de terminale.

Une attribution plus précise des quatre multiplets n'est pas indispensable et sortirait du cadre du programme de terminale. Elle nécessite de prendre en compte les effets de blindage ou déblindage des deux substituants : le groupe acide attracteur a un effet de déblindage sur le proton (c) et plus faiblement sur le proton (e) ; le groupe ester donneur a un effet de blindage sur le proton (f) et très faiblement sur le proton (d). Avec ces informations, il est aisé de procéder aux attributions : (c) à 8,11-8,13 ppm ; (e) à 7,59-7,62-7,65 ppm ; (d) à 7,33-7,35-7,38 ppm ; (f) à 7,12-7,15 ppm.

Le cas du paracétamol est également intéressant car cette molécule présente une symétrie où les protons (c) et (g) d'une part et les protons (d) et (f) d'autre part sont équivalents.

La figure 5 présente le spectre de RMN du paracétamol entre 10,00 et 1,00 ppm. En première approche, on observe deux doublets dans la zone des pics des protons aromatiques : en effet, chaque proton est principalement couplé au proton du carbone voisin. Le spectre rend bien compte de la disubstitution en *para* du cycle aromatique de cette molécule.

Conclusion

L'enseignement de la spectroscopie de RMN dans le cadre des programmes de terminale doit passer par un choix d'exemples judicieux, soit pédagogiquement très simples (alcane, esters), ou s'ils sont plus complexes (alcools, alcènes, cycles aromatiques), doit montrer et considérer les difficultés pédagogiques éventuelles qui peuvent aller au-delà du cadre du programme. C'est sur ce point que nous avons choisi d'accentuer cet article car après une première année d'enseignement de la spectroscopie de RMN dans les lycées, les enseignants peuvent être amenés à varier les

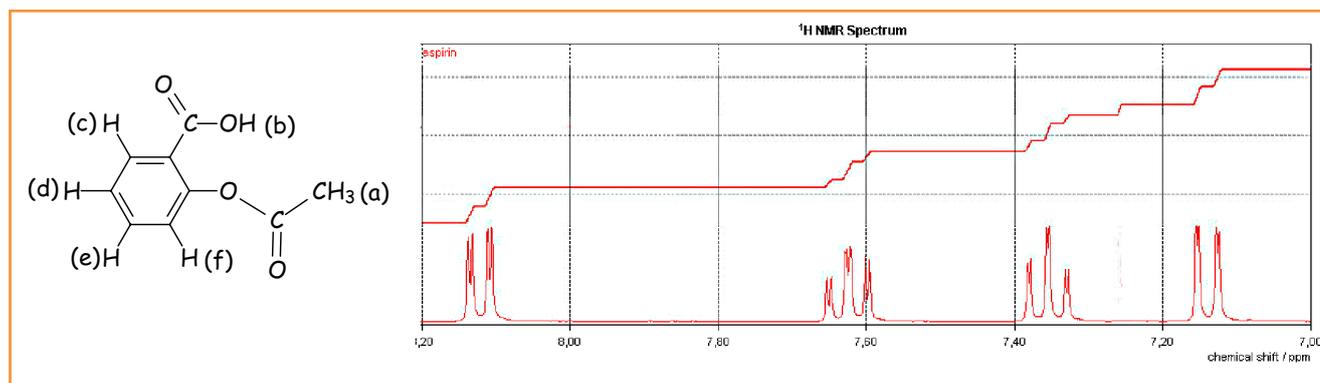


Figure 4 - Spectre de RMN ¹H des protons aromatiques de l'acide acétylsalicylique (étalement 7-8,2 ppm) (www.le.ac.uk/spectraschool).

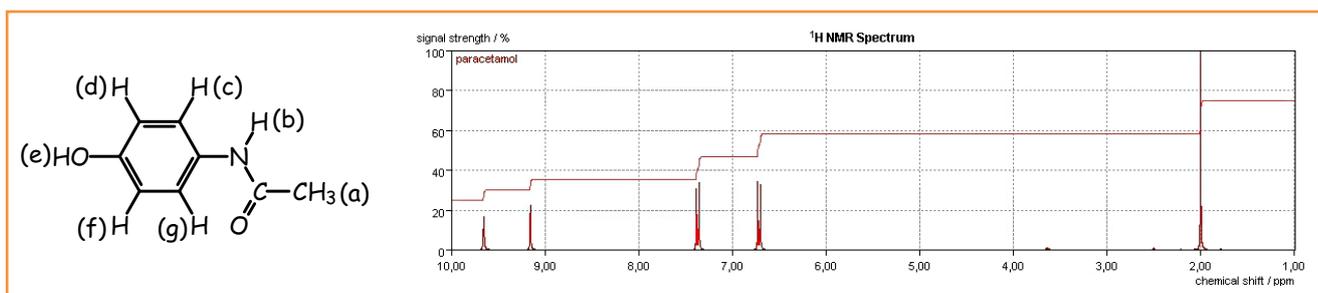


Figure 5 - Spectre de RMN ^1H du paracétamol (www.le.ac.uk/spectraschool).

sources documentaires et être alors confrontés à certains cas présentant des difficultés pédagogiques. Les premiers bacheliers ayant suivi cet enseignement de spectroscopie de RMN vont arriver dans l'enseignement supérieur à la rentrée 2013-2014 où ces cas plus délicats seront alors abordés.

Références documentaires pour l'enseignement en terminale ou pour la 1^{ère} année de l'enseignement supérieur

Cours très simples

- www.web-sciences.com/documents/terminale/tedo06/teco06.php
- culturesciences.chimie.ens.fr/category/terminale-s-58?page=5

Cours au niveau terminale

- physique-chimie-lycee.fr/cours-terminale-s-chimie/obs04_3-spectre-rmn.html

Fiches pédagogiques

- www.ac-limoges.fr/physique-chimie/spip.php?article286
- www.sciences-edu.net/physique/specamp/Landel_TP_06_Spectres_RMN.pdf
- pedagogie.ac-toulouse.fr/sc_phy/site_php/IMG/pdf/3_RESSOURCES_analyse_spectrale_RMN_VF-.pdf
- www.ac-paris.fr/portail/jcms/p1_568216/des-spectres-rmn

Cours de RMN assez complet qui dépasse nettement le programme de terminale S

- www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/phychi2/spip.php?article419

Sites d'exercices

- www.unice.fr/cdiec/multispectroscopie
- www.chem.ucla.edu/~webspectra
- www.nd.edu/~smithgrp/structure/pbm_table.html

Ouvrages de références

- Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J., *Identification spectrométrique de composés organiques*, 2^e éd., De Boeck, **2007**.
- Field L.D., Strenhell S., Kalman J.R., *Organic Structures from Spectra*, 5th ed., Wiley, **2013**.
- Hesse M., Meier H., Zeeh B., *Méthodes spectroscopiques pour la chimie organique*, Masson, **1997**.
- Gunther H., *La spectroscopie de RMN - Principes de base, concepts et applications de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton et du carbone 13 en chimie*, Masson, **1993**.

* La présence d'un groupe attracteur accroît le déplacement chimique des protons : c'est l'effet de « déblindage ». L'effet d'un groupe -OR ou -O-COR est plus fort que celui du groupe -CO-OR. Cette notion n'est pas exigible en terminale.



V. Gilard

Véronique Gilard

est professeur à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier (Groupe de RMN Biomédicale, Laboratoire de synthèse et Physicochimie de Molécules d'Intérêt Biologique-UMR5068)*.

André Gilles**

est professeur CPGE retraité.



A. Gilles

* Université Toulouse 3 – Paul Sabatier, Groupe de RMN Biomédicale, Laboratoire de synthèse et Physicochimie de Molécules d'Intérêt Biologique-UMR5068, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9.
Courriel : gilard@chimie.ups-tlse.fr

** Courriel : a.gilles@orange.fr
www.udppc.asso.fr/national

Synthèse organique et chimie verte

Julien Calafell, Françoise Milon et Martine Urrutigoity

Mots-clés

JIREC 2012, enseignement, addition, élimination, substitution, chimiosélectivité, modification de chaîne, modification de groupe caractéristique, nouveaux programmes, chimie organique, chimie verte, économie d'atomes.

L'atelier de chimie organique/chimie verte des JIREC 2012 a rassemblé une quarantaine de personnes enseignant essentiellement dans le secondaire. Les points délicats du nouveau programme de terminale scientifique [1], tels que modification de chaîne ou de groupe caractéristique, attribution de la catégorie de réaction et chimiosélectivité, ont été abordés sous forme de questions qui ont donné lieu à discussion. Pour la partie chimie verte nouvellement introduite, la notion d'économie d'atomes a été plus particulièrement développée.

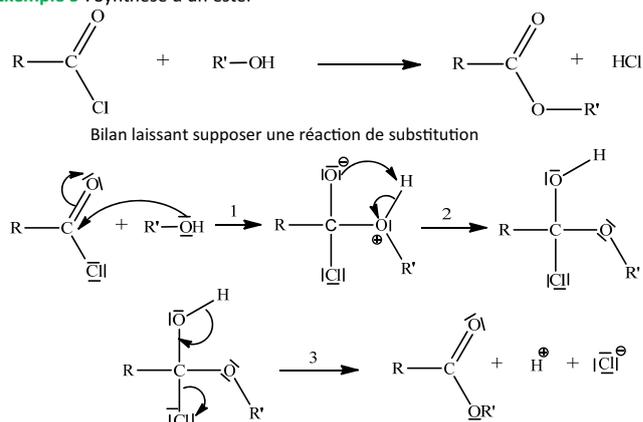
Modification de chaîne et modification de groupe caractéristique

On demande aux nouveaux élèves de terminale scientifique de savoir distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique. Si la réponse est évidente dans certains cas (figure 1, exemples 1, 2 et 3), dans d'autres, la distinction est plus compliquée. L'exemple 4, dans lequel on modifie à la fois la chaîne et le groupe caractéristique, a fait l'objet d'une discussion qui nous a conduits à considérer que le but recherché est la modification de chaîne ; la modification du groupe caractéristique n'est le plus souvent qu'une conséquence de cette dernière. On remarquera que dans l'exemple 3, la chaîne n'est pas modifiée car même si le nombre d'atomes de carbone augmente, il n'y a pas de modification de liaisons C-C.

Grandes catégories de réactions

Il est demandé aux nouveaux élèves de savoir déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, élimination et addition) ; deux points relatifs à cette compétence ont attiré notre attention. Il est tout d'abord important de noter que cette manière de classer les réactions n'est pas exclusive de leur classement dans les réactions d'oxydoréduction (la réaction de bromation des alcènes est une addition, mais aussi une oxydation ; l'hydrogénation des alcènes est une addition, mais aussi une réduction) et qu'il existe des réactions d'échange de protons. D'autre part, si pour les réactions d'addition et d'élimination, la catégorie de réaction est le plus souvent identique selon que l'on s'intéresse au bilan ou au mécanisme réactionnel, ce n'est pas toujours le cas des réactions de substitution [2]. Dans les exemples 5 et 6 (figure 2), le bilan laisse supposer une réaction de substitution. Si le mécanisme de la réaction 6 est en accord avec une telle conclusion, le mécanisme de la réaction 5 de synthèse d'un ester relève d'une réaction d'addition suivie d'une élimination.

Exemple 5 : Synthèse d'un ester



Mécanisme = étapes d'addition (étapes 1 et 2) et d'élimination (étape 3)

Exemple 6

Bilan = substitution : $I^- + CH_3Cl \rightarrow CH_3I + Cl^-$

Mécanisme = substitution :

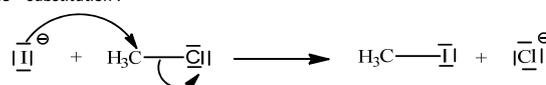


Figure 2 - Catégorie de réaction.

Une longue discussion a eu lieu à ce sujet lors de l'atelier car les collègues enseignant dans le supérieur craignent que les élèves de lycée cherchent à appliquer le mécanisme de substitution à l'estérification. Pour éviter ce problème, peut-être faut-il éviter de traiter ces exemples complexes (addition-élimination), ou alors traiter en parallèle le mécanisme (en demandant aux élèves d'utiliser le formalisme des flèches).

Chimiosélectivité

Dans l'exemple 7 de la figure 3 (synthèse bien connue du paracétamol), les deux groupes $-NH_2$ et $-OH$ sont susceptibles de réagir avec l'anhydride d'acide et seul le groupe amine $-NH_2$ réagit ; on dit que l'anhydride éthanóïque est un réactif chimiosélectif. Une lecture rapide de l'exemple 8 pourrait laisser penser que le réactif de Jones est un réactif chimiosélectif, le groupe acide carboxylique n'ayant pas été modifié. Or ce groupe ne peut pas réagir avec le réactif de Jones. Nous proposons donc la définition suivante : un réactif est chimiosélectif si parmi plusieurs groupes caractéristiques d'une même molécule susceptibles de réagir, l'un d'eux réagit préférentiellement avec le réactif considéré. Le problème est que les élèves n'ont pas la culture suffisante en chimie organique pour savoir si un groupe est susceptible ou pas de réagir ; il faudra donc leur donner cette information. Nous proposons de donner aux élèves la réaction de synthèse de l'aspirine en complément de l'exemple 7 (où on voit bien que la fonction phénol est susceptible de réagir avec l'anhydride éthanóïque) et une information sur la

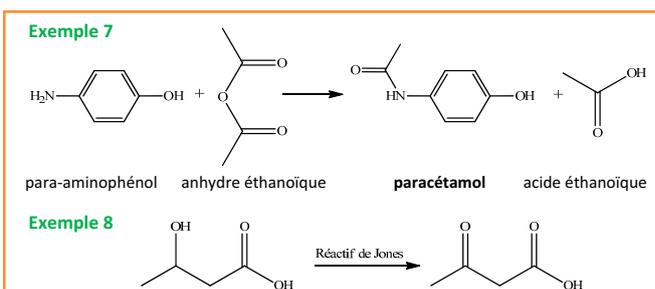


Figure 3 - Utilisation de réactifs chimiosélectifs.

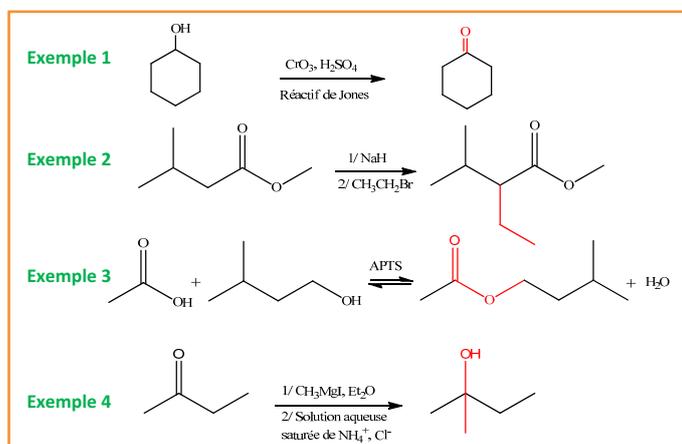


Figure 1 - Modification de groupe caractéristique (exemples 1 et 3) et de chaîne (exemples 2 et 4).

non-suroxydation de la fonction acide carboxylique en complément de l'exemple 8 afin de pouvoir répondre.

Chimie verte

La chimie actuelle représente une force économique importante car elle façonne toute la matière utilisée, entre autres, dans l'industrie. Mais pour ne pas compromettre l'environnement et les ressources naturelles, la démarche des chimistes est maintenant de mettre en œuvre les douze principes de la chimie verte déclinés par Anastas et Warner [3]. La chimie verte, indispensable à un développement durable, est abordée dans les nouveaux programmes de première (sous l'aspect énergétique) et terminale scientifique (apports de la chimie au respect de l'environnement). La chimie verte peut être définie comme la conception, le développement et l'élaboration de produits et procédés chimiques pour minimiser ou éliminer l'utilisation et la génération de substances dangereuses pour la santé et l'environnement [4]. Cette démarche s'attache avant tout à produire en minimisant les déchets, en réduisant au maximum l'emploi de produits toxiques et en utilisant des réactions rapides et efficaces. Parmi ces douze principes, sept présentent un intérêt particulier pour la chimie organique en synthèse :

- éviter les déchets,
- maximiser l'économie d'atomes,
- concevoir des synthèses chimiques moins dangereuses,
- augmenter l'efficacité énergétique,
- utiliser des matières premières renouvelables,
- réduire le nombre de dérivés chimiques utilisés,
- utiliser des catalyseurs.

Le second principe de la chimie verte – maximiser les économies d'atomes – peut être illustré par la définition donnée par B.M. Trost [5] : l'économie d'atomes correspond à l'incorporation, dans le produit final de la réaction, des atomes présents dans les réactifs de départ afin de limiter la quantité de sous-produits et par conséquent de déchets. Dans une synthèse idéale, selon cet unique principe, tous les réactifs de départ se retrouvent dans le produit final à 100 %

Dans la chimie conventionnelle, l'obtention du rendement maximal R était la préoccupation principale :

$$R(\%) = \frac{\text{masse de produit obtenu}}{\text{masse théorique de produit}} \times 100$$

Dans la chimie durable, l'économie d'atomes (EA) entre en jeu et va être définie comme le rapport pondéré de la masse molaire du produit sur la somme des masses molaires des réactifs :

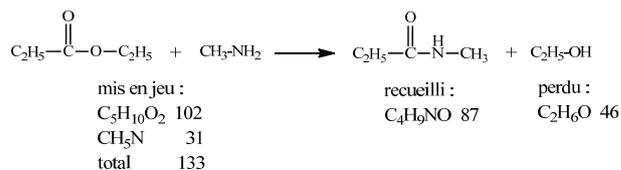
$$EA = \frac{\sum a_i \times M_i(\text{produit désiré})}{\sum b_j \times M_j(\text{réactif})} \times 100$$

où a_i et b_j sont des nombres stœchiométriques et M_i la masse molaire (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

La figure 4 présente des exemples illustrant la notion d'économies d'atomes.

Dans la chimie verte, l'utilisation de solvants plus respectueux de l'environnement est également prise en compte. En effet, les solvants utilisés en chimie organique présentent les inconvénients de toxicité et d'inflammabilité. Une solution de remplacement aux solvants organiques membres de la famille des COV (composés organiques volatils), qui apparaît comme la plus prometteuse, est l'utilisation de solvants de substitution qui sont ininflammables, peu toxiques, avec des tensions de vapeur minimales, tels que les liquides ioniques, le

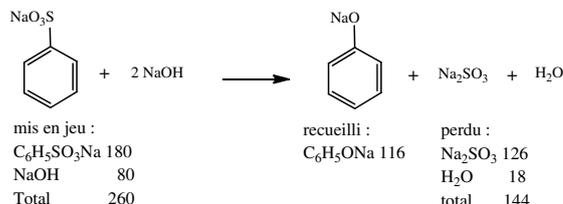
Exemple 9 : Réaction d'aminolyse d'un ester



$$\text{Économie d'atomes : } EA = 87/133 \times 100 = 65,4 \%$$

L'éthanol étant un solvant que l'on peut recycler facilement, l'économie d'atomes est alors de 100 %.

Exemple 10 : Synthèse du phénol par fusion alcaline d'un sulfonate



$$\text{Économie d'atomes : } EA = 116/260 \times 100 = 44,6 \%$$

Ce procédé a été abandonné depuis plusieurs années au profit de la réaction d'oxydation du cumène qui, à partir de l'hydroperoxyde de cumyle formé, permet d'obtenir du phénol et de l'acétone. Les deux produits étant utiles, on peut considérer que l'économie d'atomes est de 100 %.

Figure 4 - Exemples illustrant la notion d'économies d'atomes.

CO_2 supercritique, le polyéthylène glycol ou les carbonates de dialkyles, pour ne citer que ceux-là.

Conclusion

En fin d'atelier, les animateurs ont proposé des activités type bilan permettant d'illustrer les différentes parties du programme de chimie organique : formalisme des flèches, stéréochimie, spectroscopies, catégories de réactions, réactifs chimiosélectifs et chimie verte. Ces différentes parties sont intimement liées ; entre autres exemples : une réaction d'addition est parfaite en termes d'économie d'atomes (principe n° 2), la chimiosélectivité permet d'éviter l'usage de groupes dérivés (groupes protecteurs, principe n° 8), etc.

Références

- [1] *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* spécial n° 8 du 13 octobre 2011.
- [2] Calafell J., Milon F., Gilles A., Détermination du type d'une réaction en chimie organique, *Le Bup*, 2013, 951, p. 129.
- [3] Anastas P.T., Warner J.C., *Green Chemistry Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
- [4] Colonna P., *La Chimie verte*, Lavoisier, 2006.
- [5] Trost B.-M., The atom economy: A search for synthetic efficiency, *Science*, 1991, 254, p. 1471.



J. Calafell



F. Milon

Julien Calafell

est professeur CPGE au lycée Bellevue de Toulouse⁽¹⁾.

Françoise Milon

est professeur agrégé à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier⁽²⁾.

Martine Urrutigoity

est professeur à l'ENSIACET, Toulouse⁽³⁾.



M. Urrutigoity

- (1) Lycée Bellevue, 135 route de Narbonne, BP 44370, F-31031 Toulouse Cedex 4.
Courriel : jcalafell@hotmail.fr
- (2) Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9.
Courriel : francoise.milon@univ-tlse3
- (3) ENSIACET, 4 allée Émile Monso, F-31030 Toulouse Cedex 4.
Courriel : Martine.Urrutigoity@ensiacet.fr

Zoom sur la pratique expérimentale autour des nanoparticules

Le but de ce document n'est pas de délivrer clés en mains des contenus relatifs à une **pratique expérimentale** autour des **nanomatériaux** (thème : « Synthèse de nouvelles molécules et nouveaux matériaux »), mais d'exposer brièvement la démarche de cette activité et l'objectif du nouveau programme de spécialité de physique-chimie en terminale S. Les nanomatériaux, et de surcroît les nanoparticules, appartiennent à la partie « Agir – défis du XXI^e siècle ». La principale contrainte implique que l'ensemble des notions et contenus explicités dans le programme soit traité dans la perspective de l'acquisition par tous les élèves des compétences exigibles précisées dans le programme de terminale S, tout en respectant l'esprit de la démarche scientifique [1].

La démarche scientifique

« Initier l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des **compétences** et le rendre capable de mettre en œuvre un **raisonnement** pour **identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique**. Il doit pour cela pouvoir **mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes**. Il lui faut également **raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe** » (extrait de [1]).

Le programme et donc la formation à la démarche scientifique se situent dans le prolongement de celui de première S [2]. Les programmes de première et de terminale de la série scientifique s'articulent autour des grandes phases de la démarche scientifique : **observer, comprendre, agir**, et s'appuient sur des entrées porteuses et modernes [1].

L'enseignement actuel de spécialité de physique-chimie en terminale S permet à l'élève de se confronter à la démarche scientifique dans son ensemble, à travers trois activités essentielles : la pratique expérimentale, l'analyse et la synthèse de documents scientifiques, et la résolution de problèmes scientifiques.

Le programme comprend trois thèmes : l'**eau**, le **son** et la **musique**, et les **matériaux**. Chacun de ces grands thèmes est lui-même divisé en sous-thèmes avec des mots-clés.

La pratique expérimentale : application à un exemple de nanoparticules

La pratique expérimentale constitue une activité essentielle du programme de spécialité de physique-chimie en terminale S. Il convient de souligner qu'elle « *doit être soutenue et diversifiée et doit favoriser l'initiative des élèves* » correspondant à la logique de la démarche d'investigation [3-4]. Cette dernière implique que les apprenants deviennent responsables de la démarche de résolution d'un problème scientifique [5]. Le but de cet enseignement est d'éveiller la curiosité, l'appétence des élèves (ou étudiants) pour les matériaux nanométriques (nanochimie) et les nouveaux matériaux d'une façon générale.

En s'inspirant de l'atelier « Matériaux et nanomatériaux » présenté aux JIREC 2012, nous exposons la démarche d'une pratique expérimentale intitulée « **Nanoparticules d'or et détection de polluants dans des eaux** », qui comprend deux axes principaux :

- la synthèse et la caractérisation des nanoparticules d'or (AuNP),
- la détection de faibles quantités de mercure.

L'enseignant exerce sa liberté de traiter ces deux aspects de différentes façons, selon ses objectifs pédagogiques et la progression qu'il souhaite mettre en œuvre avec ses élèves durant l'année scolaire. Cette activité autour des AuNP présente l'intérêt de concerner deux thèmes du programme : eau et matériaux. L'enseignant peut ainsi développer cette activité dans un thème plutôt qu'un autre suivant la sélection des documents et des expérimentations envisagées.

Des fiches « professeur » liées aux activités de l'enseignement actuel de spécialité de physique-chimie en terminale S sont disponibles sur Internet. Afin d'illustrer l'activité expérimentale autour des AuNP, un exemple de fiche [6] accompagnée de quelques idées de documents est reporté ci-après.

Fiche « professeur »

Nanoparticules d'or et détection de polluants dans des eaux

Thème 3 : matériaux

Sous-thèmes : nouveaux matériaux

Notions et contenus : nanoparticules (NP)

Mots-clés : synthèse, taille contrôlée, spectroscopie, détection, polluants, eau

Nature de l'activité : activité expérimentale

Type de ressources : documents illustrant les mots clés du programme

Résumé : l'activité permet à l'élève d'analyser diverses informations contenues dans les documents. Il s'approprie la thématique à l'issue de l'analyse de documents (cf. support de travail) et doit être capable de proposer un protocole expérimental qu'il a lui-même élaboré et qu'il expérimentera. Cette activité permet à l'élève de mettre en évidence les propriétés physico-chimiques des nanoparticules pour la détection de polluants pour des applications environnementales.

Documents supports pouvant être distribués aux élèves

- **Document 1** : protocoles simples de synthèses
- **Document 2** : influence de la nature de l'agent de stabilisation des NP
- **Document 3** : description du phénomène de résonance plasmon
- **Document 4** : influence de la taille des AuNP sphériques sur le spectre d'absorption de solutions de AuNP
- **Document 5** : détection de faibles quantités de mercure à partir d'une solution de AuNP de taille contrôlée
- **Document 6** : directive Cadre européenne sur l'eau

Compétences pouvant être mobilisées ou évaluées lors de l'activité expérimentale autour des nanoparticules d'or.

Compétences	Exemples de capacités et d'attitudes (non exhaustifs)
S'approprier	- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation - énoncer une problématique - ...
Analyser	- formuler une hypothèse - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer une modélisation - choisir, concevoir ou justifier un protocole/dispositif expérimental - ...
Réaliser	- suivre un protocole - respecter les règles de sécurité - utiliser le matériel (dont l'outil informatique) de manière adaptée - effectuer des mesures avec précision - reporter un point sur une courbe ou dans un tableau - effectuer des calculs simples - ...
Valider	- exploiter et interpréter des observations, des mesures - vérifier les résultats obtenus - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi... - analyser des résultats de façon critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle - ...
Communiquer	- utiliser les notions et le vocabulaire scientifique adaptés - présenter, formuler une proposition, une argumentation, une synthèse ou une conclusion de manière cohérente, complète et compréhensible
Être autonome, faire preuve d'initiative	- travailler seul, en équipe - proposer et discuter - ...

Pistes d'exploitation avec les élèves

Cette activité expérimentale comprend deux axes principaux :

- la **synthèse** et la **caractérisation des nanoparticules d'or** (AuNP),
- la **détection de faibles quantités de mercure**.

Ces pistes peuvent être complétées en fonction des objectifs pédagogiques de l'enseignant et du contenu des documents.

Compétences des élèves (d'après [7])

L'élève doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'activité expérimentale, qu'elle soit menée partiellement, individuellement ou en groupe.

Les compétences qui peuvent être mobilisées ou évaluées pour la réalisation de l'activité expérimentale autour des AuNP sont données dans le *tableau* ci-contre. Il peut être amendé ou complété en fonction des contenus des documents.

Conclusion

Afin de favoriser les transitions lycée-université, les interactions entre les enseignants de l'enseignement supérieur et les enseignants de lycée sont à privilégier. Les enseignants de lycée pourraient par exemple utiliser certaines publications disponibles dans les établissements de l'enseignement supérieur autour du thème matériaux. Ces publications constitueraient alors un ensemble de ressources documentaires-support qui, après quelques ajustements, pourrait être distribué aux élèves.

Références

- [1] *Bulletin officiel* spécial n° 8 du 13 octobre 2011 (www.education.gouv.fr/cid58166/au-bo-special-n-8-du-13-octobre-2011-programmes-des-classes-terminales.html).
- [2] *Bulletin officiel* spécial n° 9 du 30 septembre 2010 (www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html).
- [3] http://eduscol.education.fr/site.physique-chimie/im_phy/activites-experimentales-en-spcfa
- [4] www.ac-grenoble.fr/disciplines/maths/file/Ressources_GeneralesInspection/JDI_5e_2006/Les_7_etapes.pdf
- [5] Etkina E., Karelina A., Ruibal-Villasenor M., Rosengrant D., Jordan R., Hmelo-Silver C., Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories, *The Journal of the Learning Sciences*, 2010, 30, p. 54.
- [6] www.phychim.ac-versailles.fr/IMG/pdf/act_experimentale_nanoparticules.pdf
- [7] www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/IPR/Doc_officiels/fichiers/ECE-cahier%20des%20charges.pdf



L'Actualité Chimique

SCF, 28 rue Saint-Dominique, F-75007 Paris

Tél. : 01 40 46 71 64 - Fax : 01 40 46 71 63

redaction@lactualitechimique.org

www.lactualitechimique.org