

N° 518 - SEPTEMBRE 2026

l'actualité chimique

LE JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE



**JIREC 2026 :
ENSEIGNER LA CHIMIE
DURABLE**

**LE PLASTIQUE
IDÉAL**

**GRANDS PRIX
SCF**

40 forum HORIZON chimie

Forum Horizon Chimie - 40e édition

Le rendez-vous incontournable entre étudiants et professionnels de la chimie

Le forum célèbre cette année sa 40e édition, basée sur le thème "Héritage et Avenir" marquant quatre décennies de rencontres, d'échanges et d'opportunités pour les futurs ingénieurs. Chaque année, le forum réunit des entreprises, laboratoires et institutions dans le secteur de la Chimie, offrant ainsi aux étudiants un espace privilégié pour s'informer, s'orienter et saisir des opportunités de stages, d'alternances ou emplois.

Pourquoi venir ?

- Échanges entre étudiants, jeunes diplômés et pro
- Découvrir la diversité des métiers de la chimie
- Voir les innovations et enjeux actuels du secteur
- Préparer son orientation et son insertion pro



Activités le jour J



- Conférences d'entreprises : témoignages d'experts sur métiers et innovations
- Ateliers de simulations d'entretiens : sessions individuelles avec des pros
- Aide à la correction de CV et lettre de motivation : retours personnalisés pour améliorer ses candidatures
- Studio photo pro pour CV/LinkedIn : portraits adaptés, effectués par un professionnel, prêts à l'emploi

Maison de la chimie

28b rue Saint-Dominique, 75007 Paris

12 octobre
9h - 18h

Édité par la Société Chimique de France

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

adhesion@societechimiquedefrance.fr

www.societechimiquedefrance.fr

Directrice de la publication : Gilberte Chambaud

Partenariats : CNRS, Fondation de la Maison de la Chimie

RÉDACTION

SCF, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

redaction@lactualitechimique.org

www.lactualitechimique.org

Rédacteur en chef : Pierre Rabu

Rédactrice en chef adjointe : Séverine Bléneau-Serdel

COMITÉ DE RÉDACTION

H. Arribart, J. Barrault, X. Bataille, E. Benedetti, C. Bresson, K. Cariou, C. Cebrian-Avila, C. Clavaguera, P. Colombari, B. Delfort, L. Estournet, K. Fajewerg, D. Fauque, J.-P. Foulon, J. Fournier, A. Gautier, J.-F. Gérard, P. Hirschenhahn, C. Houée-Levin, J. Lalonde, E. Marceau, V. Marvaud, P. Moisy, X. Montagne, J.-M. Paris, A. Perrot, P. Pichat, P. Rabu, A.-V. Ruzette, S. Tencé, H. This, H. Toulhoat, P. Walter, S. Yembou

Publication analysée ou indexée par :

Chemical Abstracts, base de données PASCAL

Crossref : <http://doi.org/10.63133/scf.act-chim>

DOI : 10.63133/scf.act-chim

ABONNEMENT

SCF, Martine Maman

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

adhesion@societechimiquedefrance.fr

COMMUNICATION

SCF, Olivia Pradel

communication@societechimiquedefrance.fr

FABRICATION

MAQUETTE : Redouane Sahih, sahih.redouane@gmail.com

IMPRESSION, ROUTAGE : N. Fortin & ses fils imprimeurs

94800 Villejuif, fortinprimerie@wanadoo.fr

PUBLICITÉ

Tarifs et informations :

<https://new.societechimiquedefrance.fr/lactualite-chimique-le-journal-de-la-scf/publicite>

secretariat@societechimiquedefrance.fr

ISSN version papier 0151 9093

ISSN version électronique 2105 2409

© SCF 2026 – Tous droits de reproduction réservés

Dépôt légal : septembre 2026

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou des ayants droits, ou ayant cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies et les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration.



Une équipe de rédaction qui évolue et un enseignement qui innove

Ce numéro 518 de *L'Actualité Chimique* est une première pour moi en tant que nouveau rédacteur en chef. J'ai pris cette fonction récemment pour rejoindre une équipe dynamique et très motivée au service de notre journal. J'espère être digne de l'héritage des collègues qui m'ont précédé à ce poste et qui ont bâti une revue appréciée et vivante. *L'Actualité Chimique* est une revue à spectre large qui s'adresse à l'ensemble de la communauté des chimistes qui contribuent aussi bien à la recherche de nouveaux composés, de nouvelles approches de synthèse, de nouveaux procédés et leurs applications, qu'à l'enseignement de nos disciplines, de leur histoire et de leur développement les plus récents. En cela, notre revue est un vecteur essentiel d'information pour vous lectrices et lecteurs, et offre un cadre privilégié de communication, pour vous autrices et auteurs. Le nombre croissant de propositions d'articles que nous recevons atteste de votre intérêt pour ce journal.

Ce numéro est aussi le premier faisant suite au congrès triennal de la Société Chimique de France, SCF 2026, qui s'est tenu fin juin à Bordeaux. Ce congrès s'annonçait être un superbe succès au vu du nombre important d'inscrits, de la qualité des intervenants et de l'enthousiasme des organisateurs. Il a malheureusement dû faire face aux conditions climatiques torrides de ce mois de juin à Bordeaux. Malgré tout, les organisateurs et le prestataire ont réussi à maintenir un événement le plus rassembleur et complet possible, en bouleversant l'organisation initiale tout en préservant un maximum d'interventions, donnant une note très interdisciplinaire à toutes les sessions. Toutes les sections et divisions ainsi que le Réseau Jeunes ont investi cet épisode avec un dynamisme incroyable. Cette expérience aura aussi démontré une magnifique solidarité des laboratoires et établissements bordelais qui ont accueilli l'événement. À tous ces acteurs, la SCF est infiniment reconnaissante et nous espérons que cet élan solidaire de la communauté dans un

moment difficile servira à motiver les participant·es et les partenaires de nos prochains congrès.

Ce numéro est spécialement consacré à un autre congrès important que sont les Journées de l'Innovation et de la Recherche pour l'Enseignement de la Chimie. Les JIREC 2026 se sont déroulées fin janvier 2026 à Sète. Un ensemble d'articles présente différents aspects abordés lors de ces journées dont le thème principal était « Chimie, Transition écologique et Développement soutenable ». Vous y trouverez une belle illustration de l'imagination de nos enseignants pour éveiller les élèves et les étudiants à la chimie et construire des enseignements originaux, ludiques, interdisciplinaires, mettant à profit les techniques les plus récentes telles que la réalité virtuelle ou les approches numériques.

L'enseignement de nos disciplines intègre aussi les aspirations du public concernant l'environnement, le climat ou la frugalité et évolue aujourd'hui dans son contenu et ses méthodes pour répondre aux questions sociétales actuelles. Ainsi, « chimie verte » et « développement durable » sont de plus en plus prégnants, le cycle du carbone est un thème privilégié, la prospective énergétique et climatique s'invite dans les formations à la chimie de demain.

En complément, vous trouverez nos rubriques récurrentes écrites par des auteurs et autrices toujours aussi pertinents, ainsi qu'un ensemble d'actualités, en particulier un « À propos » sur l'éthique du référencement bibliographique et un retour sur la 4^e édition nationale du *French Industrial Chemistry Symposium* (FICS 2026).

Notre revue se veut à l'image de la chimie, foisonnante, présente dans de très nombreux domaines, consciente de son histoire et prête à répondre aux défis actuels et futurs, en phase avec un monde en constante évolution. Bonne lecture !

Pierre Rabu,
Rédacteur en chef

ÉDITORIAL

Une équipe de rédaction qui évolue et un enseignement qui innove, par **P. Rabu**

CLIN D'ŒIL ÉTYMOLOGIQUE

À propos d'undécylénates, par **P. Avenas**

LE GRAIN DE SEL DU RJ-SCF

Projet ECO2R : recycler, comprendre... et réinventer le plastique, par **R. Heller Dos Santos** et **N. Jourdainne**

CHIMIE VERTE INSIGHTS – REGARDS SUR LA CHIMIE VERTE

De la molécule fossile au carbone circulaire : la chimie face à son tournant, par **P. Vié**

À PROPOS DE

Références et honnêteté scientifique, par **H. This**

JIREC 2026 – CHIMIE, TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DÉVELOPPEMENT SOUTENABLE

Coordinateurs : Karine Molvinger, Jean-Yves Winum et Julien Bonin

Les JIREC 2026 – Chimie, transition écologique et développement soutenable, par J.-Y. Winum et K. Molvinger	11
D'un référentiel de compétences aux unités d'enseignement : une démarche collaborative en licence de chimie, par Y. Filali , pour l'équipe pédagogique de la Licence de Chimie, prix DEF 2025	16
CAP'VR : la réalité virtuelle au cœur de la transformation des travaux pratiques, par M. Sylla-Iyarreta Veitia , pour l'équipe pédagogique de CAP'VR, prix DEF 2025	21
2035 : et si la chimie verte était devenue la norme ? Léa et Pierre, deux parcours au cœur d'une chimie transformée, par G. Chatel	25
Une réaction photochrome pour construire des séances de TP originales afin de travailler des notions de cinétique et les incertitudes, par S. Clède et J. Piard	27
Enseigner la transition écologique au sein de la formation en chimie à l'IUT d'Aix-Marseille, par C. Cordier , C. Franklin et M. Monnot	30
Chimie verte et développement durable : le cas du BUT Chimie à Castres. Comment transformer l'essai ?, par D. Agustin	32
Enseigner la transformation chimique au collège à travers le cycle du carbone, par M. Sudriès et D. Cross	34
Soutenir la transition écologique grâce au design-fiction, par N. Hervé , J. Huez et N. Even	36
Projet interdisciplinaire en pharmacie autour des flavonoïdes, par F.-X. Toublet , P. Trouillas , A. Lévêque , C. Fagnère et C. Pouget	39
Flashcards numériques pour la chimie organique, par V. Alezra , C. Bournaud et H. Dorizon	42
Expérimenter avec le quotidien : vers une chimie frugale, par J. Piard , R. Meallet et L. Lebrun	44
Whom? : une application ludopédagogique pour l'enseignement de la chimie, par M. Rivallin , C. Carcel , S. Druon , V. Berry , S. Druon , C. Surribas , C. Pelissier et M. Robitzer	47
Former à la chimie de demain : quand le projet DécarboChim s'empare des scénarios prospectifs de l'ADEME, par C. Guédon et N. Even	49
Atelier SPINS : une maquette de spectromètre RMN pour enseigner la RMN autrement, par J. Forté , R. Maruchenko et T. Lacom	51

INDUSTRIE

Retour sur la 4^e édition nationale du *French Industrial Chemistry Symposium* (FICS 2026), Paris, 24 avril 2026

EN BREF

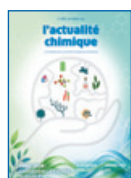
LIVRES ET MÉDIAS

AGENDA

ACTUALITÉS DE LA SCF

UN POINT SUR

Fiche n° 137 : Synthèse totale des (+)- et (-)-myrioneurinols par une stratégie impliquant une réaction de Barton-McCombie résolutive, par **P. A. Peixoto**



Couverture :

À partir de l'illustration réalisée par Florence Rouessac et Jean-Yves Winum pour l'affiche des JIREC 2026, DR.

À propos d'undécylénates



La grande feuille du ricin, palmée à neuf lobes (Parvathisri, CCA-SA 3.0).

Un undécylénate est un sel ou un ester de l'acide undécylénique, qui s'obtient par une décomposition de la ricinoléine, le constituant principal de l'huile de ricin.

L'étymologie de *ricin*, et celle de son équivalent anglais, *castor plant*, ayant fait l'objet d'un clin d'œil en 2014*, le présent article porte sur les noms des produits issus de l'huile de ricin : l'heptanal, historiquement nommé *oenanthol* (*ænanthol* dans le *Petit Larousse*) et l'acide undécylénique.

À propos du bouquet du vin

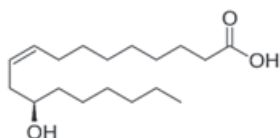
Dans leur publication franco-allemande de 1836, Jules Pelouze, professeur de chimie à l'École polytechnique, et Justus von Liebig, chimiste et agronome, décrivent la substance de l'arôme, ou bouquet du vin, qu'ils nomment en allemand *Oenanthäther*, l'acide correspondant étant *Oenanthsäure*, soit en français éther ou acide *œnanthique*. L'élément *oenanth-* est formé sur le grec *oinanthê* (de *oinê*, « vigne », *oinos*, « vin », et *anthê*, « fleur, bouquet »), désignant le bourgeon ou la fleur de la vigne. L'acide *œnanthique* est l'acide organique saturé à 7 carbones, dont le nom systématique est acide *heptanoïque*.

Alcool ou aldéhyde

C'est justement Liebig qui avait créé en 1835 le terme *aldéhyde*, en allemand *Aldehyd*, de *al*(cohol) *dehyd*(rogenatus), et il recommandait pour passer de l'alcool à l'aldéhyde, de remplacer la terminaison *-ol*, la fin d'alcool, par *-al*, le début d'aldéhyde, donc d'alcool. Cependant, l'ancienne terminaison *-ol* est restée longtemps dans des noms d'aldéhydes. Ainsi, le furfural s'est appelé *furfural* jusqu'en 1860, et le terme *œnanthol* a désigné plus longtemps encore l'aldéhyde en C7. Aujourd'hui, l'IUPAC recommande les noms systématiques *heptanal* et *heptanol*.

La pyrolyse de l'acide ricinoléique

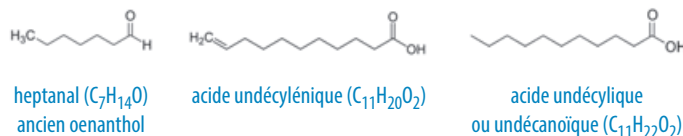
L'acide ricinoléique comporte 18 carbones, dont une double liaison entre les 9^e et 10^e carbones en partant de l'extrémité aliphatique, ω . C'est donc un oméga-9, dans la nomenclature des biologistes (les chimistes partent du carbone carboxylique, α , ce qui, dans ce cas, place la double liaison également entre les 9^e et 10^e carbones).



acide ricinoléique (C₁₈H₃₄O₃)

Dans leurs *Essais chimiques sur l'huile de ricin* (1827), les chimistes français Bussy et Le Canu obtiennent en traitant l'huile de ricin par la chaleur « durant la première partie de l'opération, une grande proportion d'huile volatile, et plus tard, au contraire, principalement de l'huile fixe. » En 1878, le chimiste allemand Krafft précise ces résultats : la distillation/pyrolyse de l'acide ricinoléique aboutit à deux produits, l'un volatil, qu'il désigne par *Oenanthol*, et l'autre non, de formule C₁₁H₂₀O₂, qu'il nomme *Undecylensäure*, d'où acide undécylénique. L'adjectif *undécylénique* vient du latin *undecim*, « 11 », de *unus*, « 1 », et *decem*, « 10 », avec l'élément *-èn(e)* indiquant la présence d'une

double liaison. Krafft montre aussi que son hydrogénation donne l'acide *undécylique*, ou en terme systématique, acide *undécanoïque*.



L'acide undécylénique et ses sels ont des propriétés antifongiques en dermatologie, notamment l'undécylénate de zinc. L'undécylénate de méthyle est un intermédiaire de synthèse, utilisé en particulier dans la cosmétique (sous la marque Oleris® Arkema des dérivés du ricin, dont aussi l'heptanal, l'heptanol et l'acide heptanoïque).

Les acides gras naturels ont généralement un nombre pair de carbones, comme les acides caprique (10 carbones) et laurique (12 carbones) : l'effet biochimique de l'acide undécylénique est en partie dû à son nombre impair de carbones.

De l'acide undécylénique au Rilsan®

En 1938, l'ancienne société Organico tirait de l'huile de ricin l'oenanthol et l'acide undécylénique, ainsi que d'autres produits destinés à la cosmétique et la parfumerie. L'acide undécylénique étant excédentaire, l'idée est venue d'en faire la matière première d'un polymère nouveau, le polyamide 11, analogue au polyamide 6 de DuPont. La mise au point de cette fabrication, du craquage de l'huile de ricin à la polycondensation de l'acide amino-undécanoïque, a été une œuvre collective, associant plusieurs équipes de recherche. Elle a abouti à la mise en production de polyamide 11 en 1948 à Serquigny dans l'Eure. Rapidement, la marque « Rilsan PA11 » est déposée, nom inspiré à la fois de *ricin* et du nom de la *Risle* (qui se prononce /rile/), la petite rivière qui passe par Serquigny et se jette dans l'estuaire de la Seine. Suite à l'évolution de l'industrie chimique française, le polyamide 11 est aujourd'hui un produit essentiel d'Arkema, sous la marque Rilsan®. À ce propos, l'entrée « Rilsan (nom déposé) » est apparue dans le *Petit Larousse* en 1980, mais pas à ce jour dans le *Petit Robert*.



1949



1972

RILSAN®

aujourd'hui

Épilogue

Parmi les polyamides tels que PA 6, PA 6-6 ou PA 12 (Rilsamid® d'Arkema), le PA 11 (Rilsan®), qui est un polymère biosourcé, a pris une place originale. Un exemple inattendu : le Rilsan® a une résistance exceptionnelle aux termites des régions tropicales, une propriété biochimique liée sans doute à son nombre impair de carbones.

*À propos de la ricinoléine,
<https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/a-propos-de-la-ricinoléine-p3-n391>

Pierre AVENAS*,
ex directeur de la R & D dans l'industrie chimique.

*pier.avenas@orange.fr

Projet ECO2R : recycler, comprendre... et réinventer le plastique

À l'heure où l'économie circulaire n'est plus un slogan mais une obligation réglementaire, les plastiques se retrouvent au cœur d'un paradoxe moderne : indispensables et pourtant indésirables. Cette tension est particulièrement visible dans le secteur de l'emballage, qui représente à lui seul près de 40 % des déchets plastiques produits dans le monde [1]. L'Union européenne fixe des objectifs ambitieux, jusqu'à 55 % de recyclage des emballages plastiques d'ici 2030 [2], tandis que la France prévoit la fin de la mise sur le marché des emballages en plastique à usage unique d'ici 2040 [3]. Dans ce contexte, le projet ANR « Éco-conception des filières de recyclage / réutilisation des plastiques biosourcés et biodégradables : poser les bases » (ECO2R, ANR-23-CE43-0005) s'inscrit comme une tentative de réconcilier performance des matériaux et fin de vie maîtrisée à travers le développement d'un emballage alimentaire à la fois biodégradable et recyclable (figure 1).

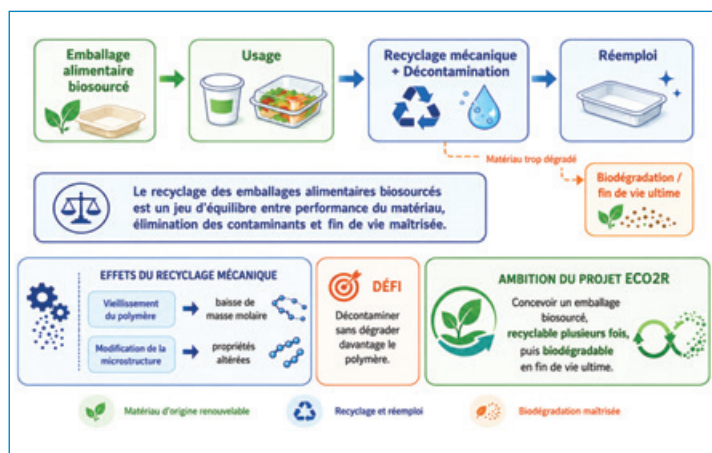


Figure 1 - Vue d'ensemble du projet ECO2R. Les emballages alimentaires biosourcés sont destinés à être recyclés mécaniquement et décontaminés afin de permettre leur réemploi. Le projet vise à limiter les effets du recyclage sur la structure et les propriétés des polymères afin de maximiser le nombre de cycles de recyclage avant une biodégradation contrôlée en fin de vie.

Une économie circulaire... mais pas encore fermée

Le modèle idéal serait simple : produire, utiliser, recycler, recommencer. Dans la réalité, les flux sont plutôt des spirales imparfaites. Une large fraction des plastiques finit encore incinérée ou enfouie, contribuant à la dissémination de microplastiques et à la contamination des écosystèmes [4]. Les bioplastiques, souvent perçus comme « solution miracle », ne font pas exception : biodégradable ne signifie pas nécessairement recyclable, et inversement.

Le recyclage mécanique, méthode la plus répandue, repose sur une idée simple : reformer pour reformer. Cependant, il se heurte à plusieurs limites car le matériau « vieillit » à chaque cycle. Les polymères subissent une dégradation thermique, une diminution de masse molaire et une modification de leur microstructure, entraînant une perte

progressive de propriétés [5]. Résultat : après quelques cycles, le plastique n'est plus vraiment le même.

À cette perte de performances s'ajoute un second défi, particulièrement critique pour les emballages alimentaires : la présence de contaminants. Des substances non intentionnellement ajoutées (« *non-intentionally added substances* », NIAS) peuvent être présentes dans la composition du plastique recyclé. Elles peuvent être néoformées à partir de la dégradation des polymères ou des additifs lors du recyclage, ou bien résulter de contaminations chimiques par migration liées à des résidus d'usage [5]. Ces molécules sont sorbées par le polymère et interagissent avec lui. Leur comportement dépend de leur polarité, de leur masse molaire... mais aussi de l'état structural du matériau [5,6]. La sécurité sanitaire impose donc une étape complémentaire de décontamination aux emballages alimentaires [7] pour garantir leur conformité aux réglementations européennes relatives à l'aptitude au contact alimentaire des matériaux [8,9], qui s'ajoute au processus de remise en forme par recyclage mécanique.

Le recyclage devient alors un jeu d'équilibre délicat : éliminer ces contaminants sans dégrader davantage le polymère. Une tâche d'autant plus complexe que les mécanismes de diffusion et de désorption sont intimement liés à la structure interne du matériau. Ce défi met alors en évidence une question fondamentale : quels sont les paramètres qui gouvernent simultanément la stabilité du matériau et l'élimination des contaminants ?

La structure : le véritable chef d'orchestre

C'est ici que le projet ECO2R apporte une contribution originale : replacer la structure du polymère au centre du problème [10]. Cristallinité, fraction amorphe rigide, mobilité moléculaire... autant de paramètres qui gouvernent à la fois la stabilité du matériau et le devenir des contaminants d'usage, des NIAS et des contaminants modèles utilisés pour évaluer l'efficacité de la décontamination (figure 2). Comprendre leur localisation, leur diffusion et leur élimination constitue

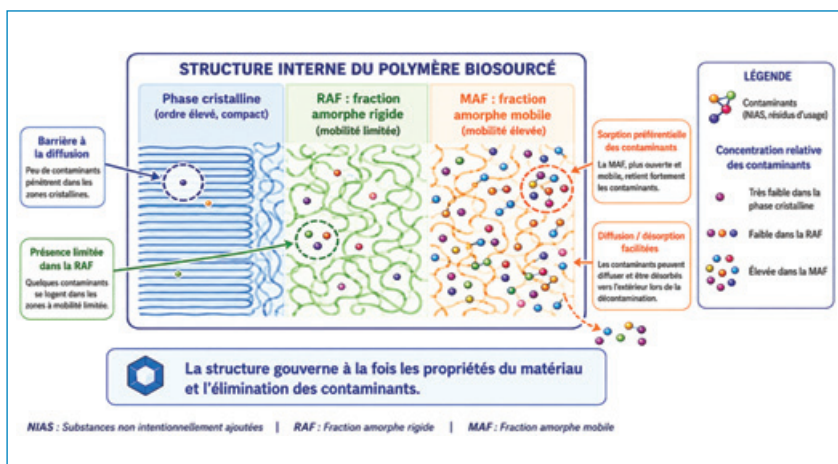


Figure 2 - Représentation schématique des différentes phases structurales d'un polymère semi-cristallin (phase cristalline, fraction amorphe rigide (RAF) et fraction amorphe mobile (MAF)) et de leur influence sur la diffusion, la localisation et l'élimination des contaminants au cours de la décontamination.

la question centrale du projet, dont la réponse est indispensable pour concevoir des procédés de décontamination efficaces sans compromettre les performances du matériau. Autrement dit, comprendre le recyclage nécessite de descendre à l'échelle moléculaire. Le polymère n'est plus un simple matériau, mais un système dynamique, dont l'histoire thermique et chimique conditionne l'avenir.

Vers un matériau idéal ?

Et si le matériau idéal, c'est-à-dire un polymère capable d'être recyclé plusieurs fois sans perdre ses propriétés tout en restant biodégradable en fin de vie, existait ?

C'est précisément l'ambition du projet ECO2R : concevoir des plastiques biosourcés qui ne soient pas condamnés à un seul destin (recyclage ou compostage) mais capables d'alterner intelligemment entre ces voies. Pour y parvenir, le projet vise à identifier les marqueurs structuraux (cristallinité, fraction amorphe rigide, masse molaire, etc.) qui gouvernent la diffusion des contaminants et l'efficacité de leur élimination, afin d'établir une relation prédictive entre structure du polymère et décontamination. Le projet explore notamment une stratégie originale de stabilisation inter-polymères, consistant à utiliser les produits de dégradation de certains biopolyesters comme agents d'extension de chaîne pour en stabiliser d'autres : une forme élégante de « recyclage interne ».

Le futur du plastique ne sera probablement ni linéaire ni unique, mais multiple et adaptatif. Un matériau capable de changer de trajectoire selon son état ; recyclable tant qu'il le peut, biodégradable lorsqu'il le doit.

[1] V. Samborska, *Packaging is the source of 40% of the planet's plastic waste*. Our World In Data, 14/11/2024, <https://ourworldindata.org/data-insights/packaging-is-the-source-of-40-of-the-planets-plastic-waste> (consulté le 28/07/2026)

[2] Règlement (UE) 2025/40 relatif aux emballages et déchets d'emballages, **2025**.

[3] Loi AGECE n° 2020-105 du 10 février **2020**.

[4] N. Jourdainne, M. Ekholm, N. Belkessa, A. Vignon, N. Sbirrazzuoli, C. Combeaud, J.-L. Bouvard, N. Guigo, Mussel Shell Waste as a Bio-Filler in PLLA: Effects on Crystallization, Thermal and Mechanical Performance, *J. Renew. Mater.*, **2026**, 14(7), p. 1-10, <https://doi.org/10.32604/jrm.2026.02026-0040>

[5] S. Palkopoulou, C. Joly, A. Feigenbaum, C. D. Papaspyrides, P. Dole, Critical Review on Challenge Tests to Demonstrate Decontamination of Polyolefins Intended for Food Contact Applications, *Trends Food Sci. Technol.*, **2016**, 49, p. 110-120, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.003>

[6] I. Dedieu, C. Aouf, S. Gaucel, S. Peyron, Recycled Poly(Hydroxybutyrate-Co-Valerate) as Food Packaging: Effect of Multiple Melt Processing on Packaging Performance and Food Contact Suitability, *J. Polym. Environ.*, **2023**, 31(3), p. 1019-28, <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02600-4>

[7] R. Franz, F. Welle, Contamination Levels in Recollected PET Bottles from Non-Food Applications and Their Impact on the Safety of Recycled PET for Food Contact, *Molecules*, **2020**, 25(21), 4998, <https://doi.org/10.3390/molecules25214998>

[8] Règlement (CE) 1935/2004 relatif aux matériaux au contact des denrées alimentaires.

[9] Règlement (UE) 2022/1616 relatif aux plastiques recyclés destinés au contact alimentaire.

[10] N. Jourdainne, R. Heller Dos Santos, S. Gaucel, N. Sbirrazzuoli, S. Peyron, C. Aouf, N. Guigo, Determination of Thermal Transitions in Polyesters by Temperature-Dependent FTIR Spectroscopy, *Polym. Test.*, **2026**, 161, 109267, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2026.109267>

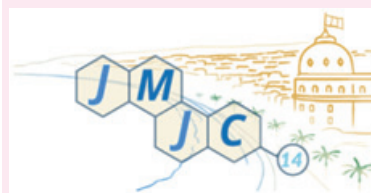
Faites découvrir votre laboratoire à nos voisins européens !

Le RJ-SCF ouvre ses frontières ! En collaboration avec les réseaux de jeunes chimistes allemands et suisses, nous lançons une nouvelle initiative pour faire découvrir les universités et instituts de recherche des trois pays à travers une série de publications conjointes sur les réseaux sociaux. Vous travaillez dans une structure de recherche française et souhaitez faire connaître ses thématiques, ses expertises et ses travaux à de jeunes chimistes européens ? Rejoignez-nous pour présenter votre laboratoire et faire rayonner la recherche française au-delà de nos frontières !

Au fil des mois, plusieurs thématiques seront mises à l'honneur : chimie organique, biochimie, chimie-physique... Envie de participer ou simplement d'en savoir plus ? Contactez-nous*. À vous de jouer pour faire découvrir la richesse de la recherche chimique française à nos voisins européens !

* relations-internationales.rj@societechimiquedefrance.org

JMJC 2026



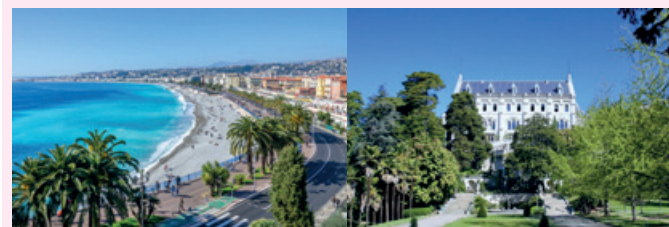
Les Journées Méditerranéennes des Jeunes Chercheurs (JMJC) sont un événement annuel dont la mission principale est de favoriser la communication entre

jeunes chimistes (Master, doctorants, postdoctorants et jeunes chercheurs) du sud de la France en offrant une plateforme unique d'échange et de développement professionnel.

Elles sont organisées à tour de rôle par les universités de Nice, Aix-Marseille, Avignon, Montpellier et Toulon. Cette année, l'Université Côte d'Azur est fière d'accueillir la **14^e édition du congrès à Nice les 8 et 9 octobre 2026**.

Des conférences plénières animées par des chimistes de renommée internationale auront lieu et les participants pourront présenter leurs travaux sous forme de communications orales ou de posters face à un public académique expérimenté, tout en bénéficiant de la proximité régionale de l'événement et de l'absence de frais d'inscription.

* <https://sites.google.com/view/jmjc-2026>



Cet article a été préparé par **Rebeca HELLER DOS SANTOS**, doctorante à l'UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Émergentes, INRAE/Université de Montpellier/Institut Agro Montpellier (rebeca.heller-dos-santos@inrae.fr), et **Nathan JOURDAINNE**, doctorant au Centre de Mise en Forme des Matériaux, UMR 7635 CNRS/Mines Paris – PSL Université, et à l'Institut de Chimie de Nice, UMR 7272 CNRS/Université Côte d'Azur (nathan.jourdainne@minesparis.psl.eu).

Les « Grains de Sel » sont coordonnés par **Lise ESTOURNET**, membre du Bureau national du RJ-SCF, responsable communication (lise.estournet@gmail.com), et **Alexis PERROT**, président du RJ-SCF Normandie (alexis.perrot@ensicaen.fr). Ils sont en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org

De la molécule fossile au carbone circulaire : la chimie face à son tournant

La chimie traverse aujourd'hui une mutation profonde, comparable à celles qui ont marqué son histoire au ^{xx}e siècle. Mais, à la différence des révolutions précédentes, cette transformation ne repose pas uniquement sur des avancées scientifiques ou technologiques : elle est désormais largement dictée par une contrainte globale, systémique et incontournable – le changement climatique.

Limiter le réchauffement global et atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 suppose une transformation radicale du système énergétique mondial. Cette transition, bien que progressive, est déjà engagée et irréversible. Selon les scénarios d'organismes de référence tels que l'Agence internationale de l'énergie (IEA), Det Norske Veritas (DNV) ou encore Energy Institute (EI), la part des énergies fossiles dans la consommation mondiale, aujourd'hui proche de 80 %, pourrait chuter entre 15 % et 60 % d'ici 2050, selon les trajectoires retenues [1-3].

Dans ce contexte, la chimie se trouve à la croisée des chemins. À la fois dépendante du carbone fossile et indispensable à la fabrication de matériaux, d'intermédiaires et de produits essentiels à nos sociétés, elle doit se réinventer. Pour la chimie européenne en particulier, cette transition pose une question centrale : comment concilier défossilisation, compétitivité et souveraineté industrielle ? La chimie verte, entendue comme une démarche de transformation profonde des pratiques, des ressources et des procédés, n'est plus une option : elle constitue désormais une nécessité stratégique, scientifique et industrielle.

Transition énergétique : impacts majeurs sur la chimie

La transition énergétique en cours est d'abord portée par une transformation des usages, en particulier dans le secteur des transports. Aujourd'hui encore, ce dernier représente près de 65 % de la demande mondiale en pétrole [2]. Mais cette situation est appelée à évoluer rapidement sous l'effet combiné de l'électrification des véhicules terrestres, du développement des carburants alternatifs et des politiques publiques de décarbonation.

À l'horizon 2050, les carburants d'origine pétrolière devraient voir leur part diminuer significativement, au profit de l'électricité, de l'hydrogène, des biocarburants et des *e-fuels*, c'est-à-dire des carburants de synthèse produits à partir d'hydrogène et de CO₂. Cette évolution est particulièrement marquée dans le transport routier, où les véhicules électriques pourraient représenter entre 40 et 70 % du parc automobile mondial (selon le scénario APS – *Announced Pledges Scenario* – de l'IEA). Elle concerne aussi l'aviation et le transport maritime, où les carburants durables, notamment le SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) et les carburants synthétiques joueront un rôle croissant [1,4,5].

Cette baisse structurelle de la demande en carburants fossiles entraîne mécaniquement une transformation profonde du secteur du raffinage. Or, historiquement, la chimie est étroitement liée à ce secteur, dont elle utilise les fractions légères (naphta, gaz de raffinerie) comme matières premières. Paradoxalement, dans un monde en transition énergétique, la chimie pourrait devenir un débouché encore plus important pour le pétrole. Selon BloombergNEF (BNEF), la part de

la demande pétrolière destinée à la chimie pourrait passer d'environ 10 % aujourd'hui à près de 18 % en 2050, voire jusqu'à 40 % dans certains scénarios de neutralité carbone [1,6,7].

Ainsi, même si la chimie doit réduire son empreinte carbone, elle restera un acteur central de la valorisation du carbone, au cœur d'un système énergétique en recomposition. La question n'est donc pas seulement de réduire les émissions associées aux procédés chimiques, mais de repenser progressivement l'origine même du carbone utilisé par la chimie.

Raffineries en transition : du carburant aux molécules

La baisse de la demande en carburants traditionnels se traduit déjà par des surcapacités dans le raffinage, notamment en Europe. Plusieurs installations ont annoncé leur fermeture ou leur reconversion ces dernières années (Shell, BP, etc.), et l'IEA estime qu'entre 1 et 1,5 million de barils par jour de capacité de raffinage pourraient être menacés en Europe d'ici 2030.

Face à cette situation, les raffineries évoluent selon plusieurs trajectoires. La première consiste à renforcer l'intégration entre raffinage et pétrochimie. Les modèles dits *refining-to-chemicals* ou *crude-to-chemicals* visent à maximiser la production de molécules chimiques à partir du pétrole brut, en réduisant la part dédiée aux carburants. Cette stratégie est particulièrement développée au Moyen-Orient et en Amérique du Nord, où les acteurs cherchent à capter davantage de valeur ajoutée dans un contexte d'abondance relative des ressources fossiles. La seconde transformation est celle des bioraffineries. Ces installations utilisent des ressources renouvelables et/ou secondaires – huiles végétales, biomasse lignocellulosique, déchets organiques ou déchets plastiques – pour produire des carburants et des intermédiaires chimiques. Le *co-processing*, qui consiste à traiter simultanément des ressources fossiles, végétales ou matières recyclées dans des unités existantes, peut constituer une étape intermédiaire pragmatique, permettant de limiter les investissements tout en amorçant la transition. Plus flexibles et plus territorialisées, ces bioraffineries évoluent vers un double objectif : fournir des carburants à plus faible empreinte carbone, notamment le SAF, et produire des intermédiaires chimiques à plus forte valeur ajoutée.

Décarboner l'énergie, défossiliser la matière

Une spécificité fondamentale distingue la chimie des autres secteurs industriels : elle ne consomme pas seulement de l'énergie, elle consomme du carbone comme matière première. Aujourd'hui, 85 à 90 % des matières premières de la chimie sont d'origine fossile [6].

Dans ce contexte, parler de « décarbonation » de la chimie est en partie impropre. Le carbone reste indispensable à la fabrication des molécules organiques. L'enjeu n'est donc pas de supprimer le carbone, mais de réduire progressivement la dépendance au carbone fossile : autrement dit, de défossiliser les matières premières de la chimie [7]. Trois grandes voies se dessinent :

- La biomasse, qui fournit du carbone biogénique renouvelable (sucres, huiles, lignine, etc.) ;

Définition du mois

Le **CCU (Carbon Capture and Utilization, ou captage et utilisation/valorisation du CO₂)** désigne l'ensemble des technologies qui consistent à capter du dioxyde de carbone, issu par exemple de fumées industrielles ou directement de l'air, puis à le réutiliser comme matière première. Le CO₂ capté peut ainsi être converti en molécules, carburants de synthèse ou matériaux, contribuant à une logique d'économie circulaire du carbone. En chimie verte, le CCU constitue une voie de défossilisation : il ne s'agit pas seulement de réduire les émissions, mais aussi de substituer une partie du carbone fossile utilisé par la chimie. Les recherches actuelles visent aujourd'hui à améliorer l'efficacité des procédés de conversion, à intégrer des sources d'énergie bas carbone, à mobiliser de l'hydrogène plus durable lorsque cela est nécessaire, et à mieux évaluer le devenir du carbone dans les produits formés. Ces enjeux constituent des défis importants pour les prochaines années afin de faire du CCU une brique stratégique de la chimie verte.

- Le recyclage, mécanique ou chimique, permettant de réintroduire du carbone déjà utilisé ;
- Le *Carbon Capture and Utilization* (CCU), qui consiste à capter le CO₂ et à le réutiliser comme matière première.

Selon une analyse du nova-Institute, ces différentes sources pourraient, à l'horizon 2050, contribuer de manière relativement équilibrée au mix de matières premières de la chimie [8,9]. Mais cette transition n'est pas qu'un changement d'origine du carbone. Ces nouvelles sources de carbone sont souvent plus oxydées que les hydrocarbures fossiles : leur transformation en molécules utiles nécessite donc un apport supplémentaire d'énergie et, surtout, d'hydrogène.

L'hydrogène devient ainsi une brique essentielle de la chimie de demain. L'hydrogène « vert », produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable, pourrait représenter jusqu'à 60-70 % de la production mondiale d'hydrogène en 2050, mais son coût, encore élevé aujourd'hui, demeure un verrou majeur [10-12].

La chimie doit se réinventer : l'innovation comme clé

La transformation des ressources entraîne nécessairement une transformation des procédés. Les nouvelles matières premières – biomasse, CO₂, déchets ou matières recyclées – ne peuvent pas être traitées avec les mêmes technologies que le pétrole. Elles imposent de repenser les voies de synthèse, les catalyseurs, les conditions opératoires et les modèles industriels.

Plusieurs axes d'innovation se dessinent.

Le premier concerne les nouveaux procédés chimiques. L'électrochimie, en particulier, ouvre des perspectives importantes. Les approches dites *power-to-chemicals* utilisent de l'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène, qui peut ensuite être mobilisé pour transformer le CO₂ en molécules comme le méthanol ou pour produire d'autres intermédiaires clés comme l'ammoniac. Ces voies sont déjà en développement, même si leur déploiement à grande échelle est attendu plutôt après 2040 en raison des besoins énergétiques considérables [11-13].

Le second axe porte sur les nouveaux matériaux et polymères. L'émergence de polymères biosourcés, recyclables ou biodégradables (PLA, PHA, PEF, etc.) illustre cette dynamique. Parallèlement, les molécules dites « *drop-in* » biosourcées permettent de reproduire des molécules existantes (PE, PET, PP) à partir de ressources renouvelables, facilitant leur intégration dans les chaînes de valeur existantes.

Le troisième axe concerne l'optimisation des procédés existants. Réduction de la consommation énergétique, intensification des procédés, catalyse plus sélective, utilisation de

réacteurs continus : autant de leviers permettant de réduire l'empreinte environnementale de la chimie, en cohérence avec les principes de la chimie verte [14].

Vers une chimie du carbone circulaire

La chimie de demain ne sera plus fondée uniquement sur le pétrole. Elle reposera sur un ensemble diversifié de ressources – biomasse, CO₂, déchets recyclés – intégrées dans des cycles de matière plus circulaires et alimentées par une énergie décarbonée.

Ce passage d'une chimie du carbone fossile à une chimie du carbone circulaire constitue l'un des grands défis scientifiques et industriels du XXI^e siècle. Il implique une transformation profonde des technologies, des modèles économiques et des compétences.

Dans ce contexte, la formation joue un rôle central. Former des chimistes capables de comprendre ces nouveaux enjeux, de maîtriser des disciplines à l'interface (chimie, énergie, biotechnologies, science des matériaux) et d'innover dans un environnement complexe est une priorité, en particulier en Europe.

Car si l'Europe ne dispose pas de ressources fossiles abondantes, elle possède en revanche des atouts majeurs : une base scientifique solide, des ressources en biomasse et en déchets, et un cadre réglementaire structurant. À condition d'investir dans la formation, l'innovation et le passage à l'échelle, elle peut jouer un rôle de premier plan dans la transition vers une chimie verte plus respectueuse de l'environnement.

La chimie verte n'est donc pas seulement un concept : elle est une trajectoire. Une trajectoire exigeante, mais indispensable, pour construire une chimie à la fois performante, responsable et adaptée aux défis de demain.

[1] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2024*, scénario *Net Zero Emissions by 2050 (NZE)*, 2024.

[2] DNV, *Energy Transition Outlook 2024*, 2024.

[3] Energy Institute, *Statistical Review of World Energy 2024*, 73rd ed., 2024.

[4] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Rapports et trajectoires de décarbonation du secteur aérien*.

[5] International Maritime Organization (IMO), *Stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime (GHG Strategy)*.

[6] BloombergNEF (BNEF), *Petrochemical Feedstock Outlook*, 2022.

[7] Rystad Energy, *The Future of Refining: What Lies Ahead to 2050?*, 2024.

[8] nova-Institute, *Evaluation of Recent Reports on the Future of a Net-Zero Chemical Industry in 2050*, oct. 2024.

[9] nova-Institute, *Biobased Building Blocks & Polymers – Webinar*, 6 mai 2024.

[10] International Energy Agency (IEA), *The Refinery of the Future*, mai 2024.

[11] International Energy Agency (IEA), *Global Hydrogen Review 2025*, sept. 2025.

[12] DNV, *Hydrogen Forecast to 2050*, 2022.

[13] IDTechEx, *Carbon Capture & Utilization (CCU) Market 2024–2044*, 2024.

[14] P. Anastas, J. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.

Cet article a été préparé par **Pascale VIÉ**, senior strategy manager & group economist, Strategy & corporate planning, SYENSQO, co-directrice industrielle de la Chimie Verte Academy (pascale.vie@syensqo.com).

La rubrique « Chimie Verte Insights » est coordonnée par **Grégory CHATEL**, directeur de la Chimie Verte Academy, maître de conférences HDR à l'Université Savoie Mont Blanc (gregory.chatel@univ-smb.fr). Elle est en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org

Références et honnêteté scientifique

Hervé THIS

Les erreurs de citations abondent dans les articles scientifiques, et l'utilisation de l'intelligence artificielle n'est pas une panacée contre cette plaie. Promouvons la connaissance et l'honnêteté.

Mots-clés Publication scientifique, références, erreurs, éthique.

La question des références erronées ou fautives dans les articles scientifiques est si grave qu'il vaut mieux la prendre avec un peu d'humour, sans cesser bien sûr d'être sérieux. D'autre part, produire un article de plus à ce sujet risque d'être inutile, tant la question est claire, avec des règles largement diffusées... qui ne sont pas assez suivies. On tente donc ici un exercice un peu différent, idiosyncratique, moins institutionnel, plus vivant, peut-être un peu « bariolé » apparemment, mais qu'importe, s'il est efficace. Et il doit l'être rapidement, car l'utilisation de l'IA se généralise, ajoutant à la cacophonie éditoriale : littérature grise, systèmes éditoriaux submergés, développement des usines à articles, etc.

Pour examiner la question particulière des citations erronées ou fautives dans les articles scientifiques, nous le faisons de manière moins structurée qu'illustrée, en commençant par des observations récentes (factuelles), avant de rappeler quelques résultats quantitatifs à propos de la plaie des mauvaises références, puis de terminer par une réflexion en vue d'une action de tous les instants.

Des faits, toutefois sans pessimisme

C'est un fait, tout d'abord, que les institutions d'enseignement et les institutions scientifiques, observant la déferlante de l'IA, sont préoccupées par les pratiques déviantes à propos des références dans les articles scientifiques. Mais la crainte n'est-elle pas analogue à celle qui était née, naguère, du développement de *Wikipedia* : pour ces deux cas, une facilité d'usage aurait nuit à la qualité des productions intellectuelles. Observant ainsi que le monde n'a guère changé, il reste toutefois l'espoir que nous pouvons améliorer lentement nos communautés par la diffusion des connaissances.

Mais commençons par des faits, et notamment quelques exemples. Au cours de mes propres études bibliographiques, je vois régulièrement, dans des articles scientifiques qui m'intéressent *a priori*, des références à des articles qui n'ont manifestement pas été lus par ceux qui les citent... puisque je n'y trouve pas ce qui est annoncé. Les auteurs de ces mauvaises citations, qu'ils soient hâtifs, médiocres ou malhonnêtes, sont pris en faute quand on s'aperçoit ultérieurement que les références qu'ils citent ne sont pas justes, qu'on leur écrit pour le leur dire... ou quand on découvre que les articles cités n'existent pas.

J'ai eu le cas tout récemment : intéressé par une citation dans un article, et ne trouvant pas le texte cité, j'ai écrit au dernier auteur (le *corresponding author*, sans doute le patron du laboratoire), qui m'a d'abord répondu qu'il n'avait pas le texte en question, mais qu'il allait le demander au premier auteur (un chercheur postdoctoral). Il y avait là une certaine honnêteté, et, de fait, deux heures plus tard, ce collègue – que j'avais

aussitôt remercié – m'indiquait que son jeune collègue n'avait pas non plus l'article. Quelle honte pour tous les deux !

La fin de l'histoire est édifiante : le premier auteur avait pris une citation dans un article qui était accessible, mais cette citation renvoyait vers une revue scientifique... qui n'a jamais existé. Et quand j'ai fait des recherches à propos de l'auteur de la citation, j'ai fini par découvrir qu'il avait été l'éditeur d'une revue qui avait changé trois fois de nom... et que son article que je cherchais était dans une des trois revues, mais avec un nom de revue qui n'était pas celui qui avait été cité. J'ai alors envoyé l'article que j'avais finalement trouvé à nos deux collègues, à la place de qui je n'aimerais pas être.

Pire est le cas des articles qui sont cités pendant des décennies, en chaîne, sans vérification. Dans les pages de cette revue, j'ai récemment mentionné ce cas à propos des réactions fautivement dites « de Maillard » : depuis les années 1950, des historiens de la chimie ont répété à l'envi la référence à deux auteurs, Ling et Malting... mais la preuve qu'ils n'avaient pas lu le texte correspondant se trouve dans le fait que le brasseur anglais A.R. Ling publia en réalité un article à propos de la confection du malt, *malting* en anglais ; il n'y a eu aucun co-auteur du nom de Malting [1]. La recherche bibliographique sérieuse, facilitée aujourd'hui par l'accès numérique aux sources primaires, doit nous aider à corriger nos erreurs ; autrement dit, nous avons moins d'excuses que par le passé, quand la revue que l'on cherchait se trouvait dans une bibliothèque à l'autre bout du monde. En l'occurrence, à propos des réactions fautivement dites « de Maillard », cette recherche bibliographique sérieuse a établi que ces réactions furent découvertes par le pharmacien lillois Lucien Dusart un demi-siècle avant Maillard ; elles furent ensuite explorées par Hugo Schiff, notamment, puis par toute l'école allemande de chimie, avec notamment Emil Fischer, auquel Louis Camille Maillard se réfère 91 fois dans son mémoire !

J'observe en passant que ces recherches historiques doivent non seulement corriger des références erronées ou fautives, mais, de surcroît, elles doivent nous conduire à changer les dénominations, puisque la règle veut que le nom donné à une découverte revienne au découvreur : Dusart, en l'occurrence. Dans le même ordre d'idée, on évitera de parler d'« émulsion de Pickering » pour désigner des émulsions stabilisées par des particules, car ce type de système a été découvert en 1903, par Ramsden [2]. Pickering n'a étudié ces systèmes qu'en 1907, ayant reconnu l'antériorité de son collègue britannique [3]. Mais, pour s'en rendre compte, il faut faire sa recherche bibliographique sérieusement, afin de bien savoir ce dont on parle : on voit que l'on reste dans le sujet de cet article.

Des faits toujours : il n'est pas éthique de citer des textes secondaires, parce que l'on prive alors les vrais auteurs de la paternité de leur découverte, de leur propriété intellectuelle

Pour la science et la technologie des aliments (avec souvent plus de technologie que de science), le cas est plus que quotidien, surtout depuis que se multiplient des synthèses bibliographiques. D'ailleurs, il y a pire : les revues indignes qui publient les articles dont les références sont inappropriées vont parfois jusqu'à réclamer que les références aient moins de cinq ans : là, c'est une incitation à la malhonnêteté... et, au fond, pourquoi ces revues ont-elles cette pratique ? Du temps où le papier coûtait aux éditeurs, on comprenait qu'il fallait limiter le volume des articles (et en refuser beaucoup, pour les mêmes raisons), mais aujourd'hui, alors que les publications sont électroniques, pourquoi cette limitation ?

Des études expérimentales pour établir les faits dans leur généralité

On pourrait penser que les exemples du paragraphe précédent sont anecdotiques... mais ce serait ignorer que, au fil des années, des études expérimentales ont exploré quantitativement la question des références dans les articles scientifiques, et qu'elles ont parfaitement établi la grande généralité de tout cela.

Par exemple, en 2002, Simkin et Roychowdhury ont mis en œuvre une méthode statistique pour estimer la proportion de scientifiques qui ont effectivement lu les articles qu'ils citent [4], en étudiant une loi empirique (la loi de Zipf) qui décrit la répartition des erreurs dans les citations [5]. En étant charitables, ils concluent que seulement 20 % des articles cités ont été vraiment lus entièrement.

Puis en 2020, Smith et Cumberledge ont repris la question, examinant 250 citations prises au hasard, et les comparant soigneusement aux textes cités : 25 % de ce qui était prétendu cité ne l'était pas [6] !

En 2021, Pavlovic *et coll.* se sont d'abord focalisés sur la précision des citations dans 1540 articles de revues biomédicales (2526 citations), avec le concours des premiers auteurs [7]. Puis les vérifications ont porté sur 4912 citations dans 2995 articles : il est apparu qu'il y avait au moins une citation imprécise dans respectivement 11 et 15 % des articles du premier et deuxième groupe. Dans 38,4 % des cas, les résultats cités n'existaient pas ; dans 15,4 % des cas, les résultats cités n'étaient pas correctement interprétés, et un cinquième des citations erronées résultait de citations imprécises en chaîne. Plus anecdotique, une étude de 2023 a porté sur un manuscrit soumis à la revue *World Journal of Mens Health*, avec 172 références à 145 articles : les rapporteurs ont dépisté des erreurs dans 20 % des citations ; neuf citations étaient improprement données, six extrapolaient abusivement des résultats cités, quatre références étaient secondaires, avec deux vers des références qui n'existaient pas, par exemple [8].

Mais évidemment, l'emploi de méthodes numériques permet de bien mieux cerner ce grave problème des références : en 2025, Baethge et Jergas ont fait une étude systématique des références (32 000) dans *PubMed* et *Web of Science*, ainsi qu'une méta-analyse de telles études (46), pour des textes médicaux [9]. Il est apparu que 16,9 % des citations étaient incorrectes, avec environ la moitié d'erreurs « majeures », et sans améliorations dans les dernières années, malgré la facilité accrue de citer correctement. Les auteurs faisaient la différence entre des imprécisions de citation (des noms d'auteurs mal orthographiés, des erreurs dans les numéros de pages) et des erreurs « majeures », de contenu : les résultats qu'ils ont publiés ne concernaient que ces dernières.

Pourquoi ?

J'écris tout cela sans prétendre être blanc : je dois avouer que, il y a bien longtemps, cherchant pourtant à bien faire, je me faisais une règle de citer des articles récents, montrant que j'étais au fait des publications scientifiques. C'était un péché par ignorance : je n'avais pas compris que je privais ainsi de leur paternité, de leur « propriété intellectuelle », les auteurs des découvertes ou des idées auxquelles je me référais. J'ignorais ainsi la règle éthique notamment – et justement – édictée par le *Committee of Publication Ethics* (et par bien d'autres institutions), ce qui, avec les années, est devenu d'autant plus grave que l'évaluation des chercheurs s'est faite sur les citations [10,11].

Comment bien citer, alors ? C'est très simple : s'il y a une idée ou un résultat expérimental, on cite l'auteur de l'idée ou de la découverte. Et s'il y a eu des amendements ultérieurs de cette idée ou de cette découverte, on cite les auteurs initiaux et les auteurs des amendements. Et c'est ainsi que l'on est conduit à citer une chaîne continue de progrès.

Tout cela survient alors que l'intelligence artificielle est de plus en plus utilisée, et nos amis feraient bien de se méfier : plusieurs fois de suite (et avec une proportion très élevée), récemment, l'IA m'a donné des réponses fausses, et, quand je le lui signalais après vérification, elle m'a répondu en substance : vous avez raison [elle cite alors ce que je viens de lui dire], et elle a embelli... avec d'autres informations dont je doute encore.

Pour sourire un peu, alors que les choses sont pourtant graves, ce cas m'est encore venu il y a quelques minutes, quand, demandant à ChatGpt qui était le premier auteur à avoir discuté explicitement l'éthique des citations dans les articles scientifiques, l'IA m'a répondu en me donnant le nom d'un chirurgien anglais ; quand j'ai demandé la référence du texte où la question aurait été traitée, j'ai reçu la réponse : « *Je dois corriger ce que j'ai dit précédemment : je ne retrouve pas de texte précis de William Alanson White contenant la critique explicite des auteurs citant des travaux qu'ils n'ont pas lus. Les recherches disponibles ne permettent pas d'attribuer solidement à White cette remarque* » [sic].

On sait bien que des scientifiques malhonnêtes (méritent-ils d'être dits scientifiques ?) auront recours à des IA pour produire des textes de mauvaise qualité (on voit que je ne dis pas ici que seraient malhonnêtes tous ceux qui utilisent l'IA, mais seulement ceux qui l'utilisent à mauvais escient), mais la question est moins de dépister ces articles mauvais que de bien expliquer les règles de l'honnêteté, et, surtout, de supprimer les mécanismes qui incitent des malhonnêtes à publier de mauvais articles, avec notamment de mauvaises citations. Notamment, dans certaines institutions, on a jugé, et l'on juge encore, les chercheurs au nombre d'articles publiés : c'est d'autant plus mauvais que prolifèrent des journaux « gris » ou « noirs », où les auteurs payent pour être publiés, ce qui est presque une garantie de mauvaise qualité. Il faut certainement dénoncer de telles revues, en publier la liste, pour que soit patent que ceux qui y publient ne sont guère honnêtes... mais cela ne règle pas la question des références erronées ou fautives.

Comment éviter les mauvais comportements ?

Surtout, les constats doivent être suivis d'actions. Et si les lois n'ont jamais arrêté les malhonnêtes, il y a lieu de combattre

d'abord les ignorances, par l'éducation, par l'instruction, par l'enseignement. On citera donc, parmi d'autres, Penders, qui donne dix règles pour citer correctement, après avoir expliqué comment les citations non seulement indiquent comment nos propres travaux se situent dans la chaîne du savoir scientifique, mais aussi comment elles nous confient une responsabilité politique et morale, rappelant que les citations servent à évaluer les travaux et les chercheurs, à distribuer les crédits de recherche, par exemple [12].

Parmi les dix règles, il y a d'abord celle qui consiste à bien inclure toutes les références à des articles importants pour situer son propre travail. Puis il faut citer les publications que l'on mentionne, et les citer d'ailleurs en relation avec le contenu, sans focaliser l'attention des lecteurs de nos manuscrits sur des détails. Il faut citer avec transparence, mais pas avec neutralité : les citations doivent donner une évaluation, signaler un intérêt particulier, une importance particulière dans le contexte de nos propres travaux. Il faut aussi se citer... quand c'est nécessaire, et seulement dans ce cas. Et il faut prioriser les citations que l'on conserve finalement, surtout quand le nombre a été limité par l'éditeur.

Et ainsi de suite : je renvoie vers l'article de Penders... qui mérite non seulement d'être cité, mais d'être lu. À faire étudier dès le premier cycle des universités ? Car c'est de l'« école » à l'« université », et au-delà, qu'il faut diffuser des idées justes, des explications, afin que « la bonne monnaie chasse la mauvaise ».

Surtout, je propose de moins manier le bâton que la carotte. Par exemple en levant les yeux, de la fange vers le ciel bleu : contemplons les personnalités exemplaires, qui nous ont précédés. N'oublions pas de faire rêver : si l'hagiographie a été souvent – et justement – récusée par les historiens des sciences, il reste quelques beaux exemples que nous pouvons tendre sans fard à nos jeunes collègues et à nous-mêmes.

Ainsi, en 1918, dans son discours prononcé pour le 60^e anniversaire de Max Planck, Albert Einstein avait évoqué un « temple de la science », d'où un ange chasserait tous ceux qui ne font pas de recherche scientifique assez « purement » : pour de l'argent, pour du pouvoir, pour du sport... Qui resterait alors ? Ceux qui cherchent naïvement et honnêtement à lever un coin du grand voile, émerveillés par le mystère du monde [13].

Einstein venait d'ailleurs, de ce point de vue, après Michael Faraday, sans oublier tous les autres, moins notoires, tous ceux qui cherchent à faire bien, à faire mieux, et, évidemment, qui s'étonnent des comportements médiocres... comme le sont aujourd'hui bien des pratiques de citation des références bibliographiques. Pour Faraday, que les hasards de la naissance semblaient destiner au métier de relieur, il écrivit : « *Mon désir d'échapper au monde du commerce, qui me paraissait vicieux et égoïste, et d'entrer au service de la Science, dont je m'imaginais qu'elle rendait ceux qui la cultivent aimables et généreux, me conduisit finalement à entreprendre la démarche simple et audacieuse d'écrire à Sir H. Davy [...]; je lui adressais en même temps les notes que j'avais prises de ses conférences* » [14]. Et c'est ainsi que Faraday finit par devenir l'un des plus grands physico-chimistes de son siècle, loué par tous, mais, en particulier, par le chimiste Jean-Baptiste Dumas : « *Un professeur plein de feu pour la diffusion de la vérité, un artiste infatigable,*

plein d'entrain et de gaieté dans son laboratoire, le meilleur et le plus doux des hommes au sein de sa famille, et le prédicateur le mieux inspiré au milieu de l'humble troupeau religieux dont il suivait la foi. La simplicité de son cœur, sa candeur, son amour ardent de la vérité, sa franche sympathie pour tous les succès, son admiration naïve pour les découvertes d'autrui, sa modestie naturelle, dès qu'il s'agissait des siennes, son âme noble, indépendante et fière, tout cet ensemble donnait un charme incomparable à la physionomie de l'illustre physicien. Je n'ai pas connu d'homme plus digne d'être aimé ; d'être admiré ; d'être regretté. » Avec Faraday, les qualités morales étaient garantes des qualités scientifiques : exactitude, honnêteté, persévérance, etc. La modestie de caractère était associée à la modestie des moyens nécessaires à la recherche scientifique. Montrons son exemple à tous... pour que s'améliorent les statistiques en matière de références dans les articles scientifiques.

[1] H. This vo Kientza, Why we should speak of glycation reactions, or of amino-carbonyl reactions, instead of Maillard reactions, *MARS Highlights*, **2023**, 18(3), p. 5-19, www.imarsonline.com

[2] W. Ramsden, Separation of solids in the surface-layers of solutions and "suspensions" (observations on surface-membranes, bubbles, emulsions, and mechanical coagulation), Preliminary account, *Proc. R. Soc. Lond.*, **1904**, 72, p. 56-164.

[3] S. U. Pickering, Emulsions, *J. Chem. Soc.*, **1907**, 91, p. 2001-21, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1907/ct/ct9079102001>

[4] M. V. Simkin, V. P. Roychowdhury, Read before you cite!, *Complex Systems*, **2003**, 14, p. 269-274, <https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.14.3.269>

[5] G.K. Zipf, Selected Studies of the Principle of Relative Frequency in Language, Cambridge (Mass.), Oxford University Press, **1932**, https://pure.mpg.de/rest/items/item_2407800_3/component/file_2459540/content

[6] N. Smith, A. Cumberledge, Quotation errors in general science journals, *Proc. R. Soc. A*, **2020**, 476, 20200538, <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2020.0538>

[7] V. Pavlovic et al., How accurate are citations of frequently cited papers in biomedical literature?, *Clin. Sci. (Lond)*, **2021**, 135(5) p. 671-681, <http://doi.org/10.1042/CS20201573>

[8] A. Agarwal et al., Citation Errors in Scientific Research and Publications: Causes, Consequences, and Remedies, *World J. Mens. Health*, **2023**, 41(3), p. 461-465, <https://doi.org/10.5534/wjmh.230001>

[9] C. Baethge, H. Jergas, Systematic review and meta-analysis of quotation inaccuracy in medicine, *Res. Integr. Peer Rev.*, **2025**, 10, 13, <https://doi.org/10.1186/s41073-025-00173-z>

[10] COPE, **2026**, <https://publicationethics.org/search?query=citation> (consulté le 01/06/2026).

[11] ORI, Ethically Questionable Citation Practices, **2023**, <https://ori.hhs.gov/ethically-questionable-citation-practices> (consulté le 01/06/2026).

[12] B. Penders, Ten simple rules for responsible referencing, *PLoS Comput. Biol.*, **2018**, 14(4), e1006036, <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006036>

[13] A. Einstein, Motivation for Exploration (a speech delivered at the celebration of Planck's Sixtieth Birthday in Berlin), **1918**.

[14] J.B. Dumas, Éloge historique de Michel Faraday, Institut impérial de France, Académie des sciences, Firmin Didot, Paris, **1868**, <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb30373835x>

Hervé THIS* est physico-chimiste, directeur du Centre international de gastronomie moléculaire et physique, INRAE-AgroParisTech, Palaiseau.

* herve.this@agroparistech.fr

Les JIREC 2026 – Chimie, transition écologique et développement soutenable



Les 36^e JIREC se sont déroulées au domaine du Lazaret à Sète (Hérault) du 27 au 30 janvier 2026.

Les 36^e JIREC

Créées par Paul Arnaud, Maurice Chastrette et Roland Lissillour, les Journées de l'Innovation et de la Recherche pour l'Enseignement de la Chimie (JIREC) ont connu leur première édition en 1984 à Biviers, dans la région de Grenoble. Organisées ensuite chaque année jusqu'en 2016, elles se sont imposées comme un rendez-vous majeur de réflexion et d'échanges autour de l'enseignement et de l'innovation pédagogique en chimie. Depuis cette date, les JIREC ont adopté un rythme biennal. Elles sont organisées par différentes équipes pédagogiques, avec le soutien de la Division Enseignement-Formation (DEF) de la Société Chimique de France (SCF). Les objectifs des JIREC visent à améliorer et dynamiser l'enseignement de la chimie dans toutes ses dimensions. Ils cherchent à favoriser les échanges entre enseignants de différentes origines (secondaire et supérieur), à encourager les collaborations et à diffuser les avancées de la recherche et de l'innovation pédagogique. L'accent est mis sur le développement de nouvelles approches d'enseignement, l'intégration d'outils modernes, ainsi que sur le transfert des connaissances

issues de la recherche et du monde industriel vers la formation. Ces objectifs concernent également l'amélioration de la prise en compte des enjeux sociétaux liés à l'éducation en chimie, et la résolution des difficultés spécifiques rencontrées par les enseignants [1-2].

Fidèles à leur vocation de lieu d'échanges entre enseignants du secondaire, enseignants-chercheurs et partenaires industriels, cette année, ces journées ont été consacrées au thème « Chimie, transition écologique et développement soutenable ». Dans un contexte d'urgence climatique et de profondes mutations industrielles liées à la décarbonation, cette édition a interrogé la place de la chimie dans la formation des citoyens et des futurs professionnels face aux enjeux de la transition écologique. Elle a mis en lumière les évolutions nécessaires des contenus scientifiques comme des pratiques pédagogiques.

Durant ces trois jours, plus de 150 participants, venus de toute la France et du Sénégal, se sont réunis pour échanger autour de cette thématique (figure 1). L'événement a rassemblé un public varié composé d'enseignants-chercheurs, d'enseignants du secondaire et du supérieur (classes préparatoires, BTS), d'inspecteurs et de représentants du monde industriel, favorisant ainsi un dialogue riche entre les différents acteurs de la formation et du secteur professionnel.

Ces JIREC ont pu être organisées grâce au soutien précieux de nombreux partenaires et sponsors, que nous remercions chaleureusement (par ordre alphabétique) : Arkema, Chimie Verte Academy, Chromacim, COMUE Toulouse, CNRS, Dunod, École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, Eurosmart, Faculté des Sciences de Montpellier, Fondation de la Maison de la Chimie, France Chimie Méditerranée, France Chimie, OPCO2I, La Gazette du Laboratoire, Institut des Biomolécules Max Mousseron, Institut Charles Gerhardt Montpellier, Institut de Chimie Séparative de Marcoule, Institut Européen des Membranes, Institut de Recherche pour l'Enseignement des Sciences, IUT Montpellier/Sète, Jeulin, Kimiyo, Magritek, Merck, Pôle chimie de l'Université de Montpellier, Rectorat de Montpellier, Sikemia, Texas Instrument, TotalEnergies, Université de Montpellier (figure 2).

Le programme comprenait plusieurs moments d'échanges avec les sponsors de l'événement, présents sur des stands, ainsi qu'une brève intervention de leur part en plénière (180 secondes) (figure 3).

Le thème « Chimie, transition écologique et développement soutenable »

Cette année, la thématique « Chimie, transition écologique et développement soutenable » a été plus qu'un simple fil conducteur : elle s'est imposée comme un véritable moteur de réflexion sur nos pratiques, nos représentations et nos responsabilités. Face aux défis contemporains, notre discipline doit se réinventer, et ces JIREC ont montré avec force que cette



Figure 1 - Les JIREC 2026 ont rassemblé plus de 150 enseignantes et enseignants de l'enseignement secondaire et supérieur.



Figure 2 - Les sponsors des 36^e JIREC.



Figure 3 - Moments d'échanges avec les sponsors sur les stands et durant leur présentation en plénière.

transformation est non seulement nécessaire, mais déjà engagée [3].

Nous avons alterné entre conférences plénières et communications orales, pour partager des connaissances et stimuler les échanges scientifiques. Le mercredi après-midi a été consacré aux neuf ateliers (d'une durée de 2 h chacun), organisés en petits groupes pour encourager la discussion et la

participation active. Les participants pouvaient choisir d'assister à deux ateliers parmi ceux proposés, afin d'adapter leur programme à leurs centres d'intérêt. Notons que le choix des conférenciers a été réalisé par le comité d'organisation, tandis que les interventions présentées lors des ateliers et des communications orales ont été retenues à la suite d'un appel à contributions.

Le programme

Les conférences, communications orales ou ateliers suivies d'un astérisque * font l'objet d'une contribution dans ce numéro. Certaines présentations sont en libre accès et téléchargeables au lien suivant : <https://new.societechimiquedefrance.fr/divisions/enseignement-formation/jirec-2026>

6 conférences plénières

- Frédéric CAVICCHI, médiateur scientifique Arkema, « Matériaux avancés et défis environnementaux »
- Nicolas DACHEUX, Université de Montpellier, « L'énergie nucléaire et le cycle du combustible français : quels atouts pour le climat, et le recyclage et la gestion durable des ressources ? »
- Grégory CHATEL, Université Savoie Mont Blanc, « La chimie Verte Academy : attirer, former et accompagner les chimistes de demain »*
- Gilles TAILLADES, Université de Montpellier, « Contenu scientifiques et outils pédagogiques autour des enjeux de la transition énergétique »
- Sylvain PANAS, TotalEnergies, « TotalEnergies dans les territoires : RSE, innovation et stratégies »
- Stéphane BERGAMINI, France Chimie Méditerranée/Novachim, « Le défi de la réindustrialisation face aux enjeux environnementaux : concilier développement industriel de la filière chimie et transition écologique »

15 communications orales

- Marie SUDRIES et David CROSS, « Vers un enseignement codisciplinaire de la chimie : le cas du cycle du carbone au collège »*
- Jérôme RANDON, « Concentration et quantité de matière : des compétences toujours pas maîtrisées à la fin d'une licence. Comment en est-on arrivé là ? »
- Sylvain CLEDE et Jonathan PIARD « Photochromisme : une alternative verte et abordable »*
- Dominique AGUSTIN, « Chimie verte et développement durable en BUT Chimie »*
- Natalie LE SAUZE, « Former à la décarbonation des procédés en BUT GCGP »
- Franck LAUNAY, « Mise en place et bilan du label vert en licence de chimie à Sorbonne Université »
- Pierre-Xavier MAZIANI, « CPE Lyon innove en pédagogie, alliant chimie et bioprocédés pour l'ingénierie durable : *European Biotechnology for Sustainability* »
- Christèle COMBES, « Création d'une activité scientifique métier sur l'éco-conception »
- Natacha KRINS, « Wiki Éléments Terre : éléments chimiques et savoir situés »
- Valérie BENETEAU, « TEDS en Master Chimie : comment développer une articulation étroite avec la recherche ? »
- Clémence CORDIER, Carine FRANKLIN et Mathias MONNOT, « Enseigner dans un contexte de transition écologique au département chimie de l'IUT d'Aix-Marseille »*
- Nicolas HERVE, Juliette HUEZ et Naïla EVEN, « Soutenir la transition grâce au design-fiction »*
- Claire JOANNIS-CASSAN, « Quelle(s) pédagogie(s) pour former les ingénieurs à la transition écologique ? »
- Valérie ALEZRA, « Flashcards numériques pour la chimie organique »*
- François-Xavier TOUBLET, « Projet interdisciplinaire en pharmacie autour des flavonoïdes »*

9 ateliers

- Rita KHANFOUR-ARMALE, Olivier SAURET et Christophe BOIZIER, « Du micro au macro : analyser les supports et les productions d'élèves pour enseigner une chimie durable »
- Jonathan PIARD, Rachel MEALLET et Loïc LEBRUN, « Expérimenter le quotidien : vers une chimie frugale »*
- Matthieu RIVALLIN, Carole CARCEL, Stéphanie DRUON, Vincent BERRY, Sébastien DRUON, Caroline SURRIBAS, Chrysta PELISSIER et Mike ROBITZER, « Whom? : application ludopédagogique pour l'enseignement d'une chimie durable »*
- Christelle GUEDON et Naïla EVEN, « Atelier interactif autour de la formation à la décarbonation et des compétences d'avenir en chimie »*
- Christophe ROUSSEL, « Incertitude lors du titrage avec une burette »
- Guillaume PERNA, Gilles TAILLADES, Pierre-Yves BLANCHARD et Frédéric FAVIER, « Atelier fresque de l'hydrogène bas carbone »
- Jérémy FORTE et Régina MARUCHENKO, « SPINS : une maquette pédagogique animée et interactive de spectromètre RMN »*
- Julie AUBOURG, Thierry BRASSAC, Aurélie TEYCHENE et Victoria GIZZI, « Le bidule : quand la science se raconte autrement »
- Caitlyn DUSSART, Pauline ESTIVALEZES et Valérie BENETEAU, « Fresque de la chimie verte »

Présentation des deux prix DEF 2025

- Maïté SYLLA, CNAM Paris, « Le jumeau numérique CAP'VR : quand la réalité virtuelle transforme l'enseignement de la chimie et les disciplines associées »*
- Yasmine FILALI, Université de Nantes, « Élaboration d'un référentiel de compétences : un exemple en licence de chimie »*

Présentation flash (180 secondes)

Certains exposants et soutiens ont eu l'opportunité de présenter en quelques minutes leur société ou association ; ce fut le cas de Chimie Verte Academy, Chromacim, Dunod, Eurosmart, Jeulin, Kimiyo, Magritek et Merck.

Le cadre du domaine du Lazaret, où nous étions présents tout au long du séjour, a favorisé de nombreux échanges. Nous avons également organisé des sorties avec l'office de tourisme de Sète permettant aux participants de découvrir la vieille ville, le port, le street-art ou les lieux emblématiques liés à Georges Brassens.

Des conférences plénières entre recherche et industrie

Le programme s'est structuré autour de conférences plénières offrant un éclairage de haut niveau sur les enjeux contemporains autour d'une chimie fondamentale et appliquée. Elles ont permis non seulement de revisiter les avancées majeures de la recherche, mais aussi de mieux comprendre la manière dont l'industrie chimique se transforme face aux impératifs de la transition écologique. En ouvrant des perspectives pédagogiques solides et inspirantes, ces interventions ont mis en lumière le rôle clé de la chimie, des laboratoires académiques aux secteurs industriels, dans la construction d'un développement véritablement soutenable.

Les interventions ont notamment porté sur :

- Le rôle des matériaux avancés dans la transition environnementale (Frédéric Cavicchi, Arkema) ;
- Les enjeux du cycle du combustible nucléaire et sa contribution aux stratégies climatiques (Nicolas Dacheux, Université de Montpellier) ;
- La formation des étudiants à la chimie verte et aux nouveaux métiers associés (Grégory Chatel, Université Savoie Mont Blanc) ;
- Les outils pédagogiques pour aborder la transition énergétique dans les formations scientifiques (Gilles Taillades, Université de Montpellier) ;
- L'exemple de TotalEnergies, une compagnie multi-énergies (Sylvain Panas) ;
- La réindustrialisation et la transition écologique afin de concilier le développement industriel et les enjeux environnementaux (Stéphane Bergamini, France Chimie Méditerranée/Novachim).

Ces contributions ont souligné la nécessité de former des chimistes capables de conjuguer excellence scientifique, responsabilité environnementale et compréhension des enjeux sociétaux.

Communications orales : diversité des initiatives

Les communications orales ont reflété l'engagement des équipes pédagogiques à différents niveaux de formation :

- Les modalités d'intégration des notions de chimie verte et de développement durable au sein de différentes filières d'enseignement, que ce soit en BTS de chimie, en licence de chimie, en IUT ou encore en école d'ingénieurs.
- Les enjeux majeurs liés à la décarbonation, à l'économie circulaire, à la réduction des pollutions et à la préservation des ressources (en BTS génie chimique-génie des procédés, en école d'ingénieurs, etc.).
- Les articulations entre recherche et enseignement, afin de mieux comprendre comment les avancées scientifiques peuvent nourrir les pratiques pédagogiques.
- Plusieurs questions didactiques, notamment autour des notions de réaction chimique, de concentration et de quantité de matière ont été abordées.

Ces présentations ont mis en évidence une dynamique d'innovation structurée, appuyée sur la recherche en didactique et sur des collaborations entre établissements.

Ateliers : des pratiques pédagogiques renouvelées

Les ateliers ont constitué un temps fort des journées. Ils ont permis aux participants d'échanger autour de pratiques concrètes :

- Exploitation des productions d'élèves pour enseigner une chimie durable ;
- Mise en œuvre d'expériences de chimie « frugale » à partir de matériaux du quotidien ;
- Développement d'outils ludopédagogiques favorisant l'engagement des étudiants ;
- Formation aux compétences liées à la décarbonation ;
- Réflexion sur la mesure et les incertitudes expérimentales ;
- Animation de fresques (fresque de l'hydrogène et fresque de la chimie verte), en tant qu'outils de sensibilisation aux enjeux énergétiques.

Ces ateliers ont illustré la diversité des approches possibles pour intégrer la transition écologique dans les pratiques d'enseignement.

Prix de la DEF

Lors des JIREC, le Prix 2025 de la Division transversale Enseignement-Formation (DEF) de la Société Chimique de France a été officiellement décerné. Cette distinction met à l'honneur l'engagement d'un enseignant ou d'une équipe dans le domaine de la pédagogie, en soulignant la qualité et l'impact de leurs actions en matière d'enseignement ou de formation en chimie. L'attribution du prix repose sur l'examen de dossiers argumentés, proposés individuellement ou au nom d'un collectif éducatif. Le jury, composé des membres du Bureau de la DEF, a sélectionné le ou les lauréats parmi les candidats, tous adhérents de la SCF.

Cette année, le jury a choisi de décerner conjointement le Prix à deux équipes pédagogiques : l'une portée par **Maïté Sylla**, professeure au CNAM, récompensée avec ses collègues pour le développement du projet CAP'VR et son intégration dans plusieurs unités d'enseignement de travaux pratiques ; l'autre conduite par **Yasmine Filali**, PRAG à Nantes Université, distinguée avec son équipe pour la conception d'un référentiel de compétences et sa mise en cohérence avec les contenus pédagogiques de la licence de chimie de l'établissement (figure 4).



Figure 4 - Les Prix 2025 de la DEF remis à Yasmine Filali (à gauche) et Maïté Sylla (à droite). Au centre Julien Bonin, président de la DEF.

À l'heure où la transition énergétique et la décarbonation des activités humaines structurent les politiques publiques et les stratégies industrielles, l'enseignement de la chimie se trouve directement interpellé. Comment former les futurs chimistes à ces enjeux ? Comment intégrer la durabilité dans les contenus disciplinaires et dans les pratiques expérimentales ? Comment articuler rigueur scientifique et responsabilité sociétale ? Telles ont été les questions qui ont traversé cette édition.

Depuis leur création, les JIREC constituent un espace privilégié de dialogue entre les différents acteurs de l'enseignement de la chimie. L'édition 2026 confirme ce rôle structurant.

En réunissant enseignants du secondaire et du supérieur, chercheurs en didactique, industriels et institutionnels, ces journées ont favorisé la circulation des idées et la diffusion des innovations pédagogiques. Elles ont contribué également à renforcer la cohérence entre les différents niveaux de formation. Dans un contexte de transformation rapide des attentes sociétales, cette capacité de réflexion collective apparaît essentielle.

Rendez-vous en 2028 pour les prochaines JIREC qui se tiendront fin janvier à Vichy sur le thème « La chimie des eaux » !

[1] B. Montfort, M. Rebetez, Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie, *L'Act. Chim.*, **2010**, 341, p. 19-22.

[2] J. Bonin, J. Piard, M.-O. Reula, J. Lamerenx, X. Bataille, C. Bruyère, Retour sur les JIREC 2024 – Enseigner et innover à l'heure du numérique, *L'Act. Chim.*, **2024**, 496, p. 5-10.

[3] R. Sánchez Morales, P. Sáenz-López, M.A. de las Heras Perez, Green chemistry and its impact on the transition towards sustainable chemistry: a systematic review, *Sustainability*, **2024**, 16, 6526, <https://doi.org/10.3390/su16156526>

Jean-Yves WINUM et Karine MOLVINGER,
coordinateurs des JIREC 2026

Remerciements

Comité d'organisation

Jean-Yves Winum – Université de Montpellier – Faculté des Sciences (coordinateur)

Karine Molvinger-Verger – CNRS (coordinatrice)

Sébastien Clément – Université de Montpellier – Faculté des Sciences
Jean-Sébastien Filhol – Université de Montpellier – Faculté des Sciences

Sébastien Richeter – Université de Montpellier – IUT Montpellier-Sète

Matthieu Rivallin – ENSC Montpellier

Mike Robitzer – ENSC Montpellier

Florence Rouessac – Université de Montpellier – Faculté des Sciences

Béatrice Roy – Université de Montpellier – Faculté des Sciences

Françoise Spirau – ENSC Montpellier



Le comité d'organisation lors du repas de gala.

Soutien organisationnel :

Bureau de la Division Enseignement-Formation de la SCF

Julien Bonin – Président SCF/DEF

Valérie Alezra – Vice-présidente SCF/DEF

Jean Lamerenx – Trésorier SCF/DEF

Jean-Yves Winum – Secrétaire SCF/DEF

Xavier Bataille – Secrétaire Général SCF – Chargé de communication SCF/DEF



D'un référentiel de compétences aux unités d'enseignement

Une démarche collaborative en licence de chimie

Yasmine FILALI

Résumé Une équipe pédagogique d'enseignantes et d'enseignants du département de Chimie de Nantes Université développe depuis 2022 un référentiel de compétences pour la Licence de Chimie selon une approche « bottom-up »⁽¹⁾. Ce travail vise à clarifier les attendus pédagogiques auprès de la communauté étudiante et à coordonner la progression des enseignements au sein du département. Le référentiel, structuré autour de quatre blocs de compétences déclinés en composantes essentielles et résultats d'apprentissage par niveau, constitue un outil pour la communication du programme, la cohérence pédagogique et l'alignement des pratiques d'enseignement et d'évaluation. Cette démarche collaborative illustre comment l'approche par compétences peut dépasser l'opposition connaissances-compétences et servir de levier pour la transformation pédagogique dans l'enseignement supérieur.

Mots-clés **Référentiel de compétences, licence de chimie, pédagogie universitaire, résultats d'apprentissage, évaluation par compétences.**

Abstract **From a competency framework to course units: a collaborative approach to transform a bachelor degree in chemistry**

Since 2022, a team of the Faculty staff of the Chemistry Department at Nantes University has developed a competency framework for the bachelor degree in Chemistry using a bottom-up approach. This work aims to clarify learning outcomes for students and coordinate a progressive teaching program. The framework, structured around four competency blocks, essential components and learning outcomes, serves as an efficient tool for program communication, pedagogical coherence, and alignment of teaching practices. This collaborative approach illustrates how competency-based education can overcome knowledge-based teaching in higher education.

Keywords **Competency-based approach, competency framework, chemistry bachelor degree, university pedagogy, learning outcomes, competency-based assessment.**

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.02>

Une démarche collaborative pour donner du sens

Depuis une dizaine d'années, les établissements d'enseignement supérieur français sont encouragés à repenser leurs programmes de formation en termes de compétences [1]. Si cette approche est courante dans l'enseignement primaire et secondaire, ainsi que dans certaines filières professionnalisantes du supérieur, elle demeure peu répandue, voire contestée dans les filières générales des universités. Le vocable de « compétences » y est souvent opposé à celui de « connaissances académiques » et assimilé à une logique très professionnalisante [2].

Dans ce contexte contrasté, une équipe pédagogique du département de Chimie de Nantes Université a souhaité se pencher sur la pertinence d'une approche par compétences [3] (APC) pour la Licence de Chimie. La démarche repose sur une conviction simple : un programme de formation, décliné sous forme de compétences, constitue un outil efficace pour présenter des attendus pédagogiques clairs à destination des étudiants, coordonner une vision progressive des enseignements à dispenser, et informer les collègues des contenus dispensés et des objectifs visés. L'idée sous-jacente est de tracer, pour les étudiants et les enseignants, un chemin plus lisible, mieux maîtrisé et plus motivant dès lors que l'on sait où l'on va.

L'équipe pédagogique s'est fixé un cahier des charges ambitieux : produire un référentiel lisible, avec un nombre limité de compétences formulées de manière simple, afin d'en optimiser la praticité. Cette démarche, amorcée en mars 2022, s'inscrit dans une réflexion de trois années.

Un référentiel structuré selon le modèle des BUT

Pour construire le référentiel, l'équipe s'est inspirée du format utilisé lors de la création des BUT (Bachelor Universitaire de Technologie), format développé par le LabSET⁽²⁾ et repris dans les ressources [4] mises à disposition par le pôle Pédagogie de la Faculté des Sciences et Techniques de Nantes Université. Cette méthodologie [5] propose une architecture en trois niveaux qui garantit à la fois cohérence et progressivité.

Des blocs de compétences pour définir l'identité de la Licence

La première étape consiste à formuler des compétences génériques décrivant l'identité de la Licence de Chimie : quatre blocs de compétences ont été retenus (figure 1).

Les trois premiers blocs correspondent aux domaines disciplinaires fondamentaux de la chimie, tandis que le dernier bloc, qualifié de transversal, intègre notamment les unités d'enseignement en méthodologie du travail universitaire et en développement professionnel, ainsi que les stages.



Figure 1 - Les quatre blocs de compétences de la Licence de Chimie.

Des composantes essentielles pour préciser chaque compétence

La deuxième étape consiste à préciser chacune de ces compétences par des « composantes essentielles », formulées sous forme de phrases commençant par un verbe d'action au gérondif (figure 2).

Ces composantes essentielles constituent des traits communs à tous les niveaux de la Licence. À noter qu'au sein de l'équipe,

le choix a été fait de dépasser l'opposition souvent évoquée entre connaissance et compétence : la première composante essentielle illustre l'intégration des connaissances aux compétences.

Des résultats d'apprentissage terminaux pour graduer les niveaux

La troisième étape décline ces compétences par niveau (L1, L2, L3) en termes de « résultats d'apprentissage terminaux, RAT » (figure 3).

On observe ainsi une montée progressive en complexité et en exigence, l'étudiant étant amené à capitaliser sur les compétences acquises d'une année sur l'autre pour accroître son autonomie d'action, de réflexion et de restitution.

Du référentiel au programme : un outil de communication et de coordination

Une fois le référentiel établi, il est nécessaire de tester son utilité pratique. L'équipe a réalisé un croisement entre la maquette de formation (liste de toutes les unités d'enseignement, UE) et le référentiel sur les trois années de Licence (figure 4). Cette analyse a permis de dégager plusieurs constats majeurs.

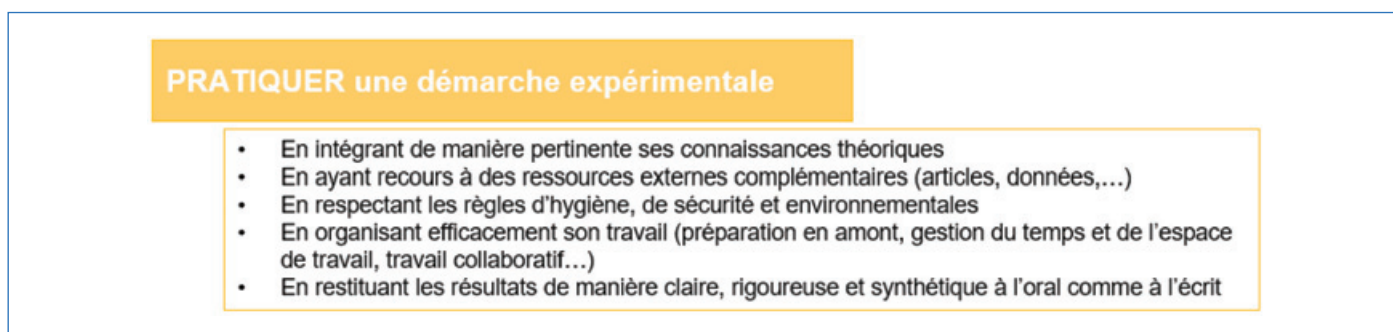


Figure 2 - Composantes essentielles qui précisent la compétence « Pratiquer une démarche expérimentale ».

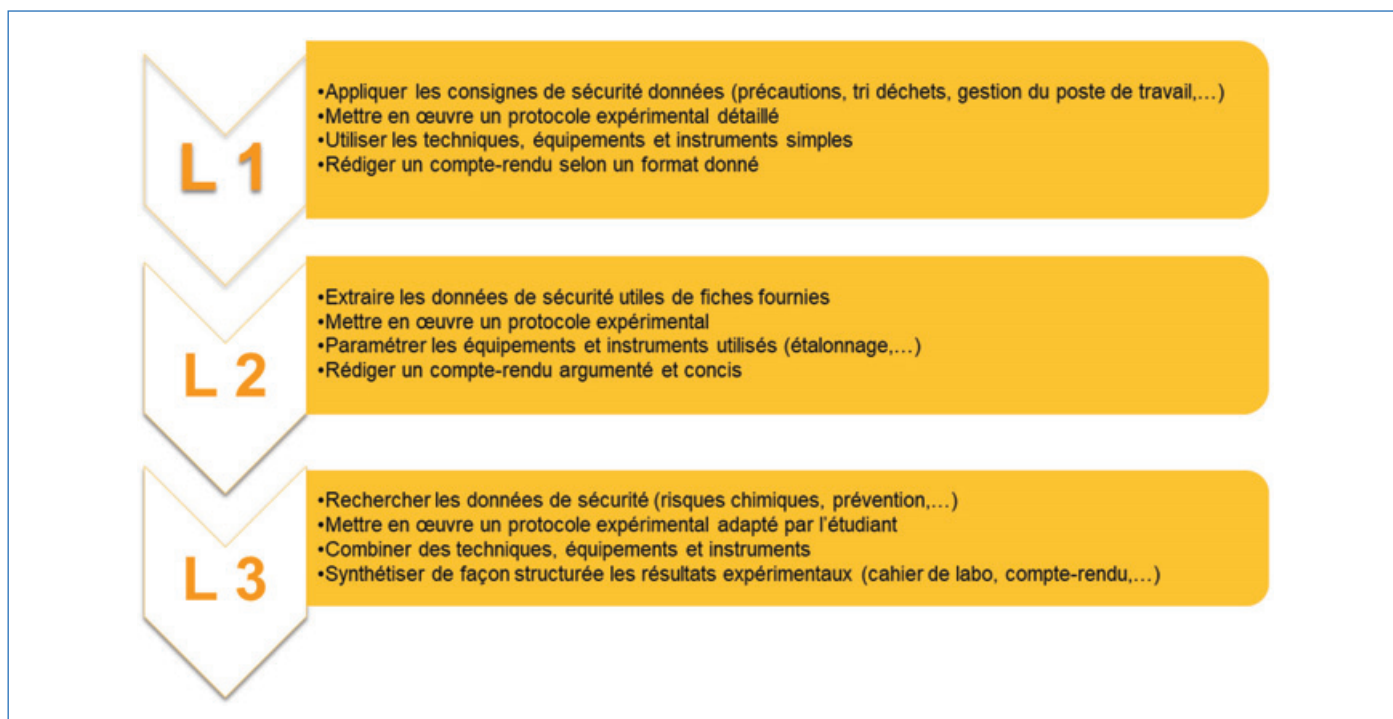


Figure 3 - Résultats d'apprentissage terminaux de la compétence « Pratiquer une démarche expérimentale ».

	Compétences	Unité d'Enseignement (UE)	L1 Chimie-Biologie	L1 Chimie	LAS.1 Chimie
Semestre 2	DECRIRE	DECRIRE la matière et ses transformations			
		Thermochimie et Chimie des solutions	40h	40h	40h
		Chimie organique et Chimie inorganique	40h	40h	40h
		Biochimie	40h		
	ANALYSER	ANALYSER des systèmes physico-chimiques			
		Optique pour la chimie	20h	20h	20h
		Outils de calcul pour la chimie	20h	20h	20h
		Mécanique 2 pour la chimie		20h	
	PRATIQUER	PRATIQUER une démarche expérimentale			
		Travaux Pratiques de Chimie	36h	36h	36h
		Modélisation pour la chimie		18h	
		Physique expérimentale 1		18h	
	SE DEVELOPPER	SE DEVELOPPER en tant qu'étudiant			
		Anglais	16h	16h	16h
		Histoire des Sciences	20h	20h	
		Méthodologie et Insertion Professionnelle	5h	5h	5h
	Option santé	Option santé			80h

Figure 4 - Correspondance entre les unités d'enseignement et le référentiel dans l'exemple du semestre 2 de la première année de Licence de Chimie.

Une lisibilité accrue du programme de formation

Chaque UE s'associe naturellement à l'un des quatre blocs de compétences. Cette correspondance est facilement intelligible pour différents publics : futures étudiantes et futurs étudiants, ou parents lors des journées portes ouvertes, étudiantes et étudiants en début de cursus. Le référentiel constitue ainsi un outil de communication très efficace pour décrire la formation qui se déploie dans toute sa cohérence opérationnelle au lieu d'apparaître sous la forme de silos de connaissances cloisonnés.

Une légitimité retrouvée pour certains enseignements

Certaines UE retrouvent du sens, une fois replacées dans un bloc de compétence. C'est notamment le cas des UE de Mathématiques, Physique ou Informatique, souvent perçues comme hors sujet dans une Licence de Chimie. De par leur association explicite à la compétence « ANALYSER des systèmes physico-chimiques », leur importance devient plus évidente puisqu'elles contribuent directement à la maîtrise des outils d'analyse physico-chimique.

Une restructuration des unités d'enseignement

Le travail sur le référentiel a également conduit à modifier le périmètre de certaines UE. Concernant les travaux pratiques (TP), il y avait pour habitude d'intégrer quelques heures de TP dans des UE découpées classiquement par sous-domaines : chimie organique, chimie inorganique, etc. L'analyse a révélé qu'une partie de ces séances disséminées partageaient davantage de compétences entre elles que de liens avec le corpus disciplinaire de chaque UE. Il a donc été décidé d'extraire ces séances des UE disciplinaires pour les rassembler dans de nouvelles UE de Travaux Pratiques indépendantes, structurées autour de compétences et abordant des domaines variés de la chimie.

De l'affichage du référentiel à la transformation des pratiques

Si le référentiel clarifie les attendus et le programme de formation auprès des étudiants, son impact dépasse largement le simple affichage. La réflexion autour des compétences

s'est progressivement invitée au sein même des UE, modifiant les pratiques pédagogiques. Ce travail de rénovation est encore en cours mais plusieurs exemples illustrent déjà cette transformation.

Des fiches UE rédigées en résultats d'apprentissage

Les compétences travaillées au sein des UE, appelées « résultats d'apprentissage » (RA), sont régulièrement mises en avant auprès des étudiants. Ces RA sont communiqués dans la partie introductive de fascicules de cours, sur la page Moodle⁽³⁾ d'UE et en entête d'énoncés d'évaluation (figure 5).

Cette approche engage l'enseignant à décrire son UE en termes de compétences plutôt qu'en listant le contenu pédagogique, ce qui constitue une véritable évolution culturelle.

L'émergence de l'évaluation par compétences

L'adoption du référentiel conduit également à expérimenter l'évaluation par compétences [6], notamment dans les UE de travaux pratiques. Des grilles d'évaluation ont été élaborées selon un format commun basé sur la structure du référentiel, assurant la cohérence sur le continuum L1-L2-L3 et permettant une progression quantifiable de l'acquisition des compétences pratiques au terme du cursus (figure 6).

Des modalités pédagogiques diversifiées

En cohérence avec l'approche par compétences, qui vise à susciter une plus grande proactivité de la part des étudiants et des étudiantes, l'équipe pédagogique teste des modalités variées : enseignement à distance, mode projet, classe inversée, apprentissage par problèmes. Une évaluation régulière des enseignements par les étudiants et les étudiantes est mise en place pour tester l'efficacité des changements et apporter des améliorations continues.

Un travail sur la durée pour un alignement pédagogique cohérent

Pour assurer une progression efficace du projet, l'équipe a organisé des réunions très régulières sur la première année, qui perdurent aujourd'hui. Ces moments d'échange et de

Code UE (1)	Chimie : Atome, Liaison, Molécule
Programme	
COMPETENCE Composantes essentielles	Cette UE participera à l'acquisition progressive par l'étudiant de la compétence de Licence : DECRIRE LA MATIERE ET SES TRANSFORMATIONS - En s'appuyant sur les théories et modèles (atome, liaison, ...) ainsi que sur leurs limites - En explicitant de manière précise et concise le phénomène
RAT niveau L1	Au sein de cette compétence, en fin de L1, l'étudiant sera capable de : - Utiliser judicieusement les langages, représentations et symboles élémentaires (atomes, molécules) - Recourir à des modèles simples et idéaux (Modèle quantique, Lewis, VSEPR,...)
RA de l'UE	De façon plus détaillée, à l'issue de l'UE, l'étudiant sera capable : autour de l'atome, de : - Utiliser judicieusement les termes d'élément, atome, isotopes, ions. - Construire un diagramme énergétique quantifié. - Interpréter le spectre d'émission ou d'absorption de l'atome d'hydrogène et des ions hydrogénoïdes. - Associer les nombre quantiques à une orbitale atomique (OA) ou à un électron dans une OA. - Dessiner les représentations usuelles des OA s, p et d. - Ecrire la configuration électronique d'un atome ou d'un ion monoatomique. - Identifier les électrons de cœur et de valence.

Figure 5 - Extrait d'une fiche de l'UE « Chimie, Atome, Liaison, Molécule » de première année de Licence de Chimie.

GRILLE d'EVALUATION L1		NOTATION
PRATIQUER	En intégrant de manière pertinente ses connaissances théoriques L'étudiant réinvestit les notions abordées dans les modules théoriques	TP

Figure 6 - Grille de suivi de compétences en travaux pratiques en 1^{ère} année de Licence de Chimie.

Équipe pédagogique

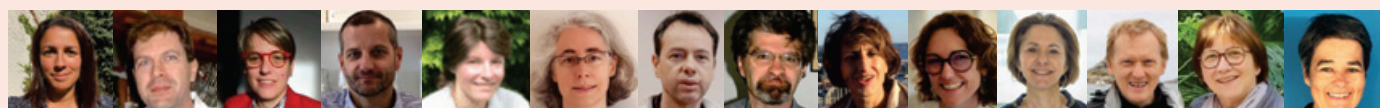
L'équipe pédagogique de la Licence de Chimie de Nantes Université a reçu le Prix 2025 de la Division Enseignement Formation de la Société Chimique de France.

Auteur contact : Yasmine Filali, professeure agrégée, yasmine.filali@univ-nantes.fr

Membres du département de Chimie, UFR Sciences et Techniques, Nantes Université

(* : Laboratoire CEISAM, UMR CNRS 6230 ; ** : Laboratoire IMN, UMR CNRS 6502) :

Errol Blart*, maître de conférences, Virginie Blot*, maître de conférences, David Deniaud*, professeur des universités, Valérie Fargeas*, maître de conférences, Anne-Claire Gaillot**, maître de conférences, Nicolas Galland*, professeur des universités, Bernard Humbert**, professeur des universités, Eléna Ishow*, professeure des universités, Karine Julienne*, maître de conférences, Muriel Pipelier*, professeur des universités, Éric Renault*, maître de conférences, Christine Thobie*, maître de conférences, et Claire Flandrin, ingénieure pédagogique, Pôle pédagogie de l'UFR Sciences et Techniques, Nantes Université, Nantes, France.



Y. Filali E. Blart V. Blot D. Deniaud V. Fargeas A.-C. Gaillot N. Galland B. Humbert E. Ishow K. Julienne M. Pipelier E. Renault C. Thobie C. Flandrin

réflexion nécessitent un temps long mais indispensable : durant l'écriture du référentiel, il a fallu peser chaque terme employé, s'accorder sur des formulations communes ; les modifications pédagogiques résultantes ont été pensées, testées, améliorées, validées par l'équipe. Le gain en clarté et en efficacité en démontre aujourd'hui les intérêts.

Le référentiel de compétences de la Licence de Chimie de Nantes Université illustre comment une approche par compétences peut clarifier l'organisation du programme de formation et favoriser progressivement un alignement cohérent entre les objectifs d'apprentissage, les ressources pédagogiques, les activités proposées et les modalités d'évaluation. Loin d'opposer connaissances et compétences, ce référentiel intègre pleinement les savoirs disciplinaires comme ressources indispensables à la mise en œuvre des compétences. Il propose une vision renouvelée de la formation en chimie, centrée sur ce que l'étudiant sera capable de faire au terme de son apprentissage plutôt que sur une simple liste de contenus à enseigner.

Si la démarche nécessite du temps, de l'engagement et un travail collectif soutenu, elle démontre qu'une transformation pédagogique de fond est possible dans l'enseignement supérieur, pour peu qu'une équipe volontaire s'en empare.

Notes et références

[1] Approche littéralement « du bas vers le haut », à l'initiative d'un groupe d'enseignant-e-s et non issue d'une injonction institutionnelle.

[2] Le LabSET (Laboratoire de Soutien aux Synergies Éducation Technologies), université de Liège), est un centre de recherche spécialisé en pédagogie de l'enseignement supérieur, www.labset.uliege.be (consulté le 20/01/26).

[3] Moodle est une plateforme d'apprentissage en ligne distribuée sous la Licence publique générale GNU (General Public License).

[4] Arrêté du 30 juillet 2018 relatif au diplôme national de licence, article 3 : www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000029236215/2026-02-18#LEGIARTI000029236215

[5] M. Kaddouri, F. Loiola, Quelques enjeux et paradoxes de l'approche par compétences : une introduction, *Revue des Sciences de l'Éducation*, **2022**, 48, <https://doi.org/10.7202/1098336ar>

[6] M. Poumay, J. Tardif, F. Georges., *Organiser la formation à partir de compétences : un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur*, Édition De Broeck, **2017**.

[7] C. Flandrin, *Guide pratique sur l'approche par compétences à la Faculté des Sciences et des Techniques de Nantes Université*, **2022**.

[8] M. Poumay, F. Georges, *Comment mettre en œuvre une approche par compétences dans le supérieur*, Édition De Broeck, **2022**.

[9] D. Lemenu, E. Heinen, *Comment passer des compétences à l'évaluation des acquis des étudiants*, Édition De Broeck, **2015**.

Yasmine FILALI*, professeure agrégée, Nantes Université, pour l'équipe pédagogique de la Licence de Chimie (voir encadré).

*yasmine.filali@univ-nantes.fr



Société Chimique de France
Le réseau des chimistes

Une association fondée en 1857
par les chimistes,
pour les chimistes !



www.societechimiquedefrance.fr

Société Chimique de France

CAP'VR : la réalité virtuelle au cœur de la transformation des travaux pratiques

Maité SYLLA-IYARRETA VEITÍA, pour l'équipe pédagogique de CAP'VR

Résumé Depuis plus de trente ans, le numérique s'inscrit dans la pédagogie du Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). Dans cette continuité, le jumeau numérique d'enseignement CAP'VR (Chimie Agroalimentaire et Pharma, Virtual Reality) a été développé afin de renforcer l'apprentissage des pratiques expérimentales. CAP'VR propose un laboratoire virtuel immersif permettant aux apprenants d'acquérir et de s'entraîner aux gestes professionnels, de mettre en œuvre des protocoles expérimentaux, d'appliquer les règles de sécurité et de comprendre l'organisation d'un environnement de laboratoire. Les étudiants peuvent ainsi répéter les manipulations, analyser leurs erreurs et consolider leurs compétences techniques et méthodologiques dans un cadre sécurisé et interactif, avant ou en complément des travaux pratiques réels. Conçu pour des apprenants de niveau Bac+1 jusqu'au niveau ingénieur, CAP'VR s'appuie sur un enseignement progressif couvrant différentes disciplines de la chimie, de l'agroalimentaire et du génie des procédés. Les apprentissages reposent sur des scénarios immersifs inspirés de situations réelles au sein de laboratoires, structurés en plusieurs niveaux afin de favoriser une montée en compétences croissante, intégrant à la fois l'apprentissage et l'évaluation. Le développement de CAP'VR résulte d'une collaboration pluridisciplinaire entre enseignants-chercheurs, personnels techniques, ingénieurs pédagogiques et développeurs, garantissant la cohérence entre les objectifs pédagogiques fixés, les choix des scénarios pédagogiques et les technologies utilisées. Les premiers retours d'expérience mettent en évidence une amélioration de l'engagement, de la confiance et de la mémorisation des apprenants, ainsi qu'une meilleure transposition des connaissances du virtuel vers le réel. Le dispositif contribue également à l'évolution du rôle de l'enseignant, désormais positionné comme facilitateur d'expériences d'apprentissage. Dans ce contexte, CAP'VR ouvre des perspectives prometteuses pour des pédagogies innovantes et personnalisées intégrant les technologies immersives.

Mots-clés Jumeau numérique d'enseignement, réalité virtuelle, innovation pédagogique, apprentissage expérimental, technologies immersives, autonomie de l'apprenant.

Abstract CAP'VR: transforming laboratory classes through virtual reality

For more than thirty years, digital technology has been an integral part of the pedagogy at the Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). In this context, the CAP'VR educational digital twin (Chemistry, Agri-food and Pharma, Virtual Reality) was developed to strengthen the learning of experimental practices. CAP'VR provides an immersive virtual laboratory enabling learners to acquire and practice professional gestures, implement experimental protocols, apply safety regulations, and understand the organization of a laboratory environment. Students can thus repeat procedures, analyze their mistakes, and consolidate their technical and methodological skills in a secure and interactive setting, either prior to or in addition to real laboratory sessions.

Designed for learners ranging from first-year undergraduate level ("Bac+1") to engineering level, CAP'VR is based on a progressive teaching approach covering various disciplines in chemistry, agri-food sciences, and process engineering. Learning activities rely on immersive scenarios inspired by real laboratory situations, structured into several levels to support progressive skills development, integrating both learning and assessment. The development of the CAP'VR digital twin results from a multidisciplinary collaboration between teacher-researchers, technical staff, instructional designers, and developers, ensuring alignment between the defined learning objectives, the pedagogical scenario design, and the technologies used. Initial feedback highlights improvements in learner engagement, confidence, and knowledge retention, as well as better transfer of learning from the virtual to the real environment. The system also contributes to the evolution of the teacher's role, now positioned as a facilitator of learning experiences. In this context, CAP'VR opens promising perspectives for innovative and personalized pedagogies integrating immersive technologies.

Keywords Educational digital twin, virtual reality, pedagogical innovation, experimental practices, immersive technologies, learner autonomy.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.03>

CAP'VR, un nouvel outil pour l'enseignement expérimental

Depuis près de trente ans, le numérique occupe une place centrale dans les pratiques pédagogiques du Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). S'appuyant sur cette

expertise et grâce à des soutiens institutionnels [1], une équipe pluridisciplinaire d'enseignants-chercheurs et personnels techniques en partenariat avec l'entreprise MIMBUS, a développé un jumeau numérique immersif d'un laboratoire de travaux pratiques destiné aux domaines de la chimie, de l'agroalimentaire et du génie des procédés [2]. Conçu pour

enrichir, et non remplacer, les enseignements pratiques traditionnels, ce dispositif développé dans le cadre du projet CAP'VR (Chimie Agro Pharma Virtual Reality) permet aux apprenants, en formation ou en reconversion, de se familiariser avec les gestes professionnels, les équipements et les règles de sécurité. CAP'VR offre un environnement virtuel sécurisé, favorisant l'apprentissage, et notamment celui par l'erreur. CAP'VR contribue ainsi à l'optimisation du temps de formation, à la personnalisation des parcours et à la démocratisation des enseignements pratiques, en s'affranchissant notamment des contraintes liées aux locaux.

Cet article vise à présenter le développement de ces modules immersifs, leur déploiement au sein des formations, ainsi que l'évaluation du dispositif CAP'VR, à travers l'analyse des usages et des retours d'expérience. CAP'VR s'appuie sur la méthode d'ingénierie pédagogique ADDIE (Analyse, Design, Développement, Implémentation et Évaluation) [3] afin de structurer la conception de scénarios immersifs favorisant l'apprentissage des gestes professionnels et des manipulations en laboratoire dans un environnement virtuel à la fois réaliste, sécurisé et interactif.

Développement des modules immersifs

Les scénarios pédagogiques des modules immersifs ont été conçus pour être intuitifs, accompagnés de tutoriels facilitant la prise en main des contrôleurs, et intégrant des fonctionnalités favorisant l'accessibilité. Les modules permettent ainsi aux apprenants d'identifier les équipements de laboratoire, d'en comprendre les usages et d'acquérir progressivement les automatismes associés aux procédures expérimentales. Ce travail a été réalisé en partenariat avec la société MIMBUS,

experte dans le développement de solutions immersives de formation en réalité virtuelle, et plus particulièrement dans la modélisation des gestes et des activités propres aux métiers manuels.

Les premiers modules développés concernent la sécurité en laboratoire. Ils visent l'acquisition rapide des compétences et réflexes nécessaires pour évoluer en sécurité et réagir de manière appropriée face à des situations à risque. Ils complètent les consignes de sécurité transmises avant tout démarrage en salle de TP réelle. Ces scénarios contribuent également à réduire l'appréhension des apprenants avant le passage aux travaux pratiques en conditions réelles. Ils familiarisent l'apprenant avec l'environnement du laboratoire et la localisation des équipements de protection. Ces scénarios immersifs permettent à l'apprenant de s'exercer à la gestion et à la prévention des risques courants en laboratoire, tels que les coupures, les projections, l'inhalation de produits chimiques, les incendies ou les risques électriques, favorisant ainsi l'acquisition de réflexes professionnels en matière de sécurité [2] (figure 1A).

Une seconde série de modules est dédiée à l'entraînement aux manipulations courantes en laboratoire, en s'appuyant sur un fil conducteur commun, la préparation d'un colorant alimentaire. À ce jour, ces modules couvrent notamment la pesée sur une balance de précision, l'extraction liquide-liquide, le montage à reflux, l'évaporation sous vide, ainsi que différentes techniques chromatographiques (CCM, purification sur gel de silice) (figure 1B).

Une troisième série de modules immersifs est dédiée à la manipulation d'équipements plus complexes relevant du génie des procédés et de l'analyse chimique. Ces modules ont pour objectif d'amener les apprenants à appréhender

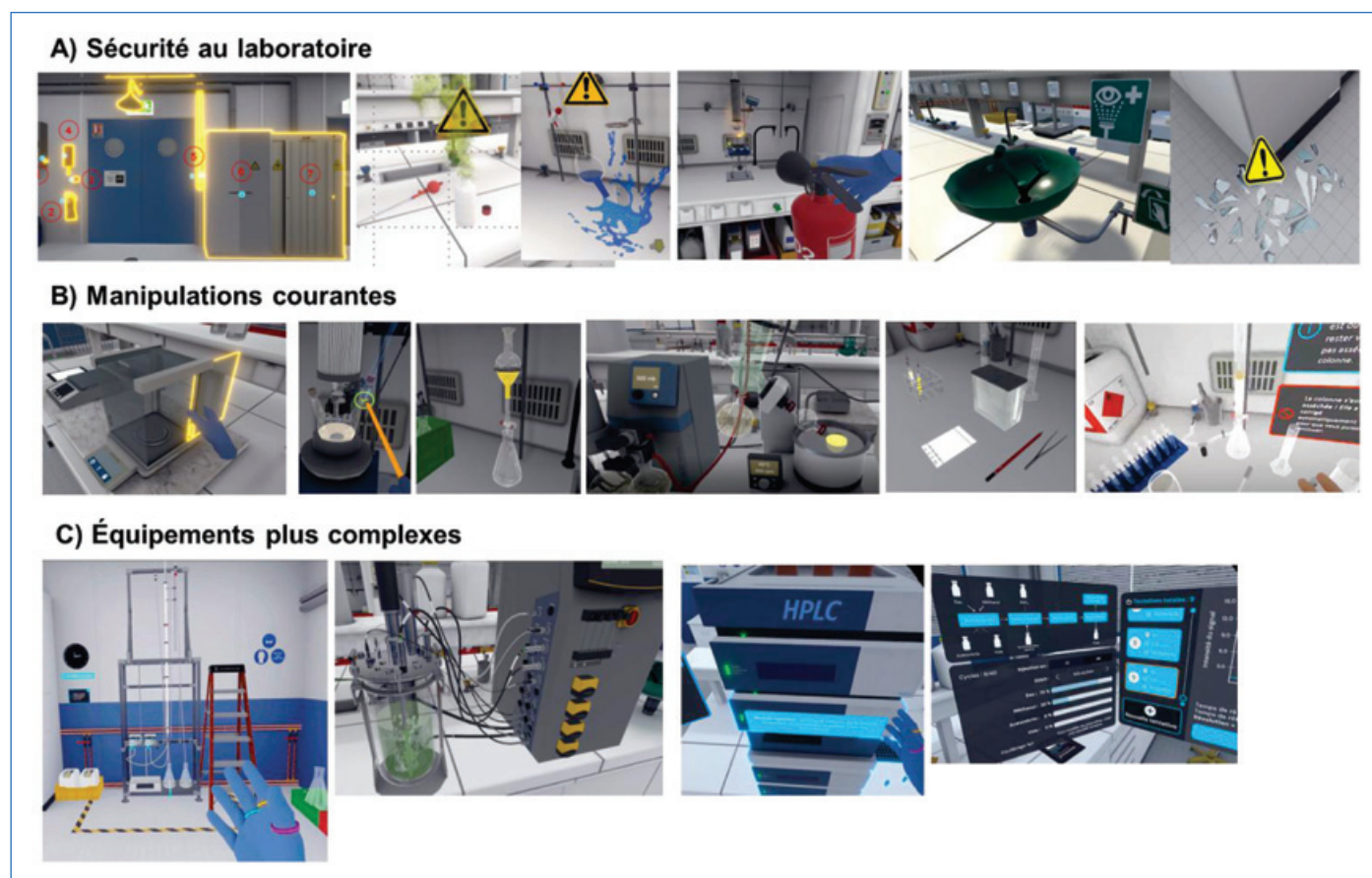


Figure 1 - Modules immersifs développés dans le projet CAP'VR pour les enseignements pratiques.



Figure 2 - Séance de travaux pratiques immersifs au cours de laquelle les élèves travaillent par binôme.

des phénomènes physico-chimiques avancés et à développer une compréhension globale du fonctionnement et du pilotage des différents appareils. Un premier module concerne un extracteur liquide-liquide à contre-courant, permettant de s'approprier, à différents niveaux de complexité, les mécanismes de transfert de matière entre phases et d'identifier les paramètres opératoires clés influençant les performances du procédé. Un second module vise à familiariser les apprenants avec la problématique du transfert d'oxygène gaz-liquide au sein d'un bioréacteur, ainsi qu'à l'identification et à l'ajustement des paramètres opératoires essentiels au contrôle du procédé. Enfin, un dernier module dédié à la chromatographie liquide haute performance (HPLC) permet de comprendre le fonctionnement d'une chaîne chromatographique analytique et d'identifier les leviers d'optimisation des conditions d'élution en fonction des objectifs de séparation (figure 1C).

L'ensemble des modules est structuré de manière progressive avec trois niveaux de difficulté (débutant, avancé, expert) et des niveaux de guidage adaptés, afin de favoriser l'analyse, la prise de décision et l'optimisation de procédés complexes. Tout au long des activités, l'apprenant est accompagné par une tablette virtuelle et une assistance audio, garantissant une progression fluide et interactive. Le guidage permet une appropriation sécurisée et répétable des gestes techniques, tout en offrant la possibilité d'expérimenter et d'observer les conséquences des choix opératoires en direct. Cette répétition sans risque favorise l'ancrage des compétences et leur transfert vers les pratiques en laboratoire réel dans un environnement sécurisé intégrant par ailleurs des principes d'accessibilité répondant aux exigences pédagogiques et réglementaires en matière d'inclusion.

Déploiement des modules immersifs

Les travaux pratiques immersifs CAP'VR sont mis en œuvre au Cnam depuis novembre 2021 et concernent actuellement dix unités de TP couvrant sept spécialités, de la chimie générale au génie des procédés. À ce jour, plus de 600 apprenants, du niveau Bac+1 au Bac+5, en formation initiale ou en alternance, ont participé à ces séances immersives dans le cadre de leur formation (figure 2). L'intégration de ces modules dans les parcours pédagogiques repose sur un dispositif associant

technologies immersives et accompagnement pédagogique, impliquant une coordination étroite entre enseignants, ingénieurs pédagogiques et apprenants. Ces séances peuvent être positionnées à différents moments du parcours de formation : en préparation, en complément ou en consolidation des TP en présentiel, afin de faciliter l'appropriation de manipulations courantes ou plus complexes, de limiter les risques et de renforcer la confiance des apprenants. Les travaux pratiques immersifs peuvent également être utilisés en modalité évaluation.

Chaque séance immersive est organisée selon une progression structurée, débutant par une phase de prise en main de l'environnement virtuel, suivie de modules thématiques dédiés à la sécurité et aux manipulations expérimentales ajustées au niveau des apprenants. L'accompagnement humain demeure un élément central du dispositif, tout en favorisant l'autonomie et le travail en binômes ou trinômes. Les séances se concluent par un débriefing collectif, permettant l'analyse des résultats, la mise en perspective de l'expérience vécue et la consolidation des apprentissages. La souplesse du dispositif, associée à l'intégration d'outils d'évaluation en temps réel, permet d'adapter les scénarios aux objectifs pédagogiques et au contexte disciplinaire, assurant ainsi une intégration pérenne des TP immersifs dans les cursus.

Évaluation des modules immersifs

L'évaluation du dispositif CAP'VR s'articule autour de deux approches complémentaires : d'une part, l'analyse du retour d'expérience et des usages du dispositif ; d'autre part, l'étude de ses bénéfices pédagogiques, incluant l'évaluation des compétences et la transposition des apprentissages du contexte virtuel vers des situations professionnelles réelles.

Dans le cadre de l'évaluation de l'outil pédagogique, une première étude ergonomique sur l'usage de CAP'VR par les apprenants et les enseignants, s'est concentrée sur les dimensions pragmatiques et hédoniques de l'expérience utilisateur, en s'appuyant notamment sur l'outil AttrakDiff [4-5]. Entre janvier 2023 et octobre 2025, 178 apprenants ont ainsi évalué leur perception du dispositif au moyen d'un questionnaire. Les résultats mettent en évidence une perception globalement

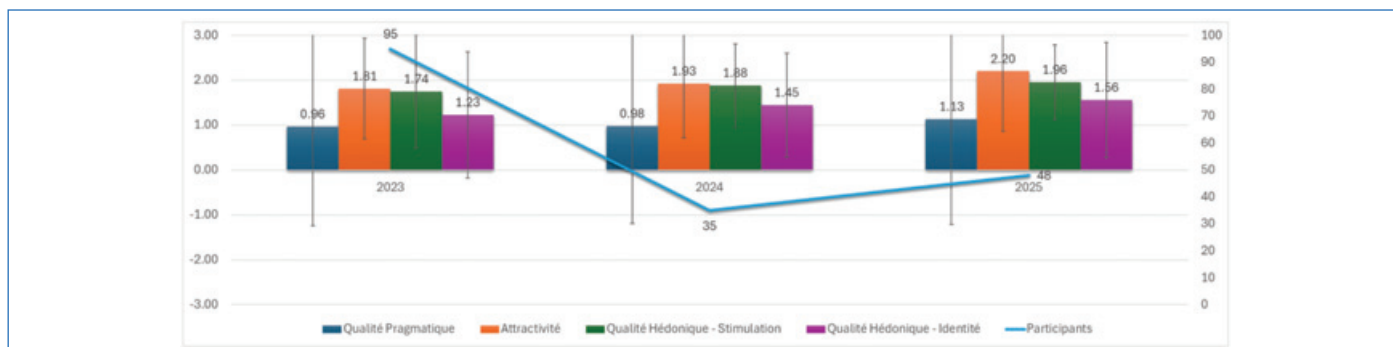


Figure 3 - Résultats de l'AttrakDiff pour le jeu numérique CAP'VR entre janvier 2023 et octobre 2025.

très positive du jeu numérique, en particulier en termes d'attractivité, de stimulation et d'identification au dispositif. Cette perception a évolué positivement d'année en année. Enfin, la qualité pragmatique (efficacité et facilité d'utilisation) est jugée satisfaisante, bien que des axes d'amélioration subsistent concernant l'utilisabilité perçue (figure 3).

Parallèlement, les bénéfices pédagogiques du dispositif ont été analysés à partir des retours des formateurs (21 personnes), recueillis à l'aide du questionnaire *System Usability Scale* (SUS) [6], complété par des enquêtes qualitatives (entretiens, focus groups, verbatims). CAP'VR a obtenu un score global de 73 sur 100, ce qui témoigne d'une bonne acceptabilité du dispositif, tout en soulignant la nécessité d'un accompagnement technique pour une utilisation pleinement autonome.

Les retours qualitatifs confirment par ailleurs un impact pédagogique positif, notamment en matière d'apprentissage par l'erreur et de développement de la confiance des apprenants lors des travaux pratiques réels. CAP'VR renforce également l'attractivité des différentes filières et favorise davantage de synergies entre les parcours en valorisant la formation professionnelle et en offrant des méthodes d'apprentissage innovantes.

Au-delà de ces résultats, l'évaluation du dispositif s'appuie également sur une analyse plus globale des usages et des transformations pédagogiques induites par les séances immersives. Menée en collaboration avec des ergonomes du Cnam, cette démarche mobilise des méthodes croisées (questionnaires, observations en situation, entretiens avec les apprenants et les enseignants) afin d'analyser l'impact des nouvelles pratiques d'apprentissage en immersion. Trois axes structurants ont ainsi été identifiés et sont actuellement à l'étude : le travail sur la sécurité en laboratoire, visant l'élaboration d'un référentiel commun et la réduction des écarts entre le virtuel et le réel ; les interactions entre acteurs, permettant de clarifier les rôles respectifs et d'interroger l'équilibre entre guidage et autonomie ; et enfin l'organisation des séances immersives, notamment leur intégration dans les cursus de formation et la prise en compte des contraintes temporelles.

En conclusion, CAP'VR s'impose comme un levier innovant pour l'enseignement expérimental. En articulant immersion, sécurité et apprentissage par l'erreur, le dispositif renforce l'acquisition et le transfert des compétences vers le laboratoire réel. Les retours d'usage confirment son attractivité et son efficacité pédagogique. Complémentaire des travaux pratiques traditionnels, il contribue à moderniser, sécuriser et élargir l'accès aux formations scientifiques.

Les perspectives portent désormais sur l'extension du dispositif à de nouvelles spécialités, notamment à la radioprotection, pour laquelle des travaux de virtualisation à 360° de séances



L'équipe pédagogique de CAP'VR a reçu le Prix 2025 de la Division Enseignement Formation de la Société Chimique de France.

Maité Sylla-Iyarreta Veitia (auteur contact), Antoine Auchet, Kaoutar Berkalous, Laure Bertrand, Vincent Caqueret, Christelle Chapet, Christian Cousquer, Catherine Delgoutet, Alice Eve, Rebeca Garcia, Matthieu Gervais, Catherine Gomez, Wafa Guiga, Nicolas Habay, Fanny Hauquier, Clément Haustant, Jean-Louis Havet, Sohayb Khaoulani, Nathalie Lagarde, Guillaume Miquelard-Garnier, Marion Pommet, Benjamin Roecker, Moustafa Zouinar, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France.

• <https://presentation.cnam.fr/grands-projets/cap-vr-la-realite-virtuelle-pour-enseigner-et-apprendre-1545606.kjsp>

pratiques sont en cours. L'équipe prépare également des propositions en réponse à des appels à projets européens afin de favoriser le déploiement international de CAP'VR (*Mimbus Chemistry*), et de développer de nouvelles collaborations. À l'échelle nationale, les travaux se poursuivent autour de la conception d'outils immersifs destinés à faire découvrir les métiers scientifiques et à accompagner l'orientation des jeunes vers ces filières.

[1] Agence nationale de la recherche, *Jumeaux d'enseignement numériques, immersifs et interactifs (JENII)*, ANR DEMOES (Projet no 21-DMES-0006), 2021, <https://anr.fr/ProjetA-21-DMES-0006> ; Projets innovants SAF-Cnam, 2020-2023 ; Geste VR, Trophées franciliens, Région Ile-de-France, 2020-2023.

[2] M. Sylla-Iyarreta Veitia et al. (2023, juillet-août). CAP'VR, un projet collaboratif pour développer des travaux pratiques immersifs. *L'Act. Chim.*, 2023, 486, p. 37-45, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/travaux-pratiques-capvr-un-projet-collaboratif-pour-developper-des-travaux-pratiques-immersifs-p37-n486/>

[3] Y. Mudjissusaty, D. Darwin, K. Kisno, The use ADDIE model to improve the competence of the higher education task force in obtaining competitive funding for the independent campus program, *J. Appl. Res. High. Educ.*, 2025, 17(5), p. 2109-38, <https://doi.org/10.1108/JARHE-12-2023-0580>

[4] M. Hassenzahl, M. Burmester, F. Koller, AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität, In *Mensch & Computer: Interaktion in Bewegung*, Stuttgart: B.G. Teubner, 2003, pp. 187-196.

[5] C. Lallemand, V. Koenig, G. Gronier, R. Martin, Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs, *Eur. Rev. Appl. Psychol.*, 2015, 65(5), p. 239-52, <https://doi.org/10.1016/j.erap.2015.08.002>

[6] G. Gronier, A. Baudet, Psychometric evaluation of the F-SUS: Creation and validation of the French version of the System Usability Scale, *Int. J. Hum.-Comput. Int.*, 2021, 37(16), p. 1571-82, <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1913856>

Maité SYLLA-IYARRETA VEITIA*, professeure des universités, Département Chimie Vivant Santé, Laboratoire Génomique Bioinformatique et Chimie moléculaire (GBCM, EA 7528), directrice adjointe de l'École doctorale Sciences des métiers de l'ingénieur (ED 432), Conservatoire National des arts et métiers, coordinatrice du projet CAP'VR depuis 2020, pour l'équipe pédagogique de CAP'VR (voir encadré).

*maite.sylla@lecnam.net

2035 : et si la chimie verte était devenue la norme ?

Léa et Pierre, deux parcours au cœur d'une chimie transformée

Grégory CHATEL

Lors des JIREC en janvier 2026 à Sète, la Chimie Verte Academy a proposé une projection un peu particulière, avec, disons-le, des effets spéciaux « très maîtrisés » : un jingle faussement futuriste, mais surtout beaucoup d'imagination ! L'idée était simple : se projeter en 2035 à travers deux portraits. Non pas pour prédire l'avenir, mais pour explorer ce que pourraient devenir la formation et les métiers de la chimie si certaines transformations déjà à l'œuvre se confirmaient. Plaçons-nous donc en 2035...

Léa T.

Léa a aujourd'hui 30 ans. Lorsqu'elle commence ses études universitaires en chimie au début des années 2020, elle ne se définit pas comme une « écolo militante ». Elle aime la chimie. Point. Elle débute par une licence de chimie à l'Université de Strasbourg où elle acquiert des bases solides : étude des transformations chimiques, cinétique, chimie des matériaux, chimie analytique : une chimie classique, exigeante, structurante. Mais très vite, une question s'impose : « À quoi va servir ce que j'apprends ? Et dans quel monde ? » Un webinar de sensibilisation organisé par la Chimie Verte Academy, dont son université est membre, lui apporte un début de réponses et éclaire progressivement ses choix.

En 2026, elle intègre le master Chimie Verte et Éco-Innovations de l'Université Savoie Mont Blanc. Dès la première année, elle est déroutée. On lui parle de *sourcing*, de chaînes de valeur, d'analyse de cycle de vie, de droit de l'environnement, d'économie circulaire. À l'époque, elle trouve certains enseignements « à la marge », presque décalés par rapport à la chimie « pure ».

Et pourtant...

En M1, un stage dans un laboratoire toulousain agit comme un déclic. Pour la première fois, elle doit associer une molécule, un procédé, une consommation d'énergie et un impact environnemental mesuré. Elle comprend que la chimie ne se limite plus à un rendement, mais qu'elle s'inscrit dans un système.

En M2, elle choisit l'alternance dans une entreprise de chimie. Sa mission n'est pas de « verdir » un discours marketing, mais d'évaluer un procédé industriel existant. Elle identifie un point clé : le *sourcing* des matières premières. Grâce à sa formation transversale, elle propose 1) un changement de fournisseur, 2) une matière alternative biosourcée, 3) une amélioration du procédé limitant la consommation d'énergie et solvants, et surtout 4) une justification chiffrée par une analyse de cycle de vie (ACV). Il ne s'agit pas d'une intuition, mais de décisions argumentées.

Diplômée en 2028 de la nouvelle mention de master « Chimie Verte », récemment accréditée par le ministère, elle poursuit dans son entreprise l'alternance avant de rejoindre, l'année suivante, une autre entreprise dans le secteur des peintures et revêtements. Son rôle : concevoir des formulations compatibles avec les nouvelles réglementations, mais aussi avec les attentes sociétales.



En cette année 2035, elle occupe un poste clé dans cette même entreprise : responsable innovation durable et formulation assistée par intelligence artificielle (IA). En effet, grâce aux outils d'IA, elle peut aujourd'hui simuler de nombreuses formulations, anticiper leurs performances et évaluer leur impact environnemental avant même leur mise en œuvre.

De plus, l'empreinte environnementale de ces technologies, fortement questionnée lors de leur lancement à grande échelle entre 2024 et 2028, a été réduite grâce à l'optimisation des infrastructures et à une gestion plus sobre des données.

Mais ce qui a fait la différence pour Léa, ce n'est pas l'IA. C'est sa formation. Comme elle le formule : « *Ce qui m'aide le plus aujourd'hui, ce sont les enseignements que je ne comprenais pas totalement à l'époque : le droit de l'environnement, l'ACV, l'approche système et la transversalité des approches.* » Aujourd'hui, Léa recrute, forme, encadre et contribue à transformer en profondeur l'industrie de la peinture. Elle donne du sens à son métier. Elle ne subit pas la transition. Elle la construit.

Pierre B.

Pierre enseigne la chimie au lycée depuis plus de quinze ans. Formé à l'Université Picardie Jules Verne à Amiens, il a rejoint l'Académie de Poitiers il y a maintenant huit ans. Lorsqu'il débute, au début des années 2020, il est professeur de sciences physiques. La chimie et la physique partageaient les mêmes programmes, les mêmes heures, les mêmes contraintes. À l'époque, les technologies évoluaient vite, mais pas encore assez vite pour changer profondément la manière d'enseigner.

En 2026, quelque chose s'amorce. Cette année-là, Pierre accompagne une équipe d'élèves aux Olympiades Nationales de la Chimie, dont le thème est consacré à la chimie verte. Il s'attend à un projet intéressant. Il assiste en réalité à un déclic. Pour la première fois, il voit des élèves s'emparer de la chimie pour proposer des solutions concrètes : réduire les impacts, repenser les matières premières, réfléchir à la fin de vie des produits. Les élèves ne parlent plus seulement de « *limiter les dégâts* », mais de « *concevoir autrement dès le départ* ». Pierre comprend alors que la chimie qu'il enseigne peut être un levier de transformation, pas seulement un objet de connaissance.

Dans un contexte marqué par des tensions énergétiques fortes et des incertitudes géopolitiques durables autour des ressources fossiles, ces approches prennent un sens particulier. La valorisation des biomasses, des déchets et des coproduits, sans concurrence avec les usages alimentaires, s'impose progressivement comme une voie crédible. Les pays réinvestissent le local, les chaînes de valeur se raccourcissent et la chimie verte devient un outil stratégique pour produire mieux, plus proprement, plus intelligemment.

Les évolutions s'accroissent...

Les nouveaux programmes de lycée actent cette révolution en 2031. La chimie devient une discipline identifiée, en interaction avec les mathématiques, la physique et la biologie, mais dotée de son propre programme. Les contenus pédagogiques se transforment : il ne s'agit plus seulement de réactions, mais de systèmes ; plus seulement de produits, mais de cycles de vie ; plus seulement de contraintes, mais de solutions. Cette évolution renforce l'attractivité de la discipline. Les élèves s'y projettent davantage.

Dans ce nouveau cadre, Pierre trouve un nouveau souffle. Grâce aux ressources pédagogiques développées par la Chimie Verte Academy, il ne se contente plus de suivre un programme : il orchestre des parcours d'apprentissage personnalisés. Son *logiciel d'accompagnement pédagogique*, enrichi par l'IA, lui permet d'adapter les contenus à chaque élève, de simuler des expériences avant leur réalisation, d'explorer différents scénarios de procédés et surtout de laisser une vraie place à la créativité et à l'expérimentation.

L'IA anticipe, teste, sécurise. Mais les découvertes restent humaines. Comme Pierre le rappelle souvent à ses



élèves : « *L'IA peut optimiser, mais elle ne remplace pas l'intuition, la curiosité et l'envie de changer le monde.* »

Quand il repense à ses débuts, il sourit. À l'époque, les programmes parlaient beaucoup de crise climatique, mais peu du potentiel de la chimie pour apporter des solutions. Aujourd'hui, l'enseignement est résolument orienté solutions, innovation, responsabilité et impact positif.

Pour Pierre, enseigner la chimie n'a jamais eu autant de sens.

Léa et Pierre pourraient être n'importe qui. Ce qui est exceptionnel, en revanche, tient aux conditions qui ont rendu ces trajectoires possibles. Ces deux parcours racontent finalement une même histoire : celle d'une chimie progressivement devenue une norme, portée par l'évolution conjointe des formations, des outils et des cadres. Entre ces trajectoires, s'inscrivent également de nombreux acteurs : les entreprises qui accueillent et transforment leurs pratiques, les chercheurs qui innovent, les formateurs qui adaptent les contenus et les institutions qui structurent ces évolutions.

En 2035, la question n'est plus véritablement de savoir s'il faut aller vers la chimie verte. Elle est devenue : « comment donner à chacune et chacun les moyens d'y contribuer, concrètement. »

Récit par **Grégory CHATEL**,
Directeur de la Chimie Verte Academy,
Conférencier aux JIREC2026

**Illustrations : représentations fictives de Léa et Pierre, générées par intelligence artificielle (OpenAI), 2026.*

Une réaction photochrome pour construire des séances de TP originales afin de travailler des notions de cinétique et les incertitudes

Sylvain CLÈDE et Jonathan PIARD

Résumé Des séances de travaux pratiques originales, basées sur la réaction retour d'un composé photochrome (6-NO₂ BIPS), peuvent être mises en œuvre par des élèves de niveau CPGE/1^{er} cycle universitaire afin de travailler des notions de cinétique. Les suivis temporels peuvent s'effectuer par spectroscopie d'absorption UV-Visible, mais aussi par spectroscopie IR ou par spectrofluorimétrie. L'exploitation des données *via* les méthodes différentielle et intégrale mène à la détermination de l'ordre de la réaction p , de la constante de vitesse k et des incertitudes associées. Une étude par spectrophotométrie UV-Visible a ainsi été éprouvée auprès de 60 étudiant-es en CPGE filière PCSI (travail préparatoire inclus). Le phénomène étant renversable, sans photodégradation observée du composé, et la transformation dans l'acétate d'éthyle étant rapide ($t_{1/2} \approx 22$ s à 25 °C), chaque binôme peut réaliser plusieurs acquisitions successives, puis calculer les moyennes et écarts-types de p et k et les comparer aux valeurs de la littérature au moyen d'un zêta-score. Durant deux séances de 2 heures, 30 binômes ont ainsi généré 124 courbes de décroissance d'absorbance. Le protocole expérimental détaillé et la fiche de TP sont fournis clés en main pour une séance de 2 h devant élèves. Un jeu de données est également mis à disposition pour envisager une exploitation statistique exhaustive.

Mots-clés Cinétique chimique, photochromisme, travaux pratiques, incertitudes de mesure.

Abstract A photochromic reaction to design original laboratory sessions for studying kinetics and uncertainties

Original laboratory sessions based on the thermal back-reaction of a photochromic compound (6-NO₂ BIPS) can be implemented for students at the preparatory-class/undergraduate level to introduce key concepts in chemical kinetics. Time-dependent monitoring can be performed using UV-Visible absorption spectroscopy, as well as IR spectroscopy or spectrofluorimetry. Data analysis using both differential and integral methods enables determination of the reaction order p , the rate constant k , and their uncertainties. A UV-Visible spectrophotometry-based version of the experiment was tested with 60 students enrolled in a first-year PCSI preparatory class (including pre-lab work). Since the process is reversible, with no photodegradation of the compound, and the reaction in ethyl acetate is fast ($t_{1/2} \approx 22$ s at 25 °C), each student pair can perform several successive measurements, calculate mean values and standard deviations for p and k , and compare their results with literature values using a zeta-score. Over two 2-hour laboratory sessions, 30 student pairs generated a total of 124 absorbance-decay curves. A detailed experimental protocol and a ready-to-use laboratory worksheet are provided for a 2-hour teaching session. A dataset is also made available to allow comprehensive statistical analysis.

Keywords Chemical kinetics, photochromism, laboratory work, uncertainties.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chem.2026.518.04>

Le photochromisme : cas du 6-NO₂-BIPS

Le photochromisme est la propriété de certaines entités moléculaires de pouvoir subir une interconversion renversible entre deux isomères, **A** et **B**, caractérisés par des spectres d'absorption distincts. Cette transformation est induite, dans un sens ou dans l'autre, par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique (*figure 1*) [1-4]. Lorsque le retour de la structure **B** vers la structure **A** se produit par voie thermique, on parle de photochrome de type T.

Parmi les composés photochromes de type T, le 1,3,3-triméthylindolino-6'-nitrobenzopyrrolospirane (6-NO₂-BIPS, n° CAS 1498-88-0, *figure 2A*), peu coûteux et commercialement disponible, a déjà été utilisé dans un contexte pédagogique [5-12].

Le photochromisme pour travailler des notions de cinétique

La cinétique de retour thermique de l'isomère **B** du 6-NO₂-BIPS (mérocyanine **MC**) à l'isomère **A** (normal **N**) a été précédemment

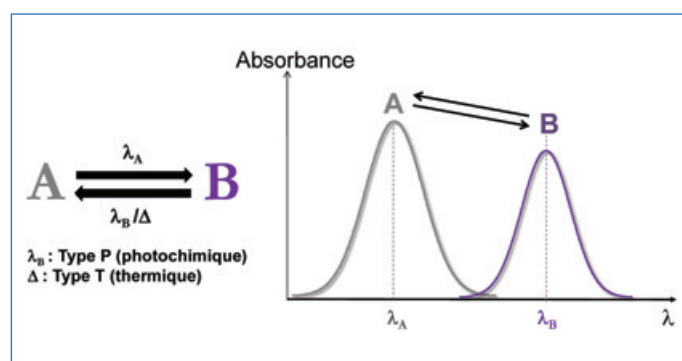


Figure 1 - Principe du photochromisme.

étudiée par spectroscopie d'absorption UV-Visible [5,7-10], IR [11] et spectrofluorimétrie [5,6] dans plusieurs solvants, notamment l'acétate d'éthyle (*figure 2B*) [8,9]. L'acquisition et l'exploitation des données par les étudiants-es *via* les méthodes différentielle et intégrale mène à la détermination de l'ordre de la réaction (p) et de la constante de vitesse (k) dans tous les cas. Ceci permet d'envisager l'élaboration de

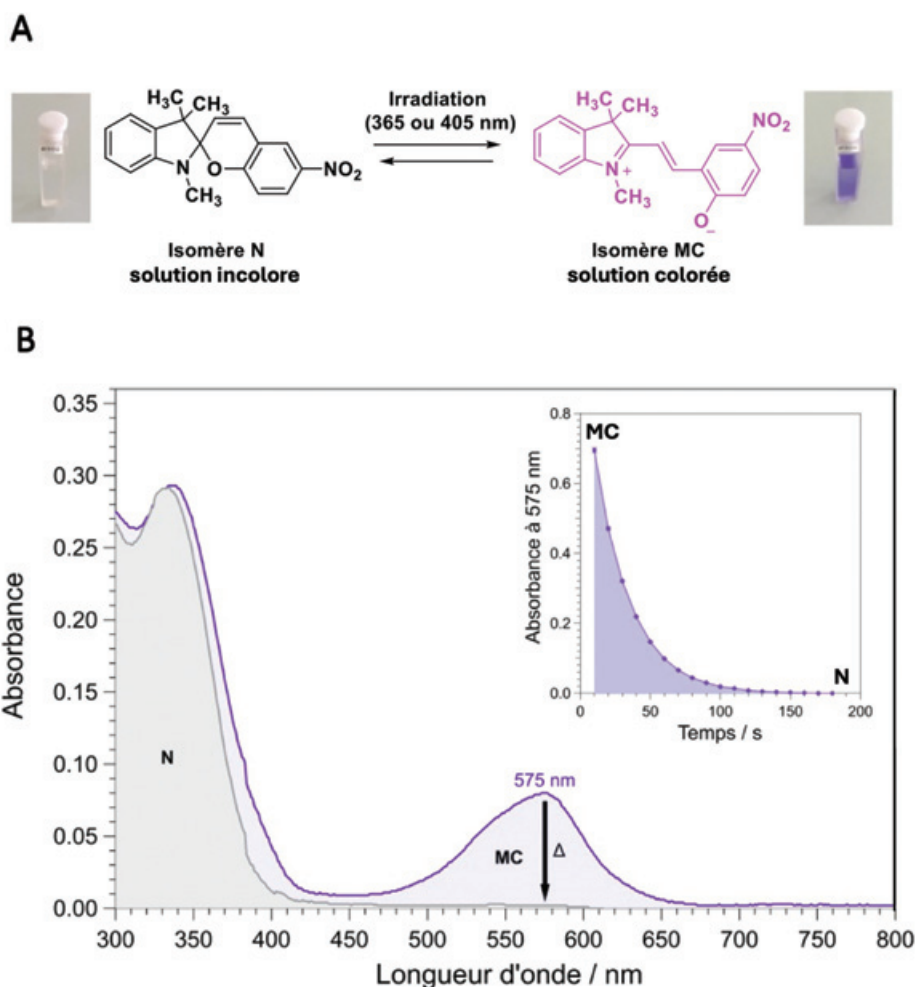


Figure 2 - (A) Structure et réaction photochromique du 6-NO₂-BIPS avec images d'une cuve de solution dans l'acétate d'éthyle avant et après irradiation à 405 nm. (B) Spectres d'absorption de l'isomère N et après irradiation (N+MC) de la solution mère diluée 10 fois ($3,1 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) dans l'acétate d'éthyle à 25 °C. Insert : suivi cinétique à 575 nm.

séances de TP permettant de comparer des résultats issus de méthodes et de solvants différents. Des paramètres cinétiques (énergie d'activation, facteur pré-exponentiel, grandeurs d'activation) peuvent également être extraits de l'analyse de la décroissance de l'absorbance pour différentes températures [7,9].

Le photochromisme pour travailler les incertitudes de mesure

La capacité à estimer et à interpréter les incertitudes expérimentales est une compétence-clé que les étudiants doivent intégrer lorsqu'ils réalisent des manipulations et déterminent des paramètres physico-chimiques [13-16]. Cependant, peu d'expériences chimiques permettent de se confronter à l'analyse statistique (évaluation de type A de l'incertitude de mesure) au cours d'une séance de travaux pratiques de deux ou trois heures. Le photochromisme de type T apparaît ainsi comme une option intéressante car le caractère renversable du retour thermique permet des mesures répétées. Dans le cas du 6-NO₂ BIPS dans l'acétate d'éthyle, la réaction de retour est rapide ($t_{1/2} \approx 22 \text{ s}$ à 25 °C) [8,9], autorisant l'acquisition de plusieurs suivis cinétiques au cours d'une séance de 2 h. En outre, l'utilisation de l'acétate d'éthyle, un solvant à faible impact environnemental [17,18], s'inscrit dans une démarche de pratiques durables.

Une séance complète de deux heures (avec travail préliminaire préparé en amont) a ainsi été testée par 30 binômes d'étudiant-es de CPGE filière PCSI à partir d'une seule solution mère de 100 mL de 6-NO₂ BIPS à $3,1 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (10 mg de composé photochrome utilisés), faisant l'objet d'une publication récente [19]. Chaque binôme a réalisé quatre à cinq acquisitions successives (figure 3A), analysé les données (figure 3B), calculé les moyennes et écarts-types de p et k et comparé leurs valeurs au moyen d'un zêta-score avec celles de la littérature [9]. Au total, au cours de deux séances de TP successives, 124 courbes de décroissance d'absorbance ont été enregistrées sur seize spectrophotomètres. Un débriefing final a permis de comparer et discuter les résultats de chaque binôme et de les confronter à ceux de l'ensemble du groupe. Des analyses statistiques post-séance confirment une réaction de retour thermique du premier ordre ($\bar{p} = 1,05$; $u = 0,19$), résultat cohérent entre les groupes et constituant une référence fiable, une distribution normale de p étant de plus vérifiée. En revanche, la distribution de k s'écarte de la normalité, vraisemblablement en raison d'une température non contrôlée. Enfin, l'absence de photodégradation est établie, y compris après huit à dix mesures successives sur la même cuve.

L'énoncé incluant le travail préliminaire, les instructions fournies en séance et le tableau à remplir ainsi que la fiche technique, la correction des questions, des exemples de

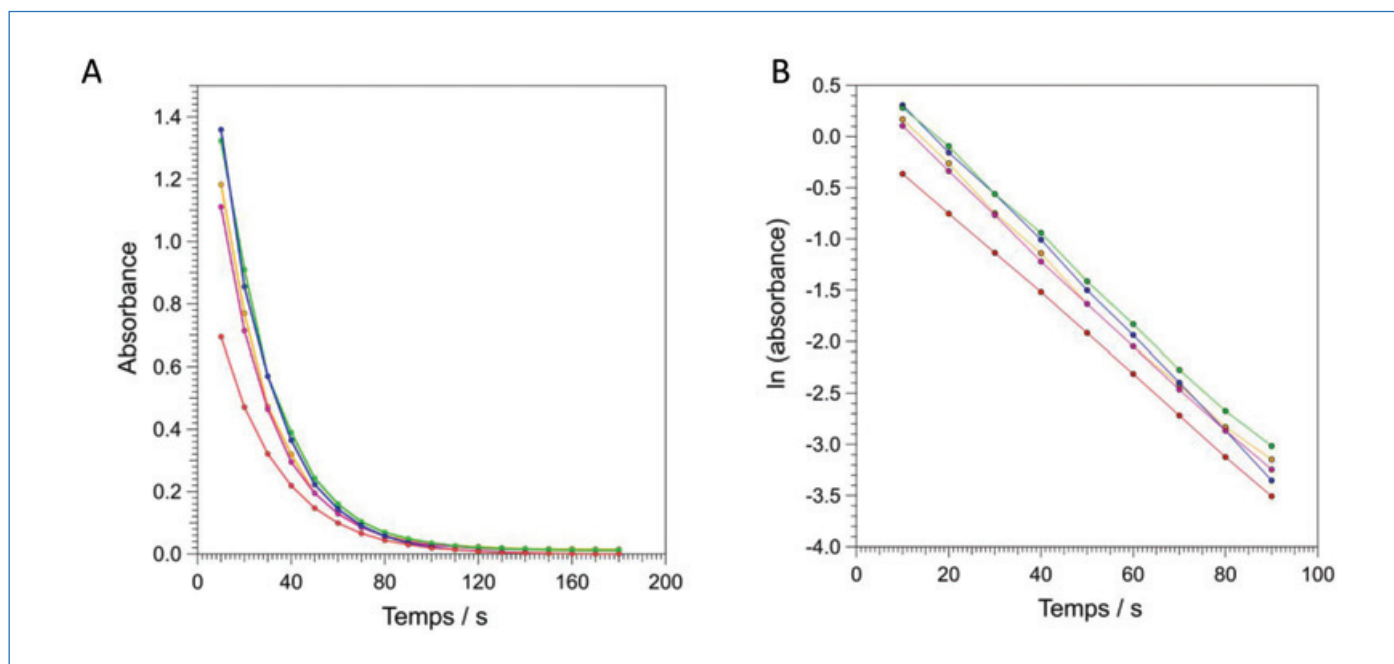


Figure 3 - (A) Exemple de cinq acquisitions cinétiques successives réalisées par un binôme et (B) leur analyse par méthode intégrale (hypothèse ordre 1) sur les 90 premières secondes.

résultats et l'ensemble des données des 30 binômes sont disponibles sur le lien suivant : <https://zenodo.org/records/18734868>.

Ces données peuvent être utilisées pour des analyses statistiques [19] ou peuvent être traitées comme si elles provenaient d'essais inter-laboratoires.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier vivement les étudiantes et étudiants des classes de PCS11 et PCS12 du lycée Stanislas (promotion 2024-2025) pour leur enthousiasme et la qualité de leur travail, Mme Nguyen et Mme Kimfuta Henriette pour leur précieuse aide technique dans la mise en place du matériel, ainsi que l'administration du lycée Stanislas – avec une mention particulière à M. Manaranche – pour son soutien à ce projet scientifique.

- [1] S.E. Braslavsky, Glossary of Terms Used in Photochemistry, 3rd Edition (IUPAC Recommendations 2006), *Pure Appl. Chem.*, **2007**, 79(3), p. 293-465, <https://doi.org/10.1351/pac200779030293>
- [2] M. Irie, Photochromism: Memories and Switches - Introduction, *Chem. Rev.*, **2000**, 100(5), p. 1683-84, <https://doi.org/10.1021/cr980068l>
- [3] Introduction: Organic Photochromic Molecules 1, In *Photochromic materials: preparation, properties and applications*, H. Tian, J. Zhang (Eds.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, **2016**.
- [4] J. Piard, Le photochromisme : définition et applications, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2013**, 954.
- [5] H. Seifdine Zeytoun, I. Turcas, M. Lordez, Opening the Way to Greener Photochromic and Fluorescence Studies by Using the 6-NO₂-BIPS Photoswitch, *Emergent Scientist*, **2024**, 8, 3, <https://doi.org/10.1051/emsci/2024001>
- [6] J. Piard, J. Sowa, Étude cinétique d'un composé photochrome par spectrofluorimétrie, *Bulletin de l'union des physiciens*, **2020**, 114 (N°1024), p. 501-17.
- [7] J. Piard, Influence of the Solvent on the Thermal Back Reaction of One Spiropyran, *J. Chem. Educ.*, **2014**, 91(12), p. 2105-11.
- [8] J. Piard et al., Le photochromisme pour illustrer des notions de cinétique en terminale scientifique, *Bulletin de l'union des physiciens*, **2018**, N°1003, p. 667-82.
- [9] J. Piard et al., Le photochromisme pour illustrer des notions de cinétique et thermodynamique en CPGE, *Bulletin de l'union des physiciens*, **2018**, 112 (N°1002), p. 471-504.

- [10] J. Piard, Étude cinétique d'une réaction photochrome, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2012**, 106 (N°947), p. 971-84.
- [11] J. Piard, S. Clède, Étude cinétique d'un composé photochrome par spectroscopie infrarouge, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2023**, 117 (N°1057), p. 811-29.
- [12] R.M. Negri, H.E. Prypsztejn, An Experiment on Photochromism and Kinetics for the Undergraduate Laboratory, *J. Chem. Educ.*, **2001**, 78(5), 645, <https://doi.org/10.1021/ed078p645>
- [13] R.J. Olsen, S. Sattar, Measuring the Gas Constant R: Propagation of Uncertainty and Statistics, *J. Chem. Educ.* **2013**, 90(6), p. 790-92, <https://doi.org/10.1021/ed3005374>
- [14] G. Schmitz, The Uncertainty of pH, *J. Chem. Educ.*, **1994**, 71(2), 117, <https://doi.org/10.1021/ed071p117>
- [15] C.J. Guare, Error, Precision, and Uncertainty, *J. Chem. Educ.*, **1991**, 68(8), 649, <https://doi.org/10.1021/ed068p649>
- [16] R. Gao, J. Lloyd, Precision and Accuracy: Knowledge Transformation through Conceptual Learning and Inquiry-Based Practices in Introductory and Advanced Chemistry Laboratories, *J. Chem. Educ.*, **2020**, 97(2), p. 368-73, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00563>
- [17] C.M. Alder et al., Updating and Further Expanding GSK's Solvent Sustainability Guide, *Green Chem.*, **2016**, 18(13), p. 3879-90, <https://doi.org/10.1039/C6GC00611F>
- [18] D. Prat et al., CHEM21 Selection Guide of Classical- and Less Classical-Solvents, *Green Chem.*, **2016**, 18(1), p. 288-96, <https://doi.org/10.1039/C5GC01008J>
- [19] J. Piard, S. Clède, A Green and Low-Cost Photochromic Kinetics Experiment for Teaching Experimental Uncertainty at the Undergraduate Level, *J. Chem. Educ.*, **2026**, 103(5), p. 2641-48, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00755>

Sylvain CLÈDE^a, docteur en chimie, professeur agrégé en classe préparatoire, académie de Paris, et **Jonathan PIARD^b**, docteur en chimie, professeur agrégé (PrAg), Université.

^aAcadémie de Paris, Lycée Stanislas, 22 rue Notre-Dame-des-Champs 75279 Paris, France (ORCID 0009-0008-3075-650X).

^bUniversité Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, PPSM, CNRS, 4 avenue des sciences, 91190 Gif-sur-Yvette, France (ORCID 0000-0002-6974-3561).

*Courriels : sylvain.clede@ac-paris.fr
jonathan.piard@ens-paris-saclay.fr

Enseigner la transition écologique au sein de la formation en chimie à l'IUT d'Aix-Marseille

Clémence CORDIER, Carine FRANKLIN et Mathias MONNOT

Cet article décrit l'intégration progressive des enjeux de transition écologique dans le programme du BUT Chimie de l'IUT d'Aix-Marseille Université depuis la réforme de 2021, qui a renforcé la place du développement durable dans les formations. Le parcours met en évidence une progression pédagogique sur les trois années de formation, associant une montée en compétences théoriques et pratiques.

En première année, les étudiants découvrent l'écoconception via l'évaluation de l'empreinte carbone et des bilans énergétiques. En deuxième année, une approche multicritère mène à l'introduction à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). À cela s'ajoutent un module de traitement des eaux et une combinaison d'activités d'apprentissage par projets (matériaux durables, escape games numériques sur les enjeux de développement durable, projets entrepreneuriaux intégrant la RSE). En troisième année, un « business game » interdisciplinaire porte sur la création d'entreprises chimiques durables, complété par un module d'analyses environnementales.

Des ateliers de sensibilisation au changement climatique, animés par des étudiants formés, complètent ce dispositif visant à développer à la fois compétences scientifiques, responsabilité environnementale et engagement pédagogique.

Mots-clés Transition écologique, enseignement de la chimie, pédagogie active, développement durable, analyse du cycle de vie.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.05>

Contexte et objectifs pédagogiques

La réforme du Bachelor Universitaire de Technologie (BUT) en 2021 a transformé la formation en un diplôme de niveau licence sur trois ans, incluant désormais une dimension renforcée de développement soutenable dans les programmes nationaux. Le développement soutenable ou durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Au département Chimie de l'IUT d'Aix-Marseille, cette dimension a été mise en œuvre de manière volontariste, avec le soutien de la direction du développement durable de l'établissement.

L'objectif est de former des futurs techniciens supérieurs capables de comprendre et de gérer, dans leurs activités professionnelles, les enjeux liés à la transition écologique, tant sur le plan conceptuel que pratique.

Intégration progressive de la transition écologique dans le curriculum

Une première étape a consisté à établir un état des lieux des enseignements en lien avec le développement soutenable, révélant que plus de quinze modules étaient concernés sur les trois années du BUT Chimie. Les activités peuvent être divisées en quatre axes comme présenté ci-dessous.

Sensibilisation et engagement

L'IUT d'Aix Marseille organise chaque année la journée « Développement Durable et Changement Climatique » (D2C2) lors de laquelle les étudiants de première année du département Chimie participent à une fresque du climat le matin et à un atelier 2 tonnes l'après-midi. Cet événement est l'occasion pour les étudiants de découvrir ou redécouvrir les tenants et aboutissants du réchauffement climatique et les

actions collectives et individuelles à mettre en place pour tenter d'y répondre. La coordination logistique pour accueillir plus de 110 participants lors de cette journée est un défi organisationnel, mais les retours très positifs des étudiants et des animateurs encouragent la pérennisation de cette initiative. La particularité de cette journée D2C2 est que les ateliers sont animés par des étudiants du département. Ainsi, en deuxième et troisième année de BUT, les intéressés participent à la formation à l'animation, financée par le département. Depuis trois ans, plus de 60 étudiants ont ainsi été formés, permettant de faciliter l'organisation de cette journée car il n'est pas nécessaire de faire appel à des intervenants extérieurs, mais surtout de rendre acteurs les étudiants du département dans cette action de sensibilisation.

En parallèle, lors de la deuxième année, une ressource pédagogique, « Développement Durable : État des Lieux », invite les étudiants à concevoir en groupe un escape game numérique sur des thèmes tels que la biodiversité, les pollutions, l'océan ou le réchauffement climatique. Cette activité s'appuie sur l'utilisation du logiciel Genially (voir *figure*) et renforce l'engagement collaboratif.

La pollution environnementale : apprendre à la quantifier et la contrôler

Les étudiants du département chimie, à travers le parcours Analyse, Contrôle-Qualité, Environnement, développent les compétences d'analyses d'échantillons solides, liquides et gazeux directement applicables à la quantification de contamination dans l'environnement. Ces compétences sont complétées avec deux ressources locales abordant les filières et procédés de traitement des eaux (deuxième année - cours, TD et TP) et les analyses environnementales (troisième année - cours, TD et TP), notamment des analyses de la qualité de l'eau. Des jeux sérieux sont aussi utilisés dans ces modules, notamment un jeu de société, « STEP by STEP »



Jeu introductif



Thème Pollutions



Thème Océan et Climat

Exemples de pages de garde numériques d'échappement pédagogique réalisés par les étudiants en lien avec le développement durable.

(création originale par deux collègues du département), sur le devenir des rejets de station d'épuration, pour améliorer l'implication des étudiants et favoriser l'apprentissage. Ces activités renforcent la maîtrise des méthodes analytiques, la compréhension des normes environnementales pertinentes et offrent un aperçu des procédés de traitement des eaux et des effluents *via* des filières classiques de traitement et des techniques plus innovantes.

L'analyse de cycle de vie

Une unité d'enseignement est consacrée à l'écoconception de matériaux ou de produits formulés, utilisant notamment un outil d'éco-audit pour analyser l'impact carbone et le bilan énergétique des solutions proposées. Cette approche donne aux étudiants une première expérience d'évaluation environnementale appliquée. Le développement des compétences se poursuit avec une approche multicritère qui introduit la notion d'analyse de cycle de vie (ACV). Une situation d'apprentissage et d'évaluation (SAE) demande la création d'un matériau innovant en tenant compte des critères de durabilité et de recyclabilité.

Restitution et mise en application

Dans le cadre de la ressource Développement Durable en deuxième année, un intervenant extérieur propose une activité sur la responsabilité sociétale des entreprises (RSE). L'objectif est de trouver et développer une idée d'entreprise utilisant la chimie dans une optique de développement soutenable et conforme aux piliers de la RSE. Les étudiants associent leurs compétences en chimie à cette problématique pour réaliser un dossier et une présentation orale en groupe de leur démarche RSE.

Enfin, un projet majeur de type business game, réalisé lors de la troisième année, en collaboration avec le département Gestion des Entreprises et des Administrations (GEA), prolonge le travail amorcé en deuxième année. Après une préparation en amont, les étudiants participent à un atelier intensif de quatre jours avec des coachs et enseignants pour concevoir et valoriser une entreprise durable. Ils réalisent des présentations orales « pitch » sur leur entreprise devant les professeurs et les meilleures sont ensuite évaluées par un jury professionnel. Ce travail collaboratif est une opportunité pour les étudiants de découvrir le monde de l'entrepreneuriat et mettre en commun leurs compétences accumulées sur trois années de BUT sur une application concrète et originale.

En conclusion, les exemples présentés illustrent une progression cohérente des compétences liées à la transition écologique au sein du département Chimie de l'IUT d'Aix-Marseille, intégrant des approches conceptuelles, analytiques, créatives et collaboratives.

Clémence CORDIER^{1,2}, Carine FRANKLIN¹ et Mathias MONNOT^{1,2}

¹ Aix Marseille Univ, IUT Aix-Marseille, Département Chimie, Marseille, France.

² Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Med, M2P2, Marseille, France.

*Correspondance : clemence.cordier@univ-amu.fr

45 Sc 21 Culture **iencesChimie**



ENS



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Site de ressources en Chimie pour les enseignants

Thèmes en lien avec les **PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT**

Contenu validé par des **CHERCHEURS**

Articles, Vidéos, Diaporamas

AGENDA, ACTUALITÉS

événements, conférences, parutions scientifiques...



<http://culturesciences.chimie.ens.fr>

Chimie verte et développement durable : le cas du BUT Chimie à Castres

Comment transformer l'essai ?

Dominique AGUSTIN

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.06>

Cet article présente l'intégration progressive de la chimie verte et du développement durable dans la formation Bachelor Universitaire de Technologie (BUT) Chimie de l'IUT TAC, situé à Castres [1]. Cette démarche, inscrite dans le cadre national du BUT, bénéficie du lien particulier recherche-enseignement des enseignants-chercheurs du département (notamment du Laboratoire de Chimie de Coordination [2]) dont les activités de recherche sont liées à certains principes de la chimie verte (catalyse, valorisation de la biomasse, réactions sans solvant organique) [3].

Le BUT Chimie situé à Castres est organisé en trois parcours : Analyse–Contrôle–Qualité–Environnement (ACQE), Synthèse (SYNT) et Matériaux et Produits Formulés (MPF). Selon le cadrage national, l'évaluation de la formation repose sur 60 % de ressources (enseignements) et 40 % de situations d'apprentissages et d'évaluations (SAE), favorisant une pédagogie utilisant l'approche par compétences et par projets.

Approche des éco-concepts

Dès la première année, les étudiants sont sensibilisés aux enjeux généraux de la catalyse et de l'écoconception, principes inhérents de chimie verte et de développement soutenable. La catalyse est enseignée lors du cours de cinétique. Ils découvrent les processus homogènes, hétérogènes et enzymatiques, les phénomènes physiques associés, ainsi que le gain d'énergie obtenu grâce à la catalyse (figure 1). Le lien direct avec la recherche est illustré par des exemples issus du laboratoire local (figure 2) [4].

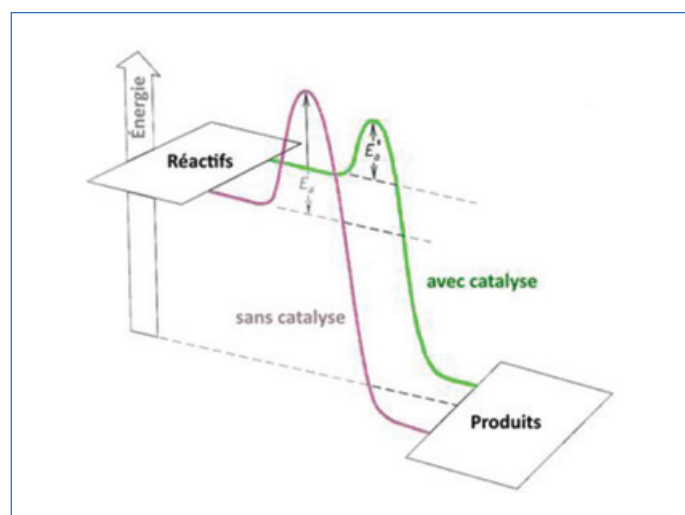


Figure 1 - Schéma énergétique d'une réaction sans catalyse (rouge) et avec catalyse (vert).

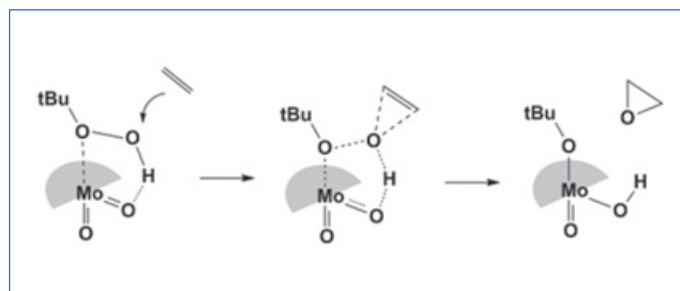


Figure 2 - Schéma simplifié de l'état de transition d'une réaction d'époxydation [4].

En cours d'écoconception sont abordés la chimie et la vie du papier, un matériau biosourcé à « vie multiple ». Une SAE « deuxième vie d'un objet » associée à ce cours amène les étudiants à revaloriser des matériaux pour créer un objet totalement différent et exposer leurs réalisations lors d'événements locaux (festival Futurs Proches [5], exposition à la Maison de Campus). Un jeu interactif sur l'impact carbone d'actions quotidiennes, initialement imaginé par des étudiants à partir de cette SAE, a été retravaillé et proposé comme activité ludo-pédagogique aux étudiants de BUT1 des départements de l'IUT TAC lors du festival Futurs Proches.

Ateliers « prises de conscience » au-delà-du laboratoire

En deuxième année, le développement durable est clairement présenté via les Objectifs de Développement Durable [6], la problématique du réchauffement climatique illustrée par des documents du GIEC [7], des présentations de l'Atecopol [8], ainsi que la Fresque du Climat [9]. Les 12 principes de la chimie verte [10] sont présentés et illustrés par des exemples de recherche locaux (figure 3) [11]. Il y a mise en application des *métriques vertes*⁽¹⁾ à partir d'un article pédagogique [12] lors d'un TD d'application, mais aussi en relatant des expériences industrielles [13]. Des présentations sont faites sur l'analyse de cycle de vie (ACV) [14], le coût carbone (avec mise en application lors de l'Atelier 2 Tonnes [15]) (figure 4), l'écoconception et l'économie circulaire [16]. La biodiversité n'est pas oubliée avec un cours associé à la Fresque de la Biodiversité [17]. Tout ceci a pour but de former les étudiants aux enjeux qui dépassent les périmètres des laboratoires. Des SAE spécifiques portent sur des sujets divers notamment en lien avec des projets liés à la chimie verte : catalyse, extraction et identification de composés naturels, utilisation de molécules biosourcées, réactions sans solvant, formulation de produits biosourcés et évaluation par des métriques vertes.

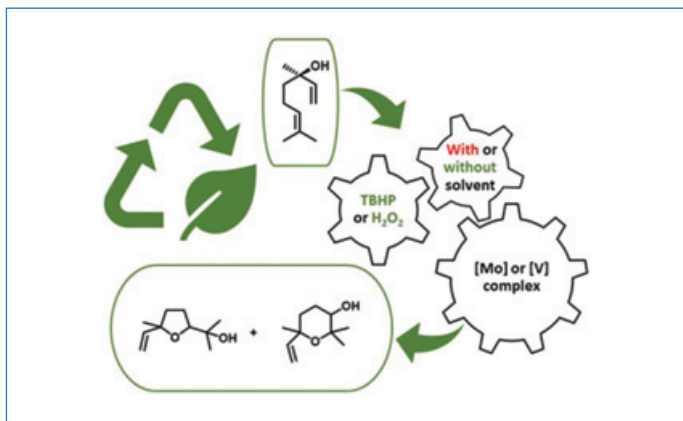


Figure 3 - Schéma simplifié de transformation du linalool par des complexes de molybdène ou de vanadium [11].



Figure 4 - Atelier 2 Tonnes.

Spécialisation « cœur de métier »

En troisième année, les enseignements se spécialisent. En parcours ACQE, les étudiants réalisent notamment des analyses environnementales avec une HPLC « verte », remplaçant le méthanol par l'éthanol. Ce dernier, potentiellement biosourcé, offre une force éluante plus élevée et réduit les temps de rétention, mais augmente la pression du système, ce qui peut accélérer l'usure de la chaîne analytique. En parcours SYNT, les étudiants travaillent sur les solvants verts, l'activation sous toutes ses formes et la biocatalyse. Les étudiants du parcours MPF abordent l'écotoxicologie, le rôle des solvants dans l'écoconception et réalisent un TP de formulation (gel douche bio), avec l'intervention d'industriels [18]. L'ensemble de cette vision du développement durable vise à former des chimistes citoyens responsables, capables de concevoir des procédés et produits à plus faible impact environnemental, d'évaluer leurs performances via des indicateurs et de relier théorie, pratique et recherche. Sur cette terre de rugby, le projet est porté par une équipe pluridisciplinaire (enseignants, enseignants-chercheurs, professionnels) et s'alimente d'interactions fortes avec des dispositifs en lien avec la chimie (Decarbochim [19], Chimie Verte Academy [20]) ou interdisciplinaires (TIRIS [21]), avec les actions de la Division Chimie Durable de la SCF (Mardis de la Chimie Durable

et autres webinaires associés [22]). Cette approche globale fait du BUT Chimie de Castres un exemple de transformation réussie vers la transition écologique, où la chimie peut être un levier de solutions durables.

(1) Les métriques vertes (ou *green metrics* en anglais) sont des équations simples qui permettent de rendre compte de réactions « économes » en atomes, sobres en matières, en considérant tous les composés non recyclés utilisés lors de la réaction (intégrant le traitement post-réactionnel). Ces équations sont bien résumées et expliquées dans les références [11-13].

[1] <https://iut-tlse3.fr/bachelor-specialite-chimie>

[2] www.lcc-toulouse.fr

[3] J. Pisk, D. Agustin, Molybdenum, Vanadium, and Tungsten-Based Catalysts for Sustainable (ep)Oxidation, *Molecules*, **2022**, 27, 6011, <https://doi.org/10.3390/molecules27186011>

[4] J. Morlot, N. Uytendroek, D. Agustin, R. Poli, Solvent-Free Epoxidation of Olefins Catalyzed by "[MoO₂(SAP)]": A New Mode of *tert*-Butylhydroperoxide Activation, *ChemCatChem*, **2013**, 5, p. 601-11, <https://doi.org/10.1002/cctc.201200068>

[5] <https://futurs-proches.univ-toulouse.fr>

[6] www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable

[7] www.ipcc.ch/languages-2/francais

[8] <https://atecopol.hypotheses.org/6544>

[9] <https://fresqueduclimat.org>

[10] P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, **1998**, p. 30.

[11] A. A. Haidar, D. Agustin, Role of organic solvent and influence of oxidant in the oxidation of linalool catalyzed by molybdenum and vanadium complexes, *Tetrahedron Green Chem.*, **2023**, 2, 100029, <https://doi.org/10.1016/j.tgchem.2023.100029>

[12] J. Andraos, M. Sayed, On the Use of "Green" Metrics in the Undergraduate Organic Chemistry Lecture and Lab To Assess the Mass Efficiency of Organic Reactions, *J. Chem. Ed.*, **2007**, 84, 1004, <https://doi.org/10.1021/ed084p1004>

[13] F. Pin, J. Picard, S. Dhulot, GreenScore: A User-Friendly Tool for Assessing the Sustainability of Chemical Processes, *Org. Proc. Res. Dev.*, **2025**, 29, p. 1715-26, <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.5c00047>

[14] <https://economie-circulaire.ademe.fr/evaluation-environnementale>

[15] www.2tonnes.org

[16] www.economiecirculaire.org

[17] www.fresquedelabiodiversite.org

[18] www.galeniform.com

[19] DecarboChim - Former les acteurs de la chimie à la décarbonation, Site de l'ANR, <https://anr.fr/ProjetIA-23-CMAS-0029/>

[20] G. Chatel, Retour sur le lancement de la Chimie verte Academy, *L'Act. Chim.*, **2025**, 501, p. 8-10, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/retour-sur-le-lancement-de-la-chimie-verte-academy-p8-n501>

[21] TIRIS - Toulouse Initiative for Research's Impact on Society, <https://tiris.univ-toulouse.fr>

[22] G. Chatel, D. Agustin, What is Green Chemistry? Quand John C. Warner inspire la nouvelle génération, *L'Act. Chim.*, **2025**, 508-509, p. 13-15, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/what-is-green-chemistry-quand-john-c-warner-inspire-la-nouvelle-generation-p13-n508-509>

Dominique AGUSTIN*, professeur de l'Université de Toulouse¹, vice-président de la Division Chimie Durable de la SCF.

¹ Université de Toulouse / IUT Toulouse Auch Castres (IUT TAC) / Département Chimie, Castres, Laboratoire de Chimie de Coordination.

*dominique.agustin@iut-tlse3.fr / dominique.agustin@utoulouse.fr

Enseigner la transformation chimique au collège à travers le cycle du carbone

Marie SUDRIÈS et David CROSS

Résumé Cet article rend compte d'un projet de recherche à propos des conditions d'intégration des enjeux environnementaux à l'enseignement de la chimie au collège. Dans un premier temps, une enquête par questionnaire montre que, bien que les enseignants et enseignantes de physique-chimie aient conscience de l'importance des enjeux environnementaux, ils et elles ne les prennent pas toujours en charge au collège. Dans un deuxième temps, une étude qualitative des pratiques de quatre enseignantes et enseignants de physique-chimie est menée. Malgré des pratiques contrastées, celle-ci révèle que l'intégration du cycle du carbone à l'enseignement de la transformation chimique en classe de 4^e permet l'étude de l'origine du réchauffement climatique en classe de chimie.

Mots-clés Transformation chimique, cycle du carbone, modélisation, anthropocène, collège.

Abstract Teaching chemical change through the carbon cycle in secondary school

This article reports on a research project concerning the conditions for integrating environmental issues into chemistry teaching in secondary schools. Initially, a questionnaire showed that, although chemistry teachers are aware of the importance of environmental issues, they do not always integrate them in their teaching at secondary schools. Secondly, a qualitative study of the practices of four chemistry teachers was conducted. Despite contrasting practices, this study revealed that integrating the carbon cycle into the teaching of chemical change allows the study of the cause of global warming into chemistry classroom.

Keywords Chemical change, carbon cycle, modelling, Anthropocene, lower secondary school.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.08>

Enjeux environnementaux et enseignement de la chimie au secondaire

Les institutions prescriptrices demandent à l'École d'assumer des enjeux d'éducation qui répondent, en partie, aux défis de nos sociétés. Les problèmes environnementaux en sont un exemple. Ainsi, l'enseignement de la chimie au secondaire ne consiste pas seulement à former les chimistes de demain, mais contribue également à la formation de citoyens et citoyennes éclairées, aptes à prendre des décisions dans leur quotidien. Les enjeux environnementaux sont présents dans l'introduction des programmes de physique-chimie du collège, mais absents de la partie « connaissances et compétences associées ». Par exemple, au début du secondaire, les programmes de chimie sont majoritairement orientés vers la transmission de savoirs conceptuels (molécule, atome, principe de conservation de la matière, etc.) [1].

En ce qui concerne les pratiques enseignantes, une enquête par questionnaire montre qu'une majorité des enseignants et enseignantes de physique-chimie identifient les enjeux environnementaux comme importants [2]. 51 % des individus interrogés déclarent intégrer les enjeux environnementaux à leurs enseignements de physique-chimie car ils considèrent les savoirs de la chimie comme nécessaires pour comprendre ces enjeux, que c'est le rôle de l'enseignement de la chimie de les prendre en charge, qu'ils donnent du sens aux savoirs de chimie et motivent les élèves. Un autre groupe d'individus (43 %) déclare ne pas enseigner les enjeux environnementaux, malgré l'importance qu'ils accordent à ces questions. Parmi les raisons qui pourraient expliquer ce résultat, nous identifions les prescriptions ambiguës des programmes scolaires

à ce sujet, et le manque de ressources pour articuler enseignement des concepts de chimie et étude d'enjeux environnementaux au collège. La suite de notre étude s'est orientée vers la recherche d'outils qui permettraient cette articulation.

Le potentiel du cycle du carbone pour comprendre l'anthropocène

L'étude des programmes et des manuels scolaires du collège nous a permis d'identifier un objet propice à l'étude des enjeux environnementaux : le cycle du carbone. Cet objet, principalement étudié en sciences de la vie et de la Terre (SVT), permet en effet de mettre en relation différents phénomènes biologiques, géologiques et technologiques et de raisonner à une échelle globale sur les formes de stockage du carbone. Mis en relation avec l'effet de serre, le cycle du carbone permet de comprendre pourquoi les activités anthropiques ont un effet sur le réchauffement climatique. Aussi, ce raisonnement repose sur un principe enseigné en chimie dès la classe de 4^e : la conservation de l'élément carbone au cours de différentes transformations (respiration, photosynthèse, combustion, formation d'hydrocarbures, etc.) (figure 1).

Nous nous sommes donc demandé comment les enseignantes et les enseignants pouvaient intégrer le cycle du carbone dans leur enseignement de chimie.

Pour répondre à cette question de recherche, nous avons mené des observations en classe auprès de quatre enseignantes et enseignants de physique-chimie, à qui nous avons proposé d'intégrer le cycle du carbone à leur séquence à propos de la transformation chimique.

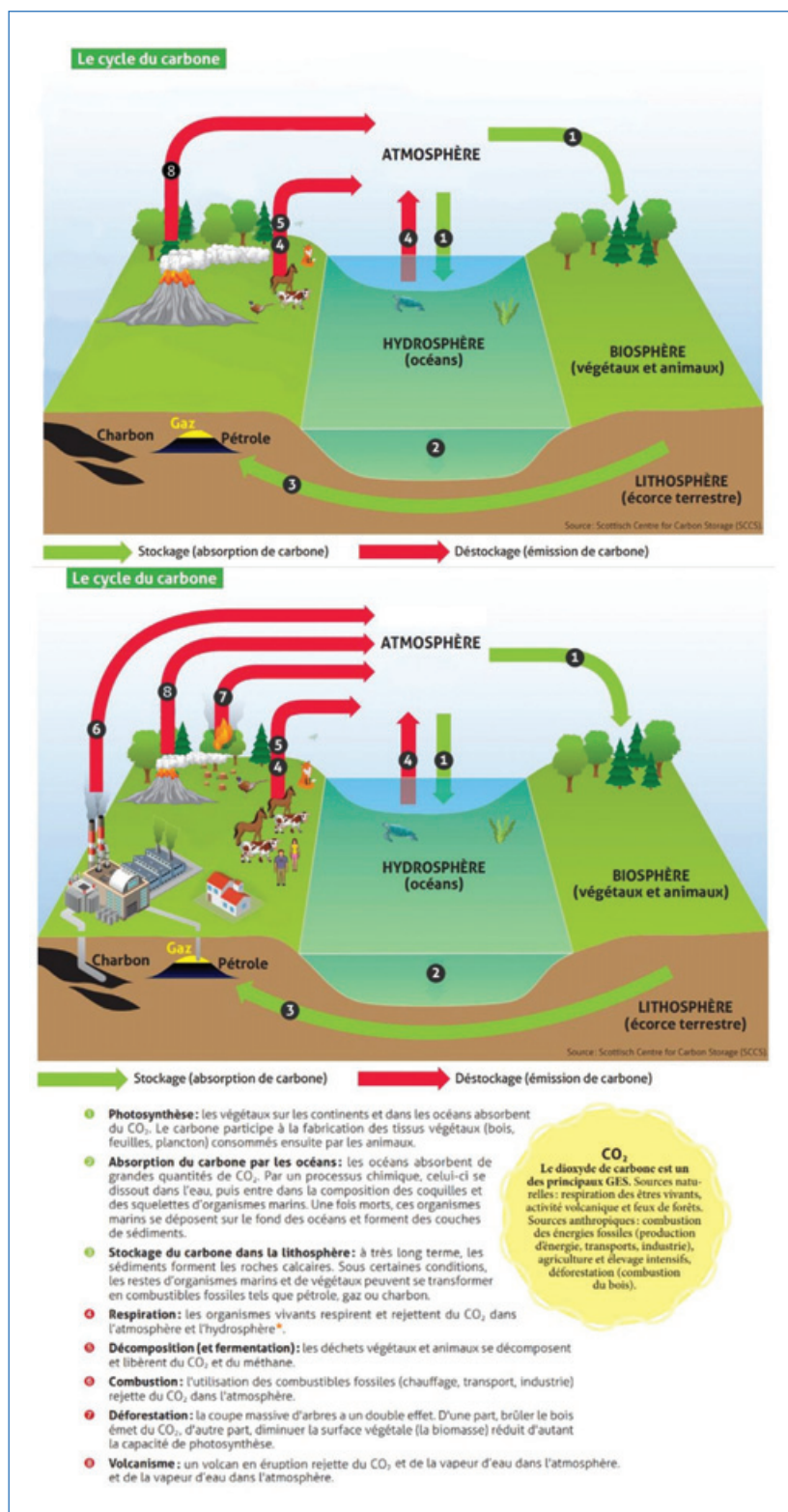


Figure 1 - Représentations du cycle du carbone « holocène » (haut) et « anthropocène » (bas) (d'après CIIP, *Relation Homme-Espace (cycle 3)*, 2010, www.plandetudes.ch/web/guest/SHS_31).
Source : croquis original projet CCEO II. Dessin : Michelle Walz, 2019.

Des pratiques nuancées

Dans nos quatre études de cas, nous observons l'introduction de questions liées à l'anthropocène dans les séquences de chimie soutenue par l'étude du cycle du carbone. De plus, la construction préalable des concepts de chimie semble être une condition nécessaire pour accéder à un raisonnement plus global sur les enjeux environnementaux. Les pratiques relatives à la modélisation des flèches du cycle comme des transformations chimiques sont plus nuancées.

Dans certains cas, les modèles chimiques permettent d'identifier une accumulation de dioxyde de carbone dans l'atmosphère liée aux activités industrielles et le lien avec le modèle de l'effet de serre permet de comprendre l'origine anthropique du changement climatique. Dans d'autres cas, la mise en relation de différents modèles ou principes (principe de conservation de la matière, cycle du carbone, effet de serre) est implicite ou exclusivement prise en charge par l'enseignant ou l'enseignante, ce qui nous conduit à interroger l'accès des élèves à la compréhension des enjeux environnementaux liés [3].

Des pistes pour la formation des enseignantes et des enseignants

Nos résultats ouvrent plusieurs pistes pour la formation initiale et continue des enseignantes et enseignants. Tout d'abord, les résultats de notre enquête par questionnaire montrent que même si les enseignantes et enseignants du collège considèrent les enjeux environnementaux comme importants, leur introduction en classe de chimie n'est pas toujours évidente. De plus, notre étude qualitative tend à montrer que l'intégration d'un objet à fort potentiel pour la collaboration disciplinaire en classe de chimie ne suffit pas à transformer les pratiques. Il semblerait qu'un accompagnement à la lecture des programmes scolaires, ainsi qu'un croisement des perspectives disciplinaires soient nécessaires dès la formation des enseignantes et enseignants de physique-chimie et de SVT. Ces réflexions intégrées à la formation initiale pourraient permettre d'envisager les conditions de collaboration de ces disciplines scolaires au collège et de lever le cloisonnement dès la conception des séquences d'enseignement, afin de favoriser l'approche complexe indispensable à la compréhension des enjeux environnementaux.

[1] M. Sudriès, F. Ligozat, D. Cross, Les enjeux de l'enseignement-apprentissage de la transformation chimique au secondaire. I : regards croisés sur les prescriptions officielles et ressources formelles en Suisse romande et en France, *RSSE*, 2023, 45(1), p. 64-82, <https://doi.org/10.24452/sjer.45.1.6>

[2] M. Sudriès, D. Cross, Pratiques déclarées d'enseignants et d'enseignantes de chimie sur l'enseignement des problèmes environnementaux au cycle 4, *RDST*, 2024, 29, p. 197-227, <https://doi.org/10.4000/130c2>

[3] M. Sudriès, *Enseigner et apprendre la transformation chimique pour comprendre le cycle du carbone. Vers une approche codisciplinaire du réchauffement climatique*, thèse de doctorat, Université de Genève et Université de Montpellier, 2024, <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:182204>

Marie SUDRIÈS^{*1}, maîtresse de conférences à l'Université Paris-Saclay, et **David CROSS**², maître de conférences HDR à l'Université de Montpellier.

*marie.sudries@universite-paris-saclay.fr

Soutenir la transition écologique grâce au design-fiction

Une expérimentation auprès d'élèves-ingénieurs en génie chimique

Nicolas HERVÉ, Julitte HUEZ et Naïla EVEN

Résumé Nous partageons ici le retour d'expérience d'une nouvelle formation basée sur le design-fiction et adressée à des élèves-ingénieurs en génie chimique. Cette formation vise à questionner la problématique des déchets en amenant des groupes d'élèves-ingénieurs à réfléchir à différents futurs climatiques et technologiques. L'analyse des productions écrites montre que le dispositif pédagogique permet aux étudiants de générer différents schémas techniques de gestion des déchets dans le futur, ancrés dans leur discipline, et également pensés en termes d'enjeux sociaux. Les deux pistes d'amélioration qui ressortent de cette recherche sont de travailler en classe l'articulation de différentes temporalités, celles des processus technologiques et celles des changements environnementaux, et d'amener des éléments de compréhension des technologies *low-tech*.

Mots-clés Enseignement supérieur, design-fiction, éducation aux futurs, déchets.

Abstract **Supporting the ecological transition through design fiction: an experiment with chemical engineering students**

We share feedback on a new course based on design fiction and aimed at chemical engineering students. This course aims to explore the issue of waste by encouraging groups of students to reflect on different future climate and technological scenarios. An analysis of the students' written work shows that the educational approach enables them to develop various technical models for future waste management that are grounded in their field of study and also take social issues into account. The two areas for improvement identified by this research are to work in class on the interplay between different timeframes, those of technological processes and those of environmental changes, and to introduce elements that help students understand the concept of low-tech.

Keywords Higher education, design fiction, futures education, waste.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.11>

Le contexte : une recherche collaborative

La transition nécessite de former les ingénieurs de demain à des contextes techniques intégrés à un environnement naturel et social⁽¹⁾ en évolution. Ceci impose de développer une attitude critique, prospective et responsable chez les élèves-ingénieurs. Ainsi, au sein des écoles qui les forment, la transition écologique conduit les enseignants-chercheurs à se questionner sur leur posture (neutre ou engagée), comme sur leurs pratiques professionnelles souvent hors de leur zone de confort [1].

Au sein de l'INP-ENSIACET, une collaboration entre une équipe d'enseignants et des chercheurs en sciences de l'éducation et de la formation a permis l'expérimentation et le déploiement d'un module de design-fiction [2]. Les objectifs visent à préparer les élèves-ingénieurs à affronter un avenir en mutation, en travaillant la pensée prospective, définie comme la capacité à analyser, construire et débattre d'images du futur [3]. Il s'agit aussi de co-construire et vivre collectivement une nouvelle modalité pédagogique croisant l'éducation des sciences et des techniques avec l'éducation au futur [4].

Le module de formation

La séquence pédagogique est composée de quatre séances de 1h20. Lors de la séance 1, chaque groupe d'élèves (9 groupes de 5 à 6 élèves) se projette dans un horizon temporel de 2050 (objectif de neutralité carbone des accords de Paris), choisit un scénario du futur parmi le *business as usual*,

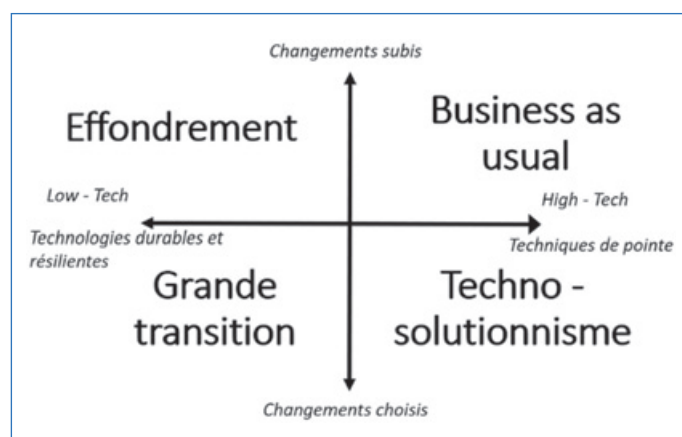


Figure 1 - À partir d'un axe vertical proposant un facteur de changement d'intensité et d'efficacité des politiques d'adaptation et d'atténuation mises en œuvre, et d'un axe horizontal proposant un facteur de changement de régime sociotechnique, quatre cadrans apparaissent, proposant quatre futurs contrastés.

la grande transition, l'effondrement et le techno-solutionnisme (figure 1), puis construit par écrit une image de son futur en explorant différentes thématiques (habitat, transport, alimentation, etc.).

Dans la séance 2, les élèves imaginent dans leur monde futur une pratique sociale en lien avec les déchets, puis la précisent en décrivant une situation de vie quotidienne ou professionnelle. À partir de la situation décrite, les groupes conçoivent pendant la 3^e séance un objet représentatif de cette situation. La dernière séance est consacrée à la présentation de ces

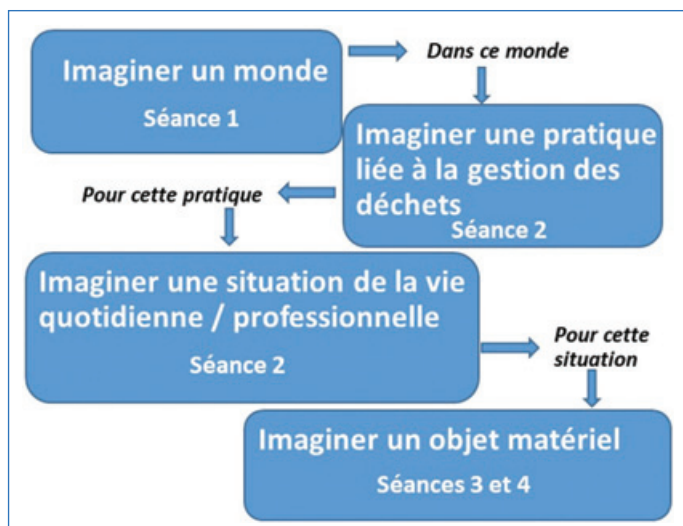


Figure 2 - Scénario pédagogique des quatre séances proposées aux élèves, depuis la construction d'un monde futur à l'imagination d'un objet matériel ramené de ce futur.

objets, à des échanges sur les déchets et aux futurs possibles (figure 2).

Le thème de la valorisation des déchets est imposé. Ce sujet est apparu opportun car :

- malgré des directives européennes claires [5], les formations autour des déchets s'expriment aujourd'hui davantage sur le besoin que sur l'offre ;
- la valorisation des déchets concerne tout un panel de nouvelles activités en lien avec la chimie, la discipline de prédilection de ces élèves (recyclage, analyse de cycle de vie, chimie verte etc.).

Premiers éléments d'analyse de l'expérimentation et perspectives

L'analyse des productions finales issues des trois premières séances (tableau I) nous permet d'accéder aux représentations du futur des élèves-ingénieurs et de la place de l'ingénieur dans ces futurs.

Pour ce faire, nous avons catégorisé les thèmes développés dans les productions : les dimensions sociales, environnementales, économiques, technologiques et politiques des futurs décrits ; les caractéristiques sociotechniques de la situation choisie en relation avec les déchets (réseau d'acteurs impliqués, place de l'ingénieur et/ou de l'utilisateur, nature des déchets et modalités de gestion).

La plupart des élèves-ingénieurs se sont intéressés aux déchets alimentaires, soit directement (sous forme de déchets organiques), soit indirectement (sous forme de déchets liés aux emballages alimentaires ou aux équipements de cuisine). Si l'on ajoute les déchets électroniques générés par l'utilisation des smartphones, six des neuf productions sont liées à des pratiques quotidiennes, et dans lesquelles la figure de l'ingénieur – comme ses compétences en lien avec sa discipline de prédilection, ici le génie chimique – joue peu. Ainsi, les élèves-ingénieurs mobilisent des connaissances sur la nature des déchets et sur les pratiques de leur gestion qui sont issues du contexte de leur vie quotidienne. La perception majoritaire des déchets passe notamment par les gestes écocitoyens.

Le *low-tech* est difficile à imaginer pour les élèves-ingénieurs, et la majorité des productions mobilisent des éléments de haute technologie, même dans le cas de futurs de « grande transition ».

Les productions montrent une forte association entre les caractéristiques générales du futur choisi (parmi les quatre cadrans de la figure 1) et le statut donné aux déchets.

Le déchet dans les futurs « *business as usual* » se distingue par la manière dont il est rendu invisible ; il constitue un problème exclusivement technique situé à la fin d'une chaîne économique linéaire. Les productions des futurs techno-solutionnistes envisagent un futur « *no waste* », dans lequel les objets manufacturés peuvent être continuellement renouvelés par des processus techniques de production sans perte. Les productions des futurs de la « grande transition » montrent un déchet pris en charge par des éco-gestes. Enfin, les productions des futurs effondrés envisagent une société de sobriété imposée, qui inscrit le déchet dans la mise en place d'un nouveau réseau sociotechnique.

Tableau I - Synthèse des futurs travaillés et des objets produits par chaque groupe d'élèves.

Production	Type de futur	Situation	Objet
1	Business as usual	Disparition de la cuisine dans l'habitat sous l'effet de la robotisation	Publicité pour la reprise de l'électroménager avec l'achat d'un robot
2	Business as usual	Envoi des déchets ultimes sur la face cachée de la Lune	Interview du PDG de la société spatiale (Space Waste)
3	Effondrement	Organisation d'un supermarché en situation de pénurie et de rationnement	Affiche du magasin expliquant la procédure d'achats
4	Effondrement	Inauguration d'une centrale à gaz dans une communauté	Entretien radiophonique avec le responsable de la centrale
5	Techno-solutionnisme	Distributeur automatique et collectif de plats cuisinés	Publicité présentant la machine (la Baker)
6	Techno-solutionnisme	Traitement des plastiques issus du passé	Offre d'emploi pour un ingénieur (société Rebuild)
7	Techno-solutionnisme	Traitement des déchets issus de la production d'énergie pour en faire un parc de loisirs	Dépliant publicitaire présentant l'île symbolique
8	Grande transition	Système de consignment de bouteilles en plastique	Affiche du magasin expliquant la procédure
9	Grande transition	Filière de recyclage et de reconditionnement des smartphones	Dépliant institutionnel expliquant l'organisation de la filière

Les productions des élèves ingénieurs s'inscrivent dans des temporalités paradoxales. Les futurs qu'ils décrivent sont souvent très différents du présent, alors que les situations sont familières et que les solutions techniques qu'ils imaginent puisent dans un imaginaire présent ou déjà passé. Les productions montrent une difficulté à projeter les conséquences du changement climatique. Celui-ci est surtout perçu comme un événement qui n'évoluera plus en 2050. Certes, le climat a plus ou moins changé, mais l'équilibre climatique est supposé atteint dans tous les futurs. Cela signifie que les politiques d'adaptation et d'atténuation sont décrites comme figées et non comme susceptibles d'évoluer en fonction de l'intensité du changement climatique.

Enfin, nos résultats montrent qu'il est difficile pour les élèves-ingénieurs de se projeter dans le futur, en particulier d'articuler différentes temporalités (contextes quotidiens/globaux ; changement climatique comme processus évolutif). Ils soulignent également qu'un rapport *low-tech* à la technologie résiste à l'appréhension des élèves-ingénieurs, qui conçoivent le progrès et la technologie future avant tout dans des modèles *high-tech*.

Ce sont donc les principaux domaines d'amélioration du dispositif pédagogique et de recherche futur.

Notes et références

⁽¹⁾ La Commission des titres d'ingénieurs (CTI), rappelle, qu'outre l'étude et la résolution de problèmes complexes, l'ingénieur « prend en compte les préoccupations de protection de l'homme, de la vie et de l'environnement, et plus généralement du bien-être collectif. »

[1] J. Huez, C. Joannis-Cassan, L'INP-ENSIACET en transition : l'engagement entre émergence et urgence, *Colloque QPES Brest*, 2022.

[2] N. Minvielle, O. Wathélet, Le « design fiction », une méthode pour explorer les futurs et construire l'avenir ?, *Futuribles*, 2017, 421, p. 69-83.

[3] N. Hervé, L'éducation au futur, une ressource pour penser l'Anthropocène, *Spirale*, 2022, 70, p. 113-23, <https://doi.org/10.3917/spir.070.0113>

[4] Z. Sardar, *Future: All that matters*, London: Hodder & Stoughton Libri, 2013.

[5] Directive (UE) 2018/851 du Parlement européen et du Conseil www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037245135 (consulté le 27/07/2026).

Nicolas HERVÉ, professeur des universités, ENSFEA¹, Laboratoire EFTS³, **Julitte HUEZ**, maîtresse de conférences, INP-ENSIACET², Laboratoire EFTS³, et **Naïla EVEN**, ingénieure pédagogique, INP-ENSIACET².

¹École Nationale Supérieure de Formation de l'Enseignement Agricole.

²École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Art Chimiques et Technologiques.

³Laboratoire Éducation, Formation, Travail, Savoirs.

* nicolas.herve@ensfea.fr, julitte.huez@ensiacet.fr, naïla.even@ensiacet.fr

Webinaires franco-belges de catalyse



5^{ème} édition – Lundi 5 octobre, 14h-16h30
« Procédés photocatalytiques »






Le prochain « Webinaire franco-belge de catalyse » organisé par la Division Catalyse aura lieu le **lundi 5 octobre de 14h à 16h30** sur la thématique « **Procédés photocatalytiques** ». Elle sera accessible via :

https://rendez-vous.renater.fr/5e_Webinaire_franco-belge_de_catalyse_a45b8b-b53682-dc9e92

Au programme de ce cinquième webinaire, une présentation des activités en photocatalyse du **Laboratoire de Nanomatériaux, Catalyse, Électrochimie (NCE) de l'Université de Liège (Belgique)** par Stéphanie Lambert, suivie de deux présentations scientifiques par Julien Mahy (postdoctorant) et Amaury Lemaire (doctorant) ; et une présentation du **Laboratoire Catalyse et Spectrochimie (LCS) de l'Université de Caen (France)** par Mohamad El-Roz, suivie de deux présentations scientifiques par Gustavo Felix Bitencourt (doctorant) et Zahraa Abou-Khalil (postdoctorante).

- Elimination of micropollutants in clarified wastewater by innovative processes combining adsorption, electro-generation of H₂O₂, and electro-photocatalysis (Julien Mahy, post-doctorant)
- Design, modeling, and optimization of a photocatalytic mesofluidic reactor for water treatment (Amaury Lemaire, doctorant)

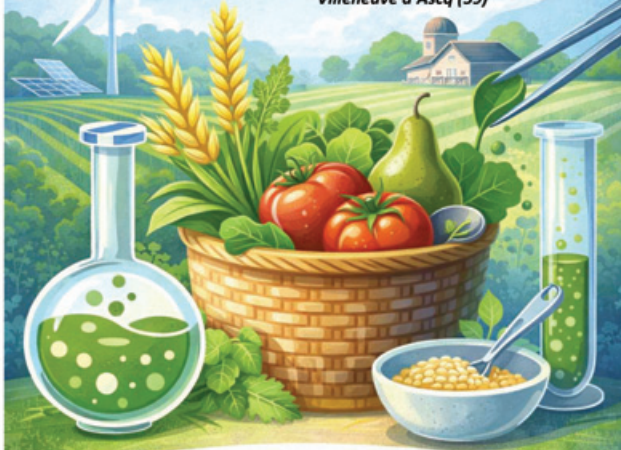
- Covalent organic frameworks (COFs) for H₂O₂ photosynthesis (Gustavo Felix Bitencourt, doctorant)
- Cu@MOFs for photocatalytic dehydrogenation of formic acid: operando investigation (Zahraa Abou-Khalil, post-doctorante)



JOURNÉES 2026 FORMULATION

2 au 4 DECEMBRE 2026

Polytech'Lille – Cité Scientifique
Villeneuve d'Ascq (59)



Formulation et alimentation durables

Ouverture du site internet et des inscriptions
<https://jf2026.sciencesconf.org>









Projet interdisciplinaire en pharmacie autour des flavonoïdes

François-Xavier TOUBLET, Patrick TROUILLAS, Aurélie LÉVÊQUE, Catherine FAGNÈRE et Christelle POUGET

Résumé Un projet interdisciplinaire a été développé en quatrième année de pharmacie, spécialité industrie et recherche, autour de l'étude des flavonoïdes comme inhibiteurs potentiels de la xanthine oxydase. Il combine modélisation moléculaire, synthèse en chimie organique et évaluation biologique *in vitro*. Les étudiants étudient des flavonoïdes polyhydroxylés afin d'explorer les relations structure-activité et de mieux appréhender les différentes étapes du développement d'un candidat médicament, tout en se confrontant aux réalités expérimentales de la recherche.

Mots-clés Flavonoïdes, xanthine oxydase, chimie thérapeutique, modélisation moléculaire.

Abstract Interdisciplinary project in pharmacy focused on flavonoids

An interdisciplinary project was developed in the fourth year of pharmacy studies (industry and research track) focusing on flavonoids as potential xanthine oxidase inhibitors. The project combines molecular modeling, organic synthesis, and *in vitro* biological evaluation. Students study polyhydroxylated flavonoids to explore structure-activity relationships and to better understand the different stages of drug candidate development, while being exposed to the experimental realities of research.

Keywords Flavonoids, xanthine oxidase, medicinal chemistry, molecular modeling.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.10>

Un projet interdisciplinaire au service de la formation en pharmacie

Dans un contexte d'évolution constante des formations en santé, l'enseignement des sciences pharmaceutiques doit aujourd'hui dépasser une approche strictement disciplinaire afin de permettre aux étudiants de relier les connaissances théoriques aux applications concrètes du développement du médicament. Dans cette perspective, un projet interdisciplinaire a été mis en œuvre en quatrième année de pharmacie, au sein de la spécialité industrie et recherche, autour de l'étude des flavonoïdes comme inhibiteurs potentiels de la xanthine oxydase (XO).

Les flavonoïdes et la xanthine oxydase : un modèle d'étude pertinent

La XO est une enzyme clé du métabolisme des purines, catalysant les dernières étapes, conduisant à la formation de l'acide urique. Son implication dans l'hyperuricémie et le stress

oxydatif en fait une cible thérapeutique de choix [1]. Les flavonoïdes, présents dans le règne végétal et connus pour leurs propriétés antioxydantes et anticancéreuses, constituent une famille de composés particulièrement intéressante pour illustrer les relations structure-activité dans un cadre pédagogique [2]. Les flavonoïdes étudiés ici regroupent des flavonols, des flavanones et des chalcones, l'ensemble de ces composés étant polyhydroxylés [3]. Le projet repose sur une approche intégrée articulée en trois étapes complémentaires (figure 1).

Comprendre les interactions moléculaires par la modélisation

La première phase dure trois heures et est consacrée à la modélisation moléculaire par *docking*. À l'aide d'outils de simulation, les étudiants étudient la manière dont les flavonoïdes peuvent s'insérer dans le site actif de la xanthine oxydase (figure 2) [4]. Cette approche permet de prédire les interactions moléculaires potentielles (liaisons hydrogène, interactions hydrophobes, interactions π - π) entre le ligand

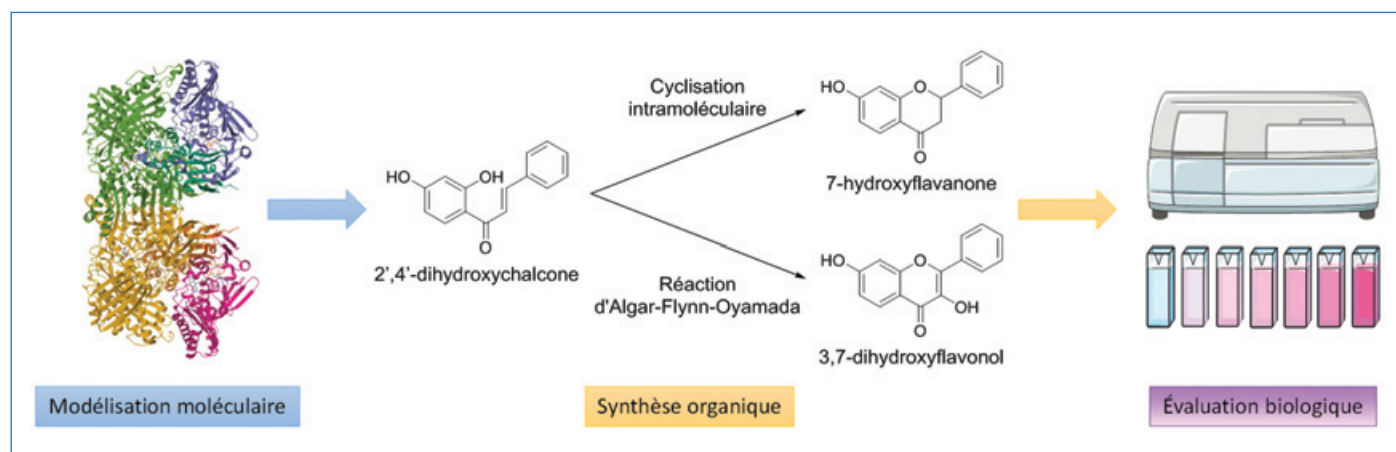


Figure 1 - Exemple de projet avec la 2',4'-dihydroxychalcone, la 7-hydroxyflavanone et le 3,7-dihydroxyflavonol (figure créée à partir d'illustrations de Servier Medical Art sous licence CC BY 4.0).

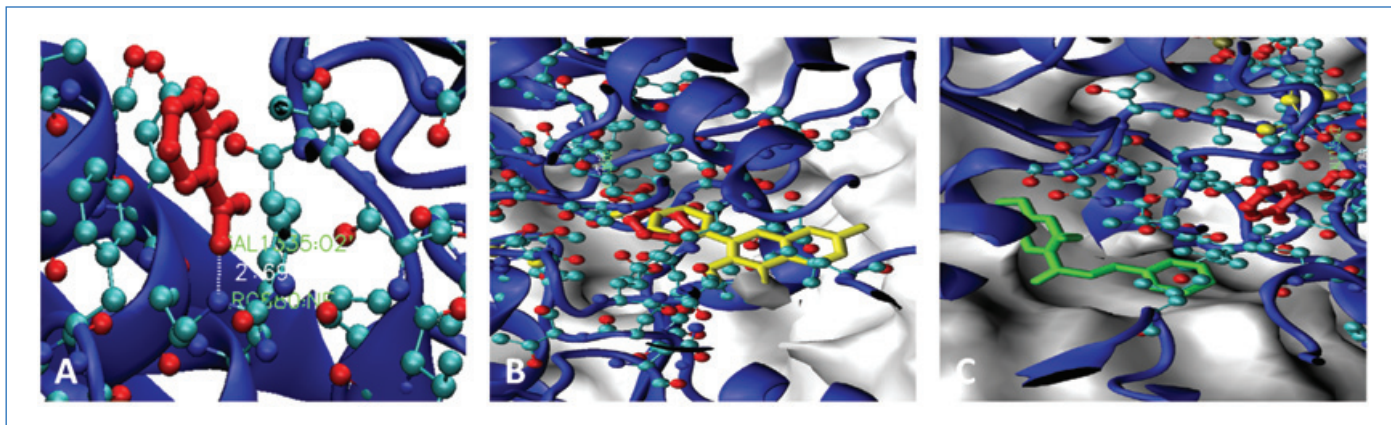


Figure 2 - Docking dans le site actif de la XO : A. acide salicylique (référence) ; B. 3,7-dihydroxyflavonol ; C : 2',4'-dihydroxychalcone.

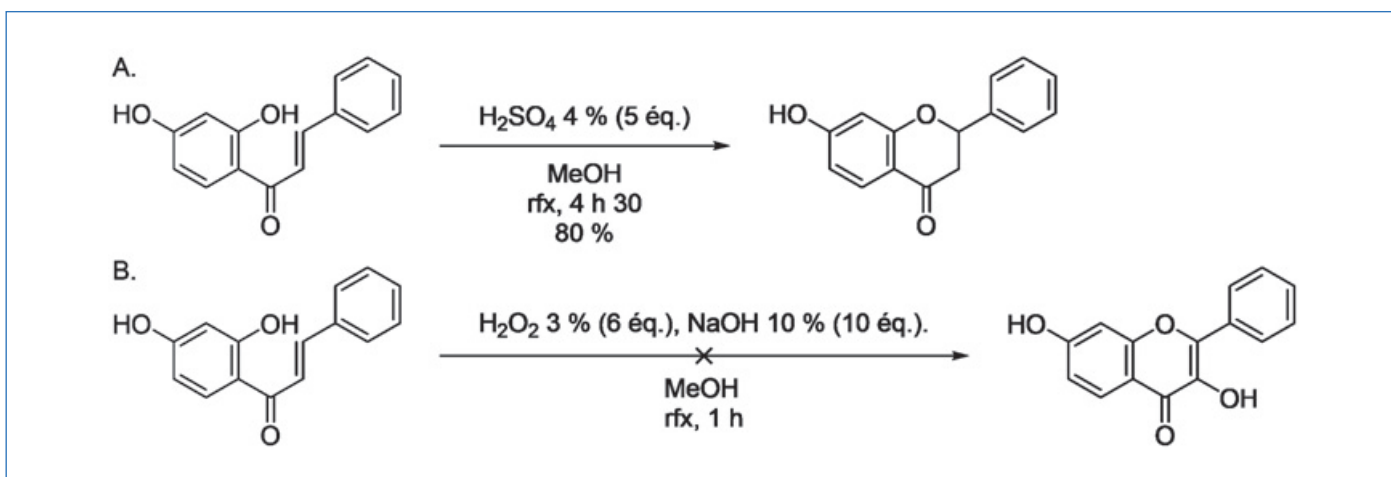


Figure 3 - Synthèse à partir de la 2',4'-dihydroxychalcone : A. 7-hydroxyflavanone ; B. 3,7-dihydroxyflavonol.

et les acides aminés du centre actif de l'enzyme, ainsi que d'estimer leur affinité relative. Les étudiants apprennent ainsi à relier la structure chimique des molécules à leur activité biologique potentielle.

Synthèse des flavonoïdes

La deuxième étape concerne la chimie organique et débute par une analyse rétrosynthétique des molécules cibles. Chaque binôme d'étudiants a ensuite neuf heures pour réaliser la synthèse de deux flavonoïdes selon différentes voies réactionnelles, notamment à partir d'acétophénone, de benzaldéhydes, de chalcones ou de flavanones (figure 3). Les réactions mises en œuvre incluent des condensations de Claisen-Schmidt, des cyclisations en milieu acide ainsi que la réaction d'Algar-Flynn-Oyamada (AFO) (figure 4) [5]. Les composés obtenus sont caractérisés par des méthodes spectroscopiques, en particulier la RMN du proton et du carbone, renforçant ainsi la maîtrise des outils analytiques essentiels en chimie pharmaceutique. Il est important de préciser que pour cette première année, toutes les synthèses n'ont pas fonctionné comme prévu. Cela a représenté une opportunité pour rappeler aux étudiants qu'en recherche, tout ne fonctionne pas toujours et qu'un travail de méthodologie est souvent indispensable. Ces imprévus leur ont permis de comprendre la réalité du travail expérimental, où les erreurs, les ajustements et parfois les échecs font partie intégrante de l'apprentissage et de la progression scientifique.

Tester l'activité biologique des composés synthétisés

La troisième étape est dédiée à l'évaluation biologique *in vitro* de l'activité inhibitrice vis-à-vis de la xanthine oxydase. Un protocole simple, compatible avec les contraintes pédagogiques et matérielles, a été développé à partir d'une méthode spectrophotométrique UV [6]. Les étudiants mesurent l'inhibition de la formation d'acide urique à différentes concentrations de flavonoïdes et comparent les résultats à des témoins négatifs et positifs (allopurinol, médicament de référence inhibiteur de la XO). Cette phase expérimentale permet d'initier les étudiants aux notions de validation biologique et d'analyse critique des résultats.

Une vision globale du développement d'un candidat médicament

À l'issue du projet, les étudiants sont en mesure de mettre en relation les résultats théoriques issus de la modélisation moléculaire avec les données biologiques obtenues expérimentalement. Ils peuvent ainsi confronter les hypothèses formulées lors du *docking* aux résultats d'inhibition mesurés *in vitro*, ce qui les sensibilise aux limites et aux complémentarités des différentes approches utilisées en recherche pharmaceutique. Au-delà des connaissances disciplinaires acquises, ce projet favorise le développement de compétences transversales telles que le raisonnement scientifique, l'analyse critique des résultats, le travail en équipe et l'adaptation face aux difficultés expérimentales. Les étudiants appréhendent

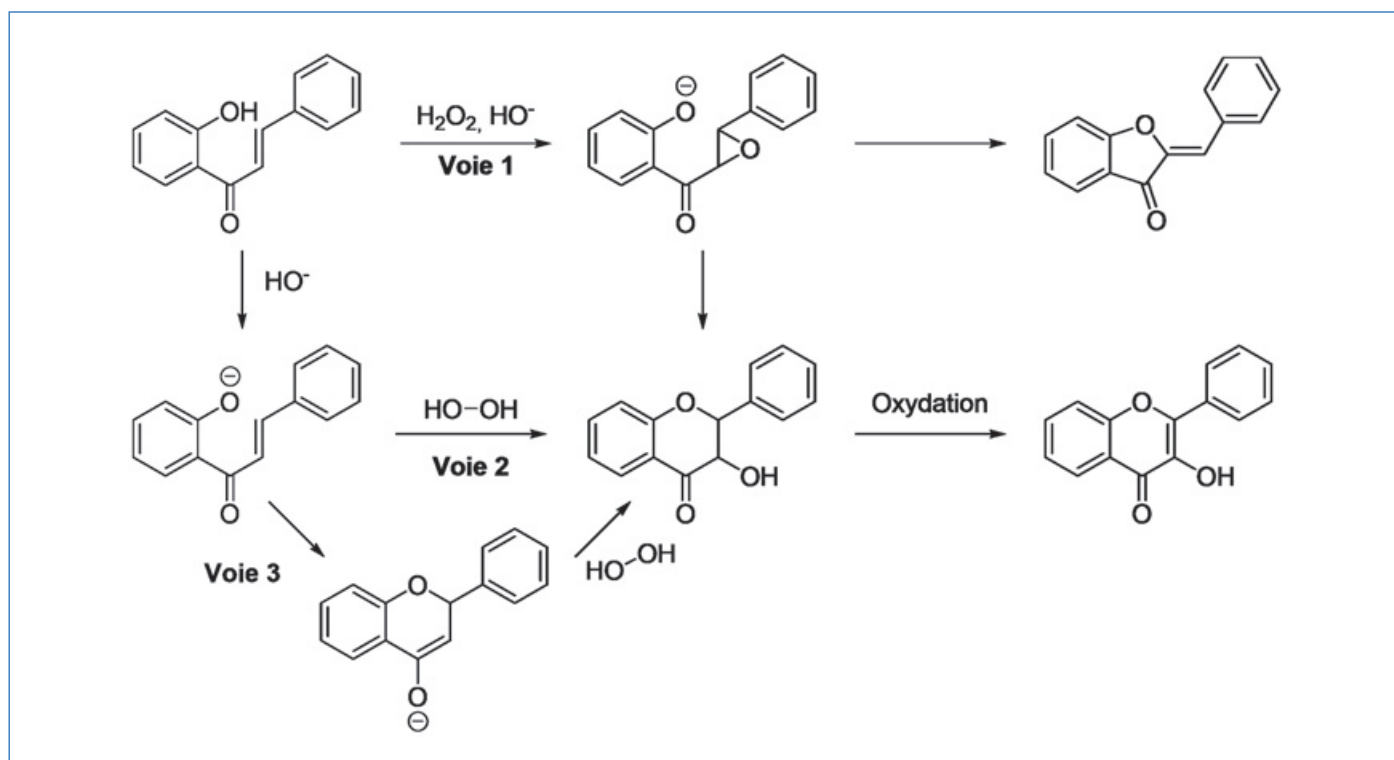


Figure 4 - Mécanismes proposés pour la réaction d'AFO [4].

ainsi l'ensemble des étapes qui conduisent à l'identification et à l'évaluation d'un candidat médicament, depuis sa conception assistée par ordinateur jusqu'à sa validation biologique. Cette démarche pédagogique interdisciplinaire offre une vision concrète et intégrée du développement pharmaceutique et constitue une préparation pertinente aux activités de recherche, d'innovation et de développement auxquelles les futurs pharmaciens pourront être confrontés.

and Flavones and Evaluation of Their Anti-Inflammatory Activity, *Eur. J. Med. Chem.*, **2013**, 65, p. 51-59, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.04.056>; c) X. Shen *et al.*, Synthesis of 5-Substituted Flavonols via the Algar-Flynn-Oyamada (AFO) Reaction: The Mechanistic Implication, *Tetrahedron*, **2017**, 73, p. 4822-29, <https://doi.org/10.1016/j.tet.2017.06.064> [6] P. Cos *et al.*, Structure–Activity Relationship and Classification of Flavonoids as Inhibitors of Xanthine Oxidase and Superoxide Scavengers, *J. Nat. Prod.*, **1998**, 61, p. 71-76, <https://doi.org/10.1021/np970237h>

- [1] H. Xue, M. Xu, D. Gong, G. Zhang, Mechanism of Flavonoids Inhibiting Xanthine Oxidase and Alleviating Hyperuricemia from Structure–Activity Relationship and Animal Experiments: A Review, *Food Front.*, **2023**, 4(4), p. 1643-65, <https://doi.org/10.1002/fft2.287>
 [2] a) M. Singh, M. Kaur, O. Silakari, Flavones: An Important Scaffold for Medicinal Chemistry, *Eur. J. Med. Chem.*, **2014**, 84, p. 206-39, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2014.07.013> ; b) F.-X. Toublet, A. Laurent, C. Pouget, A Review of Natural and Synthetic Chalcones as Anticancer Agents Targeting Topoisomerase Enzymes, *Molecules*, **2025**, 30(12), 2498, <https://doi.org/10.3390/molecules30122498>
 [3] a) J. Vercauteren, Les (poly)phénols : de la vigne au vin, *L'Act. Chim.*, **2022**, 479, p. 18-25 ; b) C. Leborgne, G. Masson, M.-A. Ducasse, A. Vernhet, J.-C. Boulet, N. Sommerer, J.-R. Mouret, V. Cheynier, Les pigments des vins rosés, *L'Act. Chim.*, **2022**, 479, p. 26-32.
 [4] H. Cao, M. Pauff, R. Hille, X-Ray Crystal Structure of a Xanthine Oxidase Complex with the Flavonoid Inhibitor Quercetin, *J. Nat. Prod.*, **2014**, 77(7), p. 1693-99, <https://doi.org/10.1021/np500320g>
 [5] a) Y.-H. Hsieh *et al.*, Synthesis of Flavonols and Assessment of Their Biological Activity as Anticancer Agents, *Molecules*, **2024**, 29(9), 2041, <https://doi.org/10.3390/molecules29092041> ; b) S. Bano *et al.*, Synthesis of Some Novel Chalcones, Flavanones

François-Xavier TOUBLET^{1*}, maître de conférences des universités, **Patrick TROUILLAS**², professeur des universités, **Aurélien LÉVÊQUE**¹, assistante ingénieur, **Catherine FAGNÈRE**¹, professeure des universités, et **Christelle POUGET**¹, professeure des universités.

¹Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique, Faculté de pharmacie, Université de Limoges

²Département de Biophysique, biostatistiques et physicochimie pharmaceutique, Faculté de pharmacie, Université de Limoges

*francois-xavier.toublet@unilim.fr

Flashcards numériques pour la chimie organique

Valérie ALEZRA, Chloée BOURNAUD et Hélène DORIZON

Exemple de carte de type exercice créée pour les L1 ; cette carte est réversible, la question peut être posée dans les deux sens.

Exemple de carte de type cours créée pour les L2 qui interroge sur un mécanisme

Les étudiants de licence ont tendance à oublier rapidement les acquis du L1, probablement à cause d'un problème de bachotage ou d'un simple oubli entre les années. Pour lutter contre cela, nous avons souhaité leur proposer des cartes de révision disponibles sous forme d'application mobile ou sur ordinateur : des flashcards numériques [1]. Ces cartes mémoires en version papier présentent une question ou un terme au recto et sa réponse ou définition au verso. En version numérique, l'apprenant clique pour visualiser la question, puis clique pour visualiser la réponse (il ne s'agit pas d'un quizz, il n'y a rien à rentrer dans l'application). Il y a donc un *feed-back* immédiat, ce qui contribue à l'apprentissage par l'erreur. L'étudiant s'autoévalue, et cet effet de test renforce la mémorisation en activant la récupération de l'information. Le principe repose sur la répétition espacée, une méthode prouvée pour ancrer les connaissances sur le long terme.

Nous avons choisi l'application de flashcards développée par Ikigai (consortium Ikigai Games for Citizens qui rassemble notamment des universités, grandes écoles et laboratoires de recherche) qui est disponible pour plusieurs universités, dont l'Université Paris-Saclay. Nous avons tout d'abord créé des cartes sur le programme de chimie organique pour la première année de licence et nous les avons proposées aux étudiants de L1 BCST (portail Biologie, Chimie, Sciences de la Terre, environ 350 étudiants) à partir du second semestre 2024-2025 ; depuis septembre 2025, l'outil s'étend aux étudiants de L1 PCST (Physique, Chimie, Sciences de la Terre, 150 étudiants). Ces

cartes de niveau L1 sont aussi proposées comme outil de révision aux étudiants de L2 et de L3. De plus, depuis septembre 2025, nous créons et nous proposons des cartes de chimie organique couvrant le programme de L2 (divers parcours, doubles licences... totalisant environ 200 étudiants).

Les cartes sont créées sur ordinateur sur le site d'Ikigai, l'interface est simple d'utilisation et permet aussi de faire des cartes réversibles, c'est-à-dire qui peuvent être posées dans les deux sens. Ceci s'applique particulièrement bien aux cartes de nomenclature (au recto, la structure, au verso, le nom de la molécule), mais également au passage entre différentes représentations, ou même encore à des cartes de réactivité. Les étudiants peuvent signaler d'éventuels bugs ou suggestions directement *via* l'interface, assurant une amélioration continue du contenu et un retour personnalisé aux étudiants s'ils laissent leurs coordonnées (option facultative). Nous avons, à ce jour, créé environ 300 cartes de niveau L1 et 300 de niveau L2. Nous avons fait le choix de proposer des cartes de cours mais aussi des cartes d'exercices. Ces cartes sont mises à disposition des étudiants par paquet (entre 20 et 30 cartes), par thématique (chapitre de cours) et par type (cours ou exercices).

Deux enquêtes, menées auprès des étudiants de L1 BCST (mai 2025) et de L2 (décembre 2025), révèlent une adoption croissante de l'outil : 60 % des L1 et 75 % des L2 l'utilisent régulièrement. La satisfaction est élevée, avec 82 % des répondants notant l'application plus de 6/10. Cependant, les étudiants

l'emploient surtout comme outil de révision ponctuelle avant les évaluations (82 % en L2, 78 % en L1), plutôt que comme support d'apprentissage régulier (37 %, en hausse par rapport aux 28 % en L1). Bien qu'habituellement, les flashcards soient plutôt un outil de mémorisation de cours, les étudiants apprécient les cartes d'exercices. En effet, interrogés sur les apports de l'application en L2, la proposition de nouveaux exercices est ce qui arrive en premier (63 % des utilisateurs). Les étudiants apprécient l'accessibilité (61 %), une meilleure appropriation des connaissances (51 % pour un éclairage différent, 45 % pour une meilleure compréhension). L'usage initialement attendu des flashcards pour une meilleure mémorisation semble représenter un apport moins significatif pour eux (41 %) et le côté plus ludique intervient de façon inférieure, seulement à 30 %.

En conclusion, la force de notre projet repose sur la mise à disposition de cartes de cours et d'exercices dont le contenu est validé et correspond aux programmes de nos étudiants.

Ces cartes constituent un outil supplémentaire sous une forme qui est adaptée à leur génération (*digital natives*) et qui s'intègre facilement dans leur quotidien.

[1] S. Fontaine, Travailler la mémorisation active avec des flashcards, 30 sept. 2024, <https://drne.region-academique-bourgogne-franche-comte.fr/travailler-la-memorisation-active-avec-des-flashcards/>; N. Bocquet, Article intégral sur les processus de mémorisation et Flashcards, 16 oct. 2024, <https://pedagogie.ac-lille.fr/ecogestion/3477-2/>

Valérie ALEZRA*, **Chloée BOURNAUD** et **Hélène DORIZON**,
ICMMO (Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay)
– Université Paris-Saclay, UFR Sciences, 17 avenue des Sciences –
bât. Henri Moissan, 91405 Orsay Cedex.

* valerie.alezra@universite-paris-saclay.fr

Chimie et...Étymologie



D'après les chroniques de Pierre Avenas !

Après *La Prodigieuse histoire du nom des éléments*,
voici

La Foisonnante histoire du nom des molécules

Cet ouvrage richement illustré révèle l'étymologie des noms des molécules, qui deviennent ainsi le point de départ d'un périple bien au-delà de la chimie, nous entraînant vers la botanique, la zoologie, l'histoire, la mythologie, la médecine, la biologie, les techniques ou encore l'industrie...

22 € - 270 pages

Existe en format ebook

www.laboutique.edpsciences.fr



Expérimenter avec le quotidien : vers une chimie frugale

Jonathan PIARD, Rachel MEALLET et Loïc LEBRUN

Résumé

Les travaux pratiques constituent un pilier de l'enseignement scientifique. Ils peuvent soutenir l'acquisition de savoir-faire expérimentaux, de connaissances disciplinaires et de compétences de raisonnement, tout en favorisant la compréhension de la nature de la science, le développement de compétences transversales et l'engagement affectif des étudiants et des étudiantes. Toutefois, le coût des réactifs et des équipements, la disponibilité limitée du matériel, ainsi que la dangerosité de certains produits restreignent leur accessibilité et conduisent à une réduction de leur place dans les cursus. Une alternative consiste à concevoir des expériences dites GLASS (*Green, Low-Cost, Attractive, Safe and Simple*) combinant les principes de la chimie verte et l'utilisation de produits et de matériel du quotidien avec les principes de frugalité, qui visent à réaliser des expériences pertinentes, accessibles et durables, mobilisant un minimum de ressources tout en garantissant fiabilité et sécurité. Ces expériences peuvent permettre d'illustrer des notions allant de principes fondamentaux à des concepts plus avancés, de contextualiser les savoirs scientifiques ou de développer l'esprit critique en comparant les résultats à ceux réalisés sur des appareils spécialisés par exemple. En sus d'un déploiement potentiel dans le cadre de formations universitaires (licence et master) – où l'équipement spécialisé demeure la norme –, elles ont surtout vocation à être mobilisées dans des contextes pédagogiques où les moyens dédiés aux sciences sont structurellement plus limités, de la maternelle au collège, ou encore des actions de médiation scientifique (ateliers, expositions) ainsi que des projets Art-Science.

Mots-clés

Enseignement, frugalité, travaux pratiques, chimie du quotidien, chimie de la cuisine, Low Tech.

Abstract

Experimenting with everyday materials: toward frugal chemistry

Laboratory works are a cornerstone of science education. They can support the acquisition of experimental skills, disciplinary knowledge, and reasoning abilities, while also fostering an understanding of the nature of science, the development of transversal skills, and the affective engagement of students. However, the cost of reagents and equipment, limited availability of materials, and the hazards associated with certain chemicals reduce accessibility and have led to a diminished role of practical work in curricula. An alternative is to design so-called GLASS experiments (*Green, Low-Cost, Attractive, Safe, and Simple*), combining the use of green chemistry principles and readily available household items with the principles of frugality, aiming to conduct relevant, accessible, and sustainable experiments while minimizing resource use and ensuring reliability and safety. These experiments can help illustrate concepts ranging from fundamental principles to more advanced topics, contextualize scientific knowledge, and develop critical thinking – for instance, by comparing results with those obtained using specialized instrument. Beyond their potential deployment in university courses (undergraduate and master's levels), where specialized equipment remains the norm, they are primarily intended for use in educational settings where resources dedicated to science are structurally more limited, ranging from kindergarten to middle school, as well as in science outreach activities (workshops, exhibitions) and Art-Science projects.

Keywords

Education, frugality, laboratory work, everyday chemistry, kitchen chemistry, Low-Tech.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.07>

Les travaux pratiques (TP) sont centraux en enseignement scientifique [1-5] et peuvent soutenir l'acquisition de savoir-faire pratique, de connaissances disciplinaires et de capacités de raisonnement. Ils peuvent aussi favoriser la compréhension de la science, le développement de compétences transversales et l'engagement affectif des étudiants et des étudiantes. Toutefois, les contraintes financières liées à l'achat des réactifs et des équipements [6], combinées au temps nécessaire à la préparation des manipulations [7], ont progressivement limité la place accordée aux travaux pratiques dans les cursus. À ces difficultés s'ajoutent la disponibilité limitée du matériel et des appareils, spécialisés ou génériques, qui restreint la possibilité pour tous et toutes de manipuler simultanément et peut constituer un frein supplémentaire aux activités expérimentales. Par ailleurs, la dangerosité de certains produits empêche parfois de réaliser ces séances directement en salle de classe. Enfin, la question

des limites locales ou planétaires, la question de la réutilisation plutôt que la production sont aussi des enjeux de plus en plus prégnants.

Une alternative consiste à concevoir des expériences dites GLASS (*Green, Low-Cost, Attractive, Safe and Simple*), combinant les principes de la chimie verte [8] et l'utilisation de produits et de matériel du quotidien aisément accessibles [9], avec les principes de frugalité, visant à réaliser des expériences utiles et durables, mobilisant un minimum de ressources tout en garantissant fiabilité et sécurité⁽¹⁾.

Le projet GLASS

Principe et objectifs

Dans le cadre d'un projet d'innovation pédagogique de l'Université Paris-Saclay (2023-2025), dont ont bénéficié Jonathan Piard et Rachel Méallet, plusieurs expériences GLASS

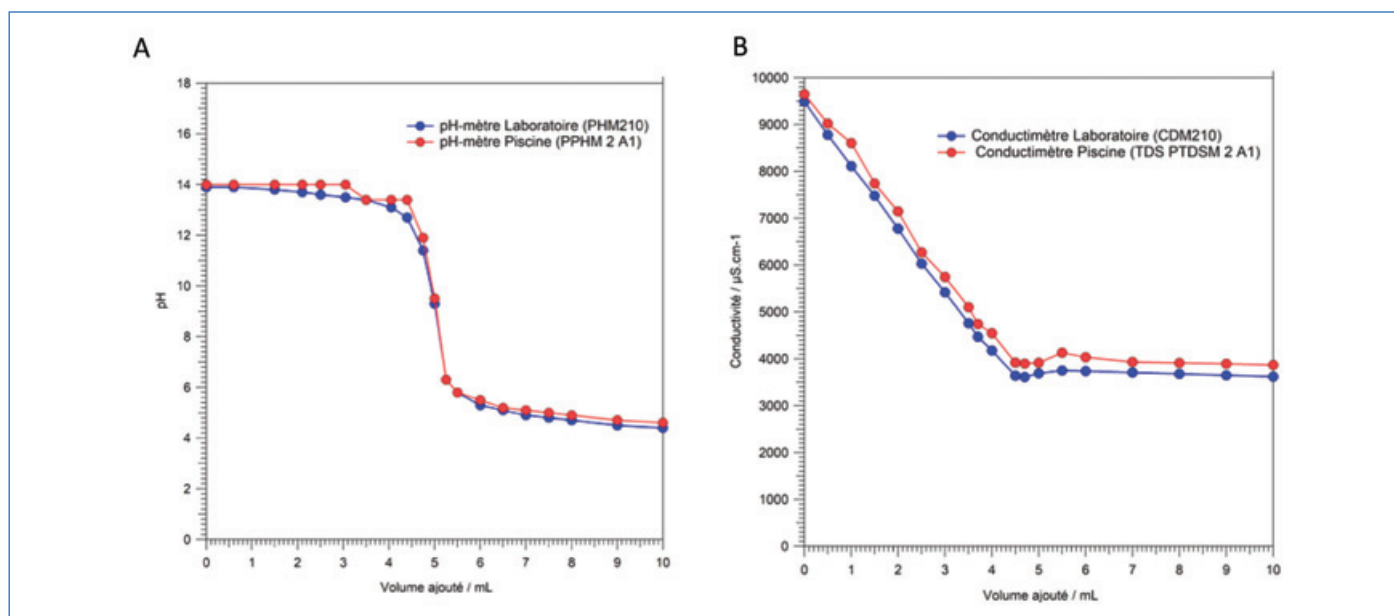


Figure 1 - Comparaison des courbes de titrage d'un déboucheur par du vinaigre blanc obtenues par pH-métrie (A) et conductimétrie (B) (extrait de [15]).

ont été conçues à partir de produits et de matériel du quotidien. Issues de réflexions sur des kits mobiles de promotion de la chimie, ces expériences visent à réduire les coûts, limiter l'impact environnemental et faciliter leur diffusion. Elles ont été utilisées dans différents contextes : enseignement (licence et master, TP, projets, jeux pédagogiques), médiation scientifique (ateliers, expositions) et projets Art-Science (œuvres artistiques, collaborations avec designers). À titre d'exemple, une collaboration entre des étudiant-es en chimie et en design a permis de concevoir un dispositif de médiation de type exposition, ces expériences étant mobilisées à la fois pour présenter les phénomènes scientifiques et pour réaliser une vidéo artistique, présentée au sein de l'exposition [10]. Ces expériences poursuivent plusieurs objectifs : investir d'autres espaces que le laboratoire, illustrer des notions simples à complexes, proposer des alternatives sûres et économiques à des manipulations existantes, contextualiser les concepts scientifiques et développer l'esprit critique en comparant les résultats à ceux réalisés sur des appareils spécialisés par exemple.

Avantages pour les travaux pratiques

L'usage de produits et de matériel du quotidien présente plusieurs bénéfices : il permet à plus d'élèves de réaliser des manipulations, renforce l'équité et l'accessibilité (y compris en distanciel ou hybride) [11,12], et simplifie la préparation des séances. Ces expériences favorisent l'apprentissage scientifique et critique, car elles mobilisent des systèmes physico-chimiques complexes, tout en stimulant motivation et engagement grâce à l'usage d'objets familiers [13,14]. Elles peuvent se réaliser hors laboratoire (salle de classe, domicile), facilitant la diffusion de la science dans divers contextes, et peuvent permettre d'améliorer la sécurité en remplaçant des réactifs dangereux par des produits ménagers non toxiques (ex : remplacement d'indicateurs colorés toxiques par des indicateurs naturels).

Vers une chimie frugale

Frugal, ale, aux : est un adjectif issu du latin *frugalis*⁽²⁾ (« qui produit », « économe », « sobre »). Il inspire la chimie frugale : une approche visant à réaliser des expériences utiles, sûres

et durables avec un minimum de ressources. Cette chimie s'appuie sur l'innovation frugale du CNRS, valorisant utilité, simplicité, partage et durabilité, tout en intégrant l'accessibilité « Low-Tech » pour les contextes moins favorisés. Les expériences GLASS (*Green, Low-Cost, Attractive, Simple and Safe*) s'inscrivent dans cette démarche, mais l'acronyme peut être adapté pour mieux refléter ces valeurs : GLASS (*Green, Low-Cost, Accessible, Simple, Social/Scalable*).

Exemples d'expériences GLASS

Nous avons développé des expériences montrant qu'il est possible d'utiliser des conductimètres ou pH-mètres de piscine basiques pour doser les ions hydroxyde d'un déboucheur avec du vinaigre blanc vendu en supermarché (figure 1) [15] ou les ions chlorure dans le sérum physiologique [16]. Ces activités mobilisent uniquement du matériel courant – balance de cuisine, pot en verre recyclé, pipette plastique, conductimètre ou pH-mètre – disponible en supermarché ou sur internet, et sont réalisables à domicile avec des données brutes librement accessibles. De même, il est possible de remplacer le calorimètre par une gourde isotherme pour des activités pédagogiques [17,18]. Ces expériences illustrent le concept de « jumeau frugal » [19] : une version simplifiée et économique d'un système coûteux, conservant les fonctions essentielles pour l'enseignement ou la démarche exploratoire. En mobilisant des objets courants – pH-mètres ou conductimètres d'entrée de gamme, gourdes isothermes utilisées comme calorimètres – elles illustrent une approche technologique sobre, compréhensible et appropriable. Elles offrent ainsi un terrain pédagogique pertinent pour questionner le rôle des sciences fondamentales dans le développement durable et pour réfléchir aux trajectoires socioécologiques à l'horizon 2050⁽³⁾. D'autres exemples dans littérature – et qui ne sont pas issues du projet GLASS – peuvent également être mentionnés en chimie organique [20,21].

Un atelier au JIREC 2026 pour expérimenter

L'atelier a invité les participant-es à réfléchir collectivement aux avantages, limites et leviers liés à l'utilisation de produits du quotidien en chimie, que ce soit en TP, cours ou TD. Il a



Figure 2 - L'atelier réalisé lors des JIREC 2026 (@Magali Andry-Chevalerias).

également permis de partager des retours d'expérience et des expérimentations existantes. Une partie a été consacrée à la présentation du projet GLASS, de sa genèse et d'exemples d'expériences développées dans ce cadre. Les participant·es ont pu en tester certaines, favorisant échanges, discussions critiques et réflexion sur leur intégration pédagogique (figure 2).

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement l'ensemble des équipes pédagogiques et techniques ayant contribué à l'élaboration de ces expériences, en particulier Clément Doré (technicien au DER Chimie), ainsi que Lou Barreau pour ses précieux échanges. Ils expriment également leur gratitude à l'Université Paris-Saclay pour l'octroi d'un congé pour innovation pédagogique, ainsi qu'à l'ENS Paris-Saclay pour le soutien matériel et la confiance accordée.

(1) <https://miti.cnrs.fr/appeal-a-projets/frugalite-sobriete>

(2) <https://cnrtl.fr/definition/academie9/frugal>

(3) <https://librairie.ademe.fr/consumer-autrement/5421-demarches-low-tech.html#>

[1] I. Abrahams, M. J. Reiss, Practical work: its effectiveness in primary and secondary schools in England, *J. Res. Sci. Teach.*, **2012**, 49(8), p. 1035-55, <https://doi.org/10.1002/tea.21036>

[2] A. Hofstein, R. Mamlok-Naaman, The laboratory in science education: the state of the art, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8(2), p. 105-07, <https://doi.org/10.1039/B7RP0003A>

[3] A. H. Johnstone, A. Al-Shuaili, Learning in the Laboratory; Some Thoughts from the Literature, *Univ. Chem. Educ.*, **2001**, 5(2), p. 42-91.

[4] H. Y. Agustian, Considering the hexad of learning domains in the laboratory to address the overlooked aspects of chemistry education and fragmentary approach to assessment of student learning, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2022**, 23(3), p. 518-30, <https://doi.org/10.1039/D1RP00271F>

[5] H. Y. Agustian *et al.*, Learning outcomes of university chemistry teaching in laboratories: a systematic review of empirical literature, *Review of Education*, **2022**, 10(2), <https://doi.org/10.1002/rev3.3360>

[6] J. Carnduff, N. Reid, *Enhancing undergraduate chemistry laboratories: pre-laboratory and post-laboratory exercises*, London: Royal Society of Chemistry, **2017**.

[7] S. B. Boesdorfer, R. A. Livermore, Secondary school chemistry teacher's current use of laboratory activities and the impact of expense on their laboratory choices, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2018**, 19(1), p. 135-48, <https://doi.org/10.1039/C7RP00159B>

[8] P. T. Anastas, J. C. Warner, J. C. Warner, *Green chemistry: theory and practice*, 1. Paperback, Oxford: Oxford University Press, **2000**.

[9] K. Salta, E. Ntalakou, Z. Tsiortos, Review of Hands-On Laboratory Experiments Employing Household Supplies, *J. Chem. Educ.*, **2022**, 99(7), p. 2563-71, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00037>

[10] J. Piard, L. Barreau, M. Lambert, Interdisciplinary Dialogue and Project-Based Learning: Chemistry and Design Students Collaborate on Scientific Exhibition, *J. Chem. Educ.*, **2025**, 102(9), p. 3945-54, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00442>

[11] R. S. Casanova, J. L. Civelli, D. R. Kimbrough, B. P. Heath, J. H. Reeves, Distance Learning: A Viable Alternative to the Conventional Lecture-Lab Format in General Chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2006**, 83(3), 501, <https://doi.org/10.1021/ed083p501>

[12] K. Bactol, A. E. Laursen, C. De Araujo, An Option of Hybrid Virtual Labs in an Introductory Biology Course as the Means for Accessible Learning and Enhancing Student Education, *IJI*, **2017**, 10(1), <https://doi.org/10.20533/iji.1742.4712.2017.0158>

[13] B. D. Jones, Motivating Students to Engage in Learning: The MUSIC Model of Academic Motivation, *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.*, **2009**, 21(272-285), p. 272-85.

[14] R. Viau, *La motivation en contexte scolaire*, 2. éd., in *Pratiques pédagogiques*, Bruxelles: De Boeck, **2009**.

[15] J. Piard, R. Méallet, L. Lebrun, Utilisation d'un conductimètre et d'un pH-mètre premiers prix en contexte éducatif ou domestique. Titration d'un déboucheur liquide par du vinaigre, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2025**, 119(1075), p. 517-32.

[16] J. Piard, R. Méallet, Utilisation d'un conductimètre premier prix en contexte éducatif ou domestique Dosage par étalonnage externe de NaCl dans le sérum physiologique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2025**, 119(1079), p. 1009-24.

[17] L. Ben Marzouk, C. Mainy, J. Piard, R. Méallet, Expériences de calorimétrie à bas coût avec une gourde isotherme (thermos), *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **2025**, 119(1078), p. 913-25.

[18] J. Randon, X. Bataille, Enquête à la maison : calorimétrie et contrôle qualité, *L'Act. Chim.*, **2025**, 463, p. 45-48, <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/enquete-a-la-maison-calorimetrie-et-contrrole-qualite-p45-n463>

[19] S. Lo *et al.*, Review of Low-cost Self-driving Laboratories: The "Frugal Twin" Concept, **2023**, <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2023-6z9mq-v2>

[20] A. García-Zavala, C. C. Jiménez, D. Martínez-Bourget, M. Romero-Ávila, Exploring Thin-Layer and Column Chromatography Fundamentals via Experiential Learning with Simple and Affordable Materials, *J. Chem. Educ.*, **2025**, 102(5), p. 2181-89, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00957>

[21] E.W. Kelley, Sample Plan for Easy, Inexpensive, Safe, and Relevant Hands-On, At-Home Wet Organic Chemistry Laboratory Activities, *J. Chem. Educ.*, **2021**, 98(5), p. 1622-35, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01172>

Jonathan PIARD^{1*}, professeur agrégé, **Rachel MEALLET**², professeur des universités, et **Loïc LEBRUN**³, enseignant en BCPST.

¹Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, PPSM CNRS, 4 avenue des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette, France (ORCID 0000-0002-6974-3561).

²Université Paris-Saclay, CNRS, Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, 91405 Orsay.

³Lycée Louis Pasteur, 63370 Lempdes.

*jonathan.piard@ens-paris-saclay.fr

Whom?: une application ludopédagogique pour l'enseignement de la chimie

Matthieu RIVALLIN, Carole CARCEL, Stéphanie DRUON, Vincent BERRY, Sébastien DRUON, Caroline SURRIBAS, Chrysta PELISSIER et Mike ROBITZER

Résumé Afin d'améliorer l'accompagnement et favoriser l'adaptation et la réussite des étudiants, l'application *Whom?* propose d'acquérir des méthodologies, savoirs et compétences en chimie par le jeu. Avec un public d'enseignants en chimie, l'objectif de l'atelier présenté aux JIREC était de travailler sur la création de contenu pour alimenter cette application.

Mots-clés Application internet, ludopédagogie, jeu sérieux, créativité, apprentissage.

Abstract *Whom?: a game-based learning app for teaching chemistry*

To improve student support and foster their adaptation and success, the *Whom?* app offers a way to acquire chemistry-related methodologies, knowledge, and skills through gaming. Working with an audience of chemistry teachers, the goal of the workshop presented at JIREC was to develop content for the app.

Keywords Web app, game-based learning, serious game, creativity, learning.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.09>

À l'heure où la ludopédagogie [1] se définit comme une méthode d'apprentissage qui utilise le jeu pour transmettre des connaissances et développer des compétences, nous l'avons intégrée dans une démarche visant l'engagement, la motivation et la participation active des étudiants. Généralement, cette approche prend la forme de jeux de rôle ou de société, de quiz interactifs ou encore de simulations. Elle rend les apprentissages accessibles et plus concrets pour les apprenants et favorise un climat de confiance pour faciliter l'acquisition.

Un jeu « Qui est-ce ? » pour la chimie

L'atelier que nous avons proposé lors de la 36^e édition des JIREC s'intègre dans le projet ASAPE (Application de Soutien Aux Primo-Entrants) dédié à l'acquisition des méthodologies, savoirs et compétences par le jeu (financement PROPEDA, Université de Montpellier). Ce projet a pour ambition d'accompagner les étudiants dans leur parcours à l'université en développant un outil ludopédagogique nommé *Whom?*. Se présentant sous la forme d'une application internet (figure 1),



Figure 1 - Partie de *Whom?* en cours sur le thème des énergies renouvelables.

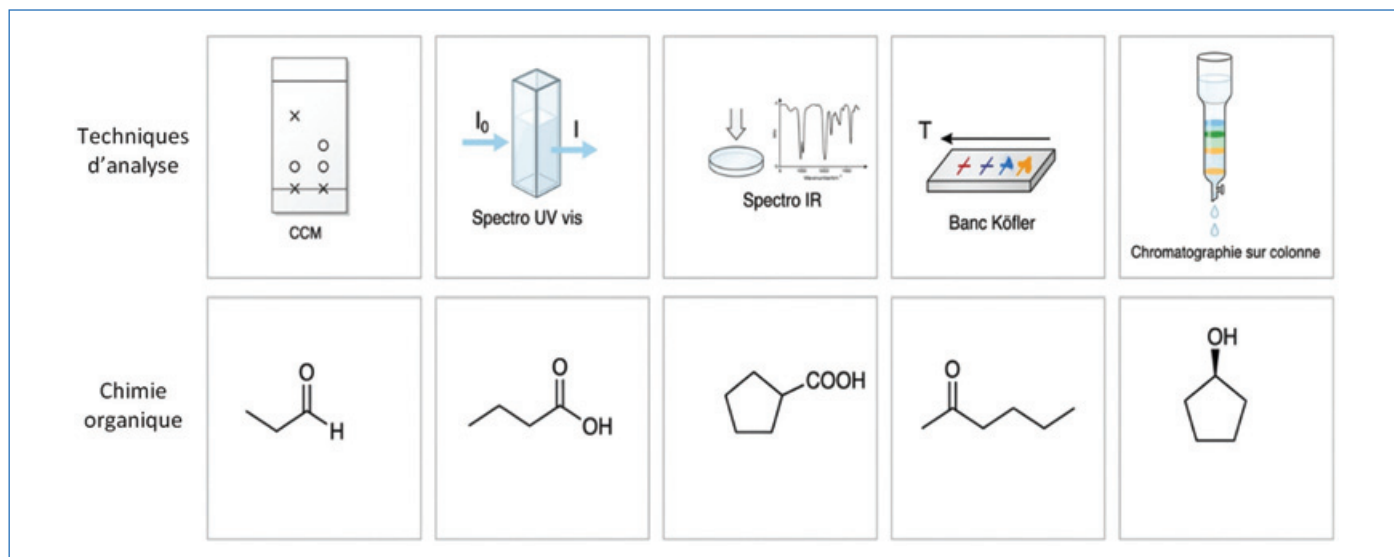


Figure 2 - Exemples de contenus de jeu créés par les participants lors de l'atelier des JIREC. Images générées par IA à partir des dessins manuscrits réalisés par les participants de l'atelier.

il est basé sur le célèbre jeu de société « *Qui est-ce ?* » (Hasbro™) qui fait appel à un raisonnement déductif pour identifier un personnage parmi 24. Nous avons adapté les mécanismes de ce jeu pour proposer une découverte des contenus de la chimie et des intentions pédagogiques déjà bien établies au sein de l'École de Chimie de Montpellier. *Whom?* vise ainsi à développer les compétences d'analyse, de classification et de déduction des étudiants sur ces thématiques.

Objectif de l'atelier : création de contenu pour *Whom?*

Avec un public composé pour l'essentiel d'enseignants de chimie, nous avons orienté notre atelier sur la création de contenu pour alimenter l'application *Whom?*. Les participants avaient pour consigne de concevoir un ensemble de 24 images qui pourraient être intégrées dans le jeu sur le thème de leur choix (figure 2). Ces visuels pouvaient, par exemple, représenter des concepts, des processus ou des illustrations et leur sélection devait être faite en définissant les critères de discrimination permettant l'identification d'une image précise par un raisonnement déductif, pendant le jeu. Du point de vue des étudiants, le développement de l'application *Whom?* est en cours de finalisation de développement ; nous n'avons donc pas encore pu lancer la phase de test auprès d'eux. Cependant, les retours d'étudiants bêta-testeurs sont très positifs et encourageants pour la démarche engagée. Les questionnaires permettant d'alimenter le jeu dans divers domaines de la chimie (chimie organique, matériaux inorganiques, chimie physique, développement durable, biochimie...) étant déjà prêts, la phase de test sera lancée à la rentrée 2026.

Vers quels processus d'apprentissage ?

Au-delà de la création de contenus, l'atelier a également permis d'engager une réflexion autour de l'intégration de l'application dans un scénario pédagogique en se basant sur la taxonomie de Bloom [2]. Ce modèle théorique propose une matrice qui associe quatre dimensions de la connaissance (factuelle, conceptuelle, procédurale et métacognitive) à six processus cognitifs (memoriser, comprendre, appliquer, analyser, évaluer et créer).

La réflexion préalable que nous avons effectuée sur ce jeu nous avait conduit à identifier un intérêt, en terme de pédagogie, centré sur les processus « comprendre », « appliquer » et « analyser ». Cependant, durant l'atelier, les échanges avec les participants ont fait émerger en priorité les processus d'apprentissage « mémoriser » et « analyser » : la mémorisation est essentielle pour une analyse correcte d'une situation et l'analyse (en contexte visuel) apparaît comme un moyen de mémoriser un vocabulaire nouveau dans une perspective de recontextualisation. À côté de ces deux processus, le processus « créer » a également été mis en avant par une partie des participants. Il s'agirait, dans ce cas, de proposer aux apprenants de créer des jeux d'images pour l'application à partir des connaissances acquises en cours. Cette perspective, initialement non envisagée dans le cadre du projet, ouvre une piste de développement intéressante et pourrait être utilisée lors d'enseignements de travaux dirigés.

Remerciements

Le développement de l'application *Whom?* a été rendu possible grâce au financement du projet ASAPE (Application de Soutien Aux Primo-Entrants) dans le cadre de l'appel à projets PROPEDA de l'Université de Montpellier que nous remercions pour son soutien.

[1] L. Claris-Sauvage, E. Lucy, Jouer, c'est sérieux ! Innover pour mieux apprendre, *Sociographe*, **2025**, 91(3), p. 105-117, <https://doi.org/10.3917/graph1.091.0105>

[2] B. S. Bloom, *Taxonomy of educational objectives. Vol. 1: Cognitive domain*, New York: McKay, **1956**, p. 20-24.

Matthieu RIVALLIN^{1*}, maître de conférences, **Carole CARCEL**¹, maîtresse de conférences, **Stéphanie DRUON**¹, maîtresse de conférences, **Vincent BERRY**², professeur des universités, **Sébastien DRUON**³, maître de conférences, **Caroline SURRIBAS**³, professeure certifiée, **Chrysta PELISSIER**⁴, maîtresse de conférences, et **Mike ROBITZER**¹, maître de conférences.

¹École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, Université de Montpellier.

²Polytech Montpellier, LIRMM, Université de Montpellier - CNRS.

³IUT de Béziers, Université de Montpellier.

⁴IUT de Béziers, Laboratoire LIRDEF, Université de Montpellier.

*matthieu.rivallin@enscm.fr

Former à la chimie de demain

Quand le projet DécarboChim s'empare des scénarios prospectifs de l'ADEME

Christelle GUÉDON et Naïla EVEN

Résumé Lors des JIREC 2026, le projet DécarboChim s'est emparé des quatre scénarios, à horizon 2050, développés par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), pour entrevoir la neutralité carbone en France. Comment l'industrie de la chimie est en mesure de s'adapter aux projections envisagées ? Quels seront les rôles des chimistes de demain ? Quelles compétences enseigner aux futurs professionnels ?

Mots-clés **Décarbonation, prospective, compétences, gestion de l'incertitude, chimiste de demain.**

Abstract **Training for the chemistry of the future: DecarboChim, the project that will take hold of the prospective scenarios of French Agency For Environment and Energy Management**

At the JIREC 2026 conference, DecarboChim project addressed the four pathways, developed by ADEME (French Agency For Environment and Energy Management), to take France to carbon neutrality in 2050. How can the chemical industry adapt to these projections? What are the roles that tomorrow's chemist will need to play? What skills will need to be taught to the future workers?

Keywords **Decarbonization, prospective, skills, uncertainty management, the chemist of tomorrow.**

Face aux urgences environnementales et climatiques, l'industrie de la chimie doit faire face à des transformations majeures et à de nouveaux paradigmes : passer d'une dépendance séculaire au carbone fossile, à un modèle de chimie durable. Dès lors, comment former les talents d'aujourd'hui et de demain à des métiers dont les contours dépendront de choix sociétaux encore incertains ?

C'est tout l'enjeu du projet DécarboChim, lauréat de l'AMI Compétences et Métiers d'Avenir (CMA) [1]. Lors des JIREC 2026, sur le thème « Chimie, transition écologique et développement soutenable » [2], DécarboChim a organisé un atelier d'intelligence collective, basé sur une pédagogie de la transition [3], invitant les participants à la prospective à horizon 2050. L'objectif est de tester les capacités d'adaptation de la chimie face à la décarbonation, aux différentes transitions, ainsi qu'à l'incertitude inhérente au changement climatique. Cet atelier a pu stimuler la réflexion où la chimie devient autant une science de la matière que des procédés d'adaptation.

Quatre perspectives pour éprouver la chimie de demain

Pour guider la réflexion, le projet DécarboChim s'est appuyé sur les récits « Transition(s) 2050 » de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) qui a établi quatre chemins « types » [4]. Ces quatre trajectoires forcent à envisager des stratégies contrastées pour atteindre la neutralité carbone (voir figure 1). Dans le cadre des JIREC, ces scénarios ont servi d'ébauches de travail pour imaginer l'évolution de nos métiers et anticiper les besoins en compétences du futur.

Scénario 1 – Générations frugales : une chimie de la réparation et du recyclage, dans un monde de sobriété. Les puits biologiques sont favorisés pour capturer le CO₂ excédentaire (qui perturbe le cycle naturel du carbone) émis depuis l'ère pré-industrielle. Le professionnel de la chimie devient alors un artisan de la durabilité.

Scénario 2 – Coopérations territoriales : une économie circulaire et solidaire utilisant des bioressources locales, dont la

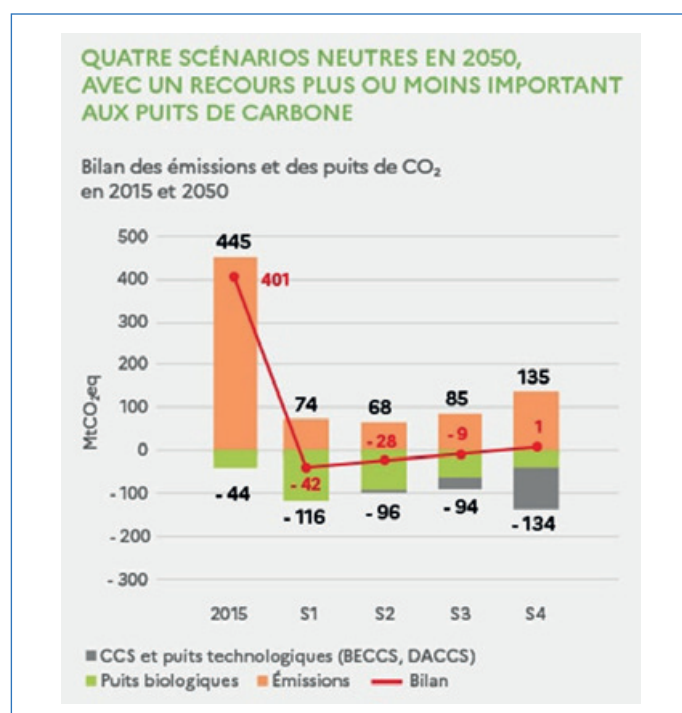


Figure 1 - Graphique utilisé dans l'atelier @ADEME – Transition(s) 2050, édition 2024.

qualité et la disponibilité varient. L'ingénieur doit être un médiateur capable de dialoguer avec les acteurs du territoire.

Scénario 3 – Technologies vertes : une décarbonation par l'innovation massive. L'ingénieur devient un expert de haute technologie, pilotant les évolutions comme l'électrification des procédés, l'hydrogène vert ou le captage/stockage du CO₂.

Scénario 4 – Pari réparateur : une gestion techno-solutionniste des aléas. Le CO₂ excédentaire émis jusqu'alors dans l'atmosphère est accepté, ses conséquences le sont aussi. La gestion de l'intégration de ces solutions (comme le développement d'usines de séquestration de carbone par exemple) dominant le référentiel métier.

L'intelligence collective au service de la prospective

Lors de l'atelier, enseignants en chimie du secondaire et du supérieur ont été confrontés aux quatre projections. Pour favoriser l'émergence d'idées neuves qui alimenteront leurs constructions pédagogiques futures (cours, TD, TP), les participants ont réfléchi successivement sur les quatre futurs possibles. Les groupes en petites équipes mobiles ont pu suivre un parcours structuré pour répondre à des questions clés pendant l'atelier :

- Comment l'industrie de la chimie se transforme en fonction de chacun des scénarios ?
- Quelles connaissances techniques, mais aussi quels savoir-être, le futur professionnel devra-t-il maîtriser ?
- Dans un monde qui change, comment l'enseignement de la chimie se transforme ?
- Le changement est-il techniquement et économiquement réalisable ? Est-il socialement acceptable ?

Une centaine d'idées ont pu émerger de l'atelier (voir figure 2).

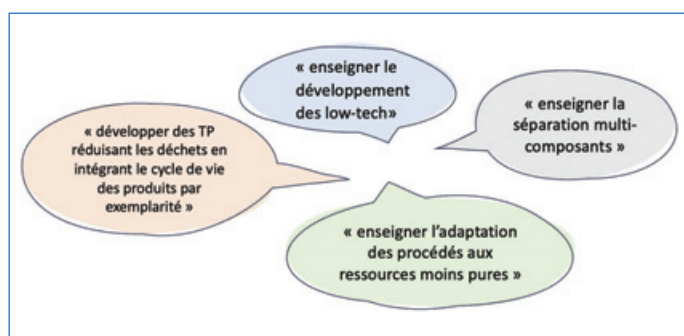


Figure 2 - Exemples d'idées issues de l'atelier proposé lors des JIREC 2026.

Les compétences de demain : vers un nouveau mix des savoirs

En réponse à ces questions, face à la complexité et à l'incertitude des évolutions possibles, il apparaît que les élèves du secondaire puis les futurs diplômés devront conjuguer à la fois une expertise technique (chimie) avec une forte agilité intellectuelle, mais aussi une acceptabilité socio-environnementale (éthique).

- L'expertise durable : l'écoconception et l'analyse du cycle de vie (ACV) deviennent le socle. Il s'agit de passer d'une chimie de flux constants à une chimie suivant des cycles biogéochimiques donnant accès aux ressources de façon variable.
- L'agilité décisionnelle : il s'agit de savoir gérer l'incertitude des chaînes d'approvisionnement et les ruptures technologiques.

- Le « chimiste-citoyen » : il est capable d'arbitrer entre faisabilité technique, rentabilité économique et éthique socio-environnementale, tout en dialoguant avec d'autres corps de métier (écologues, sociologues...) pour inscrire la chimie dans une transition sociétale acceptée.

Anticiper pour ne pas subir

La décarbonation du secteur industriel de la chimie se joue dès aujourd'hui, dans la transmission des savoirs auprès des étudiants [5,6]. En confrontant les enseignants aux scénarios de l'ADEME, le projet DécarboChim prépare les esprits à la multiplicité des futurs possibles. La mutation qui s'annonce est profonde et nécessite d'encourager une véritable culture de l'adaptation [3]. DécarboChim a un rôle de catalyseur : faire le pont entre la prospective industrielle et la réalité pédagogique pour que les futurs techniciens et ingénieurs ne subissent pas les transitions, mais sachent y répondre en maîtrisant toutes leurs dimensions.

Notes et références

[1] En tant que projet lauréat de France 2030, dans le cadre de l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Compétences et Métiers d'Avenir », le projet DécarboChim a été initié par un consortium d'industriels, d'écoles d'ingénieurs et d'IUT et développé pour accompagner cette évolution de la filière. Ce travail bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence « ANR-23-CMAS-0029 ».

[2] JIREC 2026 : Journées de l'innovation et de la recherche de l'enseignement de la chimie du 27 au 30 janvier 2026, sur le thème « Chimie, transition écologique et développement soutenable ». <https://jirec2026.sciencesconf.org> ; <https://new.societechimiquedefrance.fr/divisions/enseignement-formation/jirec-2026>

[3] N. Hervé, *Penser le futur. Un enjeu d'éducation pour faire face à l'Anthropocène*, Lormont, Le Bord de l'eau, coll. « Critiques éducatives », 2022, 260 p., <https://doi.org/10.4000/lectures.58108>

[4] www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios

[5] D. Mulnet, G. Majou, E. Fortin, C. Leroy, *Guide Compétences développement durable & responsabilité sociétale*, Rapport du groupe technique CPU/CGE, 2016, <https://edd.web.ac-grenoble.fr/outils/guide-de-competences-developpement-durable-et-responsabilite-societale> (consulté le 31/08/26).

[6] Décarboner la chimie française – The Shift Project – Janvier 2022, https://theshiftproject.org/app/uploads/2025/01/PTEF-Decarboner-la-chimie_Rapport-final.pdf (consulté le 31/08/26).

Christelle GUÉDON et Naïla EVEN, ingénieures pédagogiques, équipe de coordination DécarboChim, Toulouse INP – ENSIACET.

* christelle.guedon@toulouse-inp.fr, naila.even@toulouse-inp.fr



Atelier SPINS : une maquette de spectromètre RMN pour enseigner la RMN autrement

La RMN : une technique analytique incontournable mais invisible

La résonance magnétique nucléaire (RMN) est une technique d'analyse clé en chimie, biologie et santé. Non destructive et quantitative, elle permet l'analyse des échantillons sans préparation lourde. Elle est largement utilisée pour la caractérisation structurale de molécules, de matériaux et de systèmes complexes, ainsi que pour le suivi de réactions chimiques et de processus dynamiques.

Malgré son omniprésence dans les laboratoires, la RMN reste complexe à expliquer au grand public. Les spectromètres, volumineux et fermés, rendent leur fonctionnement abstrait pour les non-spécialistes. Depuis plusieurs années, la plateforme RMN de Sorbonne Université et l'Institut Parisien de Chimie Moléculaire mènent des actions de médiation scientifique lors d'événements dédiés. Une question demeure toutefois : comment montrer concrètement le fonctionnement d'un spectromètre RMN ?

Une maquette interactive pour comprendre la RMN



Le projet SPINS (*Smart Prototype of an Interactive NMR Spectrometer*) répond à ce défi par une maquette pédagogique animée de spectromètre RMN. Imprimée en 3D à un quart d'échelle, elle est ouverte, manipulable et aisément transportable. Elle permet de visualiser les principaux éléments de l'instrument : aimant, bobine supraconductrice, porte-échantillon, sonde et zones cryogéniques. Chaque composant est identifié par une couleur facilitant la compréhension de l'architecture.

Contrairement au spectromètre réel, inaccessible sans démontage, la maquette SPINS

donne accès au « cœur » de la RMN et en illustre les principes physiques fondamentaux. Cette approche s'inscrit dans une démarche de médiation scientifique par la modélisation d'un instrument analytique.

Au-delà de la médiation, SPINS a été imaginé comme un support modulable, adaptable à différents niveaux d'enseignement, reliant concrètement concepts théoriques et réalités instrumentales de la RMN.

Une expérience ludique et participative

L'interactivité est au centre du dispositif. Le public peut insérer un tube RMN, activer l'orientation des spins *via* une manette électronique, puis lancer une analyse simulée. Une interface graphique illustre les étapes clés de la mesure : excitation des noyaux, décroissance du signal (FID) et transformation de Fourier conduisant au spectre RMN. Cette approche transforme une technique complexe en une expérience tangible, favorisant l'apprentissage par la manipulation et l'observation. Des éléments ludiques, comme la récupération du tube à l'aide d'une baguette aimantée, permettent aussi de toucher un public plus jeune



(niveau inférieur à la 3^e). Ils contribuent à une première sensibilisation à l'instrumentation scientifique, même si les concepts physiques sous-jacents restent délicats à appréhender.

Un fort potentiel pédagogique à développer



SPINS s'adresse également aux enseignants, souvent confrontés à la difficulté d'enseigner la RMN sans accès direct à l'instrumentation et face à l'abstraction des principes physiques liés (spin nucléaire, champ magnétique, relaxation). Le projet constitue un outil complémentaire précieux pour relier théorie, fonctionnement du spectromètre et interprétation des spectres RMN. Il peut s'intégrer dans l'enseignement secondaire et supérieur, ainsi que dans la formation initiale à la RMN de nouveaux utilisateurs.

Un dispositif économique, ouvert et collaboratif

SPINS se distingue par son coût maîtrisé (150-200 €/maquette), rendu possible grâce à l'impression 3D et à l'utilisation d'une électronique simple, robuste et facilement reproductible. Les plans de la maquette, la documentation associée et le logiciel de visualisation développé en Python sont mis à disposition en libre accès et/ou en open source*.

Initialement conçues pour la médiation scientifique, ces ressources s'inscrivent dans une démarche assumée de science ouverte et collaborative, destinée à l'ensemble de la société, et notamment aux enseignants. Cette ouverture vise à favoriser la reproduction du dispositif, son adaptation à des niveaux pédagogiques variés (lycées, classes prépas, licence/IUT...), et l'enrichissement continu du projet par la communauté enseignante et scientifique, avec une mise à disposition libre des évolutions et nouvelles versions du dispositif.

En combinant accessibilité matérielle, ouverture des ressources et modularité pédagogique par collaboration, SPINS propose ainsi un outil reproductible et évolutif, destiné à élargir l'accès à la compréhension de la RMN auprès d'un public diversifié.

Un projet soutenu financièrement par :

- l'Alliance Sorbonne Université (ANR SOUND au titre de France 2030)
- le DIM MaTerRe labellisé par la Région Ile-de-France.



Crédits photos : J. Forté.

*Plans 3D de la maquette et documentation :

<https://wiki.fablab.sorbonne-universite.fr/BookStack/books/smart-prototype-of-an-interactive-nmr-spectrometer-spins>

Logiciel :

<https://github.com/TomLacoma/spins-interface>

Jérémy FORTÉ*, assistant ingénieur CNRS, **Régina MARUCHENKO**, ingénieure d'étude CNRS, et **Tom LACOMA**, doctorant en chimie, Institut Parisien de Chimie Moléculaire (Sorbonne Université, Paris).

* jeremy.forte@gmail.com

Retour sur la 4^e édition nationale du *French Industrial Chemistry Symposium* (FICS 2026), Paris, 24 avril 2026



Lancé en 2020, le *French Industrial Chemistry Symposium* (FICS) s'est rapidement imposé comme un rendez-vous structurant pour la communauté française de chimie industrielle. Son ambition est claire : créer un espace de dialogue entre monde académique et industrie, en mettant au premier plan les travaux et pratiques des industriels, tout en favorisant les rencontres – en particulier pour les jeunes scientifiques. L'édition nationale 2026, organisée à Chimie ParisTech, en constitue une illustration particulièrement réussie. Accueillis pour la seconde fois dans les locaux de l'école par l'équipe

du Professeur Michaël Tatoulia, plus de 200 participants – issus pour moitié d'une vingtaine d'entreprises et pour moitié du monde académique – se sont retrouvés dans un cadre à la fois prestigieux et propice aux échanges.

Dès l'ouverture, Nicolas Sennequier, directeur de Chimie ParisTech, a rappelé l'importance de ces initiatives pour renforcer les liens entre formation, recherche et industrie. Michaël Tatoulia, fortement impliqué dans l'organisation, a ensuite souhaité la bienvenue aux participants, lançant ainsi une journée placée sous le signe du partage et de la collaboration.

Une industrie pharmaceutique en transformation

La journée s'est ouverte avec l'intervention de Laure Hugonet (EUROAPI), qui a présenté l'engagement de son entreprise dans le programme IPCEI *Med4Cure*. Trois axes majeurs ont été mis en avant – antibiotiques (macrolides), corticostéroïdes et nanoparticules –, illustrant les enjeux stratégiques de souveraineté, d'innovation et de robustesse industrielle en Europe. Cette dynamique s'est prolongée avec Antony Bigot (Sanofi), qui a montré comment des approches de chimie en flux et de biocatalyse permettent de concevoir des procédés plus durables. Baptiste Fours (Minakem) a ensuite souligné l'importance du polymorphisme dans les activités de CDMO (*Contract Development Manufacturing Organisations*), rappelant combien la maîtrise de l'état solide est essentielle à la performance industrielle.

Dans un autre registre, Diego A. P. Zapata (Axens) a présenté la stratégie du groupe en matière de *co-processing*, mettant en évidence le potentiel – encore partiellement exploité – de ces approches dans les installations existantes.

Trois flash communications ont également rythmé cette première session, avec notamment Khimod, qui a mis en avant ses équipements de flux continu, Magritek, qui a présenté sa RMN de paille, et Merck, son logiciel de rétrosynthèse SYNTHIA®.

Intensification des procédés : vers de nouveaux standards

La seconde session a approfondi ces transformations à travers deux études marquantes.

Matthieu Jouffroy (Johnson & Johnson) a présenté deux cas industriels illustrant le rôle croissant des technologies avancées :

- l'utilisation d'enzymes pour la séparation d'énantiomères,
- et la mise en œuvre de catalyse au palladium, avec un focus sur les stratégies d'élimination des traces métalliques dans les principes actifs.

Dans le domaine agrochimique, Julien Vantourout (Syngenta) a démontré le potentiel de l'électrochimie comme alternative efficace pour la synthèse de molécules complexes, confirmant l'essor de cette technologie.



Intervention du professeur Michaël Tatoulian.



Clément Tanguy (à droite), prix du meilleur poster, décerné conjointement par l'AFCD et la division Chimie industrielle.

Procédés complexes et innovations de rupture

La dernière session a illustré la capacité de l'industrie à repousser les limites de la synthèse de molécules complexes.

Paolo Tosatti (Roche) a présenté les travaux menés sur le Migoprotafib, mettant en avant des disconnexions innovantes, tandis que Lucie Lovelle (Novartis) a détaillé le développement du Remibrutinib, témoignant d'une sophistication croissante des stratégies de synthèse.

Dans une logique d'intensification et de durabilité, Simon Wagschal (Lonza) a montré comment l'électrochimie permettrait de remplacer des oxydants et réducteurs classiques tels que KMnO_4 ou LiAlH_4 , ouvrant la voie à des procédés plus sûrs et plus respectueux de l'environnement.

Du côté des sciences de l'état solide, Pierrick Marchand (Holodag) a proposé une présentation particulièrement pédagogique sur les diagrammes de phase et leur rôle central dans la compréhension des procédés de cristallisation.

Jean-Guy Boiteau (Nuvisan) a, quant à lui, partagé des approches concrètes d'identification des impuretés, démontrant leur impact direct sur l'optimisation des procédés industriels.



Le comité d'organisation et des conférenciers du FICS 2026, de gauche à droite : Laurence Grimaud, Julien Vantourout, Michaël Parmentier, Matthieu Jouffroy, Philippe Mackiewicz, Diego Alexander Pena Zapata, Pierrick Marchand, Baptiste Fours, Johannes de Vries, Lucie Lovelle, Laure Hugonet, Paolo Tosatti, Laurent Petit et Morgan Donnard, ainsi que Anthony Bigot, Jean-Guy Boiteau et Simon Wagschal, absents sur la photo.

Deux nouvelles flash communications, portées notamment par Sanofi et Fluorochem, ont complété cette session dynamique. Enfin, la journée s'est conclue avec une conférence remarquable du Professeur Johannes de Vries, consacrée à la conversion catalytique de ressources renouvelables en building blocks pour la chimie fine et de commodités, ouvrant des perspectives clés pour une chimie plus durable.

Une communauté engagée et en mouvement

Au-delà des conférences, les 40 posters présentés dans la bibliothèque ont donné lieu à des échanges nourris tout au long de la journée, dans une atmosphère particulièrement constructive.

Le prix du meilleur poster, décerné conjointement par l'AFCD et la division Chimie industrielle de la SCF, a été remis à Clément Tanguy, récompensant la qualité des travaux présentés.

La journée s'est achevée autour d'un moment convivial, permettant à chacun de prolonger les discussions et de renforcer un réseau déjà très actif.

Un avenir structuré et une transition de gouvernance

Le FICS s'inscrit désormais dans un rythme établi, alternant éditions nationales à Paris et éditions régionales – la prochaine étant prévue à Rennes en 2027.

Cet événement n'aurait pas pu se tenir sans le généreux support de nos nombreux sponsors.

Par ailleurs, une évolution de la gouvernance est engagée. Laurent Petit et Michael Parmentier ont exprimé leur souhait de prendre du recul afin de se consacrer à leurs responsabilités industrielles et à d'autres initiatives. Un passage de relais structuré sera organisé afin d'assurer la continuité et le développement de cet événement, qui joue désormais un rôle clé dans l'écosystème français de la chimie industrielle.

*Contact : Philippe MACKIEWICZ, pour la division Chimie industrielle de la Société Chimique de France.
philmackiewicz@gmail.com

Comment la chimie contribue-t-elle concrètement à l'écoconception ?

C'est à cette question qu'ont répondu chercheurs, industriels et institutionnels réunis lors du colloque interdisciplinaire « Écoconception », organisé fin janvier par le CNRS et dont la synthèse a été publiée le 15 juin*. Au cœur des échanges : imaginer des matériaux, des procédés et des usages capables de réduire les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie des produits.

Au fil des interventions, un constat s'est imposé : l'écoconception ne consiste plus simplement à réduire les impacts environnementaux d'un produit existant. Elle invite à repenser, dès l'origine, les matériaux, les procédés et les usages. En mobilisant des approches allant de la chimie bio-inspirée aux nouvelles méthodes de synthèse, en passant par le recyclage ou l'analyse du cycle de vie, les chimistes contribuent à construire les bases d'une innovation plus durable.

* Télécharger la synthèse du colloque :

https://miti.cnrs.fr/wp-content/uploads/2025/10/SYNTHESE_COLLOQUE_ECOCONCEPTION_2026_V_ECRAN_02C_BF.pdf

Distinctions

William R. Newman, Prix Franklin-Lavoisier 2026



Le Science History Institute, basé à Philadelphie, et la Fondation de la Maison de la Chimie, ont désigné William Royall Newman lauréat du Prix Franklin-Lavoisier 2026. L'historien des sciences américain, professeur distingué et professeur Ruth N. Halls au département d'histoire et de philosophie des sciences de l'Université de l'Indiana (États-Unis)

est reconnu pour ses substantielles contributions à l'histoire de l'alchimie. Formé en tant que spécialiste textuel et médiéviste, ses ouvrages offrent des éclairages originaux sur les textes essentiels de la littérature alchimique, apportant des perspectives nouvelles sur plusieurs auteurs, dont l'alchimiste américain George Starkey et le physicien anglais Sir Isaac Newton.

En plus de ses publications scientifiques, Newman a également soumis les expériences alchimiques à l'épreuve du laboratoire. Sa collaboration étroite avec l'expert en histoire de l'alchimie Lawrence M. Principe – lauréat du prix Franklin-Lavoisier 2016 – confirme les transformations chimiques bien réelles que les alchimistes ont pu réaliser. En tant que co-auteurs de deux livres, ils ont plaidé pour le retour du terme archaïque « chymie » pour désigner de manière générale la pratique partagée par l'alchimie et la chimie des débuts de l'époque moderne. L'usage du mot est désormais largement reconnu, au point d'avoir été officiellement reconnu par l'*Oxford English Dictionary*.

William « Bill » R. Newman a passé l'essentiel de sa carrière à l'Université de l'Indiana, où il a étudié les grands thèmes de l'histoire de l'alchimie. Dans son ouvrage de 1991, *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber: A Critical Edition, Translation & Study*, il a révélé la présence d'une théorie corpusculaire de la matière dans l'alchimie médiévale, qui a également constitué le fondement de son livre ultérieur, *Atoms and Alchemy* (2006). Newman y a mis en lumière la profonde influence de Geber sur l'atomisme de Daniel Sennert et sur la théorie de la matière

de Robert Boyle, démontrant comment la philosophie mécaniste s'est appropriée et a transformé la théorie corpusculaire alchimique.

Un second thème central de l'œuvre de Newman est l'éclairage novateur que l'alchimie médiévale a apporté à l'idée occidentale traditionnelle de l'opposition entre l'art et la nature. Dans son ouvrage *Promethean Ambitions* (2004), Newman décrit différents intellectuels depuis le poète médiéval français Jean de Meun jusqu'à son compatriote, le céramiste Bernard Palissy, qui considéraient tous deux l'alchimie comme l'apogée de la prétention humaine à surpasser la nature, bien qu'ils soient parvenus à des conclusions opposées quant à sa valeur. Même Francis Bacon, le champion de la science expérimentale, a puisé son inspiration dans des exemples alchimiques pour affirmer que la nature diffère de l'art « *non par la forme ou l'essence, mais seulement dans la façon dont il opère* » (« *not in form or essence, but only in the efficient* »).

Un autre thème majeur de l'œuvre de Newman a été l'impact omniprésent de Jean Baptiste Van Helmont et de la tradition helmontienne sur le développement de principes cruciaux à la science expérimentale, tels que le concept d'équilibre des masses. L'influence marquante de Van Helmont apparaît dans la biographie de George Starkey parue en 1994, *Gehennical Fire*, ainsi que dans *Alchemy Tried in the Fire* (2002), coécrit avec Lawrence M. Principe (Johns Hopkins). Plus récemment, Newman a travaillé avec une équipe de chercheurs pour produire *The Chymistry of Isaac Newton*, une édition en ligne des manuscrits alchimiques de Newton. Cette édition lui a permis de jeter un éclairage substantiellement neuf sur les activités « chymiques » de Newton dans son livre de 2019, *Newton the Alchemist*.

Il succède aux Professeurs Bernadette Bensaude-Vincent et Armand Lattes, lauréats en 2024.

* Le Prix Franklin-Lavoisier a été créé en 2007 conjointement par la Fondation de la Maison de la Chimie (Paris) et le Science History Institute (Philadelphie, États-Unis) afin de distinguer les réalisations exceptionnelles et les efforts méritoires visant à promouvoir et faire progresser l'histoire et le patrimoine des sciences et technologies chimiques. Il a été nommé en l'honneur d'Antoine Laurent Lavoisier et Benjamin Franklin, deux des plus grands esprits du XVIII^e siècle, soulignant le caractère international et communautaire de cette entreprise scientifique.

Le prix est décerné tous les deux ans, alternativement aux États-Unis et en France, à des individus et organisations du monde entier ayant apporté des contributions significatives, ainsi que des travaux originaux et novateurs ouvrant de nouveaux domaines et perspectives dans la préservation, l'interprétation et le partage du passé et du patrimoine chimiques.

<https://fondation.maisondelachimie.com/les-actions/les-prix-de-la-fondation/prix-franklin-lavoisier>

Talents du CNRS 2026

Le CNRS a décerné 24 médailles d'argent, 46 médailles de bronze et 34 médailles de cristal en 2026, dont les lauréats relevant des laboratoires de CNRS Chimie présentés ci-dessous.



© Monnaie de Paris.

Médailles d'argent

• **Marc Robert**, spécialiste d'électrocatalyse et de photo-électrochimie à l'Institut parisien de chimie moléculaire, pour ses travaux pionniers sur la réduction du CO₂ et du N₂ en molécules à haute valeur ajoutée, ouvrant la voie à des technologies durables pour le stockage de l'énergie et la décarbonation de l'industrie.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-dargent-marc-robert-un-scientifique-passionne-par-les-transferts-electroniques

• **Ilaria Ciofini**, directrice de recherche CNRS à l'Institut of Chemistry for Life and Health Sciences (i-CLeHS), pour ses travaux en chimie théorique pour décrire et prédire les propriétés et la réactivité des systèmes moléculaires, tant à l'état fondamental que sous l'effet de la lumière.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-dargent-ilaria-ciofini-modeliser-pour-mieux-comprendre-les-phenomenes-chimiques

• **André Klymchenko**, spécialiste de la chimie des matériaux appliquée à la bio-imagerie au Laboratoire de biophotonique et pharmacologie (CNRS/Université de Strasbourg), pour ses travaux sur la conception de sondes et nanoparticules fluorescentes dédiées au diagnostic moléculaire et à l'imagerie biomédicale, à l'origine d'innovations majeures en détection cellulaire et en technologies médicales.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-dargent-andre-klymchenko-des-sondes-fluorescentes-pour-explorer-le-vivant

Médailles de bronze

• **Sébastien Blanquer**, spécialiste en chimie des polymères, pour ses travaux sur les matériaux intelligents et l'impression 4D, ouvrant la voie à des objets capables d'évoluer dans le temps pour des applications innovantes en médecine et en robotique souple.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-bronze-sebastien-blanquer-quand-la-chimie-donne-vie-aux-matériaux

• **Assil Bouzid**, chercheur à l'Institut de recherche sur les céramiques (IRCER), pour le développement de modèles de calcul innovants, couplant mécanique quantique et intelligence artificielle, permettant de relier la structure des

matériaux désordonnés à leurs propriétés et d'accélérer la conception de matériaux à fort enjeu énergétique.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-bronze-assil-bouid-mettre-de-lordre-dans-le-désordre

• **Clément Falaise**, chargé de recherche CNRS à l'Institut Lavoisier de Versailles, pour ses travaux en chimie inorganique et supramoléculaire sur les polyoxométallates, ouvrant des perspectives innovantes pour le stockage de l'énergie et la conception de systèmes hybrides bio-inspirés.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-bronze-clement-falaise-des-poms-pour-le-stockage-denergie

• **Cassandra Quinton**, chercheuse à l'Institut des sciences chimiques de Rennes, est récompensée par la médaille de bronze pour ses travaux sur les nano-anneaux π -conjugués, révélant comment la structuration circulaire des molécules permet de moduler leurs propriétés optiques et électroniques et d'ouvrir la voie à de nouvelles applications en électronique organique et en détection chimique.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-bronze-cassandra-quinton-contre-courant-des-lois-moleculaires

• **Claire de March**, chercheuse CNRS à l'Institut de Chimie des Substances Naturelles à Gif-sur-Yvette, pour ses travaux sur les mécanismes supramoléculaires de l'olfaction, ayant notamment permis l'obtention de la première structure expérimentale d'un récepteur olfactif humain.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medailles-de-bronze-claire-de-march-le-parfum-de-laccomplissement

• **Galina Dubacheva**, chargée de recherche CNRS au Département de chimie moléculaire (CNRS/UGA), pour ses travaux sur l'assemblage moléculaire sur des surfaces fonctionnelles, ouvrant des perspectives innovantes pour la conception de surfaces biomimétiques et leurs applications en biomédecine, notamment pour la délivrance de médicaments.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-bronze-galina-dubacheva-au-coeur-des-interactions-entre-molecules-et-surfaces

Médailles de cristal

• **Xavier Bataillon**, technicien en instrumentation scientifique au laboratoire SIMaP (Science et ingénierie des matériaux et procédés) à Grenoble, pour son parcours atypique et son expertise rare dans la conception de dispositifs expérimentaux uniques, devenus des outils essentiels pour explorer et comprendre le comportement des matériaux.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-cristal-xavier-bataillon-de-lidee-l'experimentation

• **Céline Chesné**, spécialiste des substances naturelles marines à l'Institut de chimie des substances naturelles (ICSN), pour son expertise reconnue dans l'exploration de molécules issues du monde marin.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-cristal-celine-chesne-la-recherche-des-tresors-caches-des-oceans

• **Mathieu Frégnaux**, ingénieur de recherche CNRS à l'Institut Lavoisier de Versailles (ILV), spécialiste de physico-chimie des surfaces et de spectroscopie de photoémission, pour le développement d'outils d'analyse capables d'observer les dispositifs optoélectroniques et photovoltaïques en fonctionnement réel.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/medaille-de-cristal-mathieu-fregnaux-linterface-entre-instrumentation-physique-et-chimie

• **Cristal collectif : ChemBioFrance**, une infrastructure de recherche pilotée par CNRS Chimie qui a pour mission d'accélérer la découverte et le déploiement de candidats-médicaments.

* www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/un-cristal-collectif-pour-recompenser-lequipe-de-chembiofrance

Manifestations



4 novembre 2026

Colloque Chimie et cerveau

Paris

Le cerveau est une machine extraordinaire : complexe, fascinante à comprendre, mais encore très difficile à soigner. Le rôle de la chimie dans les recherches et les développements liés au cerveau et à ses pathologies est relativement récent, mais il s'est considérablement renforcé depuis le premier colloque organisé par la Fondation de la Maison de la Chimie en 2014. Il reste toutefois beaucoup à accomplir, et les attentes comme les espoirs sont immenses, notamment face aux pathologies cérébrales.

C'est pourquoi ce nouveau colloque qui se tiendra à la Maison de la Chimie*, réunira des chimistes, biochimistes, biologistes, pharmaciens, chercheurs du secteur public et industriel, ainsi que des spécialistes des neurosciences, avec pour objectif de proposer un état des lieux accessible à un public non expert, en particulier le monde éducatif.

Les maladies neurodégénératives constitueront le thème principal : elles seront abordées sous l'angle du traitement des pathologies lors d'une table ronde industrielle, puis sous celui de leur compréhension dans la session consacrée à la recherche.

* Inscription gratuite obligatoire :

<https://fondation.maisondelachimie.com/colloque/chimieetcerveau>

Le colloque sera retransmis **en direct sur la chaîne YouTube Mediachimie** (sans inscription, www.youtube.com/@mediachimie).



18-19 novembre 2026

Symposium Pierre Potier

Gif-sur-Yvette

L'Institut de chimie des substances naturelles (CNRS, Gif-sur-Yvette) organise le Symposium ICSN 2026, un événement scientifique en hommage à Pierre Potier et à son héritage majeur en chimie des substances naturelles et en chimie médicinale. Ce symposium marquera le 20^e anniversaire de sa disparition.

Ses travaux ont montré comment des molécules complexes d'origine naturelle peuvent être transformées, grâce à des stratégies synthétiques et semi-synthétiques, en agents thérapeutiques efficaces. En alliant la recherche en chimie fondamentale à l'évaluation biologique et au développement industriel, Pierre Potier a contribué à définir un modèle de recherche translationnelle qui demeure aujourd'hui encore d'une grande actualité.

Le Symposium vise à illustrer comment ces principes scientifiques continuent d'inspirer de nouvelles générations de chimistes, en guidant la recherche actuelle à l'interface de la chimie, de la biologie et de la médecine, et en favorisant l'innovation dans la découverte de médicaments à partir d'architectures moléculaires complexes.

* Date limite de soumission des communications : **2 octobre 2026**.

<https://icsn2026-potier.sciencesconf.org>

CONFÉRENCE INTERNATIONALE

Matériaux

ALPEXPO, GRENOBLE 16-20 NOVEMBRE 2026

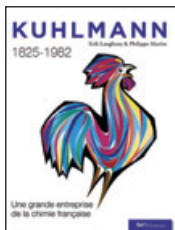
14 COLLOQUES DANS UN MÊME LIEU !

Une occasion unique de rencontrer
l'ensemble de la communauté
francophone des matériaux.

INSCRIVEZ-VOUS

www.materiaux2026.org

Avis de lecteurs



Kuhlmann 1825-1982
Une grande entreprise
de la chimie française
 E. Langlinay, P. Martin
 42 €, 392 p.
 Éditions Ref.²C, 2025

Si les noms de Rhône-Poulenc, Saint-Gobain, ou encore Pechiney demeurent aujourd'hui associés à l'histoire de la chimie industrielle en France, celui de Kuhlmann apparaît plus en retrait. Comme le souligne Hervé Joly dans la préface de l'ouvrage d'Erik Langlinay et Philippe Martin, cette relative discrétion tient sans doute à l'absence d'une histoire consacrée à l'entreprise qui a pourtant perduré plus de cent cinquante ans.

Fondée en 1825 par Frédéric Kuhlmann (1803-1881), professeur de chimie appliquée aux arts industriels à Lille (envoyé dans cette ville par Nicolas Vauquelin, il y donne des cours du soir gratuits de « chimie appliquée aux arts et aux manufactures »), l'entreprise se développe d'abord autour de la production d'engrais et de colorants. Elle connaît ensuite une croissance continue, marquée par une diversification de ses activités et une implantation progressive sur l'ensemble du territoire français. Malgré les contraintes économiques et géopolitiques des cinquante premières années du ^{xx}e siècle, elle parvient à maintenir ses positions, à résister aux tentatives d'absorption durant les deux conflits mondiaux par l'industrie allemande, et voit son nom durablement associé à celui de la CNMC et de Francolor.

Après la Seconde Guerre mondiale, elle poursuit sa stratégie de diversification (acides, engrais, colorants) et de résistance face à une concurrence de plus en plus forte, tant sur le plan national

qu'international, jusqu'à sa fusion avec Ugine et la Société des produits azotés en 1966, qui lui permet d'accéder à la production d'aciers spéciaux et de renforcer sa position dans le domaine des engrais.

Erik Langlinay est professeur agrégé d'histoire et spécialiste de l'industrie chimique française ; Philippe Martin est historien de l'industrie des engrais et chercheur associé au Centre François Viète. Leur ouvrage, composé de douze chapitres répartis en quatre grandes parties – la fondation et l'essor (1825-1914), l'implantation nationale (1914-1939), l'internationalisation (1939-1966), puis les fusions et la disparition progressive du groupe (1966-1982) – propose une synthèse structurée de cette trajectoire industrielle.

S'appuyant sur un corpus d'archives varié (photographies, documents administratifs, supports publicitaires, nuanciers, schémas de procédés), les auteurs parviennent à plonger le lecteur au cœur de l'histoire économique, sociale, industrielle et scientifique de la chimie française. Ils restituent ainsi les multiples défis rencontrés par Kuhlmann tout au long de son existence jusqu'à la nationalisation en 1982 et son démantèlement en 1983. Ouvrage évoquant autant la chimie industrielle que son histoire, « *le Kuhlmann* » de Langlinay et Martin constitue enfin, par la qualité de son édition (Ref.²C), un véritable livre-objet à conserver en bibliothèque.

Éric Jacques,

Président du groupe Histoire de la chimie

À signaler



La foisonnante histoire
du nom des molécules
 P. Avenas,
 S. Bléneau-Serdel
 22 €, ebook : 14,99 €,
 250 p.
 EDP Sciences, 2026

Après *La Prodigieuse histoire du nom des éléments* parue en 2019, voici *La Foisonnante histoire du nom des molécules*, une exploration des combinaisons d'atomes qui façonnent notre monde.

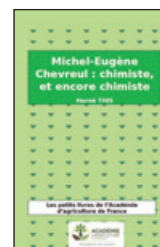
Cet ouvrage révèle l'étymologie des noms des molécules (de la vanilline à l'indigo, en passant par le Taxotère®, l'acide hyaluronique ou l'ADN...), une clé pour comprendre leur découverte, connaître les chimistes qui y ont contribué, et même l'état des connaissances scientifiques à leur époque. Les noms deviennent ainsi le point de départ d'un périple bien au-delà de la chimie, nous entraînant vers la botanique, la zoologie, l'histoire, la mythologie, la médecine, la biologie, les techniques ou encore l'industrie...



72 femmes de sciences
pour la tour Eiffel

I. Vauglin (dir.), Femmes & Sciences
 12,90 €, 116 p.
 MkF éditions, 2026

Ce livre rend hommage aux 72 femmes de sciences sélectionnées pour voir leur nom inscrit à la tour Eiffel (voir le numéro de mars 2026 de *L'Actualité Chimique*). Vous y découvrirez leurs portraits, leurs parcours et leurs contributions majeures à la recherche et à la connaissance.



Michel-Eugène Chevreul :
chimiste, et encore chimiste

H. This
 pdf gratuit*, 77 p.
 Académie d'agriculture de France, 2026

Chevreul : un chimiste universellement célèbre pour avoir notamment découvert la constitution moléculaire des matières grasses alimentaires, au terme

de longues années entièrement focalisées sur cette question. Puis il dirigea l'atelier des teintures, à la Manufacture des Gobelins, et en résolut les problèmes techniques, découvrant notamment la loi du contraste simultané des couleurs, dont s'inspirèrent les peintres impressionnistes.

Chevreul exerça la chimie jusqu'à être centenaire, et, à la Société d'agriculture de France ou à l'Académie des sciences, il ne cessa de mettre ses connaissances de chimie au service des questions de société : à propos de l'eau, des engrais, des bougies... Comment travaillait-il ? Quel fut son apport aux débuts de la chimie organique ? Quels rapports entre les graisses et les couleurs ? Et quelle était sa démarche très particulière, quand il rédigeait les nombreux

mémoires avec lesquels il contribua à la vie scientifique française, au XIX^e siècle ?

* www.academie-agriculture.fr/publications/livres-academie-agriculture-de-france



**Sciences de l'océan,
de l'atmosphère et du climat**
J. Cattiaux, F. Codron, I. Dadou (dir.)
39 €, 352 p.
Dunod, 2026

Ce manuel présente les notions fondamentales de dynamique, physique, chimie et mathématiques nécessaires à l'étude du système climatique, en particulier de l'atmosphère et de l'océan. Synthétique, illustré et en couleurs, il a pour objectif de donner une vue d'ensemble, avec un regard transverse, sur ces thématiques.

Il présente les composantes du système climatique (océan, atmosphère, surfaces continentales, cryosphère) ainsi que les principaux processus physiques et chimiques qui y opèrent. Il détaille aussi les moyens d'étude de ces composantes, que ce soit *via* l'observation ou la modélisation numérique. Il introduit les notions de variabilité et de changement climatique, en décrivant notamment les impacts anthropiques sur le climat.



Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie (« Le Bup »)

La Rédaction de *L'Actualité Chimique* a sélectionné pour vous les articles suivants :



N° 1084 (Mai 2026)

- Introduction au mécanisme de Higgs, par B. Pourprix

Le boson de Higgs, découvert expérimentalement en 2012, est une manifestation du champ de Higgs. Ce champ communique une masse aux particules élémentaires qui interagissent avec lui. Cet article décrit le mécanisme, briseur de symétrie et générateur de masse, proposé par Peter Higgs en 1964. Notre étude s'appuie sur celle que nous avons consacrée à Yoichiro Nambu, l'inventeur du concept de brisure spontanée de symétrie, dans un précédent numéro du Bup.



N° 1085 (Juin 2026)

- Bleu de méthylène : adsorbe-moi si tu peux ! par O. Fraisse et I. Beurroies

Comme dans de nombreux lycées, une société de recyclage de déchets vient chaque année récupérer les différents bidons de nos résidus expérimentaux. Notre établissement ayant le label « Établissement en démarche de développement durable », nous voulions, au niveau du laboratoire de chimie, contribuer de façon plus autonome aux traitements de ces résidus. Notre volonté était de réduire le volume de stockage des déchets et de diminuer le coût pour le lycée. Disposant dans notre local de stockage, d'un bidon de solution de bleu de méthylène, nous avons choisi de le traiter par adsorption sur charbon actif (charbon de haute pureté de surface spécifique très importante comportant de très nombreux pores microscopiques). La problématique consiste à déterminer la masse de charbon actif à introduire dans le bidon afin d'adsorber la totalité des molécules de bleu de méthylène.



N° 1086 (Juillet-Août-Septembre 2026)

- Alexandre Borodine (1833-1887) : la chimie et le Prince Igor, par C. Paquot-Marchal

Lorsqu'il meurt en 1887, Alexandre Borodine n'est pas salué comme un grand compositeur, mais comme un grand chimiste. Médecin, docteur en chimie, il a travaillé en chimie organique et a côtoyé des chimistes européens lors de ses voyages. Il a aussi écrit de la musique et, en 1869, il a entrepris la composition du *Prince Igor*, mais il abandonne ce travail car les travaux de Friedrich Kekulé correspondent aux siens qu'il n'avait pas présentés ; il reprend ses cahiers d'expériences ainsi que les expériences. En 1887, lors d'un bal masqué à Saint-Pétersbourg, il meurt d'une rupture d'anévrisme sans avoir retrouvé les résultats à opposer à Friedrich Kekulé.

- Des exercices pour travailler la modélisation d'une transformation chimique par une réaction chimique, par S. Canac et I. Kermen

Cet article propose des exercices pouvant être utilisés du collège au lycée sur le thème de la transformation chimique. L'objectif de ces exercices est d'aider les élèves à distinguer ce qui est du niveau expérimental – la transformation chimique – et ce qui est du niveau du modèle – la réaction chimique, tel que proposé dans le programme de seconde. Les exercices doivent permettre aux élèves d'identifier les différentes caractéristiques du modèle.

- Aménagements des programmes de physique-chimie en terminale générale (Paris, le 7 juillet 2026), par P. Goutverg

La lettre publiée ici a été adressée le 7 juillet 2026 par Philippe Goutverg, président de l'UdPPC, au ministre de l'Éducation nationale. L'UdPPC alerte sur la densité excessive du programme de physique-chimie de terminale générale, qui ne permet ni une assimilation sereine des notions ni une préparation satisfaisante aux épreuves du baccalauréat. L'association souligne les difficultés rencontrées par les enseignants et les élèves, ainsi que les inégalités que cette situation accentue. Elle demande que le travail engagé par l'Inspection générale sur un réaménagement du programme puisse être mené à son terme afin de proposer un programme plus réaliste, tout en conservant son ambition scientifique.

• Sommaires complets, résumés des articles et modalités d'achat sur udppc.asso.fr

2-12 octobre 2026

36^e Fête de la Science

Saveurs savantes

www.fetedelascience.fr/la-fete-de-la-science-2026-celebre-les-saveurs-savantes

5 octobre 2026

5^e Webinaires franco-belges de catalyse

Procédés photocatalytiques

Online

https://rendez-vous.renater.fr/5e_Webinaire_franco-belge_de_catalyse_a45b8b-b53682-dc9e92

12 octobre 2026

40^e Forum Horizon Chimie

Paris

www.forumhorizonchimie.com

13 octobre 2026

Innovation thérapeutique

Paris

Voir *L'Act. Chim.* 513, p. 55.

www.academie-sciences.fr/innovation-therapeutique

27-29 octobre 2026

73^e Congrès national des professeurs de physique et de chimie

Bastia

www.udppc.asso.fr/congres

3-5 novembre 2026

Journées Scientifiques CentRA 2026

Association Center for Rare Earth and Actinides Research

Nîmes

<https://felements.fr/journees-scientifiques-centra-2026/>

4 novembre 2026

Chimie et cerveau

Paris

Voir p. 56.

<https://fondation.maisondelachimie.com/colloque/chimieetcerveau>

4-6 novembre 2026

At the Confluence of Biomembrane Sciences

GEM XXVI and 7th APPICOM Meeting

Lyon

Voir *L'Act. Chim.* 516-517, p. 120.

<https://gem-2026.sciencesconf.org>

9 novembre 2026

Webinaire SECF

Substances et recyclage : le point de vue des développeurs, recycleurs, et transformateurs

Online

<https://secf-expertschimie.org/2026/08/05/cycle-tracabilite-et-recyclage-des-plastiques-episode-4substances-et-recyclage-le-point-de-vue-des-developpeurs-recycleurs-et-transformateurs>

16-18 novembre 2026

PhysChemCell 2026

Illuminer le vivant : outils chimiques et physiques innovants pour explorer la biologie

Paris

<https://physchemcell26.sciencesconf.org>

16-20 novembre 2026

Matériaux 2026

Grenoble

Voir *L'Act. Chim.* 512, p. 62.

<https://matériaux2026.org>

18-19 novembre 2026

Symposium ICSN 2026 – Pierre Potier

Gif-sur-Yvette

Voir p. 56.

<https://icsn2026-potier.sciencesconf.org>

19 novembre 2026

Le numérique pour la chimie analytique

Paris

Voir *L'Act. Chim.* 516-517, p. 121.

www.sfds.asso.fr/fr/chimiometrie/788-le-numerique-pour-la-chimie-analytique

2-4 décembre 2026

Journées Formulation 2026

Formulation et alimentation durables

Villeneuve d'Ascq

<https://jf2026.sciencesconf.org>

3 décembre 2026

6^e Rencontres du CNC

La chimie intégrative, du concept aux procédés pour les matériaux

Paris

www.cncchimie.org/rencontres-cnc-6

4 décembre 2026

Matinée d'hommage à Andrée Marquet

Paris

<https://fondation.maisondelachimie.com/evenement/mmatinee-dhommage-a-andree-marquet>

10-13 décembre 2026

Village de la Chimie AURA

Stand dans le cadre du Mondial des Métiers

Lyon

www.mondial-metiers.com

16 février 2027

GWB2027

Global Women's Breakfast

<https://iupac.org/gwb>

16-18 mars 2027

Beyond Waste 2027

Recycling of materials from atoms to systems

Lille

<https://beyondwaste2027.sciencesconf.org>

23-27 mai 2027

EPF EUPOC 2027

Conference

Polymers at phase boundaries: from fundamentals to applications

Bertinoro (Italie)

www.epfwebsite.org

5-7 avril 2027

Journées scientifiques SCF-Bretagne-Pays de Loire

Le Croisic

<https://scf-bpl2026.sciencesconf.org>

9-17 juillet 2027

IUPAC | CSC 2027

- Engaging Chemistry

54th IUPAC General Assembly and 51st World Chemistry Congress

Montréal (Canada)

iupac2027.org

De nombreuses autres manifestations vous attendent sur le site de la SCF : www.societechimiquedefrance.fr, rubrique Événements.

Grands Prix et Prix binationaux 2026

Prix Joseph-Achille Le Bel



• Anna Proust

Anna Proust est professeure à Sorbonne Université, où elle a été recrutée comme maître de conférences en 1993 (alors UPMC), et elle dirige depuis 2005 le groupe E-POM de l'Institut Parisien de Chimie Moléculaire (IPCM) dont elle a assuré la direction (2023 et 2024).

Reconnue internationalement pour ses travaux en chimie

inorganique moléculaire, Anna Proust a apporté des contributions majeures à la chimie des « polyoxométallates » (POM), oxydes moléculaires nanométriques, souvent à base de molybdène ou de tungstène, dont la composition peut varier de quelques ions métalliques à plusieurs dizaines. Elle a notamment été pionnière dans la fonctionnalisation de manière de plus en plus complexe des POM, en établissant une vaste bibliothèque d'espèces bien caractérisées. Elle a travaillé à la création de véritables plateformes pour l'élaboration de matériaux moléculaires fonctionnels en exploitant leurs propriétés dans les domaines de l'énergie, de l'électronique moléculaire, de la catalyse, de la photosynthèse artificielle, ou encore en créant des matériaux fonctionnels pour des systèmes informatiques neuromorphiques, les « *reservoir computing* » (RC).

Cette reconnaissance dans le domaine des POM s'est aussi traduite par la direction d'un réseau international éponyme (CNRS/2019-2023) et par sa contribution à la fondation de l'action COST qui l'a précédée (2012-2016).

Auteure de près de 200 publications scientifiques, Anna Proust a été invitée dans de nombreuses conférences nationales et internationales. Elle a reçu des distinctions majeures en France et à l'étranger : élue membre junior de l'Institut universitaire de France (2007-2012), son travail a été récompensé par le Prix de l'État de l'Académie des sciences (2020) et elle a été élue à l'European Academy of Sciences (2025).

Anna Proust s'est largement investie pour la communauté scientifique et en particulier, elle a été vice-présidente puis présidente (2016-2021) de la Division Chimie de Coordination de la SCF et reconnue membre distinguée de la SCF en 2022.

Prix Pierre Süe

• David Farrusseng

David Farrusseng est directeur de recherche CNRS à l'IRCELYON, CNRS/UCB-Lyon 1, qu'il a rejoint au début des années 2000 et où il dirige l'équipe « Ingénierie » depuis 2011. Il est considéré comme un acteur majeur dans le domaine des polymères de coordination poreux (MOF) qu'il a contribué à développer à la frontière entre la catalyse, la chimie des



matériaux et la chimie de coordination. Il a été l'un des précurseurs de l'application de l'intelligence artificielle au développement de catalyseurs hétérogènes dans le cadre de la catalyse combinatoire et à haut débit. Il a développé la fonctionnalisation des MOF pour des applications en catalyse en diversifiant et stabilisant les sites actifs et en leur associant les propriétés des solides poreux.

Il a notamment développé des « nanoboîtes » de zéolithes qui isolent des sites catalytiques métalliques ultradispersés et limitent leur désactivation.

David Farrusseng mène également une activité remarquable de valorisation des MOF attestée par 31 brevets et le développement de pilotes industriels.

Auteur de plus de 220 publications scientifiques, de six chapitres de livres, David Farrusseng a été invité dans de nombreuses conférences internationales. Il est largement engagé envers la communauté scientifique : membre du comité éditorial de journaux scientifiques (*New Journal of Chemistry-RSC*, *ChemCatChem-Wiley*), il a été président du Comité d'organisation de ICC 2024 à Lyon, il est responsable depuis 2019 d'un International Research Program (CNRS) avec l'Université de Kyoto (SMOLAB, Pr. Susumu Kitagawa, prix Nobel 2025), et depuis 2024, il est président de l'International Association of Catalysis Societies (IACS).

Il a reçu des distinctions majeures en France et à l'étranger : Médaille d'argent du CNRS en 2020, prix IACS en 2016 et ambassadeur Innovation du CNRS en 2026, il a été reconnu membre distingué de la SCF en 2024.

Prix Félix Trombe



• Myrtil Kahn

Myrtil Kahn est directrice de recherche CNRS au Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC, UPR CNRS) à Toulouse. Chimiste des matériaux, elle y développe depuis 2001 une approche moléculaire des nanomatériaux hybrides, alliant recherche fondamentale et innovation technologique pour répondre aux enjeux environnemen-

taux, énergétiques et de santé. Son parcours l'a menée à explorer les mécanismes de création de nano-objets complexes, de la synthèse de nanoparticules à partir de précurseurs organométalliques jusqu'à leur intégration dans des dispositifs fonctionnels.

Parmi ses réalisations marquantes, citons : le développement des Hybridosomes®, des nanocapsules produites par effet Ouzo pour l'encapsulation et la délivrance ciblée de principes

actifs, validé *in vivo* par une augmentation significative de la survie de souris traitées par radiothérapie (tumeurs GL261) ; le développement de nanocatalyseurs permettant une production d'hydrogène recyclable et contrôlée par solvolysé d'amine-borane, travaux qui ont abouti à la création de la start-up *H₂-Solid* ; ainsi que le réacteur-injecteur de nanoparticules (DLRI), breveté, qui permet une synthèse et une injection sécurisées de nanoparticules *in situ*, garantissant l'absence de tout contact direct avec celles-ci lors de la formation de nanocomposites.

Son travail s'inscrit dans une démarche collaborative, associant chimistes, physiciens, théoriciens, ingénieurs et industriels (Safran, Oerlikon Balzers, Syensqo, etc.) pour fédérer un écosystème complet, des grands groupes aux PME et TPE régionales. Cette synergie, portée par des innovations comme le DLRI, a abouti à la création du laboratoire commun de recherche IRVing(s), dédié aux procédés hybrides d'ingénierie des surfaces. Ce dernier regroupe trois laboratoires toulousains (LCC, Laplace et Softmat), le CNES et Safran, et est co-dirigé par Myrtil Kahn.

Auteure de plus de 130 publications et 14 brevets, elle est aussi experte reconnue et membre de comités éditoriaux. Son engagement dans de nombreux réseaux et contrats de recherche illustre son rayonnement local, national et international.

Prix Franco-Allemand « Georg Wittig – Victor Grignard »



• Werner Kunz

Werner Kunz est professeur à l'Institut de Chimie Physique et théorique de l'Université de Regensburg, Allemagne, qu'il rejoint en 1997 après un parcours de dix années en France (CEA Saclay, Université Paris 6, Université Compiègne). Il incarne une chimie innovante et durable, avec l'introduction de nouveaux concepts et des applications indus-

trielles dans le domaine des phases condensées, notamment les systèmes colloïdaux et liquides ioniques. En chimie des solutions complexes, il a élargi la compréhension des effets ioniques spécifiques (série de Hofmeister), des hydrotropes, et des mécanismes de solubilisation, avec des applications directes en formulation verte. Dans le domaine des solvants et procédés durables, il a été pionnier dans le développement de solvants verts comme la gamma-valérolactone (GVL), et contribue à leur adoption industrielle en Europe, remplaçant des solvants toxiques (NMP, DMF) par des alternatives biodégradables. Dans cette perspective, une usine dédiée à la production de GVL démarrera cette année en Allemagne. En matière de cristallisation non conventionnelle et matériaux biomimétiques, ses recherches sur les biomorphes et les nanomatériaux ouvrent des perspectives pour des applications en catalyse ou en médecine.

Convaincu très tôt du potentiel de la méthode COSMO-RS comme outil de prédiction thermodynamique fondé sur la chimie quantique, il en a joué un rôle de pionnier et de diffuseur.

Dans le prolongement de sa carrière française, Werner Kunz a entretenu des collaborations scientifiques durables, des

échanges d'étudiants et des co-tutelles, ainsi qu'un investissement régulier dans l'enseignement et les réseaux français (Lille, Avignon, Montpellier, Marcoule/ICSM, Versailles). C'est ainsi qu'en 2004 a été créé, à son initiative, le master européen COSOM (« Complex Condensed Materials and Soft Matter »), associant Regensburg, Lille, Florence, Montpellier et Versailles. Avec plus de 370 publications (dont plus de cent communes avec la France), seize brevets, une centaine de conférences invitées et des distinctions prestigieuses (Rhodia-Prize 2012 de la European Colloid and Interface Society, Prix Gay-Lussac-Humboldt 2015, Prix Formula-Pierre Fillet 2023), ses travaux sont reconnus à l'international. Son livre « *Specific Ion Effects* » (2010) est une référence en physico-chimie.

Prix Franco-Espagnol « Miguel Catalán - Paul Sabatier »



• Jesús Jiménez-Barbero

Jesús Jiménez-Barbero est professeur au CIC bioGUNE, Chemical Glycobiology de l'Université de Bilbao, Espagne, qu'il a rejoint en 2014 après un début de carrière au CSIC à Madrid. Sa contribution scientifique peut être considérée comme un héritage sans équivalent à l'interface de la chimie, de la biologie structurale et des glycosciences.

Parmi ses travaux les plus remarquables, il y a incontestablement son rôle pionnier de l'utilisation de la RMN dans l'étude des interactions glucide-protéine en solution, avec dès 1995 la publication de la première structure tridimensionnelle d'un complexe glycane-lectine. Ses contributions méthodologiques en RMN ont également permis d'étudier les glycanes dans des systèmes biologiques complexes, y compris sur des cellules vivantes et dans des environnements natifs, ouvrant la voie à des avancées majeures en médecine et en biotechnologie, qui dépassent largement le cadre des glycosciences.

Au-delà de ses activités scientifiques, le Professeur Jiménez-Barbero joue un rôle essentiel dans la direction scientifique du CIC bioGUNE (obtention du label « Severo Ochoa Centre of Excellence »). Son rôle de président de l'International Carbohydrate Organization a également contribué à renforcer la position de l'Europe comme leader mondial en glycoscience, et comme président de la Société Royale Espagnole de Chimie (2012-2018), il a renforcé fortement les collaborations franco-espagnoles.

Sa relation avec la France, commencée en 1986 lors de son séjour au CERMAV-CNRS à Grenoble, se poursuit dans le cadre d'une collaboration de près de quarante ans avec la communauté française de glycobiologie, qui a donné lieu à plusieurs séjours académiques en France et à plus de 75 publications co-signées avec des chercheurs français, incluant des avancées majeures. Il a également joué un rôle clé dans la formation de jeunes talents, co-encadrant des thèses en cotutelle, et accueillant plus de dix chercheurs français dans ses laboratoires. Membre du Conseil Scientifique de l'IECB à Bordeaux depuis 2022, il continue de renforcer les liens entre la France et l'Espagne.

Avec plus de 700 publications (dont *Nature Chemistry*, *JAC* et *Angewandte Chemie*) et plus de 300 conférences invitées à travers le monde, le Pr. Jiménez-Barbero est l'un des scientifiques les mieux reconnus de sa discipline, comme en attestent ses nombreuses distinctions, dont le Prix International Whistler en Chimie des Glucides (2010), la Médaille d'Or de la Société Royale Espagnole de Chimie (2018), le Prix Humboldt (2024) et le Prix Surolia pour l'Excellence en Glycosciences (2025).

Prix Franco-Portugais



© FCUP_SIC_2026.

• Ana Cristina Moreira Freire

Cristina Freire est professeure au Département de Chimie et Biochimie de la Faculté des Sciences de l'Université de Porto, Portugal, où elle exerce depuis 1991.

Ses activités de recherche portent sur la conception et fabrication de nanomatériaux fonctionnels inorganiques pour des applications en électrocatalyse ou photocatalyse, ou encore pour des capteurs électrochimiques.

Elle assure actuellement la coordination scientifique de la thématique « Matériaux fonctionnels », au sein du groupe de recherche « Matériaux pour la Transition durable et le Bien-être », et émerge à l'initiative nationale « Chimie et Technologie » via le Laboratoire Associé de Chimie Verte (LAQV@REQUIMTE).

Elle participe également au transfert technologique via la co-fondation, en mars 2015, de la start-up INNOVCAT Ltd, labellisée spin-off de l'Université de Porto, visant au développement, à la production et à la commercialisation de catalyseurs solides et de matériaux fonctionnels innovants pour l'industrie.

Elle est aussi fortement engagée localement, nationalement et internationalement envers la communauté scientifique : depuis 2019, elle est doyenne de la Faculté des sciences de l'Université de Porto, et depuis 2023, elle préside le conseil scientifique de cette faculté. Par ailleurs, elle participe au comité de gestion de l'action COST « Polyoxometallate Chemistry for Molecular Nanoscience » et au comité consultatif du programme international UT Austin|Portugal international Collaboratory for Emerging Technologies (CoLab) entre 2015 et 2017.

Parmi ses nombreuses collaborations internationales, on peut citer en particulier celle avec l'Institut de Chimie Physique (UMR 8000) de l'Université Paris-Saclay depuis une douzaine d'années, ce qui se traduit par l'obtention de financements de type PHC, IEA CNRS, qui ont permis des échanges de doctorants ou de chercheurs entre l'Université de Porto (11 séjours) et l'Université de Paris-Saclay (8 séjours).

Ses travaux se traduisent par plus de 280 publications, trois livres et un brevet et ont donné lieu à plus de 50 conférences invitées dans des réunions internationales.

Cristina Freire a été distinguée à plusieurs reprises, notamment au travers du Prix Alberto Romao Dias au Portugal en 2018. Elle est également membre de l'Académie européenne des sciences depuis 2020, et elle est devenue en 2023 membre correspondant de l'Académie des sciences de Lisbonne.

La SCF et le RJ investissent YouTube

La Société Chimique de France reprendra prochainement la diffusion de vidéos sur sa chaîne YouTube (www.youtube.com/@SocChimFrance). Cette reprise s'accompagne de la création d'une seconde chaîne dédiée au Réseau Jeunes de la SCF (www.youtube.com/@RJ-SCF).

Ces deux espaces ont pour objectif de contribuer à la visibilité des activités menées au sein de la SCF et à faire connaître plus largement les actions de ses différentes entités. La chaîne du Réseau Jeunes permettra notamment de mettre en avant ses initiatives, ses événements et les projets portés par la communauté des jeunes chimistes.

Au-delà des contenus produits par le RJ-SCF et le service communication, les chaînes YouTube de la SCF sont également ouvertes aux contributions des différentes entités. Rediffusions de webinaires, captations ou récapitulatifs d'événements, interviews, témoignages ou autres contenus vidéo peuvent ainsi être proposés pour diffusion.

Cette démarche vise à mieux valoriser la diversité des activités de la SCF et à favoriser le développement de sa communauté sur les plateformes numériques.

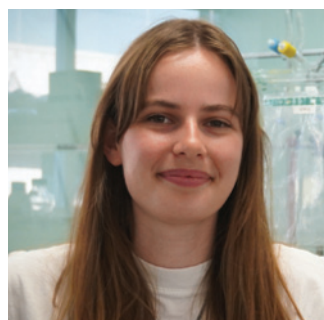
Les entités souhaitant proposer un contenu ou échanger sur un projet vidéo peuvent contacter le service communication de la SCF (communication@societechimiquedefrance.fr), qui reste à leur disposition pour les accompagner dans sa mise en ligne et sa diffusion.

Prix des entités

Subdivision Photochimie, Photophysique et Photosciences (SP2P)

Prix de thèse 2026

La SP2P a attribué deux Prix de thèse cette année. Les lauréats présenteront leurs travaux à travers une conférence invitée durant les prochaines Journées SP2P en 2027.



• Mathilde Seinfeld

pour sa thèse intitulée « Étude conjointe expérimentale et théorique de la luminescence de composés ditriazolostilbènes en phase condensée », réalisée au Laboratoire de Chimie de l'ENS Lyon sous la direction de Cyrille Monnereau et Tanguy Le Bahers.



• Yoann Fréroux

pour sa thèse intitulée « Complexes de lanthanide(III) avec des réponses optiques dynamiques », réalisée à l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes (Université de Rennes-CNRS) sous la direction de Lucie Norel et Stéphane Rigaut.

Une année passe vite...

Pensez à votre adhésion

<https://new.societechimiquedefrance.fr/adherer-a-la-scf/adhesion-en-ligne>

Synthèse totale des (+)- et (-)-myrioneurins par une stratégie impliquant une réaction de Barton-McCombie résolutive

Philippe A. PEIXOTO

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.518.01>

La Nature a profondément inspiré – et continue d'inspirer – la pharmacopée moderne au travers de l'exploitation d'une classe particulière de molécules communément appelées « substances naturelles » [1]. Ces composés, majoritairement issus du métabolisme secondaire, sont produits par une grande diversité d'organismes. Ils correspondent ainsi à des métabolites spécialisés du vivant, façonnés par l'évolution, et présentant souvent une grande diversité d'activités biologiques.

La synthèse organique, et plus particulièrement la synthèse dite totale, occupe une place centrale dans l'étude de ce type de molécules. En effet, si l'isolement à partir de sources naturelles a historiquement permis l'identification de composés bioactifs, cette approche reste souvent limitée par de faibles rendements d'extraction et une disponibilité restreinte des ressources biologiques. Dans ce contexte, la synthèse totale offre un accès reproductible et durable à des molécules d'intérêt, indépendamment de leur origine naturelle, mais demeure cependant l'un des exercices les plus exigeants de la chimie organique contemporaine. Les défis qu'elle pose sont étroitement liés à la complexité intrinsèque de ce type de composés, qui présentent souvent de multiples fonctions chimiques, de nombreux centres stéréogènes et des architectures moléculaires tridimensionnelles élaborées. La mise en place contrôlée de cette complexité, tout en garantissant une stéréosélectivité élevée, constitue ainsi un enjeu majeur du plan de synthèse à établir. L'emploi de stratégies convergentes, l'économie d'étapes et l'utilisation judicieuse de réactions clés deviennent alors des paramètres déterminants.

Notre équipe exerce son activité autour de ces défis au sein du groupe « Catalysis Synthesis and Health » de l'Institut des Sciences Moléculaires de Bordeaux (CNRS - UMR 5255). Au cours de l'année 2019, notre attention s'est portée sur le (+)-myrioneurinol, une molécule isolée de l'arbuste *Myrioneuron Nutans* en 2007 par l'équipe du Prof. Bodo [2] du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris (figure 1). Cet intérêt était justifié par le défi synthétique que représentait cette substance naturelle, avec un squelette carboné assez unique, présentant pas moins de cinq centres stéréogènes contigus, et une activité antiparasitaire contre *Plasmodium falciparum* (IC50 = 11 µg/mL), un des protozoaires responsable du paludisme.

Lorsque nous avons initié ce programme de recherche en 2019, il n'existait qu'une synthèse totale du myrioneurinol. Celle-ci avait été rapportée par l'équipe de Weinreb [3], et nécessitait pas moins de 29 étapes pour accéder au myrioneurinol sous une forme racémique.

Dans ce contexte, notre objectif visait donc, non seulement à isoler cette molécule d'intérêt à l'issue d'une séquence réactionnelle possible plus courte et efficace, mais aussi à confirmer la configuration absolue de l'énantiomère naturel. Preuve de la compétition de ce domaine de recherche, trois autres groupes publièrent entre 2020 et 2026 des approches innovantes permettant d'accéder à ce squelette, les groupes de Ma [4], Smith [5] et Canesi [6]. Ces travaux rapportent des stratégies distinctes reposant sur des étapes clés telles que des réactions de cycloadditions, des fragmentations, des réarrangements, ou bien même des aminations réductrices desymétrisantes. Il faut souligner que la synthèse de Smith fut la première à proposer une approche asymétrique du myrioneurinol, avec la production d'un intermédiaire avancé énantioenrichi pouvant conduire à l'antipode du produit naturel (synthèse formelle asymétrique). Pour notre part, et fort de notre savoir-faire en chimie des phénols, nous avons imaginé que le cycle central pouvait provenir d'une réaction de désaromatization de phénol. Ceci était notamment motivé par la découverte récente par notre équipe d'une méthodologie de synthèse permettant de générer un bicyclic diénonique chloré **2** à partir d'un substrat phénolique **1**, au travers d'une réaction d'alcyne-Prins [7] intramoléculaire médiée par un réactif à base d'iode hypervalent, le [bis(trifluoroacétoxy)iodo]benzène (BAIB, figure 2). Sur la base de cette réactivité, nous avons alors imaginé qu'une décoration du motif phénolique initial en position para permettrait d'accéder rapidement au cycle central du (+)-myrioneurinol.

De façon satisfaisante, cette méthodologie s'est avérée parfaitement adaptable au phénol **3**, générant la diénone racémique **4** avec un rendement de 68 %, un intermédiaire porteur des cycles **A** et **B** du myrioneurinol. Il faut souligner que l'emploi de dérivés chiraux à base d'iode hypervalent fut envisagé à ce stade de la synthèse, mais les résultats associés se sont montrés décevants, avec peu ou pas de stéréocontrôle observé pour cette réaction d'alcyne-Prins. La séquence réactionnelle a alors été poursuivie en série racémique, et permet de construire en cinq étapes les cycles **C** et **D**, générant ainsi l'intermédiaire avancé tétracyclique **rac-5**, par des transformations impliquant des réactions d'annélation, d'aldolisation, d'acétalisation et d'hydrogénation. À notre plus grand plaisir, cet intermédiaire **rac-5** avait déjà été obtenu par l'équipe de Ma en 2020, ce qui nous permit de revendiquer une première synthèse formelle racémique du myrioneurinol à cet état d'avancement de la synthèse.

Restait alors le défi de la synthèse asymétrique du (+)-myrioneurinol. À partir de cet intermédiaire **rac-5**, l'équipe de Ma avait démontré qu'une séquence de cinq étapes permettait d'accéder à cette substance naturelle (figure 3). Cette séquence s'appuyait notamment sur une réaction de Barton-McCombie [8] lors de l'antépénultième étape de la synthèse, et ce afin de désoxygéner le cycle central. Dans ce contexte, et afin d'accéder aux deux énantiomères finaux du myrioneurinol à partir de cet alcool **10** racémique, il nous a alors paru intéressant de tenter une approche encore jamais explorée : l'emploi d'une réaction de Barton-McCombie résolutive à l'aide de chlorothionoformates chiraux. En effet, ces derniers pourraient non seulement permettre de dédoubler les deux énantiomères avancés de cet alcool **10**, mais aussi de le désoxygéner sans étapes supplémentaires liées à la coupure de l'auxiliaire chiral.

Puisqu'aucun réactif de ce type n'avait été rapporté avant nos travaux, nous avons entrepris la synthèse en deux étapes d'une famille de chlorothionoformates énantio-purs en nous reposant sur

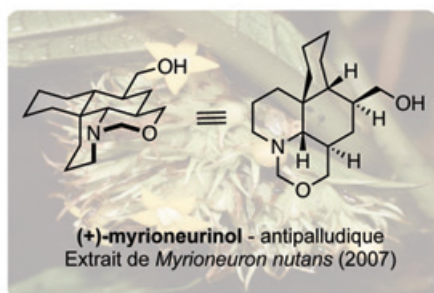


Figure 1 - Structure du (+)-myrioneurinol.

la chimie des binols – des diols chiraux par atropoisomérisation commercialement disponibles, peu chers, et facilement fonctionnalisables [9]. De façon satisfaisante, les deux diastéréomères **11'a** et **11'b** formés par réaction de l'alcool **rac-10** avec le réactif $R^*CO(S)Cl$ se sont avérés parfaitement séparables par une simple purification sur gel de silice, démontrant ainsi la bonne capacité résolutive de nos outils à chiralité axiale. Ces deux diastéréomères avancés ont alors pu être mis en réaction séparément dans des réactions de Barton-McCombie (ainsi que dans la réaction de réduction finale des motifs esters) pour générer les (+)- et (-)-myrioneurinol avec des rendements respectifs de 83 et 67 % sur deux étapes [10].

Au-delà des premières synthèses totales des deux énantiomères du myrioneurinol, ce travail a ainsi permis le développement de deux méthodologies de synthèse distinctes. La première repose sur une désaromatisation de phénols permettant de générer des bicycles diénoniques chlorés de façon concise et efficace; des intermédiaires qui ouvrent aujourd'hui la voie à la synthèse d'analogues structuraux de ces substances naturelles par une fonctionnalisation possible du cycle B. La seconde innovation liée à ce travail correspond à la mise au point d'une stratégie dite de « Barton-McCombie résolutive » par l'emploi de chlorothionoformates chiraux. Cette approche, qui n'avait encore jamais été explorée, ajoute donc une nouvelle option dans la « boîte à outils stratégique » du chimiste organicien pour dédoubler deux énantiomères d'une molécule d'intérêt dans le contexte d'une séquence réactionnelle incluant une étape de désoxygénation. L'étendue du pouvoir résolusif de cette nouvelle famille de réactifs est actuellement en cours dans notre équipe.

- [1] A.G. Atanasov *et al.*, *Nat. Rev. Drug Discov.*, **2021**, 20, 200.
 [2] V.C. Pham, A. Jossang, T. Sevenet, V.H. Nguyen, B. Bodo, *Tetrahedron*, **2007**, 63, 11244.
 [3] a) A. Nocket, S.M. Weinreb, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2014**, 53, 1416 ; b) A.J. Nocket, Y. Feng, S.M. Weinreb, *J. Org. Chem.*, **2015**, 80, 1116.
 [4] N. Zhang, H. Jiang, Z. Ma, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2022**, 61, e202200085.
 [5] J.M. Aquilina, M.W. Smith, *J. Am. Chem. Soc.*, **2022**, 144, 11088.
 [6] S. Valdivia-Tellez, J. Cuillerier, C. Browman, S. Canesi, *Synthesis*, **2026**, asap.
 [7] J.-C. Andrez, M.-A. Giroux, J. Lucien, S. Canesi, *Org. Lett.*, **2010**, 12, 4368.
 [8] a) D.H.R. Barton, S.W. McCombie, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1*, **1975**, 16, 1574 ; b) L. Chenneberg, C. Ollivier, *Chimia*, **2016**, 70, 67 ; c) S.W. McCombie, B. Quiet-Sire, S.Z. Zard, *Tetrahedron*, **2018**, 74, 4969.

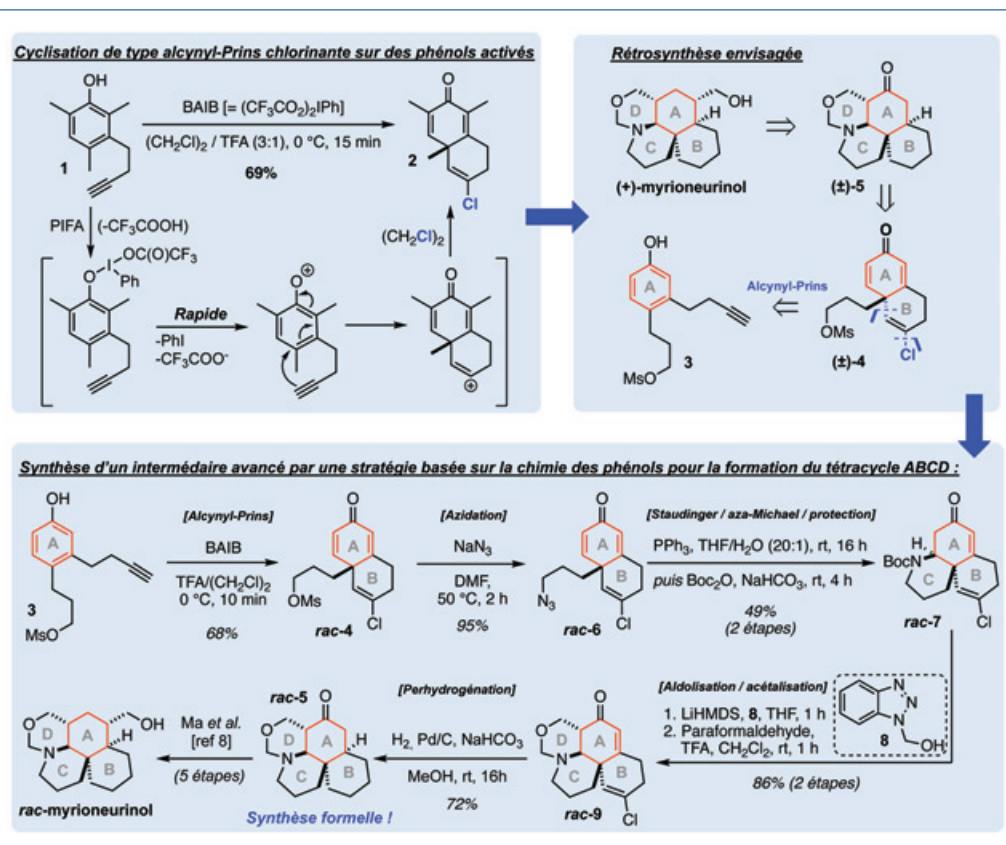


Figure 2 - De la découverte d'une réaction d'alcynyl-Prins originale à la synthèse formelle du rac-myriconeurinol.

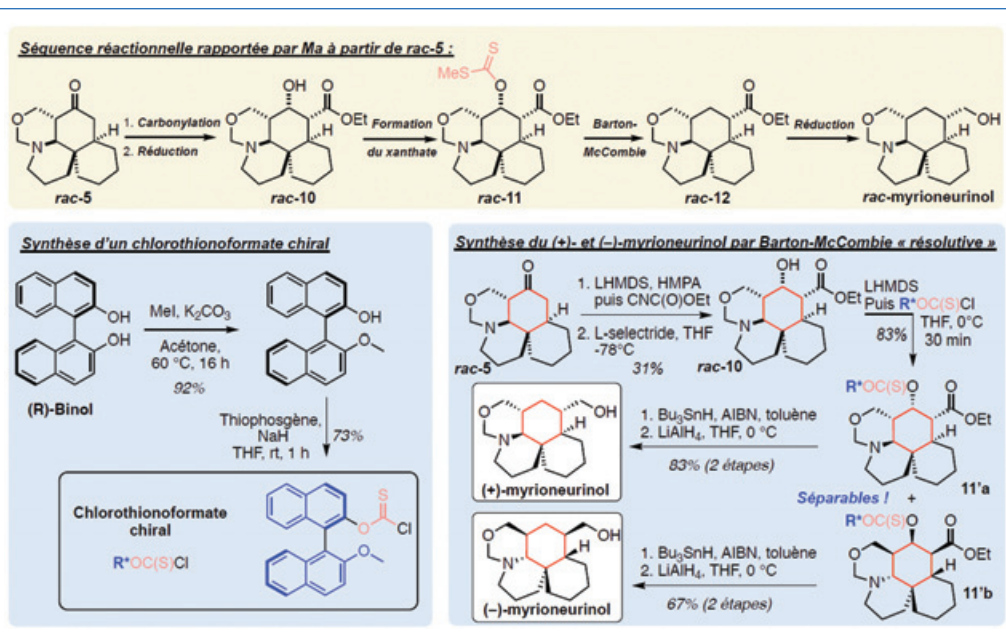


Figure 3 - Synthèse des (+)- et (-)-myriconeurinol par une stratégie tardive reposant sur une réaction de Barton-McCombie résolutive.

[9] A. Denizet, P. Y. Toullec, P.A. Peixoto, *Composés chlorothionates chiraux et leur utilisation pour séparer un mélange d'énantiomères ou d'antipodes d'un alcool et/ou pour désoxygéner un mélange d'énantiomères ou d'antipodes d'un alcool*, FR2408269, **2024**.

[10] A. Denizet, R. Nomula, R. Edwards, P.Y. Toullec, P.A. Peixoto, *Chem. Eur. J.*, **2025**, 31, e202500267.

Cette fiche a été préparée par **Philippe A. PEIXOTO**, chargé de recherche au CNRS à l'Institut les Sciences Moléculaires de Bordeaux (philippe.peixoto@cnrs.fr).

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par Jean-Pierre FOULON (jpoulon@wanadoo.fr) et Julien LALANDE (jlalande@nordnet.fr). Elles sont en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org

Complétez votre collection et abonnez-vous

Les sommaires de tous les numéros peuvent être consultés sur notre site (www.lactualitechimique.org)

Tous les articles et numéros de plus de cinq ans sont téléchargeables gratuitement

Abonnez-vous pour un an (numéros spéciaux inclus)

Cochez la case qui correspond à l'abonnement auquel vous voulez souscrire :

Abonnement papier + électronique*			
	France métropolitaine	DROM-COM / Zone 1**	Zone 2**
Lycées	☐ 170€	☐ 210€	☐ 225€
Institutions	☐ 340€	☐ 380€	☐ 395€

*Courriel obligatoire **Zone 1 : Union européenne, Royaume-Uni et Suisse ; Zone 2 : reste du monde

Numéros spéciaux également disponibles en version électronique sur le site à un tarif préférentiel

Dernières parutions :

- ☐ Les 20 ans de l'ISCR (juillet-août 2026) : 32 €
- ☐ Criminalistique & NRBCE (mai-juin 2026) : 20 €
- ☐ Algues (janvier 2025) : 20 €
- ☐ Organocatalyse (septembre 2024) : 20 €
- ☐ Retour sur les JIREC 2024 (juillet-août 2024) : 20 €
- ☐ Bois archéologiques (juin 2024) : 20 €
- ☐ Surveillances de l'eau (mars 2024) : 20 €
- ☐ Sport et dopage (février 2024) : 20 €
- ☐ Des biomarqueurs pour la médecine du futur (décembre 2023) : 20 €
- ☐ Chimie et bois (mai-juin 2023) : 32 €
- ☐ De la vigne aux vins (décembre 2022) : 20 €
- ☐ La diffusion de neutrons (octobre 2022) : 20 €
- ☐ Le fer en catalyse : un élément d'avenir (mai-juin 2022) : 32 €
- ☐ Répondre aux menaces : explosifs, déminage et management de crises (avril 2022) : 20 €
- ☐ La chémobiologie explore le vivant (décembre 2021) : 20 €



Collection « Chimie et... », co-éditée et diffusée par EDP Sciences

Dernières parutions :

- Chimie et alimentation (janvier 2026) : 25 €
- Chimie et eau (septembre 2025) : 25 €
- Chimie et Sport olympique et paralympique (février 2025) : 25 €
- Chimie, recyclage et économie circulaire (janvier 2025) : 25 €
- Chimie et Intelligence Artificielle (sept. 2024) : 25 €
- Chimie et matériaux stratégiques (février 2024) : 25 €
- Chimie et Notre-Dame de Paris (août 2023) : 25 €
- Chimie et agriculture durable (nov. 2022) : 25 €
- Chimie et énergies nouvelles (mars 2022) : 25 €
- Chimie et lumière (janv. 2021) : 25 €
- Chimie et nouvelles thérapies (sept. 2020) : 25 €
- Chimie et Alexandrie dans l'Antiquité (janv. 2020) : 25 €
- Chimie, nanomatériaux, nanotechnologies (sept. 2019) : 25 €



À commander
chez votre libraire
ou directement sur
laboutique.edpsciences.fr



Bon de commande

Nom Prénom
Adresse (pour les particuliers, préciser l'adresse personnelle)
Code postal Ville Pays
Tél. Courriel
Adresse IP (pour l'abonnement multiple)

Montant total de la commande (frais de port inclus) :

☐ Souhaite recevoir une facture acquittée

Mode de règlement

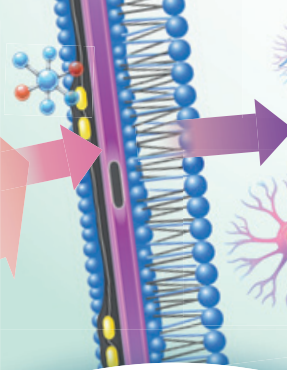
- ☐ Sur facturation (joindre obligatoirement le bon de commande) par chèque bancaire ou postal libellé à l'ordre de la SCF
- ☐ Par virement bancaire ou postal

France
Étranger

Société Générale Paris Seine Amont, 03081/00037265820/87 CCP Paris 30041 Compte 070786U020/90
IBAN FR7630003030810003726582087 Swift.Sogefrpp

L'Actualité Chimique

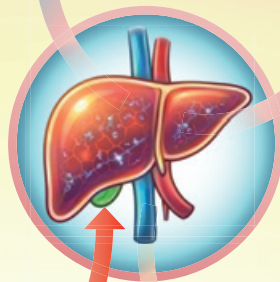
SCF, Service Abonnement, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris - adhesion@societechimiquedefrance.fr



COLLOQUE

4 Novembre 2026

Chimie et CERVEAU



Fondation de la Maison de la Chimie
Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris