

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

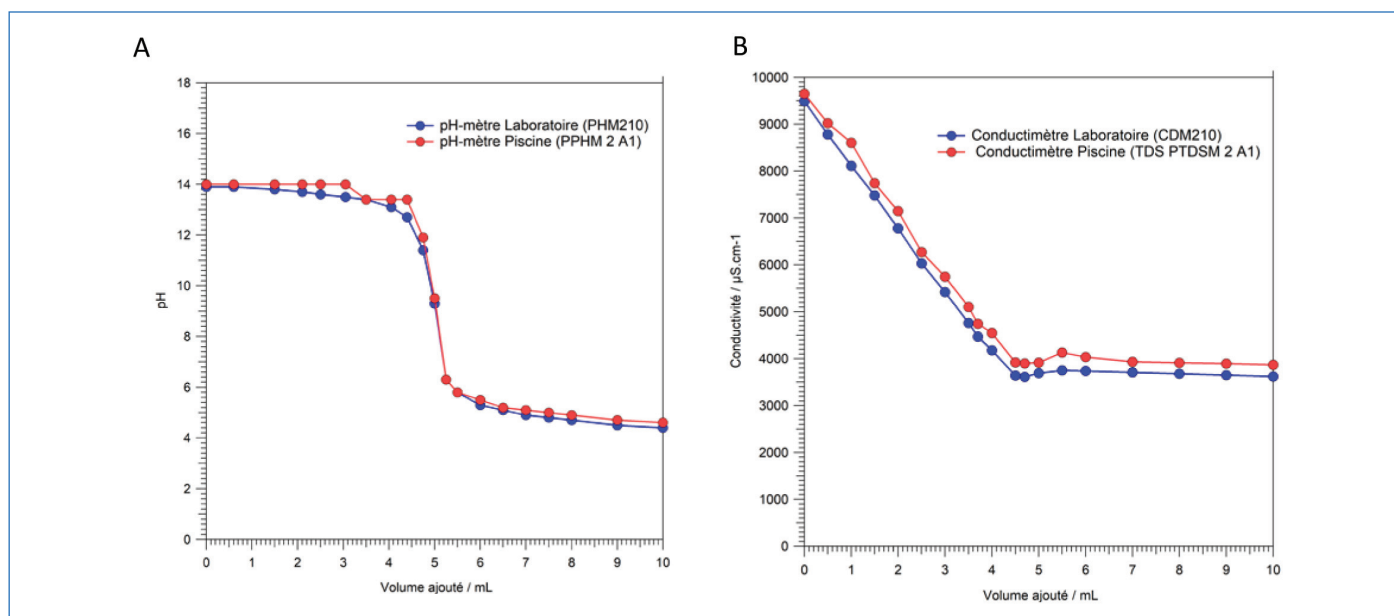


Figure 1 - Comparaison des courbes de titrage d'un déboucheur par du vinaigre blanc obtenues par pH-métrie (A) et conductimétrie (B) (extrait de [15]).

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/B7RP90003A>

[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-contrôle-qualité-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