

Former à la démarche scientifique grâce à la pédagogie active et la formation par la recherche : cas d'une Unité d'Enseignement de chimie expérimentale.

Jonathan Piard et Marine Moyon
Université Paris-Saclay, Paris, France

Pour citer cet article :

Piard, J. et Moyon, M. (2024). Former à la démarche scientifique grâce à la pédagogie active et la formation par la recherche : cas d'une Unité d'Enseignement de chimie expérimentale. *Didactique*, 5(2), 151-205. <https://doi.org/10.37571/2024.0206>.

Résumé : La mise en place d'une démarche scientifique dans un contexte nouveau constitue une compétence que tout étudiant·e universitaire devrait être en mesure de développer. Pour les étudiant·es suivant le parcours de sciences visant à former à des professions en lien avec la recherche, cette compétence constitue même un fondement indispensable. Dans les programmes d'enseignement des sciences, une des activités pédagogiques les plus fréquemment adoptées pour travailler cette compétence reste le travail en laboratoire (i.e. un type de travaux pratiques ; TP). Toutefois, le format de ces TP, souvent orienté vers la vérification, peut en limiter les retombées ou éventuels bénéfices. Un format innovant dans notre contexte d'enseignement a été conçu et appliqué à toute une unité d'enseignement (UE) de TP étendue sur une année, pour 39 étudiant·es de troisième année universitaire (Licence 3 ; L3) de chimie. Ce format intègre les principes de la pédagogie active et de la formation par la recherche. Durant l'année, cinq séquences se succèdent ; chacune comprenant notamment une séance préparatoire, une séance expérimentale en laboratoire et une séance d'échanges en aval. Chacune de ces séquences conduit à la réalisation de travaux de type recherche (e.g. poster scientifique, article scientifique) par les étudiant·es. Afin de mesurer la pertinence relative du dispositif pédagogique mis en œuvre, comparativement aux autres dispositifs proposés dans les autres UEs au programme de la formation de L3 – toutes les UEs visant à développer la démarche scientifique – , un questionnaire auto-rapporté a été distribué aux

étudiant·es à la fin de chacun des deux semestres universitaires. Il leur était demandé d'indiquer dans quelle mesure ils estimaient avoir développé, dans chaque UE, la compétence de mettre en œuvre une démarche scientifique en mobilisant des connaissances, des savoir-faire et des façons d'agir propres à celle-ci. En parallèle, ils étaient aussi interrogés sur leur perception d'acquisition de connaissances, de savoir-faire et de façons d'agir liés aux bonnes pratiques de laboratoire et à l'environnement de travail. Afin d'évaluer l'atteinte des différents objectifs d'apprentissage (i.e. différentes étapes de la démarche scientifique), les productions des étudiant·es ont été évaluées au moyen de grilles d'évaluation dont les critères traduisaient ces différents objectifs d'apprentissage. Les résultats indiquent que les étudiants ont la perception d'avoir développé la compétence de mise en œuvre d'une démarche scientifique, et tout particulièrement au travers de notre UE de TP. Par ailleurs, les différents scores attribués par les étudiant·es à notre UE de TP sont significativement supérieurs à ceux attribués à la majorité des autres UEs, sauf en ce qui concerne l'acquisition de savoirs liés à l'environnement de travail où aucune différence n'est retrouvée entre les UEs. Les moyennes académiques particulièrement élevées des productions étudiantes indiquent que les objectifs d'apprentissage ont, selon l'enseignant évaluateur, été atteints. Ainsi, il semblerait possible de former efficacement à la démarche scientifique, en passant par l'application de principes de la pédagogie active et de la formation par la recherche.

Mots-clés : démarche scientifique, pédagogie active, formation par la recherche, travaux pratiques.

Introduction

Au sein de notre institution, l'ENS Paris-Saclay, une Grande École française pluridisciplinaire formant aux différents métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur (ENS Paris-Saclay, 2024), la formation par la recherche est à la fois un engagement institutionnel et une intention pédagogique du corps professoral. Dans nos programmes éducatifs, cela se matérialise d'une part, par un « contact immersif précoce » avec la recherche en mobilisant les laboratoires de l'École lors de stage long ou projet court, et d'autre part, par la mise en œuvre de plusieurs types d'activités pédagogiques permettant aux étudiant·es de se former à la recherche et notamment à la démarche scientifique dès leur entrée dans notre école en troisième année universitaire (i.e. Licence 3; L3).

Suite à la mise en place en 2018, de l'approche par compétences (Poumay, 2017; Poumay et al., 2017; Poumay et Georges, 2022) au sein de notre école (injonction institutionnelle), l'équipe pédagogique du département de chimie de L3, s'est réunie et a abouti à la conclusion que les différentes unités d'enseignement (UEs)¹ de notre licence devaient permettre aux étudiant·es de : 1- *Adopter une démarche scientifique pour résoudre un problème en chimie nécessitant la mobilisation des connaissances acquises pendant la formation* 2- *Adopter de bonnes pratiques de laboratoire respectant les règles d'hygiène et sécurité pour la réalisation de synthèse et la caractérisation de composés chimiques* 3- *Appréhender un environnement de travail au travers du milieu de la recherche et de l'enseignement*. Cette conclusion, combinée aux résultats des enquêtes menées en 2016 et 2017 auprès des étudiant·es et des enseignant·es – qui ont mis en évidence l'absence d'activités pédagogiques spécifiques sur la démarche scientifique ainsi qu'une forte prédominance des UE axées sur les connaissances scientifiques – ont motivé quelques ajustements à la structure du programme de L3. Ainsi, en 2018, il a été décidé d'introduire une nouvelle UE de travaux pratiques centrés sur la démarche scientifique, qui fait l'objet de cette étude.

Activement impliqué dans une démarche de Scholarship of Teaching and Learning (SoTL) (Biémar et al., 2015; Boyer, 1991; Colet et al., 2011) et désireux à la fois de suivre les préconisations de la littérature concernant l'organisation et le déroulement des activités de TP (Carnduff et al., 2017; Carnduff et Reid, 2017; Reid et Shah, 2007) mais aussi d'expérimenter la pédagogie active (Arik et Yilmaz, 2020; Biggs et Tang, 2011), le premier auteur a élaboré en 2018 cette UE de L3 intitulée « Initiation à la démarche scientifique », et qui se déroule sur une année universitaire. Dans ce cadre, cinq séquences pédagogiques (sur

¹ Une unité d'enseignement (UE) est constituée de plusieurs séances pédagogiques – au format cours (i.e. « lecture » pour le terme anglo-saxon) et/ou travaux dirigés et/ou travaux pratiques – pour un volume horaire généralement compris entre 25h et 50h (i.e. 2,5 à 5 crédits ECTS - European Credit Transfer and Accumulation System).

5 thèmes de chimie différents) pour se former à mettre en œuvre une démarche scientifique et apprendre à communiquer aux moyens de productions de type recherche (i.e. poster, article et vidéo notamment) ont été élaborées. Des enquêtes menées en 2018 et 2019 auprès des étudiant·es, la qualité de leurs productions et leur implication marquée lors des séances expérimentales, ont révélé une forte adhésion au dispositif. Profitant de l'encadrement méthodologique de la Chaire de Recherche-Action sur l'innovation pédagogique de l'Université Paris-Saclay (Moyon et al., 2022), le premier auteur a conduit l'étude présentée ci-après, en s'appuyant sur des données collectées à partir de questionnaires envoyés aux étudiant·es et sur les productions des étudiant·es.

Cette étude consiste en une analyse comparative de la perception de développement de la compétence de mise en œuvre de la démarche scientifique, dans le contexte de notre UE de TP – de format original –, par rapport aux autres UE de la formation de L3 – de format plus traditionnel,, tant pour les cours, les travaux dirigés, que les TP. Après avoir fourni des éléments contextuels, présenté notre problématique et explicité le cadre théorique, nous décrirons la méthodologie de collecte et d'analyse des données. Nous présenterons et discuterons enfin les principaux résultats.

Contexte et problématique

Les missions de l'enseignement supérieur sont nobles et multiples, comprenant entre autre la formation initiale et continue tout au long de la vie - grâce à la diffusion des résultats de la recherche et à la transmission intergénérationnelle d'approches épistémologiques et opérationnelles de concepts, de connaissances et de savoir-faire – mais également la formation des étudiant·es (i.e. futurs travailleurs et futures travailleuses) au monde professionnel en les amenant à savoir agir dans des situations de plus en plus complexes (Legifrance, Article L123-3, 2013).

Au-delà de l'édification personnelle, et de l'outillage vers l'émancipation intellectuelle, il est attendu en résultante, qu'en fin de leur cursus académique, les diplômé·es du supérieur aient développé un ensemble de compétences ; chacune d'elles pouvant se définir comme un savoir-agir complexe dans une situation de travail (elle-même comprise dans une famille de situations), pour lequel un niveau de performance est requis, grâce à la mobilisation et la combinaison efficaces de ressources pertinentes (e.g. connaissances, habiletés, prêts à agir, gestes technique) à des moments opportuns (Chauvigné et Coulet, 2010; Le Boterf, 2018; Poumay et al., 2017; Poumay et Georges, 2022; Tardif et Fortier, 2006). Pour les personnes étudiantes en sciences, dans un parcours visant à former à des professions en lien avec la recherche, il est notamment attendu que ces dernières deviennent capables de répondre à des problématiques contextualisées par la proposition et la mise œuvre d'une démarche scientifique adaptée. En d'autres termes, parmi les différents objectifs d'apprentissage sur

lesquels il sera nécessaire d'aligner son enseignement et sa démarche d'évaluation (Biggs, 1996; Biggs, 2014; Biggs et Tang, 2011; Tyler et Hlebowitsh, 2013), devront figurer les différentes étapes inhérentes à la démarche scientifique, à savoir i. observer, ii. poser une question, iii. formuler et tester par l'expérience des hypothèses, iv. analyser et interpréter les données, v. tirer des conclusions et vi. communiquer sur les résultats obtenus (Blystone et Blodgett, 2006; Crawford et Stucki, 1990; Yeoman et al., 2016).

Dans le cadre des programmes d'enseignement des sciences, un type d'activité pédagogique considéré comme l'un des plus propices (Vázquez-Villegas et al., 2023) et prometteurs (Agustian et al., 2022; Bretz, 2019; Jakeways, 1986) pour atteindre ces différents objectifs d'apprentissages, inhérents à la démarche scientifique, reste les travaux pratiques de type « travail en laboratoire » (TP). Aujourd'hui, certaines formations en chimie dans l'enseignement supérieur vont ainsi jusqu'à proposer jusqu'à 400 heures de TP (Lamichhane et Maltese, 2019; Reynders et al., 2019). Le déploiement de ces TP est tellement répandu que la précision de leurs objectifs en termes d'apprentissage ont déjà fait l'objet de nombreuses publications (Agustian, 2020; Agustian et al., 2022; Anderson, 1976; Carnduff et Reid, 2017; Hofstein et Lunetta, 1982; Kempa et Ward, 1975; Reid et Shah, 2007; Shulman et Tamir, 1973; Singer et al., 2006). Toutes s'accordent sur le fait que développer la démarche scientifique peut effectivement être considéré comme un des objectifs des TP.

Plus précisément, pour chacune des thématiques abordées lors des séances de TP, il peut être attendu que la personne étudiante devienne capable de comprendre l'objectif de l'investigation, de raisonner scientifiquement, mais aussi de proposer et de planifier un protocole expérimental adapté, pertinent et créatif, permettant de tester une hypothèse. Grâce à des connaissances de nature procédurale et technique, il peut être attendu que la personne étudiante sache conduire une expérimentation, exécuter les expériences, manipuler les instruments et le matériel de façon efficiente et sécuritaire (e.g. réalisation d'un titrage, enregistrement d'un spectre d'absorption).

Aussi, elle pourrait être capable d'observer efficacement, reporter, organiser, analyser et présenter les données, d'évaluer la qualité des données empiriques, d'interpréter les données et de tirer des conclusions valides. Un enjeu des TP peut aussi être de la rendre capable de critiquer la méthode et d'être force de proposition pour avancer dans la résolution de problème. Aussi, l'illustration de la théorie au travers de la pratique peut viser à favoriser une meilleure compréhension des concepts – nouvellement introduits ou déjà abordés antérieurement –, des principes scientifiques, des théories et des méthodes expérimentales (Agustian et al., 2022). Les TP peuvent encore permettre d'acquérir des connaissances de nature épistémique et de mieux comprendre la nature et la complexité de la science (e.g. empirisme, présupposition théorique de l'investigateur – « theory-laden » pour le terme anglo-saxon).

Les TP sont également des temps durant lesquels il est possible de travailler des « façons d'agir » telles que la coopération ou la collaboration – *via* le travail en équipe –, l'autonomie ou la gestion du temps. Enfin, ces séances peuvent être mises en place pour engendrer un impact positif sur les différentes dimensions de la sphère affective, en termes d'attitudes envers la science et l'apprentissage des sciences (e.g. susciter et maintenir l'intérêt pour les sciences ; augmenter la motivation, l'engagement, le sentiment d'auto-efficacité, le plaisir à apprendre ; diminuer le niveau d'anxiété) mais aussi en termes de vertus épistémiques (e.g. curiosité, honnêteté intellectuelle, attitude sceptique, ouverture d'esprit) (Agustian et al., 2022; Anderson, 1976; Carnduff et Reid, 2017; Hofstein et Lunetta, 1982; Shulman et Tamir, 1973).

Malheureusement, le fréquent manque d'alignement pédagogique en limite souvent le bénéfice. Force est de constater que ces séances de TP se réduisent trop souvent, pour les personnes étudiantes, à adopter une attitude passive et à suivre pas à pas une procédure pré-établie. En effet, dans son format traditionnel, type « recette de cuisine » (dit « cook-book style »), le travail en laboratoire est avant tout de nature expositoire, confirmatoire et rédactionnelle (Russell et Weaver, 2011; « expository laboratory » et « verification laboratory » pour les termes anglo-saxons associés). Il est attendu des étudiant·es qui arrivent en salle de TP qu'ils suivent pas à pas des procédures détaillées dans un manuel de laboratoire en vue d'obtenir un résultat pré-déterminé et d'être en mesure de rédiger un compte-rendu dans un cahier de laboratoire. L'accent est, dans ce cas, mis sur la capacité des étudiant·es à suivre des instructions et à rédiger un compte-rendu plutôt que sur leur capacité à se questionner, concevoir et mener une expérience et à analyser les données. Le TP se déroule alors sans préparation en amont ni réflexion pendant et en aval de la séance. Si ce type d'approche montre des effets positifs dans l'acquisition de savoir-faire pratiques et notamment des savoir-faire moteurs (e.g. réaliser un geste technique) (Tricot et Chandler, 2015), celle-ci ne permet pas de travailler la démarche scientifique (Hofstein et Lunetta, 2004; Kirschner et al., 1993). Le gain en termes d'apprentissage est très faible lors de ces séances et la mise en lien avec les notions dispensées en cours ne semble pas évidente (Carnduff et Reid, 2017). Ceci conduit à un écart important entre les objectifs d'apprentissage et l'expérience telle qu'elle a été vécue et conséquemment perçue par la personne apprenante (Kirschner et al., 1993).

Les constats cités ci-avant nous interrogent. La question générale de recherche est alors : Comment favoriser le développement de la démarche scientifique lors de séances de TP ? Pour cela il apparaît essentiel de repenser les séances de TP tant dans leur organisation (Reid et Shah, 2007) que dans leur animation (e.g. posture des personnes enseignantes et étudiantes, livrables demandés) (DeKorver et Towns, 2015) de sorte à ce que les étudiant·es se retrouvent pleinement impliqué·es dans la démarche d'expérimentation et d'investigation.

La démarche d'évaluation devrait, elle aussi, être mieux alignée avec les objectifs d'apprentissages relatifs aux différentes étapes de la démarche scientifique (i.e. observer, faire des hypothèses, réaliser des expériences...).

État des connaissances et pertinence scientifique

Concernant la structuration des TP, plusieurs suggestions sont proposées dans la littérature. L'une d'entre elles consiste à clarifier et à communiquer les buts et les objectifs d'apprentissage aux personnes étudiantes (Auchincloss et al., 2014; Reid et Shah, 2007; Watts et al., 2021; Weaver et al., 2008) et à faire en sorte que ceux-ci soient centrés sur les étudiant·es (Kirschner et Meester, 1988). Une autre préconisation consiste en l'ajout de séances en amont du TP pour améliorer l'engagement cognitif lors des séances (Agustian et Seery, 2017; Rollnick et al., 2001; Veiga et al., 2019). En effet, à l'instar de la classe inversée en cours (Cabi, 2018), la mise à disposition de ressources (e.g. site web, conférences, contenu de cours, vidéo, quiz) peut être bénéfique pour optimiser le temps de séances expérimentales (Agustian et Seery, 2017; Camel, Maillard, Cladière, et al., 2020; Camel, Maillard, Piard, et al., 2020a, 2020b). A ces deux recommandations sur la séquence pédagogique s'ajoute une recommandation relative au travail demandé aux personnes étudiantes et le besoin que celui-ci ait du sens pour elles. Ainsi, la réalisation d'une investigation visant à produire des livrables de type recherche (e.g. article de recherche fictif, poster scientifique, une pré-proposition de subvention, une présentation orale) est recommandée (Graham et al., 2002; Keller et Kendall, 2017; Watts et al., 2021). Finalement, une dernière préconisation consiste à promouvoir l'interaction entre pairs et avec les enseignant·es. L'intégration de l'évaluation par les pairs et d'une phase d'échanges sur les livrables avec les enseignant·es dans le cadre d'un processus de révisions multiples satisfait ce point. Ceci permet également de faciliter une réflexion ciblée et une auto-interrogation, conduisant finalement à la création d'un nouveau document ou d'un document amélioré (Graham et al., 2002; Keller et Kendall, 2017; Watts et al., 2021).

Concernant le déroulement des séances en salle de laboratoire, le format peut être pensé selon un continuum allant d'un format vérificatif vers investigatif (modèle de Schwab-Herron ; McComas, 1997). Le recours à des méthodes de pédagogie active, également appelées « méthodes à fort degré d'activation pédagogique » (Bonwell et Eison, 1991; De Clercq et al., 2022), impliquant cognitivement les étudiant·es et les rendant pro-actif·ves apparaît comme intéressant pour favoriser les apprentissages (Freeman et al., 2014). Parmi ces méthodes actives, la formation par la recherche semble très prometteuse dans le contexte des TP (Auchincloss et al., 2014; Bastiaens, 2017; Camacho et al., 2017; Wannapiroon, 2014). Elle engage les étudiant·es dans des tâches complexes et authentiques avec pour cible première la réalisation d'un produit final ou d'une présentation à un public, facilitant ainsi l'acquisition de connaissances et le développement de compétences transférables. Par

ailleurs, la formation par la recherche (FPR ; « Research Based Learning » ou « Research Based Teaching » pour les termes anglo-saxons) qui se définit comme « une approche pédagogique dans laquelle les étudiant·es apprennent en s'impliquant dans les processus de réflexion et les activités des scientifiques » (Bastiaens, 2017) apparaît comme une approche intéressante dans le contexte de la formation aux différents métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur. Cette méthode, basée sur le développement de compétences de recherche (Healey et Jenkins, 2009), a démontré des résultats prometteurs, en particulier en ce qui concerne l'acquisition de la démarche d'investigation (Srikoon et al., 2014; Winkelmann et al., 2015a). Ces résultats sont particulièrement remarquables dans les domaines de la chimie et de la biologie et notamment dans le contexte des TP (Camacho et al., 2017). L'apprentissage basé sur l'investigation est aujourd'hui considéré comme une méthode dite active, ou à fort degré d'activation pédagogique (De Clercq et al., 2022) c'est-à-dire impliquant cognitivement les étudiant·es (Prince, 2004).

Développer des TP à fort degré d'activation pédagogique, s'appuyant sur la FPR et repensés en termes d'organisation, apparaît très prometteur pour permettre le développement de la démarche scientifique et préparer les étudiant·es à leur future vie professionnelle. L'objectif de cette étude consiste à proposer un format pédagogique appliquant de nombreuses préconisations de la littérature dans un contexte de formation de futur·es chercheurs et chercheuses puis à évaluer, par comparaison aux autres UEs de la formation, l'impact de ce dispositif i. sur le sentiment des étudiant·es d'avoir développé la compétence de mettre en œuvre une démarche scientifique, au travers d'un questionnaire et ii. sur les performances académiques au travers de productions d'étudiant·es.

Cadre conceptuel

Pédagogie active

La pédagogie active (ou « pédagogie de l'apprentissage et de l'enseignement actifs » pour la traduction littérale du terme anglo-saxon « active learning and teaching » (De Clercq et al., 2022) s'ancre dans une conception constructiviste et socio-constructiviste (Tašner et Gaber, 2018) de l'apprentissage, postulant que l'étudiant·e est premier·e responsable de la construction de son apprentissage et apprend avant tout au travers des interactions sociales avec son environnement (Roberts, 2019).

Le positionnement de l'étudiant·e au centre du processus d'apprentissage (i.e. enseignement centré sur l'étudiant·e (Greener, 2015; Wright, 2011) est un élément constitutif fondamental de la pédagogie active. La personne enseignante quant à elle, est envisagée comme un « activateur » de l'apprentissage.

Il est important de préciser que la pédagogie active ne renvoie pas à une énumération de pratiques pédagogiques précises mais plutôt à un ensemble d'éléments didactiques réunis autour d'une même conception d'apprentissage (De Clercq et al., 2022). Dans ce sens, une même pratique pédagogique, en fonction de la façon dont elle est proposée par l'enseignant·e, pourra être catégorisée tantôt de pédagogie active, tantôt de pédagogie passive. Dans le cadre de la pédagogie dite passive, et par héritage du behaviorisme, l'apprentissage serait le résultat de la simple absorption de connaissances préétablies et préconfigurées par l'enseignant·e (Roberts, 2019). Sera caractérisée de passive, une activité de transmission de contenu (e.g. présentation magistrale) vers l'étudiant·e (Wolff et al., 2015), tel un déversement informationnel au sein d'un réceptacle. Pour autant, toute activité dépassant la simple transmission d'informations ne pourra pas systématiquement être qualifiée d'active.

En réalité, la frontière séparative entre pédagogie active et passive n'est pas évidente. De Clercq et collaborateurs (2022) encouragent plutôt à concevoir les différentes pratiques actives au travers d'un continuum d'activation pédagogique, avec différents degrés d'activation pédagogique, laissant conséquemment une part plus ou moins importante au rôle actif de l'étudiant·e dans l'apprentissage (Prince, 2004). Notons que dans le cadre de la pédagogie active, l'activation visée de l'étudiant·e sera de nature cognitive sans nécessairement impliquer une activité physique ; un.e étudiant·e physiquement inactif·ve pouvant tout à fait être cognitivement actif·ve (Tricot, 2017). Le but premier des dispositifs d'activation pédagogique est de favoriser l'engagement cognitif et la métacognition, par exemple *via* la confrontation à des problèmes, les rétroactions, le jeu, l'expérience ; les connaissances disciplinaires arrivent en second plan. Il s'agit alors de limiter les temps d'audition passive et d'encourager l'étudiant·e à réfléchir, à (se) poser des questions, à raisonner ou encore à établir des liens conceptuels pour l'engager dans la tâche (Chi et al., 2018). La nécessité d'impliquer activement les étudiant·es dans le processus d'apprentissage est largement reconnue, tant en pédagogie qu'en didactique des disciplines et en psychologie (Tricot, 2017). Cette idée fait l'objet d'un consensus, étayé par une multitude de publications qui mettent en évidence l'efficacité accrue des apprentissages lorsque les apprenants sont engagés cognitivement (e.g. Deslauriers et al. 2019; Deslauriers, Schelew, et Wieman 2011; Freeman et al. 2014; Theobald et al. 2020). À ce titre, ces apprentissages sont qualifiés de génératifs par Fiorella et Mayer (2015) et constructifs par Chi et Wylie (2014). Ceci est d'autant plus important à signaler lorsque l'on s'intéresse - comme la présente étude - à des activités de TP pour lesquelles manipuler est inhérent à celles-ci. L'important est ensuite de bien identifier si cette action physique (i.e. la manipulation d'objets ou d'appareils) constitue un moyen d'apprendre ou constitue l'objectif de l'apprentissage. En effet, on peut de prime abord penser qu'il est nécessaire de faire pour apprendre. Toutefois, les travaux de John Sweller (2011) sur la charge cognitive montrent que l'activité peut représenter un obstacle à l'apprentissage.

Dans leur ouvrage, De Clercq et collaborateurs (2022) proposent la définition suivante de la pédagogie active :

« Un ensemble de pratiques pédagogiques permettant à l'étudiant de faire évoluer ses connaissances et ses compétences existantes en s'impliquant et en interagissant (avec l'enseignant·e et ses pairs) à propos d'une matière contextualisée sur laquelle il devra poser un regard analytique, critique et réflexif. Ces pratiques sont ancrées dans une conception socioconstructiviste de l'apprentissage. » (De Clercq et al. 2022, p.21).

Aussi, les auteurs identifient quatre caractéristiques constitutives d'une pédagogie active : 1. L'implication directe de l'étudiant·e dans la construction de l'apprentissage, 2. L'engagement de l'étudiant·e dans un traitement réflexif et en profondeur du contenu dispensé, 3. La construction de l'apprentissage par des interactions avec l'enseignant·e ou entre pairs et 4. La conception de l'apprentissage dans sa globalité, comme une évolution de connaissances et de compétences contextualisées, tenant compte du niveau initial de l'étudiant·e et des spécificités de la matière enseignée pour une élévation jusqu'au niveau attendu. La pratique pédagogique active elle, pour être caractérisée comme telle, devra, i. présenter un cadre d'activité stimulant, ii. appréhender le processus comme un objet d'apprentissage, iii. favoriser un climat d'apprentissage social et iv. positionner l'enseignant·e comme un metteur en scène. Enfin, les auteurs insistent sur l'importance complémentaire d'un apprentissage et d'un enseignement actifs, autrement dit sur l'importance conjointe de la personne étudiante et de la personne enseignante dans la pratique pédagogique. Il nous semble néanmoins important de préciser qu'il n'est nullement exclu que certain·es étudiant·es puissent tirer bénéfice d'un dispositif pédagogique ne répondant pas aux critères de la pédagogie active. Par contre, un dispositif générant une plus grande activation pédagogique pourrait permettre de stimuler un engagement en profondeur chez la plupart des étudiant·es (De Clercq et al., 2022).

Travaux pratiques (TP)

Le terme « travaux pratiques » est communément employé dans la littérature pour décrire tout type d'activité d'enseignement ou d'apprentissage au cours de laquelle les étudiant·es travaillant individuellement ou en petits groupes sont impliqué·es dans la manipulation et/ou l'observation d'objets réels et de matériels. Il s'agit d'une large catégorie qui englobe, par exemple, le « travail en laboratoire ». Dans le cadre de cette étude, TP renvoie au travail en laboratoire, qui est un type d'activité pratique (Millar, 2010) au cours de laquelle les étudiant·es sont amen·ées à manipuler des produits chimiques, du matériel et des équipements au sein d'un laboratoire pour observer des phénomènes (Hegarty-Hazel 1990; Hofstein et Lunetta, 1982 ; Hofstein et Hugerat 2021). Ces expériences d'apprentissage intentionnellement créées à des fins éducatives (dites « artificielles », par opposition à « authentiques »), sont largement reconnues comme des composantes essentielles des

programmes en sciences à tous les niveaux, du lycée à l'université (Abrahams et Reiss, 2012; Hofstein et Mamlok-Naaman, 2007; Johnstone et Al-Shuaili, 2001). Ceci est particulièrement vrai dans l'enseignement de la chimie pour donner un sens au monde physique (Rozière, 2010). La chimie fut l'une des disciplines précurseurs dans l'importance à accorder à l'apprentissage par la pratique avec Lavoisier. Ce dernier est en effet l'un des premiers en 1789 à expliquer dans son *Traité élémentaire* comment il est possible d'accélérer l'apprentissage de la chimie avec une formation pratique dans laquelle les élèves manipulent des produits et des instruments de mesure (Tricot, 2017). Toutefois, il faut attendre la fin du XIXe siècle pour que la méthode préconisée par Lavoisier se généralise (Tomic, 2011) et vienne compléter des cours magistraux qui étaient alors la seule façon d'enseigner la chimie. Depuis le XIXe siècle, les enseignant·es en sciences sont convaincu·es de l'importance cruciale de l'enseignement en laboratoire, car il permet de développer des compétences d'observation, de stimuler l'examen et l'application d'informations détaillées et contextualisées, tout en nourrissant la curiosité des élèves pour la science (Hofstein et Hugerat, 2021). Après la Première Guerre mondiale, avec la rapide expansion des connaissances scientifiques, le travail en laboratoire a principalement été utilisé comme moyen de confirmer et d'illustrer les connaissances acquises en cours magistraux ou dans les manuels (Hofstein et Hugerat, 2021). Grâce à la réforme de l'enseignement des sciences dans les années 1960 dans de nombreux pays, tels que le Royaume-Uni et les États-Unis, les TP ont émergé comme le socle fondamental du processus d'apprentissage des sciences, permettant d'engager activement les étudiant·es dans des activités d'investigation, de découverte, de recherche et de résolution de problèmes (Shulman et Tamir, 1973). Le laboratoire dans l'enseignement des sciences et de la chimie est un environnement d'apprentissage à part entière – dans le sens que cela diffère d'une salle de classe et est propre aux sciences expérimentales – (Hofstein et Lunetta, 2004; Lunetta et al., 2007).

La formation par la recherche (FPR)

Le modèle de Healey et Jenkins (Healey et Jenkins, 2009; Jenkins et al., 2007) est un des cadres les plus utilisés pour caractériser les activités pédagogiques de type FPR. Celui-ci explore les différentes expressions du lien entre la recherche et l'enseignement dans les établissements d'enseignement supérieur et peut être considéré comme un outil utile pour réfléchir à la manière d'intégrer la recherche dans l'enseignement. Il permet également de positionner un programme d'études (ou une activité) basé sur la recherche parmi quatre modes d'implication des étudiant·es dans la recherche et l'investigation dès le premier cycle universitaire :

- *Dirigé par la recherche (Research-led)* : l'objectif d'apprentissage est de fournir des informations sur les recherches en cours dans la discipline. Le mode d'enseignement peut se faire par la participation à des cours magistraux traditionnels ou à des conférences locales ou nationales. Le contenu est généralement sélectionné par le

personnel enseignant et les connaissances sont transférées aux étudiant·es dans une position relativement passive (faible degré d'activation). Le rôle de l'enseignant·e est celui d'un instructeur ou d'un expert. Un degré d'activation plus élevé vers une pédagogie plus active (et un rôle d'accompagnateur cognitif pour l'enseignant·e) est possible en fournissant un corpus d'articles aux étudiant·es et en leur proposant de produire une synthèse à l'écrit ou en les engageant dans l'écriture de l'introduction d'un article scientifique.

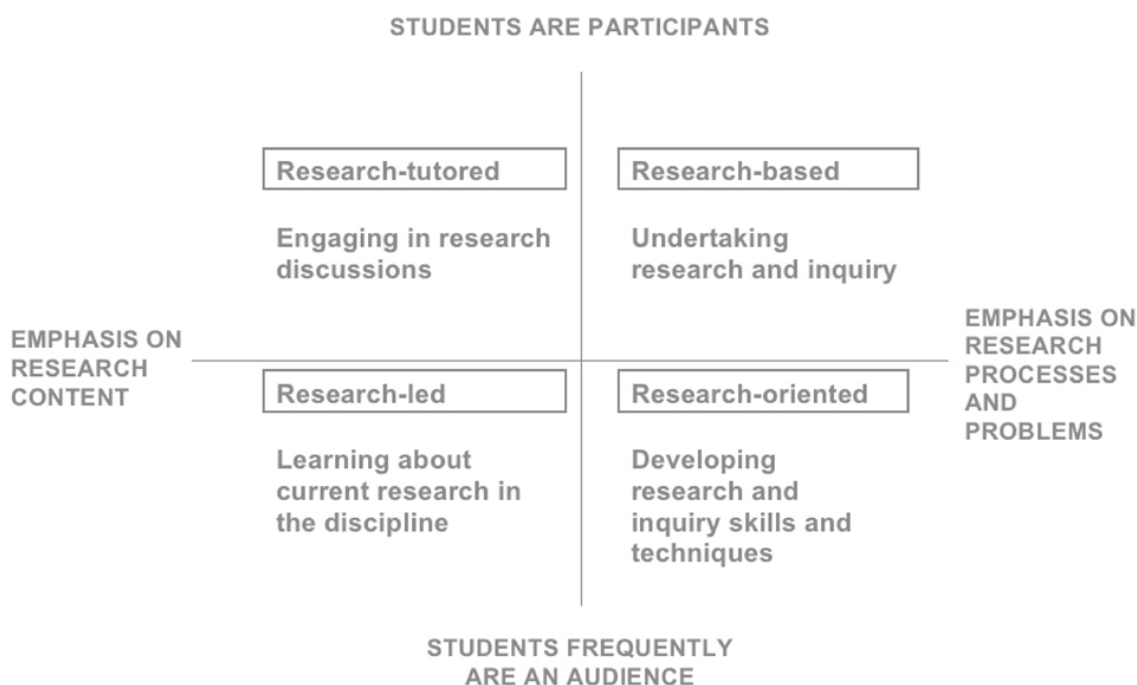
- *Orienté vers la recherche (Research-oriented)* : l'objectif de l'apprentissage est de développer des compétences en matière de recherche et de techniques de construction de connaissances. Le mode d'enseignement peut prendre la forme de cours magistraux traditionnels, d'expériences, d'analyses d'articles ou de cours sur la méthodologie à adopter (e.g. comment mener un travail de recherche bibliographique). Le contenu est sélectionné par le personnel enseignant et les étudiant·es sont dans une position relativement passive. Le rôle de l'enseignant·e est celui d'un instructeur ou d'un expert. Un degré d'activation plus élevé est plus difficile ici car il s'agit de fournir un cadre théorique. Des activités promouvant les interactions ou échanges en pairs peuvent néanmoins être envisagées.
- *Basé sur la recherche (Research-Based)* : l'objectif d'apprentissage est d'entreprendre des recherches et des investigations. Les étudiant·es participent activement à l'activité (i.e. haut degré d'activation), mènent leurs propres recherches, construisent et produisent de nouvelles connaissances. Les étudiant·es peuvent décider ou choisir le contenu et le rôle de l'enseignant·e est celui d'un coach et d'un conseiller. Selon Elsen et collaborateurs (2009), le critère de nouveauté n'est valable que s'il est original dans le domaine ou la discipline, et pas seulement s'il s'agit d'une nouveauté aux yeux des étudiant·es.
- *Recherche tutorée (Research-tutored)* : l'objectif d'apprentissage est d'engager les étudiant·es dans des discussions sur la recherche. L'enseignement est axé sur la rédaction et la discussion d'articles ou d'essais par les étudiant·es. Les articles peuvent être extraits de la littérature (choisis par le personnel ou les étudiant·es) ou produits par les étudiant·es. Les étudiant·es débattent activement et le rôle de l'enseignant·e peut être de suivre l'activité en tant qu'expert, collaborateur ou conseiller.

Ces quatre types d'objectifs d'apprentissage peuvent être représentés dans un cadre à deux axes conduisant à quatre quadrants pour positionner les activités FPR (Figure 1). L'axe vertical représente le continuum concernant le rôle de l'étudiant·e : d'une position passive placée dans le rôle de spectateur à un participant actif dans la recherche. Cet axe définit également le point focal de l'activité ou du programme d'études : de l'enseignant·e à

l'étudiant·e. L'axe horizontal fait la distinction entre l'accent mis soit sur le contenu de la recherche, soit sur les processus et les problèmes de recherche.

Figure 1.

Quatre types d'objectifs pédagogiques pour les activités FPR (Healey et Jenkins, 2009)



Dans la littérature, l'apprentissage basé sur la recherche est souvent considéré comme un apprentissage basé sur l'investigation (« inquiry-based learning » pour le terme anglo-saxon) qui est un terme plus englobant (Aditomo et al., 2013; Bastiaens, 2017). Cette dernière approche étant considérée de manière intrinsèque comme appartenant aux méthodes de pédagogie active, il serait tentant d'admettre qu'il est de même pour l'apprentissage basé sur la recherche. Toutefois, tant pour l'une que pour l'autre des approches, un degré d'activation n'est pas forcément systématique et dépend de la façon dont est menée l'activité. De plus, le modèle de Healey et Jenkins (Healey et Jenkins, 2009; Jenkins et al., 2007) montre bien que selon leurs objectifs (Figure 1), les activités FPR ne conduisent pas au même degré d'activation.

Aujourd'hui, de nombreux établissements d'enseignement supérieur, tels que les universités, les écoles et les instituts, s'appuient sur le lien entre la recherche et l'enseignement (Gros et al., 2020; Simons et Elen, 2007; Taylor, 2007) et promeuvent (ou revendiquent) un

programme d'études (ou des formations) s'appuyant sur un lien fort entre la recherche et l'enseignement (« research-teaching nexus » pour le terme anglo-saxon) (Bastiaens, 2017; Van der Rijst, 2017). Si l'une des raisons premières de ce positionnement est de se distinguer des autres établissements (Elsen et al., 2009) prônant des méthodes d'enseignement plus traditionnelles, il apparaît également que cette approche permet d'améliorer la compréhension qu'ont les étudiant·es de la science et de la recherche scientifique (Barron et al., 1998; Gros et al., 2020; Jenkins et al., 2007; Moore, 1998; Zubrick et al., 2001). Pour Van der Rijst (2017), les activités FPR représentent des « expériences transformatrices pour les étudiant·es, plus qu'une simple augmentation des compétences, des connaissances et des attitudes ». Il soulignait en 2017 qu'« aucune étude n'a été trouvée sur l'évaluation des activités basées sur la recherche et des connaissances pédagogiques des enseignant·es sur l'apprentissage de la recherche dans le contexte de l'enseignement supérieur ». Quelques études ont depuis montré des résultats positifs sur la démarche d'investigation (Srikoon et al., 2014) en particulier dans les domaines de la chimie et de la biologie et dans le cas des TP (Camacho et al., 2017). Toutefois cela reste aujourd'hui insuffisant pour conclure sur l'acquisition de la démarche scientifique. De nouvelles études sont donc nécessaires.

Objectifs de l'étude

Notre objectif consistait d'abord à concevoir une UE de TP en chimie basée sur une approche FPR et s'appuyant sur de nombreuses préconisations de la littérature puis à mesurer chez le public étudiant :

1. dans quelle mesure chaque UE de la formation permettait de travailler la démarche scientifique de sorte à pouvoir la mettre en œuvre dans un contexte nouveau. Pour cela, nous avons proposé une évaluation des enseignements par les étudiant·es afin d'avoir accès à la perception d'apprentissage à l'issue des UEs. Une étude comparative a été menée, de sorte à comparer notre UE aux autres UEs de la formation.
2. l'atteinte des différents objectifs d'apprentissages (i.e. étapes de la démarche scientifique) à partir de grilles d'évaluation.

Matériel et méthodes

Participant·es

Notre UE « Initiation à la démarche scientifique » a été proposée lors de l'année 2020-2021 à 39 étudiant·es (26 hommes et 13 femmes) en troisième année universitaire dans le cadre de

la formation de double licence Physique- Chimie Frédéric Joliot-Curie². Cette formation – organisée par l'ENS Paris-Saclay et l'Université Paris-Saclay – est reconnue comme un programme d'excellence en France grâce à une sélection exigeante des étudiant·es admis parmi des milliers de candidat·es, dont la plupart sont issu·es de classes préparatoires (communément appelées classes prépas en France). Le programme vise à préparer les étudiant·es aux métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur . Ils ou elles doivent être capables de: 1. Adopter une démarche scientifique pour résoudre un problème en chimie nécessitant la mobilisation des connaissances acquises pendant la formation, 2. Adopter de bonnes pratiques de laboratoire respectant les règles d'hygiène et sécurité pour la réalisation de synthèse et caractérisation de composés chimiques et 3. Appréhender un environnement de travail au travers du milieu de la recherche et de l'enseignement. La définition de ces capacités résulte d'un travail collectif amendé par l'ensemble de l'équipe pédagogique (i.e. 35-50 enseignant·es).

Description du dispositif pédagogique

L'UE, objet de cette étude, correspond à 50 heures d'enseignement (i.e. 5 crédits ECTS dans le système européen) et s'étend sur l'entièreté de l'année universitaire, soit de septembre à mai. L'UE s'articule autour de 5 séquences pédagogiques dédiées chacune à une thématique (Tableau 1), à savoir i. la sécurité en chimie, ii. l'analyse d'une eau, iii. la couleur et luminescence, iv. les nanomatériaux et v. la chimie du quotidien. Chacune des séquences suit le même scénario pédagogique détaillé dans le Tableau 2 avec des séances en amont (45 minutes) et en aval (30 minutes) d'une séance de travail en laboratoire de 2h45 min (i.e. le TP a proprement dit) et des phases synchrones et asynchrones. Chaque séquence conduit, pour les étudiant·es à la production d'un livrable différent : rapport numérique ou site internet, rapport d'analyse, poster scientifique, article scientifique, vidéo de 5 min. Les objectifs d'apprentissage pour chaque étape du scénario et leur degré d'activation sont mentionnés dans le Tableau 2. Les objectifs d'apprentissage relatifs aux étapes de la démarche scientifique sont précisés. Les étudiant·es sont placé·es en binôme, trinôme, quadrinôme voire en groupe de 5 selon les séances et le type de livrable attendu (Tableau 1).

Chaque séquence commence par une séance préparatoire (en distanciel synchrone) de 45 minutes permettant à l'enseignant·e de fournir des connaissances sur la thématique et indiquer des ressources utiles, de préciser les objectifs d'apprentissage, de donner la grille d'évaluation, de mettre à disposition un manuel de TP et de fournir un cahier des charges et

² <https://www.universite-paris-saclay.fr/formation/licence-double-diplome/physique-chimie/l3dd3-frederic-joliot-curie>

des outils pour le livrable qui sera demandé en fin de séquence (Figure 2). Les étudiant·es écoutent principalement l'enseignant·e. Le degré d'activation est faible et les objectifs d'apprentissage sont, selon la taxonomie de Bloom (Bloom et Krathwohl, 1956), de faible niveau cognitif. Le degré d'activation est faible. L'étape de la démarche scientifique « observer » est ainsi, en partie, prise en charge par l'équipe enseignante. Cela évite que les étudiant·es soient amené·es à chercher par eux-mêmes ou elles-mêmes. Trouver des objets ou des phénomènes pouvant être mis en œuvre en laboratoire d'enseignement n'est pas chose aisée. Il est à noter que dans la plupart des cas, aucun mode opératoire de type « recette de cuisine » n'est fourni aux étudiant·es. En effet, pour chaque objet ou phénomène d'étude, les étudiant·es disposent d'un titre (e.g. dosage de produits du quotidien par fluorescence ou l'origine de la couleur), de matériel et de produits, de références bibliographies et de quelques idées de questions de recherche possibles.

Dans les deux semaines suivant cette séance préparatoire, il est demandé à chaque groupe d'étudiant·es, en autonomie, de choisir un objet ou phénomène d'étude parmi une liste en comprenant entre 10 et 15 (e.g. le diiode I_2 , la fluorescéine, la quinine, l'effet isotopique ou la fluorescence) et de formuler une question de recherche de son choix en lien avec celui-ci (e.g. Quelle est l'influence du solvant sur la couleur du diiode ?, Comment évolue la couleur en absorption ou émission de la fluorescéine et de la quinine en fonction du pH ?, Comment observer l'effet isotopique en infra-rouge ?, Est-il possible de déterminer la concentration en quinine dans le Schweppes® grâce à la fluorescence ?). Durant cette phase en autonomie, les étudiant·es, en sus de formuler une question de recherche (i.e. 2^{ème} étape de la démarche scientifique), doivent s'appropriier la thématique et l'objet ou phénomène choisi et ainsi extraire des informations de la bibliographie ou du manuel et faire des liens entre elles. Cette phase peut donc être considérée de degré d'activation élevé car les objectifs d'apprentissage sont de niveaux cognitifs élevés. En effet, les étudiant·es sont impliqué·es dans la construction de l'apprentissage et engagé·es dans un traitement réflexif et en profondeur du contenu dispensé lors de la séance préparatoire et des documents mis à disposition.

S'ensuit un travail en laboratoire (i.e. séance expérimentale) de 2h45min durant lequel les étudiant·es réalisent des expériences et obtiennent des résultats de sorte à répondre à leur question de recherche de façon la plus appropriée. Lors de ces séances, ils ou elles sont accompagné·es par le corps enseignant et sont amené·es à formuler et tester par l'expérience des hypothèses (i.e. 3^{ème} étape de la démarche scientifique). Pour les mêmes raisons, le degré d'activation peut être considéré comme élevé.

Durant les deux semaines suivantes, les étudiant·es sont tenu·es d'envoyer une première version (V1) du livrable (i.e. rapport numérique ou site internet, rapport d'analyse, poster scientifique, article scientifique, vidéo de 5 min selon la séquence). Cette phase en autonomie consiste donc à produire (créer) un livrable. Elle amène les étudiant·es à analyser et

interpréter des résultats (i.e. 4^{ème} étape de la démarche scientifique), tirer des conclusions (i.e. 5^{ème} étape de la démarche scientifique) et communiquer au moyen d'un livrable de format pré-défini (i.e. 6^{ème} étape de la démarche scientifique). Ce sont des objectifs d'apprentissage de niveau cognitif élevé. Les étudiant·es se doivent d'être engagé·es activement. Cette V1 est corrigée sous deux semaines par le corps enseignant en s'appuyant sur une grille d'évaluation (cf. annexe) et en annotant les productions de commentaires. Seuls les productions annotées sont envoyées *via* l'espace numérique de travail ou par mail aux étudiant·es. Une session d'échanges est ensuite programmée pour discuter de ces corrections en distanciel synchrone (30 minutes par groupe avec un planning de passage). Cette session alterne entre des phases de questions-réponses entre étudiant·es et enseignant·es en lien avec les commentaires apposés par les enseignant·es sur les livrables et des phases durant lesquelles les enseignant·es reviennent sur certains commentaires et soulignent des points d'attention. Dans cette activité d'échange, l'apprentissage se construit par des interactions avec l'enseignant·e et/ou entre pairs. Le degré d'activation est considéré comme moyen car les étudiant·es sont dans une posture d'écoute mais néanmoins engagé·es dans un traitement réflexif suite aux commentaires des enseignant·es.

Finalement, les étudiant·es bénéficient ensuite de deux semaines pour proposer une deuxième version (V2), améliorée. Cette dernière est corrigée de manière plus rapide que la V1 par les enseignant·es et envoyée par mail aux étudiant·es. Le processus s'achève par l'envoi de la version finale du livrable dans les deux semaines suivantes. Seule cette dernière version est évaluée par les enseignant·es au moyen de la grille d'évaluation donnée lors de la session préparatoire.

Figure 2.

Scénario pédagogique d'une séquence

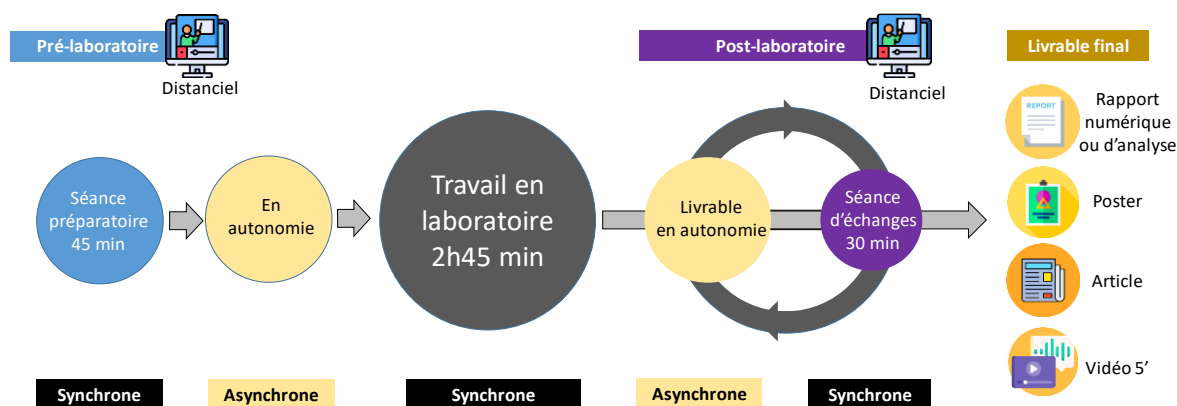


Tableau 1.*Thématique, type de livrable et nombre de personnes par groupe pour chaque séquence*

Séquence	Thématique	Type de livrable	Nombre de personnes par groupe
1	Sécurité en chimie	Rapport numérique / Site internet	2-3
2	Analyse d'une eau	Rapport d'analyse	2-3
3	Couleur et luminescence	Poster scientifique	2-3
4	Nanomatériaux	Article scientifique	4-5
5	Chimie du quotidien	Vidéo de 5 min	4-5

Tableau 2.*Scénario pédagogique de chaque séquence de l'UE (5 au total)*

Semaine	Type d'activité pédagogique	Durée	Objectifs d'apprentissage	Degré d'activation
0	Séance préparatoire (en distanciel synchrone)	45 min	Mémoriser des connaissances sur la thématique	Faible
			Mémoriser ou localiser des informations (ressources utiles, objectifs d'apprentissage, grille d'évaluation, manuel de TP cahier des charges, outils pour le livrable)	
1-2	Phase en autonomie (Échanges en asynchrone)		Formuler une question de recherche (2 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	Élevé
			Extraire des informations de la bibliographie ou du manuel Faire des liens entre des informations	
2-4	Travail en laboratoire/ Séance expérimentale (synchrone)	2h45	Formuler et tester par l'expérience des hypothèses (3 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	Élevé
			Analyser et interpréter des résultats (4 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	
4-7	Travail en autonomie jusqu'à l'envoi de la première version (V1) du livrable (asynchrone)		Tirer des conclusions (5 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	Élevé
			Produire un livrable de format pré-défini (rapport numérique, rapport d'analyse, poster scientifique, article scientifique, vidéo de 5 min selon la séquence (Tableau 1) (6 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	
7-9	Correction par les enseignant·es de V1 du livrable et envoi aux étudiant·es (asynchrone)			Moyen

9-11	Session d'échanges et d'accompagnement (synchrone)	30 min	Moyen
12-14	Travail en autonomie jusqu'à l'envoi de la deuxième version (V2) du livrable (asynchrone)	Analyser et interpréter des résultats (4 ^{ème} étape de la démarche scientifique) Tirer des conclusions (5 ^{ème} étape de la démarche scientifique) Produire un livrable de format pré-défini (rapport numérique, rapport d'analyse, poster scientifique, article scientifique, vidéo de 5 min selon la séquence (Tableau 1) (6 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	Élevé
13-15	Correction rapide et envoi aux étudiant·es (asynchrone)	Analyser et interpréter des résultats (4 ^{ème} étape de la démarche scientifique) Tirer des conclusions (5 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	
15-17	Travail en autonomie jusqu'à l'envoi de la version finale du livrable (asynchrone)	Produire un livrable de format pré-défini (rapport numérique, rapport d'analyse, poster scientifique, article scientifique, vidéo de 5 min selon la séquence (Tableau 1) (6 ^{ème} étape de la démarche scientifique)	Élevé

Collecte des données

À l'issue du premier et du deuxième semestre de cette L3 (i.e. respectivement 5^{ème} semestre, noté S5 et 6^{ème} semestre, noté S6, de la licence), il a été demandé aux personnes étudiantes de compléter un questionnaire auto-rapporté. Pour chaque UE (9 UEs au S5 : chimie organique ; chimie inorganique ; mécanique quantique ; chimie de l'état solide ; électrochimie ; symétrie moléculaire ; cristallographie ; thermodynamique ; démarche scientifique ; et 6 UEs au S6 : chimie organique ; spectrométrie ; chimie théorique ; cinétique ; mécanique quantique ; démarche scientifique), la personne étudiante devait

individuellement indiquer dans quelle mesure elle percevait que l'UE en question lui avait permis d'acquérir les capacités suivantes : i. adopter d'une démarche scientifique, ii. adopter de bonnes pratiques de laboratoire, iii. appréhender d'un environnement de travail ; chaque dimension comprenant 3 items : un item de type « savoirs (S) », un item de type « savoir-faire (SF) » et un item de type « savoir être (SE) » (ou « façon d'agir ») ; soit les 9 items suivants : N°1 C1S, n°2 C1SF, N°3 C1SE, N°4 C2S, n°5 C2SF, N°6 C2SE, N°7 C3S, n°8 C3SF, N°9 C3SE. Ces items correspondent aux capacités à acquérir durant la formation de L3 double licence Physique-Chimie Frédéric Joliot-Curie, requises par l'institution (Tableau 3). Un total de 31 participant·es a répondu au questionnaire de fin du S5 et 23 participant·es au questionnaire de fin du S6. Toutes les réponses étaient anonymes.

Ainsi, ce questionnaire permet d'évaluer le sentiment pour les étudiant·es d'avoir développé, dans chaque UE, la compétence de mettre en œuvre une démarche scientifique en mobilisant des connaissances, des savoir-faire et des façons d'agir propres à celle-ci (items C1S, C1SF et C1SE). La comparaison des résultats de notre UE avec ceux obtenus pour les autres UEs de la formation permet de mesurer les apports perçus de notre dispositif FPR à fort degré d'activation dans le cadre des TP par rapport à des UEs de format plus traditionnel. En effet, la plupart des UEs de la formation sont constituées de cours, de travaux dirigés et de TP qui n'ont pas vocation à être autant tournées vers l'expérience que l'UE objet de notre étude. Les réponses aux autres items permettent de renseigner leur perception de l'acquisition de connaissances, de savoir-faire et de façons d'agir liés aux bonnes pratiques de laboratoire et à l'environnement de travail. Ceci a pour but d'identifier d'éventuels apports pédagogiques de notre UE pour d'autres objectifs d'apprentissage que ceux relatifs à la démarche scientifique.

Tableau 3.*Capacités à acquérir en L3 double licence Physique-Chimie Frédéric Joliot-Curie*

	Adopter une démarche scientifique pour résoudre un problème en chimie nécessitant la mobilisation des connaissances acquises pendant la formation	Adopter de bonnes pratiques de laboratoire respectant les règles d'hygiène et sécurité pour la réalisation de synthèse et caractérisation de composés chimiques	Appréhender un environnement de travail au travers du milieu de la recherche et de l'enseignement
Savoirs	1- C1S Connaissances scientifiques	4- C2S Savoirs scientifiques (techniques expérimentales, règles d'hygiène et sécurité...)	7- C3S Connaissances des institutions et de leur fonctionnement
Savoir-faire	2- C1SF Analyse, Interprétation, Communication, Observation	5- C2SF Savoir-faire procédural (suivre un protocole, gestes techniques...)	8- C3SF Savoir-faire procédural (recherche bibliographique, rédaction de supports de communication)
Savoir être	3- C1SE Autonomie, Capacité d'adaptation, Sens de l'organisation, Rigueur, Curiosité, Esprit critique, Travail en équipe	6- C2SE Sens de l'organisation, Rigueur, Réactivité (cahier de laboratoire...)	9- C3SE Autonomie, Capacité d'adaptation et d'intégration, Travail en équipe, Sens de la communication, Sens de l'organisation

Par ailleurs, chacun des livrables a été évalué de sorte à vérifier que chaque groupe d'étudiant·es soit en mesure de produire un objet de type « recherche » imposant la mise en place d'une démarche scientifique. Plusieurs objectifs d'apprentissage (i.e. étapes de démarche scientifique) sont ainsi évalués au moyen de ces grilles : analyser, interpréter et porter un regard critique des résultats, tirer des conclusions et communiquer sur des résultats. Concernant la communication, des éléments tels que la capacité à adopter un raisonnement logique, à présenter des enjeux en respectant un vocabulaire rigoureux ou la réponse aux questions et des critères relatifs aux respects des consignes propres à chaque livrable (e.g. structuration des livrables, citation des sources) sont également évalués. Les grilles conduisent finalement à une note (De Ketele 2010). Les moyennes obtenues pour chaque livrable permettent d'évaluer le degré d'atteinte des objectifs d'apprentissage propres à la démarche scientifique, à l'aide d'évaluations sommatives.

La pertinence de chaque outil d'évaluation pour mesurer les objectifs de cette étude est résumée dans le Tableau 4. Le questionnaire envoyé aux étudiant·es et les grilles d'évaluation sont fournis en annexe.

Tableau 4.

Liste des méthodes d'évaluation et des objectifs de recherche associés

Méthode d'évaluation	Objectifs de recherche		
	Perception d'avoir développé la compétence de mettre en œuvre une démarche scientifique	Efficacité de notre dispositif par rapport aux autres UEs dans la perception d'avoir développé la compétence de mettre en œuvre une démarche scientifique	Degré d'atteinte observé des différentes étapes de la démarche scientifique
Questionnaire étudiant·es – UE d'intérêt	X		
Questionnaire étudiant·es - Comparaison des résultats entre l'UE d'intérêt et les autres UEs		X	
Moyennes issues des grilles d'évaluation			X

Analyse des données

Pour chacune des 9 capacités mentionnées sur le livret de formation, deux moyennes ont été calculées, à savoir une moyenne des scores laissés par l'ensemble des étudiant·es pour l'UE d'intérêt et une moyenne des scores laissés pour l'ensemble des autres UEs (i.e. moyenne de la moyenne des scores laissés par l'ensemble des étudiant·es à chacune de ces UEs). La comparaison de ces deux moyennes a été effectuée à l'aide d'un plan d'analyse intra-sujet. Lorsque la condition de normalité n'était pas satisfaite (i.e. C1S pour le semestre 5 et C3S pour le semestre 6), un test de Wilcoxon-signé rangé a été réalisé.

Un test non paramétrique de Friedman puis test *post-hoc* de Wilcoxon pour comparaisons multiples avec correction de Bonferroni ont permis d'analyser l'effet de l'UE sur le score laissé à chacune des 9 capacités et de comparer les différentes UE deux à deux. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R 2.9 (<http://www.r-project.org/>). Les représentations graphiques ont été générées à l'aide de la bibliothèque ggplot2.

Résultats

Les scores moyens obtenus à l'ensemble des UEs hors UE d'intérêt versus à l'UE d'intérêt pour les S5 et S6 de l'année 2020-2021 sont renseignés dans le Tableau 5.

Tableau 5.

Score moyen attribué à l’UE d’intérêt versus aux autres UEs de la formation.

		Semestre 5									Semestre 6								
		C1S	C1SF	C1SE	C2S	C2SF	C2SE	C3S	C3SF	C3SE	C1S	C1SF	C1SE	C2S	C2SF	C2SE	C3S	C3SF	C3SE
UE d’intérêt	M	3.58	3.81	3.84	3.81	3.77	3.68	2.87	3.84	3.81	3.38	3.75	3.71	3.54	3.54	3.58	2.71	3.79	3.79
	SD	0.72	0.48	0.45	0.48	0.56	0.60	1.15	0.45	0.48	0.71	0.53	0.55	0.66	0.66	0.65	1.23	0.51	0.51
Autres UEs	M	3.33	3.06	2.73	2.66	2.63	2.45	2.26	2.32	2.54	3.29	3.10	2.85	2.86	2.89	2.77	2.38	2.50	2.88
	SD	0.63	0.63	0.63	0.61	0.61	0.74	0.95	0.86	0.79	0.50	0.56	0.68	0.53	0.52	0.68	1.05	0.94	0.71

UE d’intérêt : moyenne des scores attribués par l’ensemble des participant·es à l’UE d’intérêt ; Autres UEs : moyenne des scores moyens attribués par l’ensemble des participants aux autres UEs de la formation. M : moyenne ; SD : écart-type (i.e. standard deviation). Le score moyen attribué à chacune des UEs du S5 et du S6 est illustré en Figure 3 et Figure 4.

Concernant le S5, pour 8 des 9 compétences, le score moyen attribué par les étudiant·es à notre UE d'intérêt se révèle significativement supérieur à la moyenne des scores attribués aux autres UE de la formation (Tableau 6). C'est un effet non significatif qui est retrouvé concernant C1S ($p=.07$).

Tableau 6.

Semestre 5 - Comparaison du score moyen attribué à chaque compétence

	β	F	IC 95%		p-value
			Borne inférieure	Borne supérieure	
C1SF	0.74	67.16	0.56	0.93	<.001
C1SE	1.10	97.89	0.88	1.33	<.001
C2S	1.15	97.79	0.91	1.38	<.001
C2SF	1.14	84.66	0.89	1.39	<.001
C2SE	1.22	74.94	0.93	1.51	<.001
C3S	0.61	20.46	0.34	0.89	<.001
C3SF	1.52	92.30	1.20	1.84	<.001
C3SE	1.27	86.47	0.99	1.54	<.001

	V	Taille d'effet (corrélation bisériale des rangs appariés)	IC 95%		p-value
			Borne inférieure	Borne supérieure	
C1S	123.00	-0.39	-0.69	-0.01	.07

UE d'intérêt versus autres UEs de la formation n.s : non significatif

Concernant le semestre 6, la note moyenne attribuée par les étudiant·es à notre UE d'intérêt se révèle significativement supérieure à la moyenne des notes attribuées aux autres UEs (Tableau 7) et ce, pour C1S, C1SF, C1SE, C2S, C2SF, C2SE, C3S, C3SF et C3SE.

Tableau 7.

Semestre 6 - Comparaison du score moyen attribué à chaque compétence, UE d'intérêt versus autres UEs de la formation

	β	F	IC 95%		p-value
			Borne inférieure	Borne supérieure	
C1S	-	-	-	-	<i>n.s</i>
C1SF	0.65	20.07	0.35	0.95	<.001
C1SE	0.86	39.26	0.57	1.14	<.001
C2S	0.68	43.59	0.47	0.90	<.001
C2SF	0.65	37.26	0.43	0.87	<.001
C2SE	0.82	40.05	0.55	1.08	<.001
C3SF	1.29	40.54	0.87	1.71	<.001
C3SE	0.91	40.10	0.61	1.21	<.001

	V	Taille d'effet (corrélation bisériale des rangs appariés)	IC 95%		p-value
			Borne inférieure	Borne supérieure	
C3S	26.50	-0.61	-0.85	-0.15	.03

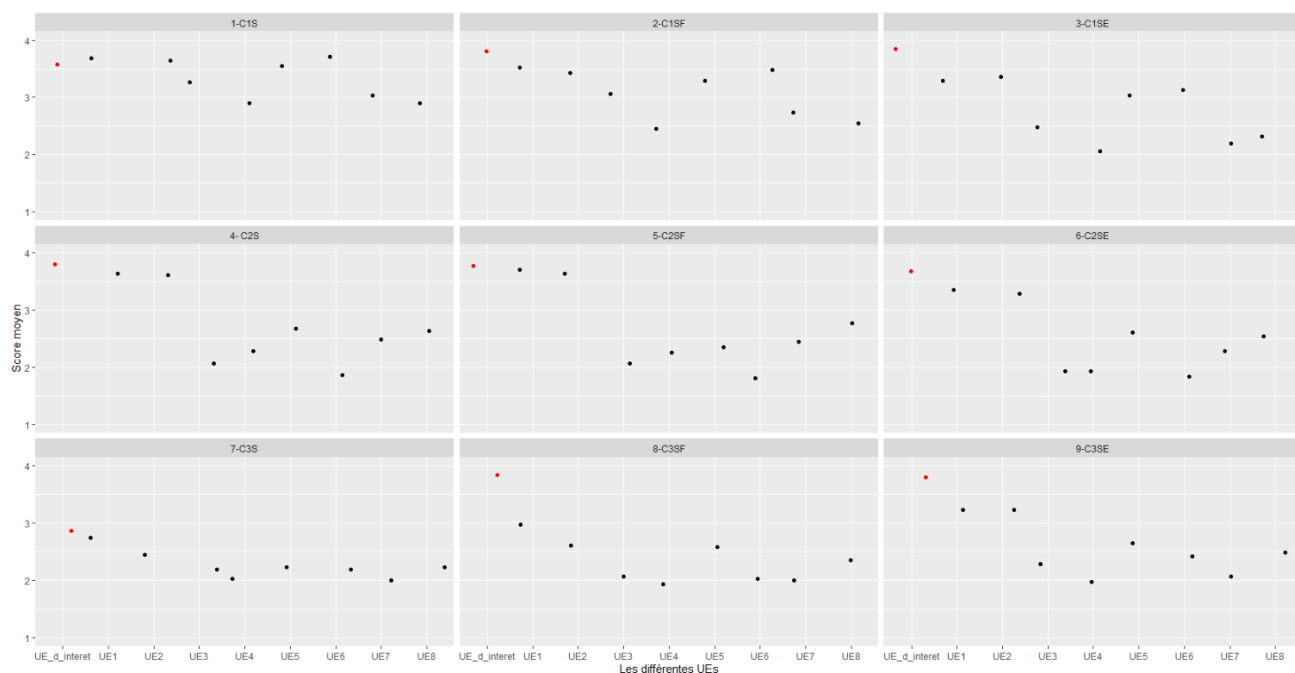
n.s : non significatif

Pour le S5, le score attribué à l'UE d'intérêt est le plus élevé, que ce soit pour les compétences C1SF, C1SE, C2S, C2SF, C2SE, C3S, C3SF ou C3SE. Pour la compétence C1S, le score attribué à l'UE d'intérêt est le 4^{ème} score le plus élevé après les scores respectivement attribués aux UE6, UE1 et UE2. Toutefois, aucune différence significative n'est retrouvée entre le score attribué à l'UE d'intérêt et les scores attribués à chacune des huit autres UEs de la formation (Tableau 8). Concernant C1SF, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE3, UE4, UE5, UE7 et UE8. Pour C1SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué à chacune des autres huit autres UEs. Concernant C2S, C2SF et C2SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE3, UE4, UE5,

UE6, UE7 et UE8. Pour C3S, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE3, UE4, UE7 et UE8. Pour C3SF, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué à chacune des huit autres UEs de la formation. Enfin, pour C3SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE2, UE3, UE4, UE5, UE6, UE7 et UE8.

Figure 3.

Score moyen attribué à chaque UE du semestre 5



Chaque point indique la moyenne des scores attribués par l'ensemble des participants, pour une UE donnée. Le point correspondant à l'UE d'intérêt est en rouge. Chaque mini-figure correspond à une capacité qu'il est attendu de développer au cours de la formation.

Tableau 8.

Comparaisons multiples des différentes UEs, semestre 5

UE	C1S		C1SF		C1SE		C2S		C2SF		C2SE	
	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p
UE1	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	2.86*10 ⁻²	.03	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>
UE2	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	4.02*10 ⁻²	.04	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>
UE3	-	<i>n.s</i>	3.38*10 ⁻³	<.01	1.87*10 ⁻⁴	<.001	3.28*10 ⁻⁴	<.001	2.23*10 ⁻⁴	<.001	8.87*10 ⁻⁵	<.001
UE4	-	<i>n.s</i>	3.74*10 ⁻⁴	<.001	9.96*10 ⁻⁵	<.001	3.33*10 ⁻⁴	<.001	7.60*10 ⁻⁴	<.001	7.33*10 ⁻⁴	<.001
UE5	-	<i>n.s</i>	2.26*10 ⁻²	.02	1.73*10 ⁻²	.02	2.36*10 ⁻³	<.01	4.45*10 ⁻⁴	<.001	9.78*10 ⁻³	<.01
UE6	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	4.60*10 ⁻²	.046	1.83*10 ⁻⁴	<.001	1.92*10 ⁻⁴	<.001	2.94*10 ⁻⁴	<.001
UE7	-	<i>n.s</i>	3.20*10 ⁻³	<.01	4.97*10 ⁻⁴	<.001	6.57*10 ⁻⁴	<.001	1.55*10 ⁻³	<.01	1.14*10 ⁻³	<.01
UE8	-	<i>n.s</i>	7.33*10 ⁻⁴	<.001	3.28*10 ⁻⁴	<.001	3.50*10 ⁻⁴	<.001	3.68*10 ⁻³	<.01	5.21*10 ⁻³	<.01

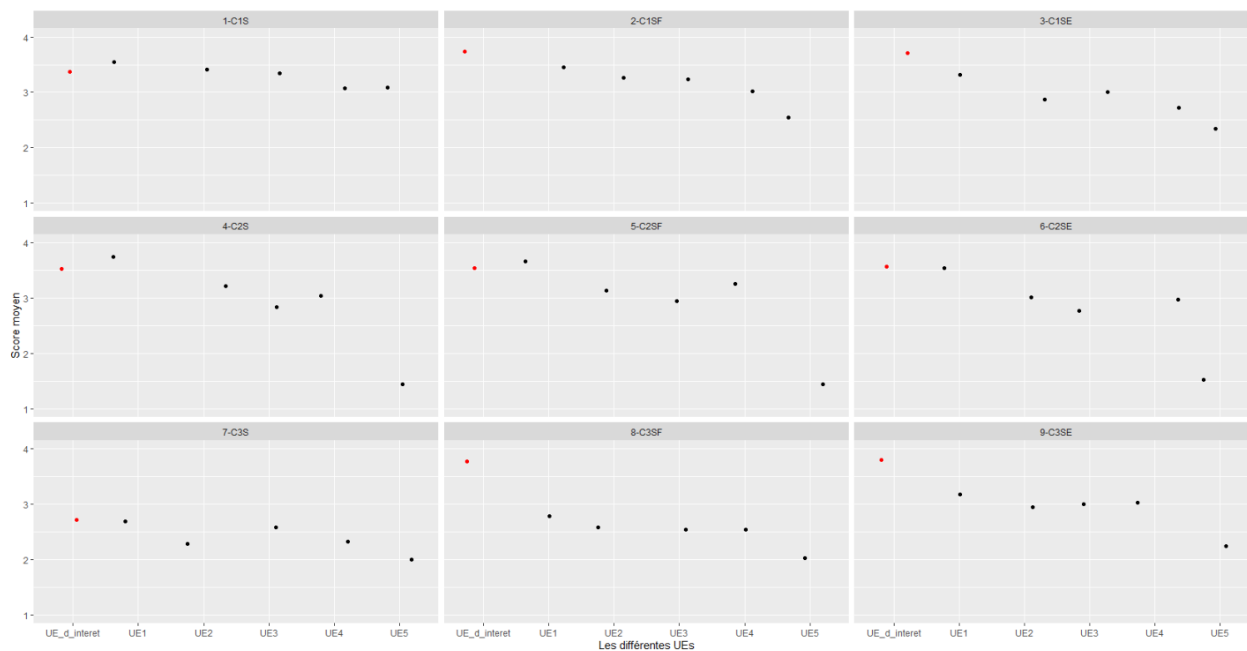
Comparaisons multiples des différentes UEs, semestre 5 (suite)

UE	C3S		C3SF		C3SE	
	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p	<i>W</i>	p
UE1	-	<i>n.s</i>	2.77*10 ⁻³	<.01	-	<i>n.s</i>
UE2	-	<i>n.s</i>	1.03*10 ⁻³	.001	4.69*10 ⁻²	.047
UE3	3.76*10 ⁻²	.04	1.44*10 ⁻⁴	<.001	2.10*10 ⁻⁴	<.001
UE4	1.94*10 ⁻²	.02	1.37*10 ⁻⁴	<.001	1.48*10 ⁻⁴	<.001
UE5	-	<i>n.s</i>	1.67*10 ⁻³	<.01	1.58*10 ⁻³	<.01
UE6	-	<i>n.s</i>	4.98*10 ⁻⁴	<.001	3.63*10 ⁻³	<.01
UE7	8.27*10 ⁻³	.01	2.12*10 ⁻⁴	<.001	4.72*10 ⁻⁴	<.001
UE8	1.91*10 ⁻²	.02	3.24*10 ⁻⁴	<.001	1.70*10 ⁻³	<.01

Pour le S6, le score attribué à l'UE d'intérêt est celui le plus élevé, comparativement aux autres UEs, que ce soit pour C1SF, C1SE, C2SE, C3S (à égalité avec le score attribué à l'UE1), C3SF ou C3SE (Figure 4). Il s'agit du 2^{ème} score le plus élevé pour les C2S et C2SF, après le score attribué à l'UE1 et du 3^{ème} score le plus élevé pour C1S après le score attribué aux UE1 et UE2. Toutefois, pour C2S, C2SF et C1S, aucune différence significative n'est retrouvée entre le score attribué à l'UE d'intérêt et les scores qui lui sont supérieurs (Tableau 9). Concernant C1S et C3S, aucune différence significative n'est retrouvée en termes de score moyen lorsque sont comparées les UEs deux à deux. Concernant C1SF, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE4 et UE5. Concernant C1SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE2 UE3, UE4 et UE5. Concernant C2S et C2SF, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué à l'UE5. Pour C2SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux UE3 et UE5. Concernant C3SF et C3SE, le score attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score attribué aux cinq autres UEs de la formation.

Figure 4.

Score moyen attribué à chaque UE du semestre 6.



Chaque point indique la moyenne des scores attribués par l'ensemble des participant·es, pour une UE donnée. Le point correspondant à l'UE d'intérêt est en rouge. Chaque mini-figure correspond à une capacité qu'il est attendu de développer au cours de la formation.

Tableau 9.*Comparaisons multiples des différentes UEs, semestre 6*

UE	C1S		C1SF		C1SE		C2S		C2SF		C2SE	
	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val
UE1	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>
UE2	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	$3.11 \cdot 10^{-2}$	.03	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>
UE3	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	$3.00 \cdot 10^{-2}$	.03	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	$1.88 \cdot 10^{-2}$	.02
UE4	-	<i>n.s</i>	$4.16 \cdot 10^{-2}$	.042	$7.32 \cdot 10^{-3}$	<.01	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>	-	<i>n.s</i>
UE5	-	<i>n.s</i>	$6.21 \cdot 10^{-3}$	<.01	$1.99 \cdot 10^{-3}$	<.01	$2.86 \cdot 10^{-4}$	<.001	$4.40 \cdot 10^{-4}$	<.001	$4.44 \cdot 10^{-4}$	<.001

Comparaisons multiples des différentes UEs, semestre 6 (suite)

UE	C3S		C3SF		C3SE	
	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val	<i>W</i>	p-val
UE1	-	<i>n.s</i>	$3.52*10^{-2}$	.04	$3.61*10^{-2}$	.04
UE2	-	<i>n.s</i>	$8.31*10^{-3}$	.01	$7.94*10^{-3}$	<.01
UE3	-	<i>n.s</i>	$3.59*10^{-3}$	<.01	$3.22*10^{-2}$	.03
UE4	-	<i>n.s</i>	$8.07*10^{-3}$	<.01	$4.82*10^{-2}$	.048
UE8	-	<i>n.s</i>	$1.06*10^{-3}$	<.01	$1.55*10^{-3}$	<.01

Les moyennes obtenues pour chacun des livrables sont données dans le Tableau 10.

Tableau 10.

Moyennes pour chaque livrable

	Rapport numérique / Site internet	Rapport d'analyse	Poster scientifique	Article scientifique	Vidéo de 5 minutes
Note moyenne / 20	17.2	16.6	15.8	16.8	17.0
Écart-type	1.6	2.6	1.8	1.5	0.9
Note minimale	10.0	7.5	12.2	12.1	14.8
Note maximale	20.0	20.0	18.5	19.5	18.4

Les notes données aux travaux de type recherche sont élevées. Les notes s'étendent entre 12.2 et 18.5 pour les posters ($M \pm SD = 15.8 \pm 1.8$ sur 20), entre 12.1 et 19.5 pour les articles ($M \pm SD = 16.8 \pm 1.5$ sur 20) et entre 14.8 et 18.4 pour les vidéos ($M \pm SD = 17.0 \pm 0.9$).

Discussion

Le premier objectif de cette étude consistait à concevoir une UE de TP en chimie basée sur une approche FPR et s'appuyant sur de nombreuses préconisations de la littérature. Nous pensons que cet objectif a été atteint. En effet, l'apprentissage et la pratique de la démarche scientifique conjugués à la réalisation de livrables de type recherche (i.e. poster, article et

vidéo notamment) font de cette UE une UE de type FPR. Toutes les façons d'impliquer les étudiant·es dans la recherche et l'investigation présentées dans le modèle de Jenkins (Healey et Jenkins, 2009) sont mobilisées dans le cas de notre UE. La séance préparatoire peut être considérée à la fois comme dirigée par la recherche et orientée vers la recherche, car les étudiant·es adoptent une posture relativement passive. Au cours des séances en laboratoire, les étudiant·es réalisent des expériences, pratiquent la recherche et tentent de répondre à leur question de recherche ou de remplir les objectifs fixés en amont. Tout cela se réfère à des objectifs basés sur la recherche. La session d'échanges et d'accompagnement (et l'ensemble du processus de correction) peut être caractérisée de tutorat de recherche puisque les étudiant·es sont engagé·es dans une discussion scientifique avec leurs collègues (i.e. apprentissage par les pairs) ou avec le personnel enseignant. De plus, comme les productions des étudiant·es sont des documents de type recherche (e.g. poster scientifique, article scientifique et vidéo), le processus de production peut être considéré comme une activité basée sur la recherche. Par ailleurs, les thématiques abordées au cours des différentes séquences, ont été sélectionnées par l'équipe enseignante et constituent toutes des sujets d'actualité en recherche (e.g. couleur et luminescence ; nanomatériaux). La séance préparatoire est une bonne occasion pour mentionner les résultats de recherche récents et présenter des articles positionnés comme référence dans plusieurs expériences du manuel (séquences N°3 et 4 ; Tableau 1). Une partie de la séance préparatoire est consacrée aux attentes et aux exigences (forme et fond) en termes de rédaction d'un rapport d'analyse (séquence N°2) ou d'un article (séquence N°4), de la conception d'un poster et de la préparation de sa présentation (séquence N°3) et de la production d'une vidéo (séquence N°5). Cette séance préparatoire permet de fournir aux étudiant·es des outils (e.g. logiciels, conventions) et de présenter des bonnes pratiques (e.g. orthographe, chiffres, tableaux, images) pour créer leurs livrables. Toutes ces informations ont pour but de favoriser les apprentissages (savoir-faire en recherche et techniques de construction de connaissances).

Notre UE a été organisée sous forme de séquences (Tableau 2), chacune comportant une phase préparatoire, un temps de travail en laboratoire et une phase d'échanges en aval de la séance expérimentale. Cela est en accord avec les préconisations de la littérature pour les TP (cf. paragraphe Contexte et problématique). Ainsi, l'ajout d'une séance préparatoire en amont de la séance expérimentale permet de clarifier les buts et les objectifs d'apprentissage aux étudiant·es (Auchincloss et al., 2014; Reid et Shah, 2007; Watts et al., 2021; Weaver et al., 2008) et mettre à disposition des ressources utiles (site web, contenu de cours, vidéo, articles...). Ceci permet à la fois d'optimiser le temps de la séance expérimentale (Agustian et Seery 2017; Camel et al. 2020; Camel et al. 2020) et d'améliorer l'engagement cognitif des étudiant·es (Agustian et Seery 2017; Rollnick et al. 2001; Veiga et al. 2019) lors de celle-ci. Les échanges en amont sur une pré-proposition de

la question de recherche sont aussi bénéfiques pour la séance expérimentale (Graham et al. 2002; Keller et Kendall 2017; Watts et al. 2021). Par ailleurs, l'intégration d'une phase d'échanges et d'accompagnement sur les livrables par les enseignant·es en aval de la séance expérimentale et le processus de révisions multiples sont des moyens de favoriser l'atteinte des objectifs d'apprentissage de la démarche scientifique (Graham et al. 2002; Keller et Kendall 2017; Watts et al. 2021) relatifs à la création d'un livrable (analyser et interpréter des résultats, tirer des conclusions et communiquer sur des résultats). Proposer une rétroaction et adopter des phases d'évaluation dans une démarche descriptive (De Ketele, 2010) s'avère souvent bénéfique pour les apprentissages (Fyfe et Rittle-Johnson, 2016; Hattie et Timperley, 2007; Hays et al., 2010).

Une grande place est laissée à l'autonomie des personnes étudiantes et elles sont amenées à réaliser de nombreux choix : de l'expérience à réaliser aux personnes avec qui elles souhaitent travailler, aux outils utilisés pour la production ou la forme de certains livrables. Au moyen de ce dispositif toutes les étapes de la démarche scientifique sont ainsi travaillées et les étudiant·es se retrouvent activement impliqué·es dans la plupart des étapes du scénario pédagogique de chaque séquence (Tableau 2). Cette UE possède de plus, toutes les caractéristiques d'une activité de pédagogie de degré d'activation élevé selon De Clercq et collaborateurs (2022). Elle permet d'impliquer les étudiant·es dans la construction de l'apprentissage et de les engager dans un traitement réflexif et en profondeur du contenu dispensé lors des étapes d'élaboration d'une question de recherche, de la séance expérimentale (résolution de problème) mais également la production en autonomie de leur livrable. Cette autonomie est néanmoins accompagnée et cadrée à la fois par des échanges avec les enseignant·es mais aussi par des consignes (jalons, attentes, grilles d'évaluation) permettant d'éviter les écueils de l'apprentissage par la découverte (Tricot, 2017). Ainsi les séances d'échanges permettent notamment (en sus d'échanges par mail ou du server Discord) aux étudiant·es de construire leurs apprentissages par des interactions avec l'enseignant·e ou entre pairs. Finalement, lors de cette UE, l'apprentissage est contextualisé car les livrables et la démarche sont de type recherche et donc en lien avec l'engagement institutionnel de former aux métiers de la recherche.

Pratiquer la démarche scientifique ne suffit pas pour qu'elle soit acquise (Tricot, 2017). Il faut également que les étudiant·es soient activement impliqué·es dans ce processus. Pour cela, les étapes de la démarche scientifique se doivent d'être des objectifs d'apprentissage. Ainsi, au-delà de la forme, l'évaluation des livrables intègre des critères relatifs au fond et notamment à l'évaluation de plusieurs points de la démarche scientifique (c.f annexe) : poser une question, analyser et interpréter les données, tirer des conclusions et communiquer sur les résultats obtenus.

Un autre objectif de ce travail consistait à i. mesurer la perception d'apprentissage des étudiants sur la compétence « mettre en œuvre une démarche scientifique dans un contexte nouveau » à l'issue de chacun des semestres de formation et ce, pour les différentes UEs de la formation et ii. évaluer l'atteinte des différents objectifs d'apprentissages (i.e. différentes étapes de la démarche scientifique) au travers des livrables évalués à partir des grilles d'évaluation.

Concernant la perception d'apprentissage des étudiant·es, les scores indiqués par les étudiant·es en fin de S5 et de S6 sont systématiquement au-delà de 3.50 (sur 4.00), excepté pour C3S (pour S5 et S6) et C1S (pour S6 uniquement). Les résultats montrent que l'UE mise en place est considérée par les étudiant·es comme étant particulièrement efficace pour travailler la démarche scientifique avec des scores très élevés pour les connaissances (C1S), savoir-faire (C1SF) et « façon d'agir » (C1SE) relatifs à « *Adopter une démarche scientifique pour résoudre un problème en chimie nécessitant la mobilisation des connaissances acquises pendant la formation* ». De façon robuste, au semestre 5 et au semestre 6, le score moyen attribué à l'UE d'intérêt est significativement plus élevé que le score moyen attribué aux autres UEs de la formation (i.e. moyenne de la moyenne) pour chacune des capacités, sauf C1S pour laquelle la significativité n'est pas retrouvée au S5. Ce dernier résultat pourrait à première vue paraître surprenant mais nous expliquons cela par les scores moyens déjà très élevés attribués aux autres UEs à cet item. Ceci est cohérent avec le format plus traditionnel des cours, travaux dirigés et TP réalisés dans les autres UEs qui concentre les apprentissages vers l'acquisition de savoirs. Ainsi, notre UE présenterait un intérêt tout particulier pour la formation aux savoir-faire et aux savoir-être, sans impacter négativement les savoirs. Les analyses *post-hoc*, de comparaisons multiples, vont dans le même sens. En effet, l'UE d'intérêt présente un score significativement plus élevé que la plupart des autres UEs pour les savoir-être et savoir-faire et ce, de façon robuste entre S5 et S6 alors même que les UE servant de comparaison ne sont pas les mêmes. Il n'est pas étonnant de retrouver un plus faible score pour C3S ; la connaissance des institutions et de leur fonctionnement n'étant pas directement un objectif d'apprentissage visé par notre UE. Nous expliquons l'absence de différence significative inter-UEs pour C1S par un effet plafond.

Les notes moyennes obtenues pour les différents livrables s'avèrent relativement élevées, ce qui selon nous, est un fort indicateur d'atteinte des objectifs d'apprentissage liés à la démarche scientifique chez nos étudiant·es. En sus d'être perçu par les étudiant·es, il apparait donc que le développement de la compétence de mettre en place une démarche scientifique dans un contexte nouveau soit également observée par les enseignant·es. La mobilisation de cette démarche dans d'autres contextes d'apprentissages par les mêmes étudiant·es reste néanmoins à prouver pour juger d'un apprentissage pérenne.

Nous pouvons pointer plusieurs limites à ce travail. Tout d'abord, le questionnaire auto-rapporté repose sur des perceptions d'étudiant·es et non sur le réel développement de ces compétences. Il est possible que la liberté permise avec ce format de TP donne aux étudiant·es une impression de compétences ; toutefois les notes attribuées aux différents livrables semblent montrer une bonne atteinte de certains objectifs d'apprentissage de la démarche scientifique chez nos étudiant·es. Il aurait été intéressant d'évaluer l'ensemble des objectifs d'apprentissage (i.e. les différentes étapes de la démarche scientifique dans leur intégralité) et non uniquement ceux-relatifs aux livrables (i.e. analyser et interpréter des résultats, tirer des conclusions et communiquer sur des résultats). Une approche pré (avant le commencement des TP) et post- test (à la fin des TP) aurait également été intéressante pour mesurer le gain. Cela aurait permis de s'assurer que les différences significatives soient bien le produit de notre format de TP. Notre questionnaire ne comporte que 9 items. Il aurait été intéressant de multiplier le nombre d'items et de proposer des échelles pour les différents objectifs d'apprentissage relatifs aux étapes de la démarche scientifique (i. observer, ii. poser une question, iii. formuler et tester par l'expérience des hypothèses, iv. analyser et interpréter les données, v. tirer des conclusions et vi. communiquer sur les résultats obtenus). Aussi, il aurait été préférable de sélectionner un questionnaire standardisé ou *a minima* pré-testé. Nous avons conscience que l'outil de mesure, issu d'un travail collectif au sein de notre école, comporte plusieurs erreurs (e.g. vocabulaire imprécis, plusieurs questions en une). Par ailleurs, nous pensons qu'il aurait été préférable i. d'observer l'activité, le produit de l'activité et la régulation de l'activité et ii. d'évaluer un rendu explicatif, dans lequel l'étudiant démontrait qu'il a effectivement atteint l'objectif d'apprentissage, pour chacune des étapes de la démarche. Dans notre étude, nous inférons *a posteriori* que la compétence est développée, sur la base de mesures auto-rapportées et d'évaluation de livrables.

Une exploration approfondie du degré d'activation de toutes les UEs (y compris la nôtre) contribuerait à définir de manière plus précise les aspects de pédagogie active de notre UE.

Les étudiant·es travaillent en équipe. Ainsi, nous pouvons nous demander si ce type de format profite équitablement à l'ensemble des membres du groupe. Il aurait été également intéressant de suivre la perception des étudiant·es de façon micro-longitudinale entre le S5 et le S6, voire de comparer la perception avec le résultat académique, mais les deux questionnaires ayant été présentés à deux temps différents, sans aucun renseignement identitaire, nous n'avons pas pu associer ces données. Enfin, bien que le questionnaire soit anonyme, nous ne pouvons exclure d'une part le biais de désirabilité, l'enseignant distribuant le questionnaire étant l'enseignant qui a pensé la nouvelle UE et la biais de

nouveauté du dispositif conduisant tant à une motivation accrue des enseignant·es que des étudiant·es.

Des études de l'impact de notre dispositif sur la démarche scientifique au moyen de tests standardisés (Bastiaens, 2017; Winkelmann et al., 2015b) et d'une démarche avec pré et post-tests sont envisagées. Une exploration approfondie du degré d'activation de toutes les UEs (y compris la nôtre) à l'aide de questionnaires distribués aux étudiant·es et aux enseignant·es permettrait également de mettre en évidence les spécificités qui la distinguent des autres UEs à cet égard.

Conclusion

En conclusion, nous proposons dans cette étude un exemple de format innovant de TP de chimie de L3 combinant les principes de la pédagogie active et de la formation par la recherche et s'appuyant sur des préconisations de la littérature sur les TP (ajout de phases en amont et aval des séances expérimentales notamment). Le passage de la théorie (i.e. état de l'art sur ce qu'il faudrait faire en tant qu'enseignant·e) à la pratique est souvent délicat. Il s'agit là d'une proposition de mise en application dont les praticien·nes du supérieur pourraient se saisir ; avec des premières pistes de garantie en termes d'efficacité, dans notre contexte d'enseignement. L'impact de notre dispositif pédagogique a été mesuré à partir d'un questionnaire auto-rapporté sur la perception d'apprentissage et à partir de travaux de type recherche rendus par les étudiant·es. Ces données constituent pour nous, une forte indication du développement de la compétence « mettre en œuvre une démarche scientifique dans un contexte nouveau » chez nos étudiant·es. Les résultats significativement supérieurs, évalués par les personnes étudiantes elles-mêmes, par rapport à d'autres UEs du programme de la formation de L3 et les scores attribués à notre UE de TP particulièrement élevés pour tous les critères soulignent non seulement l'efficacité de cette approche pour favoriser la démarche scientifique, mais également sa contribution significative à l'acquisition de façons d'agir et de savoir-faire. Les performances académiques élevées des productions étudiantes attestent de plus de l'atteinte de plusieurs objectifs d'apprentissage de la démarche scientifique, renforçant ainsi la pertinence de cette approche complète.

Ainsi, les enseignant·es devraient envisager d'adopter une approche FPR de haut degré d'activation intégrant une séance préparatoire et une séance d'échanges (rétroaction) sur les productions des étudiant·es dans le cadre de séance de TP. Cette approche apparaît comme un bon moyen de travailler la démarche scientifique tant du point de vue des enseignant·es que des étudiant·es. Appliquée à la chimie dans cette étude, elle pourrait être transposable à d'autres disciplines, notamment de sciences expérimentales telles que la

physique ou la biologie. Aussi, il pourrait être envisager d'étendre ce dispositif de compagnonnage cognitif à des étudiant·es suivant un cursus moins sélectif. Dans notre cas, nous estimons avoir trouver un bon équilibre en tentant d'optimiser le sentiment de contrôlabilité de la tâche chez l'étudiant·e tout en restant très disponible en tant qu'enseignant·e. Il pourrait être intéressant de tester l'efficacité de ce dosage auprès de nouvelles cohortes d'étudiants, de profils et niveaux différents.

Références

- Abrahams, I. et Reiss, M. J. (2012). Practical work : Its effectiveness in primary and secondary schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(8), 1035-1055. <https://doi.org/10.1002/tea.21036>
- Aditomo, A., Goodyear, P., Bliuc, A.-M. et Ellis, R. A. (2013). Inquiry-based learning in higher education : Principal forms, educational objectives, and disciplinary variations. *Studies in Higher Education*, 38(9), 1239-1258. <https://doi.org/10.1080/03075079.2011.616584>
- Agustian, H. Y. (2020). *Students' learning experience in the chemistry laboratory and their views of science : In defence of pedagogical and philosophical validation of undergraduate chemistry laboratory education*. <https://doi.org/10.7488/ERA/107>
- Agustian, H. Y., Finne, L. T., Jørgensen, J. T., Pedersen, M. I., Christiansen, F. V., Gammelgaard, B. et Nielsen, J. A. (2022). Learning outcomes of university chemistry teaching in laboratories : A systematic review of empirical literature. *Review of Education*, 10(2). <https://doi.org/10.1002/rev3.3360>
- Agustian, H. Y. et Seery, M. K. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education : A proposed framework for their design. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 518-532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00140A>
- Anderson, R. O. (1976). *The experience of science : A new perspective for laboratory teaching* (Teachers College Press).
- Arik, S. et Yilmaz, M. (2020). The Effect of Constructivist Learning Approach and Active Learning on Environmental Education : A Meta-Analysis Study. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 10(2), 44-84.
- Auchincloss, L. C., Laursen, S. L., Branchaw, J. L., Eagan, K., Graham, M., Hanauer, D. I., Lawrie, G., McLinn, C. M., Pelaez, N., Rowland, S., Towns, M., Trautmann, N. M., Varma-Nelson, P., Weston, T. J. et Dolan, E. L. (2014). Assessment of Course-Based Undergraduate Research Experiences : A Meeting Report. *CBE—Life Sciences Education*, 13(1), 29-40. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-01-0004>
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L. et Bransford, J. D. (1998). *Doing With Understanding : Lessons From Research on*

- Problem- and Project-Based Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 271-311. <https://doi.org/10.1080/10508406.1998.9672056>
- Bastiaens, E. (2017). *Research-based learning : Case studies from Maastricht University*. Springer Berlin Heidelberg.
- Biémar, S., Daele, A., Malengrez, D. et Oger, L. (2015). Le « Scholarship of Teaching and Learning » (SoTL). Proposition d'un cadre pour l'accompagnement des enseignants par les conseillers pédagogiques. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 31(2). <https://doi.org/10.4000/ripes.966>
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347-364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Biggs, J. B. (2014). Constructive alignment in university teaching. *HERDSA Review of Higher Education*, 1, 5-22. www.herdsa.org.au/herdsa-review-higher-education-vol-1/5-22
- Biggs, J. B. et Tang, C. S. (2011). *Teaching for quality learning at university : What the student does* (4. ed). McGraw-Hill, Society for Research into Higher Education et Open University Press.
- Bloom, B. S. et Krathwohl, D. R. (1956). *The classification of educational goals, by a committee of college and university examiners*.
- Blystone, R. V. et Blodgett, K. (2006). WWW : The Scientific Method. *CBE—Life Sciences Education*, 5(1), 7-11. <https://doi.org/10.1187/cbe.05-12-0134>
- Bonwell, C. C. et Eison, J. A. (1991). *Active learning : Creating excitement in the classroom*. School of Education and Human Development, George Washington University.
- Boyer, E. L. (1991). *Scholarship reconsidered : Priorities of the professoriate* (3. print). Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching.
- Bretz, S. L. (2019). Evidence for the Importance of Laboratory Courses. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 193-195. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00874>
- Cabi, E. (2018). The Impact of the Flipped Classroom Model on Students' Academic Achievement. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 19(3), 20.
- Camacho, M. H., Valcke, M. et Chiluiza, K. (2017). *RESEARCH BASED LEARNING IN HIGHER EDUCATION : A REVIEW OF LITERATURE*. 4188-4197. <https://doi.org/10.21125/inted.2017.1004>
- Camel, V., Maillard, M.-N., Cladière, M., Fitoussi, G., Piard, J., Dumas, C., Brun, E., Billault, I. et Sicard-Roselli, C. (2020). Chimactiv pour se former à l'analyse chimique. *Bulletin de l'union des physiciens*, 114(N°1028), 961-976.
- Camel, V., Maillard, M.-N., Piard, J., Dumas, C., Cladière, M., Fitoussi, G., Brun, E., Billault, I. et Sicard-Roselli, C. (2020a). CHIMACTIV : An Open-Access Website

- for Student-Centered Learning in Analytical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2319-2326. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00023>
- Camel, V., Maillard, M.-N., Piard, J., Dumas, C., Cladière, M., Fitoussi, G., Brun, E., Billault, I. et Sicard-Roselli, C. (2020b). CHIMACTIV, un site pour se former à l'analyse chimique. *Actualité Chimique*, 448, 31-36. <https://www.lactualitechimique.org/CHIMACTIV-un-site-pour-se-former-a-l-analyse-chimique>
- Carnduff, J. et Reid, N. (2017). *Enhancing undergraduate chemistry laboratories : Pre-laboratory and post-laboratory exercises*. Royal Society of Chemistry.
- Carnduff, J., Reid, N. et Royal Society of Chemistry. (2017). *Enhancing undergraduate chemistry laboratories : Pre-laboratory and post-laboratory exercises*. Royal Society of Chemistry.
- Chauvigné, C. et Coulet, J.-C. (2010). L'approche par compétences : Un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue française de pédagogie*, 172, 15-28. <https://doi.org/10.4000/rfp.2169>
- Chi, M. T. H., Adams, J., Bogusch, E. B., Bruchok, C., Kang, S., Lancaster, M., Levy, R., Li, N., McEldoon, K. L., Stump, G. S., Wylie, R., Xu, D. et Yaghmourian, D. L. (2018). Translating the ICAP Theory of Cognitive Engagement Into Practice. *Cognitive Science*, 42(6), 1777-1832. <https://doi.org/10.1111/cogs.12626>
- Chi, M. T. H. et Wylie, R. (2014). The ICAP Framework : Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Colet, N. R., McAlpine, L., Fanghanel, J. et Weston, C. (2011). Le concept de Scholarship of Teaching and Learning : La recherche sur l'enseignement supérieur et la formalisation des pratiques enseignantes. *Recherche et formation*, 67, 91-104. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.1412>
- Crawford, S. et Stucki, L. (1990). Peer review and the changing research record. *Journal of the American Society for Information Science*, 41(3), 223-228. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199004\)41:3<223::AID-ASI14>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199004)41:3<223::AID-ASI14>3.0.CO;2-3)
- De Clercq, M., Frenay, M., Wouters, P. et Raucent, B. (2022). *Pédagogie active dans l'enseignement supérieur : Description de pratiques et repères théoriques*. Peter Lang.
- De Ketele, J.-M. (2010). Ne pas se tromper d'évaluation. *Revue française de linguistique appliquée*, XV(1), 25. <https://doi.org/10.3917/rfla.151.0025>
- DeKorver, B. K. et Towns, M. H. (2015). General Chemistry Students' Goals for Chemistry Laboratory Coursework. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2031-2037. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00463>

- Deslauriers, L., McCarty, L. S., Miller, K., Callaghan, K. et Kestin, G. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(39), 19251-19257. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821936116>
- Deslauriers, L., Schelew, E. et Wieman, C. (2011). Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class. *Science*, 332(6031), 862-864. <https://doi.org/10.1126/science.1201783>
- Elsen, M. (G. M. F.), Visser-Wijnveen, G. J., van der Rijst, R. M. et van Driel, J. H. (2009). How to Strengthen the Connection between Research and Teaching in Undergraduate University Education. *Higher Education Quarterly*, 63(1), 64-85. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2273.2008.00411.x>
- ENS Paris-Saclay. (2024, avril 17). *ENS Paris-Saclay*. ENS Paris-Saclay. <https://ens-paris-saclay.fr/lecole/lecole>
- Fiorella, L. et Mayer, R. E. (2015). *Learning as a Generative Activity : Eight Learning Strategies that Promote Understanding* (1^{re} éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107707085>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Fyfe, E. R. et Rittle-Johnson, B. (2016). Feedback both helps and hinders learning : The causal role of prior knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 108(1), 82-97. <https://doi.org/10.1037/edu0000053>
- Graham, K. J., Schaller, C. P., Johnson, B. J. et Klassen, J. B. (2002). Student-Designed Multistep Synthesis Projects in Organic Chemistry. *The Chemical Educator*, 7(6), 376-378. <https://doi.org/10.1007/s00897020612a>
- Greener, S. (2015). What do we mean by “student-centred” learning? *Interactive Learning Environments*, 23(1), 1-2. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1005423>
- Gros, B., Viader, M., Cornet, A., Martínez, M., Palés, J. et Sancho, M. (2020). The Research-Teaching Nexus and Its Influence on Student Learning. *International Journal of Higher Education*, 9(3), 109. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n3p109>
- Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hays, M. J., Kornell, N. et Bjork, R. A. (2010). The costs and benefits of providing feedback during learning. *Psychonomic Bulletin et Review*, 17(6), 797-801. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.6.797>
- Healey, M. et Jenkins, A. (2009). *Developing undergraduate research and inquiry*. Higher Education Academy.

- Hegarty-Hazel, E. (Éd.). (1990). *The student laboratory and the science curriculum*. Routledge.
- Hofstein, A. et Hugerat, M. (2021). Chapter 1. The Role of the Laboratory in Chemistry Teaching and Learning. In *Advances in Chemistry Education Series* (p. 1-15). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781839164712-00001>
- Hofstein, A. et Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching : Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>
- Hofstein, A. et Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education : Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hofstein, A. et Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education : The state of the art. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(2), 105-107. <https://doi.org/10.1039/B7RP90003A>
- Jakeways, R. (1986). Assessment of A-level physics (Nuffield) investigations. *Physics Education*, 21(4), 212-214. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/21/4/003>
- Jenkins, A., Healey, M. et Zetter, R. (2007). *Linking Teaching and Research in Departments*.
- Johnstone, A. H. et Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the Laboratory; Some Thoughts from the Literature. *Univ. Chem. Educ*, 5(2), 42-91.
- Keller, V. A. et Kendall, B. L. (2017). Independent Synthesis Projects in the Organic Chemistry Teaching Laboratories : Bridging the Gap Between Student and Researcher. *Journal of Chemical Education*, 94(10), 1450-1457. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00093>
- Kempa, R. F. et Ward, J. F. (1975). The effect of different modes of task orientation on observations attained in practical chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 12, 69-76.
- Kirschner, P. A. et Meester, M. A. M. (1988). The laboratory in higher science education : Problems, premises and objectives. *Higher Education*, 17(1), 81-98. <https://doi.org/10.1007/BF00130901>
- Kirschner, P., Meester, M., Middelbeek, E. et Hermans, H. (1993). Agreement between student expectations, experiences and actual objectives of practicals in the natural sciences at the Open university of The Netherlands. *International Journal of Science Education*, 15(2), 175-197. <https://doi.org/10.1080/0950069930150206>
- Lamichhane, R. et Maltese, A. (2019). Enhancing Students' Laboratory Experiences in Undergraduate Chemistry. In T. Gupta et R. E. Belford (Éds.), *ACS Symposium Series* (Vol. 1318, p. 83-106). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2019-1318.ch006>

- Le Boterf, G. (2018). *Construire les compétences collectives : Coopérer efficacement dans les entreprises, les organisations et les réseaux de professionnels* (3e éd. 2018). Eyrolles.
- Legifrance, Article L123-3. (2013). Article L123-3. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000027747739
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. et Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory : An analysis of research, theory, and practice. In *Handbook of research on science education* (N. Lederman, S. Abel, p. 393-441). Lawrence Erlbaum.
- McComas, W. E. (1997). The nature of the laboratory experience : A guide for describing, classifying and enhancing hands-on activities. *CSTA Journal (spring)*, 6-9.
- Millar, R. (2010). *Analysing practical science activities to assess and improve their effectiveness*. The Association of Science Education. The University of York.
- Moore, J. W. (1998). The Boyer Report. *Journal of Chemical Education*, 75(8), 935. <https://doi.org/10.1021/ed075p935>
- Moyon, M., Parmentier, J., Nabec, L. et Riopel, M. (2022). Accompagner l'innovation pédagogique via la création d'une Chaire de recherche-action dédiée. In *Questions de Pédagogie dans l'Enseignement Supérieur 2022—(S')engager et pouvoir (d')agir* (p. 256-267). <https://hal.science/hal-04204596>
- Poumay, M. (2017). *Organiser la formation à partir des compétences : Un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur*. De Boeck.
- Poumay, M. et Georges, F. (2022). *Comment mettre en oeuvre une approche par compétences dans le supérieur ?* De Boeck supérieur.
- Poumay, M., Tardif, J. et Georges, F. (2017). *Organiser la formation à partir des compétences : Un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur*. De Boeck supérieur.
- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Reid, N. et Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(2), 172-185. <https://doi.org/10.1039/B5RP90026C>
- Reynders, G., Suh, E., Cole, R. S. et Sansom, R. L. (2019). Developing Student Process Skills in a General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 96(10), 2109-2119. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00441>
- Roberts, D. (2019). Higher education lectures : From passive to active learning via imagery? *Active Learning in Higher Education*, 20(1), 63-77. <https://doi.org/10.1177/1469787417731198>
- Rollnick, M., Zwane, S., Staskun, M., Lotz, S. et Green, G. (2001). Improving pre-laboratory preparation of first year university chemistry students. *International*

- Journal of Science Education*, 23(10), 1053-1071.
<https://doi.org/10.1080/09500690110038576>
- Rozière, E. (2010). John Dewey, une pédagogie de l'expérience. In *L'école autrement*. Ed. Russell, C. B. et Weaver, G. C. (2011). A comparative study of traditional, inquiry-based, and research-based laboratory curricula : Impacts on understanding of the nature of science. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 12(1), 57-67.
<https://doi.org/10.1039/C1RP90008K>
- Shulman, L. S. et Tamir, P. (1973). Research on teaching in the natural sciences. In *Second handbook of research on teaching* (R. M. W. Travers, p. 1098-1148).
- Simons, M. et Elen, J. (2007). The 'research-teaching nexus' and 'education through research' : An exploration of ambivalences. *Studies in Higher Education*, 32(5), 617-631. <https://doi.org/10.1080/03075070701573781>
- Singer, S. R., Hilton, M. L. et Schweingruber, H. A. (2006). *America's lab report : Investigations in high school science*. National Academies Press.
- Srikoon, S., Bunterm, T., Samranjai, J. et Wattanathorn, J. (2014). Research Synthesis of Research-based Learning for Education in Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 913-917. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.319>
- Sweller, J., Ayres, P. et Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory* (1. ed). Springer.
- Tardif, J. et Fortier, G. (2006). *L'évaluation des compétences : Documenter le parcours de développement*. Chenelière éducation.
- Taşner, V. et Gaber, S. (2018). Lev Vygotski, initiateur du constructivisme social et penseur insaisissable de l'éducation. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 79, 109-116. <https://doi.org/10.4000/ries.7089>
- Taylor, J. (2007). The teaching:research nexus : A model for institutional management. *Higher Education*, 54(6), 867-884. <https://doi.org/10.1007/s10734-006-9029-1>
- Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., Chambwe, N., Cintrón, D. L., Cooper, J. D., Dunster, G., Grummer, J. A., Hennessey, K., Hsiao, J., Iranon, N., Jones, L., Jordt, H., Keller, M., Lacey, M. E., Littlefield, C. E., ... Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476-6483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916903117>
- Tomic, S. (2011). Le cadre matériel des cours de chimie dans l'enseignement supérieur à Paris au XIXe siècle. *Histoire de l'éducation*, 130, 57-83. <https://doi.org/10.4000/histoire-education.2326>
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Éditions Retz.
- Tricot, A. et Chandler, P. (2015). Embodying cognition in the classroom : An Early Start to successful and healthy education. In *Educational Psychology Review* (Vol. 27, Numéro 3). Springer. <https://shs.hal.science/halshs-01880582>

- Tyler, R. W. et Hlebowitsh, P. S. (2013). *Basic principles of curriculum and instruction*. The University of Chicago Press.
- Van der Rijst, R. (2017). The Transformative Nature of Research-Based Education : A Thematic Overview of the Literature. In E. Bastiaens, J. Van Tilburg et J. Van Merriënboer (Éds.), *Research-Based Learning : Case Studies from Maastricht University* (p. 3-22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50993-8_1
- Vázquez-Villegas, P., Mejía-Manzano, L. A., Sánchez-Rangel, J. C. et Membrillo-Hernández, J. (2023). Scientific Method's Application Contexts for the Development and Evaluation of Research Skills in Higher-Education Learners. *Education Sciences*, 13(1), 62. <https://doi.org/10.3390/educsci13010062>
- Veiga, N., Luzardo, F., Irving, K., Rodríguez-Ayán, M. N. et Torres, J. (2019). Online pre-laboratory tools for first-year undergraduate chemistry course in Uruguay : Student preferences and implications on student performance. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 229-245. <https://doi.org/10.1039/C8RP00204E>
- Wannapiroon, P. (2014). Development of Research-based Blended Learning Model to Enhance Graduate Students' Research Competency and Critical Thinking Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 136, 486-490. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.361>
- Watts, F. M., Spencer, J. L. et Shultz, G. V. (2021). Writing Assignments to Support the Learning Goals of a CURE. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 510-514. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00915>
- Weaver, G. C., Russell, C. B. et Wink, D. J. (2008). Inquiry-based and research-based laboratory pedagogies in undergraduate science. *Nature Chemical Biology*, 4(10), 577-580. <https://doi.org/10.1038/nchembio1008-577>
- Winkelmann, K., Baloga, M., Marcinkowski, T., Giannoulis, C., Anquandah, G. et Cohen, P. (2015a). Improving Students' Inquiry Skills and Self-Efficacy through Research-Inspired Modules in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 247-255. <https://doi.org/10.1021/ed500218d>
- Winkelmann, K., Baloga, M., Marcinkowski, T., Giannoulis, C., Anquandah, G. et Cohen, P. (2015b). Improving Students' Inquiry Skills and Self-Efficacy through Research-Inspired Modules in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 247-255. <https://doi.org/10.1021/ed500218d>
- Wolff, M., Wagner, M. J., Poznanski, S., Schiller, J. et Santen, S. (2015). Not Another Boring Lecture : Engaging Learners with Active Learning Techniques. *The Journal of Emergency Medicine*, 48(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.09.010>

- Wright, G. (2011). Student-Centered Learning in Higher Education. *The International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 23, 92-97.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:154833238>
- Yeoman, K., Bowater, L. et Nardi, E. (2016). The representation of scientific research in the national curriculum and secondary school pupils' perceptions of research, its function, usefulness and value to their lives. *F1000Research*, 4, 1442.
<https://doi.org/10.12688/f1000research.7449.2>
- Zubrick, A., Reid, I., Rossiter, P. et Australia. Dept of Education, T. and Y. A. (DETYA). E. and I. P. (2001). *Strengthening the nexus between teaching and research*. Evaluations and Investigations Programme, Higher Education Division, Department of Education, Training and Youth Affairs.

Annexe 1– Grilles d’évaluation

Grille d’évaluation pour le rapport du TP sur la sécurité (TP 1)

Noms prénoms												
	Encadrant·e 1						Encadrant·e 2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Respect des consignes (10%)												Note
1 Structuration avec un résumé, une introduction générale et pour chaque expérience une introduction, une description, une partie résultat et discussion et une conclusion, une conclusion générale												
2 Citer ses sources												
Rapport / Site - Forme (30%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
3 Clarté de l'écrit (l'utilisation de schéma peut être intéressant plutôt que de long texte)												
4 Phrases bien structurées (sujet /verbe/complément) sans trop de fautes de français et d'orthographe.												
5 Originalité (outils pédagogiques, figures et mise en page)												
Rapport / Site - Fond (60%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
6 Vocabulaire scientifique rigoureux												
7 Analyse des résultats (modèles utilisés, comparaison, exhaustivité...)												
8 Interprétation des résultats et regard critique sur ceux-ci												
9 Recherche bibliographique												
											NOTE Encadrant s	

Grille d'évaluation pour le rapport d'analyse du TP sur l'analyse de l'eau (TP 2)

<i>Noms prénoms</i>														
		Encadrant-e 1					Encadrant-e 2							
<i>Respect des consignes (10%)</i>		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	Note
1	Structuration avec un tableau d'analyse et des annexes (description et analyse des résultats)													
2	Détermination des incertitudes et comparaisons (Z-score)													
<i>Rapport - Forme (30%)</i>		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
3	Tableau d'analyse avec comparaison aux données fabricant, écarts relatifs, normes etc													
4	Clarté de l'écrit dans les annexes (l'utilisation de schémas peut être intéressant plutôt que de longs textes)													
5	Phrases bien structurées dans les annexes (sujet /verbe/complément) sans faute de français et d'orthographe.													
<i>Rapport - Fond (60%)</i>		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
6	Vocabulaire scientifique rigoureux													
7	Analyse des résultats (modèles utilisés, comparaison, exhaustivité...)													
8	Interprétation des résultats et regard critique sur ceux-ci													
9	Comparaison des résultats avec d'autres groupes ou mise en commun des résultats													
10	Suggestion de solutions aux problèmes rencontrés													
													NOTE	
													Encadrants	

Grille d'évaluation pour le poster du TP sur la couleur et la luminescence (TP 3)

		Noms prénoms													
		Encadrant·e 1						Encadrant·e 2							
	Poster scientifique – Forme (30%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	Note	
1	Structuration du poster (introduction, mise en évidence des différentes parties et des résultats importants)														
2	Clarté et pédagogie (équilibre texte et figure, lisibilité des figures, schémas clairs, outils pédagogiques)														
3	Originalité (outils pédagogiques, mise en page, liens utiles...)														
	Poster scientifique - Fond (30%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
4	Présentation des enjeux, du contexte de l'étude et des perspectives, en respectant un vocabulaire rigoureux														
5	Analyse et interprétation des résultats														
6	Conclusion et perspectives du travail clairement exposées.														
	Présentation orale d'un poster scientifique - Forme (20%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
7	Discours clair, pédagogique et cheminement logique														
8	Utilisation du poster comme support d'explications														
	Réponses aux questions (20%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
9	Maîtrise des aspects techniques et scientifiques liée à l'expérience														
10	Compréhension des résultats et des techniques et regard critique sur les résultats présentés														
								NOTE Encadrants							

Grille d'évaluation pour l'article du TP sur les nanomatériaux (TP 4)

Noms prénoms															
		Encadrant-e 1						Encadrant-e 2							
Respect des consignes (20%)		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	Note	
1	Structuration avec un résumé, une introduction, une partie résultats et discussion et une conclusion														
2	Citer ses sources														
Article scientifique – Forme (30%)		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
3	Mise en évidence des différentes parties et des résultats importants														
4	Clarté et pédagogie (équilibre texte et figures, lisibilité des figures, schémas clairs, outils pédagogiques)														
5	Originalité (outils pédagogiques, figures et mise en page)														
6	Suivre un cheminement logique entre les parties et dans les parties														
7	Description des résultats														
Article scientifique – Fond (30%)		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
8	Vocabulaire scientifique rigoureux														
9	Analyse des résultats (modèles utilisés, comparaison, exhaustivité...)														
10	Interprétation des résultats et regard critique sur ceux-ci														
										NOTE Encadrants					

Grille d'évaluation pour la vidéo du TP sur la chimie du quotidien (TP 5)

<i>Noms prénoms</i>														
		Encadrant-e 1						Encadrant-e 2						
	Respect des consignes (25%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	Note
1	Respecter le temps (3') - Grille: >4'40 (0) ; 4'20-4'40 (1); 4'-4'20 (2); 3'40-4'(3); 3'20 -3'40 (4); 2'40-3'20(5)													
2	Citer ses sources													
	Vidéo - Forme (37,5%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
3	Structuration de la vidéo (introduction, mise en évidence des différentes parties et des résultats importants)													
4	Clarté et pédagogie (équilibre texte et animation, lisibilité des figures, schémas clairs, outils pédagogiques).													
5	Originalité (animations, explications, format)													
	Vidéo - Fond (37,5%)	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
6	Vocabulaire scientifique rigoureux													
7	Analyse et interprétation des résultats													
8	Conclusion et perspectives du travail clairement exposées													
											NOTE			
											Encadrants			

Annexe 2 – Questionnaire étudiant·es

L'objectif de ce questionnaire est d'avoir votre avis (allant de 1- Pas du tout d'accord à 4- Tout à fait d'accord) sur le fait ou non qu'une UE de la formation vous a permis d'acquérir les compétences suivantes :

C1 - Adopter une démarche scientifique pour résoudre un problème en chimie nécessitant la mobilisation des connaissances acquises pendant la formation

- C1-S : Savoirs scientifiques

-C1-SF : Savoir-faire analyse, interprétation, communication, observation

-C1-SE : Autonomie, capacité d'adaptation, sens de l'organisation, rigueur, curiosité, esprit critique, travail en équipe

C2- Adopter de bonnes pratiques de laboratoire respectant les règles d'hygiène et sécurité pour la réalisation de synthèse et caractérisation de composés chimiques.

- C2-S : Savoirs scientifiques (techniques expérimentales, règles d'hygiène et sécurité...)

- C2-SF : Savoir-faire procédural (suivre un protocole, gestes techniques...)

- C2-SE : Sens de l'organisation, rigueur, réactivité (cahier de laboratoire...)

C3- Appréhender un environnement de travail au travers du milieu de la recherche et l'enseignement

- C3-S : Connaissances des institutions et de leur fonctionnement

- C3-SF : Savoir-faire procédural (recherche bibliographique, rédaction de supports de communication)

- C3-SE : Autonomie, capacité d'adaptation et d'intégration, travail en équipe, sens de la communication, sens de l'organisation

Le retour est à faire pour chacune des UE. Nous avons conscience qu'il peut s'agir d'un travail long et fastidieux mais il s'avère important pour nous afin de pouvoir faire évoluer la formation.

Remarque : C1, C2 et C3 sont des macro-compétences et C1S, C1SE...des micro-compétences. Nous vous demandons de vous positionnez sur les micro-compétences.

UE N°1				
	1	2	3	4
Adopter une démarche scientifique- C1-S : Savoirs scientifiques				
Adopter une démarche scientifique - C1-SF : Savoir-faire analyse, interprétation, communication, observation				
Adopter une démarche scientifique - C1-SE : Autonomie, capacité d'adaptation, sens de l'organisation, rigueur, curiosité, esprit critique, travail en équipe				
Adopter de bonnes pratiques de laboratoire C2-S : Savoirs scientifiques (techniques expérimentales, règles d'hygiène et sécurité...)				
Adopter de bonnes pratiques de laboratoire- C2-SF : Savoir-faire procédural (suivre un protocole, gestes techniques...)				

Adopter de bonnes pratiques de laboratoire-- C2-SE : Sens de
l'organisation, rigueur, réactivité (cahier de laboratoire)

Appréhender un environnement de travail - C3-S : Connaissances des
institutions et de leur fonctionnement

Appréhender un environnement de travail - C3-SF : Savoir-faire
procédural (recherche bibliographique, rédaction de supports de
communication)

Appréhender un environnement de travail- C3-SE : Autonomie, capacité
d'adaptation et d'intégration, travail en équipe, sens de la
communication, sens de l'organisation
