

De l'intérêt de la réflexion interdisciplinaire pour l'enseignement de la chimie

Résumé Différentes expériences pédagogiques ont montré que la mise en place d'un enseignement interdisciplinaire fonctionne uniquement si nous prenons au préalable le temps de questionner les identités disciplinaires. Aussi, cet article propose une démarche permettant à tout enseignant de chimie, accompagné d'enseignants d'autres disciplines, de faire remonter à la surface certains des postulats et des méthodes implicites de son cours. Puis il présente un exemple d'application de cette réflexion et de ses conséquences sur l'enseignement de chimie.

Mots-clés Enseignement, interdisciplinarité, discipline, postulat, méthode.

Nous souhaitons témoigner de la manière dont dix ans de pratique interdisciplinaire au sein de nos enseignements et de notre recherche ont modifié notre enseignement de la chimie. Par ce témoignage, nous aimerions vous convaincre de l'intérêt de la réflexion interdisciplinaire, selon certaines modalités, pour la construction d'un enseignement de chimie plus solide car mieux ancré dans ses fondamentaux.

Tout d'abord, au risque de commencer par une banalité, rappelons que la mise en place d'un enseignement interdisciplinaire nécessite un dialogue entre des disciplines différentes, et par conséquent un dialogue entre des enseignants de différentes disciplines. Cependant, dans le cadre de la licence interdisciplinaire « Sciences et Humanités » (S&H) d'Aix-Marseille Université (AMU) [1], nous avons pu remarquer qu'un simple dialogue, même prolongé, entre enseignants aboutissait rarement à une compréhension suffisante pour mettre en place de véritables liens interdisciplinaires. Nous sommes convaincus aujourd'hui que cette incompréhension relève du fait que les discours disciplinaires reposent sur un nombre important de postulats implicites et de méthodes de démonstration variant considérablement d'une discipline à l'autre ; autant d'éléments qui s'opposent à la mise en perspective spontanée des discours disciplinaires.

En revanche, nous avons pu observer que lorsque plusieurs collègues se trouvaient réunis en classe pour réaliser un même enseignement, ou uniquement pour assister au cours de l'un d'entre eux, leurs échanges se trouvaient très sensiblement approfondis. Ainsi, avons-nous remarqué que le fait d'écouter un collègue qui réalise son cours devant une classe nous amène à mieux saisir les enjeux de son propos en raison de la qualité démonstrative de son discours envers les étudiants. De plus, lors d'un cours réalisé conjointement par deux enseignants, les questions naïves des étudiants, qui relèvent souvent d'interrogations extérieures aux deux disciplines, conduisent chaque enseignant à ajuster sa réponse à celle du second collègue. Dans ce cas, on repère souvent des questions d'étudiants que le collègue ne comprend pas tout à fait, du fait qu'elles n'intègrent pas les postulats de sa discipline, précisément parce que des étudiants en cours de formation – a fortiori si celle-ci est interdisciplinaire – ne sont encore formatés par aucune discipline.

Nous conseillons donc de participer régulièrement aux séances de cours des enseignants avec lesquels on souhaiterait construire un discours interdisciplinaire, puisque cette situation, mieux qu'aucune autre, met en évidence les

convergences et les incompatibilités entre les différents discours disciplinaires. De plus, cette situation amène à comprendre la confusion que peut engendrer un enseignement interdisciplinaire si chaque intervenant ne prend pas le soin de spécifier précisément son point de vue disciplinaire, c'est-à-dire les postulats particuliers qui orientent nécessairement la manière dont sa discipline envisage le monde, et les méthodes qu'elle reconnaît comme susceptibles de fournir des preuves. Ce faisant, ce dialogue interdisciplinaire met également en évidence le fait que malgré leur efficacité et leur robustesse, ces postulats et ces méthodes sont conventionnels, puisque d'autres disciplines tout aussi respectables ne les partagent pas. Ce dialogue attire donc notre attention sur la nécessité de les formuler au cours des enseignements disciplinaires ou interdisciplinaires, puisque la réussite des étudiants dépend absolument de leur capacité à s'emparer à leur tour de ces postulats et de ces méthodes.

Un atelier interdisciplinaire en vue d'explicitier les postulats et les méthodes de la chimie

Forts de ce constat, nous avons mis en place en 2019 un groupe de recherche au sein de l'Institut de Recherche pour l'Enseignement des Sciences (IRES) d'AMU, constitué de deux enseignants-chercheurs (en chimie et en physique) et de quatre enseignants du secondaire (en sciences de la vie et de la Terre (SVT), en français et en philosophie) [2-3]. Ce groupe s'applique à expliciter et à comparer les spécificités des disciplines enseignées par chacun de ses membres, à l'aide d'une grille commune d'analyse inspirée de travaux de Michel Develay [4]. Notre démarche repose donc sur l'hypothèse que toute discipline enseignée peut être déclinée selon cinq catégories :

1. Les **outils** propres à la discipline dont l'étudiant doit acquérir la maîtrise.
2. Les **exercices** canoniques proposés aux étudiants.
3. Les **connaissances** que l'étudiant doit être capable de conscientiser et de formuler clairement à l'issue de l'enseignement.
4. Les **habiletés** (procédures, techniques) que l'étudiant doit savoir mettre en œuvre presque par automatisme.
5. Les **postulats** interprétatifs et les **méthodes** d'administration de la preuve propres à la discipline.

Le résultat du travail sur ces catégories réalisé pour la chimie se trouve résumé dans le *tableau 1*.

Tableau I - La grille d'analyse librement inspirée des travaux de Develay nous a amenés à proposer le tableau suivant pour l'enseignement de la chimie. Nos réponses ne sont posées qu'à titre d'exemples. Nous savons en effet que bien que contenant une part de généralité, la forme de ce tableau dépend du regard singulier que porte celui qui l'a rempli sur l'enseignement de sa discipline. Son contenu est d'autant plus profitable qu'il aura été le résultat d'un travail personnel, mené conjointement, si possible, avec des enseignants d'autres disciplines. C'est donc à cet exercice collectif de remplissage de la même grille que nous vous invitons, plutôt qu'à l'acceptation du tableau auquel nous sommes parvenus.

1. Outils de la chimie	
Nature de ces outils	Pourquoi est-il nécessaire de les maîtriser ?
1. La verrerie	Savoir nommer la verrerie, l'utiliser (diluer, ajuster) et maîtriser les conditions de son utilisation répond à l'exigence de partager un langage commun fondant la communauté des chimistes, mais aussi à la notion d'incertitude de la mesure en chimie (<i>voir Méthodes</i>).
2. Les instruments de mesure (balance, pHmètre, spectrophotomètre, etc.)	Puisque la chimie est une science qui administre la preuve par la mesure (<i>voir Méthodes</i>), il faut acquérir la maîtrise technique de ces différents instruments et les fondements théoriques sur lesquels reposent ceux-ci. Les étudiants doivent non seulement savoir utiliser ces appareillages mais aussi expliquer comment ils fonctionnent. Ils doivent ainsi être capables de décrire la grandeur mesurée et le formalisme suivi pour obtenir la grandeur recherchée et l'incertitude associée.
3. Le matériel de protection de soi et de l'environnement	L'étudiant doit, avant toute expérience, prendre connaissance de la fiche de toxicité de tout produit étudié (<i>voir Habiletés</i>) afin d'adapter son matériel de protection. L'enseignant doit rappeler à l'étudiant que la chimie est une discipline qui peut être dangereuse pour lui et son environnement, et l'inviter à une attitude responsable à cet égard.
4. Des ouvrages de cours et d'exercices	Ces ouvrages apportent une vision complémentaire au cours oral et des exercices d'entraînement supplémentaires nécessaires à la maîtrise des habiletés. Savoir les utiliser, c'est aussi savoir qu'ils contiennent des connaissances fondamentales de la chimie et être en mesure de les retrouver.
5. Des ressources documentaires (articles, livres, films, etc.)	Ces ressources permettent de développer une réflexion sur la hiérarchie des sources de discours, qui reposera en partie sur l'évaluation de leur adéquation avec les postulats et les méthodes de la discipline. La formation des étudiants au tri de l'information est fondamentale.
2. Exercices canoniques de la chimie	
Nature de ces exercices	Pourquoi est-il nécessaire de les pratiquer ?
1. Questions de cours (définitions, lois, principes, etc.)	Connaitre les définitions, les lois et les principes de la chimie répond à la nécessité de partager un langage commun. Les étudiants doivent de plus maîtriser leurs conditions d'application. Ce sont en fait ce que l'on appelle les connaissances de la chimie qu'il s'agit d'assimiler par ce moyen. Celles-ci constituent les briques élémentaires des raisonnements mis en jeu lors de la résolution des exercices élémentaires et des problèmes complexes.
2. Manipulations du tableau périodique	Le tableau périodique est un outil fondamental de la chimie dont il faut développer une connaissance et une habileté de manipulation afin de justifier toute transformation (<i>voir Postulats</i>). C'est pourquoi il faut proposer à l'étudiant des exercices pour s'y familiariser.
3. Exercices élémentaires de chimie	Ils s'appuient généralement sur l'application des définitions, des lois et des principes à un contexte particulier. Les applications numériques sont introduites au sein de ces exercices afin de sensibiliser les étudiants au sens d'une unité de mesure et de la valeur numérique associée à une grandeur. Ces exercices techniques permettent de mieux maîtriser par leur mise en œuvre les connaissances de la chimie et de développer lentement une habileté à résoudre les problèmes de chimie.
4. Problèmes complexes	La résolution de ces problèmes met en œuvre plusieurs tâches élémentaires. Elle nécessite non seulement des connaissances mais aussi une habileté préalable à résoudre ces tâches, afin de pouvoir se concentrer sur leur articulation pour la résolution d'un problème complexe. Enfin, elle ne peut se faire sans une application des postulats et des méthodes de démonstration de la discipline et participe donc, quand ceux-ci ne sont pas explicités, à leur assimilation inconsciente par l'étudiant.
5. Activités expérimentales [5] - en suivant un protocole - en établissant un protocole	L'étudiant doit savoir suivre un protocole défini afin de développer une habileté à reproduire les gestes techniques du chimiste. À partir d'un protocole donné, l'étudiant doit savoir schématiser et comprendre les expériences mises en place, extraire les résultats de son expérience et les analyser de façon pertinente à la lumière de ses connaissances. Mais l'étudiant doit aussi apprendre à problématiser et à construire une démarche expérimentale complète. Une activité expérimentale sans protocole fourni entraîne l'étudiant à formuler un problème à partir des postulats de la chimie, à émettre des hypothèses plausibles dans son cadre et à appliquer les méthodes de la chimie permettant d'éprouver ces hypothèses.

6. Mémorisation des noms, des formules et des propriétés des composés usuels	L'enseignant pointe régulièrement ces composés usuels au sein de son cours, des exercices, des problèmes et des séances expérimentales afin d'aider chaque étudiant à construire sa bibliothèque mentale de chimie. Ainsi, celle-ci lui met-elle à disposition un grand nombre de connaissances qui lui permettront de résoudre plus rapidement et plus sereinement des problèmes de chimie.
3. Connaissances de la chimie	
Nature de ces connaissances	Pourquoi est-il nécessaire de les acquérir ?
<p>1. Les définitions, les lois et les principes de la chimie, ainsi que les propriétés des produits les plus usuels</p> <p>2. Les postulats et les méthodes de la chimie</p> <p>3. Les modes de résolution d'un problème de chimie</p> <p>4. La manière de mener une expérience de chimie</p>	<p>Ces connaissances sont nécessaires à la compréhension de toute transformation chimique de la matière (<i>voir Postulats</i>). Elles constituent le langage disciplinaire du chimiste.</p> <p>Si leur application est absolument nécessaire à la pratique chimique, celle-ci ne se fait pas toujours consciemment, mais souvent par reproduction du discours ou du geste de l'enseignant, qui les intègre forcément. La connaissance consciente de ces postulats et de ces méthodes permet toutefois une meilleure maîtrise de la chimie, mais aussi une meilleure visibilité de ses possibles connexions avec d'autres disciplines.</p> <p>Résoudre un problème de chimie est en bonne partie une habileté qui se développe par la pratique (<i>voir plus bas</i>). Cette habileté est toutefois améliorée par une connaissance explicite des modes de résolution d'un problème de chimie.</p> <p>De même, s'il est a priori suffisant de savoir réaliser une expérience de chimie avec habileté, l'étudiant ne pourra que s'améliorer s'il sait, consciemment, comment il faut le faire.</p>
4. Habiletés de la chimie	
Nature de ces habiletés	Pourquoi est-il nécessaire de les développer ?
<p>1. Traduire rapidement chaque composé en sa formule moléculaire et en déduire systématiquement la nature de la transformation étudiée</p> <p>2. Différencier rapidement les espèces actives et spectatrices dans le cadre de la transformation étudiée (par exemple déterminer la réaction prépondérante dans le cadre des solutions aqueuses)</p> <p>3. Penser systématiquement le problème posé aux trois niveaux de la chimie (macroscopique, microscopique et symbolique)</p> <p>4. Rechercher automatiquement la fiche de sécurité de tout composé manipulé</p> <p>5. Résoudre un problème de chimie</p> <p>6. Mener une expérience de chimie</p>	<p>Cette habileté est nécessaire à la modélisation de toute transformation (<i>voir Postulats et Méthodes</i>).</p> <p>Cette habileté est nécessaire afin de résoudre tout exercice canonique de chimie.</p> <p>Cette habileté, repose sur le postulat de la chimie que toute transformation macroscopique peut être expliquée par une recombinaison d'éléments microscopiques et symbolisée par une équation de réaction.</p> <p>Elle est nécessaire à la maîtrise des méthodes de la chimie. La toxicité d'un produit implique un matériel de protection adéquat (<i>voir Outils</i>).</p> <p>La résolution d'un problème de chimie repose sur une habileté de l'étudiant à articuler ses connaissances chimiques conformément aux postulats et aux méthodes de démonstration reconnues par la discipline, qui s'acquiert essentiellement par la pratique.</p> <p>Il en va de même de la mise en place et de l'articulation des multiples étapes d'une expérience de chimie qui garantissent sa conformité aux méthodes de la discipline, et donc sa fiabilité.</p>
5. Postulats et méthodes de la chimie	
<p>Postulats</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Il existe un nombre fini d'éléments composant la matière. 2. Les transformations de la matière conservant ces éléments et consistant en leur réorganisation pour former de nouveaux composés sont dites chimiques. 3. Les problèmes abordés par la chimie sont ceux qui peuvent être modélisés par ces transformations. 4. Les lois de la chimie appliquées dans le cadre de ces transformations sont constantes dans le temps et dans l'espace. <p>Méthodes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La chimie administre la preuve par la mesure et par le calcul. 2. L'ensemble des transformations est modélisé à l'échelle de la molécule. 3. Une transformation résulte d'une réaction entre différentes espèces ; celle-ci est représentée à l'aide d'une équation de réaction respectant les principes de conservation de la matière et de la charge. 4. Le chimiste articule en permanence les niveaux macroscopique, microscopique et symbolique d'une transformation. 5. La chimie est une science expérimentale : les expériences doivent rendre compte de la théorie. 6. La chimie est une science analytique qui s'autorise à décomposer les problèmes complexes en questions simples, et à postuler que la compréhension et l'articulation de ces questions rendra compte du comportement du tout. 	

Ce tableau est le produit individuel d'un échange de plusieurs heures entre l'enseignante de chimie et les autres membres du groupe, issus de disciplines diverses. Il est important de retenir que la mise en contraste des pratiques disciplinaires nous a permis de pointer nombre de spécificités de la chimie, si évidentes qu'elles étaient devenues imperceptibles à l'enseignante de chimie, ou qu'elle ne saisissait pas la nécessité de les spécifier aux étudiants.

Ce tableau n'a pourtant pas vocation à être universel ou prescriptif. Ce travail n'a en effet nullement pour objectif de produire une définition complète de la chimie enseignée en licence. Cette grille a été conçue pour être manipulée et remplie par tout enseignant désireux de faire une introspection de ses propres pratiques, seul ou en groupe, afin de lui fournir une voie pour expliciter progressivement les fondements de sa discipline et pour questionner sa manière de l'enseigner. Cette démarche ne se limite d'ailleurs pas à produire une série d'items correspondant à chacune des catégories. Elle requiert pour chaque item non seulement de justifier son rôle dans l'enseignement de la discipline, mais aussi de l'articuler avec les autres niveaux de la grille. Les outils et les exercices, relativement simples à lister car purement descriptifs de l'enseignement lui-même, doivent aider à faire émerger le contenu plus subtil des connaissances et des habiletés à maîtriser dans la discipline. Et ces connaissances et ces habiletés, qui résultent de la longue histoire de la discipline, relèvent à leur tour des postulats et des méthodes qui lui sont propres ; elles permettent donc, quand elles sont questionnées, de nous aider à reprendre conscience de ceux-ci.

Nous tenions donc à témoigner ici du fait que cette réflexion collective interdisciplinaire sur nos disciplines nous a aidés à mieux repérer les implicites disciplinaires de notre discours et à préciser plus fréquemment aux étudiants :

- ce qui relève d'une connaissance fondamentale qu'ils doivent mémoriser et comprendre ;
- ce qui relève d'une habileté dans laquelle ils ne progresseront que par une pratique régulière ;
- ce qui seul constitue une preuve parce que relevant des méthodes de la discipline ;
- les choix qui peuvent ne pas leur sembler naturels mais qu'ils doivent accepter car ils relèvent des postulats de notre cours.

Or, l'ensemble de ces éléments nous semble pouvoir offrir une compréhension plus profonde de la discipline à une proportion plus grande d'étudiants de licence de chimie. De plus, ce travail s'est avéré un outil pédagogique précieux pour notre enseignement interdisciplinaire au sein de la licence S&H, où nous pensons qu'il nous a permis d'éclaircir de nombreuses confusions conceptuelles, ainsi que pour notre enseignement pluridisciplinaire en licence SVT, comme nous en témoignons ci-après.

Une tentative d'application de ce travail de recherche dans le cadre de la licence SVT

Au sein de la licence SVT d'AMU, nous avons créé en 2012 un parcours dont l'objectif est de donner aux étudiants le bagage nécessaire pour intégrer une école vétérinaire par la voie du concours B [6]. La chimie est l'une des épreuves écrites d'admissibilité de ce concours. Son programme est exigeant et difficile à maîtriser pour des étudiants inscrits au sein d'une formation dédiée presque exclusivement à la biologie et à la géologie. La plupart de ces étudiants ne possèdent donc

généralement pas les méthodes propres à notre discipline et font face à de nombreuses difficultés lors de la résolution des problèmes proposés. Afin de les aider à franchir ces obstacles, riches du travail d'analyse présenté précédemment, nous avons choisi de dédier régulièrement un moment de notre cours à la mise en évidence des connaissances, des méthodes et des postulats de la chimie, que nous mettons en contraste avec ceux de la biologie que les étudiants de cette formation maîtrisent mieux. Voici quelques éléments pédagogiques de ces séances.

Conformément à nos conclusions (*tableau I/Postulats*), nous démarrons l'année en signifiant aux étudiants que pour faire de la chimie, par essence, il faut postuler que tous les problèmes se résolvent à l'échelle de la molécule. Et pour qu'ils comprennent la portée de ce postulat, nous les questionnons à propos de l'échelle étudiée dans le cadre de leurs enseignements de biologie. Or, nous y découvrons que le vivant est dans un état de transformation permanent qui est étudié, comme en chimie, au niveau moléculaire et nos propos font ici écho aux enseignements de biologie moléculaire. Cependant, cette transformation se situe aussi aux niveaux cellulaire, physiologique et écologique. Une description fine du vivant implique donc une connaissance détaillée de mécanismes non plus à une échelle unique, comme en chimie, mais à différentes échelles, de l'ADN à l'écosystème.

Par ailleurs, nous sensibilisons ces étudiants au fait que les questions posées au sein des différents sujets de concours les amènent à lier la structure de la matière à sa réactivité (*tableau I/Connaissances*). Or le terme de structure est un élément clé de la biologie. Cependant, dans le contexte de cette discipline, il est associé à la notion de fonction. Il est alors essentiel que l'étudiant comprenne que séparée de son contexte, c'est-à-dire extraite de la cellule, toute structure, par exemple un acide aminé, n'est qu'une molécule organique. Elle ne possède plus de fonction particulière. Il n'existe pas de chose telle que la matière vivante en dehors des organismes. De plus, la structure de l'organisme englobe son passé. L'ordre biologique actuel renferme l'expérience historique acquise par l'organisme au cours de son évolution. Cette notion historique est évidemment totalement absente des sujets d'étude de la chimie dont il est postulé que les lois sont constantes dans le temps (*tableau I/Postulats*).

L'un des chapitres clés de l'enseignement de la chimie au sein de ce parcours lie la thermodynamique et la réactivité. Dans ce contexte, nous justifions la transformation de la matière en nous appuyant sur des échanges d'énergie et de matière. En revanche, nous attirons l'attention des étudiants sur le fait que le fonctionnement du vivant s'appuie non seulement sur ces mêmes échanges de matière et d'énergie, mais également sur la circulation d'informations au sein des êtres vivants afin qu'ils se renouvèlent et se développent, et de génération en génération afin qu'ils se reproduisent.

Enfin, la notion d'équilibre est un objet fondamental dans le cadre de notre discipline que nous développons tantôt au niveau macroscopique, tantôt au niveau microscopique (*tableau I/Habilités*). Il est loin d'être évident pour les étudiants de définir et de maîtriser cette notion. Afin de les aider face à cette difficulté, nous avons choisi de définir désormais l'équilibre en chimie en écho aux systèmes vivants hors équilibre dans un état quasi stationnaire que manipulent régulièrement les étudiants inscrits en licence SVT. Le *tableau II* met de même en évidence un certain nombre de termes que nous comparons dans le cadre de cet enseignement.

Tableau II - Ce tableau présente quelques contrastes que nous mettons en évidence entre chimie et biologie au cours des enseignements de thermodynamique au sein de la licence SVT.

Notions de thermodynamique chimique	Notions de bioénergétique
Système fermé	Système ouvert
État de référence	État biologique de référence
Potentiel de référence	Potentiel biologique de référence
Transformations endergonique et exergonique	Couplage de réactions
Enthalpie libre de réaction	Affinité chimique
État d'équilibre	État stationnaire de non-équilibre

Nous pratiquons ces comparaisons depuis deux ans seulement. Mais malgré le peu de recul sur cette expérience, nous osons affirmer que ces moments pédagogiques particuliers aident les étudiants à poser des raisonnements plus rigoureux en chimie en raison des similitudes et des différences qu'ils perçoivent désormais entre notre discipline et la biologie qu'ils pratiquent quotidiennement. Nous observons d'ailleurs que les étudiants questionnent désormais presque systématiquement les fondements des méthodes que nous utilisons pour résoudre les problèmes de chimie proposés au concours. Dernièrement, notre collègue enseignante de biologie dans la formation nous a à son tour spontanément contactés pour témoigner de sa surprise et de son plaisir quant à la profondeur des questions que lui ont posées ces mêmes étudiants, cherchant à comparer les explications développées au sein de son cours de bioénergétique aux raisonnements que nous avons posés pour résoudre des problèmes de thermodynamique chimique. Ce témoignage nous convainc davantage encore de l'intérêt d'explicitier aux étudiants la spécificité de nos disciplines afin de les aider à construire de manière cohérente l'ensemble des connaissances développées au sein de leur formation, que celle-ci soit disciplinaire, pluridisciplinaire ou interdisciplinaire.

Interdisciplinarité et identité disciplinaire

Généralement formés au sein d'une communauté disciplinaire relativement fermée, nous pouvons être tentés de penser que le discours de notre discipline va de soi. Or, comme pour toute discipline, il repose sur l'acceptation préalable de postulats et de méthodes propres, qui font justement la spécificité de la discipline. Nous avons ainsi tenté de montrer qu'une collaboration interdisciplinaire approfondie mène nécessairement à ce constat, car elle ne peut fonctionner que si l'on prend le temps, avec les collaborateurs, de questionner les spécificités disciplinaires. Dès lors, nous plaçons pour une explicitation des postulats et des méthodes de la chimie non seulement au sein des enseignements pluri- ou interdisciplinaires, afin que

les étudiants ne soient pas noyés dans un mélange de genres indistincts et confus, mais aussi au sein des enseignements disciplinaires, où des éclairages sur les fondements épistémologiques de la discipline doivent permettre aux étudiants de mieux l'appréhender. Aussi avons-nous proposé et expérimenté une méthode qui amène tout enseignant volontaire et accompagné d'enseignants d'autres disciplines, à faire remonter à la surface les postulats et les méthodes implicites de son cours afin de pouvoir les expliciter aux étudiants.

[1] *Sciences et Humanités : décloisonner les savoirs pour reconstruire l'université*, Collectif, E. Audureau (dir.), Presses Universitaires de Provence, 2019.

[2] F. Boulc'h, M. Bascaules, M. Chrétien, J. Tonussi-Reboh, G. Tonussi, C. Noûs, O. Morizot, De l'interdisciplinarité aux disciplines, et réciproquement. Retour sur une expérience pédagogique, *Revue Intelligibilité du numérique*, 2020, 1.

[3] O. Morizot, M. Bascaules, M. Chrétien, J. Tonussi-Reboh, G. Tonussi, C. Noûs, F. Boulc'h, Où pratiquer l'interdisciplinarité clarifie l'enseignement disciplinaire, *Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Science*, 2022, 11 (à paraître).

[4] M. Develay, Pour une épistémologie des savoirs scolaires, *Pédagogie collégiale*, 1993, 7, p. 35-40

[5] Pour compléter cette description succincte, voir une présentation d'organisation des activités expérimentales de chimie : M.K. Seery, H.Y. Agustian, X. Zhang, A framework for learning in the chemistry laboratory, *Isr. J. Chem.*, 2019, 59, p. 546-553.

[6] Informations complémentaires relatives à ce concours : www.concours-agro-veto.net/spip.php?rubrique334 (consulté le 3/12/2021).

Florence BOULC'H,

Maitresse de conférences en chimie, Laboratoire MADIREL (Matériaux Divisés, Interfaces, Réactivité, Électrochimie, UMR 7246), Aix-Marseille Université.

Olivier MORIZOT,

Maitre de conférences en physique et en histoires des sciences, Centre Gilles Gaston Granger (UMR 7304), Aix-Marseille Université.

*florence.boulch@univ-amu.fr ; olivier.morizot@univ-amu.fr

