

Faculté des sciences

Innovation et numérisation de l'enseignement de la chimie au niveau universitaire et secondaire supérieur

Auteur : Elyes Hassani

Promoteurs : Prof. Yann Garcia

Prof. Pierre Sutra

Lecteurs : Prof. Olivier Riant

Prof. Michael Singleton

Prof. Valérie Wathelet

Année académique 2019-2020

Master en sciences chimiques à finalité didactique

Remerciements

Merci au Prof. Y. Garcia de m'avoir accepté au sein de son équipe de recherche pour la réalisation de mon mémoire, de m'avoir encadré et conseillé face à mes difficultés et questionnements et de m'avoir beaucoup appris en chimie inorganique, analytique mais aussi en didactique.

Merci au Prof. P. Sutra d'avoir accepté d'être mon co-promoteur avec le Prof. Garcia dans le cadre de ce mémoire, d'avoir été là en cas de questions et de m'avoir fourni certaines références pour l'élaboration de la nouvelle manipulation concernant le titrage du cuivre dans le laiton.

Merci aux Professeur(e)s O. Riant, M. Singleton et V. Wathelet d'avoir accepté d'être lecteurs de mon mémoire et membres du jury et de porter un intérêt pour ce mémoire à finalité didactique.

Merci à toute l'équipe du Prof. Y. Garcia mais aussi aux membres de l'équipe du Prof. S. Hermans pour la bonne ambiance et leur bonne humeur et aussi pour m'avoir conseillé et encadré en cas de besoin.

Merci justement au Prof. S. Hermans de m'avoir aidé, particulièrement pour l'interprétation du spectre UV-Vis pour le dosage du cuivre dans le laiton.

Merci à J-F. Statsyns pour ses informations et conseils et pour m'avoir fourni le matériel nécessaire à l'élaboration du nouveau TP.

Merci également à Madame N. Speliers et à Madame A. Vermaut, du laboratoire didactique, de m'avoir prêté énormément de matériel pour le test de la manipulation.

Merci à toutes et tous mes camarades, notamment mes amis J. Croix, C. Pochet, G. Vandendeyck et R. Moriau d'avoir été là en cas de besoin et pour ces trois merveilleuses années passées à leur côté ainsi que pour nos conversations fort enrichissantes en culture scientifique.

Merci à ma famille et à mes ami(e)s pour leur soutien.

Résumé

Ce mémoire, proposant une approche didactique, s'intéresse à l'apport de supports numériques en vue de l'innovation des Travaux Pratiques en chimie au niveau universitaire et secondaire supérieur. Il s'insère dans la dynamique du projet PULSE (Professionnalisation et oUverture à l'international des Licences Scientifiques et expérimentales en Afrique de l'Ouest).

Le travail de recherche porte sur l'identification d'une méthode pédagogique pertinente permettant de répondre à la fois aux préoccupations actuelles de la didactique des sciences et tout particulièrement de la chimie et aux indications de la littérature scientifique sur l'usage adéquat du numérique en situation d'apprentissage. Sur cette base, le dispositif de pédagogie inversée en activité expérimentale est développé concernant une manipulation relative au dosage iodométrique du cuivre. Les supports numériques relatifs à cette manipulation ont été élaborés afin de concrétiser la démarche. Il s'agit également de proposer des manipulations contextualisées, ayant un lien avec la vie quotidienne ou la future réalité professionnelle de l'apprenant afin qu'il voie et agisse sur le monde en tant que scientifique.

Ce dispositif devrait permettre de répondre à des préoccupations clés des sciences de l'éducation et de la didactique telles que la motivation, l'évaluation « authentique », l'autonomie etc... Des enquêtes auprès des étudiants et des professeurs de l'école de chimie ont été menées et ont contribué aux réflexions envisagées dans le cadre de ce mémoire. Les pistes proposées devraient permettre de répondre à la fois aux préoccupations des universités d'Afrique de l'Ouest et des universités européennes.

Liste des abréviations

PULSE : Professionnalisation et oUverture à l'international des Licences Scientifiques et Expérimentales

TP : Travaux Pratiques

DI : Démarche d'Investigation

SEP : Sentiment d'Efficacité Personnelle

GIRSEF : Groupe Interdisciplinaire de Recherche sur la Socialisation, l'Education et la Formation

TIC : Technologie d'information et de Communication

SETT: School Education Transformation Technology

TAM: Technology Acceptance Model

TPACK: Technological Pedagogical Content Knowledge

SAMR: Substitution, Augmentation, Modification, Redéfinition

IMAIP: I'M An Innovative Professor / Informer, Motiver, Activer, Interagir et Produire

Table des matières

Introduction : L'apprentissage des sciences en danger chez les étudiant(e)s ?	1
1 - Le Projet PULSE.....	4
2- Didactique des sciences et de la chimie	6
2.1- Distinguer didactique et pédagogie	6
2.2- Définition et cadre de la didactique.....	8
2.3- Préconceptions des apprenants, conflits cognitifs et conceptions épistémologiques des enseignants	9
2.4- Des savoirs morts...aux savoirs vivants : un développement de compétences.....	10
2.5- Contextualisation-Décontextualisation et Recontextualisation : une valse à trois temps	11
2.6- Complexité du métier d'enseignant.....	13
3- Innovation de l'enseignement de la chimie.....	14
3.1- Les Travaux Pratiques : une innovation en soi de l'enseignement de la chimie	14
3.2- Quelques facteurs à faire évoluer pour de meilleurs TP.....	16
3.2.1- L'évaluation	16
3.2.2- L'articulation théorie-pratique.....	19
3.2.3- Le coût des TP.....	20
3.2.4- La clarté et la complétion de la marche à suivre	21
3.2.5- La facilité de mise en place et de rangement	21
3.2.6- L'autonomie et la démarche d'investigation	21
3.2.7- La sécurité des étudiant(e)s.....	22
3.2.8- Les déchets rejetés par les TP	23
3.2.9- Les interactions	24
3.3- Améliorer la motivation des étudiant(e)s : un facteur très important.....	25
3.3.1- Définition du concept.....	25
3.3.2- Buts de performance et buts de maîtrise	26
3.3.3- Le modèle « expectancy-value ».....	27
3.3.4- Influence de l'enseignant sur la motivation.....	29
3.3.5- La motivation des étudiant(e)s pour l'étude des sciences et technologies et ses facteurs	30
3.3.6- Quelques aspects particuliers	33
• Réaliser une activité pertinente avant la séance de TP	33
• Caractère amusant ou spectaculaire du TP.....	34
• Complémentarité entre le TP et le cours	34

4- Numérisation de l'enseignement de la chimie	35
4.1- Les TIC rendent les étudiant(e)s plus actifs : mythe ou réalité ?	37
4.2- Les TIC augmentent-ils l'autonomie des apprenants ?	38
4.2.1- Définition de l'autonomie et des facteurs qui l'influencent	39
4.2.2- Impact des TIC sur l'autonomie	40
4.3- Influence des TIC sur la motivation.....	41
4.4- Conséquences de la disponibilité des savoirs en ligne	42
4.5- Une génération d'étudiant(e)s « numériques » ?.....	43
4.6- Les TIC et l'enseignant	44
4.6.1- Le modèle de causalité réciproque	45
• Les facteurs environnementaux.....	46
• Les facteurs personnels et le modèle TPACK	46
• Les facteurs comportementaux et le modèle SAMR.....	47
4.7- Les TIC à l'université.....	48
4.8- Les TIC et leur insertion dans l'enseignement de la chimie.....	50
4.8.1- Les TIC aident à la visualisation moléculaire.....	50
4.8.2- Autres usages des TIC dans l'enseignement de la chimie.....	53
5 - Le dispositif de pédagogie inversée en TP à l'aide des TIC.....	53
6- Applications	55
6.1- Dosage du cuivre dans le laiton par oxydométrie	55
6.1.1- Partie théorique	56
6.1.2. - Ressenti des étudiant(e)s questionnés vis-à-vis des TP actuels.....	65
6.1.3- Le nouveau déroulement proposé.....	68
• Avant le TP.....	69
• Pendant le TP.....	75
• Après le TP.....	78
6.1.4- La transposition didactique : Possible pour des élèves de secondaire (6 ^{ème} année)	80
6.2. Perspectives d'innovation et de numérisation concernant un TP de polarographie	81
6.2.1- Petit rappel théorique sur la polarographie	81
6.2.2- Ressenti des étudiant(e)s vis-à-vis des TP de master 1 et de la polarographie	84
6.2.3- Perspectives d'innovation et de numérisation concernant le TP de la polarographie	85
Conclusion.....	87
Bibliographie	92
Table des annexes	95

Introduction : L'apprentissage des sciences en danger chez les étudiant(e)s ?

Dans un article du journal « Le Soir » de mars 2009, Dominique Berns et Philippe Berkenbaum indiquaient déjà que ce n'est plus le grand « amour » entre les jeunes et les sciences. Ce constat est-il toujours d'actualité aujourd'hui ? Est-ce la faute aux professeur(e)s ? La faute aux étudiant(e)s ? La faute aux parents ? La faute à la société elle-même ? Plutôt que de chercher à qui la faute, il faut se demander d'où vient le problème.

Personnellement, quand j'interroge des élèves ou des étudiant(e)s sur les raisons de la difficulté rencontrée, ils me disent qu'ils ne savent pas à quoi sert toute cette « science », qu'elle ne leur sera, leur semble-t-il, d'aucune utilité dans l'avenir. Pour eux, la science est terriblement abstraite : on enseigne les sciences pour les sciences. Or, que ce soient les élèves du secondaire ou les étudiant(e)s de l'université, ces apprenants sont à un âge où ils se posent des questions sur la vie, sur eux-mêmes, sur le monde qui les entoure, etc... Dans les études qu'ils suivent, ils cherchent des réponses à leurs questions. Quand il n'y a pas de liens entre le savoir enseigné et leur vie quotidienne ou le monde qui les entoure, ils se désintéressent généralement très vite de ce qu'ils apprennent en classe.

Le Professeur André Giordan, en tant que directeur du laboratoire de didactique et épistémologie des sciences à l'université de Genève, constatait déjà en 2004 que, très fréquemment, les jeunes formulent des retours négatifs quant à leur intérêt pour les sciences. Il note, en Europe, un sentiment relativement répandu de dégoût pour les sciences, notamment dans l'enseignement secondaire. André Giordan (2004) précise également que, de nos jours, les approches pédagogiques et didactiques pour enseigner les sciences favorisent la mémorisation de la part des élèves d'un vocabulaire parfois incompréhensible, ou encore la mémorisation d'équations mathématiques dont les élèves ne comprennent même pas le sens. Les sciences, et plus particulièrement la chimie, sont en outre très rapidement abordées de façon abstraite, indique-t-il. Dès lors, ces choix pédagogiques entraîneraient le fait qu'apprendre les sciences soit davantage ressenti comme une corvée que comme un plaisir. Pourtant, les jeunes devraient s'épanouir à l'école ou à l'université en prenant plaisir à apprendre, découvrir, comprendre.

De plus, il me semble important d'ajouter que les élèves du secondaire montrant ce dégoût vis-à-vis des sciences iront à l'université plus tard. S'ils suivent encore des disciplines scientifiques, même si elles ne font pas partie de leur cursus majeur, leur dégoût risque encore de s'amplifier, les constats posés pour l'enseignement secondaire étant souvent identiques dans l'enseignement supérieur. Suivre des cours dans des auditoriums ou des salles de classe fermées au monde

extérieur constitue déjà une contrainte pour découvrir le monde, expérimenter la vie. Autant donc que cela se fasse dans une ambiance et un cadre agréables où les sciences ont une signification, et donc un intérêt pour les élèves et les étudiant(e)s.

Outre ces questions, les sciences semblent devenues un moyen de pression, voire même parfois d'exclusion dans la dynamique scolaire. Les sciences font peur. En effet, comme l'indique le professeur Giordan (2004), les sciences peuvent actuellement constituer un moyen de sélection. Cela se confirme dans les discours ou les représentations de certains parents ou politiciens, qui associent l'excellence scolaire à la réussite d'un parcours à portée scientifique. Mais qu'est-ce que l'excellence ? Pourquoi chercher à être meilleur(e) que les autres ? Qu'est-ce qu'un élève excellent en sciences ? Y'a-t-il des élèves faits pour les sciences et d'autres qui ne le sont pas ? S'agit-il de faire réussir tous les élèves en sciences pour prouver la qualité de l'enseignement fourni ? Les savoirs dit « acquis » le sont-ils vraiment ? Et comment prendre en compte les difficultés d'un grand nombre à assimiler durablement et efficacement ces savoirs ?

Comme le stipule le décret Missions de 1997, les savoirs doivent être enseignés dans la perspective d'acquérir des compétences. Les compétences, c'est le fait de mobiliser les savoirs acquis afin de réaliser une tâche que les élèves pourraient rencontrer dans leur quotidien. Or, on pourrait qualifier certains savoirs acquis actuellement chez les jeunes de « savoirs-morts » comme les décriraient Marcel Crahay et Géry Marcoux (2011), c'est-à-dire des savoirs présents chez les jeunes mais qu'ils ne savent pas mobiliser à bon escient. Actuellement, on voit que les jeunes sont sensibles à de nombreux sujets tels que le réchauffement climatique, la pollution, l'effet de serre, la montée des eaux, même si beaucoup de jeunes ne savent pas faire la différence entre ces phénomènes. Ils confondent par exemple souvent réchauffement climatique et effet de serre. Ou encore, j'ai pu entendre un élève me dire en classe que le charbon constitue une source d'énergie renouvelable. D'autres élèves croient que la fumée qui s'échappe des réacteurs des centrales nucléaires, c'est du dioxyde de carbone. L'intérêt pour les thématiques scientifiques est donc souvent bien présent, mais les apprentissages ne prennent pas sens vis-à-vis de leurs questionnements. C'est à nous, enseignants, à créer des conflits cognitifs chez les jeunes afin de construire efficacement leurs connaissances.

De plus, les sciences ne concernent pas que des savoirs mais elles inculquent aussi des savoir-être et des savoir-vivre. Les élèves doivent apprendre à agir et à comprendre le monde en tant que scientifiques et en tant que futurs citoyens responsables de leur planète. La chimie n'échappe pas à la règle. Cette science est souvent pointée du doigt par beaucoup de personnes

et particulièrement par des parents d'élèves qui sont sceptiques vis-à-vis de cette discipline. Souvent qualifiée de science dangereuse, responsable de la situation de la planète (pollution, réchauffement climatique etc...), difficile à comprendre etc...C'est à nous, enseignants chimistes, à briser ces savoirs erronés et à enseigner la chimie de manière plus créative.

Dans le cadre de ce mémoire, en vue de répondre aux difficultés qui viennent d'être évoquées, je me suis penché sur deux aspects qui pourraient rendre l'enseignement de la chimie plus attractif chez les jeunes, par l'intermédiaire des travaux pratiques. Le premier aspect est l'innovation, sous la forme notamment de manipulations plus intéressantes pour les étudiant(e)s. Pendant ces manipulations, les étudiant(e)s verraient notamment davantage le lien entre la théorie qu'ils abordent en classe et la vie quotidienne. Le deuxième aspect consiste en la numérisation de l'enseignement de la chimie. En effet, étant au 21^{ème} siècle, la technologie fait partie intégrante de notre quotidien. Au lieu de lutter contre elle, ou de faire comme si elle n'existait pas, pourquoi ne pas l'intégrer dans nos cours et dans nos supports pédagogiques et didactiques ? Cette année, nous avons vécu la pandémie du Covid-19. Et c'est grâce à certains outils informatiques tels que les MOOC (Massive Open Online Course), Teams etc... que la majorité des cours ont pu être maintenus et que les contacts avec les professeurs ont été établis malgré les mesures de confinement prises par le gouvernement.

Le projet PULSE (Professionnalisation et oUverture à l'international des Licences Scientifiques et Expérimentales en Afrique de l'Ouest), dans le cadre duquel s'insère mon mémoire, vise à répondre aux difficultés rencontrées dans cette région du monde vis-à-vis de l'enseignement des sciences. Je détaillerai plus précisément ce projet et ses finalités dans la première partie de ce mémoire. Si les difficultés rencontrées là-bas sont partiellement différentes de celles que nous rencontrons ici, les solutions explorées dans le cadre de ce mémoire, quant à elles, pourraient conjointement répondre aux problèmes respectifs. En effet, deux des objectifs majeurs de projet PULSE sont justement l'innovation dans l'enseignement des sciences et l'insertion de contenus digitaux dans les manipulations.

Dans le cadre de ce projet, j'ai travaillé sur une manipulation de chimie analytique existante déjà au niveau Bac 3 à l'UCLouvain, qui porte sur le dosage oxidométrique du cuivre. Dans le cadre de ce mémoire, cette manipulation a été testée, analysée d'un point de vue pédagogique et didactique, puis elle a été améliorée en regard des critères d'innovation et de numérisation. De plus, des perspectives d'innovation et de numérisation seront évoquées pour une autre

manipulation (de chimie analytique également), portant sur la polarographie. Il s'agit d'une manipulation de niveau Master 1 qui se fait aussi à l'UCLouvain.

Après avoir détaillé le projet PULSE, ce mémoire posera plusieurs jalons théoriques relatifs à la didactique des sciences et plus particulièrement de la chimie puis en lien avec l'innovation et la numérisation de l'enseignement. Sur cette base, une méthodologie innovante de travaux pratiques intégrant le numérique sera proposée et concrétisée pour la première manipulation évoquée. Les résultats de deux enquêtes menées auprès d'enseignants et de responsables de TP ainsi qu'auprès d'étudiant(e)s de l'UCLouvain illustreront les propos tenus à de multiples endroits.

1 - Le Projet PULSE

En écho à la devise de la Belgique qui annonce « l'union fait la force », un grand projet de collaboration internationale a vu le jour pour répondre à certaines difficultés que rencontre l'enseignement des sciences de façon globale dans le monde d'aujourd'hui. Il s'agit du projet PULSE. C'est un projet conclu entre l'Europe et l'Afrique de l'Ouest, qui s'intègre dans le programme Erasmus + *Capacity Building in the field of Higher Education* et qui est coordonné par le Prof. Jean Marc Broto, récemment élu président de l'université de Toulouse III. Ce programme européen valorise des projets de coopération visant à soutenir la modernisation des systèmes d'enseignement supérieur de pays partenaires. Il s'agit d'encourager la pluridisciplinarité mais aussi la pluriculturalité. Comenius, le père fondateur de la didactique n'a-t-il pas défini la didactique comme étant « *l'art de **tout** enseigner à **tous*** » ?

PULSE a été accepté par la communauté européenne et est financé pour une durée de 3 ans, de 2019 à 2022. Il englobe un consortium de 10 universités d'Afrique de l'Ouest et d'Europe. Les universités africaines membres du projet sont l'Université de Lomé et l'Université de Kara, situées toutes les deux au Togo, ainsi que l'université Félix-Houphouët Boigny, l'université Nangui Abrogoua d'Abidjan et l'université Jean Lorougnon Guédé de Daloa situées toutes les trois en Côte d'Ivoire. Parmi les universités européennes, il y a l'université polytechnique de Bucarest en Roumanie, ainsi que les universités françaises de Toulouse III, d'Aix-Marseille et de Lille. La Belgique participe aussi à ce grand projet par l'intermédiaire de l'Université catholique de Louvain qui coordonne le démarrage du projet sous l'égide du Prof. Yann Garcia. Certains réseaux francophones sont également associés au projet, à savoir le CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions à dominante

Scientifique et technique d'Expression Française), l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) et Unisciel (UNiversité des Sciences En Ligne).

Le projet PULSE possède deux buts principaux. Le premier est de favoriser la poursuite des études en Master pour les étudiants(e)s africain(e)s, notamment au niveau international. Le deuxième but est d'encourager leur insertion professionnelle au niveau Licence (bachelier en Belgique). Pour atteindre ces deux objectifs, PULSE prévoit de passer par un enseignement pratique innovant soutenu par des ressources numériques (CIRUISEF, 2018). Ainsi, l'innovation et la numérisation, comme indiqué dans l'introduction, sont les principaux outils mobilisés en vue de la réussite du projet. Il s'agit globalement « *d'imaginer de nouvelles façons d'enseigner en développant de nouveaux modèles pédagogiques* » (Université de Lomé, 2019). Il faudra ensuite former les différents intervenants à ces nouvelles pratiques.

Plus concrètement, il s'agit de mettre en place des travaux pratiques soutenus par des outils numériques à destination des universités africaines ainsi que de créer des plateformes de ressources numériques modulaires et mutualisables, qui permettront de renforcer l'attractivité des sciences, l'accompagnement des étudiant(e)s ainsi que la professionnalisation de la formation. Par exemple, des modules pouvant être utilisés de façon autonome ou avec le guidage d'enseignants seront notamment élaborés à destination des L1 (1^{ère} année Licence). En effet, dans certaines universités africaines membres du projet, il a été noté qu'il y a souvent trop d'étudiant(e)s inscrits en L1 par rapport aux moyens et à l'espace disponibles, ce qui constitue un handicap pour l'organisation de TP (Travaux Pratiques) en présentiel.

La publication sur le site internet Unisciel.fr de toutes les ressources générées est prévue. Par cet intermédiaire, les ressources bénéficieront également aux universités européennes qui se trouvent désormais concernées par cette thématique, de part par le manque de moyens d'encadrement de plus en plus criant (une situation rencontrée au sein de notre école de chimie qui voit son nombre d'assistants diminuer depuis ces dernières années). D'autre part, la situation liée à la crise du Covid-19 pousse les universités à s'organiser pour mettre en œuvre un certain nombre de manipulations en distanciel autant que faire se peut. La numérisation de l'enseignement présente donc un enjeu important pour les universités et les écoles, et ce quelle que soit leur localisation à travers le monde. Il s'agit également de fournir un équipement adéquat aux laboratoires de chimie, biologie, et physique des universités africaines partenaires.

Dès le début de la mise en œuvre du projet, des représentants des universités européennes se sont rendus chez leur homologues africains « *pour effectuer un bilan sur les ressources existantes et pour identifier les besoins en termes d'équipements et de compétences à acquérir* » (Broto, 2019). A la suite de cette visite, un marché a été conclu afin de fournir le matériel nécessaire aux universités africaines partenaires dans le courant de l'année 2020.

L'ensemble de la démarche menée par le projet PULSE devrait permettre d'aboutir à des formations expérimentales de meilleure qualité qui augmenteront la réussite des étudiant(e)s dans les filières scientifiques et qui leur permettront soit de poursuivre leurs études pour réaliser un Master, soit de s'insérer dans le monde professionnel en obtenant un poste qui valoriserait leur diplôme. PULSE vise en effet à donner aux étudiant(e)s la technicité attendue par les entreprises. En outre, PULSE vise à soutenir l'implication des femmes dans le domaine scientifique notamment en attirant plus d'étudiantes dans ce type de formation.

2- Didactique des sciences et de la chimie

2.1- Distinguer didactique et pédagogie

Qu'est-ce que la didactique ? Ce n'est pas à moi de répondre à cela. Le père de la didactique n'est autre que Comenius, qui a défini lui-même ce concept né au 16^{ème} siècle comme étant : « *l'art d'enseigner (...)* ». Il ajoute : « *Je prends le risque de promettre une grande didactique, c'est-à-dire un art universel de tout enseigner à tous, sûr, rapide, solide c'est-à-dire certain quant au résultat, assez plaisant pour éviter l'ennui des élèves et des maîtres, durable quant à l'acquisition des vraies lettres, des bonnes mœurs et de la piété sincère. Tout le contraire d'un savoir superficiel.* »

La didactique est très souvent confondue avec un autre concept qui n'est autre que la pédagogie. Si le didacticien s'occupe de la nature des connaissances à faire passer, de la manière avec laquelle les élèves vont les intégrer et du processus d'apprentissage à mettre en œuvre relatif à ces connaissances, le pédagogue s'occupe quant à lui plus globalement du cadre dans lequel vont se transmettre les savoirs, de l'organisation à mettre en place, des conditions requises pour apprendre. La didactique et la pédagogie sont donc les deux faces d'une même pièce qui est l'enseignement.

Dans le cadre de ce mémoire, nous ne pouvons pas parler de l'enseignement universitaire sans parler de l'enseignement secondaire. Et cela afin de prendre en compte le continuum de la

formation de l'élève qui devient plus tard étudiant, et qui, par la suite, à la fin de son cursus, sera un citoyen responsable capable d'œuvrer pour la société.

La forme scolaire a été inventée car la masse de savoirs a augmenté avec le temps. A la fin du Moyen-Age, on est sorti du « compagnonnage » et de l'apprentissage sur le tas entre un maître et son apprenti. Avant, les enfants du village commençaient à apprendre les métiers très tôt sous la tutelle d'un maître. Mais avec l'apparition de la forme scolaire, il s'est créé une nouvelle relation entre le maître et les élèves. La forme universitaire, quant à elle, existe depuis plus longtemps. Seulement, elle était initialement réservée pour former l'élite de la société et était généralement sous le contrôle de l'Eglise.

La recherche en didactique est apparue pour faire face à l'importance du défi de l'enseignement adressé à tous, et cela principalement depuis les années 1960. Elle a connu un fort développement à partir des années 1970.

Le processus d'apprentissage scolaire repose sur les interactions qui peuvent s'établir entre un savoir, un enseignant (dispensateur du savoir) et des élèves ou étudiant(e)s (récepteurs du savoir). Ces trois intervenants forment ce qu'on appelle le triangle pédagogique. Ce modèle de triangle pédagogique a été proposé par Jean Houssaye en 1988 pour une meilleure compréhension de multiples situations pédagogiques. De nos jours, l'appellation triangle pédagogique est parfois remplacée par l'appellation « triangle didactique », ce qui démontre une certaine perméabilité entre les deux concepts.

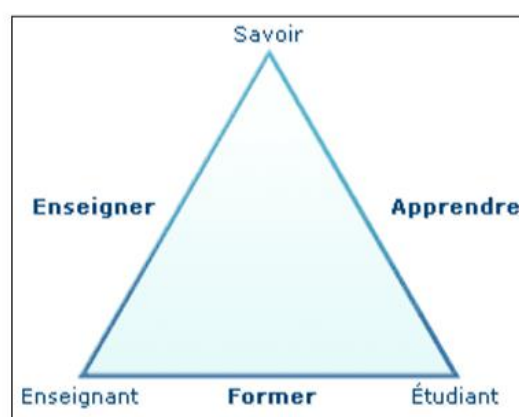


Figure 1: Le triangle pédagogique selon Houssaye

Lorsqu'on se situe sur l'axe Savoir/Enseignant, on parle du processus *enseigner*. Dans ce processus, l'enseignant est en interaction avec le savoir et l'élève est « à la place du mort », comme la qualifie Jean Houssaye. Lorsqu'on se situe sur l'axe Enseignant/Elève, on parle alors

du processus *former* et c'est le savoir qui est à la place du mort. Enfin, quand on se situe sur l'axe Elève/Savoir, on parle du processus *apprendre* et c'est le professeur qui est à la place du mort. Attention ! Houssaye ne parle du mort au sens littéral du terme. Il mobilise en fait une comparaison avec le jeu de bridge. Il précise, parlant de celui qui occupe « la place du mort » : *« Autrement dit, ses cartes sont étalées sur la table et on le fait jouer plus qu'il ne joue. Mais son rôle est indispensable car sans lui, il n'y a plus de jeu. On ne peut s'en passer, mais il ne peut jouer qu'en mineur, sa place étant assignée, définie et déroulée par les autres, véritables sujets de la situation »* (Vellas, 2007).

Comme l'illustre le triangle pédagogique, quel que soit le niveau d'enseignement ou la situation, la question du rapport au savoir constitue un aspect important lorsque l'on parle d'apprentissage.

2.2- Définition et cadre de la didactique

La didactique est souvent associée à une discipline. On parle alors de « didactique des disciplines » (Giordan, 2004). Nous nous limiterons dans la suite de ce mémoire à la didactique des sciences, et plus particulièrement de la chimie.

En tant que chimistes, on n'entend pas beaucoup parler de la recherche en didactique de la chimie. Nous sommes le plus souvent confrontés à une vision de la recherche au niveau des savoirs scientifiques en eux-mêmes, dans divers domaines tels que la synthèse, la catalyse, la nanotechnologie, les matériaux hybrides etc... Pourtant, des centres, des instituts de recherche, des chaires d'enseignement ont été créés dans de multiples universités autour de la recherche en didactique des sciences. Les articles et publications sont nombreux. Selon Giordan (2004), les préoccupations de la recherche en didactique des sciences, en ce compris de la chimie, tournent autour de questions telles que : Quoi enseigner ? Où ? Par qui ? Quand ? Avec quel coût (en personnel et en équipements) et quel rapport « qualité-prix » ? Comment mettre en place un changement institutionnel ? Quels investissements faire (outils, ressources, structures...) dans la formation des personnels ?

La didactique touche autant à la manière dont on enseigne qu'à la manière dont on apprend. Elle s'intéresse à « *l'ensemble des facteurs qui contribuent à faciliter l'accès aux savoirs de tous les apprenants* » (Giordan, 2004). Ainsi, globalement, le but principal de la didactique est d'objectiver quand cela est possible les processus de transmission et d'acquisition des savoirs à l'école et en dehors de l'école.

2.3- Préconceptions des apprenants, conflits cognitifs et conceptions épistémologiques des enseignants

La transmission et l'acquisition des savoirs en dehors de l'école aussi ? Eh bien oui ! Beaucoup d'enseignants croient que tout ce qui concerne les élèves et qui se déroule en dehors de l'institution doit rester en dehors de l'institution. Mais ces apprenants, quand ils arrivent en classe, viennent avec des préconceptions qui s'avèrent parfois des conceptions erronées. Ce sont souvent des savoirs tenaces, difficiles à enlever chez les élèves.

Selon Masson et Brault Foisy (2012), ces conceptions erronées sont quasiment impossibles à faire disparaître. L'enseignant peut croire avoir fait correctement son travail mais les conceptions erronées peuvent pourtant réapparaître chez l'apprenant n'importe quand. Elles sont liées à la compréhension qu'un individu se construit grâce aux modèles explicatifs qu'il connaît (par les médias, internet etc...) ou qu'il invente lui-même. Pour pouvoir briser ces conceptions erronées, il faut susciter ce qu'on appelle un conflit cognitif. Dans ce contexte, le conflit cognitif consiste à provoquer un déséquilibre cognitif à l'aide d'une contextualisation (nous reviendrons plus tard sur ce concept extrêmement important dans la didactique des sciences et de la chimie), d'une expérience contre-intuitive etc... Quand les connaissances de l'élève rentrent ainsi en conflit avec de nouvelles données, on est face à ce qu'on appelle un obstacle épistémologique.

Mais qu'est-ce que l'épistémologie ? L'épistémologie est pour résumer la manière dont se construit le savoir. Les sciences ont évolué au cours du temps. Plusieurs modèles et concepts ont vu le jour au cours de l'Histoire. Les anciens modèles ont laissé la place aux nouveaux. Citons par exemple les différents modèles de l'atome au cours du temps (Dalton, Rutherford, Chadwick et Bohr). Il en est de même à l'échelle de l'individu. Et ces conceptions épistémologiques ne sont pas uniquement présentes chez les apprenants. Elles le sont aussi chez l'enseignant et cela est très important. En effet, les conceptions de ce dernier, tant concernant le savoir enseigné que la didactique et ou la pédagogie, vont le guider dans la construction de son cours. Plumet et De Kesel (2015) soulignent ainsi que les conceptions épistémologiques de l'enseignant (la façon dont les sciences se sont construites chez lui) ont un impact important sur sa méthodologie et donc par conséquence directe sur la construction des conceptions épistémologiques chez les apprenants. C'est pourquoi, l'enseignant, lorsqu'il préparera sa séquence de cours, est invité à se poser des questions telles que « pourquoi enseigner un tel concept ? », « pour quoi faire ? » et « comment faire ? ». Ainsi, sa relation vis-à-vis du savoir à enseigner, de l'élève et de la transposition didactique (nous reviendrons plus tard sur cette

notion) n'en seront que plus solides, riches et réfléchies. En outre, faire part aux apprenants de ces réflexions pourrait les amener à donner plus aisément du sens aux apprentissages menés et ainsi à se les approprier plus durablement (Plumat et De Kesel, 2015).

Le conflit cognitif, dont nous parlions précédemment, permet ainsi de provoquer un changement conceptuel en déstabilisant les conceptions des apprenants. L'un des meilleurs moyens pour y arriver est de réaliser une expérience ou un TP. Toutefois, selon Masson et Brault Foisy (2012), étant donné que les préconceptions sont tenaces et quasiment impossibles à faire disparaître, il est important pour l'enseignant de constamment faire des allers et retours entre les préconceptions des étudiant(e)s et les savoirs savants. Ainsi, il ne s'agit pas de ne réaliser ce conflit cognitif que dans une partie donnée du cours, pour laisser place ensuite à la théorie et aux nouvelles notions. Si l'on procède ainsi, en ne prenant en compte les préconceptions des étudiant(e)s que dans une phase initiale, tout ce qu'a construit l'enseignant en croyant bien faire risquerait de s'effondrer, tel un château de cartes.

2.4- Des savoirs morts...aux savoirs vivants : un développement de compétences

Outre ces questions du rapport au savoir et des préconceptions erronées, la didactique des sciences invite également à prêter attention à la notion de savoir mort, comme évoqué dans l'introduction. Un savoir mort est un savoir vérifié, généralement acquis à l'école, mais que l'élève n'arrive pas à mobiliser pour réaliser une tâche. C'est comme s'il était inexistant chez l'individu.

Ainsi, comme le mentionnent Crahay et Marcoux (2011), l'école doit avoir un triple rôle de nos jours. Le premier rôle est la construction des savoirs appelés connaissances déclaratives. Le second rôle est la construction des savoir-faire ou connaissances procédurales. Le troisième rôle est de s'assurer que les savoirs transmis soient des savoirs vivants, c'est-à-dire que les apprenants peuvent utiliser pour être efficace sur le plan professionnel, pour penser leur devenir et/ou s'intégrer dans la société en tant que citoyen responsable.

Ainsi, l'apprentissage des sciences, comme d'autres disciplines, n'est pas limité à une simple acquisition de savoirs mais constitue aussi un stimulant pour les étudiant(e)s afin de pouvoir résoudre et faire face à des situations qui vont au-delà de la simple compréhension conceptuelle (Holbrook et Rannikmae, 2010). Cette approche peut jouer un rôle sur le développement des compétences des apprenants et ainsi leur permettre d'atteindre la capacité de « transférer » les acquis d'apprentissage à de nouvelles situations.

En outre, si les compétences des apprenants à résoudre des tâches sont ainsi développées, cela génère aussi leur développement personnel. Par développement personnel, Holbrook et Rannikmae (2007) entendent tout ce qui est relié à des attitudes telles que la persévérance, la créativité, l'initiative, etc...

À partir de cette analyse de la nature de l'enseignement des sciences, Holbrook et Rannikmae (2007) ont d'ailleurs introduit le modèle du triangle de la nature de l'enseignement des sciences, composé de trois éléments essentiels ; la nature de la science (le contexte), le développement personnel et le développement social.

Ainsi, l'école se doit de prendre en compte le fait que les élèves s'approprient des savoirs en dehors de l'école en utilisant diverses sources. Elle doit également aider les élèves à avoir un sens critique vis-à-vis de ses connaissances (Que faut-il croire ou ne pas croire ? Et pourquoi ?), et à s'en approprier de nouvelles en vue de pouvoir les mobiliser à bon escient.

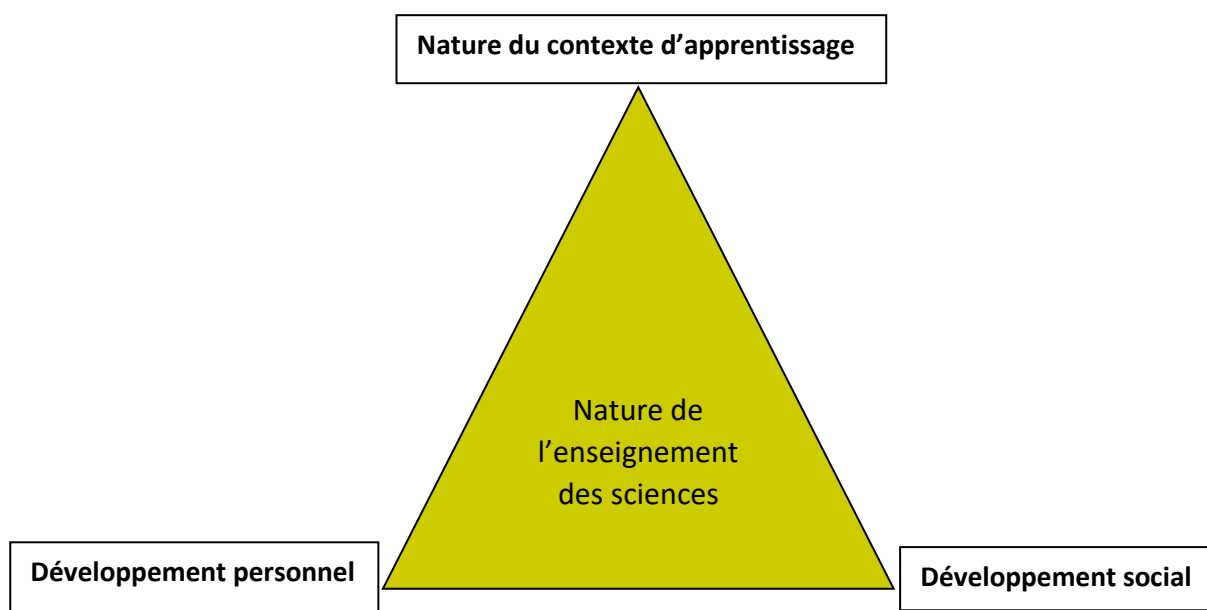


Figure 2: Triangle de la nature des sciences selon Holbrook et Rannikmae

2.5- Contextualisation-Décontextualisation et Recontextualisation : une valse à trois temps

Pour tout enseignant, il est important de recueillir les conceptions de ses apprenants afin de pouvoir en tenir compte et ainsi de procéder à une restructuration des savoirs. Cette phase de recueil de préconceptions rentre dans l'une des trois étapes cruciales d'une séquence d'apprentissage en sciences : la contextualisation. En effet, dans une séquence de cours, il est impératif de toujours retrouver trois phases. Un cours est comme une valse à trois temps.

La première phase est la contextualisation, pendant laquelle l'enseignant présente une situation qui permet à l'élève de s'impliquer. Cela permet de donner un sens au cours, de motiver les élèves et de faire sortir le cours de la classe. Mais attention ! Plus la situation est ancrée chez les élèves tellement elle est intéressante, plus la décontextualisation sera difficile (Tardif et Meirieu, 1996). La situation doit être une situation que les apprenants pourraient rencontrer en dehors de la classe, comme une affaire récente dont ils ont entendu parler. Dès lors, il vaut mieux faire varier régulièrement les situations utilisées lors de la contextualisation du cours car une génération d'élèves est différente de la précédente et l'actualité n'est pas la même non plus. En outre, chaque année, les sciences évoluent et on fait de plus en plus de découvertes. Selon Tardif et Meirieu (1996), susciter l'intérêt des élèves en utilisant des situations concrètes et préoccupantes pour eux lors de cette phase est un excellent moyen de lutter contre la démotivation.

A la fin de cette phase de contextualisation, on recueille les conceptions des élèves puis on laisse toutes les questions qui ont émergé en suspens afin de passer à la deuxième phase ; la décontextualisation. Durant cette phase, en s'articulant autour du fil conducteur (la situation) utilisé lors de la contextualisation, on construit la théorie sur laquelle se fonde le cours. Les lois, équations, etc...peuvent être enseignées essentiellement par induction (émergence de lois par observation) ou par déduction (prédiction de l'observation à partir de nos connaissances). C'est généralement la phase que les élèves et mêmes les étudiant(e)s universitaires apprécient le moins.

Ensuite vient la dernière phase qui n'est autre que la recontextualisation. Durant cette phase, les élèves utilisent tous les savoirs et la théorie acquis lors de la deuxième étape pour résoudre la situation de départ si elle n'a pas encore été résolue à 100%, ou une situation proche de celle utilisée lors de la contextualisation, au travers d'un « transfert » des acquis dans un nouveau contexte. Cela permet de vérifier si les élèves ou étudiant(e)s ont bien compris les nouveaux apprentissages. Cela permet également de vérifier si les acquis d'apprentissage sont bien fixés et surtout de faire entrer les sciences, dont la chimie, dans les choses du quotidien. En outre, comme le notent Tardif et Meirieu (1996), il s'agit pour l'enseignant, lors de la recontextualisation, de proposer des exemples variés de réutilisation des apprentissages acquis, afin de permettre à l'apprenant d'être en mesure de mobiliser ces derniers dans différentes situations.

Frenay et Bédard (2011) définissent le concept de *transfert* comme une « *mise en relation et l'adaptation, dans un contexte nouveau et inhabituel, d'une connaissance acquise précédemment* ». Le transfert mobilise bien plus que de la connaissance. Il mobilise également les habilités cognitives et métacognitives des apprenants ainsi que des dispositions liées aux cadres d'apprentissage. Ce n'est donc pas une simple application de savoirs acquis. Le transfert nécessite de recourir à l'action afin de résoudre un problème ou de réaliser une tâche. Il constitue, selon Frenay et Bédard (2011), « *la pierre angulaire de la capacité d'adaptation et du développement professionnel de l'individu confronté à l'évolution constante des milieux dans lequel il évolue (notamment le milieu du travail)* ». Comme l'indiquent Tardif et Meirieu (1996), le passage d'une leçon théorique à la pratique constitue une forme de transfert.

Au niveau universitaire, on remarque souvent l'absence soit de la première phase, soit de la troisième, soit des deux. C'est la phase de décontextualisation qui prédomine la plupart des cours se faisant dans nos amphithéâtres universitaires. Et parfois, la masse de théorie transmise est très lourde pour les étudiant(e)s, et leur motivation se voit diminuer au fil de l'acquisition de nouvelles notions.

2.6- Complexité du métier d'enseignant

Toute cette partie abordant quelques concepts fondamentaux de la didactique des sciences et de la chimie a pu démontrer que le métier d'enseignant est complexe. Afin de viser des apprentissages durables et efficaces, il faut tenir compte de nombreux paramètres et concepts cités ci-dessus mais aussi de bien d'autres encore... La partie suivante sera consacrée à l'innovation de l'enseignement de la chimie. On sait maintenant qu'il y a divers problèmes possibles dans l'enseignement de la chimie, dus notamment au non-respect des règles et concepts de base de la didactique et de la pédagogie. Outre la mise en œuvre des principes didactiques explicités, comment peut-on faire pour un meilleur enseignement ? Sur quels paramètres influencer ?

3- Innovation de l'enseignement de la chimie

Tout d'abord, il faut savoir qu'il n'existe pas qu'une méthode d'innovation mais bien plusieurs méthodes. Et il faut savoir coopérer et accepter les idées des autres afin que la recherche en didactique porte ses fruits. C'est cette idée et cette volonté de coopération qui a d'ailleurs permis au projet PULSE de voir le jour.

Malheureusement, la réalité est tout autre. On vit actuellement dans une société de relativisme épistémologique. On ne distingue plus ce qui est vrai de ce qui est faux. On ne distingue plus ce qui est bien de ce qui est mal. Chacun croit qu'il est le meilleur et que sa méthode d'enseignement est l'unique solution à tous les problèmes. Or, en tant que professeur de sciences ou de chimie, il faut toujours savoir s'incliner devant les sciences.

Grâce à de nombreuses recherches en didactique de la chimie, plusieurs méthodes d'innovation existent. L'usage du numérique est une forme d'innovation, mais cela sera abordé plus tard dans le travail.

Comme précisé dans l'introduction, ce mémoire privilégie une piste particulière. Nous avons décidé de jouer sur l'aspect pratique de la chimie, c'est-à-dire les TP. Mais quelle est l'importance des TP dans l'apprentissage des élèves et étudiant(e)s ? Et qu'est-ce qu'un bon TP du point de vue des étudiant(e)s et des enseignants ?

3.1- Les Travaux Pratiques : une innovation en soi de l'enseignement de la chimie

L'instauration des TP constitue historiquement une première innovation dans l'enseignement de la chimie, qui daterait du 19^{ème} Siècle. Selon Schouwey (2016), le premier à avoir pris cette initiative ne serait autre que Justus Van Liebig (1803-1873). De 1824 à 1857, il dirigea son laboratoire à l'Université de Giessen en Allemagne, qui accueillait depuis 1830 des centaines d'étudiant(e)s. Néanmoins, l'idée d'une formation pratique en chimie lui serait antérieure.

Dès le milieu du 18^e siècle apparaît la nature duale de l'enseignement de la chimie (Tomic, 2011), notamment au travers de la double publication de Joseph Macquer : *Eléments de chimie théorique* (1749) et *Eléments de chimie pratique* (1751). Dès ce moment, les cours de chimie comportent une partie théorique et une partie pratique. La première est généralement assurée par les professeurs de la Faculté de Médecine et la seconde le plus souvent par les apothicaires, qui jouent le rôle de « démonstrateurs ». En effet, à l'époque, la chimie était essentiellement considérée comme un outil au service d'autres sciences et disciplines telles que la médecine ou la pharmacie, mais aussi la géologie ou la métallurgie. Comme on qualifierait les

mathématiques de nos jours en tant qu'outil précieux pour l'exercice des sciences. La partie pratique développée à l'époque correspondait ainsi à la réalisation d'expériences sous les yeux des étudiant(e)s, toujours dans une optique magistrale. Dès ce moment, toutefois, le laboratoire devient une « *extension naturelle de l'amphithéâtre* » (Tomic, 2011).

Lavoisier, en 1789, proposa une approche encore plus novatrice dans son *Traité élémentaire de chimie*. Sa méthode d'enseignement de la chimie est qualifiée de « méthode analytique » et met davantage en avant le caractère bicéphale de l'enseignement de la chimie (théorique et pratique), en amenant les étudiant(e)s à manipuler directement eux-mêmes des produits et des instruments de mesure (Tomic, 2011).

Ainsi, ce serait à Paris que le concept des « travaux pratiques » aurait vu le jour, cette méthode étant immédiatement appliquée notamment à l'école polytechnique de Paris. Thénard, qui y était répétiteur, indiqua ainsi en 1800, dans son article *Sur la nécessité de réunir la pratique et la théorie de la chimie*, qu'« *il est parfaitement démontré qu'il est impossible d'acquérir des connaissances précises en chimie sans faire soi-même des expériences chimiques* » (Tomic, 2011). Liebig se serait inspiré du modèle de Lavoisier pendant son séjour à la capitale française dans les années 1820 pour l'instaurer dans son école à Giessen (Tomic, 2011). Ce modèle fut ensuite étendu au reste de l'Allemagne et dans d'autres pays tels que l'Angleterre et les Etats-Unis avant d'être adopté définitivement comme système d'enseignement de la chimie en France à la fin du 19^{ème} siècle. Alglave (1869) a d'ailleurs déclaré que « *l'Allemagne a dérobé à la France le sceptre que celle-ci possédait encore sans conteste en 1830* ». L'idée était donc présente chez les Français depuis la fin du 18^{ème} mais il aura fallu attendre quasiment un siècle pour que ce système soit généralisé à tous les établissements et devienne une « loi naturelle » (Tomic, 2011).

Pourquoi ce siècle d'écart ? Lorsque Lavoisier proposa sa méthode analytique, c'était quasiment la fin du siècle des Lumières, lors duquel la science et la réflexion scientifique commençaient à prendre le dessus sur le pouvoir de la religion et de l'état. On valorisait alors davantage une méthode d'enseignement purement théorique visant à former des citoyens cultivés et éclairés aptes à appréhender la chimie. Vint ensuite la révolution industrielle. Pour répondre à l'industrialisation croissante, une méthode d'enseignement plus pratique, visant à former de futurs techniciens et cadres de l'industrie chimique, devint plus attractive. La chimie n'était donc plus une « science accessoire » mais une science à part entière (Tomic, 2011). Un autre problème était un problème budgétaire. Le physiologiste Claude Bernard (1813-1878)

comparait ainsi les laboratoires à « des tombeaux scientifiques ». Les moyens consacrés à ce type d'enseignement étaient en effet très faibles jusqu'aux années 1870, lors desquelles un investissement massif fut consenti par le gouvernement français.

Ainsi, par exemple, Edmond Frémy, professeur à la chaire de chimie du Muséum d'histoire naturelle de Paris dans la seconde moitié du 19^e siècle, abandonna l'enseignement traditionnel à la fin de sa carrière pour appliquer la pédagogie initiée par Lavoisier. Dans son ouvrage intitulé « *Les laboratoires de chimie* », publié en 1882, il explique les raisons qui doivent motiver la création d'un laboratoire d'enseignement de la chimie. Il mentionne notamment que la méthode exclusivement théorique amène les étudiant(e)s à apprendre par cœur des leçons, les évaluations se contentant dès lors de mesurer la qualité de leur mémorisation. Frémy propose ainsi de passer d'étudiant(e)s « savants en chimie » à des étudiant(e)s « réellement chimistes », en développant leur jugement et leur esprit d'observation.

Instaurer ce système de TPs n'a pas été de tout repos et a été le fruit d'un long processus. C'est un véritable trésor que nous ont confié nos prédécesseurs. A nous donc de sauvegarder la place importante des TPs dans l'enseignement de la chimie pour la formation et professionnalisation de nos étudiant(e)s.

3.2- Quelques facteurs à faire évoluer pour de meilleurs TPs

Mais même si le TP existe en soi, comment savoir s'il est efficace ou pas ? A-t-il une influence sur la motivation des étudiant(e)s quant au suivi du cours ? La complémentarité « cours » (partie théorique) et « TP » (partie expérimentale) est-elle toujours efficace ?

Dans le cadre de ce mémoire, une enquête a été effectuée auprès des professeur(e)s de l'Ecole de Chimie de l'UCLouvain afin de collecter leur ressenti sur les questions citées et d'identifier des critères à retenir pour envisager l'innovation des TPs. Le questionnaire et les réponses obtenues se trouvent dans les annexes. Comme l'atteste l'annexe 1, l'enquête a enregistré un taux de participation de 60% (9 sur 15 répondants)

3.2.1- L'évaluation

Nous avons notamment demandé l'avis des professeurs concernant l'importance de certains critères quant à la qualité d'un TP. L'un des critères évoqués est la facilité de l'évaluation de la performance des étudiant(e)s. Concernant ce point, 56 % des professeurs expriment un avis indifférent et 44 % trouvent que cela est plutôt important. Penser une activité didactique nécessite en effet de connaître l'objectif visé, et donc, notamment, ses modalités d'évaluation.

Toutefois, ce n'est pas la facilité de l'évaluation qui est la plus importante mais l'évaluation en soi, c'est-à-dire sa qualité. Mais qu'est-ce qu'une bonne évaluation ? Et avant tout, qu'est-ce que l'évaluation ?

Le terme « évaluation » a eu plusieurs définitions au cours du temps. Legendre (1988) définit l'évaluation comme étant « *l'appréciation des connaissances, des habilités ou des attitudes d'un élève qui a pour objet de déterminer dans quelle mesure des objectifs éducatifs ont été atteints* ». Apprécier les connaissances et habilités, certes, mais comment ? Et de plus, comment l'élève a-t-il fait pour atteindre les objectifs éducatifs ? C'est surtout cela qui nous intéresse. En d'autres termes, cette définition n'est pas complète et pas claire. Tardif (1993) l'a même qualifiée d'insatisfaisante. En effet, selon lui, elle ne tient compte que du fait d'atteindre ses objectifs éducatifs. Les métamorphoses cognitives et métacognitives de l'élève ne sont pas mises en avant. Gardner quant à lui (1992 ; cité par Tardif, 1993) qualifie l'évaluation comme « *un processus par lequel des informations sont obtenues au sujet des connaissances et des capacités d'une personne [...], ce processus de recueil d'informations vise à fournir une rétroaction significative à la personne évaluée et à fournir des données utiles à la communauté dans laquelle elle vit* ». Ici, selon cette définition, on s'intéresse déjà un peu plus à la manière dont l'élève ou l'étudiant a atteint ses objectifs.

Grant Wiggins (1950-2015) va un peu plus loin dans la définition de l'évaluation. En effet, il ne parle pas d'évaluation au sens large mais définit plutôt le concept d'« évaluation authentique » (*Authentic Assessment*). Wiggins (1990) affirme qu'une évaluation est authentique seulement « *lorsque nous examinons directement les performances des élèves sur des tâches intellectuelles dignes. L'évaluation traditionnelle, par contrat, repose sur des "éléments" indirects ou proxy - des substituts efficaces et simplistes à partir desquels nous pensons que des inférences valables peuvent être faites sur les performances de l'élève à ces défis importants* ». Si on s'arrêtait à ce niveau de la définition et des travaux de Wiggins, on pourrait aussi se dire qu'elle est incomplète ou insatisfaisante comme celle de Legendre. En effet, il privilégierait l'examen des performances et non des compétences.

Mais quelle est la différence entre les deux ? Quand un chef pâtissier demande à des amateurs de préparer un bon gâteau, comme on le voit souvent dans plusieurs émissions télévisées telles que le meilleur pâtissier, les rois du gâteau etc... il goûte le gâteau et juge s'il est bon ou pas. Le chef évalue alors la performance et non la compétence du candidat. Ce dernier aurait très bien pu réussir par hasard ou copier sur la recette d'un rival en l'améliorant ou en l'appliquant

tout simplement, etc... Or, le chef pourrait aller dans les rangs et poser des questions telles que : Pourquoi cette étape ? Pourquoi avoir utilisé cet ingrédient ? Pourrais-tu la refaire avec un autre ingrédient ? etc.... En écoutant le candidat et en observant ses gestes et sa façon de procéder, le chef ne jugerait plus alors la performance mais pourrait se faire une idée des compétences de celui-ci.

En fait, l'évaluation authentique tient compte de tous ces paramètres. Lussier et Allaire (2004) défendent les travaux de Wiggins en affirmant, comme ce dernier, que les élèves possédaient le droit de passer des tests éducatifs et instructifs. Ces tests leur feraient comprendre l'importance et la valeur des études qu'ils suivent mais leur fourniraient aussi la possibilité de se projeter dans l'avenir, entrevoyant leur rôle en tant qu'adultes responsables dans la société. Néanmoins, pour que l'évaluation soit authentique et efficace à 100%, Wiggins, appuyé par Lussier et Allaire (2004), indique qu'elle doit satisfaire six critères fondamentaux.

Premièrement, **la tâche d'évaluation doit être inspirée de la vie de tous les jours**. En effet, y a-t-il une manière plus efficace pour que l'élève voie le lien entre le savoir et ce qu'on pourrait lui demander de résoudre comme situation dans sa future vie professionnelle ? De plus, afin de rendre la situation plus réaliste pour l'élève, on peut l'encourager en permettant le fait qu'il consulte le professeur et même ses camarades. En effet, dans le futur, il sera vraisemblablement amené à travailler en équipe. Cette méthode inculque donc aussi les notions de savoir-vivre.

Deuxièmement, **l'élève ne doit pas répéter ce qu'il a appris, mais accomplir une tâche complexe et intégratrice à partir de ce qu'il a appris**. La tâche d'évaluation permet à l'élève de faire preuve de créativité et d'initiative pour atteindre son objectif. Elle lui permet d'essayer et de réessayer sans peur d'échouer. L'échec ne devient plus une source de peur et de frustration mais une source de questionnement et de curiosité. L'élève apprend de ses échecs.

Troisièmement, **la tâche doit être un défi pour l'élève mais être également valide et juste**. L'enseignant doit être sûr que les élèves possèdent déjà les connaissances requises pour la réalisation de la tâche. En effet, un bricoleur sans tous ses outils ne peut pas bricoler. Par exemple, on ne va demander le dosage d'un composé par potentiométrie alors que les élèves ne maîtrisent pas encore les réactions d'oxydo-réduction.

Quatrièmement, pour une évaluation authentique, l'enseignant devrait être capable **d'évaluer non seulement le produit mais également le processus et le propos de l'élève sur son apprentissage (aspect métacognitif)**. Cela nous rappelle l'exemple avec le gâteau cité précédemment. Cela confirme que l'évaluation authentique de Wiggins juge les performances

mais aussi les compétences, c'est-à-dire comment l'élève est arrivé à son objectif et comment il s'est construit son savoir et l'enchaînement pour réaliser sa tâche.

Cinquièmement, **les tâches, les critères d'évaluation et la grille de correction doivent être connus à l'avance par les élèves.** Afin d'éviter tout sentiment d'injustice venant de la part des élèves, ce critère est très important. Il est même conseillé d'éclaircir au préalable ce point avec eux. Cela peut se faire en donnant des exemples et des contre-exemples pour chaque critère et point de la grille d'évaluation. Ainsi l'élève peut situer la qualité ou l'insatisfaction de son travail.

Finalement, **la capacité de l'élève de réaliser cette tâche doit être vérifiée plusieurs fois et dans différents contextes.** En effet, cela aussi permet de vérifier l'enchaînement des idées des élèves et leur logique de raisonnement.

Un autre paramètre qui est important, selon Wiggins, c'est le fait de **mettre en valeur les travaux des élèves en les encourageant à faire un exposé devant leurs camarades ou devant des professeurs.** Les élèves doivent être fiers de leur travail et des efforts fournis. Même si un étudiant n'est pas arrivé au résultat voulu, il pourrait se rattraper en expliquant pourquoi cela n'a pas marché et l'enseignant pourrait ainsi éviter de le pénaliser quant aux résultats obtenus. L'évaluation authentique ne se fait donc pas sur la base unique des résultats obtenus mais bien sur la base du raisonnement menant à l'obtention de ses résultats. Cela concorde avec ce qui est attendu des chercheurs chimistes. Etant donné que les étudiant(e)s chimistes sont notamment destinés à devenir de futurs chercheurs, cette méthode d'évaluation ne fera que renforcer leur future insertion professionnelle.

Pour conclure, après s'être plongé dans la notion d'évaluation, on remarque que cela n'est pas si simple : l'évaluation est très importante et ce n'est pas la facilité d'évaluer qui importe mais la qualité de l'évaluation. C'est donc cette conception de l'évaluation qui sera retenue dans le cadre de ce mémoire. Les recherches concernant l'évaluation authentique et les autres travaux évoqués constituent aussi une référence de choix car ils sont en concordance avec notre vision d'innovation des TPs.

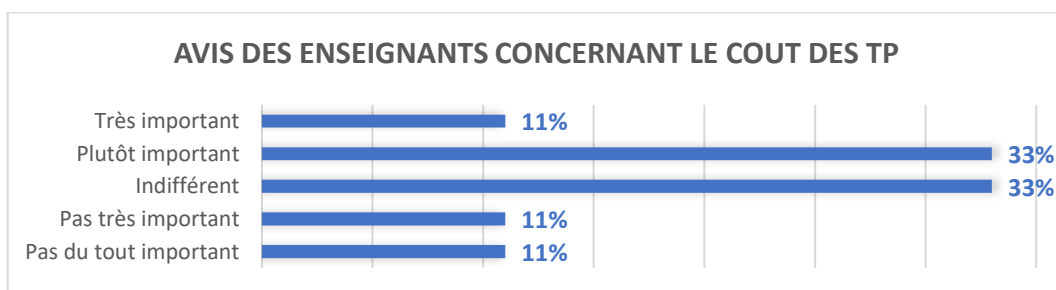
3.2.2- L'articulation théorie-pratique

Un autre critère relatif à la qualité d'un TP et abordé au travers du questionnaire était le rôle des manipulations dans la compréhension de la théorie vue aux cours. Concernant ce point, 22% des professeur(e)s pensent que cela est plutôt important et 78% pensent que cela est très important. Tout le monde semble donc d'accord pour dire que cela constitue un aspect

fondamental. Après tout, c'est pour cela que s'est battu Lavoisier en proposant sa méthode analytique.

L'enseignement de la chimie est une pièce à deux faces. La théorie et la pratique. Toutefois, il faut noter à ce sujet qu'il y a deux méthodes d'enseignement. Soit partir de la théorie pour arriver à la pratique. Soit partir de la pratique pour arriver à la théorie. La première approche est ce qu'on appelle un raisonnement hypothético-déductif ; on émet une hypothèse (la théorie) qu'on a posée (qu'on a vu au cours et qu'on a prise pour acquise) puis on réalise une expérience qui vise à la démontrer. La deuxième approche est ce qu'on appelle un raisonnement empirico-inductif ; à partir de l'expérience menée, on généralise et on formalise la théorie.

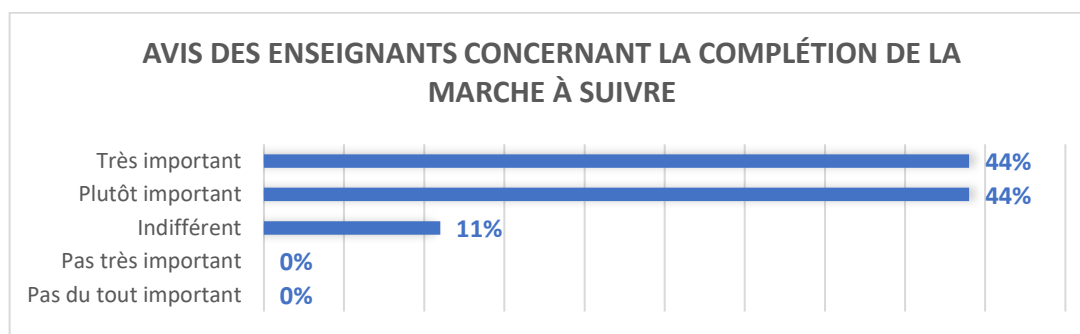
3.2.3- Le coût des TP



Passons maintenant au critère des dépenses. Le matériel du TP doit-il être bon marché ? Les avis des enseignants sont mitigés. N'oublions pas que le manque de moyen était la cause du retard de l'installation des TP en France au 19^{ème} siècle. Un enseignant essaiera toujours de donner le meilleur pour ses étudiant(e)s. Mais le facteur financier peut être un obstacle à cela. C'est alors à lui de s'adapter en créant son TP en utilisant les moyens du bord.

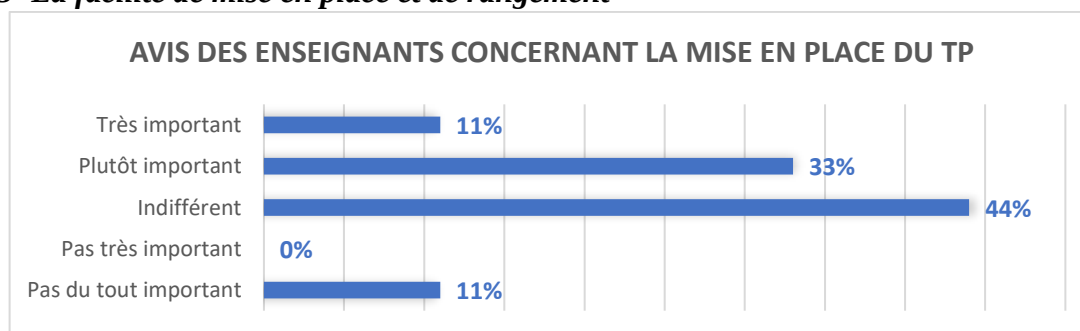
On peut parfois faire des expériences avec des moyens simples, même en classe. Par exemple, lors d'un stage dans une école secondaire, l'expérience du chou rouge a été utilisée pour introduire la notion d'acide et de base ainsi que la notion de pH. Cette expérience consiste à utiliser du jus de chou rouge en tant qu'indicateur coloré afin de déterminer l'acidité/la basicité de solutions. Toute l'expérience a été effectuée avec des produits de la vie quotidienne (chou rouge, produits domestiques tels que l'eau de javel, jus de citron etc...). Ainsi le lien avec la vie quotidienne et les notions à voir dans le cours ne serait que renforcé. Il est peut-être plus complexe de réaliser cela au niveau universitaire de nos jours.

3.2.4- La clarté et la complétion de la marche à suivre



Un autre critère concerne la clarté et la complétion de la marche à suivre pour les étudiant(e)s. Ce point est apparu comme important pour une grande majorité des répondants. En effet, il est vrai que la démarche à suivre doit être claire pour les étudiant(e)s. Mais il faut toutefois être vigilant. Le TP ne doit pas devenir une « recette de cuisine ». L'effet motivant du TP désiré peut alors avoir l'effet inverse et démotiver les étudiant(e)s. Mais d'un autre côté, si la démarche n'est pas claire, cela va avoir un effet décourageant et donc démotivant pour les étudiant(e)s. Alors, que faire ? Nous reviendrons sur ce point plus tard en abordant les facteurs importants pour que le TP développe la motivation des étudiant(e)s pour le cours.

3.2.5- La facilité de mise en place et de rangement



Le critère suivant concerne la facilité de mise en place et de rangement du TP. Il est très important pour un enseignant de prévoir le temps d'installer et de ranger le matériel didactique pour un TP. Néanmoins, au niveau universitaire, cette tâche n'est plus assurée par l'enseignant en soit mais par les préparateurs/préparatrices ou les assistants. Alors qu'au niveau secondaire une telle organisation n'existe pas. C'est encore l'enseignant qui gère son TP en personne, y compris le fait d'installer et de ranger le matériel. En préparant son TP, il doit ainsi tenir compte de ce temps dans son timing de séquence de cours.

3.2.6- L'autonomie et la démarche d'investigation

Un autre critère porte sur le développement de l'autonomie des étudiant(e)s. 44 % des professeur(e)s pensent que cela est plutôt important alors que 56% pensent que cela est très

important. Il s'agit donc, semble-t-il, d'un critère considéré comme incontournable, à prendre en compte lors de la conception d'un TP. En effet, la plupart des étudiant(e)s chimistes seront vraisemblablement amenés à devenir chercheurs en laboratoire ou en industrie et donc amenés à résoudre par eux-mêmes des problèmes dans l'exercice de leur métier. Il est donc évident que cela est important.

Un type de TP fonctionne particulièrement bien pour développer cette autonomie. Le TP par démarche d'investigation (DI). Bataille (2009) précise que, justement, un des objectifs primordiaux des TP est de confronter l'étudiant à son futur travail de chercheur et lui faire savoir qu'entre ce qu'on écrit au tableau au cours et ce qui se passe réellement au laboratoire c'est parfois la même différence qu'entre le ciel et la terre. Dans cette optique, il faut dès lors sensibiliser les apprenants quant à la construction de la recherche, aux sources d'erreur et à l'importance de la créativité, de l'initiative, de la curiosité, de l'observation et de l'ingéniosité. Selon Bataille (2009), la DI serait née aux Etats-Unis dans les années 1990 sous l'appellation « Inquiry Based Experiment ».

Les principaux objectifs de la DI sont de permettre aux étudiant(e)s de concevoir et conduire une démarche scientifique pour la résolution d'un problème, de formuler des explications scientifiques utilisant l'expérience pour prouver leur hypothèse (on favorise donc le raisonnement hypothético-déductif), de communiquer leurs résultats et de les exploiter. Dès lors, si on opte pour ce genre de TP, on ne fournit pas de protocole aux étudiant(e)s. C'est à eux à le construire. On leur expose le problème et on leur fournit la liste des produits disponibles ainsi que des annexes avec éventuellement des tables de données (potentiels rédox, tables de solubilité, de pKa etc...).

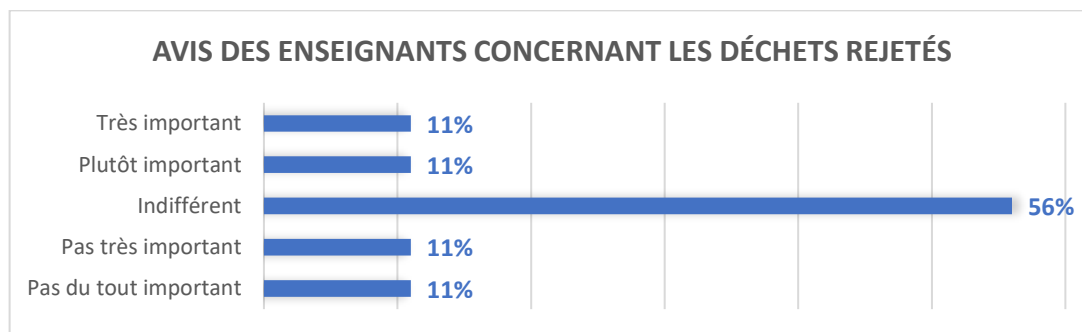
Parfois, cela peut avoir un effet décourageant pour l'étudiant s'il ne trouve pas la solution. C'est alors à l'enseignant de le « coacher », mais sans lui donner la réponse. Sinon cela briserait la stimulation voulue par la démarche d'investigation. Ainsi, cette démarche vise la coopération avec l'assistant ou l'enseignant, mais également entre binômes. C'est assez similaire à la future situation professionnelle des étudiant(e)s, où ils devront apprendre à collaborer et, en cas de difficultés, demander l'appui et l'aide de leurs collègues voire de leurs supérieurs.

3.2.7- La sécurité des étudiant(e)s

Le critère suivant concerne la sécurité des étudiant(e)s lorsqu'ils effectuent une manipulation. 11% des enseignants ont un avis indifférent. 22% pensent que cela est plutôt important. Enfin 67% d'entre eux pensent que cela est très important. Il est évident que la sécurité de nos

étudiant(e)s est très importante. C'est pour cela que chaque protocole devrait comporter une partie annexe contenant les fiches de sécurité des produits dangereux. La dangerosité de certains produits pourrait même faire l'objet d'un point pédagogo-didactique. Si cela est faisable et que cela rentre dans le cadre d'une ou plusieurs notions vues aux cours, on peut leur demander pourquoi tel ou tel produit est dangereux. Le tout n'est en effet pas de savoir s'il est dangereux mais pourquoi.

3.2.8- Les déchets rejetés par les TPs



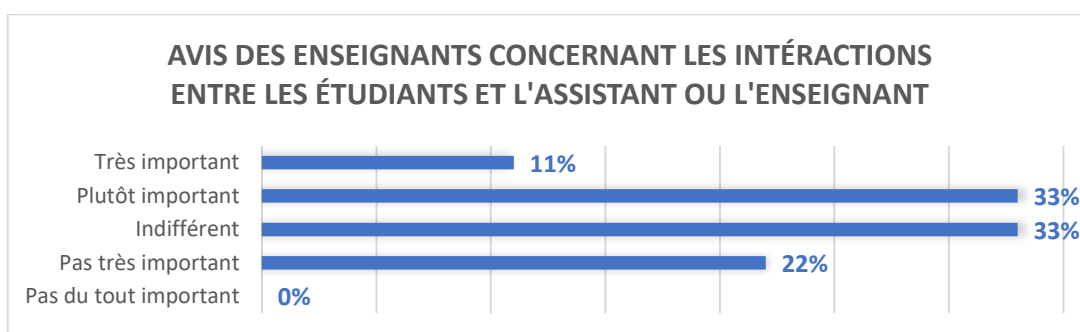
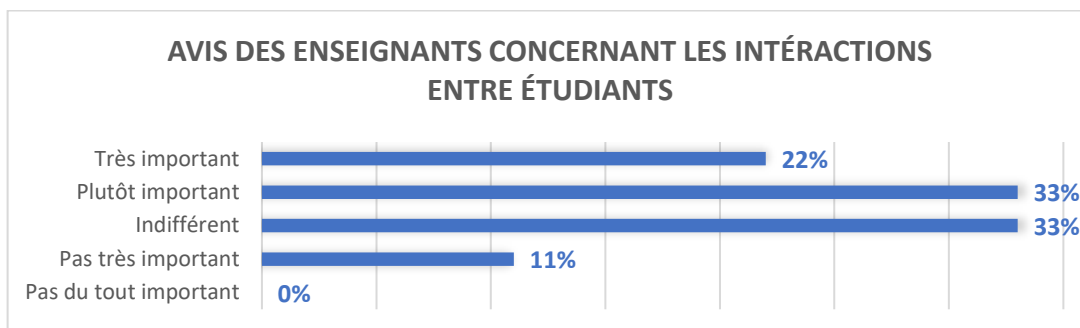
Le critère suivant concerne la quantité de déchets rejetés lors de la manipulation. Nous sommes en plein dans l'actualité sur le climat. Et les jeunes sont de plus en plus sensibilisés, comme on a pu le constater via les diverses manifestations qui ont eu lieu dans le monde et avec la popularité ascendante de Greta Thunberg (*Envoyé spécial*, 23/01/2020, « Greta l'cône du climat »).

Si l'enseignant a décidé d'utiliser ou de générer un produit polluant pour l'environnement, les élèves vont se poser des questions. Justement il faut tirer profit de ce fait. Il faudrait transposer ce problème en une approche didactique. Par exemple, dans le TP conçu (Voir partie 6.1), la dissolution du laiton se fait dans de l'acide nitrique. Cela a pour effet de former du dioxyde d'azote NO_2 qui est un gaz polluant et aussi responsable de la formation de l'ozone troposphérique. Les étudiants sont curieux de nature et ils vont aller se documenter avant de venir au laboratoire.

L'enseignant doit se projeter et anticiper cette curiosité et ces questionnements venant de la part des étudiant(e)s. Cela pourrait être abordé sous forme de questions, même dans l'évaluation. Par exemple, pourquoi n'avons-nous pas utilisé un autre acide fort comme l'acide sulfurique (98%) ou l'acide chlorhydrique (37%) ? En écrivant les réactions rédox, ils s'apercevront que si on utilise ces acides, ce n'est pas du NO_2 qui sera formé mais du dihydrogène H_2 qui est un gaz extrêmement inflammable. Donc ici on privilégie la sécurité des étudiant(e)s à l'environnement. Mais il faut les rassurer en les informant que de toute façon cela se fait sous

hotte et que la masse de laiton dissoute est faible et que donc par conséquent le volume de NO₂ généré n'est pas très important.

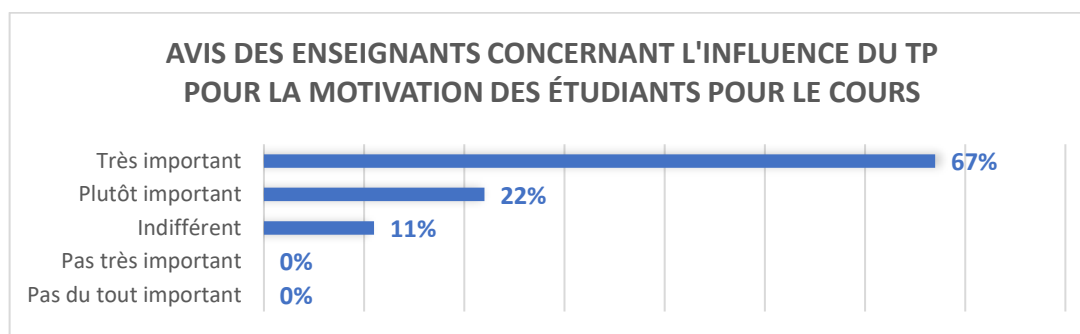
3.2.9- Les interactions



Les résultats obtenus permettent de constater une perception assez diverse. Pour rappel, l'importance de ces interactions est pourtant en accord avec le modèle de l'évaluation authentique selon Wiggins qui encourage la collaboration entre ces différents intervenants. Mais peut-être certains enseignants craignent-ils que ces interactions ne permettent pas d'évaluer précisément les compétences de l'étudiant visé ?

Cette enquête nous a permis d'y voir plus clair quant à la vision des enseignants pour un « bon » TP. La tâche de concevoir ou d'innover un dispositif de TP paraît complexe et n'est pas si simple que cela puisse paraître. Notons tous ces paramètres à tenir en compte pour assurer le bon déroulement d'une manipulation. C'est un défi de taille pour notre école afin d'assurer un futur radieux pour les prochaines générations d'étudiant(e)s.

3.3- Améliorer la motivation des étudiant(e)s : un facteur très important



Les personnes interrogées semblent majoritairement d'accord pour affirmer que le TP doit jouer un rôle important dans la motivation pour un cours. Afin d'approfondir cet aspect, les professeur(e)s ont été plus précisément interrogés sur les facteurs importants pour que le TP développe la motivation des étudiant(e)s pour le cours.

On emploie souvent ce terme de motivation à la légère. « Je vais faire comme ça ! Ça va les motiver ! Cela va booster leur motivation ! etc... » Parfois, ce que l'un trouve motivant peut être démotivant pour l'autre et vice-versa. Il faudrait donc d'abord se mettre d'accord sur la définition du concept. Qu'est-ce que la motivation ?

3.3.1- Définition du concept

Le terme « motivation » est parmi les concepts les plus complexes en psychologie de l'éducation. C'est aussi l'un si ce n'est le problème majeur des enseignants. Mais ce qui est intéressant, c'est que les enseignants connaissent et remarquent la présence de la démotivation (c'est-à-dire l'absence de la motivation) mais qu'ils sont souvent impuissants face à elle. Ce double comportement connaissance/impuissance des enseignants face au problème de la démotivation peut laisser perplexe.

Une définition simple pourrait résumer la motivation à ce qui amène un apprenant à s'engager avec plus ou moins d'intensité dans une tâche donnée. C'est donc cet « engagement » de l'étudiant qui nous renseigne sur sa motivation. Bourgeois et Galand (2006) indiquent que cet engagement est « *une condition sine qua non pour un apprentissage de qualité* ». Il n'y a pas d'apprentissage digne de ce nom sans engagement de l'élève dans la tâche. L'apprentissage ne demande pas seulement la mobilisation des ressources cognitives mais aussi des ressources affectives et comportementales. L'implication et l'engagement de l'élève ne sont que renforcés par cette triple mobilisation.

En outre, la relation performance d'apprentissage $\leftrightarrow$ engagement peut donner naissance, selon Bourgeois et Galand (2006), à une spirale infernale pour l'apprenant. En effet, la diminution ou le non-engagement de l'élève a pour conséquence l'augmentation de la probabilité d'échec et l'échec engendre en contrepartie une augmentation du désengagement. Pour lutter contre cette spirale infernale, la psychologie de l'éducation s'intéresse non pas à la motivation elle-même mais aux facteurs psychologiques individuels et psychosociaux c'est-à-dire liés à la situation d'apprentissage à laquelle se confronte l'étudiant. L'idéal n'est pas de privilégier un facteur par rapport à l'autre mais de favoriser l'interaction entre ces deux aspects. Comment mieux cerner la multiplicité des difficultés de motivation des élèves/étudiant(e)s ?

3.3.2- Buts de performance et buts de maîtrise

Dupeyrat, Escribe et Mariné (2006) ont privilégié une approche pour une meilleure compréhension de ce problème qui consiste à examiner les raisons de l'apprentissage des élèves : Pourquoi apprennent-ils ? Pour décrire cela, ces auteurs mobilisent le concept de « buts d'accomplissement ». Par ce concept, on entend le « pourquoi » un élève/étudiant tente d'arriver à de tels « buts » et le « comment » il va opérer pour les atteindre.

Ainsi, on pourrait distinguer deux façons dont l'élève considère la tâche qui lui est confiée. Dans le cadre scolaire ou universitaire, deux types de buts sont présents, bien qu'ils soient distincts et opposés.

Premièrement, il y a les buts de maîtrise. L'objectif principal de l'individu concerné par ces buts est d'acquérir de plus en plus de savoirs, de savoir-faire mais aussi de savoir-vivre et cela afin de bien comprendre et maîtriser les tâches qui lui sont confiées. Les buts de maîtrise constituent un excellent moyen de développer ses compétences de façon efficace et durable.

A l'opposé, il y a les buts de performance. Dans ce cas, la préoccupation principale de l'apprenant est la réussite, qui passe par l'obtention de résultats satisfaisants, et cela sans se préoccuper du comment (le développement des compétences).

Mais quelles sont donc les conséquences de ces buts d'accomplissement ? Dweck et Leggett (1988) en identifient quelques-unes et détaillent encore plus précisément les différences entre ces deux types de buts.

L'intérêt central des buts de performance est le résultat de l'élève en soi. De ce fait, les efforts et le développement des compétences ne sont pas valorisés. D'où l'état d'anxiété, de honte et même parfois de dépression que l'étudiant développant ce type de buts peut ressentir en cas

d'échec. L'élève considère alors que le travail ne paie pas et son échec est pour lui synonyme de manque d'aptitude. Ce type d'apprenants, pour se convaincre eux-mêmes qu'ils ont quand même une chance, vont avoir tendance par la suite à choisir des activités ou des tâches faciles, qui demandent peu de persévérance et de réflexion ainsi que des stratégies peu coûteuses cognitivement. Les buts de performance ont donc plutôt des conséquences négatives concernant la relation performance d'apprentissage ↔ engagement évoquée précédemment.

A l'opposé, les buts de maîtrise sont centrés autour de l'effort, qui est perçu comme un moyen de développement de compétences. En s'étant fixé des buts de maîtrise, même si un élève échoue, il n'y aura peu voire pas de réaction affective négative. Au contraire, l'étudiant poursuivant des buts de maîtrise s'autocritiquera, évaluera les points à améliorer, élaborera de nouvelles stratégies, choisira des activités ou des tâches plus difficiles pour mieux s'exercer et tout cela en vue de lui permettre finalement une meilleure compréhension et la réussite lors d'une prochaine évaluation. Les buts de maîtrise ont donc des conséquences positives.

Les travaux pratiques pourraient constituer un moyen efficace de favoriser la conception de buts de maîtrise chez les étudiant(e)s. Certes, l'envie d'avoir de bons voir même d'excellents résultats peut demeurer chez l'étudiant (buts de performance), mais l'idéal est l'interaction entre ces deux types de buts afin de favoriser un apprentissage complet de savoirs, savoir-faire et savoir-vivre.

La question qui se pose désormais c'est de comprendre pourquoi certains étudiant(e)s s'impliquent plus que d'autres en faisant preuve de persévérance, d'enthousiasme, d'optimisme afin de mieux développer leurs compétences et ainsi maîtriser les tâches. Et pourquoi ceux-là obtiennent-ils généralement de meilleurs résultats par rapport aux autres ?

3.3.3- Le modèle « *expectancy-value* »

Un paramètre important qui nous permet d'éclaircir ces questions est la valeur qu'accorde l'étudiant à l'apprentissage visé. Wigfield et Eccles (2000) ont établi au cours de leur étude sur la « Expectancy-Value Theory of Achievement motivation » la définition de ce concept de valeur perçue par l'apprenant. La valeur perçue est la perception et l'appréciation subjective par le sujet de ce qu'une tâche d'apprentissage peut lui apporter.

A partir de cette définition et sur base d'études solides, ils ont établi en 2002 le modèle « expectancy-value » qui est illustré ci-après. On entend par « expectancy » les croyances d'un apprenant vis-à-vis du fait qu'il va probablement réussir dans une tâche ou activité donnée. Ces

croyances ainsi que la valeur perçue sont les facteurs les plus importants associés à la motivation selon le modèle de Wigfield et Eccles.

Ces facteurs sont eux-mêmes déterminés par quatre paramètres propres à chaque apprenant : sa mémoire affective, ses buts, ses concepts de soi (comment l'étudiant se voit, se perçoit lui-même actuellement et dans le futur) et enfin ses perceptions relatives à son habilité dans le domaine (sentiment d'efficacité personnelle) et à la difficulté de la tâche.

A leurs tours, ces derniers paramètres sont influencés par les perceptions que l'apprenant a de son environnement social ainsi que de ce qu'il a vécu dans le passé. Cette « réalité » sociale n'est pas en soi le facteur influençant la motivation du sujet. C'est plutôt l'interprétation de cette « réalité » de la part de l'apprenant qui est un facteur clé.

Ce modèle « expectancy-value » a même ensuite été élargi en intégrant quatre variables relatives à la tâche visée ; l'intérêt intrinsèque, l'utilité, l'importance et le coût (cognitif) pour l'étudiant.

Pour conclure, la valeur perçue et qu'accorde l'apprenant à la tâche qu'on lui confie et sa croyance qu'il va probablement la réussir dépendent donc de son interprétation du réel. C'est cela qui va déterminer l'engagement de l'apprenant.

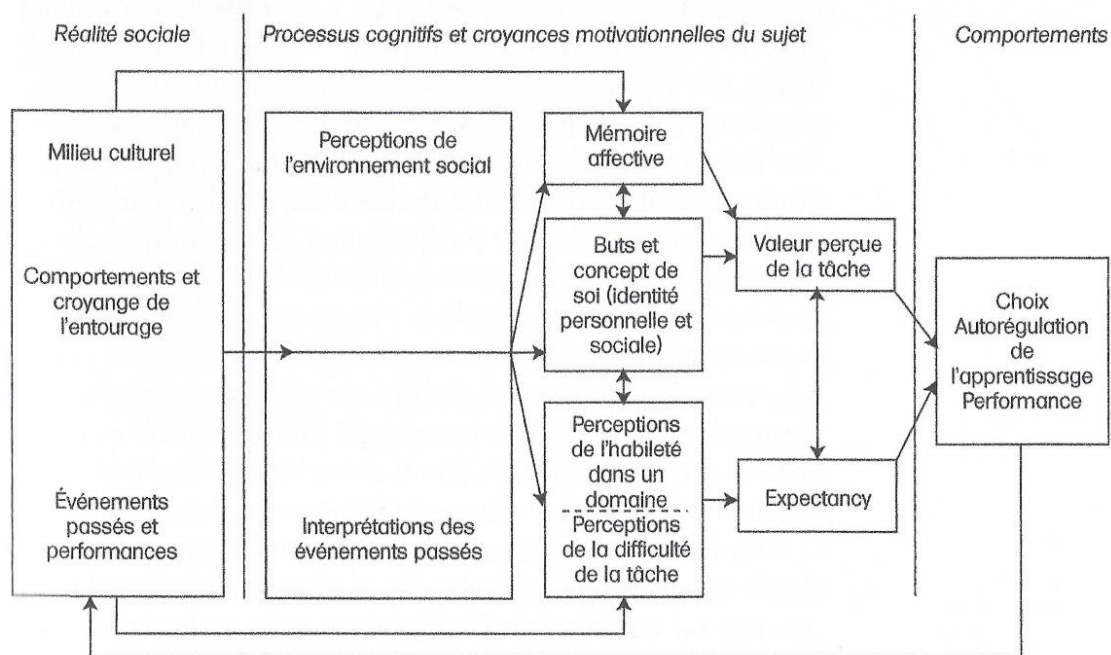


Figure 3: Modèle « expectancy-value » d'Eccles et Wigfield (Neuville, 2006)

3.3.4- Influence de l'enseignant sur la motivation

Dans le cadre du modèle « expectancy-value », quel facteur pourrait guider l'étudiant sur la voie d'une « bonne » perception et ainsi l'aider à développer une motivation telle que définie ? La réponse est l'enseignant évidemment. En reprenant la théorie de Wigfield et Eccles, Neuville et son équipe (2006) ont réalisé des études pratiques avec des étudiant(e)s en psychologie et ils en sont arrivés à plusieurs conclusions.

Il est tout d'abord essentiel pour l'enseignant de mettre en évidence l'utilité de son cours. Il peut favoriser cela par exemple en invitant des professionnels du terrain, en parlant de sa propre expérience ou encore mieux en impliquant les élèves eux-mêmes dans une tâche relative au cours et à laquelle l'enseignant assisterait également. Cela permettrait aussi de favoriser la projection de l'étudiant dans son avenir professionnel. Cette passion et cet enthousiasme que ressent l'étudiant au travers des communications de son enseignant ne fera que renforcer son intérêt et donc, par conséquence, la valeur perçue et l'engagement de l'étudiant dans le cours.

Nous avons parlé précédemment des buts de performance et de maîtrise. Certes, la valeur perçue de la tâche, comme le démontre le modèle de Wigfield et Eccles, est notamment influencée par les buts d'accomplissement adoptés par l'étudiant mais il ne faut pas oublier un autre paramètre important : l'environnement social.

Quand on réalise un TP, les étudiant(e)s sont souvent amenés à travailler en équipe. Le modèle de l'évaluation authentique proposé par Wiggins, comme nous l'avons vu, encourage ce type d'interactions. Néanmoins, ces interactions ne sont pas toujours positives, malheureusement. Les relations interpersonnelles peuvent en effet influencer sur les buts fixés par l'étudiant, et donc sur sa motivation et son engagement.

Darnon, Buchs et Butera (2006) ont réalisé des recherches à ce sujet. Dans la plupart des cas, l'environnement social peut influencer sur les buts poursuivis, et si les buts sont influencés, la relation vis-à-vis de la tâche peut aussi être affectée. Le cadre de travail et le climat d'apprentissage instaurés par l'enseignant, notamment au travers du dispositif proposé, vont influencer le type de buts (de performance ou de maîtrise) poursuivis par les étudiant(e)s.

Si l'enseignant valorise la performance (donc les points) et la comparaison, les étudiant(e)s vont adopter des buts de performance et cela va notamment favoriser des comportements antisociaux comme le non-partage de connaissances, la supériorité vis-à-vis des autres mais aussi la tricherie, etc...Au contraire, si l'enseignant favorise la coopération, les étudiant(e)s adopteront plus facilement des buts de maîtrise. Et comme nous l'avons expliqué ci-dessus, favoriser les

buts de maîtrise est pour l'enseignant un moyen de guider l'étudiant vers des stratégies cognitives efficaces. L'enseignant ou l'assistant a donc un rôle fondamental dans l'instauration d'un cadre favorable au respect d'autrui, à la coopération, à la non-violence etc...et cela afin de favoriser la motivation des étudiant(e)s et donc leur engagement.

On y voit déjà un peu plus clair concernant ce concept de motivation ainsi que les paramètres et variables dont on doit tenir compte. Maintenant qu'en est-il plus précisément de la motivation concernant les études en sciences (comme la chimie) et en technologies ?

3.3.5- La motivation des étudiant(e)s pour l'étude des sciences et technologies et ses facteurs

Nous avons indiqué dans l'introduction que parfois ce n'est pas le « grand amour » entre les jeunes et les sciences. Beaucoup d'entre eux quittent leur cursus universitaire avant d'obtenir leur diplôme. Certains changent carrément d'orientation. Ces phénomènes, on les observe et on les constate surtout lors de la première année universitaire. L'échec et l'abandon des étudiant(e)s pendant leur première année à l'université sont devenus des sujets préoccupants. C'est ce qui a amené Simon Larose à mener une étude sur la motivation et la persévérance des jeunes dans les études post-secondaires en sciences et technologies.

Larose (2006) adopte un modèle connu sous le nom de **modèle sociomotivationnel de la persévérance en sciences et technologies**. Ce modèle situe la motivation scientifique comme le vecteur central des trajectoires scolaires et professionnelles des jeunes intéressés par les sciences et technologies.

La motivation scientifique est déterminée par quatre paramètres relatifs à l'état personnel de l'apprenant : les sentiments d'auto-efficacité (ou sentiment d'efficacité personnelle (SEP) qui est une théorie de la motivation formalisée par Albert Bandura et qui est d'ailleurs l'un des courants ayant inspiré Larose pour son modèle sociomotivationnel), les sentiments d'autodétermination, les sentiments d'engagement et enfin les sentiments d'appartenance à la communauté scientifique.

Pour faire la différence entre ses différents sentiments, prenons un exemple concret. Un élève du secondaire qui vient d'obtenir son CESS (Certificat d'Enseignement Secondaire Supérieur) se sent doué et capable de réaliser des tâches en chimie étant donné qu'il a eu d'excellentes notes pour cette matière (Auto-efficacité/SEP). Il choisit de poursuivre ses études universitaires en entamant un bachelier en sciences chimiques car il est passionné par la chimie et non car c'est le souhait de ses parents (choix autodéterminé). De plus, il est prêt à travailler dur pour

s'en sortir dans ses cours (engagement). Enfin, il se sent accepté par des membres de son école de chimie par exemple (appartenance). Cet étudiant a donc une motivation scientifique élevée.

En outre, le modèle sociomotivationnel de la persévérance en sciences et technologies affirme que la motivation scientifique évolue en fonction d'expériences effectuées dans son entourage social. Trois caractéristiques décrivent ces expériences. Premièrement, il s'agit de la structure. On entend par structure le fait que l'apprenant puisse évoluer dans un environnement social où les responsables de son école l'exposent à des tâches scientifiques concrètes. Deuxièmement, il s'agit de l'engagement. Par engagement, on entend l'interaction qu'a l'étudiant avec ses enseignants concernant ses choix de programmes, ses cours, ses perspectives professionnelles. Enfin, troisièmement, le soutien à l'autonomie. C'est-à-dire le fait que les enseignants et les responsables sont ouverts vis-à-vis des choix de l'étudiant et les acceptent tout en les valorisant, sans exercer de pression.

Quels sont les autres paramètres qui peuvent influencer positivement ou négativement sur la motivation scientifique et donc la persévérance en sciences et technologies ? Larose a relevé trois facteurs qui ont un rôle sur la motivation scientifique : la famille, l'école et la communauté.

Examinons tout d'abord le facteur familial. En effet, ce facteur peut être à son tour influencé par plusieurs paramètres. Une famille ayant plus de facilités socio-économiques aura tendance à voir plusieurs si ce n'est tous ses enfants se diriger vers les filières scientifiques. De plus, cette tendance augmente lorsque l'un des parents ou les deux ont suivi par le passé leur cursus dans le domaine des sciences et technologies. Néanmoins, selon Larose (2006), ce fait peut entraîner des effets « pervers » sur la persévérance et donc sur la motivation des étudiant(e)s concernés. En effet, l'influence des parents sur les choix des études des jeunes et leur orientation académique a un effet négatif. Ce stéréotype auquel les parents croient est connu sous le nom de douance. La douance est le fait de croire que la réussite dans le domaine des sciences et technologies est une question de talent (héréditaire) et pas d'effort. Les parents croient fermement que si eux ont réussi leurs études scientifiques alors leurs enfants vont d'office les réussir. Ce qui n'est pas toujours le cas.

Les attitudes et croyances des parents jouent ainsi un rôle important sur la motivation et persévérance des jeunes en sciences et technologies. Or il faut faire attention à ces attitudes et croyances, car elles sont elles-mêmes basées sur des stéréotypes.

Mais qu'est-ce que ce concept ? En fait, comme le dit Dorai (1988), il n'y a pas une définition du stéréotype mais plusieurs. En effet, la définition du stéréotype dépend de sa fonction ou de

ses fonctions. Un stéréotype, selon Larose (2006), est « *une croyance qu'une personne ou un groupe entretient au sujet des caractéristiques des membres d'un autre groupe. Cette croyance est généralisée à l'ensemble des membres du groupe de manière rigide, c'est-à-dire sans tenir compte des différences individuelles* ». Larose illustre cette définition par un bel exemple. En mathématiques par exemple, il y a ce stéréotype que les garçons réussissent mieux que les filles. Un père croira plus en l'aptitude de sa fille qu'une mère et il augmentera donc davantage sa persévérance. Car sa mère est victime elle-même de ce stéréotype et ne se croit pas douée en mathématiques. Il faut donc faire attention à ces attitudes et ces croyances des parents qui ne sont pas des réalités mais qui proviennent de stéréotypes. Néanmoins, ce sont les enfants qui peuvent en souffrir par influence sur leur persévérance et leur motivation. En mathématiques, comme nous l'avons vu, ce sont surtout les filles qui sont affectées.

D'autres études ont démontré que les pratiques et ressources éducatives en milieu familial augmenteraient la motivation et plus précisément la persévérance. En effet, l'implication des parents dans la vie scientifique de leurs enfants en leur fournissant des ressources comme des encyclopédies, des livres, des ordinateurs, du matériel scientifique etc...booste l'intérêt des jeunes pour les sciences et technologies. De plus, entretenir des conversations et des débats scientifiques avec sa famille favoriserait également cet intérêt.

Passons maintenant au deuxième facteur qui constitue sans doute l'un des facteurs les plus sensibles et importants pouvant influencer la motivation et la persévérance des jeunes en sciences et technologies : l'école. Le guide dans ce cas n'est autre que l'enseignant. En effet, l'encouragement, le soutien affectif, une matière bien structurée, la confrontation des mythes scientifiques (obstacle épistémologique), la façon d'interagir avec les étudiant(e)s sont primordiaux afin d'assurer un cadre sain d'apprentissage et de ce fait augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences et technologies et donc leur persévérance et leur motivation. Surtout que, dans certains cours, le contenu de la matière peut être très dense et lourd à supporter et à maîtriser et cela peut être une source de stress, de pression et d'anxiété.

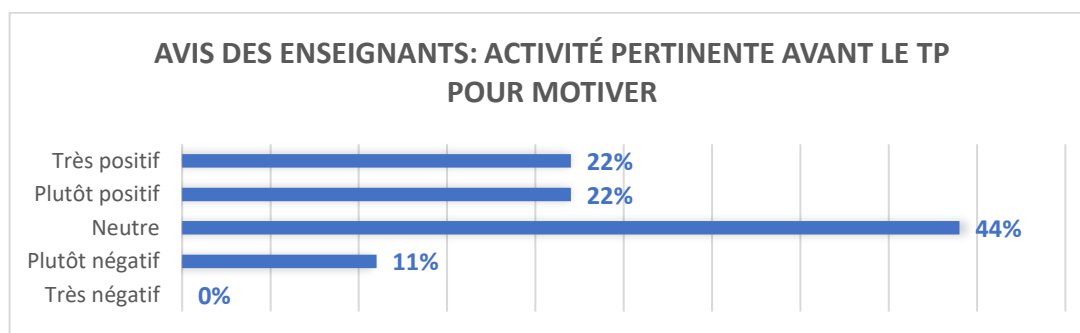
Passons enfin au rôle de la communauté. Par communauté, on entend le fait que les étudiant(e)s participent activement à des expériences (TPs), à des conférences scientifiques, à des animations d'ateliers scientifiques etc...Tout ceci n'en sera que bénéfique pour sa formation scientifique et son intérêt pour les sciences et technologies et c'est également ainsi qu'il se construit son cercle communautaire scientifique et professionnel. Les expériences entreprises avec les étudiant(e)s et mises au point par l'école doivent avoir un lien concret avec la vie

quotidienne et les problèmes rencontrés de nos jours et cela afin de les sensibiliser vis-à-vis de l'importance des études qu'ils ont entreprises et de les rendre fiers de ce qu'ils entreprennent. Peut-être, dans le futur, seront-ils amenés eux-mêmes à résoudre ces problèmes et ainsi œuvrer pour la société. Le professeur ou la professeure doit être une espèce de mentor qui augmente l'intérêt et la persévérance de l'étudiant dans les sciences et technologies.

Toute cette partie sur la motivation nous a mené très loin dans la réflexion. On remarque que cela est loin d'être simple de susciter la motivation des étudiant(e)s et qu'une multitude de variables se combinent et interagissent entre elles. Pour l'enseignant, il s'agit d'agir adéquatement au risque d'avoir l'effet inverse sur l'étudiant.

3.3.6- Quelques aspects particuliers

- Réaliser une activité pertinente avant la séance de TP



Retournons maintenant à l'analyse de la deuxième question de l'enquête, concernant les facteurs importants pour qu'un TP développe la motivation des étudiant(e)s pour le cours. Le premier facteur exploré concernait le fait qu'avant d'arriver à la séance de TP, l'étudiant doive réaliser une activité pertinente (revoir la théorie, faire des exercices etc...).

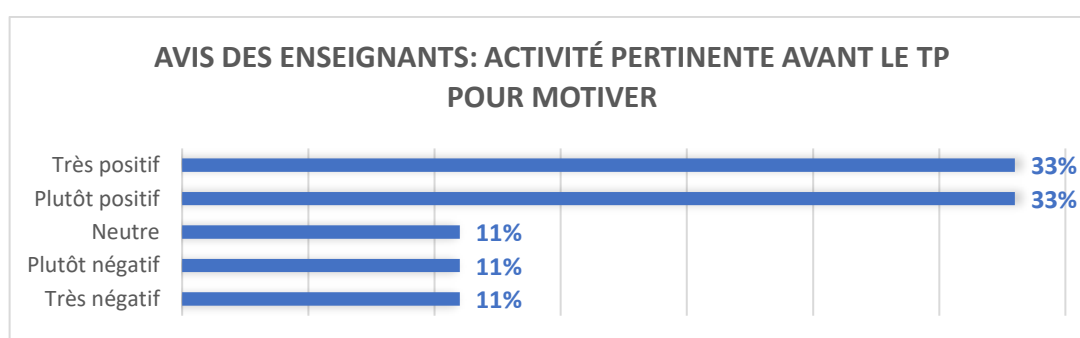
Si l'on se réfère à la théorie exposée plus tôt concernant la motivation, venir au TP en ayant préparé son cours devrait augmenter la persévérance et la motivation de l'étudiant. En effet, si l'on propose un problème à résoudre en TP, il est important pour l'étudiant de posséder des outils basiques pour la résolution et la compréhension du problème ou de la tâche en question. L'intérêt de l'étudiant et son engagement pour la réalisation de la tâche n'en seront que renforcés, s'il se sent en mesure de réussir (notion d'expectancy).

Néanmoins, parfois cela ne peut se faire. En effet, quelques fois, la théorie est vue après le TP pour des raisons d'organisation de calendrier. Cela a souvent comme conséquence de diminuer la motivation des étudiant(e)s. Une solution afin de résoudre ce problème serait que l'enseignant ou l'assistant les informe de cela et que, dans le manuel, soit insérée une partie théorique

concernant le TP dont les étudiant(e)s ne maîtrisent pas encore la théorie. Une autre solution pourrait tout simplement être d'organiser les TP de telle façon à ce que la pratique soit toujours vue après les cours qui y sont relatifs.

Il n'y a pas de « meilleure » organisation de TP. Cela dépend du contrat didactique établi entre l'enseignant et les étudiant(e)s. Commencer le TP pour ensuite entamer le cours favoriserait la démarche empirico-inductive qui pourrait aussi augmenter l'autonomie des étudiant(e)s. Mais il faut encore guider quelque peu l'étudiant en fixant les buts et objectifs du TP afin qu'il ne se sente pas trop perdu.

- Caractère amusant ou spectaculaire du TP



Le point suivant concernait le fait que l'expérience réalisée soit amusante ou spectaculaire. Cet aspect apparaît majoritairement pointé comme positif par les personnes interrogées. Il semble évident que ce facteur ne pourrait avoir qu'un effet positif sur la motivation des étudiant(e)s. En effet, réaliser des expériences spectaculaires ne ferait qu'attiser la curiosité des étudiant(e)s et donc leur intérêt pour le cours. Toutefois, une expérience peut être certes spectaculaire (couleur, fumée, luminescence etc..) mais cela ne suffit pas. Il faut toujours ramener le « beau » phénomène observé dans une approche pédagogique. Pourquoi a-t-on observé cela ?

Si l'expérience est aussi amusante cela peut être un plus car cela favoriserait l'apprentissage dans un cadre agréable. Evidemment, le fait que l'expérience soit amusante ne doit pas être synonyme de relâchement de la part de l'étudiant ou de l'enseignant. Il faut toujours contrôler le cadre pédagogique du TP.

- Complémentarité entre le TP et le cours

Le facteur suivant concerne le lien du TP avec le contenu du cours. Tous les enseignants pensent que ce point est positif et pour certains même il s'avère très positif pour la motivation des étudiant(e)s. Il est clair que le TP peut donner plus de sens au cours et donc augmenter l'intérêt de l'étudiant pour l'étude du cours. Cela permet aussi à l'étudiant de sortir du cadre de la salle

de classe ou il ne fait qu'acquérir des savoirs théoriques qu'il gribouille au tableau et sur ses cahiers à un cadre plus pratique et professionnel, plus proche des applications concrètes et des problèmes qu'il pourrait rencontrer dans sa future vie professionnelle de chercheur ou d'industriel. Ce challenge de l'aspect pratique du cours ne fera qu'accentuer l'intérêt de l'étudiant envers sa discipline.

4- Numérisation de l'enseignement de la chimie

Le numérique dans l'enseignement est au cœur de l'actualité. En effet, l'épidémie du coronavirus a causé la fermeture temporaire des écoles et des universités, pas seulement en Belgique mais aussi dans la plupart des pays du monde. Comment les apprentissages se sont-ils poursuivis avec le confinement ? Comment, aux quatre coins de la planète, des enseignants ont-ils pu continuer de transmettre de la nouvelle matière malgré cette période perturbante ? Comment évaluer les compétences des étudiant(e)s dans ce contexte ? Quelle est l'influence de l'enseignement à distance sur la motivation des étudiant(e)s ? Beaucoup de questions se sont posées et l'inquiétude s'est fait ressentir, tant chez les étudiant(e)s que chez certains parents.

Beaucoup d'enseignants ont su faire face à cette inquiétude et rassurer les étudiant(e)s. Cette crise aura hissé le numérique à la place de héros. Mais les vrais héros ne sont-ils pas les enseignants ? Le numérique est un outil et, pour qu'il fonctionne, il faut savoir comment le mettre en place et comment l'utiliser, ce qui n'est parfois pas évident. L'effort, la patience et la persévérance de beaucoup d'enseignants face à l'instauration de ce système d'enseignement à distance ont montré que ce sont eux qui sont les vrais héros sur lesquels reposait le fait de sauver l'année académique. Après la fin de crise, que va-t-il advenir de la place du numérique dans l'enseignement ?

Comme le dit Benoit Galand (2020), un membre du GIRSEF (Groupe Interdisciplinaire de Recherche sur la Socialisation, l'Education et la Formation), « le numérique va-t-il révolutionner l'éducation ? ». Après cette crise, beaucoup d'élèves, d'étudiant(e)s et même d'enseignants pourraient penser qu'en fait, pour certains cours, l'apprenant n'a pas besoin d'être en salle de classe pour apprendre. En effet, les savoirs ne sont plus protégés et sont devenus un produit de consommation. Ils sont devenus consultables sur internet, via des contenus mis en ligne ou via des vidéos. La place de l'enseignant en tant que transmetteur des savoirs est-elle donc en danger ? Face à l'avancée technologique, cette idée commençait déjà à se répandre même avant le confinement.

Ce n'est pas la seule idée reçue relative à l'usage du numérique. Comme le mentionne Galand (2020), beaucoup pensent que le caractère interactif et multimédia du numérique augmente l'efficacité des apprentissages, que l'autonomie ainsi que la motivation des étudiant(e)s sont augmentées par l'usage du numérique. Ces idées reçues sont-elles vraies ou fausses ? La réponse est que cela dépend de la situation. L'usage du numérique en soi n'est ni meilleur ni pire pour l'enseignement. C'est de cela dont nous allons discuter dans cette partie théorique concernant la numérisation de l'enseignement en général et plus particulièrement de la chimie. Dans la suite de ce mémoire, ce n'est plus le terme « numérique » qui sera utilisé mais « TIC » pour Technologies de l'Information et de la Communication.

Il existe deux courants opposés concernant l'utilité des TIC dans l'enseignement. Un courant qui encourage leur usage afin de booster les apprentissages, la motivation etc. et un autre courant, par contre, qui stipule que les TIC constituent une menace pour l'enseignement. Ce second courant insiste par exemple sur le fait que les étudiant(e)s utilisent de plus en plus les nouvelles technologies, ce qui diminuerait le niveau et la fréquence de lecture chez les jeunes. Pour certains, les informations disponibles sur internet et les réseaux sociaux diminueraient l'intelligence et le sens de la critique. Les jeunes seraient manipulés voire possédés par les technologies, ce qui mettrait en péril la démocratie. Certaines technologies telles que les smartphones sont décrites par certains comme synonymes de problèmes de santé et encore bien d'autres idées négatives...

Ayant participé à la SETT (School Education Transformation Technology) à Namur en février 2020, le nombre de stands présentant des TIC était sidérant. Leur nombre était plus important que les locaux réservés aux conférences traitant de l'utilité ou de la critique de l'utilisation de ces outils. Les compagnies qui commercialisent ces technologies faisaient leur publicité et étaient dans une relation de vente avec les enseignants, pédagogues et didacticiens. Comme le disent Biagini, Cailleaux et Jarrige (2019), le numérique participe ainsi à la marchandisation de l'école.

Le plus important est de mener des études sur l'impact des TIC sur les apprenants. Plusieurs recherches pédaogo-didactiques ont été effectuées sur leur usage dans l'enseignement mais elles ne sont pas toutes avérées concluantes. En effet, beaucoup d'entre elles se basent plutôt sur l'utilisation des TIC en soi. Des idées concernant justement les éventuels impacts des TIC sur les apprenants ont été reprises par Galand (2020) dans son article récent sur la révolution du numérique dans l'éducation. Nous allons en détailler certains d'entre elles.

4.1- Les TIC rendent les étudiant(e)s plus actifs : mythe ou réalité ?

La première idée que nous allons aborder est l'augmentation éventuelle de l'efficacité des apprentissages grâce au caractère interactif et multimédia des TIC. Nos étudiant(e)s ou élèves apprennent-ils mieux avec les TIC ?

Pour y répondre, Amadiou et Tricot (2014) parlent du mythe de l'élève actif. Qu'est-ce qu'un élève actif ? Un élève est actif s'il participe à la construction, au traitement, à l'analyse du savoir et s'il ne se contente pas de le réceptionner de façon passive. Il interagit avec les savoirs à acquérir et est donc davantage mobilisé dans ses apprentissages, qui seront dès lors plus approfondis. Et le numérique dans tout cela ?

Les TIC peuvent rendre l'apprenant plus actif. Par exemple, quand les étudiant(e)s manipulent un logiciel de traitement de spectre UV-Visible ou Infrarouge, ils apprennent en traitant et en interprétant eux-mêmes les informations. Un autre exemple est celui de la manipulation des logiciels de représentation de molécules comme Chemdraw ou Avogadro. Les configurations spatiales permettent parfois de mieux comprendre la réactivité des molécules que ce soit en chimie organique ou inorganique. Pourquoi un nucléophile attaquerait par une face et pas par l'autre ? Pourquoi cette conformation est préférable à une autre ? etc...Ce sont des questions que l'on entend souvent dans les auditoriums. Ainsi, laisser les étudiant(e)s manipuler eux-mêmes ces logiciels contribuerait à l'acquisition de savoirs solides puisque les apprenants auraient contribué à leur construction.

Mais l'usage des TIC ne rend pas automatiquement les apprenants réellement plus actifs. Certains étudiant(e)s l'ont constaté durant cette période de confinement. De nombreux enseignants ont opté pour le système de vidéos par exemple. L'étudiant visionne la vidéo réalisée et est ainsi amené à acquérir de nouvelles connaissances mais, dans cette configuration, il n'est toujours que récepteur de ces nouveaux savoirs et, par conséquent, il est globalement passif.

Il y a néanmoins un avantage à ce dispositif par rapport au présentiel classique. En effet, l'apprenant peut revenir en arrière si besoin et prendre un temps de réflexion et de raisonnement quand il le désire, en faisant des pauses, afin de mieux assimiler les nouvelles connaissances transmises. Cela a pour conséquence positive de rendre l'apprentissage plus facile et aisé pour l'étudiant (l'étudiant avance à son rythme) mais l'apprentissage n'est pas nécessairement plus profond pour autant. Ce qui est pourtant l'avantage mis en avant quand on parle d'apprentissage plus actif.

Par ailleurs, les documents présentant des liens hypertextes que les étudiant(e)s peuvent consulter librement favoriseraient l'activité de ceux-ci et donc leur engagement. En effet, dans cette configuration, comme l'indiquent Amadieu et Tricot (2014), les apprenants ne sont plus soumis à une transmission linéaire des savoirs dans un déroulement préétabli par l'enseignant mais ils sont libres de construire eux-mêmes leur parcours d'apprentissage. Certes, les TIC pourraient ainsi encourager l'auto-construction des savoirs par les étudiant(e)s mais sont-ils tous capables d'assumer une telle charge ? En effet, construire son parcours demande un effort supplémentaire en plus de l'acquisition des savoirs. Cela demande à l'étudiant d'organiser lui-même les informations qu'il collecte et de les structurer. Seul ceux qui ont déjà des acquis d'apprentissage préalables seront aptes à construire eux-mêmes leur parcours. Les autres risquent de « **papillonner** » entre les informations sans réellement les intégrer (Galand, 2020).

Ainsi, les ressources interactives demandent souvent à l'étudiant non seulement d'établir des liens entre les différents types de documents mais aussi de confronter et d'associer les informations qu'ils contiennent, ce qui mobilise énormément ses capacités de traitement de l'information. L'étudiant peut dès lors rapidement être dépassé. C'est pourquoi, comme l'indiquent Amadieu et Tricot (2014), « *le fait de rendre interactifs des contenus n'est pas en soi suffisant pour permettre un apprentissage actif efficace* ». D'une part, il s'agit de ne mobiliser ce type de dispositifs que lorsque cela s'avère pertinent. D'autre part, si on veut établir des apprentissages approfondis, il est nécessaire d'outiller les apprenants avec de nouvelles stratégies de traitement de l'information adaptées à ces supports interactifs et de les guider dans l'élaboration de ces connaissances.

Toutefois, les TIC ne sont pas le seul moyen de rendre l'apprentissage plus actif. Amadieu et Tricot (2014) rappellent que l'apprentissage collaboratif entre étudiant(e)s ou par exemple les méthodes qui conduisent l'apprenant à se questionner et à formuler des hypothèses de raisonnement etc...constituent d'autres moyens pour rendre l'apprenant plus actif, et ainsi générer son engagement et des apprentissages plus approfondis.

4.2- Les TIC augmentent-ils l'autonomie des apprenants ?

Une deuxième idée reprise par Galand dans le 120^{ème} cahier de recherche du GIRSEF est la question de l'augmentation de l'autonomie des étudiant(e)s avec l'usage du numérique. Mais qu'est-ce qu'un étudiant autonome ?

4.2.1- Définition de l'autonomie et des facteurs qui l'influencent

Bouffard (2011) définit un apprenant comme autonome lorsqu'il est « *capable de prendre en charge son propre fonctionnement intellectuel* ». Cette compétence repose sur trois facteurs essentiels.

Le premier facteur est le fait que l'étudiant doit se connaître lui-même mais aussi connaître le problème auquel il fait face, ses objectifs et les stratégies utiles pour pouvoir le résoudre. Il doit donc savoir qui il est et ce qu'il a à faire.

Le deuxième facteur est celui de la capacité d'autorégulation. Bouffard (2011) reprend aussi la définition de l'autorégulation en précisant qu'il s'agit « *d'un ensemble de stratégies cognitives et métacognitives* ». Les stratégies cognitives se résument à la démarche de résolution du problème. Comment je vais m'y prendre ? Par exemple, le problème consiste à étudier la réaction d'estérification. L'élève doit savoir qu'une réaction d'estérification est une réaction entre un acide carboxylique et un alcool et donc il doit se représenter chaque fonction chimique afin d'identifier les sites réactionnels, les produits etc...en représentant les molécules, en faisant un schéma réactionnel etc. Quant aux stratégies métacognitives, elles consistent en la réflexion sur les stratégies cognitives utilisées. Il s'agit pour l'apprenant d'autocontrôler et d'autoévaluer la manière dont il réalise la tâche. Pour reprendre l'exemple précédent concernant l'estérification, au fur et à mesure que l'élève avance dans sa démarche, il prend le temps de refaire le parcours en arrière pour voir s'il n'y a pas des aberrations ou des erreurs dans ce qu'il a écrit. S'il n'en trouve pas, il continue sa démarche jusqu'à atteindre son objectif.

Le troisième facteur est le SEP que nous avons brièvement évoqué dans le cadre du modèle socio-motivationnel de Larose. Selon les travaux de recherche d'Albert Bandura, le SEP désigne la relation entre la manière dont un apprenant considère ses capacités dans un domaine bien défini et ses performances dans ce dernier. Ainsi, ce que l'étudiant « *croit être capable de faire semble aussi important que les compétences qu'il possède réellement* » (Martinot, 2006).

Attention ! Le SEP ne doit pas être confondu avec l'estime de soi, qui, elle, reflète la manière dont se voit une personne dans sa totalité (Exemple : « je suis quelqu'un de bien »). Penser qu'on est capable de réussir augmente le SEP mais qu'est-ce qui suscite cette perception ? C'est le fait de posséder des connaissances de soi de réussite. Par connaissances de soi de réussite, on veut parler des souvenirs positifs concernant les performances de l'individu dans un domaine donné. Prenons l'exemple d'un élève qui réussissait brillamment ses examens et évaluations de chimie en secondaire et se considérait donc comme « doué » en chimie. Il opte pour une

poursuite d'études universitaires en chimie. Il arrive à l'université avec un SEP fort. Il s'investit et sa persévérance est au maximum. Néanmoins, à sa première interrogation, il obtient une mauvaise note. Dans ses souvenirs, désormais, la chimie ne sera plus totalement associée à la réussite et donc son SEP va diminuer. Si cette situation d'échec se reproduit, il risque donc de douter de ses capacités, et dès lors de réduire ses efforts et même au pire d'abandonner carrément ses études.

4.2.2- Impact des TIC sur l'autonomie

Après avoir défini le concept d'autonomie, quel est maintenant l'impact de l'usage des TIC sur cette compétence ? Plusieurs recherches ont été effectuées afin de le déterminer. Amadiou et Tricot (2014) sont arrivés à la conclusion que l'autonomie n'est pas la conséquence de l'utilisation des TIC mais que cette compétence était nécessaire à des apprentissages dit « autorégulés ». Un apprentissage est dit autorégulé si l'apprenant est maître de son apprentissage. L'étudiant peut alors décider ce qu'il va étudier, comment ? quand ? en utilisant quelles ressources ? etc...

Pendant la période de confinement suite à la crise du Covid-19, par exemple, la majorité des enseignements universitaires à distance consistaient en des apprentissages autorégulés. Certains enseignants envoyaient des capsules vidéo de séquences de cours. Les étudiant(e)s étaient maîtres de quand ils voulaient la visualiser, de la fréquence de visualisation (en une ou plusieurs fois), de l'ordre de visualisation (s'il y a plusieurs vidéos en même temps) etc... Ainsi, l'étudiant a été amené à gérer lui-même son parcours d'apprentissage. Mais tous les étudiant(e)s en-sont-ils capables ? En effet, le fait de construire son propre parcours est une charge supplémentaire que l'on rajoute aux étudiant(e)s et tous n'en sont pas capables. La preuve est que beaucoup d'étudiant(e)s étaient stressés par ce type d'enseignement à distance qu'ils ont subi pendant cette période de confinement.

Favoriser les apprentissages autorégulés est donc une méthode à double tranchant. D'une part elle est certes bénéfique pour certains étudiant(e)s préalablement autonomes, qui sont en mesure de régler eux-mêmes leur rythme d'apprentissage, mais d'autre part elle peut s'avérer nocive pour certains étudiant(e)s qui ont besoin d'être parfois guidés pour avoir un bon rythme. D'où l'importance des feedbacks des apprenants aux enseignants en cas de difficulté d'autorégulation. Pour conclure la deuxième idée, comme le mentionne Galand (2020) dans ses travaux, il semblerait donc que l'autonomie soit un prérequis pour l'usage des TIC plutôt qu'une conséquence de leur utilisation.

4.3- Influence des TIC sur la motivation

La troisième idée que nous allons reprendre consiste en l'influence des TIC sur la motivation. Nous avons déjà consacré une partie de ce mémoire à la motivation et avons démontré la complexité de ce concept et des paramètres importants qui l'entourent. Les TIC rendent-ils les apprenants plus motivés ? Oui, mais les apprenants sont-ils motivés pour la réalisation de la tâche à travers l'outil ou sont-ils motivés par l'utilisation de l'outil en soi ?

Il ne faut pas confondre les deux. Amadiou et Tricot (2014) reprennent le fait que l'utilité et l'utilisabilité des TIC sont deux facteurs de la motivation. Par utilité on entend le fait que l'étudiant apprenne en utilisant l'outil afin de réaliser la tâche imposée. Par utilisabilité on entend le fait qu'un étudiant puisse utiliser l'outil facilement en modifiant et adaptant les paramètres de ce dernier en fonction de ses besoins quant à la réalisation de la tâche.

Ces deux croyances particulières ont permis la construction d'un modèle connu sous le nom d'acceptabilité des technologies (TAM : Technology Acceptance Model). Davis, Bagozzi et Warshaw (1988) ont construit cette théorie de TAM en affirmant que l'utilisabilité (ease of use) et l'utilité (usefulness) sont très importants pour la compréhension de l'acceptation d'un individu pour l'utilisation d'un outil numérique. Le TAM postule que l'utilisation est déterminée par l'intention d'usage de l'outil. Or l'intention elle-même est déterminée par l'attitude de la personne vis-à-vis de cet outil et de son utilité. L'attitude de la personne est aussi influencée par l'utilité et l'utilisabilité de la technologie en question. Le modèle est résumé dans le schéma ci-dessous.

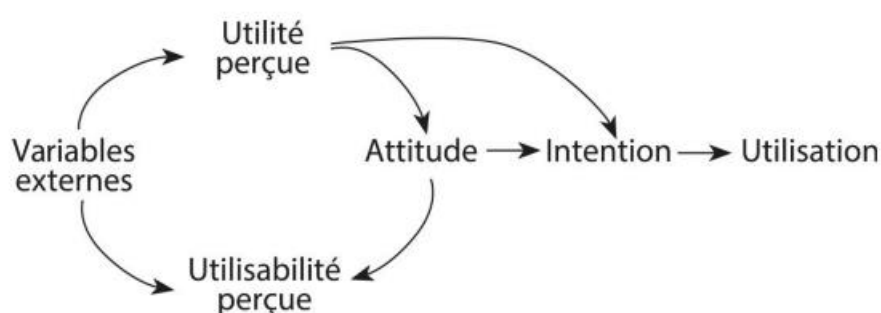


Figure 4: : Base du modèle de l'acceptabilité des technologies selon Davis, Bagozzi et Warshaw (Amadiou et Tricot, 2014)

Ce modèle TAM montre que les TIC doivent avoir une certaine utilité et utilisabilité afin d'être utilisés. Nous verrons plus tard en effet que les TIC doivent avoir un intérêt pédagogique et didactique. On n'utilise pas les TIC parce que « c'est cool » ou uniquement pour l'esthétique,

parce que cela fait « joli ». L'usage des TIC et leur insertion dans les apprentissages des étudiant(e)s doit être étudié avec précaution et avec beaucoup de réflexion préalable.

L'enseignant pourrait avoir une intention honorable à travers l'insertion des TIC en espérant ainsi augmenter la motivation des étudiant(e)s mais attention cela pourrait avoir l'effet inverse de celui qu'on espérait. L'apprenant risque de mettre plus de temps à découvrir et « à jouer » avec l'outil plutôt que de l'utiliser dans la résolution de la tâche. Dans ce cas, l'étudiant n'est pas vraiment engagé dans sa tâche et donc il n'y a pas de motivation réelle dans la résolution de la tâche. Par contre, il y a un engagement pour l'outil en soi. Tel est le caractère à double tranchant de l'utilisation des TIC vis-à-vis de la motivation de l'apprenant.

Comme le disent Amadiou et Tricot (2014), technologie, motivation et performance n'ont pas de lien évident. Les TIC motivent davantage les apprenants ? il faut relativiser ce point. Cela peut fonctionner comme cela peut également conduire à un échec pédagogique. Par ailleurs, Galand (2020), suite à une enquête menée dans l'enseignement supérieur, a démontré que la plupart des étudiant(e)s universitaires préfèrent les cours en auditoire plutôt que des cours à distance, surtout pour l'acquisition de nouveaux savoirs.

4.4- Conséquences de la disponibilité des savoirs en ligne

L'avant-dernière idée concernant l'usage des TIC réside dans la disponibilité des savoirs en ligne et la conséquence de cela vis-à-vis de l'enseignement. En effet, comme il a été évoqué précédemment, les savoirs scientifiques sont devenus un bien de consommation auquel nous pouvons avoir accès librement dans la plupart des cas. Quels sont donc les effets des TIC sur le statut du savoir en soi, de l'enseignant et des apprenants ?

L'idée que les TIC et leur potentiel de transmettre des informations pourraient un jour remplacer les enseignants est un mythe. C'est une illusion ! L'une des principales causes de la croyance de beaucoup de personnes en ce mythe, selon Amadiou et Tricot (2014), est le fait de confondre apprentissage et enseignement. Or nous avons exposé cette différence lorsque nous avons parlé du triangle pédagogique. Les concepteurs des TIC ne sont généralement ni des enseignants ni des didacticiens ni des pédagogues et donc ils favoriseraient l'apprentissage (la relation de l'apprenant au savoir) à l'enseignement (la relation de l'enseignant au savoir).

L'être humain est fascinant par sa capacité d'apprendre par lui-même. Il peut atteindre des niveaux de connaissances et de performances extraordinaires en utilisant divers moyens technologiques comme internet, la télévision, les jeux vidéo etc...Il peut même démontrer et

vérifier les informations recueillies par de simples moyens dont il dispose. Combien d'expériences en chimie peut-on effectuer chez soi avec des produits qu'on utilise tous les jours ? Néanmoins, quand l'apprenant va-t-il aller chercher cette information et pourquoi ? En fait, l'étudiant va souvent chercher une information dont il a besoin ou qui l'intéresse car elle est en relation avec son quotidien ou parce qu'il est passionné par une discipline en particulier etc...

Mais ce système d'apprentissage « autonome » peut-il remplacer l'école ? La réponse est non ! Amadiou et Tricot (2014) démontrent bien que le rôle de l'enseignant est justement d'enseigner aux élèves des savoirs qui ne leur semblent pas immédiatement utiles ou passionnants, mais dont ils auront l'utilité plus tard dans leur vie de citoyen responsable. Ainsi, Galand (2020) affirme que l'enseignant est un guide pour les étudiant(e)s. Il les aide à structurer leurs connaissances, les motive, les encourage à persévérer en vue d'« *acquérir un socle de savoirs communs jugés nécessaire dans une société* ».

Par ailleurs, ce n'est pas parce qu'un étudiant a pris connaissance d'une information qu'il l'a vraiment comprise voire acquise et qu'il sera capable de la mobiliser en cas de besoin (Rappelons-nous des savoirs morts). En effet, comme le mentionne Galand (2020), intégrer durablement les informations pourrait sembler inutile dans le contexte actuel car on sait qu'elles sont à tous moments disponibles sur internet. De plus, avoir à sa disposition beaucoup de connaissances ne sert à rien si on ne sait pas les structurer ni les articuler entre elles et c'est là aussi le rôle de l'enseignant. Et même encore mieux, si on peut construire des savoirs solides, durables et structurés (des savoirs vivants) avec les élèves, cela augmentera leur capacité de jugement vis-à-vis de ses savoirs et leur capacité à les utiliser à bon escient au moment venu.

4.5- Une génération d'étudiant(e)s « numériques » ?

La dernière idée reçue que nous allons aborder consiste dans le fait de croire qu'une génération d'étudiant(e)s ne serait pas la même que la précédente. Certes, les technologies évoluent de manière exponentielle. Les étudiant(e)s d'aujourd'hui sont nés en plein milieu de tous ces outils technologiques. Mais sommes-nous obligés pour autant d'utiliser les TIC pour ces apprenants d'une « nouvelle ère » ?

Il est faux d'affirmer que la façon de penser et de fonctionner des étudiant(e)s de la génération numérique est totalement différente des générations précédentes. Comme le stipule Galand (2020) dans sa publication, le fait d'utiliser fréquemment les technologies ne change pas pour autant la structure du cerveau. Certes, les jeunes de nos jours sont nés en plein milieu de la

technologie, ils ont grandi avec elle, mais ils l'utilisent généralement pour la détente et les relations sociales. Ce n'est pas pour cela qu'ils savent utiliser ces mêmes outils pour apprendre. Si on veut qu'ils apprennent avec les TIC, il faut tout d'abord aussi les former à utiliser ses outils.

En conclusion, les TIC ont en fait un caractère ambivalent. On ne sait pas quelle valeur elles ont. Dire qu'elles vont révolutionner l'enseignement est un leurre. Mais dire qu'elles ne peuvent pas aider l'enseignement est aussi présomptueux.

4.6- Les TIC et l'enseignant

Comme le dit le principe « Method-not-media hypothesis » formulé par Robert Clark, ce n'est pas l'outil en soi qui détermine la qualité de l'apprentissage mais plutôt la méthode pédagogique mise en œuvre autour de l'outil. Il n'y a pas d'outil supérieur à un autre ou de supériorité des TIC par rapport aux autres médias. Tout dépend de la situation d'apprentissage. Par contre, ce que les TIC peuvent apporter à l'enseignant, c'est qu'elles le poussent à innover et à remettre en question sa méthode d'enseignement, et qu'elles l'amènent à repenser la manière dont est construit et dispensé son cours.

Il ne faut donc pas sombrer dans l'idée que les TIC pourraient remplacer partiellement ou totalement les enseignants dans le futur. Cette idée est pure illusion mais est pourtant véhiculée par certains comme par exemple E. Davidenkoff dans son ouvrage « le tsunami numérique ». Cela aurait pour effet catastrophique une moindre considération voire une dévalorisation du métier d'enseignant et un moindre engagement voire un désinvestissement de l'État dans l'éducation. Or, pour que les TIC fonctionnent à bon escient et de manière efficace, l'enseignant est justement la clé. Ce qui nous amènera dans la suite de cette partie à parler des enseignants en tant qu'utilisateurs des TIC.

Le fait de recourir aux TIC n'est pas inné chez l'enseignant. Construire une séquence de cours ou un TP est une tâche qui demande énormément de préparation et d'inspiration. Un enseignant qui construit son cours c'est comme un peintre qui se tient en face d'une toile pour réaliser une œuvre d'art. Si les outils et l'inspiration ne sont pas présents, la toile restera blanche. Si un cours n'est pas correctement construit, il ne sera d'aucune valeur pour les apprenants. Parmi les outils utilisés pour la construction d'un cours ou d'un TP, parfois l'enseignant ne pense pas de manière intuitive à utiliser les TIC. Quels sont les facteurs qui font alors que certains enseignants intègrent les TIC dans leurs méthodes d'enseignement ?

Raby (2004) en a identifié une multitude. Ces facteurs peuvent être d'ordre contextuel, institutionnel, social, pédagogique et personnel.

Parmi les facteurs contextuels, il évoque notamment le temps disponible, la formation, l'accessibilité des outils mis à disposition par l'établissement scolaire ou universitaire, le soutien reçu ou encore les ressources financières pouvant être mobilisées. Ainsi, à la SETT Namur, j'ai été surpris par le prix de certains outils numériques.

Les facteurs institutionnels évoquent notamment la participation de l'enseignant aux prises de décision relatives à l'insertion des TIC dans les procédés d'enseignement. Les facteurs sociaux englobent quant à eux la collaboration avec les différents acteurs de l'école, la présence de communautés d'apprentissage, la culture de partage, etc.

Enfin, parmi les facteurs pédagogiques, on peut compter la perception par l'enseignant des avantages pédagogiques des TIC. Les facteurs personnels peuvent être vus sous différents angles tels que l'intérêt de l'enseignant pour les TIC, le temps investi, sa prise de risques, son implication, sa demande d'aide, sa réceptivité, sa capacité d'adaptation, sa persévérance, son engagement dans la formation continue, son perfectionnisme, sa créativité, sa logique, sa curiosité etc...

4.6.1- Le modèle de causalité réciproque

Raby (2004) a certes identifié beaucoup de facteurs grâce à ses recherches mais tous ces facteurs peuvent être résumés en trois facteurs principaux qui constituent le modèle de causalité réciproque d'Albert Bandura. Bandura, le père de la théorie du SEP (que nous avons abordée précédemment), a construit le modèle de causalité réciproque (Triadic Reciprocal Causation) qui explique le comportement humain. En effet, selon lui, le comportement humain, dont les pratiques d'enseignement, est construit autour d'une structure causale interdépendante. Et les trois facteurs (personnels, environnementaux et comportementaux) sont en interaction constante et s'influencent, comme l'illustre le schéma à la page suivante. L'enseignant mais surtout ses pratiques d'enseignement, dont l'intégration des TIC dans ses méthodes, sont alors influencés par ces trois facteurs. Ce sont plutôt eux qui sont intéressants et sur lesquels nous allons nous attarder un peu.

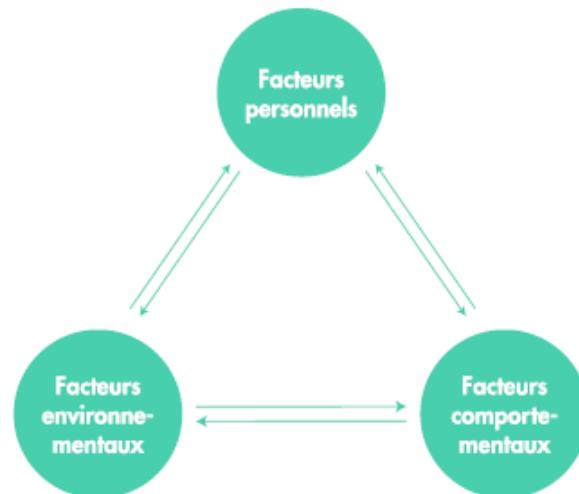


Figure 5: Modèle de causalité réciproque selon Bandura (Roland, Choumane et Vanmeerhaege, 2016)

Roland, Choumane et Vanmeerhaege (2016) ont repris les recherches concernant ces facteurs, leurs interactions ainsi que leur influence sur l'enseignant quant à l'utilisation ou non des TIC.

- Les facteurs environnementaux

Commençons par les facteurs environnementaux. Par cela on entend la façon dont les enseignants perçoivent l'importance que prend le numérique éducatif aux yeux des responsables institutionnels. Concrètement, cette perception va être influencée par différents types de facteurs comme par exemple la formation des enseignants à l'utilisation des TIC, la qualité et le nombre d'équipement mis à disposition, l'identification de l'intégration des TIC comme un objectif à atteindre ou la mise en place d'un dispositif de soutien techno-pédagogique au sein de l'institution.

- Les facteurs personnels et le modèle TPACK

Passons maintenant aux facteurs personnels. Ceux-ci englobent le niveau de formation, la maîtrise des outils numériques et le SEP des enseignants vis-à-vis des TIC.

Concernant la formation, le cursus suivi par l'enseignant et notamment ses stages d'enseignement semblent avoir une influence sur l'utilisation des TIC. En effet, plus il aura assisté à des cours où les TIC ont été utilisés en tant qu'outil d'enseignement, plus il sera tenté de reproduire cette utilisation quand il sera devenu lui-même enseignant.

Quant au SEP, il est notamment influencé par les expériences passées de l'enseignant avec le numérique et par les émotions qu'il a pu ressentir à travers l'utilisation des TIC.

Enfin, quant aux compétences numériques, elles ne suffisent pas pour que l'enseignant intègre les TIC dans ses méthodes d'enseignement. En effet, le modèle TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), inventé par Koehler et Mishra (2008), explique que cette intégration dépend plus précisément de la connaissance et donc de la maîtrise de contenus techno-pédagogiques. Cette connaissance est formée par la conjonction de trois domaines de connaissances spécifiques à savoir la connaissance technologique (Technological Knowledge (TK)), la connaissance pédagogique (Pedagogical Knowledge (PK)) et la connaissance du contenu disciplinaire (Content Knowledge (CK)).

Ainsi, selon ce modèle, l'intégration efficace des TIC dans son enseignement dépend de « la capacité des enseignants à transmettre leur contenu, à recouvrir à une pédagogie adéquate et à mobiliser les outils numériques de manière efficiente » (Roland, Choumane et Vanmeerhaeghe, 2016). Pour résumer : $TPACK = TK + PK + CK$

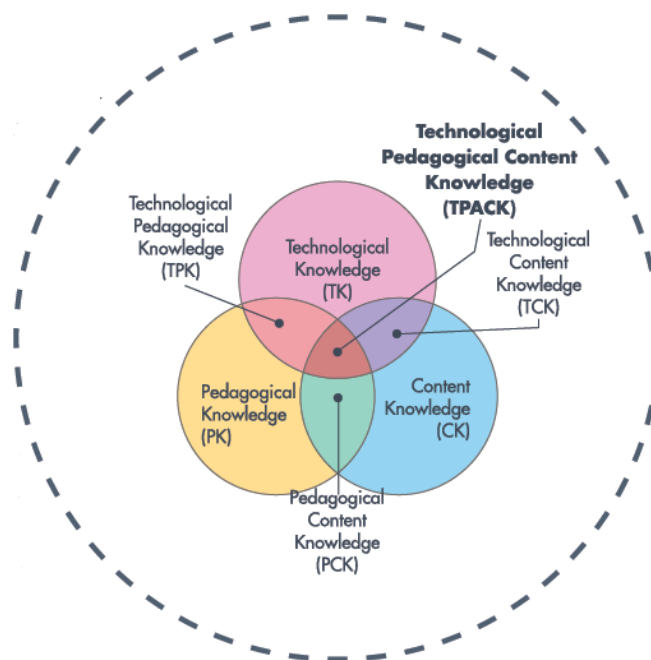


Figure 6: Types de connaissances à acquérir par un enseignant afin d'intégrer les technologies selon le modèle TPACK (Roland, Choumane et Vanmeerhaeghe, 2016)

- Les facteurs comportementaux et le modèle SAMR

Passons finalement aux facteurs comportementaux qui se rapportent au niveau d'intégration des TIC dans les méthodes d'enseignement. Par facteurs comportementaux on entend la manière dont l'enseignant va intégrer ces outils dans sa séquence de cours ou de TP. En fait, il y a

différents niveaux d'intégration du numérique dans l'enseignement. Il peut être présent dans une partie du cours comme tout le long d'un parcours.

Le modèle SAMR (Substitution, Augmentation, Modification et Redéfinition) de Puentedura (2013) illustre bien cela.

Par Substitution, on veut dire que l'outil numérique utilisé remplace simplement un autre outil sans modifier la tâche que les étudiant(e)s doivent accomplir.

L'Augmentation signifie quant à elle une substitution mais qui offre davantage de possibilités, toujours sans changer la tâche. Par exemple, en chimie, quand on enseigne les orbitales pour la première fois, les étudiant(e)s ont du mal à accepter, concevoir et surtout visualiser ce concept. Certains enseignants les représentent en 2D sur le tableau ou alors sur des schémas donnés aux étudiant(e)s. Si on utilisait un logiciel en 3D qui permet de représenter ces orbitales avec les électrons, cela les aiderait à mieux visualiser ce concept et à comprendre ainsi l'importance de l'introduction de cette notion dans la compréhension de la réactivité de certaines molécules (on pourrait même illustrer des exemples de réactions qui mettent en évidence l'importance des orbitales).

La Modification est le fait d'envisager différemment la façon de parvenir au même objectif qu'on aurait réalisé avec l'ancien outil mais par le biais des TIC. Par exemple, plutôt que de demander de faire un exposé aux étudiant(e)s dans le contexte actuel de la crise sanitaire, ils devront réaliser une capsule vidéo dans laquelle ils expliqueront leur travail.

Enfin, la Redéfinition quant à elle consiste à la réalisation de nouvelles tâches qui étaient impossibles à réaliser en utilisant les anciens moyens.

Pour conclure ce point, on remarque que la Substitution et l'Augmentation sont seulement un usage plutôt basique des TIC alors que les deux autres niveaux (Modification et Redéfinition) demandent un effort supplémentaire de la part de l'enseignant d'un point de vue scénarisation de sa séquence de cours et de TP et donc de sa préparation didactique.

4.7- Les TIC à l'université

Après les réflexions et recherches effectuées sur les TIC, on commence à réaliser que leur insertion dans le système d'enseignement n'est pas une action aussi simple et évidente qu'elle ne pourrait en avoir l'air. Une idée d'ailleurs très répandue est qu'il est encore plus difficile de réaliser cela au niveau universitaire qu'au niveau secondaire et cela pour diverses raisons

comme notamment le fait que l'enseignant universitaire est un enseignant mais aussi un chercheur et donc il a moins de temps à consacrer à la pédagogie.

Afin d'étudier la question, nous allons nous inspirer des recherches de Karsenti et Larose (2001) effectuées sur les TIC et les pédagogies universitaires. Tout d'abord, il se trouve que l'environnement d'apprentissage (l'université) est trop différent de l'environnement dans lequel vit l'étudiant d'un point de technologique.

Même si nous avons démontré qu'il fallait utiliser les TIC à bon escient, il n'en est pas moindre que leur insertion généralisée dans le milieu universitaire pourrait engendrer plusieurs avantages. Citons notamment le fait que les étudiant(e)s pourraient avoir accès aux savoirs plus facilement et de manière plus démocratique (c'est-à-dire accessible à toutes et à tous) avec un moindre coût et tout en garantissant la qualité, bien entendu. Ces apports, considérés comme des conséquences de l'utilisation des TIC, correspondent précisément aux objectifs d'amélioration attribués actuellement à l'enseignement supérieur.

Karsenti et Larose (2001) ont d'ailleurs relevé les enjeux de l'utilisation des TIC dans les pédagogies universitaires. Il y a des enjeux culturels et éducatifs, administratifs, institutionnels et financiers mais aussi pédagogiques et didactiques.

D'un point de vue sociétal, l'université est souvent considérée comme un moteur d'innovation. Il semble donc important qu'elle joue aussi ce rôle vis-à-vis du numérique. Toutefois, pour une université, investir dans le numérique constitue des coûts financiers importants. Il s'agit donc d'investir de manière réfléchie en pesant le pour et le contre de l'insertion des TIC et du choix de tel ou tel outil numérique. Il s'agit en outre de parvenir à mobiliser l'entièreté de la communauté universitaire pour une insertion efficace des TIC (par exemple la collaboration des enseignants et des équipes techniques).

Concernant les enjeux pédagogiques et didactiques, Karsenti et Larose (2001) présentent les TIC comme un levier pour mettre en œuvre des stratégies d'apprentissage plus novatrices, permettant de passer de la simple transmission à une pédagogie plus constructiviste. De plus, les TIC favoriseraient la communication entre les professeurs(e)s et les étudiant(e)s. Le contexte dans lequel nous vivons parle de lui-même concernant ce point. En effet, grâce à certains outils de communications (Teams, Skype etc...), les informations ont pu être transmises entre étudiant(e)s et professeurs et la collaboration a pu être maintenue si ce n'est devenir plus forte. Même en étant physiquement éloignés, l'utilisation de certains outils peut engendrer plus d'interactions entre l'enseignant et les étudiant(e)s. Toutefois, cela demande aux

professeur(e)s de modifier leur posture et leur façon de considérer l'acte d'enseigner. Contrairement à ce que certains craignent et comme nous l'avons stipulé précédemment, l'enseignant sera toujours présent et ne sera jamais remplacé par les TIC. Il garde un rôle à jouer même si celui-ci est légèrement modifié.

Enfin, concernant les enjeux culturels et éducatifs, Karsenti et Larose (2001) rejoignent le principe « Method-not-media hypothesis » de Robert Clark (que nous avons précédemment cité) qui stipule que ce n'est pas l'outil en soi qui est important mais l'utilisation qui en est faite par l'enseignant au cours de la construction de sa méthode pédagogique. Pour conclure ce point, il faudrait trouver un « juste équilibre » entre ce qu'est l'université depuis des siècles et les immenses possibilités offertes par les TIC.

Lors de sa conférence à la SETT Namur en Février 2020, à laquelle j'ai eu l'honneur et le plaisir d'assister, Thierry Karsenti a exposé 20 pistes pédagogiques pour tirer profit des avantages du numérique en éducation. Il a d'ailleurs bien insisté sur le fait qu'il ne fallait pas vouloir utiliser toutes ces pistes simultanément mais qu'il s'agit plutôt d'en choisir certaines (2 ou 3 au grand maximum) et tout cela en les adaptant en fonction du besoin de l'enseignant mais aussi des étudiant(e)s, tout en tenant compte du cadre pédago-didactique dans lequel les TIC pourraient s'insérer. Parmi ces pistes, Karsenti proposait d'apprendre à apprendre avec le numérique, faire apprendre ou développer des compétences, la rétroaction (le feedback) rapide et personnalisée, développer les compétences informationnelles de tous les apprenants, développer l'esprit critique des étudiant(e)s etc...

4.8- Les TIC et leur insertion dans l'enseignement de la chimie

Parlons maintenant plus particulièrement des TIC et de l'enseignement de la chimie. Les TIC peuvent-ils vraiment aider à de meilleurs apprentissages en chimie ? Nous allons analyser cette réflexion dans ce qui suit.

4.8.1- Les TIC aident à la visualisation moléculaire

La chimie, science de la matière et de ses transformations, est vaste et a été décortiquée en plusieurs domaines, comme la médecine (Chimie Organique, Chimie Inorganique, Catalyse, Chimie des polymères, Chimie Analytique etc...). Il y a même parfois des moments de discordes et de désaccords entre ces différentes filières de la chimie. Mais ce qui unit toutes ces filières c'est la représentation des entités atomiques ou moléculaires. Ce concept de modèle moléculaire est personnellement l'un des plus importants à comprendre pour l'étudiant. C'est la base sur laquelle est fondée la discipline de la chimie. Ainsi, bien comprendre les modèles

moléculaires et leur agencement dans l'espace ne ferait que renforcer la compréhension par l'étudiant des concepts abordés et augmenter son intérêt pour la discipline. Se construire des représentations mentales est en effet fondamental pour la pensée humaine.

L'un des moyens de permettre la visualisation moléculaire aux étudiant(e)s est d'insérer certains TIC dans l'enseignement de la chimie (Chavent *et al.*, 2012). En effet, la majorité des apprenants, que ce soit au niveau secondaire, universitaire ou même professionnel, se basent sur le sens de la vue pour schématiser et mieux comprendre certains concepts. La visualisation moléculaire est aussi une façon de lutter contre le stéréotype souvent véhiculé à propos de la chimie qui affirme que c'est une science très abstraite.

Hé oui ! même au niveau professionnel. En effet, les chercheurs chimistes aussi ont parfois besoin de visualiser les molécules qu'ils synthétisent et sur lesquelles sont effectuées leurs recherches afin d'assurer une meilleure compréhension de leur travail et d'avancer dans leurs expérimentations. La visualisation moléculaire permet de passer du microscopique au macroscopique ou de l'invisible au visible. Certes, la méthode de visualisation sur papier ou au tableau en 2D permet des apprentissages plus concrets mais on peut encore mieux faire. Car les étudiant(e)s se rendent compte petit à petit, en avançant dans leur parcours, que la réalité est beaucoup plus complexe que cela. En effet, avec les notions d'orbitales, de mouvements des molécules etc...les visualisations statiques ne suffisent plus. Et c'est là qu'interviennent les TIC. Ils permettent une visualisation plus dynamique. Chavent *et al.* (2012) affirment qu'on peut même effectuer des simulations moléculaires afin de comprendre d'autres concepts tels que la réaction chimique, les mécanismes réactionnels etc...et cela pour les étudiant(e)s mais aussi pour les chercheurs.

La visualisation chimique a principalement deux buts. Le premier étant de « vulgariser » des notions et des concepts paraissant complexes. Le deuxième étant de soutenir le travail des chercheurs notamment en leur permettant de tester des hypothèses comme les contraintes de distance, de forme, d'interactions intra ou intermoléculaires etc... Ainsi, les possibilités actuelles offertes par la visualisation des systèmes moléculaires pourraient constituer « un pont idéal entre la recherche et la pédagogie » (Chavent *et al.*, 2012)

Passons maintenant à la notion de réaction chimique. Ce concept est vu en Belgique en secondaire depuis la 3^{ème} année (UAA2 : La réaction chimique : approche qualitative, selon référentiel FeSec) et on continue à l'utiliser pendant toute notre carrière de chimiste étudiant ou professionnel. On a tendance à représenter cette notion en 2D sous forme d'équation alors

que la réalité est beaucoup plus complexe. En effet, quand la matière se transforme (donc réaction chimique), des liaisons se brisent et de nouvelles sont formées. Avec des moyens comme les TIC, on peut réaliser des simulations de molécules transitoires (des états de transitions) afin d'arriver aux produits. C'est par exemple un excellent outil pour une meilleure compréhension du diagramme de réaction illustrant la théorie de l'état de transition. Cela permet de mieux se représenter comment se déplacent les atomes aux cours de la réaction et ainsi de visualiser le chemin réactionnel et parfois la stéréochimie des produits obtenus (exemple : Diels-Alder, Réaction de Wittig etc...)

Comme déjà précisé par Karsenti et Larose (2001), l'utilisation des TIC pour la visualisation moléculaire et la compréhension ainsi que d'autres concepts ne sera vraiment efficace que si les chimistes collaborent avec des techniciens graphistes mais aussi des pédagogues. Ainsi, comme le mentionnent Chavent *et al.* (2012), s'il s'agit de créer une animation 3D à usage pédagogique, il s'agit non seulement de s'assurer de l'exactitude des données utilisées mais aussi de viser un rendu d'images attrayant tout en concevant un commentaire pédagogique adéquat. Il ne suffit donc pas de créer une collection d'animations 3D de réactions chimiques pour pouvoir intégrer la visualisation moléculaire par les TIC dans l'enseignement. Un encadrement pédagogique rigoureux de leur utilisation est nécessaire. Ce qui passe notamment par une adaptation au public visé.

L'utilisation des TIC pour la visualisation moléculaire dans le cadre de l'enseignement de la chimie peut s'envisager à la fois de manière passive (visualiser des vidéos préconçues par exemple) ou de manière active (L'étudiant construit lui-même sa visualisation moléculaire ou en manipule une encadrée par l'enseignant). A travers ces deux modes d'utilisation, les TIC pourraient alors être considérés au même titre que les appareils que les étudiant(e)s utilisent fréquemment en TP (Spectromètre UV-Vis ou IR, pH-mètre etc...) comme des outils à mobiliser pour l'enseignement de la chimie.

Chavent *et al.* (2012) ont d'ailleurs effectué une enquête auprès d'étudiant(e)s en Bac 3 à l'Université de Nice. Ils ont constaté que 71% des étudiant(e)s trouvaient que les concepts abordés avec les TIC étaient plus clairs à leurs yeux comparés à ceux abordés dans le cadre d'un TD (Travaux Dirigés) classique. Pour conclure ce point concernant la visualisation par les TIC, il y a moyen de réaliser des choses extraordinaires en mobilisant ces techniques, en vue d'offrir une approche pédagogique plus complète et plus efficace, motivante à la fois pour les apprenants et pour les enseignants.

4.8.2- Autres usages des TIC dans l'enseignement de la chimie

Certes, la visualisation moléculaire est très importante et constitue l'un des principaux domaines d'utilisation des TIC dans l'enseignement de la chimie mais ce n'est pas le seul usage dans cette discipline. D'autres TIC peuvent être mobilisés.

Citons tout d'abord les très nombreuses ressources multimédias telle que les banques d'images, de vidéos, ou de capsules didactiques disponibles en ligne. Il existe également une série de manuels numériques qui permettent de naviguer entre une multitude de types de données, en complément de leur version papier. Par ailleurs, des exercices en ligne sont progressivement créés comme par exemple celui l'école polytechnique fédérale de Lausanne (<http://www.cheminfo.org/flavor/gymnase/index.html>). Ceux-ci permettent de s'entraîner de façon autonome sur des thèmes bien définis. Il existe même des logiciels permettant de simuler des titrages acido-basiques, comme par exemple le logiciel Vlab ou LaboAB. Le dernier type de TIC regroupe tous les dispositifs facilitant les échanges virtuels entre enseignants et apprenants tels que Moodle (Delval et Gradinaru, 2017).

5 - Le dispositif de pédagogie inversée en TP à l'aide des TIC

Dans le cadre de ce mémoire, et plus précisément en vue de l'innovation et de la numérisation de TP, nous avons opté pour un usage particulier du numérique inspiré de la pédagogie inversée en activité expérimentale telle que définie par les travaux académiques mutualisés (TraAM Physique-Chimie, 2015-2016). Nous avons opté pour ce modèle détaillé par la Direction du numérique pour l'éducation du Ministère français car il permet de mettre en œuvre de nombreux points d'attention relatifs à la didactique, à l'innovation et à la numérisation que nous avons précédemment abordés.

Il s'agit d'utiliser les TIC pour préparer les séances de TP en amenant les étudiant(e)s, par exemple, à « *découvrir le contexte, les gestes techniques, le matériel et le vocabulaire* » propres à la manipulation (Edouard et De Flaugergues, 2015-2016). Préparer ainsi en amont les séances de TP permet aux étudiant(e)s de s'approprier l'activité avant de la mener en laboratoire et d'en avoir une vue d'ensemble, plutôt que de la découvrir au fur et à mesure, étape par étape. Cette préparation peut également permettre d'identifier et de renforcer les prérequis nécessaires chez les étudiant(e)s ainsi que de faire émerger les éventuelles préconceptions erronées qui pourraient poser problème. Procéder ainsi permet que les étudiant(e)s consacrent davantage leur attention lors du TP en la résolution en elle-même de la tâche complexe à laquelle ils font face.

Grâce au matériel didactique prévu en amont de la séance, les étudiant(e)s auront eu l'occasion si nécessaire d'approfondir leur compréhension. Si l'apprenant sait d'avance ce qu'il doit accomplir pendant la séance de TP et qu'il a l'occasion de chercher les informations qui lui manqueraient, il va se sentir mieux équipé et plus confiant, ce qui devrait augmenter sa motivation et son engagement.

Durant le TP, l'étudiant devrait avoir moins besoin d'aide de la part de l'enseignant ou de l'assistant et pourra donc adopter une posture plus autonome. Le temps ainsi économisé permet également de mettre en place des activités expérimentales plus complexes ou de s'assurer qu'elles puissent aboutir dans le délai imparti. Le temps d'appropriation avant le TP met également l'étudiant en situation réflexive et l'amène à formuler des hypothèses.

La pédagogie inversée permet également de stimuler les échanges entre les étudiant(e)s et l'enseignant ou l'assistant car ils ont déjà réfléchi à la tâche et les besoins des apprenants ont pu être préalablement identifiés. Cette pédagogie stimule aussi les échanges entre élèves eux-mêmes car les ressources que certains auront acquises par l'intermédiaire des informations préalablement communiquées auront été confirmées par ce biais. Ils se sentiront donc plus à l'aise pour partager leur compréhension avec d'autres qui auraient moins bien compris. Les étudiant(e)s poseront en outre des questions plus ciblées et plus pertinentes que dans une configuration plus classique. En attirant l'attention au préalable sur les difficultés techniques de la manipulation, l'enseignant aide l'étudiant à focaliser l'attention lors du TP sur la problématique elle-même et non pas sur les aspects techniques.

Il s'agit toutefois d'être vigilant à plusieurs aspects. Cette manière d'enseigner peut être chronophage pour l'enseignant. Cela lui demande également une certaine maîtrise des outils utilisés. Dans la vidéo réalisée, par exemple, il ne faut pas non plus expliquer tout en détail et trop guider l'étudiant vers la solution, au risque que le TP ne devienne qu'une recette de cuisine, en suivant le mode opératoire.

Du côté de l'étudiant, étant au 21^{ème} siècle, quasiment tout le monde a internet mais ce n'est toutefois pas le cas de tous les étudiant(e)s. Cela peut être contré en fournissant à ces étudiant(e)s non outillés des supports alternatifs comme le papier ou, mieux, en leur fournissant des points d'accès informatiques disponibles sur le site de l'université.

Par ailleurs, les apprenants les moins autonomes auront plus de mal que les autres à s'investir dans la préparation d'un TP amené de cette manière, surtout que cela pourrait demander un temps de préparation plus important que pour un TP traditionnel. Il faut donc penser à diffuser

les supports suffisamment à l'avance. Il faut également être conscient que c'est une nouvelle façon de procéder et qu'il faudra sans doute du temps aux étudiant(e)s pour s'y habituer. Enfin, le questionnaire préalable au TP doit prévoir des questions bien ciblées et pertinentes.

6- Applications

Nous commençons à percevoir maintenant la difficulté et la complexité du métier d'enseignant dans la préparation des cours mais aussi des TP. Tous les concepts et notions pédagogiques que nous avons abordés dans les précédents chapitres ont été mis en pratique pour l'innovation de deux TP pratiqués actuellement au sein de l'école de chimie à l'UCLouvain.

Le premier d'entre eux est un TP qui s'insère dans le cadre du cours de chimie analytique I (LCHM1322) qui est destiné à des étudiant(e)s de niveau Bac 3 et qui consiste à titrer une solution de Cu^{2+} par iodométrie. Le deuxième est un TP réalisé dans le cadre du cours de chimie analytique II (LCHM2120) destiné à des étudiant(e)s en Master 1 et qui consiste en la découverte d'une nouvelle technique analytique : la polarographie.

Transformer une ancienne manipulation en une nouvelle pédagogiquement et didactiquement plus intéressante n'est pas une tâche aisée. En effet, le simple changement par exemple de l'échantillon à analyser modifie les conditions de la manipulation en soi et donc nécessite de réadapter celle-ci. C'est ce que nous avons remarqué dans le cas de la première manipulation, sur laquelle nous allons principalement nous concentrer. En effet, suite à la crise du Covid-19, les tests et innovations sur la manipulation concernant la polarographie n'ont pas pu être menés. Néanmoins, nous envisagerons sous forme de pistes ce qui pourrait être fait pour cette deuxième manipulation en termes d'innovation et de numérisation.

Nous allons donc davantage centrer nos réflexions sur la première manipulation en développant tout d'abord une partie théorique sur les aspects relatifs au TP en soi avant d'aborder la manipulation d'un point de vue didactique et pédagogique.

Pour la manipulation concernant le dosage iodométrique, nous nous sommes inspirés du protocole déjà existant à l'UCLouvain (repris en annexe 3) mais aussi de références comme le Skoog (2012) et d'autres protocoles communiqués par l'université de Toulouse III.

6.1- Dosage du cuivre dans le lait par oxydométrie

Le nouvel intitulé de la manipulation permet déjà de faire apparaître un aspect d'innovation. En effet, alors qu'auparavant les étudiant(e)s étaient amenés à doser une « simple » solution de

cuivre de concentration inconnue, ils seront maintenant amenés à doser le cuivre dans un alliage couramment utilisé dans la vie quotidienne. Rappelons-nous que les situations d'apprentissage en lien avec le quotidien contribuent à la motivation scientifique. Le laiton est en effet un alliage de cuivre et de zinc essentiellement (d'autres métaux à l'état de traces peuvent être présents pour lui conférer diverses propriétés). On l'utilise couramment dans divers domaines comme la fabrication des balles pour les armes à feu, pour le raccordement des tuyaux de gaz, dans certaines pièces de monnaie etc...

6..1.1- Partie théorique

On a choisi de diviser la manipulation en deux grandes étapes. La première étape est la dissolution du laiton afin de le préparer pour le dosage en milieu liquide. La deuxième étape est le dosage indirect du cuivre par iodométrie.

Dissolution du laiton

Le laiton que nous avons utilisé pour le test de cette manipulation révisée est un alliage commercialisé par la société Albion Alloys. Nous avons opté pour un laiton léger et relativement flexible utilisé dans la fabrication des maquettes (Référence BW045).

La compagnie a été contactée afin de nous communiquer la composition de cet alliage. Il s'agirait d'un laiton CuZn37 (Référence CW508L). Il contiendrait 63% de cuivre, 37 % de zinc mais aussi d'autres éléments à l'état de traces tels que l'aluminium, le fer, le nickel, le plomb, l'étain et bien d'autres... Nous n'en connaissons donc pas la composition exacte mais cela peut être intéressant et d'autant plus stimulant.

En préparant le laboratoire, je me suis mis à la place de l'étudiant en situation inconnue devant résoudre une tâche à laquelle il est confronté. Il est important pour un enseignant de se mettre à la place de l'étudiant face à la situation d'apprentissage. Tester soi-même la manipulation plusieurs fois est d'autant plus important que les choses ne se passent pas toujours de la même manière pendant le test sans les élèves et lors du TP en lui-même. Des choses inattendues mais intéressantes peuvent se passer et du coup il faut savoir aider les étudiant(e)s en répondant à leurs questions si besoin et en anticipant les diverses situations possibles.

La dissolution du laiton fonctionne très bien dans de l'acide nitrique concentré. Pour environ 770 mg de laiton, il faudrait 5 ml de HNO_3 (70%) pour une dissolution complète de l'alliage (Fabre et Reynes, 2010). Pour le test de la manipulation (environ 100 mg de laiton), nous avons utilisé du HNO_3 (65%) et environ un volume entre 1 ml et 2 ml de HNO_3 a été nécessaire pour

une bonne dissolution. La formation de vapeurs brunes/jaunes a été observée. Il s'agit d'un dégagement de NO_2 . Après évacuation des vapeurs de NO_2 , on obtient une solution de couleur bleue due à la présence des ions Cu^{2+} .

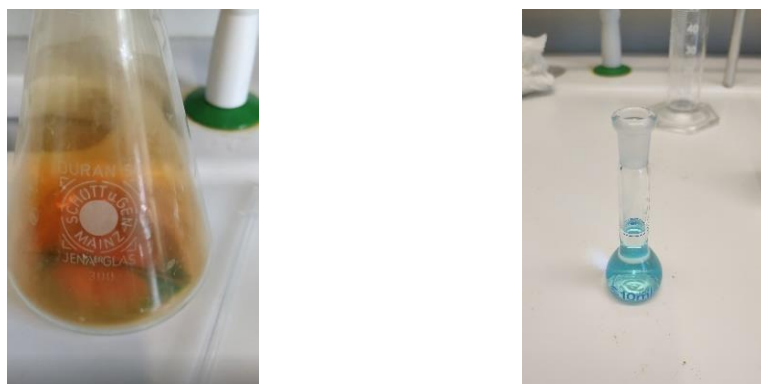
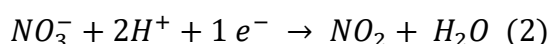
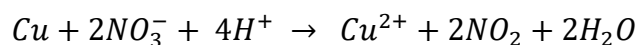


Figure 7 : à gauche, formation de NO_2 suite à la dissolution du laiton dans HNO_3 ; à droite, obtention d'une solution bleue après dissolution totale du laiton due à la formation des ions Cu^{2+}

L'acide nitrique a donc une double fonction dans le cadre de cette manipulation. En effet, d'une part, il sert à dissoudre le laiton et d'autre part, il sert à oxyder le cuivre métallique (d'étage d'oxydation 0) en cuivre d'étage d'oxydation +II. En effet, le cuivre est oxydé en cuivre (II) selon l'équation de demi-réaction d'oxydation suivante : $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$ (1). Le premier couple oxydant/réducteur mis en jeu est le couple Cu^{2+}/Cu . Le deuxième couple oxydant/réducteur mis en jeu est le couple $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2$. Il se produit l'équation de demi-réaction de réduction suivante :



Afin de retrouver l'équation globale d'oxydo-réduction, il faut d'abord multiplier l'équation (2) par 2 car ce n'est pas le même nombre d'électrons mis en jeu dans les deux réactions. Ensuite, en faisant la somme des deux équations ((1) + 2. (2)), on obtient :



Bien entendu, comme signalé plus tôt, l'acide nitrique est aussi capable d'oxyder tous les autres métaux présents dans le laiton (Même ceux présents à l'état de traces). Cela est confirmé en comparant les potentiels standards du couple $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2$ et des couples M^{n+} comme reporté dans le tableau de la page suivante (Skoog, 2012 et Handbook of Chemistry and Physics, 2007-2008).

Tableau 1: Potentiels standards d'oxydo-réduction mis en jeu lors de la dissolution d'un laiton

Couple Ox/Red	E°(Ox/Red) (V)
NO_3^-/NO_2	0,775
Cu^{2+}/Cu	0,337
Pb^{2+}/Pb	-0,126
Sn^{2+}/Sn	-0,136
Fe^{2+}/Fe	-0,440
Zn^{2+}/Zn	-0,763
Al^{3+}/Al	-1,662 V

Cela pourrait déjà constituer une source d'erreur (effet de matrice) sur le dosage si jamais un autre ion métallique que le Cu^{2+} réagissait avec le réactif titrant de la deuxième étape ou un autre réactif utilisé dans le protocole.

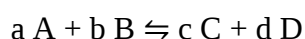
En préparant une nouvelle manipulation, il faut tenir compte de tout cela et même en avertir les élèves/étudiant(e)s afin de transformer le problème en une source de débat didactique et constructif avec les apprenants. Une autre possibilité afin de contourner le problème serait de réaliser la manipulation avec un laiton parfaitement binaire ne contenant que du cuivre et du zinc, ce qui toutefois ne correspond pas toujours à la réalité. Or justement, le but du TP, comme nous l'avons dit, est de les confronter autant que possible à la vraie vie de chimiste en leur demandant de réaliser une tâche mobilisant divers acquis d'apprentissages afin de les rapprocher de cette réalité.

Nous discuterons l'aspect préparation didactique du TP en détail plus tard. Ceci conclut donc l'aspect chimique de la première partie du laboratoire. Passons maintenant à la deuxième étape qui est le titrage.

Titration indirecte du laiton

La méthode de titrage est sans doute l'une des méthodes analytiques les plus anciennes pour la détermination de la concentration de composés. Il y a déjà un grand débat entre l'utilisation du terme « dosage » ou « titrage » (Petitfaux, 1997).

Il existe trois types de titrages : le titrage direct, le titrage indirect et le titrage par retour. Rappelons la différence entre les trois. Le titrage direct consiste à titrer directement (comme son nom l'indique) un réactif A de concentration inconnue par un réactif B titrant.



Au point d'équivalence, d'après la loi de Lavoisier, toutes les entités sont en proportions stœchiométriques et donc : $\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b} = \frac{n_C}{c} = \frac{n_D}{d}$ (n_A , n_B , n_C et n_D sont respectivement les nombres de mole de A, B, C et D). On obtient alors la formule que les étudiant(e)s connaissent bien, même si parfois l'erreur fréquente de leur part est d'oublier les coefficients stœchiométriques car ils ne sont pas toujours égaux à 1 :

$$\frac{C_A \cdot V_A}{a} = \frac{C_B \cdot V_B}{b}$$

C_A et C_B sont les concentrations respectives de A et de B.

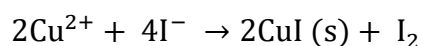
V_A et V_B sont les volumes respectifs de A et de B.

Etant donné que, dans notre exemple, B est le réactif titrant, dans la plupart des cas, les enseignants ou les assistants, en expliquant aux apprenants, vont noter V_{eq} au lieu de V_B car c'est le volume nécessaire de B pour atteindre l'équivalence.

Bien évidemment, ce type de titrage n'est possible que si l'on dispose d'un indicateur coloré qui puisse changer de couleur en fonction du réactif à titrer ou de l'un des produits formés. Si cela n'est pas possible, il faut passer à l'un des deux autres titrages.

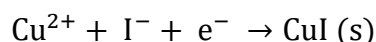
Pour le titrage indirect et par retour, on ne dose pas A directement par B mais on le transforme d'abord en un produit « intermédiaire » de titrage noté F en ajoutant un réactif en excès E. Pour les étudiant(e)s, discerner titrage direct et indirect s'avère relativement possible. Mais certains ont surtout des difficultés à discerner le titrage indirect et le titrage par retour. Quelle est donc la différence entre les deux ? Meyer (1996) explique bien cette différence. En effet, dans un titrage indirect, la quantité de réactif E en excès utilisée est sans importance et peut rester inconnue. Alors que pour un titrage par retour, la quantité de E en excès est importante et doit être connue avec précision. Si on veut encore simplifier, on peut dire que, pour un titrage indirect, c'est le produit formé F qui est dosé par un réactif titrant. Alors que dans le cas d'un titrage par retour, c'est l'excès de E qui n'a pas réagi avec A qui est titré.

Dans le cadre du titrage du cuivre dans le laiton, il s'agit d'un titrage indirect. En effet, à la solution bleue obtenue lors de la première étape (dissolution du laiton), on ajoute une solution d'iodure de potassium (KI, 10%) en excès (environ 40 ml). La solution devient alors jaune ocre. Cela est dû à la formation d'iode (I_2). On remarque aussi la formation d'un solide. Il s'agit d'iodure de cuivre (I). L'équation de la réaction qui résume toutes ces observations est la suivante :



Cette réaction met en fait en jeu deux demi-réactions de réduction et d'oxydation. La demi-réaction d'oxydation met en jeu l'oxydation des ions iodure I^{-} en diiode I_2 selon l'équation suivante notée (3) : $2\text{I}^{-} \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^{-}$ (Couple Ox/Red mis en jeu : I_2/I^{-}).

La demi-réaction de réduction met en jeu la réduction des ions Cu^{2+} en CuI selon l'équation suivante notée (4) :



En multipliant l'équation (4) par 2 et en faisant la somme avec l'équation (3), on retrouve l'équation globale d'oxydo-réduction qui conduit à la formation de I_2 et CuI .

L'étudiant pourrait se poser comme question : Mais pourquoi les ions Cu^{2+} ne sont pas d'abord réduits en ions Cu^{+} puis ces derniers sont précipités par les ions iodures pour former le CuI ? En fait, cela est impossible car en examinant les potentiels des différents couples rapportés dans le tableau ci-dessous, on remarque que le potentiel standard rédox du couple Cu^{2+}/Cu est inférieur à celui du couple I_2/I^{-} .

Tableau 2: Potentiels standards d'oxydo-réduction des couples mis en jeu lors de la précipitation du CuI

Couple Ox/Red	$E^{\circ}(\text{Ox/Red})$ (V)
$\text{Cu}^{2+}/\text{CuI(s)}$	0,86
I_2/I^{-}	0,54
$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{+}$	0,15

Néanmoins, ce n'est pas la solution obtenue par dissolution du laiton par l'acide nitrique qui va être traitée par le KI (la solution étant encore très acide). En effet, cette dernière est transvasée dans une fiole jaugée de 100 ml et le tout est complété par de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. 10 ml sont prélevés de la solution obtenue et c'est ces 10 ml qui vont être traités par le KI .

L'iode formé est alors titré par une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Ne connaissant pas exactement la composition du laiton, plusieurs tests ont été effectués afin de s'assurer de ne pas avoir des volumes d'équivalence trop importants ou trop faibles. Cela a été testé avec plusieurs solutions de thiosulfate de sodium de concentration 0,1 M, 0,05 M et $5 \cdot 10^{-3}\text{M}$. Finalement, on optera pour une solution de thiosulfate de concentration $5 \cdot 10^{-3}\text{M}$.

Cette solution a été préparée en pesant une masse de 0,3976 g de thiosulfate de sodium solide (Masse molaire $M = 158,1 \text{ g/mol}$). Cette masse a été ensuite dissoute dans une fiole jaugée de 500 ml. On obtient alors une solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ de concentration exacte :

$$[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = \frac{0,3976}{(158,1 \times 0,5)} = 5,0297 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Le titrage doit directement s'effectuer après la formation de l'iode et du CuI (jaune ocre) à cause de l'instabilité de l'iode. Qui dit titrage dit indicateur coloré. L'indicateur par excellence pour les titrages iodométriques n'est autre que l'amidon. Pour rappel, l'amidon est un polymère constitué d'unités β -amylose (comme illustré ci-dessous) (Skoog, 2012). En présence d'iode, il se forme un complexe amidon- I_2 de couleur bleue. En fonction de la teneur en iode dans la solution, la couleur peut varier d'un bleu extrêmement foncé qui nous fait penser à une couleur noire à un bleu foncé en passant par le bleu-violet. C'est à cause de ces nuances de couleur que l'amidon n'est jamais introduit au début du titrage. Il est introduit en effet après éclaircissement de la solution à doser afin de diminuer la quantité d'iode qui va s'insérer dans les cycles β -amylose. Mais ce n'est pas la seule raison. En effet, d'après la littérature, le complexe amidon-iodine est insoluble dans l'eau et peut favoriser l'adsorption d'iode.

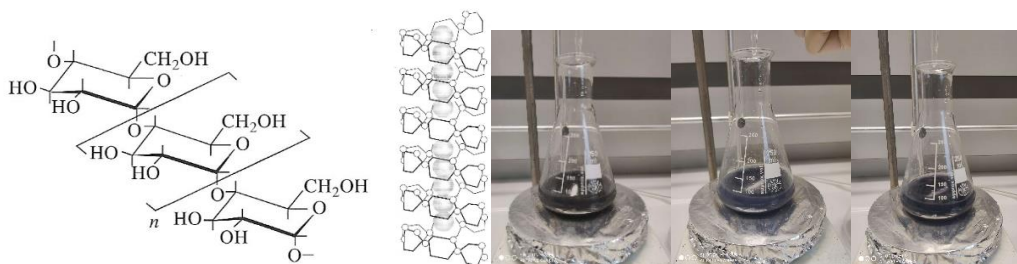


Figure 8 : à gauche, structure de l'amidon ; au centre, formation du complexe I_2 -amidon ; à droite, différences de couleur du complexe I_2 -amidon en fonction de la concentration de I_2

Qu'est-ce qu'on entend par éclaircissement ? En effet, il faut un repère de couleur. La convention adoptée est qu'on passe d'une couleur jaune ocre à une couleur jaune citron comme illustré ci-dessous.

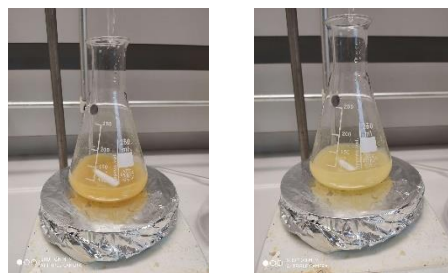


Figure 9 : à gauche, couleur de la solution avant le titrage ; à droite, couleur de la solution après ajout de quelques ml de thiosulfate

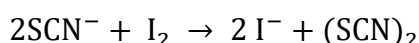
A ce stade, environ 10 ml de $S_2O_3^{2-}$ ont déjà été ajoutés. Quand la solution devient jaune citron, quelques gouttes d'amidon sont ajoutées. Le titrage continue goutte à goutte afin d'éviter de dépasser le point d'équivalence jusqu'à observation de celui-ci.

Le point d'équivalence se caractérise par le passage d'une solution bleue à une solution incolore. Mais il y a un problème car si on attend un peu on remarque que la solution redevient bleue et que cette coloration persiste. Il faudrait alors rajouter du réactif titrant pour décolorer à nouveau la solution afin d'observer le « vrai » point d'équivalence.

Cette méthode a été essayée mais il a été remarqué que la coloration revenait constamment. Comment peut-on expliquer cela ? Si la couleur bleue persiste c'est qu'il reste de l'iode dans le milieu mais alors d'où proviendrait-il ? Il s'avère que l'iode s'adsorbe à la surface de l'iodure de cuivre (CuI). Cet iode adsorbé est une source d'erreur potentielle pour le titrage.

Comment remédier à cela ? Pour y parvenir, du KSCN a été ajouté. En effet, les ions SCN^- ont une meilleure affinité à s'adsorber sur le CuI que l'iode I_2 . Il se forme alors une couche de $CuSCN(s)$ autour du $CuI(s)$ pour empêcher l'adsorption de l'iode selon la réaction : $CuI(s) + SCN^- \rightarrow CuSCN(s) + I^-$

En examinant le protocole expérimental actuel utilisé lors du TP, il était indiqué d'ajouter le KSCN avant la fin du titrage. L'étudiant pourrait se dire que si le KSCN sert à éviter les pertes d'iode par adsorption, autant l'ajouter au début du titrage. D'autant plus que l'expression « fin du titrage », utilisée dans beaucoup de protocoles, n'est pas toujours claire pour les apprenants étant donné qu'ils ne savent pas à l'avance quand se termine le titrage. Si on ajoute KSCN au début, certes l'iode ne va pas s'adsorber mais une réaction parasite peut se produire. Il s'agit de la formation du thiocyanogène $(SCN)_2$. Le soufre aime en effet faire des liaisons S-S. Dans ce cas, cette réaction est favorisée par la présence d'iode I_2 :



La présence d'ions iodures en plus risquerait de favoriser l'oxydation de ceux-ci en milieu acide par l'oxygène de l'air. Ce qui serait une source d'erreur supplémentaire pour les mesures.

En évoquant l'acidité, la manipulation a été testée en milieu basique pour voir les effets que cela pourrait engendrer. En ajoutant goutte à goutte une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) fraîchement préparée de concentration 1 M, et après ajout du KI, on remarque que la solution reste bleue. Une filtration a été effectuée pour vérifier s'il n'y avait pas un précipité qui se formait. Effectivement, il y a bel et bien un précipité bleu qui se forme comme le

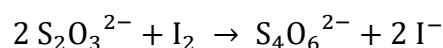
démontre l'image ci-dessous. Il s'agirait d'une entité basique à base de cuivre probablement de l'hydroxyde de cuivre (II) ($\text{Cu}(\text{OH})_2$).



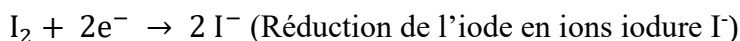
Figure 10 : formation d'une espèce basique à base de cuivre

Il faut donc éviter de travailler en milieu basique car les espèces basiques à base de cuivre bloquent ou ralentissent le processus de réduction des ions Cu^{2+} en CuI . (Skoog, 2012).

Revenons au titrage maintenant. L'équation chimique de la réaction de titrage est la suivante :



En effet, cette équation provient de la somme des deux demi-équations suivantes :



Après obtention du volume d'équivalence de thiosulfate, on peut écrire au point d'équivalence

que : $\frac{n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}}{2} = n_{\text{I}_2}$ ou encore $n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = 2 \cdot n_{\text{I}_2}$ (Avec $n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}$ et n_{I_2} respectivement les nombres de moles de $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ et de I_2)

Or, si on revient à l'équation de la réaction qui a conduit à la formation de l'iode et du CuI , on peut écrire que le nombre de moles d'iode formé n_{I_2} est égal à :

$$n_{\text{I}_2} = \frac{n_{\text{Cu}^{2+}}}{2} \text{ Et donc par déduction on peut directement écrire que } \boxed{n_{\text{Cu}^{2+}} = n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}}$$

Avec $n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] \times V_{\text{eq}}$ (avec V_{eq} le volume nécessaire de $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ pour atteindre l'équivalence)

$$\text{et donc } \boxed{n_{\text{Cu}^{2+}} = [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] \times V_{\text{eq}}}$$

Or le nombre de Cu^{2+} calculé par cette relation est celui présent dans 10 ml prélevés de la solution mère obtenue par dissolution du lait. Pour obtenir le nombre de moles de cuivre présentes dans la solution mère qui est aussi égal au nombre de moles de cuivre dans le lait,

il faut multiplier par 10 et donc le nombre de moles de cuivre présentes dans le laiton $n_{\text{Cu}} = 10 \cdot n_{\text{Cu}^{2+}}$.

En connaissant le nombre de moles on peut déduire la masse de cuivre présente dans l'échantillon de laiton en multipliant par la masse molaire du cuivre $M=63,5 \text{ g/mol}$: $m_{\text{Cu}} = 63,5 \cdot n_{\text{Cu}}$. Enfin nous pouvons déduire le pourcentage de cuivre en divisant la masse de cuivre par la masse de l'échantillon de laiton notée m_L :

$$\%Cu = \frac{m_{\text{Cu}}}{m_L} \times 100$$

Test de la manipulation

Une masse de laiton $m_L = 0,0868 (\pm 0,0001) \text{ g}$ a été prélevée. Cette masse est introduite dans un erlenmeyer de 250 ml. 2 ml ($\pm 0,015 \text{ ml}$) de HNO_3 sont nécessaires et suffisants pour dissoudre l'échantillon de laiton.

Après disparition des vapeurs brunes de NO_2 , la solution obtenue est transvasée dans une fiole jaugée de 100 ml ($\pm 0,2 \text{ ml}$). Le tout est complété par de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. La solution est notée (S).

10 ml ($\pm 0,02 \text{ ml}$) de la solution (S) sont prélevés et introduits dans un erlenmeyer de 250 ml et 40 ml de KI 10 % sont ajoutés. La solution jaune ocre ainsi obtenue est immédiatement titrée par le thiosulfate de sodium sous agitation et à température ambiante. L'ajout se poursuit jusqu'à l'éclaircissement de la solution (passage d'une couleur jaune ocre à jaune citron).

L'amidon est ajouté et le titrage est remis en route. Lorsque la solution passe d'un bleu quasiment noir vers un bleu violet légèrement éclairci, 2 g de KSCN sont ajoutés.

Le titrage est remis en route jusqu'à décoloration de la solution et le volume d'équivalence est noté. Le dosage est répété 5 fois (à chaque fois 10 ml ont été prélevés) pour des raisons de répétabilité et de reproductibilité. La verrerie est lavée à l'eau puis à l'acétone puis séchée à chaque fois à l'étuve pendant quelques instants. Les résultats sont exposés dans le tableau suivant.

Tableau 3: Résultats du test de la manipulation

V_{éq}(ml) (±0,08 ml)	18	17,8	17,8	18,2	18
n_{Cu²⁺}(mol)	9,0535.10 ⁻⁵	8,9529.10 ⁻⁵	8,9529.10 ⁻⁵	9,1541.10 ⁻⁵	9,0535.10 ⁻⁵
n_{Cu}(mol)	9,0535.10 ⁻⁴	8,9529.10 ⁻⁴	8,9529.10 ⁻⁴	9,1541.10 ⁻⁴	9,0535.10 ⁻⁴
m_{Cu}(g)	0,0575	0,0569	0,0569	0,0581	0,0575
%Cu	66%	66%	66%	67%	66%

Ce qui nous fait un pourcentage moyen en cuivre dans notre échantillon de laiton de 66,2%

6.1.2. - Ressenti des étudiant(e)s questionnés vis-à-vis des TP actuels

Une enquête (dont le contenu et les résultats sont joints en annexe) a été menée auprès des 15 étudiant(e)s qui ont suivi les TP de chimie analytique cette année en BAC3. 8 étudiant(e)s sur 15 ont participé à cette enquête.

La première question portait sur la contextualisation des TP. Il était demandé aux étudiant(e)s de préciser s'ils pensaient que les TP de chimie analytique en BAC3 étaient suffisamment contextualisés. Pour expliciter le concept de contextualisation, le rapport avec la vie quotidienne et la notion d'applications étaient évoqués.

En ayant interrogé les étudiant(e)s de BAC3, la majorité affirme que c'est le TP portant sur l'analyse de l'eau qui est le plus contextualisé car ils voient bien le lien avec la vie quotidienne et des applications intéressantes. Les autres TP en revanche étaient selon eux trop « théoriques » et ils n'en perçoivent pas le sens ni les perspectives de futures applications. C'est-à-dire que les TP ne sont pas assez contextualisés. Il faudrait donc davantage encourager un type de TP où on analyserait des échantillons réels et qui mettrait les apprenants dans une situation similaire à celle du chimiste analyste professionnel, comme suggéré par les théories de Wiggins (1990) ou dans la Démarche d'Investigation. Notons par exemple cette intervention d'un étudiant : « *Pour les autres manipulations, on nous donnait des explications en ce qui concerne la théorie sur laquelle elles sont basées, mais pas vraiment des exemples illustrant leur utilité pratiques (à quoi cela pourrait éventuellement servir dans notre future vie professionnelle, par exemple) et rapports avec la vie quotidienne.* »

Ou encore un autre qui explique quant à lui : « *Je trouve que les TP sont trop "théoriques", en effet ils reflètent ce qu'on devrait faire dans la vie de tous les jours si on travaillait mais en pratique, on ne reçoit pas des belles solutions où on doit juste titrer...* »

La deuxième question quant à elle portait sur le lien entre les acquis d'apprentissage abordés lors du cours et le TP en soi. Globalement, les étudiant(e)s perçoivent un lien entre la théorie et la pratique. Les TPs abordés relèvent bien selon eux de chapitres abordés dans le cadre du cours même si certaines notions sont selon eux déjà acquises depuis les années précédentes ou ne sont abordées qu'après avoir réalisé le TP. Un étudiant note à ce propos : « *Il y en effet un lien entre le cours et les TPs car certains sont une application directe de ce qui est vu en cours. Cependant l'un ne nécessite pas l'autre car les TPs ressemblent en grande partie à des TPs des années précédentes.* »

Ainsi, on remarque souvent dans les propos recueillis chez les étudiant(e)s qu'il ne faut pas nécessairement de la nouvelle matière pour réaliser les TPs de chimie analytique en BAC3. Cette perception est probablement due au caractère répétitif de beaucoup de manipulations, surtout celles où il y a par exemple des titrages ou l'utilisation de l'UV-Visible comme l'indique un étudiant : « *A vrai dire, les compétences pour ces laboratoires sont déjà acquises lors des années précédentes. Le cours théorique de chimie analytique n'est qu'une dose de rappel des années précédentes et cela est dommage car il y a beaucoup de choses à apprendre dans ce domaine.* »

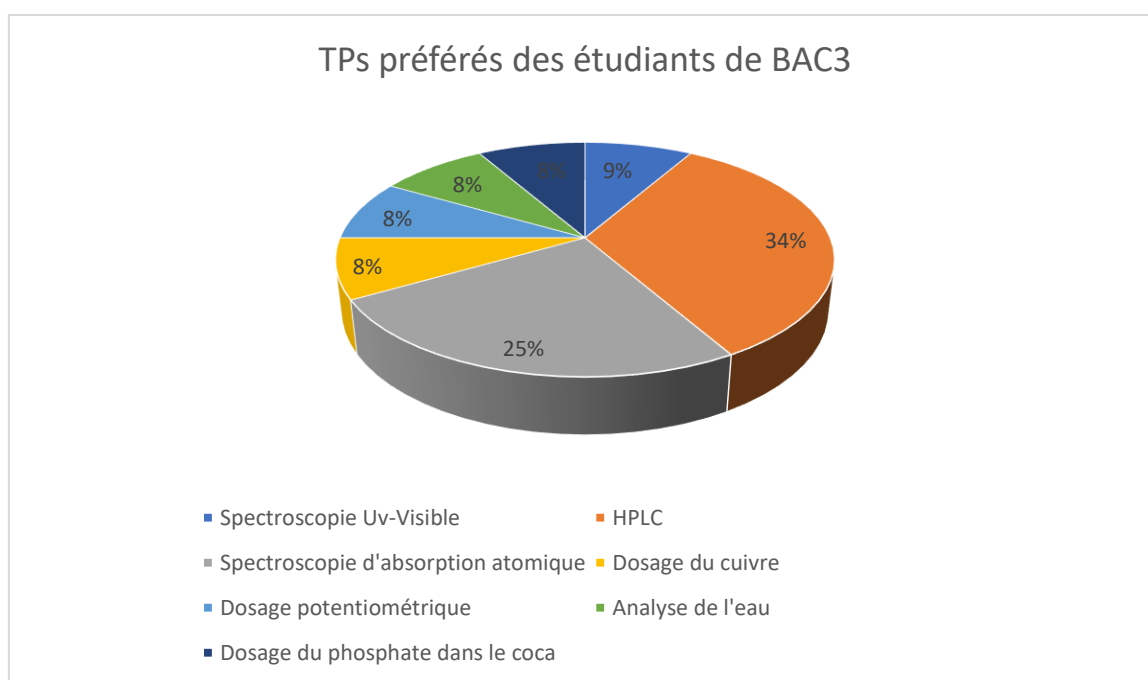
Dans le cadre des TPs, les étudiant(e)s auraient voulu expérimenter de nouvelles techniques dont ils ont déjà beaucoup entendu parler et dont ils perçoivent l'importance, pas seulement dans le cadre du cours de chimie analytique mais aussi dans les autres cours, comme la diffraction des rayons X, la spectrométrie de masse, spectrométrie Mössbauer, etc... Cela favoriserait le caractère pluri- et interdisciplinaire de la chimie analytique. Un étudiant a d'ailleurs souligné l'importance de la chimie analytique dans les autres disciplines de la chimie comme la chimie organique : « *la partie chromatographie en lien avec le labo HPLC qui nous a permis d'avoir certaines bases en HPLC qu'on utilise en labo d'organique et TP complémentaire (3ème, Q2)* »

La troisième question quant à elle portait sur le TP préféré des étudiant(e)s. Les résultats sont résumés dans le graphe à la page suivante. On remarque que la HPLC (High Performance Liquid Chromatography) est la plus souvent citée. Pourquoi une telle préférence ? Les étudiant(e)s semblent particulièrement s'y intéresser étant donné que c'est une technique analytique de pointe et nouvelle pour eux. Ils étaient surtout intéressés par le côté instrumental de l'appareil et sa gestion. Ils auraient même aimé pouvoir manipuler davantage. Citons cet étudiant qui dit que : « *Le tp sur l'utilisation de l'hplc, j'ai apprécié le fait de pouvoir utiliser cet appareil au lieu de faire un titrage simple. Cependant, si on avait plus de temps pour y*

passer, je trouve qu'il serait intéressant d'apprendre à l'étudiant de rechercher par lui-même un mélange pour l'éluant, de mémoire (si je ne me trompe pas), nous avions un mélange 50/50 MeOH/H₂O, sauf qu'il était déjà préparé et nous n'avions qu'à injecter nos solutions à analyser et prendre les mesures. Il serait intéressant de chercher un éluant adéquat et sa proportion comme on ferait dans un cas réel. ». On retrouve à nouveau ici le souhait que les manipulations s'approchent au maximum du futur d'un chimiste dans le monde du travail.

Notre attention a été également retenue par un autre étudiant qui mentionnait, pour justifier son attrait pour certains TPs : *« Enfin, partager le travail entre 3 personnes facilitait celui-ci, nous entraînait à travailler en équipe (compétence fort utile dans les études et nos futures vies professionnelles), et la journée au laboratoire plus agréable. »*

L'étudiant qui a pointé le dosage du cuivre justifie quant à lui son choix par la simplicité de la manipulation même s'il indique ne pas vraiment percevoir l'intérêt de réaliser une telle manipulation.



La dernière question quant à elle portait sur le TP que les étudiant(e)s ont le moins apprécié. Quasiment tous les étudiant(e)s interrogés ont pointé la manipulation qui portait sur le dosage du fer par complexométrie et la mesure de la dureté de l'eau.

La difficulté des étudiant(e)s lors de cette manipulation était le virage de couleur pour la détection du point d'équivalence. Un étudiant en particulier a bien résumé la situation qu'ils ont vécue : *« Le dosage du fer était assez frustrant parce qu'il était très difficile d'obtenir un bon point d'équivalence. En effet, nous avons comme indication que l'équivalence du titrage*

était atteinte lorsque la solution devenait jaune-orangée, cependant il n'y avait pas de virage de couleur net et l'équivalence était donc atteinte lorsque nous jugions personnellement que le jaune-orangé en question nous convenait. Au final il s'est même avéré que l'équivalence était même atteinte quand la solution était orange et non plus jaune. Il me semble même que la quantité d'indicateur introduite change la couleur du point d'équivalence (la solution est plus orange avec plus d'indicateur). En résumé, nous n'avons aucune idée de quelle couleur devait être le point d'équivalence donc l'analyse était peu fiable. Cependant cela nous a permis de voir que la chimie analytique n'est pas toujours aussi facile qu'un simple titrage acide-base. Pour mieux améliorer ce laboratoire il faudrait peut-être indiquer la quantité d'indicateur à introduire avant la manipulation pour que nous obtenions la même couleur que la personne ayant réalisé les titrages au préalable. »

Il s'avère ainsi que cette difficulté relative à la détection des points d'équivalence et son caractère subjectif sont l'une des principales sources de démotivation vis-à-vis des TPs en chimie analytique. Il s'agira donc pour la manipulation qui nous concerne d'être particulièrement attentif à cet aspect lors de son innovation et de sa numérisation.

6.1.3- Le nouveau déroulement proposé

Préparer une nouvelle manipulation n'est pas une tâche aisée. Généralement, pour éviter de partir de rien, les enseignants se transmettent des protocoles expérimentaux qui peuvent être utilisés pendant des années sans faire preuve d'une innovation ou d'un changement. Ainsi, les générations d'étudiant(e)s se succèdent en effectuant la même manipulation d'une année à l'autre. Or un enseignant se doit d'innover et de remettre en question sa manière d'enseigner. Comme nous l'avons vu en abordant le principe « Method-not-media hypothesis » formulé par Robert Clark, l'insertion du numérique peut constituer une bonne occasion pour l'enseignant de remettre en question les méthodes établies en repensant globalement la manière de procéder pour amener les apprentissages visés. C'est précisément ici l'objet de notre réflexion.

Ainsi, l'enseignant doit se mettre à jour tout en s'assurant d'effectuer le lien entre la vie quotidienne et la chimie théorique des auditoires. Les exemples sont tellement nombreux que chaque année on peut changer le cadre du TP sans changer la théorie et les acquis d'apprentissage qui doivent être mobilisés par les apprenants pour la réalisation de la tâche. Dans le cadre de ce mémoire, on a opté pour le dosage du laiton par iodométrie. C'est une manipulation déjà davantage contextualisée que le dosage d'une « simple » solution de cuivre (II) de concentration inconnue. Les années suivantes, des variantes pourraient être testées. Les matériaux et composés à base de cuivre que nous utilisons tous les jours sont en effet nombreux.

- Avant le TP

Fournir un syllabus avec plein d'informations a-t-il toujours un effet positif sur la préparation des étudiant(e)s pour le laboratoire ? Combien d'élèves ou d'étudiant(e)s ont vraiment tout lu dans le syllabus ? Très peu selon nos observations...Comment alors améliorer cela ?

Comme proposé par le modèle de la pédagogie inversée en activité expérimentale tel que défini par les travaux académiques mutualisés (TraAM Physique-Chimie, 2015-2016) que nous avons choisi comme référence, les TIC (dans notre cas des capsules vidéo et un Wooclap) vont aider à mieux préparer les étudiant(e)s aux laboratoires. En effet, au lieu que les étudiant(e)s découvrent et se figurent tant bien que mal les étapes au fur et à mesure, quelques minutes avant le TP si ce n'est même pendant le TP, mobiliser en amont les TIC devrait les amener à être plus attentifs à des détails importants (notamment les virages de couleur qui peuvent poser des problèmes) qu'au protocole en soi lors de la réalisation du TP.

En outre, le principe de la pédagogie inversée s'insère dans les composantes du processus d'apprentissage tel que défini par Marcel Lebrun (2005) dans son modèle IMAIP (*I'M An Innovative Professor*). Les ingrédients de ce modèle sont Informer, Motiver, Activer, Interagir et Produire. Il s'agit d'associer les cinq facettes évoquées comme un puzzle pour amener un apprentissage de qualité. Dans cette dynamique, l'objectif est de fournir aux étudiant(e)s des informations et de construire un contexte signifiant au préalable avant de réaliser l'activité en question. Comme l'indique Lebrun (2005), à l'image de ce que disait déjà Wiggins (1990), poser le contexte avant de mettre les apprenants en activité permet de donner du sens aux connaissances à mobiliser. Dans un dispositif pédagogique comme celui-ci, la motivation est donc issue à la fois du contexte, des informations reçues et de l'activité.

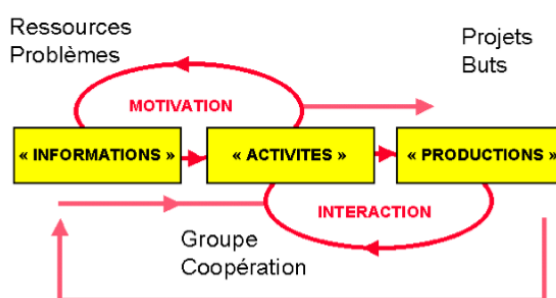


Figure 11: Le modèle IMAIP (Lebrun, 2005)

Dans le cadre du TP visé, le protocole serait communiqué aux étudiant(e)s de manière générale sur un document mais aussi de manière détaillée à travers des capsules vidéo accessibles par

des liens cliquables et/ou déposées directement sur la plateforme Moodle. Pour une bonne préparation de TP, ces vidéos, avec le document, devraient être communiquées une semaine à l'avance, avant le TP.

Les vidéos initiées dans le cadre du modèle de la pédagogie inversée en activité expérimentale ne doivent toutefois pas uniquement servir à expliquer les démarches du TP. Pour rappel, elles sont également destinées à faire découvrir aux étudiant(e)s le contexte de la manipulation, à donner des petits coups de pouce techniques, à préciser le vocabulaire mobilisé (par exemple différence iodométrie/iodimétrie) ou encore à les inciter à réfléchir tout en faisant émerger leurs difficultés et leur préconceptions erronées et en les amenant à y remédier.

Cela ne semble pourtant pas évident avec une vidéo ? Eh bien si, c'est possible ! L'avantage, dans des vidéos, c'est que l'on peut demander de mettre pause et d'essayer de résoudre l'exercice tout seul avant de connaître la réponse dans la suite de la vidéo (comme pour l'écriture des équations d'oxydoréduction). Comme nous l'avons précédemment indiqué, cadrer les informations et fournir une préparation de laboratoire structurée et en ordre permet d'engendrer une meilleure confiance en soi chez l'étudiant, d'augmenter son intérêt pour le TP mais aussi sa motivation et son engagement, comme l'indique notamment la notion d'« expectancy » développée dans le modèle de Wigfield et Eccles (2000). Pour que ce mode de fonctionnement de TP soit efficace, il s'agira en outre d'être attentif à bien penser l'articulation entre le protocole écrit et les vidéos afin que les étudiant(e)s perçoivent la nécessité de consulter les vidéos pour être mieux préparés.

Selon le modèle SAMR de Puentedura (2013), exposé plus tôt dans la partie théorique, il s'agit dans notre cas de ne pas se limiter à utiliser une vidéo comme simple substitution du protocole écrit existant précédemment. Il s'agit plutôt de viser l'augmentation voire la modification, c'est-à-dire à la fois offrir plus de possibilités et envisager différemment la façon de parvenir au même objectif.

Idéalement, une capsule vidéo doit durer maximum 6 minutes (Laduron, 2020). Au bout de ce délai, l'apprenant a tendance à vite décrocher. Nous avons donc opté pour la réalisation non pas d'une seule vidéo qui explique tout le laboratoire en une fois mais de plusieurs vidéos, dont chacune explique une étape, une consigne, un protocole, des astuces etc... Et cela est d'autant plus intéressant car l'étudiant construit alors lui-même la préparation de son TP. En effet, il n'est pas obligé de regarder toutes les vidéos, ni de toutes les visualiser en une fois. Cela

contribue à augmenter l'autorégulation chez l'apprenant, comme le préconise Bouffard (2011), et mobilise son autonomie (Galand, 2020).

Pour la conception de nos vidéos (voir liens disponibles dans l'annexe 4), nous avons tenté de respecter au maximum les 10 principes de conception multimédia de Mayer cités par Laduron (2020). Par exemple, le fait d'utiliser les mots et les images en combinaison est plus efficace qu'utiliser les mots seuls (principe de multimédia). De plus, l'explication orale est préférable à un développement écrit (principe de modalité). Il s'agit également de mobiliser le principe de personnalisation, c'est-à-dire le fait de s'exprimer comme si on avait une conversation avec les étudiant(e)s, comme si on était en leur présence.

Comme indiqué précédemment, le protocole actuel (voir annexe 3) a servi de base comme construction du nouveau (voir annexe 4). Dans un premier temps, un surplus d'informations dans la partie introduction a été remarqué au sein du protocole initial. L'étudiant va-t-il vraiment utiliser toutes ces informations pour réaliser la tâche qui lui a été confiée ?

Le fascicule de TP est certes communiqué à l'avance à l'étudiant mais, sans être guidé et sans précisions, il ne saurait quelles informations retenir pour le TP. Trop d'informations tue l'intérêt de l'étudiant pour le TP. Toutes ces informations sont-elles vraiment essentielles ? Les a-t-on communiquées selon la bonne méthode ? Un enseignant doit se poser toutes ces questions avant de communiquer le protocole aux apprenants et même avant de l'élaborer.

Par exemple, dans le fascicule actuel, il est inscrit que l'iodométrie est une méthode de dosage mettant en jeu l'oxydo-réduction du système iode-iodure. Néanmoins, la réaction de réduction de l'iode y est écrite en utilisant comme oxydant les ions triiodure I_3^- et non l'iode I_2 . Certes, l'iode est une espèce qui n'est pas très soluble dans l'eau mais plutôt dans un milieu de KI. Cette information est-elle cruciale à communiquer ? Oui et non je dirais. Non, du moins pas au début des consignes. Cependant, elle pourrait être communiquée lorsqu'on ajoute du KI pour former du I_2 et du $CuI(s)$. Le KI est ajouté en excès pour deux raisons : premièrement car c'est le principe d'un titrage indirect afin de doser l'iode I_2 . Deuxièmement, c'est justement pour solubiliser l'iode formé. Mais, pour l'écriture des équations de titrages et d'oxydo-réduction, il n'est pas nécessaire de parler du couple I_3^-/I^- . Veiller ainsi à communiquer les informations à leur juste place est en concordance avec l'un des 10 principes de conception multimédia (Laduron, 2020), à savoir le principe de contiguïté temporelle.

D'autres informations semblent a priori inutiles dans le protocole actuel comme parler de la tension de vapeur et de la volatilité de l'iode, de l'utilisation de gaz inertes, etc...Par inutiles

on veut dire inutiles pour la réalisation de la tâche mais pas pour débattre avec les apprenants ou pour leur culture scientifique. Dans la conception du support multimédia, il s'agit en effet d'appliquer également le principe de cohérence (Laduron, 2020), qui vise à supprimer les informations non essentielles. Toutefois, ce type d'informations pourrait être abordé dans une autre phase du dispositif pédagogique, comme par exemple le Wooclap pour lequel nous avons opté, juste avant de rentrer au laboratoire.

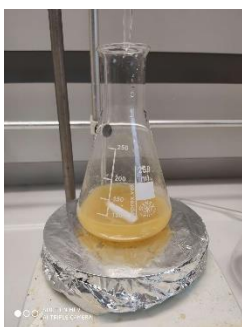
Néanmoins, d'autres informations fournies par le protocole actuel tiennent la place qu'il faut, comme le fait d'ajouter l'iode avant la fin du titrage et non au début : immédiatement titrer l'iode formé car il s'adsorbe sur le CuI mais aussi car les iodures en excès peuvent s'oxyder avec l'oxygène de l'air en milieu acide (c'est le cas pour le laiton étant donné que l'on a dû utiliser du HNO₃ 65%, le milieu étant donc très acide) et donc fausser la quantité d'iode dosée.

D'après le témoignage de certains étudiant(e)s de BAC3 qui ont effectué la manipulation, l'ajout de KSCN était intéressant mais la plupart ne comprenait pas pourquoi l'ajouter avant la fin du titrage et non au début. Comme nous l'avons expliqué dans la partie théorique, c'est à cause de la formation du thiocyanogène. Etant donné qu'ils ont vu la chimie du soufre en BAC2 (LCHM1241), ils savent que le soufre aime former des ponts disulfures. Ce point n'est pas expliqué dans le fascicule alors qu'il nous semble très important car cela justifie leur questionnement. De plus, la phrase « Avant la fin du titrage, ajouter 2 g de KSCN et l'empois d'amidon jusqu'à l'obtention de la couleur bleue et continuer le titrage jusqu'à décoloration complète de la solution » semble inappropriée. Nous leur demandons de réaliser quelque chose avant le titrage. Oui mais à quand correspond ce moment ? L'un des soucis des étudiant(e)s lors de cette manipulation était justement cette imprécision.

Il faudrait éclaircir ce point en imposant comme référence un code couleur par exemple : « *Quand la solution devient plus claire (jaune citron), ajouter l'amidon...* » De plus, l'amidon et le KSCN ne doivent pas être ajoutés en même temps. Il serait plus sage d'ajouter l'amidon puis d'attendre que la solution passe d'un bleu noirâtre à un bleu plus clair qui tend vers le violet pour ajouter le KSCN. La solution redevient alors un peu plus foncée bleu/violet foncé (cela est dû à la désorption de l'iode de la surface du CuI). Ce n'est qu'ensuite que le titrage reprend jusqu'à décoloration de la solution.

Ces « codes » couleurs devrait être communiqués aux élèves comme illustré à la page suivante dans les capsules vidéo réalisées pour la préparation du labo (si on les communique via le syllabus, quel est l'intérêt didactique de la réalisation de la vidéo ?). Cela permettrait d'éviter

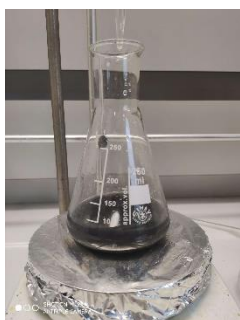
la frustration et la démotivation des étudiant(e)s suscitées par l'imprécision du point d'équivalence tel que mentionné dans le questionnaire, même si c'était là dans une autre manipulation. En effet, l'imprécision du point d'équivalence était la principale source de démotivation exprimée vis-à-vis du TP portant sur le dosage du Fer. Si l'innovation et la numérisation de ce TP étaient envisagées, il serait donc nécessaire de procéder selon une approche semblable à celle proposée dans le cadre du TP concernant le dosage iodométrique du cuivre.



(1) Avant le titrage (solution jaune ocre)



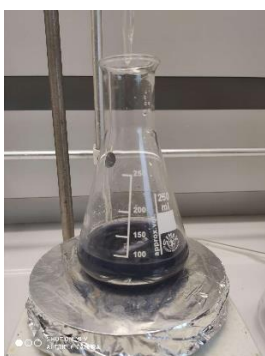
(2) Après ajout de 10 ml de thiosulfate (solution jaune citron)



(3) Ajout de l'amidon à la solution jaune ocre



(4) Couleur de la solution après ajout de quelques ml de thiosulfate



(5) Couleur de la solution après ajout de KSCN



(6) Atteinte du point d'équivalence et décoloration de la solution

Dans le nouveau déroulement adopté, l'introduction à la manipulation proposée dans le cadre d'une vidéo vise en premier lieu non pas à exposer directement la théorie derrière le TP, mais

visé en premier lieu à évoquer les divers domaines d'applications que pourrait apporter ce TP dans la vie quotidienne du chimiste. En effet selon un étudiant : *« Bien qu'il y ait une introduction au début de chaque laboratoire dans le syllabus, celle-ci ne parle pas vraiment des applications possibles de ces méthodes. Bien sûr dans le cas du titrage de l'eau nous voyons les applications mais pas pour les autres manipulations, peut être qu'une brève explication des applications possibles dans l'introduction pourrait arranger cela. »*

Après avoir posé le contexte du TP dans la vidéo, le moment vient à la décontextualisation (un peu de théorie). En effet, dans la vidéo, on parle aussi de l'écriture des couples Ox/Red, des équations d'oxydoréduction. Avant, dans le syllabus actuel, on donnait directement ces équations. Quel est alors l'intérêt de cela ? Je pense qu'il serait plus intéressant de ne pas les communiquer à l'étudiant mais de l'inciter à essayer de les écrire par lui-même et cela à travers les vidéos afin de le mettre dans des instants de réflexion et de le stimuler.

Comme nous l'avons dit précédemment, tel est l'avantage des vidéos. On peut demander à l'étudiant de mettre pause et d'essayer de résoudre le problème sans continuer la visualisation du reste de la vidéo dans lequel se trouve la réponse au problème. Le seul désavantage de cette technique, c'est qu'on ne sait pas si l'étudiant l'a fait ou pas car il pourrait être tenté d'aller directement vers la réponse. Ces vidéos ont été réalisées avec le logiciel Powtoon (<https://www.powtoon.com/>) ainsi que Openshot (<https://www.openshot.org>) pour le montage et l'assemblage des vidéos Powtoon (étant donné qu'avec Powtoon on ne peut réaliser que des vidéos ne dépassant pas 3 minutes). D'autres vidéos (comme le fait d'aider les étudiant(e)s dans la construction de leur protocole ou de leur expliquer la pondération des équations Redox) ont été réalisées en se filmant directement avec un smartphone.

Dans un second temps, après la visualisation des vidéos en autonomie, et avant le TP, il serait intéressant de rassembler les apprenants dans une salle afin de réaliser un Wooclap (<https://www.wooclap.com>). Pour ceux qui ne connaissent pas, Wooclap est une plateforme interactive qui permet de créer des questions sous diverses formes (QCM, questions ouvertes etc...). Les réponses obtenues sont affichées en temps réel à l'écran, avec le pourcentage de réponses correctes et incorrectes. Les étudiant(e)s peuvent participer soit par le biais d'internet sur un PC ou sur un smartphone (en créant un lien vers le questionnaire) soit par SMS (pour ceux qui n'ont pas internet cela pourrait être très utile). Cela permet de dynamiser et de structurer les interactions entre les étudiant(e)s et l'enseignant/assistant et ainsi d'ouvrir les portes à de potentielles discussions.

Wooclap est anonyme par défaut et c'est l'un de ses principaux avantages. Cela permet que l'étudiant puisse répondre sincèrement, sans se sentir jugé. Par le biais du Wooclap, l'enseignant ou l'assistant pourra toutefois déceler les éventuels problèmes de compréhension dans le groupe et y remédier. Ce Wooclap a ainsi pour but de contrôler les acquis d'apprentissage relatifs au cours, à la préparation du labo mais aussi à des questions qui pourraient avoir un lien avec la manipulation mais dont la nécessité n'est pas primordiale (conditions de réactions, effet de matrice, vocabulaire utilisé etc...). Le Wooclap a aussi pour but de remédier aux préconceptions erronées des étudiant(e)s et à leurs difficultés potentielles. On favoriserait ainsi l'évaluation formative des étudiant(e)s.

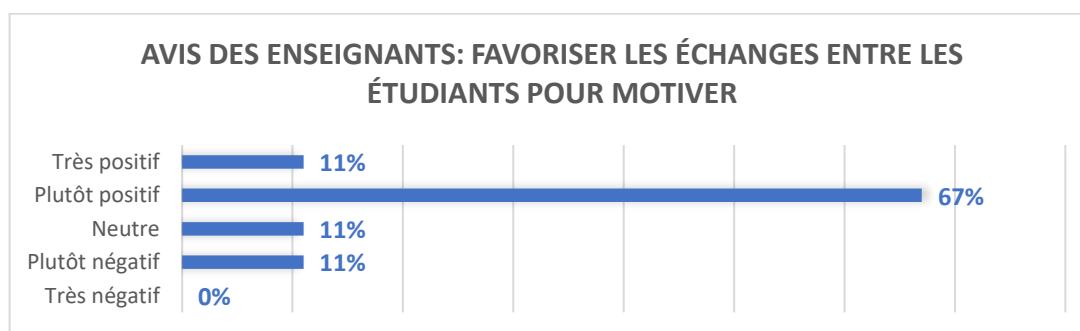
Même si, dans le modèle de la pédagogie inversée en activités expérimentales, une évaluation individuelle à la maison sous la forme d'un questionnaire est privilégiée en vue de vérifier l'appropriation des contenus abordés dans les vidéos, nous préférons réaliser cela avec Wooclap juste avant le TP avec le groupe réuni en vue de davantage stimuler les interactions directes avec l'enseignant/l'assistant mais aussi entre les étudiant(e)s eux-mêmes. Ceux-ci pourraient en effet s'expliquer mutuellement les aspects qui poseraient problème et s'entraider. Cela permettrait ainsi de lancer une dynamique collaborative, à poursuivre lors de la réalisation en elle-même du TP, favorisant chez les étudiant(e)s l'émergence de buts de maîtrise. Cette étape permet en outre de faire du TP une tâche juste, comme le préconise le modèle de Wiggins, et cela en s'assurant, avant la manipulation, que tous les apprenants possèdent les connaissances requises pour mener le TP à bien.

Enfin, un autre point important et qui s'appuie sur le modèle de Wiggins est la transparence vis-à-vis de l'évaluation des étudiant(e)s. Rappelons-le, Wiggins préconise dans ce cadre de communiquer la grille d'évaluation à l'avance aux étudiant(e)s afin qu'ils sachent à quoi s'attendre pour leur évaluation avant, pendant et après le TP. Cette grille est destinée à être communiquée aux étudiant(e)s en même temps que le protocole expérimental comprenant le support écrit et les liens vers les vidéos. Nous avons proposé et réalisé une grille d'évaluation en annexe (voir annexe 4).

- Pendant le TP

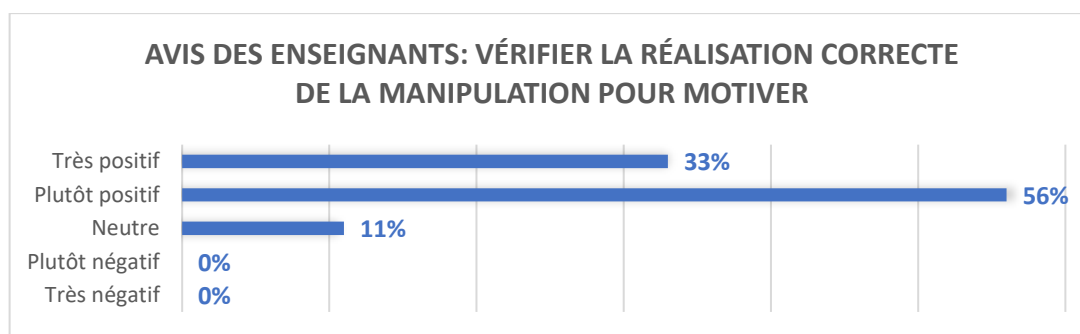
La réalisation du TP débouchera sur une évaluation de chaque étudiant. Comme abordé précédemment, pour la conception du TP, il serait dès lors intéressant d'avoir en tête les principes du modèle de « l'évaluation authentique » de Wiggins et plus particulièrement le

premier qui consiste à penser une tâche d'évaluation inspirée de la future vie professionnelle des apprenants. Déterminer le pourcentage du cuivre dans un échantillon réel comme le laiton plutôt que de doser une solution de cuivre (II) contribue déjà à ce que la situation soit aussi réaliste que possible. Mais ce réalisme passe aussi, selon Wiggins, par l'instauration d'un travail en équipe semblable à ce qui a lieu dans le monde du travail. Cela correspond à la source de motivation évoquée par l'un des étudiant(e)s interrogés en BAC3 qui précisait que sa journée au laboratoire était d'autant plus agréable qu'il avait été amené à travailler en équipe, modalité qui lui semble fondamentale tant dans ses études actuelles que dans sa future vie professionnelle. Notons que cette similarité avec le futur monde du travail est également valorisée dans la DI. Amadiou et Tricot (2014) mentionnent aussi, rappelons-le, la plus-value du travail collaboratif sur l'engagement et l'approfondissement des apprentissages. Le modèle IMAIP de Lebrun (2005) met lui aussi les interactions en valeur dans la conception d'un dispositif d'apprentissage performant, par le biais du travail d'équipe et de la collaboration (faire appel aux ressources humaines disponibles). En outre, les enseignants de l'école de chimie interrogés se sont également montrés globalement positifs quant à cette idée de favoriser les échanges entre les étudiant(e)s lors du TP en vue de susciter leur motivation.

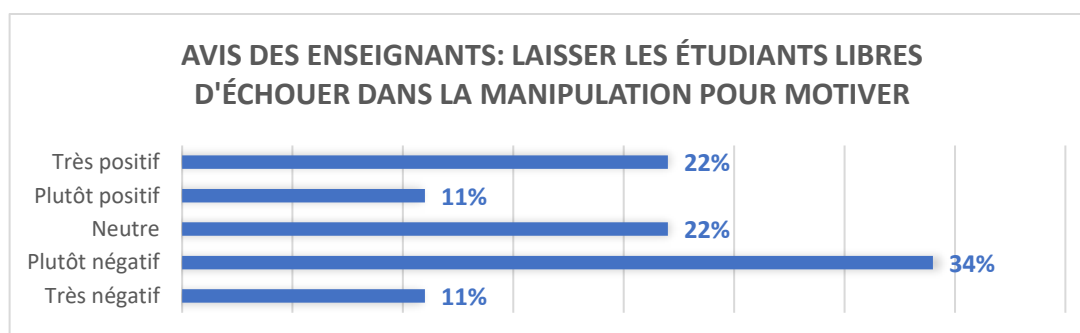


Pour s'insérer dans ce cadre collaboratif, il y a deux choix possibles pour l'organisation du TP. Soit les étudiant(e)s fonctionnent par groupe et donc apprennent à collaborer dans un travail d'équipe. Soit chaque étudiant réalise la manipulation tout seul mais dans un contexte où l'entraide entre chacun est encouragée, par l'attitude et le discours de l'assistant/enseignant et/ou en tant que critère d'évaluation.

En parlant d'évaluation, celle-ci ne devrait pas seulement être effectuée après le TP mais devrait aussi porter sur son déroulement. En effet, il ne s'agit pas d'évaluer uniquement les étudiant(e)s sur les résultats obtenus mais il s'agit également de prendre en compte leurs savoir-faire et savoir-être. A ce propos, une grande majorité des professeur(e)s interrogés se montrent favorables à l'idée que l'assistant vérifie, durant le TP, si les étudiant(e)s réalisent correctement leur manipulation.



Toutefois, si l'étudiant échoue pendant sa manipulation (s'il ne réussit pas du premier coup), ou s'il se trompe, cela ne doit pas automatiquement constituer une source de pénalité dans le cadre de l'évaluation. Il s'agit d'amener les étudiant(e)s à considérer l'échec non comme une erreur qui suscite la frustration mais comme une source de questionnement qui doit les amener à apprendre de leurs erreurs, comme le mentionne Wiggins. Les enseignant(e)s de notre école se sont toutefois montrés partagés dans notre questionnaire quant à cette question.



Comme le précise Wiggins, dans le cadre d'une évaluation authentique, il s'agit d'évaluer la maîtrise de l'étudiant, donc ses compétences, et non uniquement sa performance. Rappelons-nous que la théorie des buts d'accomplissement (Dupeyrat, Escribe et Mariné, 2006) précise que favoriser les buts de maîtrise augmente le niveau de compréhension mais aussi les efforts et la persévérance des apprenants alors que les buts de performance peuvent engendrer de l'anxiété, de la honte ou l'évitement des difficultés lorsque l'apprenant fait face à l'échec puisque seule la réussite (la performance) compte alors à ses yeux.

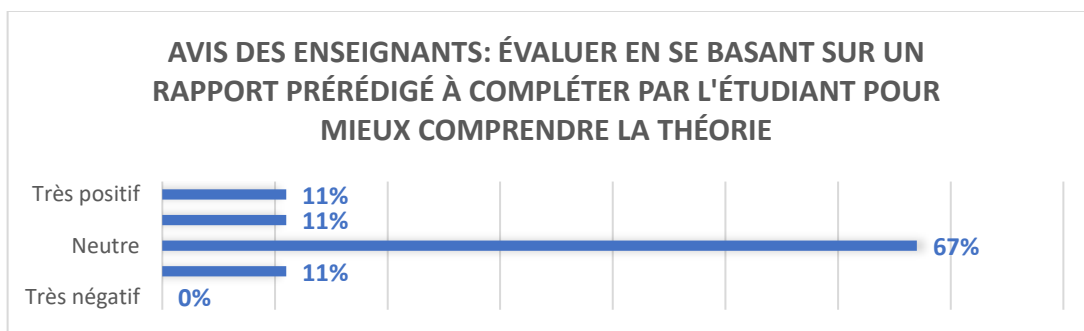
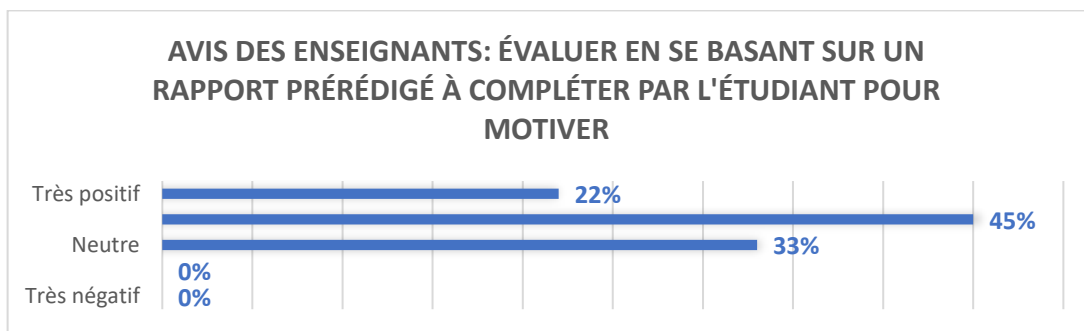
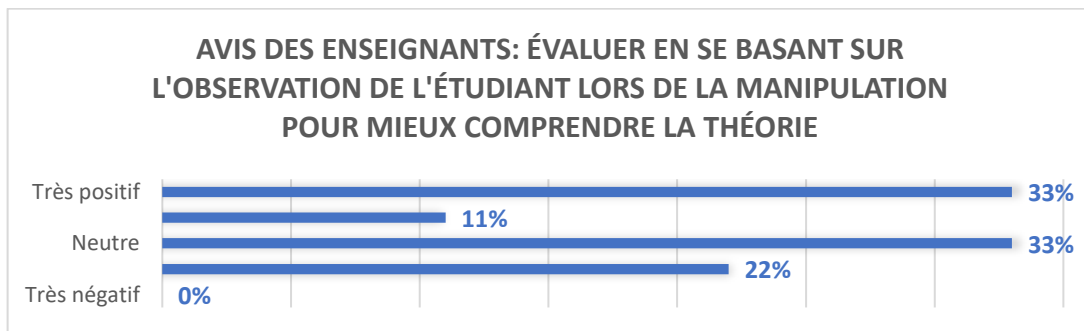
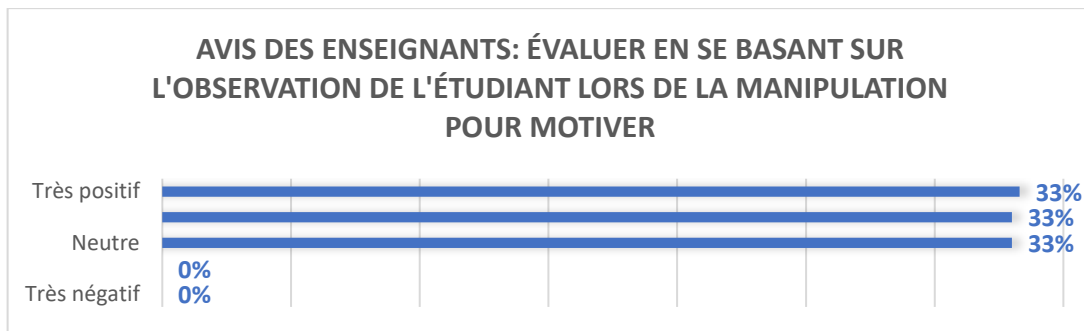
En outre, pour rappel, Darnon, Buchs et Butera (2006) ont démontré que l'instauration d'un climat de collaboration favorisait l'émergence de ces buts de maîtrise chez les apprenants. Il s'agit donc de penser à une évaluation qui favorise ce type de but. C'est pourquoi, comme l'indique Wiggins (1990), l'important est d'observer comment l'étudiant parvient aux résultats mais aussi sa capacité à porter un regard réflexif sur la manière de procéder. Dès lors, pendant le TP, l'assistant doit être toujours présent. En effet, il doit favoriser les interactions entre les étudiant(e)s et lui et cela en passant auprès de tous les groupes.

Il ne s'agit pas seulement d'observer les étudiant(e)s pour vérifier si les acquis d'apprentissage sont bien là mais il s'agit aussi d'entamer une sorte de discussion avec les apprenants afin de susciter leur réflexion et de voir à quel point ils savent ce qu'ils sont en train de faire. D'ailleurs, ils pourraient être évalués sur ces interactions (comme proposé dans la grille d'évaluation en annexe 4).

Si le planning prévu pour le TP le permet, l'idée pourrait être également de prolonger le TP d'iodométrie développé ici en ajoutant à la séance une autre manipulation qui permettrait de confirmer, comparer ou vérifier les résultats obtenus par la méthode de titrage. Comme proposition, nous opterions pour la spectroscopie UV-Visible. En effet, cette manipulation a également été testée. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant du nitrate de cuivre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ et en analysant par spectroscopie UV-Visible la solution de laiton dissoute obtenue par le même procédé de dissolution que pour l'iodométrie, on observe une bande qui correspond à l'absorption du cuivre à environ 800 nm. En utilisant la loi de Beer-Lambert, on peut accéder à la concentration. Cette prolongation du TP pourrait s'avérer très intéressante car elle permet d'aiguiser le sens critique des étudiant(e)s en comparant différentes techniques analytiques mais elle pourrait également encourager l'interdisciplinarité au sein de la chimie (dans ce cas chimie inorganique et chimie analytique).

- Après le TP

Le rôle principal d'un enseignant après le TP est de finaliser l'évaluation de l'étudiant. Selon les résultats du questionnaire soumis aux professeur(e)s de l'école de chimie, les enseignants privilégient deux modalités différentes d'évaluation pour susciter la motivation des étudiant(e)s : soit en observant l'étudiant pendant la manipulation, soit en leur faisant compléter un rapport prérédigé. L'idéal étant peut-être à leurs yeux de réaliser les deux modes de façon complémentaire. Toutefois, comme on peut le constater sur les graphiques de la page suivante, ces modalités sont privilégiées avec moins d'enthousiasme pour aider à une meilleure compréhension de la théorie.



Un autre rôle très important pour l'enseignant, après le TP, est le feedback donné à l'étudiant, ce qui rentre dans le cadre d'une logique d'évaluation formative. En effet, actuellement à l'UCLouvain, les étudiant(e)s rendent leur cahier de laboratoire à la fin de toutes les manipulations. Ils ne savent donc pas si leur manière de faire correspond vraiment à ce qui est demandé avant la remise finale du cahier.

Ce qui serait plus intéressant, c'est de programmer un moment de feedback après la remise de leur rapport relatif à chaque séance de TP. Ces séances permettraient de susciter, comme le

préconise le modèle de Wiggins, la valorisation de leur travail en les incitant à discuter une dernière fois de la manipulation. On pourrait également penser à ce que tous les groupes, ou certains groupes selon le temps disponible, présentent leurs résultats, les difficultés rencontrées, des perspectives, la discussion des résultats etc... Ainsi, après la réalisation et la remise du rapport relatif la manipulation concernée, on favoriserait l'autorégulation des apprentissages et on éviterait que les étudiant(e)s ne répètent les mêmes erreurs lors de prochaines manipulations. On leur donnerait donc la possibilité de s'améliorer.

Conformément à la théorie des buts d'accomplissement, il s'agit en effet d'amener les étudiant(e)s à se centrer sur le développement de leurs compétences plutôt qu'exclusivement sur l'obtention de résultats satisfaisants, tant lors de leur manipulation que dans le cadre de l'évaluation.

6.1.4- La transposition didactique : Possible pour des élèves de secondaire (6^{ème} année)

Réaliser la manipulation concernant le dosage du cuivre dans le laiton est aussi possible au niveau secondaire pour des élèves en 6^{ème} année secondaire. En effet, elle serait idéale dans le cadre du dernier chapitre : UAA10 : Les grandes classes de réactions chimiques.

Dans ce chapitre, il est prévu d'aborder les réactions acido-basiques mais aussi les réactions d'oxydo-réduction. D'après le référentiel de la FeSec (6^{ème} Sciences générales, page 91), l'un des acquis d'apprentissage de type « transfert » est justement de doser un composé présent dans un matériau (cuivre dans le laiton par exemple) ou dans une solution de la vie quotidienne (exemples : dosage des sulfites dans le vin, dosage de la vitamine C dans le jus d'orange) à l'aide d'un titrage mettant en jeu une réaction d'oxydo-réduction.

Partir d'un TP du niveau de BAC3 pour réaliser un TP de 6^{ème} secondaire est tout à fait possible. Il faudrait seulement réaliser une transposition didactique. Il s'agit d'un processus de transposition d'un « savoir savant » (généralement les savoirs universitaires sont qualifiés de savants) à « un savoir à enseigner » en passant par ce qu'on appelle une désyncrétisation, c'est-à-dire la création de champs distincts de manière artificielle afin que cela puisse être enseigné aux élèves.

Par exemple, avec des élèves de secondaire, on ne va pas demander de calculer l'erreur et l'incertitude sur les valeurs. Ils ne sont pas encore familiers avec la chimie analytique. Avec les 6^{ème} années, il faudrait en outre être encore beaucoup plus vigilant à ne pas générer un surplus d'informations que pour les BAC3. Même la réalisation des vidéos et leurs contenus devraient être différents de ce qui a été prévu pour les BAC3. Ainsi, il faudrait réaliser davantage de

vidéos sur des aspects pratiques (comme l'utilisation du matériel), de sécurité et d'hygiène car parfois les étudiant(e)s en secondaire n'ont jamais réalisé de manipulations, comme j'ai pu le constater lors de mes stages d'observation.

6.2. Perspectives d'innovation et de numérisation concernant un TP de polarographie

Comme évoqué précédemment, les étudiant(e)s en BAC3 étaient impatients et excités à l'idée de tester les nouvelles techniques analytiques abordés pendant le cours. La même excitation et le même intérêt se sont fait ressentir de la part des étudiant(e)s de Master 1 lorsqu'ils ont abordé la polarographie.

Une enquête portant sur le ressenti des étudiant(e)s en Master 1 vis-à-vis des TPs a aussi été réalisée. Dans ce cadre, un étudiant a affirmé que la manipulation qu'il a le plus appréciée est la polarographie, justement car « *c'est une méthode que l'on avait encore jamais réalisée en TPs* ». Néanmoins, il est aussi important de noter que 44% des étudiant(e)s interrogés n'ont pas apprécié ce TP.

Dans cette partie, nous effectuerons premièrement un petit rappel théorique sur le principe de la polarographie. Ensuite, une discussion et une analyse didactique du déroulement actuel des TPs sera développée. Enfin, nous proposerons des perspectives et des éventuelles futures mesures d'innovation et numérisation de la manipulation pour une amélioration des apprentissages et de la maîtrise de cette nouvelle technique analytique pour les étudiant(e)s de Master 1.

6.2.1- Petit rappel théorique sur la polarographie

La polarographie est une méthode analytique qui a été découverte par Jaroslav Heyrovsky dans les années 1920. C'est un type de méthodes d'analyse qu'on appelle « voltampérométrie », c'est-à-dire qu'on obtient un signal qui mesure un courant électrique en fonction d'une tension appliquée.

Beaucoup pensent que cette technique est une grande rivale de la spectrométrie d'absorption atomique car elle permet aussi l'analyse des éléments à l'état de traces. Néanmoins, cette technique ne fonctionne qu'avec des espèces qui peuvent être réduites ou oxydées. L'autre particularité de cette méthode analytique par rapport aux autres méthodes voltampérométriques est le fait d'utiliser une électrode de travail à base de mercure connue sous le nom d'EGM (Electrode à Goutte de Mercure). En effet, la surface de l'électrode peut avoir un effet sur le signal donc le courant mesuré. On tend généralement à travailler avec des électrodes d'aire de

l'ordre du mm^2 jusqu'au μm^2 et cela afin de privilégier la polarisation de la concentration (c'est-à-dire une accumulation de la matière à la surface). Les ions métalliques forment des amalgames avec le mercure. Ce point est sans doute l'un des principaux inconvénients de cette technique à cause de la toxicité du mercure. De plus, en polarographie, la solution à analyser n'est pas agitée afin de favoriser le transport de matière par diffusion.

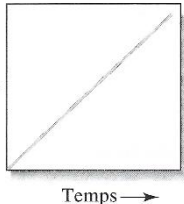
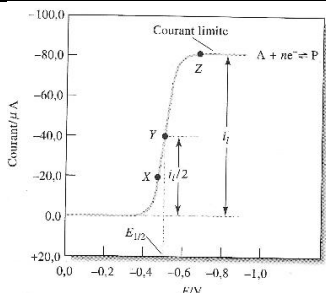
L'appareil utilisé pour cette technique est un polarographe dont le schéma simplifié est illustré ci-dessous.

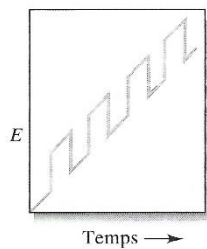
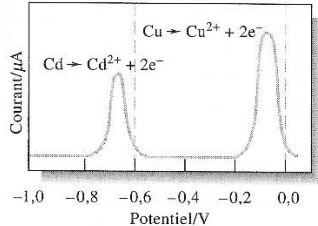
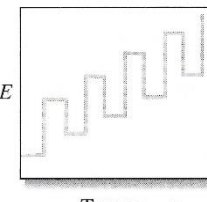
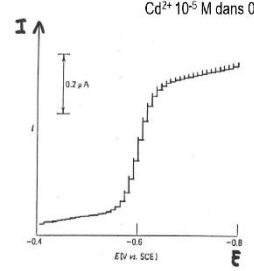
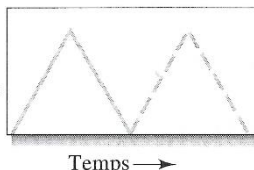
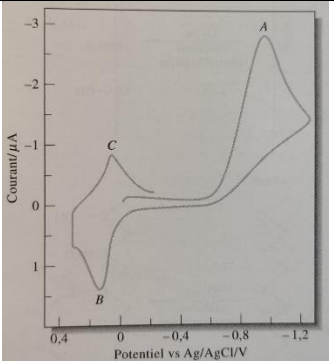


Figure 12: A gauche : schéma simplifié du dispositif (Wang, 2006). A droite : Illustration du polarographe relié à un ordinateur pour traitement des données (Metrohm.com)

L'azote $\text{N}_{2(g)}$ sert à éliminer l'oxygène et permet donc que l'analyse se fasse sous atmosphère inerte. Le graphe obtenu est appelé « polarogramme ». Son allure dépend du type de programmation en potentiel. Il existe en effet plusieurs modes en polarographie tels que le mode DC (Direct Current), le mode IP (impulsionnelle différentielle), DP (Differential Pulse) ou NP (Normal Pulse), comme expliqué dans le tableau suivant (Skoog, 2012).

Tableau 4: Les différents modes en polarographie

Mode de programmation ($E=f(t)$)	Nom du mode polarographique	Forme du signal obtenu
Balayage linéaire 	DC	

Balayage linéaire avec superposition d'un signal carré 	DP	
Tension carré superposée à un signal en escalier 	NP	
Balayage triangulaire 	Voltampérométrie cyclique	

Quel que soit le mode de programmation du potentiel, on observe soit un plateau ou un pic maximum de courant. Ce courant correspond au courant limite de diffusion. Cette limite du courant n'est plus due qu'à la vitesse de diffusion de l'analyte vers la surface de l'électrode de travail. De ce fait, le courant limite de diffusion est directement proportionnel à la concentration de l'espèce analysée. Cette relation est mise en évidence par la relation d'Ilkovic (Skoog, 2012) :

$$(i_d)_{max} = 706nD^{1/2}m^{2/3}t^{1/6}C$$

Avec : n le nombre d'électrons mis en jeu, D le coefficient de diffusion (cm^2/s) de l'espèce analysée, m le débit de mercure dans le capillaire (mg/s), t la durée de vie de la goutte (s) et C la concentration de l'analyte (mM). $(i_d)_{max}$ est exprimé en μA .

De plus, le potentiel de demi-vague noté $E_{1/2}$, qui correspond au potentiel nécessaire pour atteindre la moitié de la valeur du courant limite de diffusion et qui dépend principalement du potentiel standard du couple rédox mis en jeu, est utilisé pour caractériser les éléments présents en solution. Pour chaque analyte, on a un $E_{1/2}$ différent. La polarographie est donc une méthode analytique quantitative mais aussi qualitative. Néanmoins, il faut faire attention avant de pencher vers cette technique de bien avoir conscience de ses limites (limites de détection, sélectivité, facteur d'interférence, vitesse de scan etc...) et cela indépendamment du mode (DC, DP etc...) choisi. Nous n'allons pas nous plonger plus dans la théorie de la polarographie puisqu'il ne s'agit ici que d'esquisser un dispositif pédagogique possible pour mettre en œuvre sa manipulation dans un TP.

6.2.2- Ressenti des étudiant(e)s vis-à-vis des TPs de master 1 et de la polarographie

Vu la nouveauté pour eux de la technique, les étudiant(e)s de Master 1 sont généralement impatients de tester cette nouvelle méthode d'analyse. Malheureusement, la majorité se déclare déçue par la manipulation telle qu'elle est construite actuellement. En effet, le principe actuel du TP de polarographie, pour résumer, est de tester la technique sur des solutions de métaux (des solutions de Pb^{2+} et des solutions de Cd^{2+}) de concentrations connues et variables (allant de 10^{-3} M à 10^{-5}) afin de se familiariser avec la technique et d'étudier l'influence de certains paramètres comme la concentration de l'analyte, la vitesse de scan, la taille de la goutte de mercure etc...sur le signal. Il est en effet important de connaître ces influences mais cette manipulation n'est pas du tout contextualisée. Ainsi, un étudiant interrogé sur le degré de contextualisation des TPs de chimie analytique de Master a indiqué « *Oui et non, certains TPs sont assez bien contextualisés par rapport à la vie quotidienne (comme le dosage de la vitamine C dans le jus d'orange) alors que d'autres en sont fort éloignés (polarographie).* » Par ailleurs, plusieurs étudiant(e)s mentionnent que beaucoup d'applications sont évoquées pendant le cours et donc ils semblent s'attendre à ce qu'il en soit de même pour les TPs.

L'un des problèmes majeurs actuels de cette manipulation est le manque de temps. En effet, un étudiant rajoute qu'« *il n'y avait pas assez de temps pour analyser tous les échantillons reçus avec les 4 méthodes. Donc le temps de midi était bref et le stress était élevé. La manipulation lors de ce tp est minime et l'attente de la prise des mesures frustrante.* ».

Un autre problème est l'automatisation du polarographe. En effet, après avoir fixé les paramètres, le scan démarrait et pendant que l'analyse était en cours, l'étudiant était inoccupé et l'ennui commençait à s'installer. Un étudiant ajoute à ce propos : « *La machine étant*

totalelement automatisée, nous n'avons rien à faire et les mesures prennent une demi-journée entière. »

De plus, la manipulation s'effectuait parfois avec des groupes de 3 à 4 étudiant(e)s sur la même machine. Dès lors, quand un étudiant manipulait la machine, les autres observaient et l'ennui semblait souvent s'installer.

De plus, l'un des autres points négatifs relevés par les étudiant(e)s lors de l'enquête est la difficulté et le temps que prend l'analyse des résultats du polarogramme après le TP. Enfin, certains groupes réalisaient la manipulation avant même d'avoir vu toute la théorie dans le cours.

6.2.3- Perspectives d'innovation et de numérisation concernant le TP de la polarographie

Après avoir relevé les points négatifs ou plutôt à améliorer du TP actuel concernant la polarographie, il est temps de proposer justement des solutions afin d'assurer des meilleurs apprentissages et une meilleure maîtrise de cette nouvelle technique, le tout dans un cadre motivant et agréable.

Pour la contextualisation, le nombre d'exemples d'échantillons réels que l'on pourrait doser par polarographie est grand. On peut directement citer par exemple le dosage du cuivre et du zinc dans le lait. En effet, la polarographie du lait s'effectue déjà dans plusieurs universités dans le cadre de TPs, notamment à l'université de Toulouse III. Il faut juste s'assurer qu'il n'y ait pas de contraintes d'effets de matrice par exemple et qu'il y ait une bonne sélectivité entre les deux métaux, sélectionner certains modes de polarographie par rapport à d'autres etc...

Mais comme l'exemple du lait a déjà été utilisé comme modèle d'innovation d'une manipulation concernant le titrage iodométrique en BAC3, si on utilise encore le même échantillon, les étudiant(e)s auraient un sentiment de déjà-vu. Même si ce choix pourrait s'avérer intéressant, ceci constituant une autre opportunité pour comparer les résultats obtenus en BAC3, mais cette fois en utilisant la polarographie. Tout est une question de choix.

Il existe plusieurs autres applications possibles, comme la détection de métaux lourds dans les aliments. Citons par exemple le miel. Au lieu que tous les étudiant(e)s d'un même groupe restent autour de la machine, dans le cadre de l'analyse d'un échantillon plus intéressant afin de favoriser la DI, les étudiant(e)s se partageraient les tâches (un étudiant s'occupe des dilutions, l'autre s'occupe du polarographe, l'autre du traitement des données etc...). En effet, ce sont des étudiant(e)s Master et donc on peut se permettre de moins les guider qu'en BAC3,

ce qui aura pour effet de renforcer un TP par DI en octroyant aux étudiant(e)s davantage d'autonomie.

D'un point de vue numérisation, comme proposé pour le TP concernant le dosage du cuivre dans le lait, l'idée est de leur fournir toutes les informations dont ils auraient besoin afin qu'ils construisent eux-mêmes leurs démarches et leurs protocoles. En BAC3, par l'intermédiaire des vidéos, on les avait quand même guidés vers une démarche alors que l'idée, pour les Master 1, serait plutôt de leur fournir tous les outils nécessaires, sans trop les guider. Ce serait à eux, sur la base des ressources fournies, d'élaborer des hypothèses et de les tester pour résoudre le problème qui leur serait soumis. L'assistant ou l'enseignant pourrait si nécessaire les orienter en cas de difficultés mais sans leur donner la réponse. L'idée serait de compter sur la réflexion de tous les membres de groupes pour construire une démarche adéquate et ainsi susciter une dynamique collaborative. L'essentiel serait comme cité auparavant de valoriser leurs réflexions plutôt que les résultats en soi.

Au niveau Master 1, il existe déjà un projet qui encourage la démarche d'investigation. Il s'agit d'un projet dans lequel l'étudiant doit déterminer la concentration de deux ions métalliques d'une solution inconnue. L'étudiant a le droit d'utiliser toutes les techniques qu'il avait vues pendant son cursus (spectroscopie UV-Visible, les dosages complexométriques, dosages potentiométriques, la spectrométrie d'absorption ou d'émission atomique etc...). Toutefois, par exemple, quand les étudiant(e)s ont voulu essayer la polarographie pour leur projet, cela ne s'est finalement jamais réalisé, ceux-ci n'ayant pas été encouragés à s'avancer dans cette voie. Pourtant, l'idée de la DI n'est pas de voir si les étudiant(e)s vont trouver les méthodes à laquelle soi-même on a pensé mais bien de mesurer leur faculté à construire un raisonnement et à réguler leur démarche.

L'adoption d'un TP de polarographie qui porterait sur l'analyse d'un échantillon réel pourrait dès lors remplacer l'actuel projet de dosage des ions d'une solution inconnue. Il s'agirait bien sûr alors de s'appuyer également sur d'autres techniques analytiques. Ainsi, le projet pourrait être de vérifier les résultats obtenus par polarographie grâce à d'autres méthodes analytiques expérimentées auparavant.

Conclusion

Enseigner n'est pas un métier de tout repos. C'est un beau métier car il permet de former la future génération qui va construire le monde dans les prochaines années. C'est une responsabilité et un devoir que d'assurer cette formation comme il se doit. Tel est le rôle de l'enseignant, à la fois didacticien et pédagogue, qui se doit d'envisager tous les paramètres qui peuvent avoir un impact sur l'apprentissage des étudiant(e)s et donc sur leur avenir et leur future carrière professionnelle, comme la motivation, les buts d'accomplissements poursuivis, l'effet de l'évaluation etc....

Prendre en compte tous ces paramètres est extrêmement difficile, et n'est jamais acquis une fois pour toutes. Un enseignant digne de ce nom essayera toujours de bien faire mais il reste souvent une faille dans la démarche proposée, même infime, qui peut avoir des conséquences sur l'apprentissage des élèves. La vraie force de l'enseignant est d'apprendre de cette faille afin de mieux faire la prochaine fois et cela encore et encore... Tout cela vaut aussi pour l'enseignement de la chimie et plus particulièrement pour la mise en œuvre de TPs.

Certains élèves, avant de se plonger dans l'apprentissage de la chimie, attendent beaucoup de cette science, car selon eux, comme aux yeux de personnes du grand public, la chimie est une science « magique ». Mais rapidement, beaucoup de jeunes d'aujourd'hui sont « dégoûtés » de cette science qui leur paraît trop compliquée, trop abstraite, trop théorique etc... Parfois même certains labos de chimie qui sont censés « casser le rythme de la théorie » provoquent l'effet inverse de ce qui était attendu : la démotivation et le désengagement surgissent.

Pour y remédier, l'un des moyens proposés dans le cadre de ce mémoire est d'innover les TPs en les contextualisant. Les étudiant(e)s verraient ainsi mieux le sens des savoirs acquis, et ceux-ci deviendraient de vrais savoirs « vivants », mobilisés dans un contexte proche de leur quotidien ou de leur futur espace professionnel. Donner du sens aux savoirs en les contextualisant tout comme donner de la valeur à la tâche en la reliant à des situations aussi proches que possibles de la réalité sont des pistes appuyées par plusieurs modèles dont nous avons parlé au cours de ce mémoire. La théorie de l'évaluation authentique de Wiggins, les idées promues par la DI, ou encore un modèle motivationnel comme celui de l'expectancy-value démontrent bien l'efficacité de cette démarche d'innovation pour la motivation et l'engagement de l'étudiant, et par conséquent pour la qualité des apprentissages qui en découleront.

Pour parvenir à activer de tels leviers, il s'agit notamment d'éviter les situations trop complexes, ou encore de privilégier la valorisation de la démarche de l'étudiant plutôt que l'obtention de résultats concluants etc... En outre, il ne s'agit pas d'adopter cette méthode d'innovation sur un coup de tête, sans réflexion préalable, ou uniquement car cela semble attrayant. Il s'agit avant tout que les changements envisagés aient un intérêt et un but pédagogique et didactique avérés.

Pour mettre en œuvre ces aspects d'innovation, nous avons choisi de transformer une manipulation de niveau BAC3 qui traitait du dosage indirect du cuivre par iodométrie. Jusqu'à présent, les étudiant(e)s dosaient une simple solution de Cu^{2+} de concentration inconnue. Ce type de manipulations de dosage ou de titrage sont souvent détestées par les étudiant(e)s car elles sont pour eux synonymes d'ennui et de platitude. Alors qu'en remplaçant cette solution par un échantillon réel, la manipulation à réaliser prend davantage la forme d'un challenge pour l'étudiant. L'enseignant ou l'assistant pourra ressentir cela en voyant les yeux des étudiant(e)s qui pétillent d'excitation à l'idée de réussir ce défi ou cette tâche qu'on leur impose. Nous espérons que cette nouvelle manipulation pourra être testée à la rentrée académique prochaine afin de voir les résultats d'une telle méthode d'innovation.

La deuxième nouveauté dans cette manipulation était de mobiliser et de s'appuyer sur du contenu numérique (essentiellement des capsules vidéo dans notre cas). Comme nous l'avons exposé au cours de ce mémoire, les avis sont souvent mitigés concernant l'usage des TIC dans l'enseignement. Certes, la technologie est présente dans notre quotidien. Il faudra donc un jour ou l'autre que le domaine de l'enseignement s'en empare pleinement. Néanmoins, il ne faudrait pas que son ajout soit vécu comme une obligation ou fasse l'objet d'un refus catégorique. Pour une bonne intégration du numérique dans l'enseignement, il s'agit plutôt de considérer que son usage doit dépendre de la situation d'apprentissage, du cadre, des apprenants eux-mêmes etc... En outre, il ne s'agit pas de croire que l'usage du numérique dans une démarche d'apprentissage va de soi pour la nouvelle génération. Il faut être conscient que celui-ci requière souvent des compétences d'autonomie et d'autorégulation chez les élèves et les étudiant(e)s, qui doivent être accompagnées et développées. Ainsi, l'utilisation du numérique demande en fait un effort de la part des deux côtés : enseignant et apprenant.

Comme pour la contextualisation, l'utilisation des TIC doit avoir un intérêt pédagogique et didactique. Quel type de TIC vais-je utiliser ? Un tableau interactif ? Des logiciels ? Des vidéos ? La visualisation moléculaire en 3D ? Des projections ?...

Pourquoi vouloir utiliser les TIC ? Pour transmettre des informations ? Pour préparer les étudiant(e)s à un laboratoire ? Pour évaluer les étudiant(e)s ? Pour remédier à leurs préconceptions erronées et à leurs difficultés ? etc... Avant d'opter pour l'usage des TIC dans l'enseignement, il faut se poser ces questions. Rappelons-nous également du modèle SAMR. Mon outil numérique va-t-il être un moyen de Substitution, d'Augmentation, de Modification ou de Redéfinition d'un TP ou d'un cours par rapport aux autres outils « classiques » utilisés ? Mobiliser les TIC dans l'enseignement ne doit en effet pas se résumer à faire la même chose qu'avant, mais avec d'autres outils. Il s'agit plutôt d'utiliser les TIC pour la plus-value qu'elles peuvent apporter.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons opté pour une TIC en particulier : des capsules vidéo. Réaliser des capsules vidéo semble pour beaucoup une idée fascinante qui pourrait révolutionner l'enseignement, notamment en le rendant possible à distance. Plusieurs enseignants ont d'ailleurs adopté ce système pendant le confinement lié à la crise sanitaire que nous vivons actuellement. Et c'est grâce à cela que certains apprentissages ont su continuer leur cours quasi habituel. Certes, quand on regarde certaines « belles » vidéos d'apprentissage ou d'enseignement qui ont déjà été réalisées, on a envie d'en faire autant. Mais cela n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît.

En effet, tout d'abord, la capsule vidéo, à quoi va-t-elle servir ? Est-on sûr que l'étudiant va mieux comprendre les informations transmises par vidéo que par transmission directe dans une salle de classe ou par l'intermédiaire d'un syllabus ? Quel type d'informations veut-on faire passer aux étudiant(e)s à travers ces vidéos ? Toutes ces questions sont d'ordre pédagogique et didactique et elles sont très importantes dans la préparation didactique d'un cours ou d'un TP dans lequel on voudrait insérer une TIC.

Il y a aussi le côté technique de la création de vidéos. En effet, comme signalé précédemment, l'usage des TIC peut demander un effort supplémentaire parfois considérable de la part de l'enseignant mais aussi des étudiant(e)s. Ainsi, un enseignant qui n'a pas l'habitude de l'usage des TIC devrait réaliser énormément d'efforts afin de se mettre à jour techniquement pour pouvoir utiliser l'outil numérique avec aisance. Ce qui demande parfois énormément de temps. Du temps que l'on pourrait consacrer à d'autres aspects et questions didactiques et pédagogiques.

Ayant réalisé personnellement des vidéos dans le cadre de ce mémoire pour l'innovation de la manipulation concernant le dosage du cuivre par iodométrie, j'ai pu expérimenter de multiples

difficultés dans l'élaboration de ces vidéos. Pour réaliser une vidéo de quelques minutes, il faut compter une journée entière ! Cela demande donc un grand investissement, autant en temps qu'en concentration. En effet, il faut prendre en compte les animations que l'on voudrait insérer, les schémas/figures que l'on voudrait exposer, le ton/le volume/la clarté de la voix à utiliser, la qualité/la résolution de la vidéo obtenue etc...Parfois aussi, cela ne se passe pas comme on le voudrait, du coup il faut refaire les vidéos.

En outre, il faut faire face à de multiples contraintes techniques. Par exemple, la limite de durée imposée par un logiciel comme Powtoon, ou l'impossibilité de télécharger directement la vidéo créée sur son ordinateur personnel, à moins de souscrire à une version payante. Rappelons-le, la question du numérique est fortement liée à la marchandisation de l'enseignement. Il faut énormément de patience et de persévérance afin d'arriver à la vidéo désirée. Cela est aussi le cas pour les « simples » vidéos réalisées en se filmant. Parfois, il faut refaire la vidéo plusieurs fois car l'angle n'est pas bon, la qualité du son est mauvaise, la luminosité est mauvaise également etc...

Avoir expérimenté cette démarche permet ainsi de mieux comprendre la peur de certains enseignants à se mettre au numérique, et la nécessité, pour pouvoir s'y mettre, d'évoluer dans un milieu stimulant et soutenant, tout en étant soi-même correctement outillé, notamment par le biais de formations, de matériel, de logiciels ou de soutien technique mis à disposition.

Cette démarche d'innovation et de numérisation, développée pour un TP destiné à des étudiant(e)s de BAC 3, pourrait aussi très bien fonctionner dans l'enseignement secondaire et devrait dès lors aussi être encouragée à ce niveau d'enseignement. Comme le suggéraient Karsenti et Larose (2001), le monde universitaire pourrait ainsi, dans ce cadre, devenir un moteur d'innovation. Nous nous sommes rendu compte que construire un TP à partir de rien est extrêmement fastidieux. Si des ressources numériques efficaces et de qualité étaient réalisées et rendues disponibles à large échelle, les enseignants pourraient mobiliser ou s'inspirer des ressources et démarches déjà existantes et, si nécessaire, réaliser une transposition didactique afin de l'adapter à leurs élèves. Commencer à instaurer des tâches et des challenges par le biais de TP contextualisés dès le secondaire ne ferait qu'augmenter l'intérêt et la passion des élèves pour cette science qu'est la chimie. Et peut-être que le nombre d'étudiant(e)s en chimie augmenterait et que le nombre d'abandons dans les filières scientifiques et technologiques diminuerait.

Le Projet PULSE, pour rappel, poursuivait justement ces objectifs. Il s'agit d'une belle initiative qui pourrait, sur le modèle de ce qui vient d'être évoqué, être le début d'une dynamique pour un meilleur enseignement des sciences dans les Universités d'Europe et d'Afrique de l'Ouest, où les ressources et les démarches numériques innovantes seraient désormais partagées et pourraient constituer des leviers de changement et d'amélioration de l'enseignement.

Bibliographie

- Alglave E., *Revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger*, T. 6, 30 Octobre 1869, page 753.
- Amadiou F. et Tricot. A., *Apprendre avec le numérique*, septembre 2014.
- Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V. et Vigneron M., *Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation* dans Enseignement et formation, Les travaux pratiques, août-septembre 2009.
- Bandura A., *Self-efficacy the exercise of Control*, 1997, pages 5-7.
- Bédard D. et Frenay. M., *Le transfert des apprentissages* dans Apprendre et faire apprendre, 2011, page 129.
- Biagini C., Cailleaux C. et Jarrige F., *Critiques de l'école numérique*, 2019.
- Bouffard T., *Des apprenants autonomes ?* dans Apprendre et faire apprendre, 2011, pages 139-141.
- Bourgeois E. et Galand B., *La question de la motivation à apprendre* dans (Se) Motiver à apprendre, 2006, pages 12-14.
- Chavent M., Baaden M., Hénou E. et Antonczak S., *Bientôt dans votre amphithéâtre, la chimie fera son cinéma*, L'actualité chimique, n°363, mai 2012.
- CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française), *Lettre d'information n°23*, octobre 2018.
- Comenius J.A., *Didactica Magna*, Editions Klincksieck, 1992 [édition originale 1657].
- Crahay M. et Marcoux. G., *Construire et mobiliser des connaissances dans un rapport critique aux savoirs* dans Apprendre et faire apprendre, 2011, pages 154 et 155.
- Davis F.D., Bagozzi R.P., Warshaw P.R., *User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models*, Management science, Vol.35, n°8, août 1988, pages 985-989.
- De Kesel M. et Plumet J., *Donner du sens aux savoirs en biologie, en chimie et en physique*, dans Donner du sens aux savoirs : comment amener nos élèves à (mieux) réfléchir à leurs apprentissages, 2015, pages 25-28.
- Delval F. et Gradinaru J., *Utilisation de TIC dans l'enseignement de la chimie au secondaire 2 : mise en œuvre, apports, contraintes et évaluation*, 23 Juin 2017, pages 3 et 4.
- Dorai M., *Qu'est-ce qu'un stéréotype ? Contribution à la définition d'un concept*, Enfance, 1988, pages 45-54.
- Dupeyrat C., Escribe C. et Mariné C., *Buts d'accomplissement et qualité de l'engagement dans l'apprentissage : le coût de la compétition* dans (Se) Motiver à apprendre, 2006, pages 63-74.
- Dweck C.S. et Leggett E.L., *A social-cognitive approach to motivation and personality*, Psychological review, 1988, Volume 95, n°2, pages 256-273.

Eccles J.S., Wigfield A., *Motivational Beliefs, Values and Goals*, Annual Review of Psychology, 2002, pages 109-132.

Edouard S. et De Flaugergues M., *Pédagogie inversée en activités expérimentales*, TraAM Physique-Chimie, Direction du numérique pour l'éducation, Ministère français de l'éducation nationale et la jeunesse, 2015-2016.

Fabre P-L. et Reynes O., *Determination of Copper and Zinc in Brass: Two basic methods*, Journal of chemical education, Vol 87 n°8, Aout 2010.

Galand B., *Le numérique va-t-il révolutionner l'éducation ?* Les cahiers de recherche du Girsef n°120, Mars 2020.

Giordan A., *Les apports de la didactique des sciences à la médiation scientifique*, L'actualité chimique, Novembre-décembre 2004, n°280-281.

Holbrook J. et Rannikmae M., *Contextualisation, De-contextualisation, Re-contextualisation – a science teaching approach to enhance meaningful learning for scientific literacy* dans Contemporary science education, 2010.

Karsenti T., *20 pistes pédagogiques pour tirer profit des avantages du numérique en éducation*, SETT, Namur, vendredi 7 février 2020

Karsenti T. et Larose F., *TIC et pédagogies universitaires, le principe du juste équilibre* dans Les TIC... au cœur des pédagogies universitaires : diversité des enjeux pédagogiques et administratifs, 2001, pages 2-12.

Laduron C., *Quel type de vidéo utiliser en fonction de l'activité visée chez l'apprenant ?*, SETT Namur, 6 février 2020.

Larose S., *Motivation et persévérance dans les études post-secondaires en sciences et technologies* dans (Se) Motiver à apprendre, 2006, pages 159-169.

Lebrun M., *Quand les technologies propulsent la pédagogie de l'apprentissage et la formation pédagogique des enseignants*, Actes du colloque « Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur », Lille, juin 2005.

Legendre R., *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Larousse, 1988, page 259.

Lussier O. et Allaire H., *l'évaluation « authentique » (Authentic task, Assessment)*, Pédagogie collégiale, Volume 17 Numéro 3, Mars 2004, pages 29-30.

Martinot D., *Connaissance de soi, estime de soi et motivation scolaire* dans (Se) Motiver à apprendre, 2006, page 28.

Masson S. et Brault Foisy L-M., *Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau* dans Spectre, n°42, Novembre 2012, pages 15-17.

Neuville S., *La valeur perçue des activités d'apprentissage : quels en sont les sources et les effets ?* dans (Se) Motiver à apprendre, 2006, pages 85-96.

Petifaux. C., *Dosage indirect ? dosage en retour ?* Bulletin de l'union des physiciens, N°793, Avril 1997.

Raby C., *Analyse du cheminement qui a mené des enseignants du primaire à développer une utilisation exemplaire des technologies de l'information et de la communication en classe*, HAL Id: eduTIC-00000750, Novembre 2004, pages 353-379

Roland N., Choumane M. et Vanmeerhaeghe S., *Les pratiques d'enseignement et d'apprentissage avec le numérique*, Université Libre de Bruxelles, 2016, pages 16-22.

Schouwey C., *C'est quoi un bon TP ? La didactique du travail pratique de chimie secondaire II*, page 3.

Sheppard K., *From Justus von Liebig to Charles W. Eliot: The Establishment of Laboratory Work in U.S. High Schools and Colleges*, Journal of Chemical Education, Vol 83, n°4, Avril 2006.

Skoog, West, Holler, Crouch, *Chimie Analytique*, traduction de la 8^{ème} édition américaine par Claudine Buess-Herman et Josette Dauchot, Editions de Boeck, 2012, pages 563-565, 576, 665-703, 1087, 1090-1092.

Tardif J., *L'évaluation dans le paradigme constructiviste dans l'évaluation des apprentissages. Réflexions, nouvelles tendances et formation*, Université de Sherbrooke, 1993, pages 27-56.

Tardif J. et Meirieu P., *Stratégie pour favoriser le transfert des connaissances dans Vie pédagogique*, n°98, 1996, pages 4-7.

Tomic S., *Le cadre matériel des cours de chimie dans l'enseignement supérieur à Paris au XIX^{ème} siècle*, Histoire de l'éducation, n°130, Avril-Juin 2011, pages 57-83.

Université de Lomé, *Mise en œuvre du projet PULSE : une délégation d'universitaires reçues à l'UL*, 23 Avril 2019.

Vellas E., *Comparer les pédagogies : un casse-tête et un défi*, Educateur, Mai 2007.

Wigfield A., Eccles J.S., *Expectancy Value-Theory of Achievement Motivation*, Contemporary Educational Psychology 25, 2000, pages 68-81.

Wiggins G., *The Case for Authentic Assessment, Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 1990, Volume 2, Article 2.

Table des annexes

Annexe 1 : Enquête : Qu'est-ce qu'un bon TP ?	i
Annexe 2 : Analyse didactique sur le vécu des étudiant(e)s concernant les TPs de Chimie Analytique I (LCHM1322).....	iii
Annexe 3 : Protocole et syllabus actuels concernant le TP du dosage du cuivre par iodométrie	vii
Annexe 4 : Fiche TP (nouveau support) concernant le dosage du cuivre par iodométrie et grille d'évaluation	x
Annexe 5 : Questionnaire Wooclap proposé en début de séance de TP	xiv
Annexe 6 : Analyse didactique sur le vécu des étudiant(e)s concernant les TPs de Chimie Analytique II (LCHM2120).....	xix

Annexe 1 : Enquête : Qu'est-ce qu'un bon TP ?

Liste des Professeur(e)s chez lequel(le)s l'enquête a été envoyée

Nom	Prénom	Adresse Mail
Devillers	Michel	<i>michel.devillers@uclouvain.be</i>
Elias	Benjamin	<i>benjamin.elias@uclouvain.be</i>
Filinchuk	Yaroslav	<i>yaroslav.filinchuk@uclouvain.be</i>
Fustin	Charles-André	<i>charles-andre.fustin@uclouvain.be</i>
Garcia	Yann	<i>yann.garcia@uclouvain.be</i>
Gnagnarella	Agnès	<i>agnes.gnagnarella@uclouvain.be</i>
Gohy	Jean-François	<i>jean-francois.gohy@uclouvain.be</i>
Hautier	Geoffroy	<i>geoffroy.hautier@uclouvain.be</i>
Hermans	Sophie	<i>sophie.hermans@uclouvain.be</i>
Leyssens	Tom	<i>tom.leyssens@uclouvain.be</i>
Liégeois	Catherine	<i>catherine.liegeois@uclouvain.be</i>
Riant	Olivier	<i>olivier.riant@uclouvain.be</i>
Robiette	Raphaël	<i>raphael.robiette@uclouvain.be</i>
Singleton	Michael	<i>m.singleton@uclouvain.be</i>
Vlad	Alexandru	<i>alexandru.vlad@uclouvain.be</i>

Taux de participation

Nombre de participants visé	Nombre de réponses obtenues	Nombre de réponses manquantes	Taux de participation
15	9	6	60%

Résultats de la première question : Qu'est-ce qu'un Bon TP ?

	Pas du tout important	Pas très important	Indifférent	Plutôt important	Très important
La performance des étudiant(e)s est facile à évaluer	-	-	56%	44%	-
Le TP permet aux étudiant(e)s de mieux comprendre la théorie du cours	-	-	-	22%	78%
Les résultats du TP sont reproductibles de manière fiable	-	-	22%	56%	22%
Le matériel nécessaire pour le TP est bon marché	11%	11%	33%	33%	11%
Le TP comporte une marche à suivre claire et complète pour les étudiant(e)s	-	-	11%	44%	44%
Le TP est facile à mettre en place et à ranger	11%	-	44%	33%	11%
Le TP permet aux étudiant(e)s de développer leur autonomie	-	-	-	44%	56%
Le TP permet aux étudiant(e)s de travailler en toute sécurité	-	-	11%	22%	67%
Le TP génère peu de déchets	11%	11%	56%	11%	11%
Le TP motive les étudiant(e)s pour l'étude du cours	-	-	11%	22%	67%
L'organisation du TP favorise les interactions entre les étudiant(e)s	-	11%	33%	33%	22%
Le TP favorise les interactions entre l'enseignant (ou l'assistant) et les étudiant(e)s	-	22%	33%	33%	11%

Résultats de la deuxième question : Les facteurs importants pour que le TP aide à mieux comprendre la théorie

	Très négatif	Plutôt négatif	Neutre	Plutôt positif	Très positif
Avant d'arriver à la séance de TP, l'étudiant doit réaliser une activité pertinente (revoir la théorie, faire un exercice...)	-	-	-	44%	56%
L'expérience réalisée est en lien avec le cours	-	-	-	44%	56%
L'expérience réalisée est liée à la vie quotidienne	11%	22%	44%	11%	11%
Le protocole contient un rappel de la théorie	-	-	22%	44%	33%
Le protocole contient des explications pour la réalisation des manipulations (comment utiliser un appareil, une pièce de verrerie...)	-	-	22%	56%	22%
Le protocole contient des questions portant sur la théorie	11%	-	22%	56%	11%
Le protocole détaille la marche à suivre de l'expérience	-	11%	22%	44%	22%
Lors du TP, l'enseignant (ou l'assistant) montre les manipulations à réaliser	-	56%	33%	11%	-
Lors du TP, l'enseignant (ou l'assistant) explique les éléments théoriques	22%	22%	22%	22%	11%
L'évaluation comprend une partie théorique	22%	33%	22%	22%	-
Lors de l'évaluation, les étudiant(e)s doivent commenter leurs résultats	-	-	-	56%	44%
Lors de l'évaluation, les étudiant(e)s doivent commenter la procédure utilisée	-	-	33%	44%	22%
L'évaluation se fait sous forme de rapport	-	11%	33%	33%	22%
L'évaluation se fait sous forme de test théorique	22%	22%	56%	-	-
L'évaluation se fait sous forme de rapport prérédigé à compléter par l'étudiant	-	11%	67%	11%	11%
L'évaluation se fait sur la base de l'observation de l'étudiant lors de la manipulation	-	22%	33%	11%	33%
L'évaluation de l'étudiant se fait sur la base des résultats obtenus au terme de la manipulation	11%	22%	22%	33%	11%

Résultats de la troisième question : Les facteurs importants pour que le TP développe la motivation des étudiant(e)s pour le cours

	Très négatif	Plutôt négatif	Neutre	Plutôt positif	Très positif
Avant d'arriver à la séance de TP, l'étudiant doit réaliser une activité pertinente (revoir la théorie, faire un exercice...)	-	11%	44%	22%	22%
L'expérience réalisée est amusante ou spectaculaire	11%	11%	11%	33%	33%
L'expérience réalisée est en lien avec le cours	-	-	-	44%	56%
L'expérience réalisée est liée à la vie quotidienne	11%	11%	22%	33%	22%
Le protocole contient un rappel de la théorie	11%	11%	56%	22%	
Le protocole contient des explications pour la réalisation des manipulations (comment utiliser un appareil, une pièce de verrerie...)	-	22%	33%	33%	11%
Le protocole détaille la marche à suivre de l'expérience	-	11%	22%	56%	11%
Lors du TP, l'enseignant (ou l'assistant) montre les manipulations à réaliser	11%	22%	33%	33%	-
Lors du TP, l'enseignant (ou l'assistant) explique les éléments théoriques	11%	22%	22%	44%	-
L'évaluation comprend une partie théorique	22%	22%	44%	11%	-
L'expérience favorise les échanges entre les étudiant(e)s (mise en commun des résultats, travail fragmenté entre binômes...)	-	11%	11%	67%	11%
Lors du TP, l'enseignant ou l'assistant vérifie que les étudiant(e)s réalisent correctement les manipulations	-	-	11%	56%	33%
L'enseignant (ou l'assistant) laisse les étudiant(e)s libres d'échouer dans leur manipulation	11%	33%	22%	11%	22%
L'évaluation se fait sous forme de rapport	-	11%	44%	44%	-
L'évaluation se fait sous forme de test théorique	33%	22%	33%	11%	-
L'évaluation se fait sous forme de rapport prérédigé à compléter par l'étudiant	-	-	33%	44%	22%
L'évaluation se fait sur la base de l'observation de l'étudiant lors de la manipulation	-	-	33%	33%	33%
L'évaluation de l'étudiant se fait sur la base des résultats obtenus au terme de la manipulation	22%	22%	22%	22%	11%

Annexe 2 : Analyse didactique sur le vécu des étudiant(e)s concernant les TP de Chimie Analytique I (LCHM1322)

1- Selon vous, les TP de chimie analytique sont-ils assez contextualisés (rapport avec la vie quotidienne, applications...) ? Expliquez.

Je trouve que le rapport avec la vie quotidienne était bien exploité en ce qui concerne la manipulation de la mesure de la dureté de l'eau. Cela dit, pour les autres manipulations, on nous donnait des explications en ce qui concerne la théorie sur laquelle elles sont basées, mais pas vraiment des exemples illustrant leur utilités pratiques (à quoi cela pourrait éventuellement servir dans notre future vie professionnelle, par exemple) et rapports avec la vie quotidienne.
Par rapport à la vie quotidienne ces TP étaient intéressant notamment au niveau des comparaisons des compositions des différentes eaux prélevées.
Pour certaines manipulations oui comme par exemple la dureté de l'eau pour d'autres des exemples d'applications pourraient être ajoutés, par exemple dans quel cas est utilisé une méthode de dosage plutôt qu'une autre.
Je trouve que les TP sont trop "théoriques", en effet ils reflètent ce qu'on devrait faire dans la vie de tout les jours si on travaillait mais en pratique, on ne reçoit pas des belles solutions où on doit juste titrer... Par exemple le titrage du $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ par EDTA était intéressant mais la mesure de l'eau de ville est simple à faire, on aurait pu par exemple la pousser un peu plus loin en précipitant le Mg^{2+} et doser exactement le Ca^{2+} et Mg^{2+} . Je trouve que c'était le seul TP où on avait un cas se rapprochant un peu de la réalité, les autres étaient pas très intéressant mis à part mettre en pratique une technique ou l'autre.
Bien qu'il y ait une introduction au début de chaque laboratoire dans le syllabus, celle-ci ne parle pas vraiment des applications possibles de ces méthodes. Bien sûr dans le cas du titrage de l'eau nous voyons les applications mais pas pour les autres manipulations, peut être qu'une brève explication des applications possibles dans l'introduction pourrait arranger cela.
Très intéressant ! Notamment celui sur la dureté de l'eau
Non, on ne nous explique pas concrètement dans le syllabus (ou au laboratoire) quelles sont les différentes applications des manipulations que l'on réalise (application au domaine de l'industrie, de la recherche, ...).
Oui, certains laboratoire était très intéressant car ils étaient lié à des choses de la vie de tout les jours (Coca, eau,..)

2- Les acquis d'apprentissage du cours vous ont-ils aidé à réaliser un ensemble de tâches pendant les TP ? Percevez-vous un fil conducteur entre le cours et les TP ? Expliquez.

Oui, en général le rapport entre les manipulations et les chapitres vus au cours semblait évident (exemples: spectroscopie, volumétrie, potentiométrie, complexométrie, chromatographie furent des concepts vus au cours et au laboratoire)
Il y en effet un liens entre le cours et les Tps car certains sont une application direct de ce qui est vu en cours . Cependant l'un ne nécessite pas l'autre car les tps ressemblent en grande partis à des TP des années précédente.
Je vois un lien entre les TP et les cours. Certaines notions abordées aux cours sont utiles pour les TP, par exemple les notions des différents types de titrages, les notions

d'erreurs utiles pour les justifications des résultats, notions oxydants/réducteurs et lire les notions théoriques du cours avant le labo aident même pour le test d'entrée.
Etant donné que nous avons déjà les bases pour comprendre les TP avec les années précédentes (1ère et 2ème), je pense que nous avons compris comment appliquer ce qu'on a vu en pratique. Même si la majorité des TP, nous avons déjà effectué des manipulations similaires (titrage acide/base, complexométrie, UV-VIS, colorimétrie,...), je trouve que ça se rapporte bien à la matière vue en cours. Ps : je ne sais pas où mettre cette remarque mais je trouve qu'elle est très importante : Il serait extrêmement utile de nous initier à d'autres techniques d'analyse en pratique, ex: GC, HPLC (voir remarque à la question 3), MS, IR, RXcrystal, RXpoudre ... On nous parle énormément de toutes ces techniques mais mis à part la RMN et une petite GC à analyser en TP d'organique de 3ème, nous n'avons jamais du utiliser les techniques personnellement alors que ces techniques sont très importantes pour un chimiste selon moi.
Je pense que comme dans de nombreux cours les laboratoires venaient avant les cours, mais je ne suis pas certain. Cependant il y a bien un lien entre le cours et le laboratoire.
Je ne pense pas qu'une connaissance pointue de la matière est nécessaire pour effectuer les séances. Elle est toutefois avantageuse et donc conseillée.
A vrai dire, les compétences pour ces laboratoires sont déjà acquises lors des années précédentes. Le cours théorique de chimie analytique n'est qu'une dose de rappel des années précédentes et cela est dommage car il y a beaucoup de choses à apprendre dans ce domaine. Cela s'observe par le fait que des étudiant(e)s n'ayant pas eu le cours réussissent bien ces laboratoires, tout comme les étudiant(e)s un peu plus avancés ont une impression de déjà vu. Cependant, j'ai trouvé que la partie sur les électrodes qui était un peu plus nouvelle est en très bon lien avec les laboratoires car on en utilise dans plusieurs manipulations. De même la partie chromatographie en lien avec le labo HPLC qui nous a permis d'avoir certaines bases en HPLC qu'on utilise en labo d'organique et TP complémentaire (3ème, Q2)
Oui, beaucoup de principes théoriques étaient appliqués durant les TP

3- Citez la manipulation qui vous a le plus plu. Pourquoi ?

Spectrométrie UV-visible + HPLC. Ce fut intéressant d'effectuer pour la première fois une analyse HPLC. La préférence pour cette manipulation est aussi subjective, car j'apprécie les manipulations employant des mesures de spectrométrie UV-visible (préparation des échantillons, mesures et analyse). Enfin, partager le travail entre 3 personnes facilitait celui-ci, nous entraînait à travailler en équipe (compétence fort utile dans les études et nos futures vies professionnelles), et la journée au laboratoire plus agréable.
La manipulation avec l'HPLC/Spectroscopie d'absorption atomique car c'était des nouveautés en terme de manipulation.
La manipulation qui m'a le plus plu est la manipulation de dosage du cuivre à partir du titrage de l'iode car cette manipulation est rapide et les virages sont très net cependant je pense que ça ne soit pas la manipulation la plus nécessaire à réaliser, par exemple la manipulation de titrage par HCl ou NaOH présente un plus grand intérêt pour discuter des différentes méthodes.
Le tp sur l'utilisation de l'hplc, j'ai apprécié le fait de pouvoir utiliser cet appareil au lieu de faire un titrage simple. Cependant, si on avait plus de temps pour y passer, je trouve qu'il serait intéressant d'apprendre à l'étudiant de rechercher par lui-même un mélange

pour l'éluant, de mémoire (si je ne me trompe pas), nous avions un mélange 50/50 MeOH/H ₂ O, sauf qu'il était déjà préparé et nous n'avions qu'à injecter nos solutions à analyser et prendre les mesures. Il serait intéressant de chercher un éluant adéquat et sa proportion comme on ferait dans un cas réel.
La chromatographie HPLC mais je pourrais également citer la spectroscopie d'absorption atomique, dans ces deux cas c'est simplement parce que ces sont des méthodes que nous n'avions encore jamais vues. De même que les dosages potentiométriques.
La dureté de l'eau : savoir sa concentration en carbonate dans son eau courante est très intéressant.
La spectroscopie atomique, c'est une manipulation relativement simple qui permet en même temps d'avoir la chance de pouvoir utiliser de la technologie de haute pointe au moins une fois au cours du bachelier.
Dosage du phosphate dans le Coca

4- Citez la manipulation qui vous a le moins plu. Que proposez-vous ? Expliquez.

Le titrage d'un mélange d'acides/bases. Cette manipulation était très (trop?) longue. Trois mesures furent effectuées par méthode (sauf pour les titrages volumétriques), mais chaque mesure était très longue à effectuer. Selon moi, il aurait peut-être été mieux que cette manipulation soit effectuée en groupe de 3, afin d'éviter qu'une seule personne ne doive répéter trois fois la même mesure laborieuse (ce qui devient fort redondant, apportant peu à l'étudiant au niveau de son expérience pratique, bien que cela augmente la précision des résultats finaux).
Je ne me rappelle plus très bien mais c'était une manipulation d'un titrage colorimétrique avec un virage orange/jaune compliqué à distinguer qui était assez frustrant(peut être la manipulation avec le Fer 3+ ?)
La manipulation du dosage du fer et la dureté de l'eau. Il y a eu des difficultés pour tous à comprendre quelle était la couleur du virage attendu pour le fer, quant à la dureté de l'eau dans certains cas le virage ne se faisait pas ou ne restait pas fixe assez longtemps.
Le dosage du fer par complexométrie, je trouve que les dosages où l'on se fie au changement de couleur n'est pas précis du tout dans certains cas, ici justement, de mémoire on devait avoir un changement entre un jaune à orange avec reflets jaunes, c'était très dur de déterminer quand on atteignait l'équivalence et la perception du changement changeait d'une personne à l'autre donc pas moyen d'avoir une bonne base pour connaître l'équivalence... Je pense qu'il pourrait être intéressant , pour le TP de complexométrie du fer en général (pas que le titrage avec l'acide sulfosalicylique mais aussi la dureté de l'eauavec l'EDTA), de garder le titrage avec l'EDTA mais d'avoir une approche différente , au lieu d'avoir une simple solution de fer ³⁺ ou Ca ²⁺ /Mg ²⁺ inconnu, d'avoir par exemple un échantillon contenant du fer mais aussi d'autres éléments , et d'essayer d'isoler le fer pour ensuite le doser. On se rapprocherait plus d'une situation réelle.
Le dosage du fer était assez frustrant parce qu'il était très difficile d'obtenir un bon point d'équivalence. En effet, nous avions comme indication que l'équivalence du titrage était atteinte lorsque la solution devenait jaune-orangée, cependant il n'y avait pas de virage de couleur net et l'équivalence était donc atteinte lorsque nous jugions personnellement que le jaune-orangé en question nous convenait. Au final il s'est même avéré que l'équivalence était même atteinte quand la solution était orange et non plus jaune. Il me semble même que la quantité d'indicateur introduite change la couleur du point

d'équivalence (la solution est plus orange avec plus d'indicateur). En résumé, nous n'avions aucune idée de quelle couleur devait être le point d'équivalence donc l'analyse était peu fiable. Cependant cela nous a permis de voir que la chimie analytique n'est pas toujours aussi facile qu'un simple titrage acide-base. Pour mieux améliorer ce laboratoire il faudrait peut être indiquer la quantité d'indicateur à introduire avant la manipulation pour que nous obtenions la même couleur que la personne ayant réalisé les titrages au préalable.

Dosage du Fer(III) par complexométrie, le virage de couleur est beaucoup trop "subjectif" pour être coté sur notre précision. La perception de la couleur de l'expérimentateur qui a établi la concentration de référence à trouver peut être totalement différente de la nôtre, on joue vraiment sur différentes teinte du jaune. Peut-être revoir l'indicateur à utiliser pour cette manipulation, j'en avais proposé un dans mon cahier mais on ne me l'a toujours pas rendu
-courage à toi pour ton mémoire

Dosage de l'eau minérale par titrage

Annexe 3 : Protocole et syllabus actuels concernant le TP du dosage du cuivre par iodométrie

CHM1322 : TP3 : Titrage oxydométrique par iodométrie.

TP3 : Titrage oxydométrique par iodométrie

1. Dosage iodométrique du cuivre

1.1. Introduction

Principe

L'iodométrie est une méthode de dosage basée sur les réactions d'oxydo-réduction du système iode-iodure :



Cette méthode permet la détermination quantitative rapide et précise d'oxydants et de réducteurs suivant trois types de titrages :

Titration directe d'un réducteur par une solution d'iode I_2 standardisée :



Libération d'iode par action d'un oxydant. Les ions iodures sont facilement oxydés en iode en milieu acide et l'iode libéré est titré par une solution de réducteur standardisée, en général $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:



Oxydation d'un réducteur par un excès de solution standard d'iode et titrage en retour de l'excès d'iode par une solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ suivant :



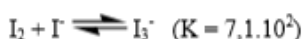
Cette méthode peut être entachée de deux sources importantes d'erreurs :

Pertes d'iode dues à sa volatilité : l'iode possède une très faible solubilité (10^{-3} F) dans l'eau et ses solutions aqueuses ont une tension de vapeur d'iode appréciable. Il s'ensuit une perte importante de concentration par volatilisation au cours des manipulations.

Oxydation par l'oxygène de l'air en milieu acide : l'oxydation des iodures par l'oxygène de l'air, négligeable en milieu neutre s'accroît rapidement en milieu acide. Elle est en outre catalysée par certains ions tels que Cu^{2+} , NO_2^- , Cr^{3+} et est activée par la lumière.

Ces inconvénients peuvent être évités moyennant les précautions suivantes :

L'iode est solubilisé dans une solution concentrée de KI puis portée au volume désiré par de l'eau. La solubilisation dans l'iodure entraîne la formation d'ion triiodique I_3^- plus soluble dans l'eau que I_2 et dont les autres propriétés sont équivalentes. La solution résultante possède une tension de vapeur inférieure à celle des solutions d'iode dans l'eau.



Les solutions d'iode sont stockées en flacons de verre brun bouchés à l'émeri afin de diminuer l'action de la lumière et de l'air.

CHM1322 : TP3 : Titrage oxydométrique par iodométrie.

Les réactions de libération d'iode sont effectuées en vase fermé et à l'abri de la lumière, au départ de solutions d'iodures fraîchement préparées.

Les titrages iodométriques sont effectués le plus rapidement possible, à froid et en flacon conique (erlenmeyer) afin de réduire au minimum l'oxydation et la volatilisation.

Lors des titrages de solutions peu concentrées, la solution pourrait être balayée par un courant de gaz inerte tel que CO_2 ou N_2 , avant et pendant le titrage.

Détection du point final :

La coloration naturelle des solutions d'iode (jaune-brun) permet de suivre la progression des réactions. Toutefois le contrôle du point final est de loin plus sensible en présence d'empois d'amidon qui forme avec l'iode un complexe de coloration bleue intense très visible même pour de faibles concentrations d'iode.

Cependant, l'empois d'amidon présente certains inconvénients :

Il s'hydrolyse en milieu trop acide et la coloration bleue du complexe disparaît.

L'amidon insoluble dans l'eau est utilisé sous forme de suspension mais celle-ci est instable et sensible à l'action de certaines bactéries. La conservation n'est possible qu'en présence de chloroforme ou d' HgCl_2 qui empêche l'action bactérienne.

Le complexe iode-amidon est insoluble dans l'eau et peut adsorber de l'iode. Il est donc important de n'ajouter l'amidon à la solution titrée qu'en fin de titrage.

Le cuivre (II) est réduit quantitativement par l'ion iodure en présence d'un excès suffisant d'iodure de potassium :



L'ion I^- agit simultanément comme réducteur de Cu^{2+} et précipitant de Cu(I) déplaçant l'équilibre vers la droite. Le milieu réagissant doit contenir au moins 4 % de KI.

Un pH de 4 est idéal. En milieu moins acide, l'hydrolyse de Cu(II) rend l'oxydation de KI plus lente et incomplète. En présence de Cu(II) , une concentration en ions H^+ supérieure à 0,3 M catalyse l'oxydation de l'iodure par l'air.

Le titrage d' I_2 par $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ en présence de CuI est incomplet. En effet, une quantité non négligeable d'iode est adsorbée par le CuI solide et n'est restituée que très lentement à la solution même en présence de thiosulfate. Il s'ensuit que le point final est prématuré. On remédie à ce problème par addition de thiocyanate de potassium qui se substitue à l'iode à la surface du précipité. Cette réaction de conversion entraîne la libération de l'iode adsorbé qui redevient disponible pour le titrage. Toutefois, l'addition prématurée de l'ion SCN^- entraîne une réduction lente de l'iode.

$$E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+} = 0,15 \text{ V} ; E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{CuI}} = 0,86 \text{ V}$$

$$E^\circ_{\text{I}_2/\text{I}^-} = 0,536 \text{ V}$$

Ce que vous allez faire

Titre une solution de titre inconnu de Cu(II) à l'aide d'une solution standardisée de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 0,1 M.

1.2. Manipulation

Solutions fournies

- Une solution standardisée de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 0,1 M (disponible au magasin).
- Une solution inconnue de Cu(II) (disponible au magasin).
- Les autres réactifs (KSCN, KI, empois d'amidon) se trouvent sur les étagères placées près du magasin.

Mode opératoire

Prélever à l'aide d'une pipette un volume de 20 ml de la solution de cuivre (II) à analyser, et la transférer dans un erlenmeyer surmonté d'un bouchon. Ajouter 3 g de KI, boucher et mélanger jusqu'à dissolution complète du KI. Le précipité de couleur ocre se forme. Titrer immédiatement par la solution de thiosulfate. Avant la fin du titrage, ajouter 2 g de KSCN et l'empois d'amidon jusqu'à l'obtention de la couleur bleue et continuer le titrage jusqu'à décoloration complète de la solution. Cette décoloration doit se maintenir pendant une minute.

1.3. Résultats et rapport.

A la fin de la séance, vous devrez remettre un formulaire de rapport complété. Ce formulaire sera disponible au magasin.

N'oubliez pas de consigner dans votre cahier les résultats expérimentaux que vous avez notés dans votre rapport.

1.4. Préparation du laboratoire.

- Ecrivez les réactions partielles et la réaction de titrage de ions Cu^{2+} que vous allez réaliser au laboratoire. Précisez l'agent titrant, le produit à titrer, l'indicateur ainsi que son changement de coloration à l'équivalence.
- Indiquez l'expression de calcul de la concentration en ions Cu^{2+} . Expliquez l'origine du virage de la couleur de la solution de cuivre.
- Pourquoi rajouter du KSCN dans la solution à doser ?

Annexe 4 : Fiche TP (nouveau support) concernant le dosage du cuivre par iodométrie et grille d'évaluation

Détermination de la teneur en cuivre dans le laiton par iodométrie

Introduction

Le laiton est un alliage à base de cuivre et de zinc. Il est couramment utilisé dans la vie quotidienne dans divers domaines d'application. Le cuivre, qui est le métal présent en plus grande quantité dans le laiton, possède des propriétés antibactériennes (désinfection, décontamination) intéressantes qui seraient fort utiles étant donné les circonstances actuelles de la crise du Covid-19 (Ganciu et al, 2020).

Le laiton analysé dans le cadre de ce TP est un laiton utilisé dans le domaine du modélisme. Il sert de raccord et d'attache entre plusieurs pièces pour la fabrication de maquettes. Ce laiton est fabriqué et commercialisé par la société Albion Alloys (Référence : BW045/CW5081) et sa composition approximative est donnée dans le tableau ci-dessous :

Élément	Cu	Zn	Al	Ni	Pb	Fe	Sn	Autre
Composition (%)	62-64	Reste	0,05	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1

Le but de cette manipulation est de contrôler la teneur en cuivre dans le laiton analysé et de voir si elle est conforme aux données fournies par la compagnie. On peut diviser la manipulation en deux grandes étapes.

Pour vous aider à arriver à votre but, nous avons réalisé plusieurs capsules vidéo qui vous donneront les outils et les acquis d'apprentissage nécessaires à la réalisation de votre tâche. Ces vidéos ont pour but de vous préparer au TP et de constituer pour vous une référence vis-à-vis de votre démarche, de vos résultats et de vos interprétations. **Il est donc strictement interdit de visualiser ces vidéos pendant le TP sous peine d'une sanction.** Les liens vers les capsules vidéo concernant l'introduction ainsi que les deux étapes majeures du TP sont indiqués ci-dessous :

- Introduction et Etape 1 : <https://youtu.be/V8gvg0KR-UQ>
- Etape 2 : <https://youtu.be/XxpS7X9RpNU>

Comme vous le remarquez, il n'y a pas de protocole expérimental fourni comme vous en aviez l'habitude. L'objectif est de vous fournir tous les outils nécessaires afin que vous construisiez vous-même votre protocole. Il doit absolument être construit avant le TP.

Chaque groupe amène son protocole au TP et ce dernier sera discuté avec l'assistant. L'interaction de l'étudiant avec l'assistant concernant son protocole, sa façon de faire, sa démarche, ses critiques constitue comme vous pouvez le voir dans la grille ci-dessous un facteur d'évaluation.

L'important n'est pas le résultat mais la ou les façons d'y parvenir. Vous pouvez vous tromper, c'est normal, on est là pour apprendre. Si vous avez besoin de conseils ou consignes pour la construction de votre protocole, cliquez sur le lien suivant : https://youtu.be/_MoCFytOhuQ

Pour les étudiants qui auraient des difficultés avec l'écriture des équations d'oxydoréduction, cliquez sur le lien suivant : <https://youtu.be/KEXnMr65x7A>

Voici la liste du matériel qui vous sera initialement fourni :

- Une solution de HNO_3 (65%)
- Une pipette jaugée de 1ml
- 2 Erlenmeyers de 250 ml
- Une fiole jaugée de 100ml
- Une pipette jaugée de 10 ml
- Une solution de KI (10%)
- De l'empois d'amidon
- Une burette graduée de 50 ml
- Une solution de thiosulfate 5.10^{-3} M
- Du KSCN solide
- Un agitateur magnétique
- Un barreau aimanté

Evidemment, toute variante en utilisant du matériel supplémentaire est la bienvenue, surtout si cela est justifié. Pour tout matériel supplémentaire, demandez à l'assistant ou au préparateur.

• **Fiches de sécurité de produits utilisés et générés :**

Composé	Pictogrammes	Dangers
HNO_3		H272 : Peut aggraver un incendie, comburant H314 : Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux

NO ₂		H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie, comburant H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves H330 : Mortel par inhalation
I ₂		H312 : Nocif par contact cutané H332 : Nocif par inhalation H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques

• **Quelques références bibliographiques utiles :**

Skoog, West, Holler, Crouch, *Chimie Analytique*, traduction de la 8^{ème} édition américaine par Claudine Buess-Herman et Josette Dauchot, Editions de Boeck, 2012, pages 563-565, 576, 1087, 1090-1092

Fabre. P-L et Reynes. O, *Determination of Copper and Zinc in Brass: Two basic methods*, journal of chemical education, Vol 87 n°8, Aout 2010

• **Grille d'évaluation :**

	Acquis	En cours d'acquisition	Non Acquis
Avant le TP			
Interactions entre étudiants et avec l'assistant pendant la séance de Wooclap (démontre un effort d'appropriation des supports transmis)			
Attitude et présentation des étudiants (blouse/lunettes de sécurité obligatoires, ponctualité, tenue adéquate etc...)			
Pendant le TP			
Respect des conditions de sécurité et d'hygiène au laboratoire			
Le savoir-faire au laboratoire (maîtrise du matériel)			
La collaboration entre étudiants			
Interactions avec l'assistant (questions pertinentes, réflexivité, prise en compte des remarques formulées etc...)			
La capacité d'apprendre de ses échecs et de persévérer			

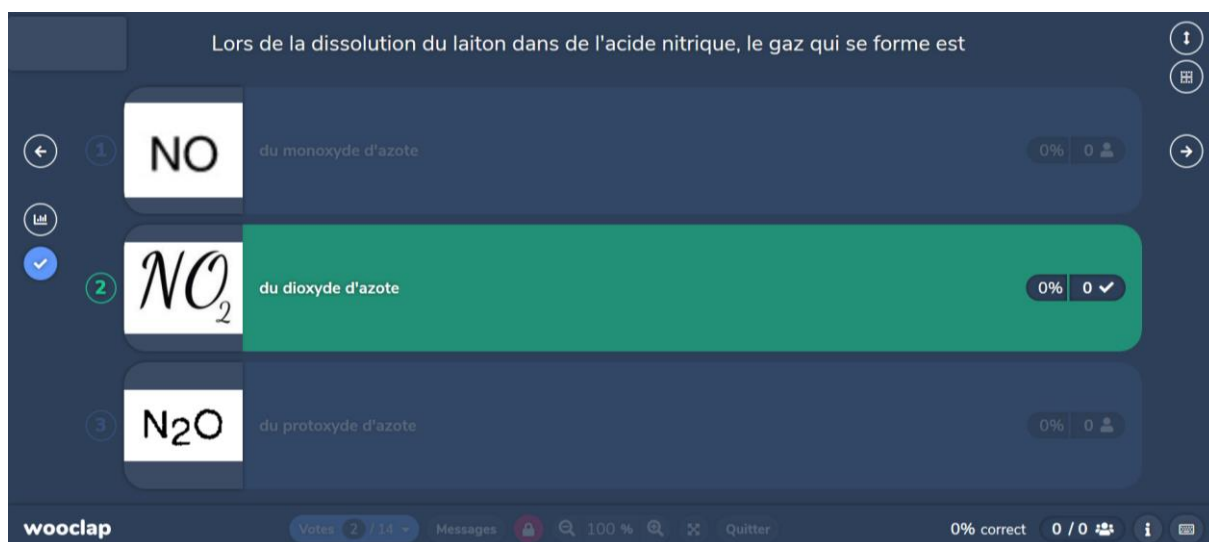
Après le TP (le rapport)			
Clarté et bonne présentation du rapport			
Maîtrise de la théorie (écriture des équations chimiques, identification des couples Ox/Red etc...)			
Savoir interpréter les phénomènes et connaître leurs origines (exemple : les virages de couleur etc...)			
Traitement des valeurs obtenues de manière claire et soignée (exposer ses résultats avec unités et erreurs/incertitude, les équations utilisées etc...)			
Maîtrise du transfert (théorie-pratique)			
Calcul d'erreur détaillé et soigné (les équations détaillées, les tests utilisés etc...)			
Discussion des résultats (sources d'erreur potentielles, critiques des résultats etc...)			
Conclusion (perspectives, autres méthodes/solutions, applications etc...)			

Bon travail et bon TP !

Annexe 5 : Questionnaire Wooclap proposé en début de séance de TP

L'évènement Wooclap créé peut être importé par un autre utilisateur en utilisant le code suivant dans l'onglet « Importer un évènement » : EXPLYJ

Néanmoins, n'étant pas certain de la disponibilité infinie du lien, des printscreens du Wooclap ont été réalisés et joints ci-dessous :



 Pourquoi ne pas avoir utilisé un autre acide comme l'acide chlorhydrique (37%) pour dissoudre le laiton?

La réponse correcte était

Car on a un dégagement de dihydrogène (H₂). Il vaut mieux faire évaporer du dioxyde d'azote que de l'hydrogène même si le NO₂ est un gaz polluant.

0%
des participants ont répondu correctement

wooclap Votes 3 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

 L'acide nitrique a pour rôle

1 de dissoudre le laiton 0% 0

2 d'oxyder le cuivre en cuivre (+II) 0% 0

3 les deux 0% 0 ✓

wooclap Votes 4 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

NO L'une des méthodes industrielles de synthèse du monoxyde d'azote est la réduction des ions nitrates par le cuivre. Pourquoi ne forme-t-on pas ce gaz lors de notre manipulation?

1  à cause de la température 0% 0

2  à cause de la pression 0% 0

3 **O₂** à cause de la présence d'oxygène 0% 0 ✓

wooclap Votes 5 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

Le dosage du cuivre dans le lait est un dosage

- 1 direct 0% 0
- 2 indirect 0% 0 ✓
- 3 par retour 0% 0

wooclap Votes 6 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- \rightarrow ? + ?$ En faisant réagir le cuivre (+II) avec l'iodure de potassium en excès on forme

- 1 du CuI_2 et de l'iode (I_2) 0% 0
- 2 du CuI et de l'iode (I_2) 0% 0 ✓
- 3 du cuivre (+I) et de l'iode (I_2) 0% 0

wooclap Votes 7 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

La réduction des ions cuivre(+II) peut-elle se faire en milieu basique?

- 1 Oui 0% 0
- 2 Non 0% 0 ✓

wooclap Votes 8 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

Pourquoi doit-on doser l'iode directement après sa formation

La réponse correcte était

Il s'adsorbe sur le Cul, et l'oxydation des ions iodures par l'oxygène de l'air est catalysée en milieu acide

0%
des participants ont répondu correctement

wooclap

Votes 9 / 14 Messages 100 % Quitter

0% correct 0 / 0

Le KI est ajouté en excès. Pourquoi?

1 Il s'agit d'un titrage indirect 0% 0

2 Solubiliser l'iode qui est insoluble dans l'eau 0% 0

3 **les deux** 0% 0 ✓

wooclap

Votes 10 / 14 Messages 100 % Quitter

0% correct 0 / 0

Pendant le titrage, pourquoi ne pas ajouter l'amidon au début du titrage?

La réponse correcte était

Le complexe amidon-I₂ est peu soluble dans l'eau donc risque d'adsorption. De plus, la nuance de couleur de l'amidon est plus facile à discerner quand il y a moins d'iode.

0%
des participants ont répondu correctement

wooclap

Votes 11 / 14 Messages 100 % Quitter

0% correct 0 / 0

A quoi sert le KSCN ajouté vers la fin du titrage?

- 1 A catalyser la réaction de dosage 0% 0
- 2 A éviter l'adsorption de l'iode sur le Cul 0% 0 ✓
- 3 Les deux 0% 0

wooclap Votes 12 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

Si le KSCN sert à éviter l'adsorption de l'iode sur le Cul, pourquoi ne pas l'ajouter au début du dosage?

La réponse correcte était

Car il y a risque de formation de Thiocyanogène (SCN)₂. Ce qui ralentirait le dosage

0%
des participants ont répondu correctement

wooclap Votes 13 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

Quelle est la différence entre l'iodométrie et l'iodimétrie?

La réponse correcte était

L'iodométrie est un titrage indirect mettant en jeu l'iode (l'iode est titré).
L'iodimétrie est un titrage direct (l'iode est le réactif titrant)

0%
des participants ont répondu correctement

wooclap Votes 14 / 14 Messages 100 % Quitter 0% correct 0 / 0

Annexe 6 : Analyse didactique sur le vécu des étudiant(e)s concernant les TP de Chimie Analytique II (LCHM2120)

1- Selon vous, les TP de chimie analytique sont-ils assez contextualisés (rapport avec la vie quotidienne, applications...) ? Expliquez.

Oui ils sont pertinents et en rapport avec ce qu'on voit en cours
Oui et non, certains TP sont assez bien contextualisés par rapport à la vie quotidienne (comme le dosage de la vitamine C dans le jus d'orange) alors que d'autres en sont fort éloignés (polarographie).
Oui. Les laboratoires permettent une familiarisation avec des techniques qui sont réellement utilisées dans la vie quotidienne pour la détections de métaux lourds (e.g. la polarographie)
très peu d'applications avec la vie quotidienne (à part le dosage de vitamine il n'y en a aucun)
L'analytique est présente dans tous les domaines industriels et nous force à être rigoureux et précis. C'est un tp nécessaire dans l'apprentissage.
Je pense que oui mais pas autant que l'année précédente où on avait dosé l'eau du robinet.
Ça pourrait être plus, mais c'est déjà pas mal, le titrage de la vitamine C du jus montre les difficultés de la vie quotidienne en labo. Le projet nous donne aussi plus l'impression de faire quelque chose d'intéressant D
Oui, certains tp comme la coulometrie (test avec jus d orange), projet (dosage d un mélange d ions)
1) Pas vraiment, on réalise quelques analyse de détermination de composés, mais si l'on souhaite un contexte, il faut aller le chercher nous-même. Les TPs se concentrent sur les méthodes scientifiques.
Oui. Cela nous rapproche de la réalité lorsque l'on sera confronté dans notre futur travail à des mesures quantitatives. De plus, nous apprenons des méthodes nouvelles que l'on connaissait pas
Oui par exemple le dosage d'une vitamine dans le jus d'orange, la dureté de l'eau de ville,...
les techniques vues aux TP sont en accord avec les méthodes de la vie quotidienne mais nous n'avons pas la partie préparation d'un échantillon brut ramasser directement au sol par exemple
Non, il n'y a pas de réel but aux manipulations, et je pense que je ne ferai plus jamais ça dans le futur donc je n'en vois pas l'intérêt
De mémoire on a analysé des eaux commerciales, et du jus d'orange. Je suppose que c'est déjà pas mal comme lien avec des applications concrètes. Mais bon, faut bien le dire: on se fait quand même sacrément chier.
Je pense que oui ils sont liés à la vie quotidienne car on analyse souvent des solutions commerciales (eau minérale, jus de fruit..). Après est ce que c'est vraiment comme cela que c'est réalisé en industrie pas toujours sûre.. Après lors du cours magistral, monsieur Garcia contextualise assez bien les utilisations des machines donc ça me dérange pas si y a pas toujours de lien direct avec la « vraie vie ».
Les TP sont variés et balayent beaucoup de méthodes analytiques. Les applications sont nombreuses et contextualisées. Effectuer des analyses de solutions de la vie quotidienne (comme l'eau de notre robinet, la vitamine B etc....) sont chouettes à réaliser

La contextualisation se fait plus lors du cours. Il serait peut être intéressant d'inclure un petit paragraphe où on voit quelques cas où la technique est utilisée.

2- Les acquis d'apprentissage du cours vous ont-ils aidé à réaliser un ensemble de tâches pendant les TP ? Percevez-vous un fil conducteur entre le cours et les TP ? Expliquez.

Oui, par contre on voit la matière après avoir finis les Tp dans le cas de certaines manipulations. Ce n'est pas dérangeant mais il est plus difficile de préparer le laboratoire dans ces cas là.

Oui, la théorie vue en cours semble nécessaire pour bien comprendre les tâches effectuées en laboratoire. En revanche, je n'ai personnellement pas perçu de fil conducteur entre le cours et les laboratoires.

La matière nécessaire pour réaliser certains laboratoires n'a des fois pas encore été vue donc il faut faire un travail de recherche supplémentaire. Cela dit, de manière générale, on perçoit clairement le lien entre la matière vue en cours et les TPs

oui! il y a très clairement un lien conducteur entre le cours et les labos

Le projet nous aide à mobiliser nos ressources et à créer de nouvelles méthodes, en lien avec celles vues au cours, c'est un très bon lien. De plus, pratiquer exactement les même méthodes que celles vues au cours aide à la compréhension.

Oui il y a un fil conducteur. Les thèmes abordés au cours sont majoritairement repris dans les TP.

Oui c'ertaines techniques étaient déjà connues mais ont été approfondies, certaines manipulations ressemblent fort à d'autres connues ce qui nous facilite la tâche. J'ai senti être clairement plus à l'aise cette année avec les méthodes analytiques que l'an passé'

Oui malheureusement certains techniques sont vues en cours après les tp (exemple : polarographie)

2) Il y a un certain fil conducteur que l'on découvre surtout en fin de quadri car le cours ce donne en parallèle des TP.

Oui. Plusieurs méthodes vues en cours ont été susceptibles de nous aider avec nos inconnus

Cela dépend des expérience, la polarographie était un bon exemple pour lié cours et TP, d'autres TP au contraire ne se rapporte que peu au cours (je n'ai pas d'exemples en tête)

Le cours était essentiellement basé sur les méthodes électrochimique alors que les TP nous demandaient des méthodes spectroscopique et électrochimique. Je dirais donc qu'il y a un accord entre la théorie et la pratique car les méthodes spectroscopiques sont vu dans les années précédentes

Oui, on applique en tp ce qu'on a étudié en cours, même si ce n'est pas toujours évident de passer de la théorie à la pratique.

Point fort: les tps se concentrent bien sur les mêmes méthodes d'analyses que celles vue en cours. Point faible: le cours se concentre sur des points très théoriques qui n'aident pas ou peu à la pratique durant les tps. Curieusement, il serait intéressant d'avoir les tps AVANT les cours correspondant. Voir et utiliser une technique permettrait de visualiser et de s'intéresser plus facilement lors de l'étude théorique de la méthode durant les cours.

Oui il y en a un mais puisque on a commencé les TP très tôt dans l'année on avait pas encore vu toute la matière avant le laboratoire donc c'est pas toujours évident de préparer le le labo

Dans ce genre de TP, on ne peut pas dire que le cours aide à préparer au laboratoire, mais que les laboratoires sont complémentaires aux cours théoriques. En effet, lors des laboratoires, nous appliquons les techniques abordées en cours, et nous étudions de a à z comment l'appareil fonctionne, que se passe-t-il lors du titrage, l'intérêt de la machine... Pour traiter les données analytiques, nous avons tout appris pendant les labos. Le cours est donc une bonne base pour appréhender la matière mais reste très théorique et descriptif (le but d'un cours quoi) mais il y a en effet un fil conducteur cohérent, puisque l'on apprend les caractéristiques techniques de l'appareil avant de l'utiliser!

Le traitement des résultats obtenus pour certains TP est rendu plus facile grâce aux cours et aux exos qui nous montrent comment analyser les données obtenues. Cependant, pour certains TP, le cours n'aborde pas ou très légèrement comment analyser les données brutes obtenues.

3- Le projet (dosage de cations) est une tâche à réaliser qui est peu guidée (l'étudiant identifie les thèmes/notions etc...concernés et gère la démarche de résolution par lui-même). Qu'en pensez-vous ? Avez-vous eu des difficultés pour le projet ? Expliquez.

Le projet est une bonne façon de nous faire devenir plus autonome sans nous laisser dans le flou non plus. J'ai vraiment apprécié cette partie qui était plus libre surtout à l'approche du stage où on sera un peu plus livré à nous-même. Cependant le seul point plus problématique était que les solutions reçues étaient fortement concentrées et pour avoir la même gamme de concentration que nos inconnues il fallait diluer 50 fois ce qui faisait dans chaque manipulation un grand nombre de dilutions fastidieuses.

Je trouve que le projet est une très bonne chose, il nous invite à entreprendre nous-même une démarche scientifique pour accomplir un objectif assez compliqué. Les assistants sont là pour nous aider en cas de besoin et de la littérature est disponible à ce propos. Mon groupe n'a pas eu trop de difficultés à réaliser le projet grâce à l'aide apportée par les assistants.

Le projet est une tâche que j'estime nécessaire au développement de notre autonomie et réflexion. De plus, l'assistant est suffisamment présent pour nous aiguiller en cas de problèmes significatifs. Néanmoins, cela reste une tâche assez complexe, le dosage se faisant sur un mélange de cations. Même pour des méthodes assez précises il y a eu quelques obstacles. Cela, fait bien entendu partie de la difficulté de l'exercice et permet de se rendre compte de la complexité des dosages d'analyte dans la "vraie" vie. Le plus difficile était principalement la gestion de temps. Le fait de devoir revoir les différents paramètres d'une expérience suite à des problèmes d'interférences ou encore de dilution était fort coûteux en temps (et bien sûr énervant).

non, les manipulations se sont dans l'ensemble bien déroulées

Le projet n'est pas compliqué en soi-même si nous sommes poussés à amener nos propres protocoles, les assistants sont là pour vérifier que le mode opératoire est faisable et nous aide en cas de problème. L'avantage est que nous sommes plus libres de tester différentes choses par rapport à un protocole donné.

J'ai trouvé que c'était un point positif du TP. Un chimiste devrait être capable de résoudre ce genre de problème. Je n'ai pas eu de difficultés.

Très amusant et très intéressant! Les difficultés étaient surtout de trouver un mode opératoire plus que rien trouver des techniques d'analyse. Si nous pouvions avoir plus de temps pour essayer des techniques différentes de celles basiques déjà utilisées en TP.

Oui, certains ions interfèrent l'un avec l'autre et induit ainsi des erreurs de mesures

3) L'idée est bonne mais personnellement, j'ai eu à analyser un mélange de 2 composés réalisant beaucoup d'interactions l'un avec l'autre ce qui entraîna de grosses difficultés à trouver 3 méthodes quantitative différentes. Ce ne fut pas le cas pour tout le monde, ce qui crée une certaine inégalité dans le travail à fournir et dans la note finale. De plus, l'interdiction d'utiliser des programmes d'analyses de données tel que JMP demande énormément de travail ne serait-ce que pour la réalisation d'un excel réalisant des calculs d'erreur et des hyperboles de confiance.
C'est une bonne chose car cela nous permet de tester notre réaction face à une situation imposée. Le projet n'était pas difficile, seule la recherche de mode opératoire a demandé plus de temps et d'interprétation afin de le répéter au mieux possible. Seulement quelques infos manquaient et il a fallu effectuer plusieurs tests (comme la gamme de dilution non mentionnée pour certaines méthodes trouvées)
Non car nous avons un mode opératoire de base pour identifier les cations/anions et la possibilité d'avoir nos notes pour réaliser les différents tests d'identification
Le projet est intéressant car il nous force à chercher et imaginer des méthodes de dosages mais on constate également les problèmes qu'on peut rencontrer dans la vie courante; les analytes peuvent interagir entre eux ce qui rend les dosages plus complexe.
Les seules consignes données par l'assistant lors de l'absorption atomique étaient erronées, beaucoup de temps a été perdu à cause de ça, entraînant des difficultés au niveau du temps par la suite. Autrement, le fait de réfléchir par soi-même et de rechercher dans la littérature des méthodes de dosage fiable était, à posteriori, une bonne chose.
Tous les étudiant(e)s ne sont pas issus du bachelier de l'UCL, tout le monde n'a pas les mêmes bases d'analytiques. De plus, les tps d'analytiques sont les premiers de l'année. Et par dessus tout, la répartition des groupes fait que certains étudiant(e)s commencent la première séance de tp par le projet, sans la moindre base de réflexion => une séance de tp perdue inutilement. Tous les mélanges d'ion ne sont pas équivalents, certains sont plus compliqués que d'autres. Et avec la polaro en panne, trouver 3 méthodes pour les ions compliqués était mission impossible.
Avec mon groupe, on a trouvé cela très chouette et on s'est senti justement plus libre et « comme des chercheurs ». Chercher et ne pas savoir si cela va marcher est parfois frustrant mais nous on trouvait ça drôle, peut être parce que cela marchait plutôt bien. Après je trouve ça vraiment vraiment cool de savoir quels sont nos cations sinon cela aurait été beaucoup plus difficile. Après parfois, on aurait peut être bien aimé être un peu plus guidé avant de se lancer dans des manip's tests alors que l'assistant sait que ça ne marchera pas ou du moins pas tout à fait dans ses conditions, ou que la machine n'en est pas capable.
Ce projet permet d'acquérir de l'autonomie en laboratoire, de s'organiser en groupes, et de se débrouiller avec le panel de choix de méthodes analytiques que l'on nous propose. Sur le papier, ce projet a beaucoup de sens. En pratique, c'est un peu plus compliqué: on nous prête des livres pour chercher des méthodes, que finalement nous ne pouvons pas utiliser en labo; on essaye des méthodes censées fonctionner, qui ne donnent pas de résultats de précision suffisants. Je dirais donc que ce projet de dosage des cations est une bonne idée mais qu'en fonction des interférences entre les cations, les résultats sont finalement un peu aléatoires, et même peut être décevants pour le temps investi dans ce projet. Pourquoi ne pas effectuer un projet similaire, mais qui est garanti de donner de bons résultats pour au moins 3 méthodes de dosage? Les solutions devraient être testées au préalable, avant de les donner aux étudiant(e)s.

Le projet était très intéressant pour voir, dans un cas pratique, quelles techniques sont à privilégier. Cependant, l'organisation de ce projet reste assez brouillon étant donné le nombre d'étudiant(e)s.

4- Citez la manipulation (pas le projet) qui vous a le plus plu. Pourquoi ?

Ma manipulation préférée était celle du dosage de la vitamine C. Il fallait être concentré et méticuleux lors de la prise de mesure du temps de réaction. Cependant ce tp était assez court et nous laissait finir à l'heure en ayant des résultats ce qui était réconfortant.

Le titrage de la vitamine C par coulométrie. Car on y perçoit vraiment un lien avec la vie quotidienne et cette manipulation est assez intuitive et compréhensible.

Le TP sur le dosage de l'acide ascorbique. Cette manipulation avait l'avantage d'être courte, précise (à condition d'utiliser une seringue) et ne requièrait pas multiples dilutions.

coulométrie, avec la vitamine C on a pu avoir une application directe de ce que l'on a dans la vie quotidienne

Colorimétrie. Même si nous avons déjà fait des centaines de titrages, c'est agréable de voir des solutions colorées, et la méthode est simple.

J'ai pas forcément aimé une manipulation en particulier. J'ai trouvé que c'était important de pouvoir appliquer et comparer les méthodes analytiques entre elles pour doser un même composé.

Titrage de la vitamine C, surtout car on voit les difficultés de la vie en laboratoire, doser une solution de labo c'est pas pareil que un jus d'orange. (Cette manip peut aussi être grandement améliorée)

Absorption atomique. Technique stable et précise

4) L'utilisation du polarographe car c'est une méthode que l'on avait encore jamais réalisé en TPs.

L'émission atomique. Bien que l'application d'un plan de dilution soit répétitive, les résultats observés (la droite de calibration + nos inconnus) est très satisfaisante à observer car je trouve la théorie derrière est très sympa à observer en pratique. Plus que pour le cas de l'absorption atomique.

la polarographie car c'était la première fois que j'utilisais l'appareillage et tout est facile à prendre en main

Spectroscopie d'émission atomique, car je suis très intéressé dans tout ce qui est méthode spectroscopique autant pour le dosage que pour la résolution d'une structure moléculaire.

Emission atomique, choix par élimination au vu des autres expériences

Bon globalement tous les tps se ressemblent: des dilutions. Mais la polaro sort du lot, parce que la machine est intéressante à utiliser. Pareil pour la spectro d'émission/absorption atomique.

Le tp1 spectroscopie d'émission atomique (A.E.S.) car nous n'avons jamais utilisé cette machine du tout. J'ai aussi beaucoup aimé le titrage colorimétrie/potentiométrie de l'oxalidrine car les changements de couleur étaient vraiment chouette à voir et on avait jamais fait de titrage en non aqueux.

j'ai bien aimé faire la spectroscopie d'absorption atomique, car la technique est intéressante et la machine est complète et chouette. On comprend bien ce qui se passe lors de la spectro au vu de la machine, et la flamme est très jolie à voir ;)

Le titrage de la vitamine C par Iodométrie. Malgré le fait que nous ayons fait de nombreux titrages à travers les années, celui-ci est assez nouveau pour nous et est très intéressant à découvrir.

5- Citez la manipulation (pas le projet) qui vous a le moins plu. Que proposez-vous ? Expliquez.

La polarographie car il n'y avait pas assez de temps pour analyser tout les échantillons reçu avec les 4 méthodes. Donc le temps de midi était bref et le stress était élevé. La manipulation lors de ce tp est minime et l'attente de la prise des mesures frustrante.

La polarographie. Malgré qu'on ait vu la théorie en cours, celle ci n'est pas encore acquise au moment du TP car elle est plus complexe et moins intuitive. Il en résulte une incompréhension au moment de réaliser les mesures et une difficulté lors de l'analyse.

De manière générale, les manipulations étaient intéressantes à réaliser. L'aspect le plus désagréable de plusieurs TPs est la nécessité de réaliser de nombreuses dilutions (qui prennent énormément de temps). Je suis consciente de la nécessité de savoir faire des dilutions avec précisions mais c'était juste beaucoup trop à force.

émission atomique, trop d'erreurs possible de la part de la machine

Polarographie. La machine étant totalement automatisée, nous n'avons rien à faire et les mesures prennent une demi-journée entière.

Je ne sais pas citer une manipulation en particulier. Je trouvais que le syllabus n'était pas assez complet en générale pour l'ensemble des manipulations.

Polarographie, bien qu'il est intéressant de voir les différentes techniques, mais une seule personne suffisait les autres ne servent à rien et la manipulation consiste à cliquer sur un ordinateur. Et la discussion à faire (si elle est bien faite) est très très longue pour aborder tous les points

Polarographie. Trop de solutions à analyser et pas assez de temps.

5) Aucune manipulation ne m'a vraiment déplu.

La polarographie. Très peu de manipulations et très répétitif bien que la méthode et la théorie derrière est très intéressante

UV-Visible car c'est toujours la même chose, faire une droite d'étalonnage et mesure du produit d'intérêt

La voltampérométrie car le traitement statistique est très long et fastidieux comparé au temps passer au laboratoire à passer les échantillons et à tester les différents modes de mesure quand ceux-ci veulent bien fonctionner.

Dosage de la vitamine C (ça ne marchait pas dans la plupart des cas et l'assistant remet en cause la manipulation des étudiant(e)s)

Je suppose que c'est le titrage en milieu non aqueux, parce que je m'en souviens même pas.

Le jus d'orange (Dosage de l'acide ascorbique). Car la machine n'est absolument pas stable, j'ai passé 4h à appuyer sur des roulettes pour stabiliser ... de plus c'est beaucoup moins précis d'analyser par colorimétrie alors qu'avant il faisait par potentiométrie (si j'en me trompe pas). On voyait vraiment rien dans le changement de couleur donc c'est frustrant après d'être pénalisé dans notre précision, de plus qu'on nous a donné des seringues uniquement à l'an toute fait du laboratoire alors que les autres années (apparemment) on leur donnait directement des seringues. J'ai aussi vraiment détesté la polarographie car je n'ai quasiment pas participé, une personne est suffisante donc les deux autres s'ennuient.

le titrage coulométrique, qui a montré des résultats décevants, car un problème d'électrodes s'est produit. De plus, ce titrage est fort redondant et on n'utilise de trop petits volumes, si bien que la précision sur la mesure en prend un coup. De plus, la mesure du temps est aléatoire car nous démarrons le chronomètre par nous seulement sur base d'un changement de couleur, observé à l'oeil nu.

Emission atomique, c'est une technique que nous avons déjà utilisé lors de précédents TP et le TP ne consiste qu'à trouver un bon plan de dilution et à l'appliquer.

