

Mémoire de Master of Advanced Studies pour le degré secondaire II en Chimie

Intégration de la démarche scientifique dans les travaux pratiques

Sophie Redon P40925

Patrick Voyame P41698

Directeur: Jean-Christophe Decker

Jury: Patricia Descombes

Soutenance le 18 juin 2018

Résumé

L'objectif de la formation des gymnasiens est de leur donner des outils pour qu'ils puissent devenir autonome et développer un esprit critique dans divers domaines.

Concernant les élèves ayant choisi comme option spécifique ou complémentaire, les sciences expérimentales, leur apprendre à aborder une problématique avec une démarche scientifique et avoir un regard critique sur les résultats obtenus est nécessaire car ces compétences leurs seront utiles en tant que citoyen mais aussi s'ils veulent poursuivre dans des études scientifiques. Ils ont la chance d'avoir dans leur cursus beaucoup de périodes consacrées aux travaux pratiques. Ils peuvent donc tester expérimentalement différents concepts vus en cours de manière théorique. La question qui se pose alors est : comment utiliser au mieux le temps à disposition (séances de deux périodes consécutives) pour que les élèves aient le temps d'apprendre les techniques de bases du laboratoire, de comprendre ce qu'ils font, de réaliser le montage et l'expérience, d'observer, de prendre des notes et d'avoir un regard critique par rapport aux résultats obtenus.

Dans ce travail de mémoire nous avons voulu favoriser le travail de réflexion. Nous avons comparé pour une classe de deuxième année option biologie-chimie la réalisation de travaux pratiques avec ou sans préparation au préalable. Nous présentons les données trouvées dans la littérature, les deux types de travaux pratiques effectués avec nos observations, les évaluations par les élèves, ainsi que nos conclusions. Nous avons observé une meilleure autonomie expérimentale des élèves malgré le fait qu'ils aient été déstabilisés par cette nouvelle approche. Nous n'avons pas pu tester plusieurs approches, or cette démarche apporterait plus en étant introduite sur un plus long terme et séquentiellement.

Mots-clés : travail pratique, démarche scientifique, réflexion, analyse, méthodologie

Table des matières

I- Introduction	3
II- La démarche scientifique dans la littérature	4
III- Mise en pratique de la démarche scientifique	15
III.1 Objectifs	15
III.2 Démarche	15
III.2.1 TP traditionnel sur les carbonates	16
III.2.2 TP préparé sur la détermination d'une constante d'équilibre	17
III.2.3 Observation des travaux pratiques	18
III.2.4 Ressenti des élèves sur les travaux pratiques	18
III.2.5 Evaluation du TP préparé	19
III.3 Résultats	19
III.3.1 Attentes et définition des élèves	19
III.3.2 Observations	20
III.3.2.1 Le TP traditionnel	20
III.3.2.2 Le TP préparé	21
III.3.3 Evaluations	23
IV- Analyse	24
V- Conclusions	27
Références bibliographiques	28
Remerciements	30
Annexes	31
1. Protocole TP traditionnel.....	31
2. Protocole TP préparé	34
3. Travail préparatoire de guidage du TP préparé	35
4. Questionnaire TP traditionnel.....	37
5. Questionnaire TP préparé	38
6. Grille d'observation du travail en laboratoire	39
7. Powerpoint de présentation du TP préparé.....	43
8. Protocole de guidage pour titrage acide-base	45
9. Grille d'évaluation du TP préparé	46
10. Corrigé du travail préparatoire de guidage	47
11. Corrigé et modèle type d'un compte rendu de TP	48
12. Réponses des élèves au questionnaire du TP traditionnel	50
13. Réponses des élèves au questionnaire du TP préparé	52
14. Résultats d'observation des élèves	54

I- Introduction

D'après le plan d'études de l'école de maturité du canton de Vaud (plan d'étude-EM-Vaud), 2017), l'objectif de la formation des gymnasiens est de leur donner des outils pour qu'ils puissent devenir autonome et développer un esprit critique dans divers domaines. Dans les objectifs du savoir-faire pour la chimie, il y a: «réaliser une expérience en suivant un mode opératoire et manipuler du matériel simple de laboratoire ».

Concernant les élèves ayant choisi comme option spécifique ou complémentaire, les sciences expérimentales, leur apprendre à aborder une problématique avec une démarche scientifique et avoir un regard critique sur les résultats obtenus est nécessaire car ces compétences leurs seront utiles en tant que citoyen mais aussi s'ils veulent poursuivre dans des études scientifiques. (*Objectifs du plan d'étude-EM-Vaud (2017) p116 : acquérir et maîtriser les bases nécessaires à la poursuite d'études scientifiques/ développer un regard critique face à la méthode utilisée, évaluer la fiabilité des résultats obtenus*). Ils ont la chance d'avoir dans leur cursus beaucoup de périodes consacrées aux travaux pratiques. En effet un quart de leur temps des périodes de chimie hebdomadaire pour les élèves en deuxième année : 3 périodes cours théorique et 1 période de travail pratique par semaine et un tiers pour les troisième année : 2 périodes cours théorique et 1 période de travail pratique par semaine. Ils peuvent donc tester expérimentalement différents concepts qu'ils ont vu en cours sous forme théorique toutes les deux semaines. La question qui se pose alors est : comment en deux périodes utiliser au mieux le temps à disposition pour que les élèves aient le temps d'apprendre les techniques de bases du laboratoire, de comprendre ce qu'ils font, de réaliser le montage et l'expérience, d'observer, de prendre des notes et d'avoir un regard critique par rapport aux résultats obtenus ? Nous comprenons bien que deux périodes sont très courtes pour réaliser tout cela. Il est à noter que pour certains TP, les élèves doivent rendre un compte rendu, ils peuvent le faire à la maison et ils ont une semaine, ils ont ainsi plus de temps pour analyser et réfléchir à leurs résultats. Cependant, il est très rare de voir un regard critique sur leurs résultats obtenus.

Pendant notre stage, nous avons pu observer comment les élèves abordent chaque travail pratique. Ils arrivent au travail pratique et ils découvrent le protocole à ce

moment-là, ils ont en général une petite introduction du travail à effectuer. Ils font le travail expérimental puis pour certains TP, ils doivent rendre un compte rendu qui sera évalué. Une observation frappante est qu'ils suivent à la lettre le protocole qui leur est distribué sans toujours comprendre pourquoi. De manière récurrente, ils demandent à quoi ça sert ou quel est le but. Ils font rarement le lien avec le cours et ont très peu de temps pour la réflexion. Ils sont très passifs et trop guidés pendant le travail pratique. Ils font le TP mais nous sentons le manque de compréhension. Cela se mesure au moment du travail écrit sur les travaux pratiques qu'ils ont à la fin de chaque semestre pour lequel ils ont accès à tous leurs TP. C'est pour cette raison que nous avons voulu voir s'il était possible de rendre les élèves plus actifs et de leur faire comprendre le sens de chaque expérience. Dans ce travail de mémoire, nous avons donc voulu favoriser le travail de réflexion et de compréhension. Pour cela nous avons dû choisir une approche : celle de leur donner la problématique du travail pratique avant et de leur demander de faire un travail de préparation.

Dans une première partie, nous présentons des données trouvées dans la littérature concernant la démarche scientifique : ce qu'elle signifie, apporte dans les processus d'apprentissage des élèves. Puis dans une deuxième partie, nous présenterons nos résultats obtenus lors de la mise en pratique de la démarche scientifique. Nous avons comparé pour une classe de deuxième année option biologie-chimie la réalisation de travaux pratiques Nous discuterons les deux types de travaux pratiques effectués avec nos observations et les évaluations par les élèves. La troisième partie sera notre conclusion et les pistes à explorer.

II- La démarche scientifique dans la littérature

Pour un bon enseignement des sciences, Larcher & Peterfalvi (2006), insistent sur l'importance d'un mélange de cours magistral, de démonstrations avec des questionnements des élèves, et d'activités basées sur l'expérimentation. Il existe différents types d'activités pédagogiques qui doivent être judicieusement choisies et alternées. Pour ces auteurs, les trois grands objectifs de la formation scientifique sont: faire comprendre ce que sont les sciences, faire acquérir des démarches et des techniques, et faire partager une connaissance scientifique.

Dimarcq (2009) a fait un état des lieux des recherches concernant la mise en œuvre de la démarche d'investigation en classe dans l'enseignement des sciences en secondaire. La recherche en didactique sur le thème de la démarche d'investigation a démarré autour des années 1980. Astolfi (1985) a publié un article dans un ouvrage collectif INRP sur les procédures d'apprentissages en sciences expérimentales, sa vision est partagée par Driver (1989). Pour ces auteurs, il est nécessaire que l'élève construise du sens à partir de ses manipulations et de ses recherches qui doivent être ancrées dans le réel. Ceci est en opposition avec un enseignement qui serait uniquement transmissif. Et l'objectif essentiel de l'enseignement des sciences est la résolution de problèmes. Pour Lacombe (1989), le degré de complexité est augmenté car les élèves doivent travailler à partir de questions ouvertes dont on ne connaît pas la réponse. Dans les années 90, plusieurs auteurs montrent l'hétérogénéité des modèles pédagogiques et la volonté émergente d'articuler une forme d'investigation reliée à une interrogation et à une réalisation technique ou expérimentale. C'est le début de l'introduction de l'investigation dans les classes. Dimarck (2009) résume l'enseignement traditionnel comme étant transmissif, restreint, répétitif, contrôlé par l'enseignant et artificiel. Elle l'oppose à une nouvelle forme d'enseignement qui émerge et qui se veut interactif, ouvert, varié, co-construit par l'élève et ancré dans le réel. Elle fait le lien avec le constructivisme ainsi qu'avec le "science studies". Ce dernier est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre. En effet, la démarche de recherche scientifique ne se limite pas qu'à l'expérimentation, elle comprend aussi un travail de lecture et un autre de communication. Il y a aussi une dimension d'interaction dans l'élaboration et le partage des connaissances.

Dimarck (2009) a aussi fait une synthèse concernant le point de vue des apprentissages dans la démarche d'investigation. Il y a deux catégories : 1) élaboration de cadres d'analyse et de modèles à partir de l'observation des élèves réalisant des démarches d'investigation, 2) étude des compétences mises en jeu par les élèves lors d'étapes d'investigation. Il y a une relation entre compréhension et actions dans la réalisation d'une investigation scientifique. Millar (1996) a identifié 4 domaines de compréhensions nécessaires qui doivent être mobilisés : compréhension 1) de la nature et du but de l'investigation, 2) de la pertinence des idées scientifiques, 3) de l'habileté à réaliser des procédures pertinentes, 4) de la nature et des critères d'évaluation de la preuve. Il a

proposé le modèle PACKS (Procedural and Conceptual Knowledge in Science) (Figure 1 du modèle générique). D'autres études soulignent l'importance des interactions entre les élèves. Dans les difficultés observées chez les élèves, il y a la fragilité des habiletés techniques, la difficulté à réaliser un protocole ou à mettre au point une technique, la difficulté à mobiliser des concepts fondamentaux antérieurs, des difficultés pour raisonner ainsi qu'à rédiger un compte-rendu. Il faut donc aider les élèves à développer de nouvelles compétences, ça fait partie de leur apprentissage pour élaborer et conduire une démarche d'investigation.

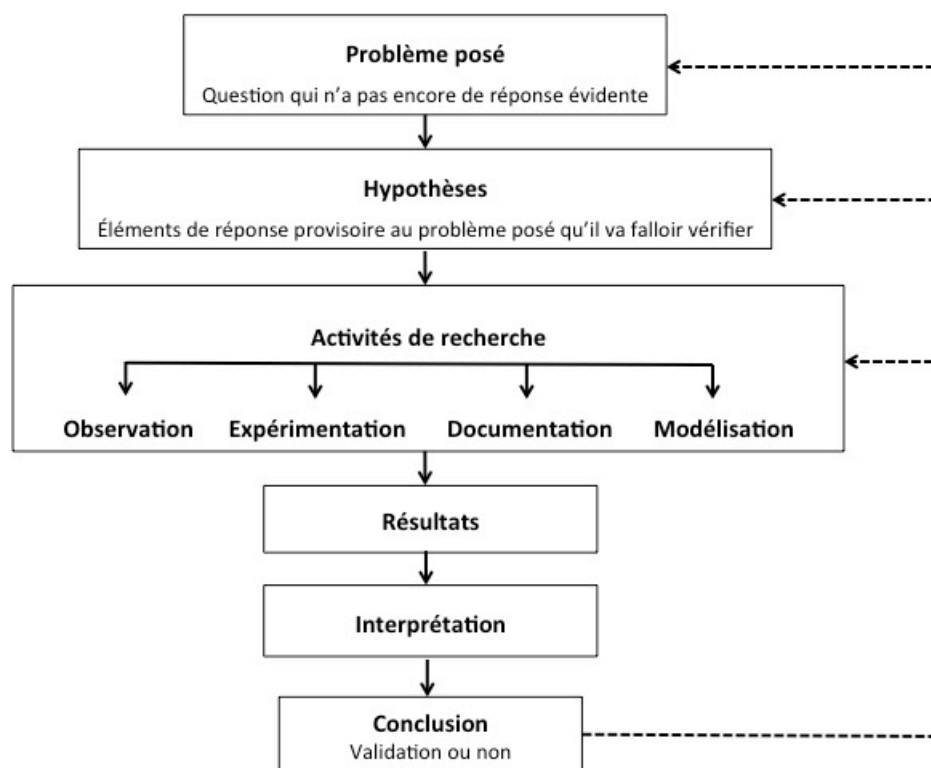


Figure 1: Modèle générique proposé pour la démarche scientifique adapté de celui du site la main à la pâte.

Darley (1996) publie l'exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année (2ème année universitaire après le bac). Il constate que de manière générale, les étudiants n'ont pas d'esprit critique, ils ont des difficultés à énoncer des hypothèses cohérentes avec des données théoriques et

ils sont incapables d'interpréter des résultats expérimentaux. L'auteur pense que c'est en partie dû à une absence de consensus à propos de la démarche scientifique. Il propose dans son article une définition de la démarche scientifique et l'illustre par une transposition didactique appliquée à un travail pratique de biologie en première année universitaire. L'enseignement doit être en accord avec les savoirs admis et il doit permettre aux étudiants de faire la différence entre un traitement scientifique d'un problème et une affirmation, une opinion. Il doit développer un esprit critique. Un travail de revue concernant l'analyse de protocoles de TP et d'entretiens avec des enseignants montre clairement qu'il est demandé aux étudiants d'ouvrir les yeux, de manipuler d'abord, de recueillir les indices puis de réfléchir ensuite. On attend des étudiants qu'ils se comportent comme des investigateurs. Or l'auteur veut proposer des protocoles où l'expérimentation devient une réelle procédure de test pour des hypothèses préalablement formulées et discutées. Les étudiants doivent proposer des anticipations sur les résultats qui doivent être testables expérimentalement. Il identifie cinq difficultés: 1) la dévolution du problème (trouver de la pertinence et de l'intérêt à résoudre un problème donné), 2) la crédibilité du problème (lié à sa difficulté), 3) les hypothèses doivent être testables et en toute autonomie par l'étudiant, 4) amener les étudiants à avoir une analyse critique du travail effectué, à remettre en cause des résultats expérimentaux, à prendre conscience de la dimension sociale du savoir scientifique, 5) concilier ces contraintes avec les contraintes horaires et techniques. Dans sa transposition didactique, l'auteur a une approche du TP en rupture totale avec les habitudes des étudiants. Il a proposé une séquence découpées en 5 étapes: 1) temps de contextualisation du problème, 2) temps de dévolution du problème, 3) temps de réflexion et de formulation personnalisées des réponses possibles, 4) temps d'exposition des conjectures et de validation expérimentale, 5) temps de confrontation des résultats obtenus et de formulation commune d'une proposition de réponse (Figure 1 du modèle générique). Les étapes 1 et 2 sont traitées en cours, la 3ème à la maison et 4 et 5 en TP (qui dure 4h). Darley (1996) insiste sur le changement du rôle de l'enseignant qui doit apparaître comme un partenaire et non comme le recours suprême dont on attend tout. Dans son analyse des résultats, il observe l'accueil du problème par les étudiants, le niveau de production et il fait une analyse quantitative des productions (élaboration de 72 protocoles). Il a fait remplir un

questionnaire d'évaluation par les étudiants (82 sur 120 étudiants ont répondu de manière anonyme). De manière générale, ce TP a été perçu plutôt positivement. Une des conclusions du travail est qu'il faut du temps pour que les étudiants s'habituent à une nouvelle manière de travailler et de procéder.

A partir des années 2000, des recherches basées sur l'observation d'activités réalisées par les élèves ont abouti à des propositions d'amélioration et à une réflexion sur la construction de situations d'enseignement adaptées pour permettre l'acquisition de compétences visées qui sont les suivantes :

- la compréhension du but
- la mobilisation des concepts
- la formation de liens pour se construire une vision globale cohérente
- l'élaboration, l'exploitation et la compréhension de représentations graphiques qui sont réalisées lors de l'application de la démarche d'investigation
- l'élaboration d'explications en identifiant des relations causales, en décrivant le processus de raisonnement, en utilisant les données comme preuve et en critiquant l'explication produite (pour cela les élèves doivent être guidés, il est possible d'utiliser des supports explicites)
- l'identification et la gestion des anomalies de résultats, pour cela un enseignement explicite est nécessaire
- l'argumentation sur les liens entre hypothèses, résultats et explication élaborée.

Grâce à ces recherches et à l'identification de ces compétences à développer, il est possible d'établir de nouvelles grilles d'évaluations, d'objectifs à atteindre en terme de formation pour favoriser l'apprentissage des élèves et leur permettre de devenir autonome dans la démarche d'investigation. Ceci doit être en complément des connaissances théoriques que l'enseignant doit transmettre.

Par exemple, Cariou (2002) propose un outil pratique pour la formation de l'esprit scientifique dans l'enseignement des sciences : l'outil DiPHTeRIC. Cet outil est une amélioration du modèle OHERIC proposé en 1978 par André Giordan, dont le nom OHERIC désigne la succession des différentes étapes d'un modèle idéalisé de démarche scientifique : Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion.

Ce modèle OHERIC a été vivement critiqué par de nombreux didacticiens des sciences expérimentales car il possède de nombreux points faibles :

1. La démarche est trop linéaire et rigide, l'enseignant choisit parmi les hypothèses proposées par les élèves celle qui sera suivie. Alors que la liberté devrait être laissée aux élèves de tester toutes hypothèses proposées.
2. Un problème plutôt qu'une observation devrait précéder et engendrer les hypothèses.
3. Tout le procédé découle de manière inductive, car l'observation d'un phénomène est la première étape du processus. Alors qu'une recherche expérimentale peut également avoir comme point de départ une hypothèse ou une théorie.
4. Une recherche peut difficilement démarrer de la seule observation. Un ensemble de données initiales contenant théories, observations, représentations, croyances, obstacles, acquis et expériences antérieures forment un ensemble dont peuvent surgir les interrogations initiales menant à la démarche d'investigation.
5. Dans une démarche expérimentale, le test des hypothèses se fait par l'expérience alors que dans une démarche scientifique, les hypothèses peuvent être testées par de nombreux autres moyens comme l'observation, la modélisation ou la simulation.
6. Est-ce que les conclusions des élèves ont vraiment une valeur définitive ? Alors que souvent au sein d'une même classe des élèves arrivent à des résultats différents pour une même expérience.

Ce sont ces nombreuses faiblesses du modèle OHERIC qui ont poussé Cariou à proposer un nouveau modèle ainsi que son utilisation : l'outil DiPHTeRIC. Ce sigle reprend les différentes étapes de la démarche d'investigation : Données initiales, Problème, Hypothèses, Test de conséquences déduites, Résultat à analyser, Interprétation, Conclusions. Ce modèle n'est pas aussi linéaire qu'il le laisse à penser, un problème peut générer plusieurs hypothèses qui peuvent être testées individuellement. Il a développé cet outil en essayant de le mettre en place avec une classe de biologie du secondaire II 1ère année. Pour l'utilisation de l'outil DiPHTeRIC, Cariou recommande de prévoir qu'une séquence soit répartie sur deux séances de travaux pratiques. Avec la première séance s'achevant sur l'élaboration de tests. Pour débiter une séquence d'investigation

différentes entrées sont possibles, mais il faut garder comme objectif que nous cherchons à obtenir des propositions des élèves. L'enseignant ne doit pas exclure d'hypothèses, il semble préférable pour les élèves qu'ils conçoivent des tests sans pouvoir les réaliser plutôt que de réaliser des tests sans les avoir conçus. Il s'agit vraiment de faire vivre aux élèves une démarche de recherche qui est la leur.

L'enseignant doit donc évoluer dans ses pratiques. Dimarck (2009) a effectué une analyse des pratiques des enseignants liées à la démarche d'investigation. Plusieurs orientations sont apparues :

- Orientation qui cherche à examiner, décrire et analyser le rôle de l'enseignant. Il doit posséder différentes facettes: mentor, motivateur, diagnosticien, guide, innovateur, expérimentateur, chercheur, collaborateur, apprenant et modèle. Il doit avoir un haut niveau d'expertise et il doit être prêt à aller vers une démarche "collaborative". L'enseignant doit aussi avoir 3 rôles discursifs majeurs pendant la phase de présentation des résultats par les élèves : rendre accessible les connaissances scientifiques associées à leur démarche, valoriser et améliorer le travail présenté et permettre la construction d'apprentissages et de concepts.
- Orientation qui met en évidence ce que les enseignants doivent faire face à de nouvelles contraintes et de nouveaux dilemmes techniques, politiques et culturels. Il n'y a pas de prédictions possibles sur ce que va mettre en place un enseignant au niveau de l'enseignement de la démarche scientifique car chacun est libre. Aucune corrélation n'a été observée sur le passé, la formation de l'enseignant et les techniques/approches qu'il va utiliser. Pour certain groupe d'enseignants qui ont des difficultés à mettre en place cette démarche scientifique, il est proposé de créer des formations pour répondre à des difficultés particulières.
- Orientation sur ce que pourrait être un accompagnement des enseignants vers de nouvelles pratiques, leur formation et la mise au point de situations d'apprentissage. Les auteurs observent une difficulté du changement des pratiques des enseignants quand les habitudes sont bien ancrées. En effet, les plus expérimentés ne modifient quasiment pas leur pratique alors que les novices s'adaptent mieux. Dimarck (2009) suggère que pour concevoir les formations à

proposer aux enseignants, les enseignants doivent collaborer dans la conception des activités ainsi que pour l'identification des changements à opérer dans la communauté scolaire. Leur pratique sur le terrain doit être prise en considération. Il a été observé que les enseignants qui adaptent le mieux leurs pratiques sont avant tout ceux qui ont eu une expérience de la recherche et du travail en laboratoire. Ils vont très facilement essayer de mettre l'enseignement de la démarche scientifique dans leurs activités proposées aux élèves.

- Une formation proposée est basée sur le "learning by doing". Elle a pour but de faire identifier par les enseignants à partir de la démarche d'investigation qu'ils réalisent, ce qui leur semble important à enseigner aux élèves, ils voient ainsi ce qui peut poser des difficultés. Les enseignants ont une meilleure compréhension de la démarche préconisée après avoir suivi cette formation.

Dimarck (2009) conclut que grâce à cette nouvelle forme d'enseignement, les élèves devraient développer de nouvelles capacités et aptitudes transversales.

Toutes ces évolutions dans la didactique de l'enseignement des sciences sont accompagnées par une volonté politique de développer la démarche d'investigation et ce depuis le niveau primaire. Depuis 2001, deux projets financés dans le cadre du 6^e programme-cadre de l'Union européenne ont été coordonnés par La main à la pâte (*SciencEduc* et *Pollen*). Afin de comparer ses méthodes et ses actions aux autres programmes de rénovation de l'enseignement des sciences dans lesquels sont engagés certains pays de l'Union européenne et pour favoriser la prise de conscience, au niveau européen, de l'importance des enjeux de l'enseignement scientifique, *La main à la pâte* a coordonné depuis 2004 deux projets européens : *SciencEduc* (5 pays associés) et *Pollen* (12 villes "pépinières" associées). L'objectif principal de ces projets était de favoriser la dissémination des méthodes et des bonnes pratiques de l'enseignement des sciences grâce à la création d'un réseau européen et de soutenir directement la pratique pédagogique des enseignants. *Pollen* est un projet européen de recherche et développement soutenu par la Direction générale de la recherche de la Commission européenne, au titre du volet « Science et Société » du 6^e programme-cadre de recherche et développement

technologique et des activités de démonstration. Lancé en janvier 2006, le projet s'est déroulé sur une période de trois ans et demi. L'équipe de recherche était composée par un groupement d'organisations scientifiques et pédagogiques de douze pays d'Europe, et douze villes européennes se sont lancées dans l'expérience. Représentant toutes les régions d'Europe (du Nord, du Sud, de l'Est et de l'Ouest), le réseau les a soutenues dans leur questionnement de recherche, inscrit dans une diversité de contextes éducatifs locaux. Les nouveaux programmes 2008 pour l'enseignement des sciences et de la technologie en France en école primaire confirment que l'observation, le questionnement, l'expérimentation et l'argumentation sont essentiels dans l'apprentissage des sciences et de la technologie. Il faut attendre le 28 août 2008 pour avoir une définition de la démarche d'investigation dans le bulletin officiel de l'Education Nationale Française: c'est "une démarche impliquant l'élaboration de questions scientifiques ancrées dans le réel, la formulation d'hypothèses, le choix de méthodes, l'élaboration de dispositifs et de protocoles expérimentaux, le choix de données à recueillir, le traitement des données, la mise en forme et la communication des résultats." Créée en 2011 par l'Académie des sciences, les Ecoles normales supérieures de Paris et de Lyon, la Fondation *La main à la pâte* est un laboratoire d'idées et de pratiques innovantes cherchant à améliorer la qualité de l'enseignement des sciences à l'école et au collège, dans la dynamique initiée par le prix Nobel Georges Charpak en 1995. Elle propose des aides variées aux professeurs de France et d'ailleurs, pour faire découvrir à leurs élèves une science vivante et accessible, favorisant par des pédagogies actives la compréhension des grands enjeux du 21^e siècle, le vivre ensemble et l'égalité des chances. Des guides sont accessibles, ils sont destinés à tous les enseignants du primaire pour les aider à mettre en place une démarche d'investigation en classe, en donnant quelques outils qui s'inspirent de ceux qui ont été mis en place dans un certain nombre de pays européens. Notamment en Suisse, dans le Plan d'études romand (PER)-CIIP (s. d.) de la scolarité obligatoire, sur la page du projet global de formation, les capacités transversales à développer sont toutes en lien avec la démarche d'investigation (Figure 2). Le terme de démarche scientifique est employé dans le chapitre sur les sciences de la nature, paragraphe sur la modélisation du PER-CIIP (s. d.) cycle 1 (pour les 4-8 ans) à la page 12, du PER-CIIP (s. d.) cycle 2 (pour les 8-12 ans) à la page 11 et du PER-CIIP (s. d.) cycle 3 (secondaire 1 pour les 12-15 ans) à la page 11

(Figures 3, 4 et 5). Pour les niveaux primaire et secondaire 1, l'apprentissage de la démarche scientifique est donc déjà mis en avant. Nous observons une complexification dans les tâches à effectuer.

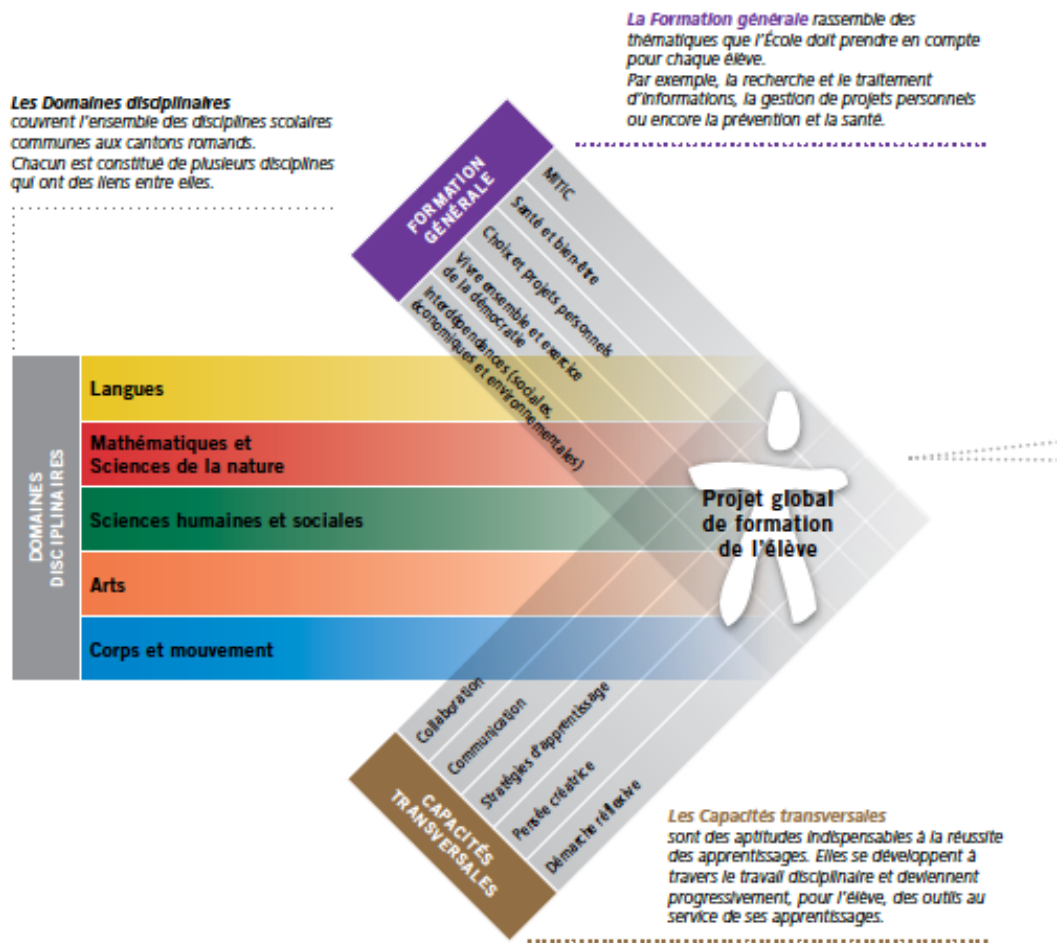


Figure 2 : Les trois entrées du PER-CIIP (s. d.) valables pendant toute la scolarité obligatoire.

MODÉLISATION, DÉMARCHE SCIENTIFIQUE, l'élève...

- > trie et organise des informations (ou des objets) selon certains critères
- > se questionne et fait de petites hypothèses
- > organise et note ses observations (dessins, schémas, mots,...)
- > présente par oral les différentes phases de sa recherche
- > ...

un exemple d'activité pour le cycle
Après avoir expérimenté plusieurs objets pour savoir s'ils coulaient ou flottaient, les élèves vérifient leur hypothèse (« cela coule parce que c'est de la pierre » p. ex.) et notent leurs constats (schémas, tableau,...).

>>> Représenter des phénomènes naturels, techniques ou des situations mathématiques...>>>

Figure 3 : PER-CIIP (s. d.) cycle 1 extrait de la page 12

MODÉLISATION, DÉMARCHE SCIENTIFIQUE, l'élève...

- > formule, autour d'un sujet donné, des questions, des hypothèses et imagine un dispositif d'exploration
- > effectue et organise des prélèvements, des prises de mesures en choisissant les outils appropriés
- > interprète ses propres données et les confronte à d'autres sources (celles de ses camarades ou de divers médias)
- > présente ses résultats à l'aide de différents supports (images, textes,...)
- > ...

>>> Représenter des phénomènes naturels, techniques, sociaux ou des situations mathématiques...>>>

Figure 4: PER-CIIP (s. d.) cycle 2 extrait de la page 11

MODÉLISATION, DÉMARCHE SCIENTIFIQUE, l'élève...

- > prépare un protocole d'observations, de mesures et de calculs
- > élabore un dispositif permettant d'effectuer les observations et les mesures prévues
- > choisit et utilise un instrument de mesure adapté
- > observe expérimentalement un phénomène en variant un seul facteur à la fois
- > structure et présente des résultats sous forme de listes, de tableaux ou de graphiques
- > ...

>>> Modéliser des phénomènes naturels, techniques, sociaux ou des situations mathématiques...>>>

Figure 5: PER-CIIP (s. d.) cycle 3 extrait de la page 11

Mettre en pratique la démarche scientifique est donc un sujet d'actualité. Cependant, très peu de travaux concernent les apprenants du niveau du gymnase: beaucoup concernent ceux du primaire et du collège, or au gymnase il y a plus de temps consacré à l'expérimentation. C'est donc idéal pour former les élèves à cette démarche. Dans notre stage, nous avons voulu comparer deux manières d'aborder les TP afin de voir s'il est possible de former les apprenants à la démarche scientifique.

III- Mise en pratique de la démarche scientifique

III.1 Objectifs

Dans la mise en place de ce projet, notre objectif est de proposer une autre approche aux travaux pratiques. Nous avons remarqué que les élèves étaient passifs lors des périodes de travaux pratiques, ils effectuent bien souvent les expériences sans les comprendre.

De manière générale les objectifs des travaux pratiques sont de mettre en relation l'approche théorique et l'approche expérimentale. Les thèmes vus en travaux pratiques sont toujours en lien avec les thèmes vus actuellement pendant les périodes de cours. Les travaux pratiques doivent permettre aux élèves de s'interroger sur un sujet donné, d'interpréter un mode opératoire, de mettre en place une démarche expérimentale et de développer des stratégies de raisonnement.

Pour pouvoir approcher ces objectifs, nous nous sommes basés sur le modèle de la démarche d'investigation pour proposer aux élèves une approche différente des travaux pratiques. Avec ce changement d'approche nous supposons que les élèves seront plus impliqués et auront une meilleure compréhension des expériences. Notre objectif est que les élèves réfléchissent de manière autonome à une problématique (sur comment ils peuvent y répondre) ; et aussi qu'ils aient un regard critique par rapport aux résultats obtenus, à leur cohérence. Le but est de permettre aux élèves de développer un esprit critique et qu'ils participent plus activement au travail pratique en comprenant chaque étape. Nous voulons nous baser sur le modèle suivant : de la question -> hypothèse -> mise en œuvre -> résultats -> analyse -> conclusion ou proposition (Figure 1).

Afin de vérifier le bénéfice apporté par ce changement d'approche des travaux pratiques, nous allons comparer deux travaux pratiques différents pour une même classe : l'un traditionnel, l'autre intégrant la démarche d'investigation qu'ils devront préparer à l'avance.

III.2 Démarche

Nous avons décidé d'observer une même classe de 19 élèves de deuxième année en option biologie-chimie dans 2 situations distinctes de travail pratique. Les deux TP

concernaient le chapitre du cours sur les équilibres chimiques. Les travaux pratiques sont effectués en demi-classes de 10 et 9 élèves. Les élèves travaillent par binôme ou par groupe de trois lorsqu'ils sont un nombre impair. Dans un premier temps, ils auront à faire le TP dit "traditionnel" qui sera découvert par les élèves le jour même (document annexe 1). Dans un deuxième temps, ils effectueront le TP "préparé" pour lequel nous avons donné des travaux de préparation (annexes 2 et 3). Ce TP a été présenté en cours à l'ensemble de la classe afin qu'ils aient les informations nécessaires pour démarrer la préparation (présentation en annexe 7).

Pour chaque type de TP, nous avons indiqué nos attentes (§ III.2.1 et III.2.2). Puis, nous avons demandé aux élèves de remplir des questionnaires après chaque TP (annexes 4 et 5) dont les résultats seront présentés. Enfin, nous avons observé les élèves selon des critères répertoriés dans une grille d'observation (annexe 6). Les résultats seront aussi présentés et analysés.

III.2.1 TP traditionnel sur les carbonates

Ce premier TP (protocole en annexe 1) a été effectué par la classe les mardis 6 et 13 mars. C'est un TP de compréhension que les élèves découvrent le jour du TP dont le but est de permettre aux élèves de :

- se familiariser avec des composés importants et très répandus dans la nature: le CO_2 , le CO , H_2CO_3 , les carbonates et bicarbonates
- comprendre que plusieurs de ces composés sont en équilibres et qu'en fonction des conditions physico-chimiques la formation de l'un est favorisée par rapport à l'autre
- d'apprendre que les équilibres chimiques font parti de notre environnement et ont un impact sur notre quotidien.

A la fin de ce TP les élèves doivent comprendre à l'échelle chimique d'où provient le CO_2 , le lien entre le CO_2 et l'augmentation de l'acidité des océans ainsi que pourquoi certaines eaux sont plus dures que d'autres.

Il y a 7 expériences simples à réaliser pour lesquelles il faut noter les observations et les conclusions (annexe 1).

III.2.2 TP préparé sur la détermination expérimentale d'une constante d'équilibre

Notre objectif pour ce TP est que les élèves arrivent en sachant ce qu'ils vont faire, qu'ils se concentrent sur la réflexion par rapport aux résultats obtenus et qu'ils puissent adopter un regard critique sur leurs résultats. Nous aimerions qu'ils comprennent mieux le but des techniques utilisées et leurs limites, la logique qu'il y a derrière les étapes du TP (i.e. pourquoi les étapes sont faites d'une certaine manière). Notre but à long terme est qu'ils deviennent autonomes et qu'ils aient comme un catalogue de techniques et de raisonnements à appliquer en fonction de la problématique qu'ils doivent résoudre.

Le but de ce TP (protocole en annexe 2) est de déterminer expérimentalement une constante d'équilibre pour une réaction d'estérification choisie parmi 6 possibles. A l'origine, nous avons prévu ce TP en quatre étapes :

1. Présentation de 10 minutes en classe, le mardi 13 mars, de la problématique du TP avec distribution d'un support que les élèves devraient compléter et nous rendre. (annexe 2)
2. Rendu des protocoles complétés le 20 mars par les élèves de façon à ce que nous puissions les corriger et valider leurs hypothèses ainsi que les tests expérimentaux proposés.
3. Retour des protocoles avec nos corrections aux élèves le jeudi 22 mars.
4. Deux séances de travaux pratiques en demi-classe les mardi 17 et 24 avril pour effectuer les expériences

Nous étions conscients que l'interruption de trois semaines, due à une semaine spéciale et aux vacances de Pâques, serait une difficulté supplémentaire pour les élèves. Mais le planning ne nous laissait que peu de marge de manœuvre.

Au vu des rendus des protocoles complétés du 20 mars, nous avons dû modifier notre planning et ajouter des phases de préparations, ils n'avaient en effet répondu que partiellement à la 1ère partie mais pas à la méthodologie (annexe 1). Ainsi le 22 mars, nous leur avons donné leur protocole complété corrigé et nous leur avons demandé de finir de les compléter. Le 29 mars, ils ont donc fait le 2ème rendu de leur réflexion. En

les corrigeant, nous avons réalisé que les élèves ne comprenaient pas ce que nous leur demandions et/ou ne voyaient pas comment répondre à la problématique : ils proposaient une piste théorique sans aucune idée de comment la réaliser expérimentalement. Nous avons donc décidé de les guider plus : par des pistes liées à des questions, nous les avons renvoyés à des TP précédents et nous leur avons donné un exercice afin de les aider à réaliser ce qu'ils devaient faire (annexe 3). Nous leur avons distribué tous ces documents le 17 avril et ils avaient jusqu'au jour du TP pour se préparer. Ainsi, les deux séances de travaux pratiques en demi-classe des mardi 17 et 24 avril pour effectuer les expériences, ont été décalées aux 24 avril et au 1er mai. Afin de les guider le jour du TP, nous avons aussi préparé un protocole (annexe 8). Ils ont eu 2 semaines pour rendre leur compte-rendu. Nous les avons évalués selon une grille (annexe 9). Et le 17 mai, ils ont eu le retour des rapports notés distribués avec un corrigé détaillé de l'exercice de préparation et un modèle de rapport type attendu (annexes 9 et 10).

III.2.3 Observation des travaux pratiques

Lors de ces deux travaux pratiques nous observions le comportement des élèves et évaluions les élèves sur plusieurs critères d'après la grille d'observations que nous avons conçue (annexe 6). Les différents critères jugés étaient : la motivation, l'intérêt, l'autonomie, la compréhension, réflexion ainsi que la préparation (seulement pour le second TP).

III.2.4 Ressenti des élèves sur les travaux pratiques

A la fin de chacun des travaux pratiques un questionnaire (annexes 4 et 5) a été distribué aux élèves pour avoir une idée du ressenti des élèves sur les deux approches des travaux pratiques. Dans ces questionnaires les élèves étaient invités à donner leurs attentes d'un travail pratique, de juger leur compréhension des expériences effectuées ainsi que leur lien avec les concepts vus en cours. De plus, de façon à vérifier leur compréhension il leur était demandé d'expliquer le but du TP ainsi que d'en donner les différentes étapes.

III.2.5 Evaluation du TP préparé

Afin de noter ce TP préparé, nous avons évalué plusieurs critères (annexe 9). Nous avons décidé de prendre en compte les deux préparations, le comportement durant la partie expérimentale ainsi que le compte-rendu.

III.3 Résultats

III.3.1 Attentes et définition des élèves

A la question qu'attendez-vous d'un bon travail pratique? 92% répondent mieux comprendre la théorie, 77% collaborer en binôme et 69% manipuler. Avoir une bonne note concerne 38% des élèves, ce n'est pas la préoccupation majeure (Annexe 12 et Figure 6).

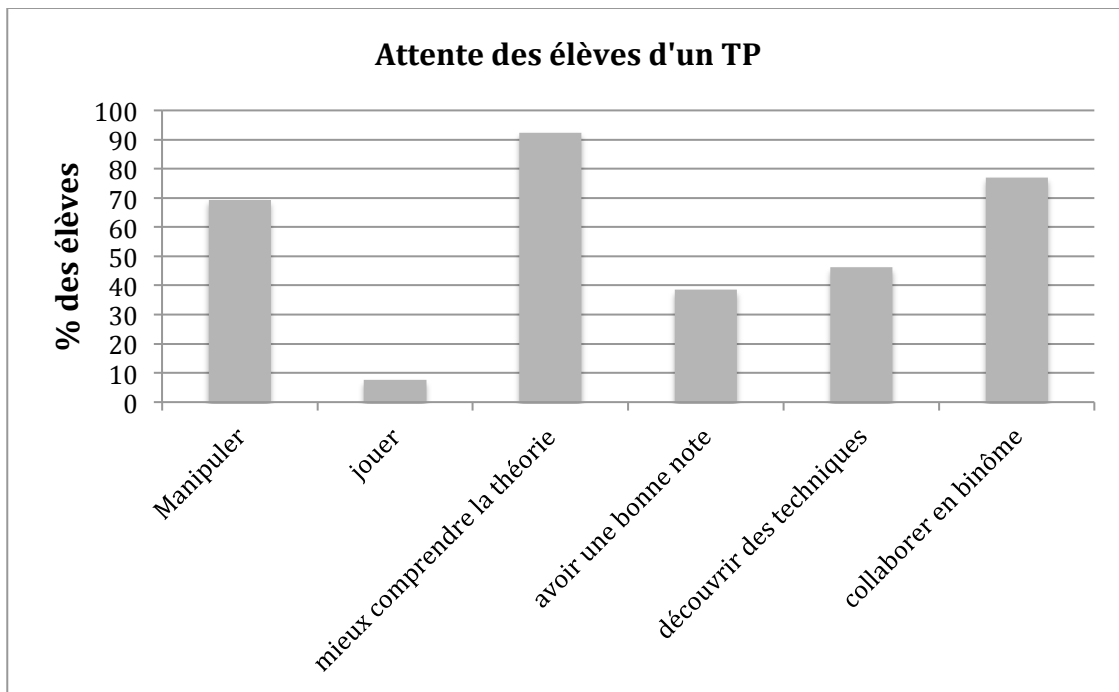


Figure 6 : Attente des élèves d'un TP

Ces données sur les attentes des élèves sont en accord avec leurs réponses qui concernaient leur définition d'un bon travail pratique (annexe 12): 46% répondent qu'il doit permettre de comprendre et d'illustrer le cours et 46% qu'il doit être clair et que l'on comprenne ce que l'on fait; pour 31% le TP doit être bien expliqué. Les mots travailler

avec plaisir, développer l'autonomie, et observer ont aussi été utilisés pour définir un bon travail pratique.

III.3.2 Observations

Pour chaque type de TP et pour chaque demi groupe, nous avons noté nos observations le jour du TP selon une grille d'observation préalablement établie (annexes 6 et 14). Chaque critère était noté de 0 à 4 points. Nous avons ainsi observé et noté la motivation des élèves au démarrage; leur intérêt que nous avons aussi évalué via des questionnement direct sur ce qu'ils faisaient; leur autonomie pour le montage; leur motivation pendant le TP; leur préparation (seulement pour le 2ème TP); leur autonomie pour leur expérience; leur compréhension aussi évalué via des questionnement direct; leur démarche réflexive et leur jugement critique sur le déroulement du TP. Les résultats sont donnés dans la figure 7. Nous avons aussi relevés des traces d'erreurs et de questionnements des élèves les jours des TP, sur les travaux de préparations et sur les échanges avec les élèves. Nous les avons synthétisés dans les 2 paragraphes suivants.

III.3.2.1 Le TP traditionnel

En plus de la grille d'observations (annexes 6 et 14), nous avons noté comme principales traces d'erreurs des problèmes de manipulation :

- Alors qu'ils doivent porter à ébullition le contenu d'une éprouvette, les élèves ne sont pas suffisamment attentif au contenu de leur éprouvette pendant l'ébullition et répandent une partie du contenu sur leur place de travail.
- Les élèves devaient produire du gaz carbonique à l'aide d'un montage dans lequel de l'acide chlorhydrique est ajouté goutte à goutte sur du marbre. A nouveau, ils sont peu attentifs et laissent couler un débit bien trop important ou ils continuent de produire du CO₂ une fois l'expérience terminée.
- Concernant les problèmes de compréhension, la plus notable est pour l'expérience dans laquelle de l'acide chlorhydrique est déposé sur du marbre, le CO₂ ainsi produit est ensuite amené dans une autre solution, l'acidifiant à cause de la formation d'acide carbonique. Ils ne comprennent pas ce qui passe par le tuyau,

que c'est le CO_2 qui provoque l'acidification de la solution finale et non l'acide chlorhydrique.

- Pour la comparaison qualitative de l'expérience 1, il est essentiel de comparer des résultats pour une même quantité de substance. Or ce n'est pas évident pour les élèves.
- De manière générale, ils se reposent sur le maître pour beaucoup de choses dont où jeter telle ou telle solution. Quasiment tous nous ont demandé où jeter le contenu d'une éprouvette contenant de l'eau. Ils ne savent pas dire ce qui est dans l'éprouvette. Ils ne réfléchissent pas à quoi ils devraient s'attendre quand ils font l'expérience.

III.3.2.2 Le TP préparé

Il n'a, apparemment, pas été préparé suffisamment sérieusement par les élèves. Les élèves se sont arrêtés dans leur préparation à la première difficulté rencontrée, se reposant sur nous pour résoudre le problème lors de la correction de leur phase de préparation. Par exemple : une valeur de densité d'un des produits de départ n'est pas donnée dans leur formulaire, ils n'ont pas cherché ailleurs la solution. Ils ont attendu que nous leur donnions la réponse. Dans la première préparation nous attendions d'eux qu'ils proposent une méthode de résolution du problème. Le problème était très similaire à ceux qu'ils rencontraient au cours dans lesquels ils devaient calculer une constante d'équilibre en posant une inconnue et en utilisant une valeur de concentration pour résoudre le problème. Mais, dans le problème posé par ce TP préparé ils cherchaient à résoudre un problème avec 4 inconnues. Ils n'ont visiblement pas réussi à faire le lien avec les problèmes vus en cours.

- Nous avons observé une forte différence entre les 2 demi-classes qui, à notre surprise, n'ont ni échangé, ni communiqué. Le premier groupe est arrivé un peu mieux préparé que le deuxième. En effet, le deuxième groupe avait oublié qu'ils devaient arriver préparés. Ils n'avaient pas ou peu travaillé sur les documents distribués le 17 avril (§ III.2.2). Ils sont donc arrivés sans savoir ce qu'ils devaient faire alors que le premier groupe avait été beaucoup plus dynamique pour la mise en route et pour la réflexion sur la suite du TP. Cependant, les 2 groupes ont eu

besoin d'un fort guidage. Le lien avec le cours n'était pas évident pour eux. Dans le premier groupe, seul un binôme était vraiment en difficulté au niveau de la compréhension et de l'investissement. Les autres étaient globalement autonomes et actifs. Les montages étaient bien réalisés. Nous avons dû passer beaucoup de temps avec chaque binôme pour les aider dans leur démarche de réflexion. Dans le deuxième groupe, aucun n'a eu de jugement critique. Nous avons constaté que les élèves ont été fortement déstabilisés par ce nouveau type de TP.

- Pour le dosage d'une substance, il est à noter que, à part 3 élèves, ils ne font généralement pas le lien avec le titrage, technique vue et utilisée lors de 3 TPs précédents. Il est vrai que la notion de titrage pour les acides et les bases, n'avait pas encore été vue en cours théorique. Mais ils avaient vu en cours et en TP des titrages redox et ils avaient aussi eu un titrage d'acide acétique à faire avec une solution de NaOH pour deux travaux pratiques précédents.
- Dans la lecture des rapports, nous avons vu une erreur (3 groupes), indiquant un manque de compréhension du titrage, concernant l'utilisation du volume de NaOH déterminé expérimentalement pour le titrage. Après détermination du volume de NaOH à l'équivalence, beaucoup ont travaillé avec une équivalence de volume, et non une équivalence en nombre de mol et ont fait des calculs qui n'ont pas de sens.
- Une autre erreur concerne l'écriture de l'équation de la réaction d'estérification. Les élèves écrivent l'ester $R-COOCH_2CH_3$, ils aborderont le chapitre chimie organique l'année suivante, mais de nombreuses réactions d'estérification avaient été vues en cours ou dans des TPs précédents. De plus, ils doivent maintenant connaître qu'un carbone ne peut faire que 4 liaisons.

Nous avons fait un corrigé type qui reprend les différents points que nous souhaitons voir dans leur rapport (annexe 11).

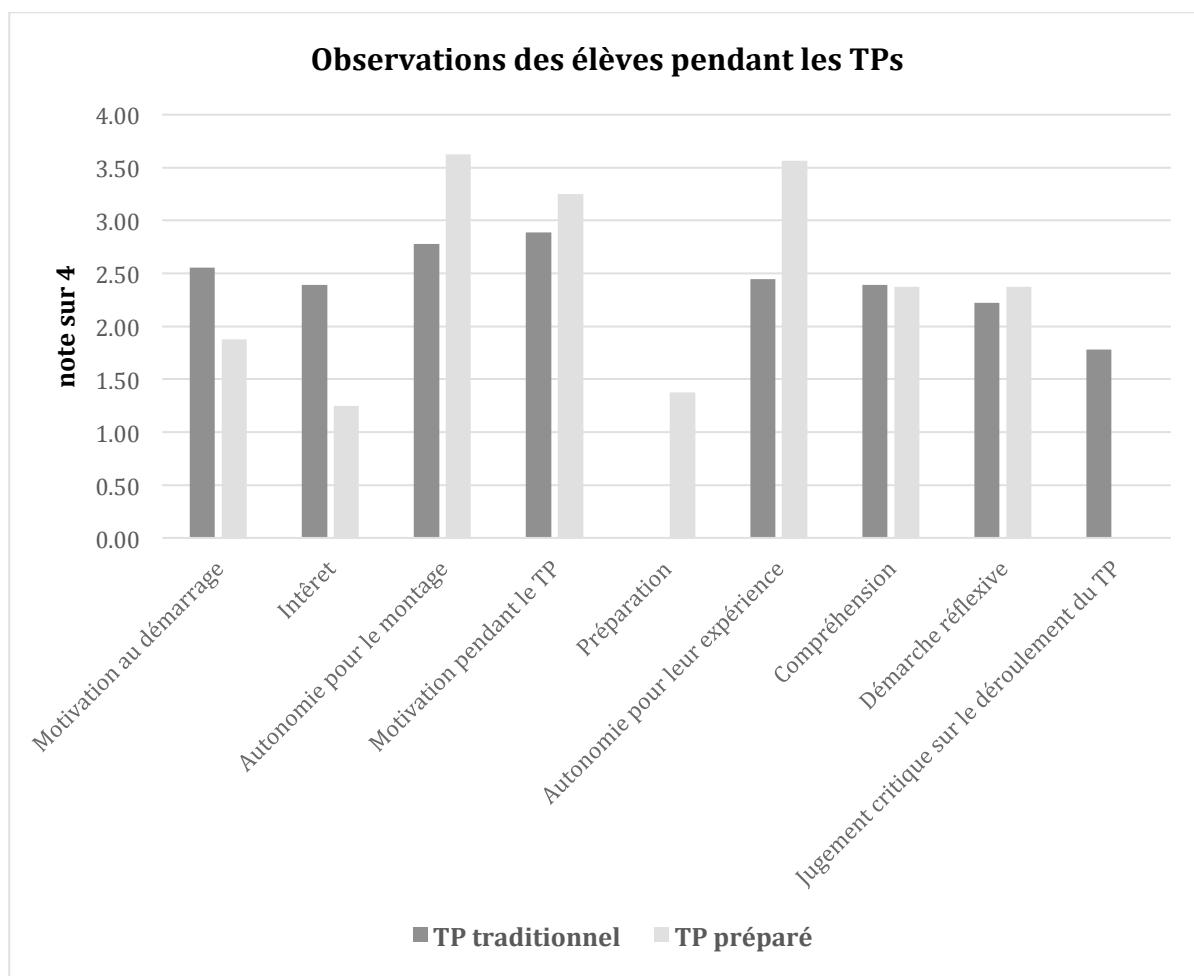


Figure 7 : Observation des élèves pendant les 2 types de TP: "traditionnel" et "préparé"

III.3.3 Evaluation

Ce TP a été noté et a le même poids que les autres TP dans leur note semestrielle de travaux pratiques. Les notes obtenues par les élèves sont comprises entre 4 et 5,5 (annexe 9). Après avoir noté les critères que nous avons fixés : les deux préparations, l'attitude au laboratoire ainsi que les différents points du compte rendu, nous avons décidé de donner à tous un demi-point bonus. Bien que nous ayons été déçus du manque d'implication dans la préparation, nous avons jugé qu'ils ne devaient pas être pénalisés dans leur note de TP par ce changement d'approche. Les trois groupes ayant obtenus les moins bonnes notes ont tout trois commis une grave erreur de compréhension de la méthode du titrage dans leur calculs.

IV- Analyse

Nous sommes bien conscients des limites de notre travail. Nous n'avons pu tester cette approche qu'une seule fois et seulement sur une classe. Les valeurs données sont basées sur les réponses des apprenants qui ont rendu les questionnaires (annexes 12 et 13): 13 élèves sur 19 pour le TP traditionnel et 10 sur 19 pour le TP préparé. Par contre il nous donne quelques pistes à explorer pour notre enseignement futur.

Si nous comparons les points III.1 et III.3.1, nous pouvons conclure pour définir un bon travail pratique qu'objectifs et attentes sont globalement les mêmes du côté des enseignants et des élèves. En effet, un bon TP permet de mieux comprendre la théorie en manipulant et c'est un travail qui se fait en collaboration. Pour l'enseignant il doit aussi permettre aux élèves de s'interroger sur un sujet donné, de lire et d'interpréter un mode opératoire, de mettre en place une démarche expérimentale et de développer des stratégies de raisonnement. Il doit donc permettre de découvrir la démarche expérimentale.

Le choix du TP n'était peut-être pas optimal pour intégrer pour la première fois la démarche d'investigation. Ce choix s'est fait pour répondre aux contraintes de temps qui s'imposaient à nous dans la mise en place de ce projet. Ces travaux pratiques devaient s'effectuer dans une période de temps limitée. Le thème abordé dans le TP dépendait donc du thème vu en cours à ce moment. Une difficulté supplémentaire est apparue dans la démarche de propositions d'hypothèses par les élèves, car le TP qu'ils ont effectué entre la présentation du TP préparé et sa mise en pratique : ils devaient également synthétiser un ester, l'ester de banane et ils devaient déplacer l'équilibre en retirant l'eau formée lors de la synthèse. Et dans ce cas, l'ester était facilement séparable des autres espèces chimiques. Donc les élèves ont tous proposé une approche tout à fait similaire, sans savoir qu'ici l'ester n'était pas séparable des autres espèces chimiques. Bien sûr, ils ne pouvaient pas prévoir que la méthode utilisée pour l'ester de banane ne pouvait s'appliquer à un autre ester. Nous n'avions pas prévu que les élèves feraient ce TP pendant la période de préparation. Il est normal que les élèves aient voulu recopier la méthode expérimentale utilisée pour l'ester de banane dans le cas d'un autre ester. Par contre dans le cas de l'ester de banane, l'objectif était aussi d'obtenir un bon rendement et d'appliquer le principe de Le Chatelier alors que dans le TP préparé, ils devaient calculer

expérimentalement la constante d'équilibre de leur réaction d'estérification, il ne fallait donc pas chercher à déplacer l'équilibre en éliminant l'eau formée. Or tous les élèves ont fait l'erreur et ont proposé un montage avec le piège à eau.

De manière générale, les élèves ont été fortement déstabilisés par cette nouvelle approche des travaux pratiques. Nous avons dû les rassurer sur le fait que nous allions évaluer la démarche et non le résultat en lui même. Au moment du TP, nous avons dû être très présents pour guider chaque binôme dans la réflexion. Il aurait fallu tester sur plusieurs TPs et plus progressivement afin qu'ils se familiarisent avec l'approche. L'évaluation par les élèves assez négative du TP préparé est en accord avec ces constats. Cependant, d'après leur réponse, le but du TP a été très bien compris (90% contre 53% pour le TP traditionnel), ils ont été capables de le définir. De même, ils ont été capables de donner les étapes (70% contre 8% pour le TP traditionnel) ainsi que le lien avec le cours. Par contre ils n'ont pas eu l'impression que la préparation les avait aidé à la compréhension. 90% ne se sentaient pas prêts le jour du TP et 30% et 50% préférèrent respectivement découvrir et plutôt découvrir le jour du TP. 60% ont trouvé assez difficile la préparation. Le temps de préparation a été très hétérogène entre 10 et plus de 60 minutes. Pour les apprenants, il était difficile de se projeter dans le TP, ils avaient aussi un fort problème de compréhension avec le cours de ce chapitre sur les équilibres chimiques ainsi que de se souvenir de tous les TPs. Mais nous ne le leur demandions pas. Nous les avons renvoyés à des TP précédents dans le deuxième travail de préparation (annexe 3 et § III.2.2) afin de les guider mais ils ont été incapables d'en extraire des stratégies et des techniques et de faire le lien avec la nouvelle problématique. Ce qui montre qu'ils n'ont pas compris dans les TPs précédents ce qu'ils ont fait ni pourquoi ni comment. C'est en accord avec nos observations générales qui nous ont motivées pour ce mémoire et aussi avec leur mauvaise note de test sur les TP pour lesquels ils ont droit à leurs TPs pour répondre aux questions. Pendant le TP préparé, par rapport au TP traditionnel, nous avons observé une baisse de l'intérêt ainsi que de la motivation au démarrage (Figure 7). Par contre au final, le niveau de compréhension est le même entre le TP traditionnel et le TP préparé (Figure 7), il faudrait pouvoir évaluer à long terme si il y a ou non une différence. Les élèves étaient aussi plus autonomes pour le montage et pour leur expérience. Mais nous n'avons pas observé une amélioration de la démarche

réflexive avec le TP préparé ni un jugement critique de ce qu'ils faisaient ni au moment du travail expérimental ni dans le compte rendu qu'ils nous ont donné (Figure 7). Nous pensons que ça représentait trop de nouveautés pour les élèves. La déstabilisation des élèves avait aussi été observée par Darley (1996) quand il a testé son approche de démarche expérimentale. Et il conclut comme nous que ça fait partie d'un long processus d'apprentissage dans lequel nous devons guider les élèves.

Une question cruciale s'est aussi imposée : *Comment arriver à motiver les élèves à s'investir plus ?* Nous supposons qu'il est possible de les rendre plus actifs en leur fournissant une meilleure compréhension de ce qu'ils font et pourquoi ils le font. D'après les retours des élèves, la compréhension est l'objectif principal des travaux pratiques. En donnant d'avantage de sens aux manipulations et en offrant d'avantage de temps à la réflexion et à la compréhension il doit être possible d'avoir des élèves plus actifs.

Quelques pistes:

- Pour une première expérience, nous aurions dû choisir un problème posé bien plus simple à résoudre avec différentes approches possibles. Le cas choisi était trop complexe, les élèves devaient utiliser une méthode de résolution d'exercice vu en cours puis rechercher une méthode expérimentale afin de pouvoir mesurer une concentration inconnue pour répondre au problème qui leur était posé.
- Le problème posé doit être original. Dans notre cas, il était beaucoup trop proche du TP de synthèse de l'ester de banane que les élèves venaient d'effectuer. Comme ces deux travaux pratiques semblaient très proches, les élèves ont simplement proposé de reproduire la même démarche dans les deux cas plutôt que de proposer des démarches originales.
- Lors des premières confrontations des élèves à cette démarche, la formulation du problème pourrait être faite en classe, en impliquant les élèves dans cette formulation.
- L'élaboration d'hypothèses pourrait être faite en classe, plutôt qu'être données comme travail à domicile de façon à pouvoir guider les élèves dans la démarche, surtout lors des premières confrontations à cette démarche.
- L'élaboration de protocole ensemble en classe peut aussi les familiariser avec le principe de la démarche scientifique.

- Nous avons réalisé que chercher des informations dans les TPs effectués était très difficile pour eux. Nous pourrions faire un travail de synthèse avec les élèves en reprenant les TPs : quel but était visé et quelle technique a été utilisée après chaque TP.

V- Conclusion

Nous avons conscience que notre objectif était ambitieux et que c'est une approche qui doit se faire sur le long terme. Nous avons fait le maximum que nous pouvons pour ce travail de mémoire avec le temps qui nous a été offert. C'est un apprentissage que les apprenants doivent intégrer progressivement. C'est ce qui explique que, de manière générale, les élèves ont été fortement déstabilisés par cette nouvelle approche. Nous avons dû énormément les guider par binôme, comme nous étions deux pour répondre à leurs questions, nous avons pu atteindre notre objectif : que les élèves puissent réaliser leur expérience, faire leurs mesures et calculer leur constante d'équilibre. Il est évident que dans des conditions normales pour lesquelles le maître est seul avec sa classe, la méthode doit être adaptée. Une personne seule n'aurait pas pu encadrer ce TP. Cette approche doit donc être introduite de manière progressive sur plusieurs TP afin que les élèves deviennent acteurs et qu'ils comprennent ce qu'ils font, pourquoi et comment ; en accord avec ce qui est décrit dans le plan d'études-EM-Vaud (2017). Même si nous avons dû guider les élèves dans l'élaboration de leur démarche de résolution, nous avons pu observer une meilleure compréhension de certaines démarches courantes en travaux pratiques. Nous avons vu que nous avons quand même semé de "petites graines" car durant le TP suivant, qui même si c'était un TP dit "traditionnel", beaucoup d'élèves ont été plus acteurs et certains nous ont même remerciés. Cela a été pour nous une belle expérience qui nous encourage à poursuivre ce genre d'activité avec nos classes.

Références bibliographiques

- Astolfi, J. P. (1985). Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. *Paris: Inrp.*
- Cariou, J. Y. (2002). La formation de l'esprit scientifique-trois axes théoriques, un outil pratique. *Bulletin APBG, 2, 279-320.*
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année.
- Dimarcq, N. (2009). Les recherches sur la pratique de la démarche d'investigation, revue de littérature Master Recherche didactique des sciences et des techniques ENS Cachan.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education, 11(5), 481-490.*
- Lacombe, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience...
- Larcher, C., Peterfalvi, B., & Cachan-INRP, U. S. E. (2006). Diversification des démarches pédagogiques en classe de sciences. *Bulletin de l'Union des Physiciens, 886, 825-834.*
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance.
- Plan d'études de l'école de maturité du canton de Vaud (plan d'étude-EM-Vaud), 2017.
Consulté en mai 2018 à l'adresse
https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfj/dgep/fichiers_pdf/DGEP_EM_WEB_PROD.pdf
- Plan d'études romand (PER)-CIIP cycle 1 (s. d.). Consulté en mai 2018 à l'adresse
https://www.plandetudes.ch/documents/10136/19192/cycle_1_webCIIP.pdf,

Plan d'études romand (PER)-CIIP cycle 2 (s. d.). Consulté en mai 2018 à l'adresse
https://www.plandetudes.ch/documents/10136/19192/cycle_2_webCIIP.pdf

Plan d'études romand (PER)-CIIP cycle 3 (s. d.). Consulté en mai 2018 à l'adresse
[https://www.plandetudes.ch/documents/10136/19192/Aperçu+des+contenus+du+P
ER+Cycle+3/75420548-b10b-4a5b-af1c-dd7d27b70ca5](https://www.plandetudes.ch/documents/10136/19192/Aperçu+des+contenus+du+PER+Cycle+3/75420548-b10b-4a5b-af1c-dd7d27b70ca5)

Remerciements

A monsieur Decker d'avoir accepté de nous encadrer pour ce travail de mémoire, pour ses conseils et nos discussions constructives.

A madame Descombes d'avoir accepté d'être notre jury.

A madame Rupp, notre praticienne formatrice, pour nous avoir fait confiance et nous avoir confié sa classe.

Aux élèves de 2OS 2M01 du gymnase de Morges qui ont participé activement à ce travail.

Annexe 1 : Protocole TP traditionnel

Gaz carbonique, carbonates et bicarbonates

1-Principe.

Cette manipulation va vous permettre de vous familiariser avec des composés importants qui sont très répandus dans la nature.

1.1 CO₂: gaz carbonique ou anhydride carbonique ou dioxyde de carbone.

- C'est un gaz de masse volumique 1,97 g/L, donc une fois et demie plus lourd que l'air, ce qui permet de le transvaser d'un récipient à un autre.

- Il n'entretient pas la combustion. Une bougie s'éteint dans de l'air contenant 8 à 10% de CO₂ (l'air normal en contient 0,034%).

1.2 CO: monoxyde de carbone.

- Il est formé lors de la combustion incomplète du carbone, dans une atmosphère pauvre en oxygène. Il brûle dans l'oxygène avec une flamme bleue.

- Il est très toxique: il se fixe sur l'hémoglobine du sang, l'empêchant de transporter l'oxygène.

1.3 H₂CO₃: acide carbonique.

- Il est formé en solution aqueuse selon l'équilibre:



- C'est un acide faible car il se dissocie dans l'eau en produisant des ions H⁺:



1.4 Carbonates et bicarbonates.

Ce sont les sels de l'acide carbonique, très répandus dans la nature, en solution ou sous forme de minéraux: calcite ou marbre CaCO₃, magnésite MgCO₃, dolomite CaMg(CO₃)₂, etc.

Na₂CO₃ : carbonate de sodium

NaHCO₃ : hydrogénocarbonate de sodium (bicarbonate de sodium)

CaCO₃ : carbonate de calcium

Remarque : lorsqu'un sel est soluble dans l'eau, il se dissocie en ions. Généralement il existe un équilibre entre le sel dissocié et le sel non dissocié, l'équilibre étant plus ou moins déplacé vers la gauche ou vers la droite selon la solubilité du sel.



Dureté de l'eau: les carbonates et les bicarbonates dissous dans l'eau sont responsables de sa dureté et empêchent les savons de mousser. Lorsqu'on bout de l'eau, il se forme un dépôt de tartre selon l'équation:



2- Partie expérimentale.

2.1 Solubilité des carbonates et des bicarbonates dans l'eau.

Expérience 1.

- Préparez 3 éprouvettes et pesez dans chacune d'elles environ 0,1 g des produits suivants:



- Ajoutez 4 ml d'eau distillée dans chaque tube et agitez: notez les sels solubles et les sels insolubles.

- Mesurez le pH à l'aide du papier indicateur. Qu'en déduisez-vous?

2.2 Production de gaz carbonique.

Expérience 2.

- Ajoutez dans chacun des tubes précédents quelques gouttes de HCl 3.5 mol/L. Que se passe-t-il? Ecrivez les équations.

Expérience 3.

- Mettez quelques petits morceaux de marbre dans une éprouvette. Ajoutez un peu de vinaigre. Qu'observez-vous?

2.3 Réaction du gaz carbonique avec l'eau.

Pour les essais qui suivent, le gaz carbonique sera produit avec le montage mis à votre disposition, en laissant couler goutte à goutte du HCl 3,5 mol/L sur du marbre.

Expérience 4.

- Remplissez à moitié une éprouvette avec de l'eau du robinet. Ajoutez quelques gouttes de l'indicateur bleu de bromothymol: celui-ci est jaune en milieu acide et bleu en milieu basique.

- Faites barboter quelques minutes du CO₂ dans cette eau. Qu'observez-vous? Expliquez à l'aide d'équations.

- Retirez l'éprouvette et jetez la moitié du contenu. Chauffez le reste à ébullition en agitant sans cesse. Expliquez ce que vous observez.

2.4 Détection du gaz carbonique.

L'acide carbonique réagit avec l'eau de chaux (solution saturée de Ca(OH)₂) en formant du carbonate de calcium non soluble. Ecrivez l'équation.

Si on continue à ajouter du gaz carbonique, le carbonate de calcium se solubilise en devenant de l'hydrogénocarbonate de calcium (équation 5).

Expérience 5.

- Remplissez à moitié une éprouvette avec de l'eau de chaux.

-Faites barboter du CO₂ suffisamment longtemps pour pouvoir observer les 2 phénomènes prévus.

- Retirez l'éprouvette et jetez la moitié de son contenu. Chauffez à ébullition en agitant. Qu'observez-vous?

2.5 Gaz carbonique et combustion.

Expérience 6.

- Allumez la bougie fixée dans le bécher de 250 mL. Saturez de CO₂ en faisant arriver le CO₂ au-dessous de la flamme. Que remarquez-vous?

- Répétez cette expérience en remplissant d'abord un bécher de 250 mL de CO₂ puis en le versant dans le récipient où brûle la bougie.

Expérience 7.

- Eliminez le CO₂ des expériences précédentes et versez de l'eau de chaux dans le bécher jusqu'aux 2/3 de la bougie que vous allumez.

- Laissez brûler quelques instants puis couvrez le bécher avec un verre de montre.

- Lorsque la bougie s'est éteinte, remuez légèrement l'eau de chaux sans enlever le verre de montre. Expliquez ce que vous observez.

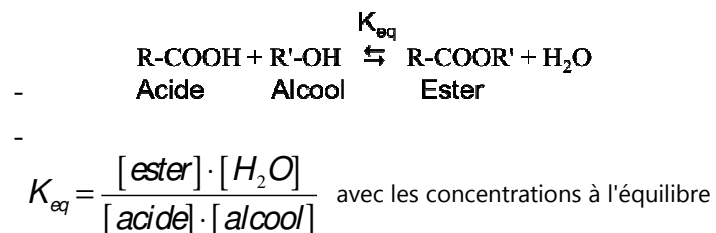
Annexe 2 : Protocole TP préparé

Détermination d'une constante d'équilibre

1. Principe

Le but de ce TP est de déterminer la constante d'équilibre d'une réaction d'estérification à l'aide d'une méthode expérimentale que vous choisirez.

Réaction d'estérification :



2. Marche à suivre

2.1 Réaction d'estérification

Vous allez faire réagir **un** des 2 acides organiques

acidé formique HCOOH
acidé acétique CH₃COOH

avec **un** des 3 alcools,

méthanol CH₃OH
éthanol CH₃CH₂OH
propan-1-ol CH₃CH₂CH₂OH

2.1.1 Peser un ballon de 250 mL vide.

2.1.2 On souhaite avoir un volume total de 30 à 50 mL. Choisissez un acide et un alcool et déterminez pour chacun la quantité que vous allez prélever. (Utilisez votre formulaire)

Acide choisi : Quantité (unité) : Nb mole :

Alcool choisi : Quantité (unité) : Nb mole :

2.1.3 Ajouter 0.5 g d'acide sulfurique concentré et une pierre à ébullition.

2.1.4 Chauffer à reflux pendant 30 minutes.

2.2 Schéma du montage

2.3 Equation de votre réaction

Indiquez les nombres de moles initiales sous votre réaction.

De quoi avez-vous besoin pour le calcul de la constante d'équilibre?

Comment pouvez-vous déterminer expérimentalement ce qui vous manque?

Annexe 3 : Travail préparatoire de guidage du TP préparé

Nous vous remercions d'avoir rendu vos feuilles de travaux pratiques.
Vous avez tous de quoi démarrer vos expériences.

Mais pour la deuxième partie, il va falloir réfléchir encore avant de venir.
Tout le monde a considéré qu'à la fin dans le ballon, il n'y aura que l'ester et l'eau. Or vous avez une réaction équilibrée, ce qui signifie qu'à l'équilibre il y aura dans le ballon 4 espèces chimiques : l'alcool, l'acide, l'ester et l'eau.

Comme vous l'avez tous écrit, x moles vont réagir. Vous devez donc trouver un moyen expérimental de déterminer ce x .

Question : Pour déterminer x , de combien d'espèces différentes devez-vous connaître la concentration ?.....

Il n'est pas possible de séparer physiquement les 4 espèces, l'ester formé sera partiellement soluble dans l'eau. Vous devez trouver une technique spécifique pour chaque espèce que vous voulez doser (= dont vous voulez connaître la concentration).

On ne vous demande pas d'inventer une manière de faire mais d'utiliser une technique que vous avez déjà vue dans des TP précédents des 2 années, regardez ceux impliquant un dosage.

Piste n°1 : Un acide dans l'eau change le de la solution.
Comment peut-on observer/mesurer ce changement ?

Piste n°2 : Voir le cours/TP titrage d'oxydoréduction : donnez le principe de la technique et le schéma du montage:

Vous **devez répondre** à ces questions et arriver au TP avec des idées des quantités et solutions que vous allez utiliser et que vous avez à disposition.

Par exemple : Allez-vous titrer toute la solution du ballon ou une partie ?

Réponse

Solutions à disposition :

K₂Cr₂O₇ 0.2 mol/L
HCL 12 mol/L
NaOH 1 mol/L
NH₃ 25%
NaHCO₃ 5%
NaCl 2 mol/L
KMnO₄ 0.1 mol/L
H₂SO₄ 96%

Exercice obligatoire : Si la constante d'équilibre est de 1,

1) Calculez les concentrations de chaque espèce à l'équilibre.

2) Donnez quelle fraction du mélange du ballon vous choisissez de titrer.

3) Calculez le volume de la solution de titrage en indiquant celle de la liste que vous utilisez.

4) Est-ce un volume raisonnable pour l'expérience ? Si non, qu'allez-vous modifier ?

Attention : pour la note du TP, ce travail de préparation et de réflexion compte.

On attend de vous un compte rendu avec le but du TP, l'approche expérimentale expliquée, les schémas des montages et les calculs détaillés avec les unités et une réflexion/conclusion par rapport aux résultats obtenus. Une personne qui prendrait votre compte rendu doit être capable de reproduire ce que vous avez fait. Le compte rendu est à nous rendre au plus tard le mardi suivant le TP.

Bonne préparation.

Annexe 4 : Questionnaire TP traditionnel

1) De manière générale:

1. Qu'attendez-vous d'un TP ? (plusieurs réponses possibles)
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> manipuler | <input type="checkbox"/> découvrir des techniques |
| <input type="checkbox"/> jouer | <input type="checkbox"/> expérimentales |
| <input type="checkbox"/> mieux comprendre la théorie du cours | <input type="checkbox"/> collaborer en binôme |
| <input type="checkbox"/> avoir une bonne note | <input type="checkbox"/> autre: |

2. -Définissez ce qu'est pour vous un bon travail pratique ? (en 2 phrases maximum)

3. Autre(s) remarque(s):

2) Par rapport au TP sur les carbonates, répondez aux questions suivantes:

1. En une phrase dites quel était le but du TP

2. Citez les étapes du TP

3. Sur une échelle de 1 à 4, vous avez compris le lien avec le cours (de 1 pas du tout à 4 très bonne corrélation)

1	2	3	4

4. Dites en quelques mots si vous avez trouvé ce TP intéressant et pourquoi.

5. Sur une échelle de 1 à 4, vous avez trouvé logique les étapes du TP (de 1 pas du tout à 4 complètement)

1	2	3	4

6. Que pourrait-on changer pour améliorer ce TP?

Autre(s) remarque(s):

Merci de votre collaboration !

Annexe 5 : Questionnaire TP préparé

1. En une phrase dites quel était le but du TP
2. Citez les étapes du TP
3. Sur une échelle de 1 à 4, vous avez compris le lien avec le cours (de 1 pas du tout à 4 tout à fait)

1	2	3	4

4. Est-ce que ça vous a aidé de préparer avant le TP pour mieux comprendre? (de 1 pas du tout à 4 tout à fait)

1	2	3	4

5. Vous sentiez-vous assez préparé pour le jour du TP ? (de 1 pas du tout à 4 tout à fait)

1	2	3	4

6. Préférez-vous découvrir le TP le jour du TP ou bien le préparer

Découvrir	Plutôt découvrir	Plutôt préparer	Préparer

7. Avez-vous trouvé difficile de préparer le TP ? (de 1 pas du tout à 4 tout à fait)

1	2	3	4

8. Avez-vous apprécié préparer ce TP ? (de 1 pas du tout à 4 tout à fait)

1	2	3	4

9. Estimez le temps que vous avez passé pour la préparation.
10. Quelle a été pour vous la plus grande difficulté ?
11. Que pourrait-on changer pour améliorer ce TP?

Autre(s) remarque(s)

Merci de votre collaboration !

Annexe 6 : Grille d'observations du travail en laboratoire

Nous noterons nos observations pour chaque binôme : les questions qu'ils posent, les types d'erreurs, les difficultés rencontrées, nous tiendrons compte de leurs réponses à nos questions, de la correction des comptes rendus. Cela nous permettra de déterminer ce qu'ils ont compris ou non.

Nous allons évaluer leur préparation avant et leur autonomie pendant le TP

Notation sur une échelle de 1 à 4 :

- de leur mise au travail, de leur motivation, de leur intérêt
- leur autonomie pour le montage et l'expérience
- compréhension de ce qu'ils font
- démarche réflexive et jugement critique des résultats

Démarrage du TP

Motivation des élèves (1=passif, ne se mettent pas au travail, 4= entrain : se mettent rapidement au travail)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Intérêt des élèves pour le TP (ce TP n'a pas de sens pour eux = 1, a du sens = 4, détermination par questionnement direct)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques :

Les élèves sont autonomes pour leur montage (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques :

Pendant le TP

Motivation des élèves (1=passif, ne savent pas où ils en sont, 4= entrain, avancement bien)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Les élèves sont autonomes pour leur expérience (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Les élèves comprennent ce qu'ils font et pourquoi : on les questionnent (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Les élèves ont une démarche réflexive (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Les élèves portent un jugement critique sur le déroulement (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

A la fin du TP

Les élèves portent un jugement critique sur leur résultat (1=pas du tout à 4 complètement)

	noms	1	2	3	4	Remarques
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						

Autres remarques

Correction des comptes rendus, traces d'erreurs

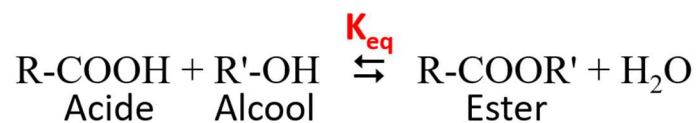
Annexe 7 : Powerpoint de présentation du TP préparé

TP des 17 et 24 avril

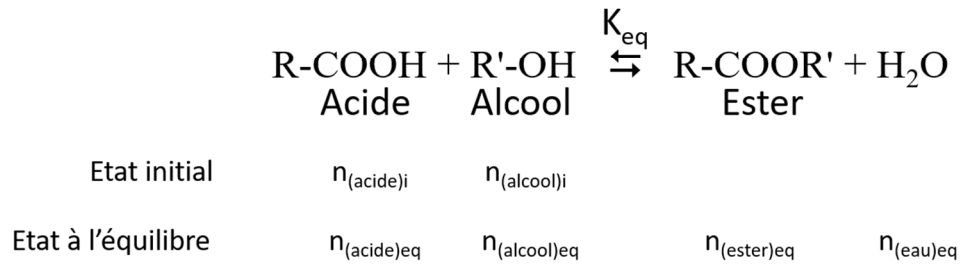
- 13 mars: Présentation de la problématique du TP
- Pour le 15 mars, préparation en binôme, vous devrez nous rendre votre travail de réflexion et de préparation, on corrigera vos calculs et vos suggestions
- 17 et 24 avril mise en œuvre de vos hypothèses et rapport, distribution d'un 2^{ème} questionnaire
- Au plus tard le 1^{er} mai nous rendre votre rapport et vos questionnaires (1 rapport/binôme, 1 questionnaire anonyme/personne)
- MERCI de votre collaboration

Détermination d'une constante d'équilibre

Exemple d'une réaction équilibrée courante en chimie: la réaction d'esterification



Détermination d'une constante d'équilibre



$$K_{eq} = \frac{[\text{ester}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{acide}] \cdot [\text{alcool}]}$$

Avec les concentrations à l'équilibre

Annexe 8 : Protocole de guidage pour titrage acide-base

Détermination d'une constante d'équilibre par titrage acide-base

1 Réaction d'estérification

Equation:

2 Titrage de l'acide qui reste

2.1 Lorsque vous titrez l'acide qui reste à la fin de la réaction, n'y a-t'il que l'acide que vous avez choisit qui va réagir ?

Si non: quelle est la substance qui va interférer ? Quelle méthode proposez-vous pour résoudre ce problème ?

2.2 Pour titrer l'acide (substance qui donne H^+ dans l'eau), vous allez faire ce qu'on appelle une réaction de neutralisation et utiliser une solution de NaOH de concentration 1,00 mol/L.

Ecrivez la réaction de neutralisation de votre acide:

2.3 Allez vous utiliser toute votre réaction pour faire ce titrage ? Si non dites quelle quantité vous allez prélever et comment vous allez le faire.

3 Informations pour le compte rendu à nous rendre

Dans votre compte rendu on doit trouver:

- le but du TP
- l'approche expérimentale expliquée
- les schémas des montages
- les calculs détaillés avec les unités
- une réflexion/conclusion par rapport aux résultats obtenus.

Une personne qui prendrait votre compte rendu doit être capable de reproduire ce que vous avez fait.

Le compte rendu est à nous rendre au plus tard le mardi suivant le TP.

Annexe 9 : Grille d'évaluation du TP préparé

			Enzo/Pierre	Priyanka/Audrey	Marine/Anastasia	Marie/Suzanna	Natacha/Maud	Maxime/Maude	Corentin/Allistair/Léonard	Fabio/Darius/Antoine
1ère préparation										
quantité	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	1,5	1,5
schéma	0,5		0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0
point 2.3	1,0		0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5
2ème préparation										
pistes	1,0		0	0,5	0,25	0,5	1	0,25	0,25	0
exercice	2,0		1	1	0,25	0	1	1	1	1
Attitude lors du TP	6,0		5	4,8	5,3	3,5	5,8	3,8	5,3	5
Compte-rendu										
Introduction										
But	2,0		2	1,5	2	1	1,5	1,5	1	1,5
Equation	2,0		1,5	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Constante d'équilibre	1,0		1	0,5	1	1	1	1	1	1
Schéma montage	2,0		2	1,5	2	2	2	2	2	2
Explication démarche expérimentale										
réaction estérification	2,0		2	1,5	2	1	1,5	1,5	2	2
titrage	2,0		2	1	2	2	1,5	2	2	2
titrage catalyseur	2,0		2	1	2	1	1,5	2	2	2
Calculs										
H2SO4	2,0		2	2	2	2	2	2	2	2
x	2,0		2	0,5	0,5	0,5	0	2	1,75	2
K	2,0		2	0	1	0,5	0,5	2	2	2
Conclusions	2,0		1	0	1	0	1	1	1	1
Remarques	2,0		1	0	0,5	0	1	0	0	0,5
Propreté	1,0		1	1	1	1	1	1	1	1
Total	36,0		29,5	20,6	26,8	19,5	24,3	26,6	28,1	28,5
Note sur 6	6,0		4,9	3,4	4,5	3,3	4,1	4,4	4,7	4,8
	0.5 point bonus	Note Finale	5,5	4	5	4	4,5	5	5	5,5
			Exo fait pdt le TP	Exo fait pdt le TP	Exo fait pdt le TP		Exo fait pdt le TP			
			Points: la moitié	Points: la moitié	calcul faux		Points: la moitié			

Annexe 10 : Corrigé de l'exercice de préparation

Si la constante d'équilibre est de 1,

1) Calculez les concentrations de chaque espèce à l'équilibre.

Pour la réaction :

	A	+	B	→	C	+	D
Initialement	0.3mol		0.3mol		0		0
Equilibre	0.3 - x		0.3 - x		x		x

On a pris ici un exemple avec des quantités en mole équivalente pour A et B. On est libre de choisir ces valeurs, simplifions donc les calculs en prenant la même quantité de A et de B.

En supposant un K_{eq} de 1 :

Attention les équations de constante d'équilibre sont des rapports de concentration et non de moles. Mais ici, on peut calculer en nombre de moles car les 4 espèces sont dans le même volume.

On doit donc résoudre l'équation : $1 = \frac{x^2}{(0.3-x)^2} \rightarrow x = 0.15 \text{ mol}$

A partir de là on peut calculer la concentration de chaque espèce en divisant par le volume total de solution. On ne connaît que le volume de départ, mais on peut supposer qu'il ne va pratiquement pas changer. Pour le mélange 0.3 mole d'acide acétique et 0.3 mole de méthanol, le volume initial est de 30mL. Nous obtenons une concentration finale de 5 mol/L pour chaque espèce dans le cas d'une constante d'équilibre de 1.

2) Donnez quelle fraction du mélange du ballon vous choisissez de titrer.

Choisissons de titrer 1/10 de la quantité totale du mélange final. Ce qui nous permet de pouvoir répéter la mesure plusieurs fois en cas de problème.

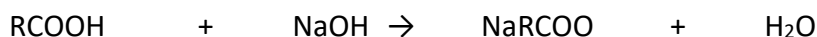
3) Calculez le volume de la solution de titrage en indiquant celle de la liste que vous utilisez.

En prenant 1/10^{ème} du résultat de l'exercice 1, on devra donc neutraliser:

$$0.30 - 0.15 = 0.15 \text{ mole d'acide}$$

En ne considérant pas l'acide sulfurique dans la solution.

La réaction de neutralisation est :



Comme une mole d'acide réagit avec une mole de NaOH, il faudra donc 0.015 mol de NaOH pour neutraliser la solution. La concentration de la solution de NaOH étant de 1mol/L, il faudra donc 0.015 L de solution.

4) Est-ce un volume raisonnable pour l'expérience ? Si non, qu'allez-vous modifier ?

Le volume de 15 mL calculé dans l'exercice précédent est tout à fait adapté pour l'expérience, les burettes mesurant 25 ou 50mL. Une valeur supérieure à 50mL rendrait le titrage très long car il faudrait plus d'une burette. Alors qu'avec une valeur inférieure à 5-10mL rendrait la mesure très imprécise. Utiliser 1/10^{ème} du volume semble donc très adapté.

Annexe 11 : Corrigé et modèle type d'un compte rendu de TP

Nom Prénom

Titre du TP

But du TP :

Le but doit clairement indiquer les objectifs du TP, ce que vous cherchez à déterminer ainsi que les méthodes utilisées.

Il fallait indiquer que vous vouliez déterminer à l'aide d'un titrage acide-base la constante d'équilibre de la réaction d'estérification entre l'acide et l'alcool que vous aviez choisi.

Démarche expérimentale :

Cette partie doit contenir la description des expériences et des réactions que vous avez faites avec les schémas légendés des montages utilisés.

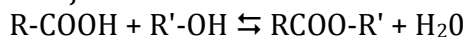
Dans un ballon de 250 ml préalablement pesé, nous avons ajouté x mol d'acide et x mole alcool ainsi que x g d'acide sulfurique. Pour chaque, précisez si vous avez pesé ou mesuré un volume et la valeur avec l'unité. L'acide sulfurique n'apparaissant pas dans la réaction, il est important de préciser qu'il sert ici de catalyseur.

Nous avons mis 2 pierres à distiller. Un tube réfrigérant a été placé au-dessus du ballon puis le mélange dans le ballon a été porté à ébullition pendant 30 minutes.

A la fin de la réaction, après refroidissement du système, le ballon a été pesé. (Indiquez la masse obtenue).

Nous voulons calculer la constante d'équilibre de la réaction d'estérification :

Donnez la réaction ajustée



Etat initial	n_{Acide}	n_{Alcool}		
Etat équilibre	$n_{\text{Acide-X}}$	$n_{\text{Alcool-X}}$	X	X

Indiquez l'état initial et l'état final

Donnez la formule théorique de la constante d'équilibre puis son expression avec x votre inconnue.

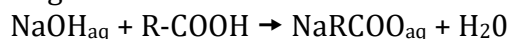
Notez que vous pouvez raisonner avec les nombres de moles car les volumes se simplifient dans l'équation.

Indiquez que vous n'avez besoin de déterminer la valeur expérimentale que d'une seule espèce et vous pourrez déduire les autres.

A l'état d'équilibre dans le ballon, il y a l'alcool et l'acide qui n'ont pas réagi, l'ester et l'eau formés et le catalyseur : l'acide sulfurique. Le catalyseur ne va pas réagir, il va permettre à la réaction de se faire et quand la réaction aura atteint l'état d'équilibre, il y aura la même quantité de catalyseur que celle introduite au début.

Un titrage avec une base forte va nous permettre de déterminer la quantité d'acide qui est présente dans la solution. On utilisera une solution de NaOH_{aq} de concentration 1mol/L. le volume nécessaire sera déterminé expérimentalement.

Equation de titrage :



A l'équivalence, on aura ajouté autant de mole de base qu'il y a d'acide, la goutte de trop de NaOH_{aq} va faire changer de couleur l'indicateur coloré la phénolphthaléine qui va devenir rose. On obtient le nombre de mole d'acide à partir du volume de solution de NaOH et de sa concentration.

Or il y a 2 types d'acide : l'acide qui n'a pas réagi qui est dans le mélange réactionnel et le catalyseur l'acide sulfurique.

On doit faire un titrage de l'acide sulfurique afin de déterminer la quantité de NaOH_{aq} nécessaire pour neutraliser l'acide sulfurique. Ca sera le premier titrage qui peut être fait en parallèle de la réaction d'estérification qui se passe. On va donc titrer la même quantité d'acide sulfurique que celle utilisée dans la réaction d'estérification. Dans un erlenmeyer de 100 ml, contenant environ 15 ml d'eau distillée et quelques gouttes de phénolphthaléine, on pèse donc 0.5 g d'acide sulfurique. On titre avec la solution de NaOH_{aq} de concentration 1mol/L.

(Mettre le dessin légendé du montage avec les compositions des solutions).

Le volume mesuré devra être soustrait au deuxième titrage.

Le deuxième travail de préparation avait permis de conclure que ce 2ème titrage doit se faire sur une partie du mélange réactionnel (afin d'avoir un volume de NaOH_{aq} cohérent avec les burettes disponibles de 25 ou 50 mL, et aussi afin de pouvoir répéter le titrage. En général, il faut au moins 3 titrages pour obtenir une valeur moyenne).

Ne connaissant pas le volume final dans le ballon, on va travailler avec la masse et en prendre une fraction (= masse ballon après réaction - masse ballon à vide avec les pierres à distiller).

Par titrage, on va déterminer combien de moles de NaOH_{aq} sont nécessaires pour neutraliser les 2 acides du mélange réactionnel. (Mettre le dessin du montage légendé du montage avec les compositions des solutions).

Dans cette fraction on aura le nombre de mole total d'acides.

On multiplie par le facteur puis on soustrait la quantité de NaOH_{aq} déterminée au 1er titrage nécessaire pour neutraliser l'acide sulfurique.

Calculs

Les calculs doivent être suffisamment développés pour qu'une personne qui vous lise comprenne le sens de chaque calcul et les unités doivent être données. Les calculs ont été corrigés en détail sur vos rapports.

Conclusion Réflexion

- La conclusion doit reprendre le but du TP et répondre aux objectifs formulés.

La constante d'équilibre de la réaction d'estérification de l'acide R-COOH avec l'alcool R'-OH est de...

- Cherchez ensuite à expliquer la signification de ce résultat.

L'équilibre a été plus déplacé vers la formation d'ester si $K > 1$. A l'état d'équilibre, la concentration en ester est supérieure à celle de l'acide et de l'alcool.

- Vous pouvez ensuite discuter la validité de ce résultat. Pensez-vous pouvoir faire confiance à ce résultat?

Afin de vérifier la validité du résultat, on pourrait répéter au moins 2 fois l'expérience, ou comparer avec un autre groupe utilisant les mêmes réactifs.

Annexe 12 : Bilan questionnaire TP traditionnel

Questionnaire TP traditionnel		13 élèves sur 19	
	Qu'attendez-vous d'un TP		
Manipuler	9	69	
jouer	1	8	
mieux comprendre la théorie du cours	12	92	
avoir une bonne note	5	38	
découvrir des techniques expérimentales	6	46	
collaborer en binôme	10	77	
autre		0	

Catégorie	Nombre d'élèves
Manipuler	9
jouer	1
mieux comprendre la théorie...	12
avoir une bonne note	5
découvrir des techniques...	6
collaborer en binôme	10
autre	0

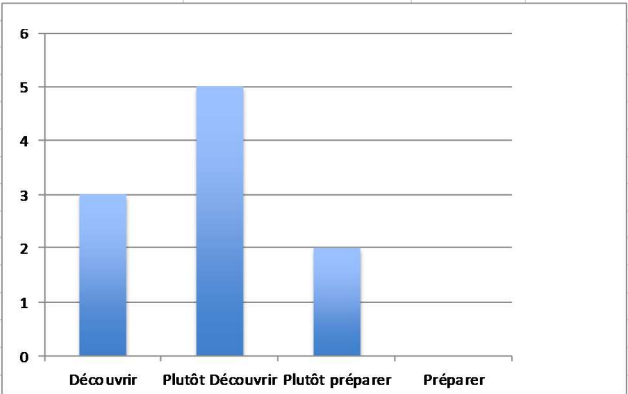
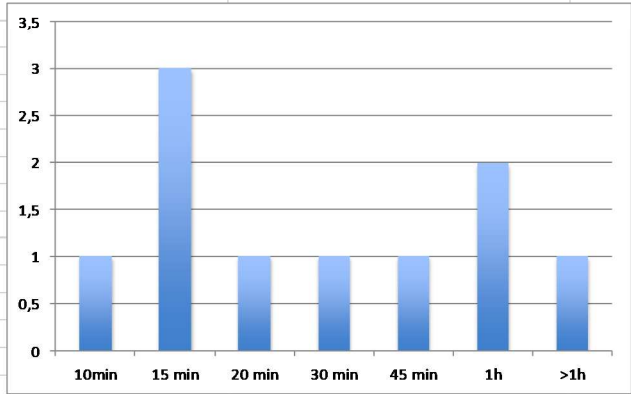
Définissez un bon travail pratique	pas de réponse	compréhension	approfondissement	explications	observation	structuré
nb d'élèves	1	8		1	4	2
% élèves	8	62		8	31	15
	apprendre	pas trop de calculs	plaisir	autonomie	illustrer	
nb d'élèves	2	1		1	3	
% élèves	15	8		8	23	
Autre remarque	pas de réponse	déscription du TP	critiques	autre approche du cours		
	9	1	clarté, concepts	2		
But du TP	pas de réponse	compréhension	production CO2/solubilité carbonate	pas compris		
	1	7	2	3		
Citez les étapes	pas de réponse	réussi	pas compris			
	4	1		7	4 ont parlé de la théorie liée aux expériences	
Compréhension du lien avec le cours	1	2	3	4		
		4	6	3		

Intérêt	pas de réponse	pas compris	facilité manip	non	oui	
	1	5	1	1	5	
Logique des étapes du TP	1	2	2,5	3	4	
	2	5	1	2	1	
Suggestion amélioration du TP	pas de réponse	explications	changer la méthode, feuille de route	plus explosive	faire moins	
	3	4	4	1	5	
Remarques	trop rapide, pas clair					
	très bien					
	variation en fonction du prof					
	perte de temps, démotivation					
	demande d'un support de cours écrit et moins d'informations à l'oral					
	faire moins					

Annexe 13 : Bilan questionnaire TP préparé

Questionnaire TP préparé	10 élèves sur 19													
But du TP	pas de réponse		compris											
	1		9											
Etapas	pas de réponse		compris		pas compris									
	2		7		1									
Compréhension du lien avec le cours	1		2		3		4							
			2		5		3							
préparation=aide à la compréhension	1		2		2,5		3		4					
	1		5		1		2							
prêt le jour du TP	1		2		2,5		3		4					
	2		7		1									
Découverte vs préparation	Découvrir		Plutôt Découvrir		Plutôt préparer		Préparer							
	3		5		2									
Difficulté de la préparation	1		2		3		4							
			2		6		2							
Appréciation concernant la préparation	1		2		3		4							
	1		6		3									
temps passé	10min	15 min	20 min	20 min	30 min	45 min	1h	>1h						
	1		3		1	1	1	2	1					
plus grande difficulté	commencer le TP		comprendre le début		comprendre la démarche		la préparation		comprendre quoi/prquoi		le TP		précision	
	1		1		1		2		1		1		3	

propositions de changement	pas de réponse	plus d'explications au début	feuille de route précise pour démarrer	plus d'explications et guidage	préparation plus simple			
	3	1	1	4	1			
remarques	cours pas compréhensible difficile de se souvenir de tous les TPs difficile de se projeter au TP							
Temps préparation moyenne/élève	285							
	28,5							



Annexe 14 : Résultats d'observation des élèves

TP traditionnel											
		Motivation au démarrage	Intêret	Autonomie pour le montage	Motivation pendant le TP	Préparation	Autonomie pour leur expérience	Compréhension	Démarche réflexive	Jugement critique sur le déroulement du TP	
Groupe 1	Enzo/Pierre	4	3	4	4		3	4	3	2	
Groupe 2	Priyanka/Audrey	2	3	3	3		3	3	2,5	2	
Groupe 3	Marine/Anastasia	2	1,5	2	2		2	2	2	1,5	
Groupe 4	Marie/Suzanna	2	2	3	2		2	2	2,5	1,5	
Groupe 5	Natacha/Maud	3	3	4	3		3	2,5	3,5	2	
Groupe 6	Maxime/Maude	3	2	2	3		2	2	1,5	1,5	
	Marilou/Corenthin	2	2	3	3		1,5	1,5	1,5	1,5	
Groupe 7	Alistair/Léonard	3	2	2	3		2,5	2	1,5	2	
Groupe 8	Fabio/Darius/Antoine	2	3	2	3		3	2,5	2	2	
		2,56	2,39	2,78	2,89	#DIV/0!	2,44	2,39	2,22	1,78	
TP Préparé											
		Motivation au démarrage	Intêret	Autonomie pour le montage	Motivation pendant le TP	Préparation	Autonomie pour leur expérience	Compréhension /réflexion	Démarche réflexive	Jugement de leur résultat dans le rapport	sur 6
Groupe 1	Enzo/Pierre	1,5	2	4	3,5	1	3,5	2,5	2,5		5,0
Groupe 2	Priyanka/Audrey	2,5	1	4	3,5	1,5	3,5	2	2		4,8
Groupe 3	Marine/Anastasia	2,5	1	4	3,5	2	4	2,5	2,5		5,3
Groupe 4	Marie/Suzanna	1,5	1	3	2,5	1	2,5	1,5	1,5		3,5
Groupe 5	Natacha/Maud	3	2	4	4	2,5	4	3,5	3,5		5,8
Groupe 6	Maxime/Maude	1	1	3	2,5	1	3	1,5	1,5		3,8
Groupe 7	Corentin/Alistair/Léonard	1,5	1	4	3	1	4	2,5	2,5		5,3
Groupe 8	Fabio/Darius/Antoine	1,5	1	3	3,5	1	4	3	3		5,0
		1,88	1,25	3,63	3,25	1,38	3,56	2,38	2,38		
			tous déstabilisés				côté montage	tenir compte de l'acide sulfurique			
			forte prise en charge								