HAL
archives-ouvertes.fr

# Comment accompagner l'élève vers la réussite dans la tâche de conception d'un protocole ?

Philippe Astor

▶ **To cite this version:**

Philippe Astor. Comment accompagner l'élève vers la réussite dans la tâche de conception d'un protocole ?. Sciences de l'Homme et Société. 2017. <dumas-01993682>

**HAL Id: dumas-01993682**
**https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01993682**

Submitted on 25 Jan 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Université de Bordeaux - ESPE d'Aquitaine**

**Master Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation**

Mention Second degré

Parcours Mathématiques - Sciences Physiques (CAPLP)

# Comment accompagner l'élève vers la réussite dans la tâche de conception d'un protocole ?

**Mémoire présenté par Philippe Astor**

**sous la direction de Mme Sophie Delair**

Année universitaire : 2016 - 2017

# Remerciements

J’adresse tous mes remerciements aux personnes qui m’ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce mémoire professionnel.

En premier lieu, je remercie Mme Sophie Delair, professeure à l’Unité de Formation et de Recherche en Chimie de l'Université de Bordeaux, qui m’a guidé dans mes recherches et mon travail.

Je remercie M. Philippe Sergeant, professeur en mathématiques-sciences au Lycée Professionnel Henri Brulle à Libourne, qui m’a encouragé et qui a représenté un soutien précieux tout au long de cette année scolaire.

Je remercie l’ensemble des formateurs de l’ESPE d’Aquitaine, et plus particulièrement ceux qui sont en charge ou interviennent spécifiquement dans le cadre du parcours des PLP Mathématiques-Sciences, pour les nombreux échanges enrichissants et constructifs tout au long de la formation.

Enfin, je tiens à remercier l’ensemble des équipes du Lycée Professionnel Henri Brulle à Libourne pour leur accueil et pour avoir partagé leur expérience.

# Sommaire

**Remerciements** ..... **page 2**

**Sommaire** ..... **page 3**

**Introduction** ..... **page 4**

**1. Première partie : Cadre théorique** ..... **page 5**

1.1. Notion de compétence ..... page 5

1.2. Compétences et modèles d'apprentissage ..... page 7

1.3. Compétences mises en œuvre en sciences physiques et chimiques dans la voie professionnelle ..... page 10

1.4. Culture scientifique et compétences des élèves français en sciences expérimentales ..... page 13

1.5. Focus sur la tâche de conception de protocole ..... page 16

1.6. Formulation de la problématique et hypothèses ..... page 18

**2. Deuxième partie : Cadre méthodologique** ..... **page 19**

2.1. Participants ..... page 19

2.2. Procédure ..... page 19

2.3. Matériel ..... page 21

**3. Résultats et discussion** ..... **page 30**

3.1. Évolution des conceptions des élèves à propos des concepts d'acide et de base ..... page 30

3.2. Influence de la connaissance des critères sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole ..... page 33

3.3. Influence de la stratégie d'étayage sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole ..... page 37

**Conclusion et perspectives** ..... **page 43**

**Annexes** ..... **page 44**

**Bibliographie** ..... **page 55**

# Introduction

Enseignant en mathématiques-sciences en Lycée Professionnel depuis la rentrée 2016, et auparavant en Centre de Formation d'Apprentis entre décembre 2003 et août 2016, je me suis toujours interrogé sur mes pratiques pédagogiques dans le but de faire progresser mes élèves.

C'est ainsi que la réforme de la voie professionnelle en 2009, qui s'inscrit dans le cadre d'une École ayant pour ambition la réussite de tous ses élèves, a constitué pour moi un véritable tournant dans l'exercice de ma profession. En effet, depuis cette date, « *démarche d'investigation* », « *situation-problème* », « *expérimentation* », et « *compétences* » sont autant de repères qui guident mon approche pédagogique.

De ce fait, la conception de protocoles dans le cadre d'activités à caractère expérimental m'apparaît clairement comme une étape clef pour l'apprentissage et la formation d'un esprit scientifique. Cependant, le caractère complexe de cette tâche en rend difficile sa mise en œuvre par les élèves.

C'est pourquoi la problématique suivante s'est rapidement imposée à moi lorsque je me suis engagé dans la rédaction de ce mémoire professionnel :

**« Comment accompagner l'élève vers la réussite**
**dans la tâche de conception d'un protocole expérimental ? »**

Dans un premier temps, je m'attacherai à définir la notion de compétence ainsi que les modèles d'apprentissage permettant son expression en les replaçant dans le cadre spécifique de l'enseignement des sciences physiques et chimiques.

Fort de ces constats, je présenterai la problématique retenue pour ce mémoire ainsi que les hypothèses initialement formulées.

Dans un second temps, je décrirai la méthodologie employée pour vérifier mes hypothèses et répondre ainsi à la problématique.

Enfin, dans un troisième temps, j'analyserai les séances proposées aux élèves ainsi que les résultats obtenus afin de valider ou non les hypothèses émises et pouvoir ainsi répondre à la problématique formulée.

# 1. Première partie : Cadre théorique

## 1.1. Notion de compétence

Au cœur de toutes les réformes des programmes d'enseignement, notamment depuis l'introduction du socle commun de connaissances et de compétences dans la loi en 2005, la notion de compétence mérite en premier lieu d'être clarifiée à partir de quelques définitions proposées depuis la fin des années quatre-vingt.

Ainsi, à la définition première de Philippe Meirieu[1] d'une compétence comme un « *savoir identifié mettant en jeu une ou des capacités dans un champ notionnel ou disciplinaire déterminé* » succède celle de Guy Le Boterf[2] qui considère que « [la compétence] *ne réside pas dans les ressources (connaissances, capacités, etc…) à mobiliser, mais dans la mobilisation même de ces ressources. La compétence est de l'ordre du savoir-mobiliser* ».

Du point de vue de Philippe Perrenoud[3,4], « *une compétence permet de faire face à une situation complexe, de construire une réponse adaptée sans la puiser dans un répertoire de réponses préprogrammées* », ajoutant par la suite qu' « *une compétence est une capacité d'action efficace face à une famille de situations, qu'on arrive à maîtriser parce qu'on dispose à la fois des connaissances nécessaires et de la capacité de les mobiliser à bon escient, en temps opportun, pour identifier et résoudre de vrais problèmes* ».

En plus des définitions proposées ci-dessus, la notion de compétence est également au cœur des textes législatifs relatifs à l'éducation. Ainsi, dans un texte adopté en 2006, le Parlement européen[5] définit les compétences comme « *un ensemble de connaissances, d'aptitudes et d'attitudes appropriées au contexte* » et les compétences clés par celles qui sont « *nécessaires à tout individu pour*

---

1 MEIRIEU Philippe (1987). *Apprendre…oui, mais comment*. ESF éditeur.

2 LE BOTERF Guy (1994). *De la compétence…Essai sur un attracteur étrange*. Les Éditions d'Organisation.

3 PERRENOUD Philippe (1997). *Construire des compétences dès l'école*. ESF éditeur.

4 Propos recueillis par Luce BROSSARD (1999). *Construire des compétences, tout un programme ! Entrevue avec Philippe Perrenoud.* Vie pédagogique, 112.

5 Position du Parlement européen arrêtée en première lecture le 26 septembre 2006 en vue de l'adoption de la recommandation du Parlement européen et du Conseil sur les compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie disponible en téléchargement à l'adresse : http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TC&reference=P6-TC1-COD-2005-0221&language=FR

*l'épanouissement et le développement personnels, la citoyenneté active, l'intégration sociale et l'emploi* ».

Plus récemment, en France, lors de la modification du code de l'éducation par décret[6] relatif à la publication du nouveau socle commun de connaissances, de compétences et de culture en vigueur depuis la rentrée scolaire de septembre 2016, il est noté pour objectif que « *l'élève engagé dans la scolarité* [apprenne] *à réfléchir, à mobiliser des connaissances, à choisir des démarches et des procédures adaptées, pour penser, résoudre un problème, réaliser une tâche complexe ou un projet, en particulier dans une situation nouvelle ou inattendue* », une compétence étant définie comme *« l'aptitude à mobiliser ses ressources (connaissances, capacités, attitudes) pour accomplir une tâche ou faire face à une situation complexes ou inédites* ».

De ces quelques éléments de littérature se dégagent des caractéristiques communes permettant ainsi une définition de la notion de compétence comme un savoir-agir contextualisé qui requiert la mobilisation de ressources et se manifeste dans une performance, faisant écho à la définition proposée en 2007 par l'IGEN[7] :

« […] *si trouver un sens commun à la notion de compétence semble difficile, quelques traits caractéristiques se dégagent* […] :

- *une compétence repose sur la mobilisation, l'intégration, la mise en réseau d'une diversité de ressources : les ressources internes, propres à l'individu, ses connaissances, capacités, habiletés, mais aussi les ressources externes mobilisables dans l'environnement de l'individu (autres personnes, documents, outils informatiques, etc…) ;*
- *cette mobilisation des ressources s'effectue dans une situation donnée, dans le but d'agir : la compétence est nécessairement située ; pour autant, elle s'exerce dans une diversité de situations, à travers un processus d'adaptation et pas seulement de reproduction de mécanismes.* »

[6] Décret n° 2015-372 du 31 mars 2015 relatif au socle commun de connaissances, de compétences et de culture disponible en lecture à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/3/31/MENE1506516D/jo/texte

[7] IGEN (juin 2007). « Rapport n° 2007- 048 : *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis* »

On peut dès lors considérer que la compétence correspond à la mobilisation de ressources internes diversifiées (capacités, connaissances, attitudes) ou externes (documents, personnes, etc…) pour traiter de façon « satisfaisante » une situation suffisamment « complexe ». Elle peut ainsi être définie comme un « savoir agir » qui s'exerce dans des situations contextualisées et diversifiées impliquant nécessairement un processus d'adaptation et de transfert d'une situation à l'autre.

Par conséquent, il me semble désormais important de préciser le (ou les) modèle(s) d'apprentissage et approches pédagogiques qui vont permettre la pleine expression de la compétence.

## 1.2. Compétences et modèles d'apprentissage

Selon Gaston Bachelard[8], « *Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit* ».

L'acte de questionnement étant à la base de l'apprentissage, on peut dès lors s'interroger sur la part de responsabilité à accorder à l'élève vis-à-vis du savoir. Par manque d'habitude et de pratique, s'interroger, remettre en cause et en question ses connaissances ou conceptions n'est pas aisé pour un élève. Or, pour progresser, l'élève doit cesser d'être passif et spectateur pour devenir acteur de son propre apprentissage à partir de situations qui l'amènent et l'obligent à se confronter à ses propres représentations qui font souvent obstacle à l'apprentissage.

Dans le cadre des modèles d'apprentissage constructivistes et socioconstructivistes, qui donnent la priorité à l'action de l'apprenant dans la construction de son apprentissage, la démarche d'investigation et la résolution d'une tâche complexe apparaissent ainsi comme des situations d'apprentissage pertinentes permettant de développer l'autonomie des élèves et le goût pour la recherche.

Il convient donc à présent de présenter un peu plus en détail la démarche d'investigation et la résolution d'une tâche complexe.

[8] BACHELARD Gaston (2011, 1ère édition 1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Librairie philosophique J. VRIN.

### 1.1.1. Démarche d'investigation

Les préambules communs aux textes officiels concernant l'enseignement des mathématiques-sciences physiques et chimiques dans la voie professionnelle recommandent que la démarche pédagogique mise en œuvre par l'enseignant privilégie la démarche d'investigation, s'appuie sur l'expérimentation et favorise l'enseignement et l'évaluation par compétences tout au long du processus de formation. Communément, on admet que la démarche d'investigation peut être structurée par la mise en œuvre des phases rappelées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Description des différentes phases de la démarche d'investigation

| Intitulé | Tâche(s) de l'enseignant | Tâche(s) des élèves |
|---|---|---|
| **Questionnement initial** | - *Exposer et présenter une situation-problème claire en relation avec le monde réel.* | - *Prendre connaissance de la situation-problème.* |
| **Appropriation** | *sans guidance ni interventionnisme prononcés :*<br>- *Guider les élèves pour les aider à reformuler les questions.* | - *Reformuler la problématique initiale.*<br>- *Exprimer des premiers éléments de solution.* |
| **Formulation** | - *Recentrer le questionnement sur le problème à résoudre.*<br>- *Faire émerger les premiers éléments de solution.* | - *Formuler des conjectures ou des hypothèses explicatives (par écrit ou oralement ; individuellement ou par groupes).*<br>- *Proposer un protocole expérimental.* |
| **Échanges autour des propositions** | - *Animer et guider l'échange argumenté autour des propositions élaborées.* | - *Exposer et confronter ses propositions lors d'un débat argumenté.* |
| **Investigation** | - *Encadrer logistiquement les expérimentations menées par les élèves.* | - *Mettre en œuvre l'expérimentation dont l'exploitation des résultats doit concourir à valider les hypothèses formulées précédemment (ou pas).* |
| **Échanges autour des résultats** | - *Animer et guider l'échange argumenté autour des conclusions communiquées.* | - *Communiquer et confronter ses conclusions lors d'un débat argumenté.* |
| **Acquisition et structuration** | - *Formuler l'acquisition et la structuration des connaissances mises en évidence.* | - *Faire le lien entre la situation-problème initiale et les nouvelles connaissances acquises.* |

Si elle laisse bien apparaître le rôle actif de l'élève, la description des tâches ci-contre montre également l'importance des interactions entre pairs ou élève(s)-enseignant dans la situation d'apprentissage.

### 1.1.2. Tâche complexe

Autre situation pédagogique pertinente, la tâche complexe a été définie, dans le cadre du séminaire « Le livret personnel de compétences au collège » du 4 mai 2010 organisé par la DGESCO, comme une tâche mobilisant des ressources internes (culture, capacités, connaissances, vécu...) et externes (aides méthodologiques, protocoles, fiches techniques, ressources documentaires...) faisant donc partie intégrante de la notion de compétence. Mise à contribution pour inciter l'élève à utiliser des connaissances, capacités et attitudes déjà « mises en place » mais aussi pour en acquérir de nouvelles, la tâche complexe est ainsi une occasion pour construire une ou des compétences mais aussi en évaluer la maîtrise.

En effet, lors de la mise en œuvre d'une tâche complexe, on place l'élève dans une situation scénarisée et motivante dont la consigne est à la fois globale et précise (on ne donne aucune procédure, mais l'élève doit comprendre ce qu'on attend de lui). Maîtriser une situation complexe ne se résume donc ni à appliquer une procédure automatique, ni à suivre une succession de tâches simples. Au contraire, la tâche complexe nécessite que l'élève prenne l'initiative d'élaborer une démarche personnelle de résolution en mobilisant des ressources appropriées, constituant ainsi un outil privilégié pour mettre en œuvre et évaluer des compétences.

La démarche d'investigation comme la tâche complexe s'inscrivent donc pleinement dans la pratique d'une pédagogie active avec non seulement pour objectif de construire des connaissances et des capacités à partir de situations-problèmes motivantes et proches de la réalité, mais aussi d'induire des compétences méthodologiques liées à l'investigation scientifique.

Dans le cadre de l'enseignement des sciences physiques et chimiques, les activités à caractère expérimental constituent naturellement des situations d'apprentissage favorables à la mise en place de ces démarches pédagogiques. C'est pourquoi nous allons désormais plus particulièrement nous intéresser aux compétences mises en œuvre lors de ces activités.

## 1.3. Compétences mises en œuvre en sciences physiques et chimiques dans la voie professionnelle

Respectivement en mai 2010 et en octobre 2011, la DGESCO[9] et l'IGEN[10] retiennent les six domaines de compétences suivants dans le cadre d'activités expérimentales en physique-chimie :

Tableau 2. Définition des domaines de compétences dans le cadre d'activités expérimentales

| Code retenu | Domaine de compétences | Explicitation du domaine de compétences |
|---|---|---|
| **APP** | S'approprier | L'élève s'approprie la problématique du travail à effectuer et l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée). |
| **ANA** | Analyser-Raisonner | L'élève analyse ou propose un protocole, explique ou propose un modèle, choisit et argumente sur les modalités d'acquisition et de traitements des mesures. |
| **REA** | Réaliser | L'élève met en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. |
| **VAL** | Valider | L'élève identifie les sources d'erreurs, estime l'incertitude sur les mesures effectuées et analyse de manière critique la cohérence des résultats obtenus. |
| **COM** | Communiquer | L'élève explique, représente, commente sous forme écrite et/ou orale, formule des conclusions. Il doit faire preuve d'écoute vis à vis du professeur et de ses pairs. Il échange et confronte son point de vue. |
| **AUTO** | Être autonome, faire preuve d'initiative | L'élève fait preuve d'autonomie, de curiosité, prend des initiatives et s'implique dans les activités expérimentales. |

[9] DGESCO (mai 2010). « *Former et évaluer par compétences dans le cadre des activités expérimentales* »

[10] IGEN (octobre 2011). « Rapport n° 2011-111 : *Activités expérimentales en physique-chimie : enjeux de formation* »

Dans le cadre de la réforme de la voie professionnelle, et en lien direct avec les démarches pédagogiques préconisées précédemment présentées, les programmes officiels des mathématiques-sciences physiques et chimiques des classes préparatoires au certificat d'aptitude professionnelle[11] et au baccalauréat professionnel[12] font référence à la mise en œuvre de ces mêmes compétences à caractère expérimental qui doivent être évaluées tout au long de la formation. À partir du rapport[10] n°2011-111 de l'IGEN d'octobre 2011 et des programmes officiels de la voie professionnelle[11,12], il est ainsi possible de décrire les compétences à caractère expérimental par la liste (non exhaustive) de capacités et d'aptitudes suivante :

Tableau 3. Exemples de capacités et aptitudes mobilisables par domaine de compétences à caractère expérimental

| Domaine de compétences | Capacités et aptitudes mobilisables |
|---|---|
| **S'approprier** | - *rechercher, extraire et organiser l'information utile,*<br>- *comprendre la problématique du travail à réaliser,*<br>- *connaître le vocabulaire, les symboles, les grandeurs, les unités mises en œuvre.* |
| **Analyser-Raisonner** | - *analyser une situation avant de réaliser une expérience ou de résoudre un problème,*<br>- *émettre une conjecture, formuler une hypothèse,*<br>- *choisir un protocole ou le matériel / dispositif expérimental,*<br>- *proposer une modélisation, une méthode de résolution, un protocole expérimental.* |
| **Réaliser** | - *organiser son poste de travail,*<br>- *mettre en œuvre un protocole expérimental,*<br>- *utiliser le matériel choisi ou mis à sa disposition,*<br>- *manipuler avec assurance dans le respect des règles élémentaires de sécurité.* |
| **Valider** | - *exploiter et interpréter des observations, des mesures,*<br>- *vérifier les résultats obtenus,*<br>- *valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi …* |
| **Communiquer** | - *rendre compte d'observations et des résultats des travaux réalisés, à l'oral ou à l'écrit,*<br>- *présenter, formuler une conclusion, expliquer, représenter, argumenter, commenter.* |

11 BOEN n°8 du 25 février 2010

12 BOEN spécial n°2 du 19 février 2009

L'évaluation d'un domaine de compétences s'appuie, pour chaque capacité ou aptitude mobilisée, sur des observables préalablement définis et correspondant à ce que l'évaluateur doit regarder pour en apprécier le degré de maîtrise.

Tableau 4. Exemple d'évaluation d'un domaine de compétences avec capacité expérimentale mobilisée et observables (liste non exhaustive)

| Domaine de compétences | Capacité | Observables |
|---|---|---|
| **Réaliser** | *Mettre en œuvre un protocole expérimental* | - *Organisation du poste de travail.*<br>- *Utilisation du matériel choisi ou à disposition.* |

Dans la voie professionnelle ces compétences font l'objet d'une grille nationale d'évaluation présentée en annexe 1 (page 44/55) : tout en conservant une note chiffrée, l'évaluation des compétences des élèves s'effectue par niveau d'acquisition (« *acquis* » ; « *partiellement acquis* » ; « *non acquis* ») afin de mettre davantage en valeur leurs compétences et de pouvoir les accompagner au mieux dans leur parcours de formation. Par ailleurs, on notera que, dans le cadre de la rénovation en cours de nombreux BTS, les nouveaux référentiels précisent en préambule que l'enseignement des sciences physiques et chimiques vise à renforcer la maîtrise de la démarche scientifique à partir d'activités expérimentales mobilisant les mêmes six domaines de compétences précédemment présentés, à la différence que le degré de maîtrise de chacune est apprécié selon quatre niveaux définis de la façon suivante :

| | |
|---|---|
| **Niveau A** | *L'étudiant a réalisé l'ensemble du travail demandé de manière satisfaisante selon les critères précisés dans le sujet. En cas de difficulté qu'il sait identifier et formuler par lui-même, l'étudiant sait tirer profit de l'intervention de l'examinateur pour apporter une réponse par lui-même.* |
| **Niveau B** | *L'étudiant a réalisé l'ensemble du travail demandé de manière satisfaisante selon les critères précisés dans le sujet mais avec quelques interventions de l'examinateur concernant des difficultés ou erreurs non identifiées par l'étudiant lui-même mais résolues par lui une fois soulignées par l'examinateur :*<br>*- après avoir réfléchi suite à un questionnement ouvert mené par l'examinateur ;*<br>*- ou par l'apport d'une solution partielle.* |
| **Niveau C** | *L'étudiant reste bloqué dans l'avancement des tâches demandées, malgré les questions posées par l'examinateur. Des éléments de solutions lui sont apportés, ce qui lui permet de poursuivre les tâches.* |
| **Niveau D** | *L'étudiant n'a pas été en mesure de réaliser les tâches demandées malgré les éléments de réponses apportés par l'examinateur. Cette situation conduit l'examinateur à fournir une solution complète de la tâche.* |

Les compétences mises en œuvre en sciences physiques et chimiques ayant été définies, on peut dès lors s'interroger sur la maîtrise de celles-ci par nos élèves. La suite de cet écrit apportera ainsi des éléments de réponse sur la base des résultats des élèves français aux évaluations nationales et internationales.

## 1.4. Culture scientifique et compétences des élèves français en sciences expérimentales

Au niveau international, la culture scientifique des élèves français âgés de 15 ans est évaluée tous les trois ans depuis 2000, sous l'égide de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), dans le cadre de l'enquête internationale PISA (Programme for International Student Assessment ou Programme international pour le suivi des acquis des élèves). Dans l'enquête PISA 2015[13], la culture scientifique renvoie « *à la capacité des individus de s'engager dans des questions en rapport avec la science en tant que citoyens réfléchis. Les individus compétents en sciences sont prêts à s'engager dans des raisonnements sensés à propos de la science et de la technologie* ». Pour se faire, ils doivent mobiliser les trois types de compétences suivantes :

- **« Expliquer des phénomènes de manière scientifique »** : cette compétence englobe les capacités d'un individu à reconnaître, proposer et évaluer des thèses expliquant des phénomènes naturels et technologiques.
- **« Évaluer et concevoir des recherches scientifiques »** : l'individu qui développe cette compétence est capable de décrire et d'évaluer des études scientifiques et de proposer des moyens de répondre à des questions de manière scientifique.
- **« Interpréter des données et des faits de manière scientifique »** : lorsqu'un individu met en œuvre cette compétence, il analyse et évalue des données, des thèses ou des arguments présentés sous différentes formes et peut en tirer des conclusions appropriées.

Malgré un score moyen de la France globalement supérieur à la moyenne de l'OCDE, l'interprétation des résultats de l'enquête PISA 2003 par la DEP[14] (Direction de l'évaluation et de la prospective) avait mis en avant que la phase d'investigation, de recherche et de formulation d'hypothèses (étapes initiales d'une démarche scientifique) posait problème aux élèves français.

[13] OCDE (2016). « *Cadre d'évaluation et d'analyse de l'enquête PISA 2015 : Compétences en sciences, en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en matières financières* ». Éditions OCDE.

[14] DEP (décembre 2004). « Note d'Évaluation 04-12 - *Les élèves de 15 ans : Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2003* »

Si depuis 2006 le score moyen de la France concernant la culture scientifique se stabilise dans la moyenne des pays de l'OCDE, une récente note d'information de la DEPP[15] (Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance) laisse apparaître, à l'aune des résultats de l'enquête PISA 2015, qu'un élève français sur cinq en moyenne possède un faible niveau en culture scientifique, que les élèves français interprètent mieux les données et les faits que la moyenne des pays de l'OCDE et sont meilleurs dans les connaissances procédurales (utilisées par les scientifiques pour produire les connaissances) que dans les connaissances du contenu.

Parallèlement, au niveau national, des bilans des acquis des élèves en fin d'école et en fin de collège sont établis dans le cadre du CEDRE (Cycle des évaluations disciplinaires réalisées sur échantillons) depuis 2003. Ainsi, les performances des élèves français en sciences expérimentales en fin de collège ont depuis cette date été évaluées à deux reprises (2007 et 2013) sur la base de l'évaluation des cinq compétences suivantes définies par la DEPP[16] :

- **« Montrer des connaissances »** (restituer ou reconnaître une notion, une définition, une loi) ;
- **« Mobiliser des connaissances »** (mobiliser ses connaissances en situation) ;
- **« Mener une démarche scientifique »** : (formuler un problème scientifique à partir d'une situation donnée, formuler une hypothèse, proposer une expérience, élaborer un protocole, établir une relation de cause à effet, conclure sur la validité d'une hypothèse, conclure à partir de résultats) ;
- **« Manipuler et expérimenter »** (mettre en œuvre ou adapter un protocole, établir un résultat expérimental, exprimer un résultat avec une unité adaptée, écarter une valeur erronée) ;
- **« Exprimer et exploiter des données »** (analyser des résultats expérimentaux, exploiter un texte, exprimer et/ou exploiter des résultats sous différentes formes : schéma, dessin scientifique, modèle mathématique, tableau, graphique).

[15] DEPP (décembre 2016). « *Note d'Information n°37 - Les élèves de 15 ans en France selon PISA 2015 en culture scientifique : des résultats stables, toujours marqués par de fortes inégalités* »

[16] DEPP (février 2015). « *Rapport technique CEDRE 2013 sciences expérimentales en fin de collège* »

Les deux notes d'information publiées par la DEPP[17,18] suite à l'évaluation (en 2007 puis 2013) des compétences des élèves français en sciences expérimentales en fin de collège montrent que les performances sont relativement stables et mettent notamment en évidence les points suivants :

- les pourcentages de réussite des compétences « Montrer des connaissances » et « Exprimer et exploiter des données » sont supérieurs à ceux des compétences « Mobiliser des connaissances » et « Mener une démarche scientifique ». Ainsi, la mobilisation et le transfert des connaissances en situation ainsi que la pratique d'une démarche scientifique apparaissent clairement comme les compétences dont la mise en œuvre semble poser le plus de difficultés aux élèves français en fin de collège ;
- concernant la compétence « Mener une démarche scientifique » en particulier, 10 à 11% des élèves se montrent très compétents dans les différentes étapes alors que 15% des élèves ne maîtrisent aucune de ces étapes et ne sont donc pas compétents pour mener une démarche scientifique.

Enfin, pour terminer cette analyse concernant les compétences des élèves français en sciences, il est important de préciser que l'évaluation des sciences dans le cadre du CEDRE possède, par rapport aux évaluations internationales PISA, la spécificité de prendre en compte l'évaluation des capacités expérimentales des élèves en proposant non seulement une épreuve « papier-crayon » mais aussi une épreuve de type « travaux pratiques ». Il est donc particulièrement important de prendre en compte et d'analyser séparément les résultats issus de ce dernier type d'épreuve. Ainsi, en 2013 comme en 2007, le taux de réussite moyen aux épreuves pratiques est relativement important (environ 70%). Cependant, ce taux de réussite dépend fortement de la nature de la tâche demandée aux élèves. En effet, les taux de réussite sont élevés (de l'ordre de 80% à 95%) lorsqu'il s'agit de la mise en œuvre d'un protocole et beaucoup plus faibles (de l'ordre de 30% à 50%) lorsqu'il s'agit de son élaboration, tâche qui semble donc poser problème à nos élèves.

Le paragraphe suivant permettra ainsi, à partir de la définition d'un protocole expérimental, de mettre en évidence les raisons qui peuvent expliquer ces difficultés.

---

17 DEPP (janvier 2011). « Note d'Information 11-06 - *Les compétences des élèves en sciences expérimentales en fin de collège* »

18 DEPP (juillet 2014). « *Note d'Information n°28 - CEDRE 2013 - Sciences en fin de collège : stabilité des acquis depuis six ans* »

## 1.5. Focus sur la tâche de conception de protocole

En sciences physiques et chimiques, « expérimenter » sous-entend manipuler, mais surtout mettre la manipulation au service de l'élaboration ou de la validation d'une hypothèse formulée au préalable, de la mise à l'épreuve ou de la construction d'un modèle. Pour ce faire, l'élève suit un protocole expérimental dont la définition reprise dans cet écrit est celle donnée par Cédric d'Ham[19] : « *Un protocole expérimental est un objet qui décrit une expérimentation. Il définit, selon une organisation temporelle et/ou logique, la liste des tâches expérimentales à exécuter. Chaque tâche est caractérisée par un objectif, une procédure et un ensemble de paramètres dont les valeurs doivent être fixées. Le niveau de détail de description du protocole est lié au niveau de connaissance de la personne qui l'exécute* ».

Comme nous l'avons vu précédemment, l'activité de conception d'un protocole expérimental constitue une tâche « compliquée » pour les élèves. C'est pourquoi, dans certains modèles ou situations d'apprentissage, le protocole expérimental est directement fourni à l'élève qui prend alors le rôle de simple exécutant de la manipulation, faisant perdre par la même occasion du sens à l'activité expérimentale proposée par l'enseignant. L'objectif de toute tâche de conception d'un protocole expérimental est de produire un objet (le protocole) qui décrit un autre objet (l'expérimentation) en faisant preuve de créativité et d'anticipation. Sa difficulté de réalisation réside dans sa nature même au sens où les hypothèses doivent être traduites en procédures permettant de produire des observables qui permettront de les éprouver.

De par son caractère intégrant (nécessite de prendre en compte les données initiales d'une problématique à résoudre, les hypothèses formulées en réponse à cette problématique et les conditions matérielles dans lesquelles s'inscriront les activités manipulatoires à venir) et mobilisant plusieurs compétences à caractère expérimental, toute tâche de conception d'un protocole expérimental peut être considérée comme une tâche complexe en soi et constitue une étape clef lors de toute activité pédagogique qui s'inscrit dans le cadre d'une démarche d'investigation.

[19] D'HAM Cédric (janvier 2009). « *La construction de protocole expérimental : objet et moyen d'apprentissage* ». Cahiers pédagogiques, 469, « Faire des sciences physiques et chimiques »

L'évaluation (et l'auto-évaluation) d'une tâche de conception d'un protocole expérimental s'appuie sur trois critères en lien avec sa fonction de processus d'acquisition de données, ses conditions d'exécution et sa forme : pertinence, exécutabilité et communicabilité. Les trois critères d'évaluation retenus et les dimensions observables correspondantes sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5. Critères d'évaluation d'une tâche de conception d'un protocole expérimental

| Critère | Observables |
|---|---|
| **Pertinence** | - *Pertinence externe : le choix des grandeurs mesurées est-il cohérent vis-à-vis des hypothèses formulées ? (évaluation de la pertinence au niveau du lien hypothèses-données visées).*<br>- *Pertinence interne : la stratégie d'acquisition des mesures ou données (choix des méthodes et matériels) conduit-elle bien à l'acquisition des données visées ?* |
| **Exécutabilité** | - *Complétude : le protocole décrit-il tous les paramètres, matériels et données des tâches à exécuter ?*<br>- *Structuration : l'ordre d'exécution des actions du protocole est-il défini avec une structuration temporelle et/ou logique ?*<br>- *Observation des contraintes matérielles et temporelles : le protocole est-il réalisable avec le matériel spécifié, disponible et dans le temps imparti ?* |
| **Communicabilité** | - *Niveau et qualité des éléments d'explicitation : le niveau de détail est-il adapté et suffisant à l'exécution par un lecteur cible ?*<br>- *Organisation de l'information : l'organisation des informations contenues dans le protocole en facilite-t-elle la lecture ?* |

Les critères ainsi définis mettent en évidence l'importance de la tâche de conception de protocole au regard de la mise en œuvre des compétences à caractère expérimental et justifient mon choix de problématique dans la suite de ce mémoire.

## 1.6. Formulation de la problématique et hypothèses

Au cœur de nombreux débats depuis plusieurs années (sur les statuts de la « note » ou de la « moyenne » par exemple), l'approche par compétences est pourtant un sujet de réflexion, d'inspiration et d'analyse de sa pratique de premier intérêt pour tout enseignant qui souhaite s'inscrire dans le cadre d'une École ayant pour ambition la réussite de tous ses élèves, à partir de situations pédagogiques favorisant la construction du savoir par l'élève-même et d'une évaluation au service de ses apprentissages. Ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, les instructions officielles concernant l'enseignement des sciences physiques et chimiques dans la voie professionnelle encouragent une démarche pédagogique qui privilégie la démarche d'investigation et l'expérimentation dans une approche plus globale d'enseignement et d'évaluation par compétences.

« Mes élèves sont-ils compétents ? », « Si non, comment puis-je les accompagner à le devenir ? » sont, parmi d'autres, des questions qui ont ainsi guidé mon choix de problématique pour la rédaction de ce mémoire :

**« Comment accompagner l'élève vers la réussite**
**dans la tâche de conception d'un protocole expérimental ? »**

Cette problématique m'amène à proposer les hypothèses suivantes :

- la connaissance des critères d'évaluation d'une tâche de conception d'un protocole expérimental permet à l'élève de mieux réussir la tâche demandée ;
- la proposition d'étayages en cours de séquence permet à l'élève de surmonter les obstacles liés à la conception d'un protocole expérimental.

Enfin, j'ai choisi d'illustrer mes propos à partir de travaux qui essaieront également d'apporter des éléments de réponse à une question connexe : « Comment faire en sorte que les élèves surmontent les obstacles liés aux concepts d'acide et de base ? ». En effet, l'étude des conceptions des élèves à propos de ces concepts ont fait l'objet de travaux en didactique des sciences qui ont notamment mis en évidence la prédominance des propriétés perceptibles dans la définition (ou sa justification) du caractère acido-basique d'un produit chimique d'usage courant.

Nous allons désormais décrire la méthodologie employée afin de répondre à la problématique envisagée.

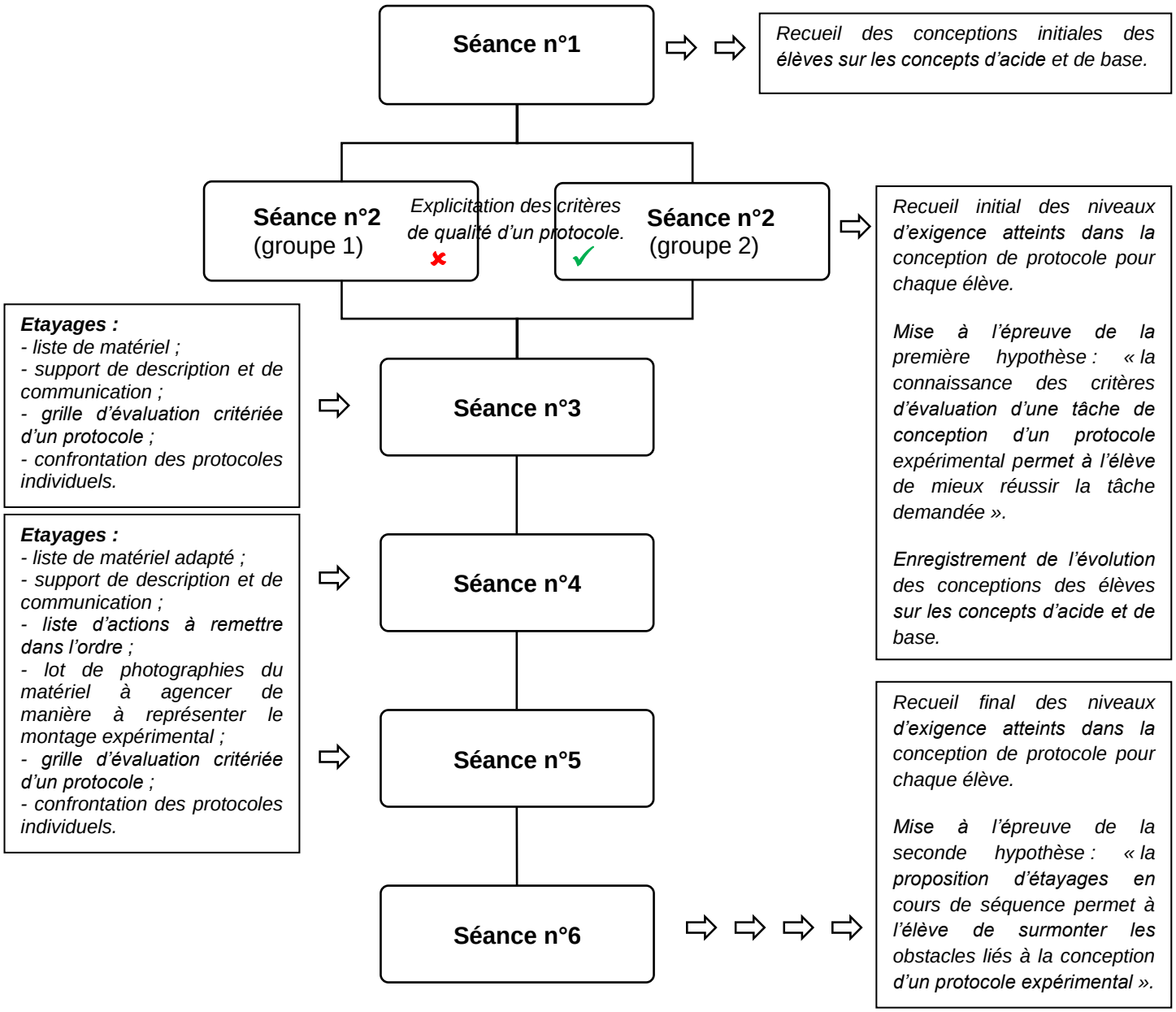
# 2. Deuxième partie : Cadre méthodologique

## 2.1. Participants

Actuellement PLP stagiaire en mathématiques-sciences au Lycée Professionnel Henri Brulle à Libourne, je suis notamment chargé de l'enseignement des sciences physiques et chimiques auprès de dix-huit élèves d'une classe de première professionnelle TMA (Technicien Menuisier Agenceur) depuis la rentrée 2016. Ces élèves sont répartis en deux groupes de tailles inégales (onze élèves pour le premier groupe contre sept pour le second) pour des séances d'enseignement des sciences physiques et chimiques d'une durée prévisionnelle de deux heures prévues au laboratoire de l'établissement. Pour la plupart déjà présents au sein de l'établissement au cours de l'année scolaire précédente (soit en classe de seconde professionnelle, soit en classe terminale de certificat d'aptitude professionnelle), ils sont donc déjà familiers de l'enseignement des sciences physiques et chimiques en démarche d'investigation et de l'évaluation des compétences à caractère expérimental. Ces raisons m'ont amené à choisir ces deux groupes pour la mise en œuvre de l'expérimentation à partir des modules HS2 (« Les liquides d'usage courant : que contiennent-ils et quels risques peuvent-ils présenter ?) et CME5-2 (« Qu'est-ce qu'une pluie acide ? ») respectivement inscrits aux troncs communs de la classe de seconde professionnelle et du cycle terminal du programme officiel de sciences physiques et chimiques.

## 2.2. Procédure

Afin de répondre à la problématique « Comment accompagner l'élève vers la réussite dans la tâche de conception d'un protocole expérimental ? » formulée à la fin de la partie précédente et de vérifier les hypothèses émises, j'ai choisi de mettre en place le dispositif schématisé ci-après à partir d'une séquence de six séances prévues avec chaque groupe pendant les mois de mars et d'avril de l'année scolaire en cours.




Les activités proposées lors des séances 2 à 5 servent de support pour l'appropriation des critères de qualité d'un protocole et la proposition d'étayages de la tâche de conception d'un protocole. Les activités des séances 2, 3, 5 et 6 sont évaluées par l'enseignant dans le but de mesurer les progrès des élèves dans la tâche de conception de protocole.

La mise à l'épreuve de la première hypothèse (« *la connaissance des critères d'évaluation d'une tâche de conception d'un protocole expérimental permet à l'élève de mieux réussir la tâche demandée* ») s'effectue à partir de la comparaison, entre les deux groupes, des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère (pertinence, exécutabilité, communicabilité) lors de la conception du protocole expérimental de la seconde séance.

La mise à l'épreuve de la seconde hypothèse (« *la proposition d'étayages en cours de séquence permet à l'élève de surmonter les obstacles liés à la conception d'un protocole expérimental* ») s'effectue à partir de la comparaison, pour chaque élève, des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère d'un protocole établis en début et en fin de séquence.

Les niveaux d'exigence des critères de qualité d'un protocole expérimental sont établis à l'aide de la grille d'évaluation décrite dans la partie suivante (cf. paragraphe « 2.3.7. Proposition d'une grille d'évaluation d'un protocole » page 29/55).

À noter que la seconde séance permet également d'apporter des éléments de réponse liés à la question connexe « Comment faire en sorte que les élèves surmontent les obstacles liés aux concepts d'acide et de base ? » par la comparaison entre les hypothèses formulées à la problématique posée et l'interprétation des résultats expérimentaux.

Pour l'expérimentation mise en place, les données sont recueillies à partir :

- des traces écrites « élèves » (supports pédagogiques ou tableau) ;
- de débats de classe dont certains sont enregistrés à l'aide d'un ordinateur portable puis transcrits à l'aide de la webapp « oTranscribe » disponible en open source.

## 2.3. Matériel

### 2.3.1. Objectifs de la séquence et intégration dans la progression

L'objectif premier de la séquence proposée est de sensibiliser le public d'une classe de première professionnelle au développement durable à partir d'activités liées aux origines des pluies acides et à leurs conséquences sur notre environnement et qui mettent en jeu à la fois des connaissances et capacités des modules HS2 (« Les liquides d'usage courant : que contiennent-ils et quels risques peuvent-ils présenter ?) et CME5-2 (« Qu'est-ce qu'une pluie acide ? ») inscrits au programme officiel de sciences physiques et chimiques des classes de baccalauréat professionnel.

Les capacités visées sont ainsi libellées :

- lire et exploiter les informations données sur l'étiquette d'un produit chimique de laboratoire ou d'usage domestique (pictogrammes, composition …) ;
- identifier les règles et dispositifs de sécurité adéquats à mettre en œuvre ;
- réaliser une manipulation ou une expérience après avoir recensé les risques encourus et les moyens à mettre en œuvre ;
- identifier expérimentalement des ions en solution aqueuse ;
- mettre en évidence la présence de dioxyde de carbone en solution ;
- mesurer le pH d'une solution ;
- reconnaître expérimentalement le caractère acide ou basique ou neutre d'une solution / déterminer le caractère acido-basique d'une solution dont le pH est connu.

La séquence proposée s'inscrit dans une progression spiralée. Ainsi, il n'a pas été prévu d'aborder la totalité du module CME5-2, notamment les capacités et connaissances liées au titrage d'une solution par un dosage acide-base qu'il est prévu d'aborder ultérieurement au cours de l'année scolaire (pour la plupart des élèves du groupe-classe, ces capacités ont d'ailleurs déjà été abordées lors de l'année scolaire précédente en classe de seconde professionnelle).

Il me convient dès lors de décrire chacune des séances mises en œuvre, les supports pédagogiques utilisés étant proposés en annexe.

### 2.3.2. Séance n°1

Les deux activités choisies pour cette séance ont été élaborées puis présentées dans le cadre du module « Histoire des Sciences et épistémologie » suivi dans mon parcours de formation en Master MEEF lors de l'année universitaire en cours.

Pour cette première séance, certains objectifs sont assignables à l'Histoire des Sciences :

- former les élèves à la démarche scientifique ;
- mettre en évidence le caractère évolutif des concepts scientifiques dans le temps ;
- considérer l'erreur autrement ;
- prendre la mesure des obstacles épistémologiques liés aux savoirs à enseigner.

Dans une première phase, il est proposé aux élèves la réalisation d'une activité d'analyse de documents intitulée « De Boyle à Beckman » (cf. pages 1 & 2 du support pédagogique présenté en annexe 2 à partir de la page 45/55) à partir de textes scientifiques et historiques, et d'un questionnement préétabli.

Au fur et à mesure de celui-ci, les élèves sont ainsi invités à extraire du corpus de documents des informations pertinentes au sujet de l'évolution des concepts et techniques concernant les acides, les bases et la notion de pH de la seconde moitié du dix-septième siècle à la première moitié du vingtième siècle.

Dans une seconde phase, les élèves sont ensuite confrontés à une tâche complexe intitulée « Dans la peau de…William Lewis ! » (cf. page 3 du support pédagogique présenté en annexe 2 à partir de la page 45/55).

La situation-problème proposée demande à l'élève de classer quatre produits d'usage courant (boisson gazeuse au cola, déboucheur de canalisations, Eau de Javel et jus de citron) du plus acide au plus basique sachant que l'on dispose également d'un extrait de jus de chou rouge, dont l'intérêt en tant qu'indicateur coloré naturel a été présenté lors de l'activité d'analyse de documents précédente.

En raison du temps imparti, et de la place finale de cette seconde activité dans la séance, seules les étapes d'appropriation de la problématique et de formulation d'hypothèses (concernant la comparaison des produits suivant leur caractère acido-basique) sont proposées aux élèves. L'étape de formulation d'hypothèses (accompagnées de leurs justifications) donne lieu à un débat de classe qui est enregistré afin de faire émerger et recueillir les conceptions initiales des élèves concernant les concepts d'acide et de base.

### 2.3.3. Séance n°2

Très logiquement, la seconde séance s'articule autour de la résolution de la tâche complexe « Dans la peau de…William Lewis ! » initiée une semaine auparavant.

Après rappel de l'ensemble des hypothèses formulées par les élèves en fin de séance précédente, la tâche principale proposée aux élèves concerne la conception et la mise en œuvre d'un protocole expérimental permettant de classer quatre produits d'usage courant (boisson gazeuse au cola, déboucheur de canalisations, Eau de Javel et jus de citron) du plus acide au plus basique à l'aide d'un extrait de jus de chou rouge.

Pour résoudre le problème proposé, les élèves doivent :

- soumettre chaque produit d'usage courant à un test au jus de chou rouge utilisé en tant qu'indicateur coloré acido-basique ;
- en déduire, pour chaque produit, un intervalle de pH en fonction de la couleur prise par le jus de chou rouge ;
- classer les quatre produits testés du plus acide au plus basique à partir des intervalles de pH retenus pour chacun d'eux.

Déjà sensibilisés à la notion de conception depuis le début de l'année scolaire, les élèves se voient rappeler, avant sa réalisation, les critères de qualité d'un protocole expérimental de la façon suivante :

> **« Un protocole expérimental doit être :**
> ***pertinent* pour bien prouver ce que l'on doit montrer,**
> ***précis* pour pouvoir être reproduit à l'identique,**
> ***communicable* pour être lu et compris par tous. »**

À partir des protocoles expérimentaux individuellement produits, l'activité permet d'établir, pour chaque élève et pour chaque critère, la « mesure initiale » du niveau d'exigence développé dans la tâche de conception d'un protocole. Pour réaliser cette tâche, chaque élève doit proposer une liste du matériel adapté et rédiger un texte descriptif du protocole accompagné d'un schéma du dispositif expérimental. Le protocole expérimental qui sera finalement mis en œuvre est élaboré par la suite, à partir de la mise en commun et de la confrontation des protocoles individuels lors d'un débat de classe.

L'activité proposée pour cette séance sert également de cadre afin de tester l'hypothèse concernant le lien entre la connaissance des critères liés à l'évaluation de la conception d'un protocole et la réussite dans cette tâche ; à cet effet, la grille d'évaluation critériée d'un protocole est mise à disposition des élèves du second groupe dès l'étape de conception individuelle alors qu'elle n'est remise à ceux du premier groupe qu'après la tâche de conception.

Dans l'objectif d'améliorer l'appropriation des critères de qualité d'un protocole par les élèves, chaque protocole produit est soumis à une auto-évaluation et une évaluation croisée par un pair après élaboration du protocole commun.

Enfin, après mise en œuvre du protocole expérimental, l'interprétation des résultats et le classement des quatre produits par ordre d'acidité décroissante sont recueillis pour être confrontés aux hypothèses initiales formulées.

### 2.3.4. Séance n°3

Pour la troisième séance de la séquence, l'activité « Nos eaux de pluie sont-elles "normales" ou "acides" ? (cf. support pédagogique présenté en annexe 3 à partir de la page 48/55) confronte les élèves à une situation-problème qui demande de qualifier de « normale » ou « acide » deux eaux de pluie à disposition (l'une recueillie en zone dite « urbaine », l'autre en zone dite « rurale »).

Dans une première phase, il est proposé aux élèves de répondre à des questions (avec réactivation de connaissances antérieures, et mobilisation de compétences liées à la recherche et à la sélection d'informations pertinentes dans le texte d'introduction) puis de formuler une hypothèse à la problématique en l'explicitant.

Lors de la seconde phase de l'activité, la tâche qui incombe aux élèves concerne la conception et la réalisation d'un protocole expérimental permettant de qualifier les deux eaux de pluie à disposition de « normale » ou « acide ».

Pour répondre à la problématique posée, les élèves doivent :

- mesurer le pH de chaque eau de pluie ;
- comparer, pour chaque eau de pluie, la valeur de son pH avec les valeurs qui définissent les caractères « normale » et « acide » d'une eau de pluie pour en déduire la qualification appropriée.

Pour étayer cette tâche de conception de protocole, tous les élèves disposent d'une liste de matériel, d'un support de description et de communication du protocole préstructuré et de la grille d'évaluation critériée. De nouveau, la conception du protocole se déroule en plusieurs étapes. Après une étape de conception individuelle, le protocole expérimental finalement mis en œuvre est élaboré à partir de la mise en commun et de la confrontation des protocoles individuels lors d'un débat de classe. Comme lors de la séance précédente, chaque protocole individuel produit est soumis à une auto-évaluation et une évaluation croisée par un pair après élaboration du protocole commun.

Enfin, après mise en œuvre du protocole expérimental, l'interprétation des résultats et les qualifications retenues pour les eaux sont recueillies pour être confrontées aux hypothèses formulées initialement.

### 2.3.5. Séances n°4 & 5

Les activités « Les gaz industriels : Quelles conséquences sur l'eau de pluie ? » et « Pluies "acides" : Quelles conséquences sur les bâtiments ? » (cf. support pédagogique présenté en annexe 4 à partir de la page 50/55) proposées lors des quatrième et cinquième séance sont ici présentées conjointement car elles permettent principalement de faire travailler les élèves sur la rédaction d'un texte descriptif du protocole à partir du schéma du dispositif expérimental et réciproquement.

Concernant l'activité « Les gaz industriels : Quelles conséquences sur l'eau de pluie ? », les élèves sont confrontés à une situation-problème qui amène à mettre en évidence l'influence des rejets gazeux industriels sur le caractère acide de nos précipitations.

Après une première étape au cours de laquelle il est proposé aux élèves de répondre à des questions relatives à la problématique (avec mobilisation de compétences liées à la recherche et à la sélection d'informations pertinentes à partir du texte d'introduction et de deux animations interactives), la seconde étape concerne la conception d'un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'influence de la dissolution du dioxyde de soufre sur l'acidité de l'eau. Pour étayer cette tâche de conception de protocole, tous les élèves disposent d'une liste de matériel adapté, d'un support de description et de communication du protocole préstructuré et d'un lot d'étiquettes prédécoupées à remettre dans l'ordre, chaque étiquette correspondant à une tâche élémentaire de la procédure d'exécution du protocole expérimental. Après une phase de recherche individuelle, puis un débat concernant l'agencement des étiquettes dans l'ordre correspondant à la procédure adaptée, les élèves sont invités à représenter le dispositif expérimental sous la forme d'un ou plusieurs schémas. Pour des questions de sécurité liées à sa mise en œuvre, l'expérimentation correspondante n'est pas réalisée en classe mais proposée sous la forme d'une séquence vidéo. Après visionnage de cette dernière, les élèves répondent à la problématique initiale concernant les conséquences des rejets industriels sur les eaux de pluie.

Concernant l'activité « Pluies "acides" : Quelles conséquences sur les bâtiments ? », les élèves sont confrontés à une situation-problème qui amène à apprécier l'impact des pluies dites « acides » sur la dégradation des bâtiments.

Après une première étape au cours de laquelle il est proposé aux élèves de répondre à des questions relatives à la problématique (avec mobilisation et réactivation de connaissances antérieures ainsi que de compétences liées à la recherche et à la sélection d'informations pertinentes à partir du texte d'introduction), la seconde étape concerne la conception d'un protocole expérimental permettant de simuler l'action d'une pluie acide sur une pierre calcaire par réaction entre une solution d'acide chlorhydrique et un morceau de craie. Pour réaliser cette tâche de conception de protocole, tous les élèves disposent d'une liste de matériel adapté, d'un support de description et de communication du protocole préstructuré et d'un lot d'étiquettes prédécoupées à agencer, chaque étiquette correspondant à la photographie d'un matériel à utiliser pour la mise en place du dispositif expérimental. Après une phase de recherche individuelle, puis un débat concernant l'agencement des étiquettes correspondant au dispositif expérimental à mettre en place, les élèves sont invités à rédiger le texte descriptif du protocole expérimental. Pour des questions de temps imparti aux séances, l'expérimentation correspondante n'est pas réalisée en classe mais proposée sous la forme d'une séquence vidéo. Après visionnage de cette dernière, les élèves notent et interprètent les observations (étude qualitative de la réaction) puis sont invités à proposer un protocole expérimental permettant de mettre en évidence la présence (ou l'absence) d'ions calcium dans le filtrat de la solution obtenue après réaction de l'acide chlorhydrique sur la craie.

Pour répondre à cette problématique, les élèves doivent :

- choisir le réactif approprié pour tester l'absence ou la présence d'ions calcium en solution (oxalate d'ammonium en l'occurrence) ;
- verser quelques gouttes de ce réactif dans un tube à essai contenant quelques millilitres du filtrat de la solution obtenue après réaction ;
- observer et interpréter le résultat de la réaction : la présence d'un précipité de couleur blanche indique la présence d'ions calcium en solution, l'absence de précipité indiquant l'absence d'ions calcium en solution.

Pour réaliser la tâche de conception du protocole, les élèves ne disposent que du tableau des réactions de précipitations caractéristiques. Une nouvelle fois, la conception du protocole se déroule en plusieurs étapes. Dans un premier temps les élèves travaillent individuellement puis, dans un second temps, chacun vient reproduire son protocole expérimental sur une partie des deux tableaux blancs qui

équipent le laboratoire de l'établissement. Chaque protocole produit est alors soumis à une auto-évaluation et une évaluation croisée par un pair avant élaboration du protocole commun établi suite à la confrontation des protocoles individuels organisée de manière à faire émerger les points forts et ceux restant à améliorer pour chacun.

Enfin, après mise en œuvre du protocole expérimental au laboratoire et l'interprétation de son résultat, les élèves répondent à la problématique initiale concernant les conséquences des pluies acides sur les pierres calcaires des bâtiments.

### 2.3.6. Séance n°6

Pour la dernière séance proposée dans le cadre de mon expérimentation, les élèves sont confrontés à une tâche complexe intitulée « Truite Arc-en-Ciel » (cf. support pédagogique présenté en annexe 5 à partir de la page 53/55) qui sert d'évaluation finale concernant la tâche de conception de protocole.

La situation-problème proposée demande à l'élève d'identifier, à partir d'un prélèvement d'eau, la cause responsable de la mort de truites arc-en-ciel dans une rivière.

À partir des documents ressources mis à disposition, chaque élève peut émettre trois hypothèses pertinentes concernant cette cause :

- augmentation de l'acidité de l'eau de rivière (pH inférieur à 6,5) suite à une fuite accidentelle d'acide chlorhydrique en amont de la rivière ;
- pollution accidentelle au sulfate de cuivre en amont de la rivière ;
- diminution de la teneur en dioxygène de l'eau de rivière (inférieure à 3 mg/L).

À partir de ces hypothèses et du matériel disponible au laboratoire, les élèves doivent concevoir et mettre en œuvre les protocoles expérimentaux permettant de les vérifier (ainsi, il n'est pas attendu que l'hypothèse concernant la diminution de la teneur en dioxygène dissous soit mise à l'épreuve de l'expérimentation).

Enfin, à partir des résultats expérimentaux et de leur interprétation, les élèves identifient la cause responsable de la mort des truites arc-en-ciel dans la rivière.

### 2.3.7. Proposition de grille d'évaluation d'un protocole

Afin d'en faciliter l'évaluation, les critères de qualité liés à la tâche de conception d'un protocole (présentés précédemment dans le cadre théorique) ont été traduits sous la forme des phrases suivantes :

| | |
|---|---|
| **pertinence** | *Les mesures ou observations proposées sont pertinentes.*<br>*L'expérience proposée conduit bien à l'acquisition des mesures souhaitées, ou à l'observation du phénomène souhaité.* |
| **exécutabilité** | *Tout le matériel nécessaire à l'expérimentation est donné dans le protocole.*<br>*Tous les paramètres de l'expérience sont donnés dans le protocole.*<br>*L'ordre dans lequel les actions du protocole doivent être exécutées est précisé.*<br>*Le protocole permet de proposer une réponse à la problématique posée.*<br>*Il est possible de réaliser l'expérience avec le matériel donné.*<br>*Il est possible de réaliser l'expérience dans le temps de la séance de cours.* |
| **communicabilité** | *La description du protocole est suffisamment détaillée.*<br>*La structuration du protocole facilite sa lisibilité.*<br>*Les schémas légendés sont en nombre nécessaire et suffisant.* |

Ces éléments observables ont été repris dans la grille d'évaluation ci-dessous, utilisée pour les différentes auto-évaluations et évaluations des protocoles (échelle d'appréciation pictographique à trois échelons).

☐ Auto-évaluation ☐ Évaluation croisée (élève …… par élève ……) ☐ Évaluation par l'enseignant

| |  |  |  |
|---|---|---|---|
| Les mesures ou observations proposées sont pertinentes. | | | |
| L'expérience proposée conduit bien à l'acquisition des mesures souhaitées, ou à l'observation du phénomène souhaité. | | | |
| Tout le matériel nécessaire à l'expérimentation est donné dans le protocole. | | | |
| Tous les paramètres de l'expérience sont donnés dans le protocole. | | | |
| L'ordre dans lequel les actions du protocole doivent être exécutées est précisé. | | | |
| Le protocole permet de proposer une réponse à la problématique posée. | | | |
| Il est possible de réaliser l'expérience avec le matériel donné. | | | |
| Il est possible de réaliser l'expérience dans le temps de la séance de cours. | | | |
| La description du protocole est suffisamment détaillée. | | | |
| La structuration du protocole facilite sa lisibilité. | | | |
| Les schémas légendés sont en nombre nécessaire et suffisant. | | | |

Lors d'une évaluation, en fonction des échelons appréciés pour les éléments observables, l'enseignant peut alors indiquer pour chaque élève le niveau d'exigence atteint pour chacun des trois critères d'un protocole (pertinence, exécutabilité, communicabilité) selon les quatre niveaux suivants :

| D | C | B | A |
|---|---|---|---|
| *« Ne répond pas aux exigences »* | *« Répond à quelques exigences »* | *« Répond à la plupart des exigences"* | *« Répond à toutes les exigences »* |

# 3. Troisième partie : Résultats et discussion

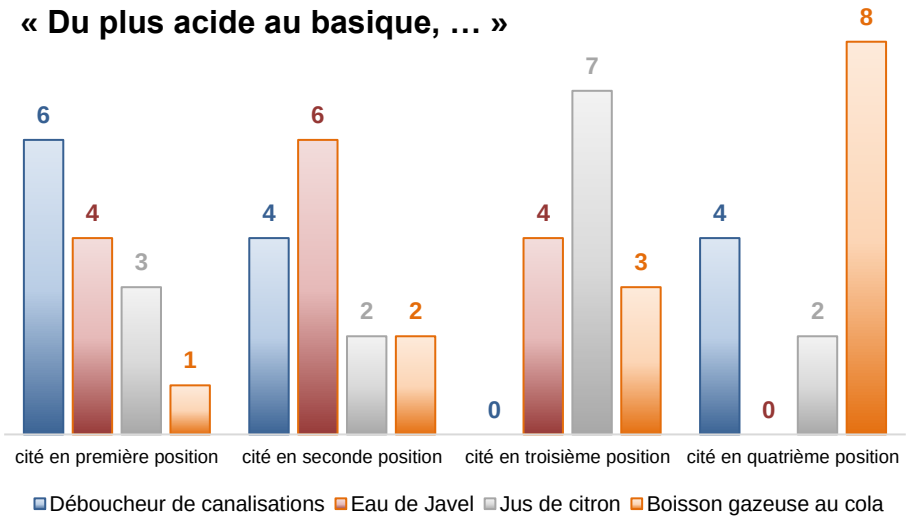
Nous allons maintenant pouvoir analyser les six séances décrites précédemment et ainsi tester les hypothèses formulées dans le cadre de la problématique liée à la conception d'un protocole, objet de ce mémoire.

Cependant, il me semble plus judicieux dans un premier temps de m'intéresser à l'évolution des conceptions des élèves liées aux concepts et aux modèles scientifiques mis en jeu puisqu'ils seront à la base du jugement de la pertinence des protocoles expérimentaux conçus par la suite.

## 3.1. Évolution des conceptions des élèves à propos des concepts d'acide et de base

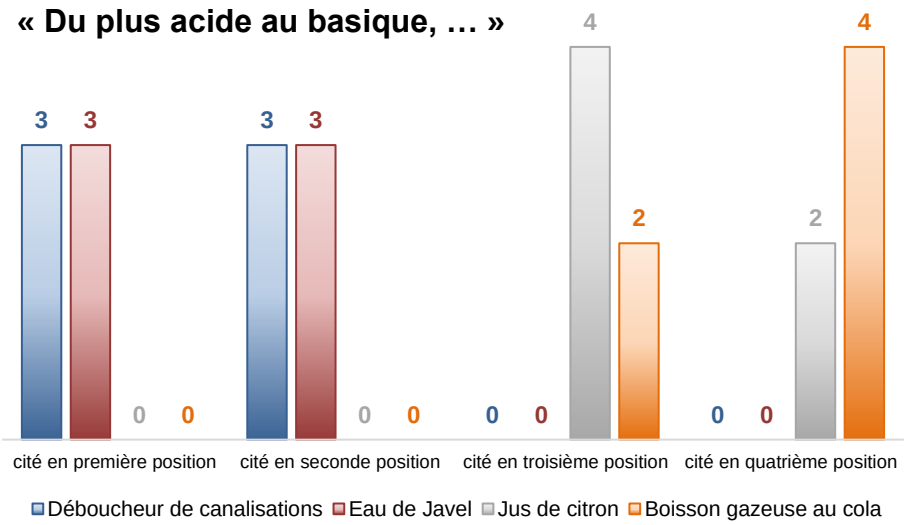
Les conceptions initiales des élèves concernant les concepts d'acide et de base ont été recueillies à la fin de la première séance de la séquence lors de la formulation d'hypothèses à la problématique posée dans l'activité « Dans la peau de…William Lewis ! » et dont l'objectif était de classer quatre produits d'usage courant (boisson gazeuse au cola, déboucheur de canalisations, Eau de Javel et jus de citron) du plus acide au plus basique à l'aide d'un extrait de jus de chou rouge.

Ainsi, à partir des données recueillies dans chaque groupe (quatorze élèves présents au total), les hypothèses des élèves concernant le classement de ces produits par acidité décroissante ont été synthétisées sous la forme de la représentation graphique suivante (chaque valeur correspond au nombre de citations obtenues) :



À partir de cette représentation graphique, la tendance suivante concernant le classement des quatre produits par acidité décroissante se dégage : « Déboucheur de canalisations », « Eau de Javel », « Jus de citron », « Boisson gazeuse au cola ».

Les hypothèses des élèves du second groupe (six élèves présents) concernant le classement de ces produits par acidité décroissante peuvent être synthétisées sous la forme de la représentation graphique suivante (chaque valeur correspond au nombre de citations obtenues) :




Si la tendance dégagée pour le groupe-classe dans sa totalité n'est que partiellement confirmée, on peut cependant facilement remarquer que pour les élèves de ce groupe les quatre produits proposés se répartissent en deux couples, « Déboucheur de canalisations-Eau de Javel » et « Jus de citron-Boisson gazeuse au cola », le premier étant jugé plus acide.

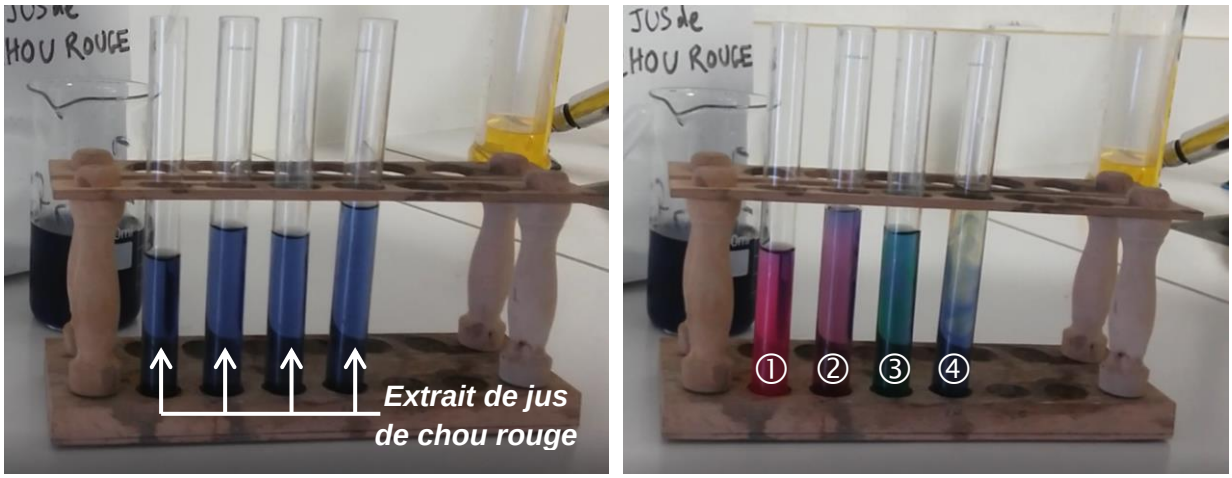
Aussi, la suite de l'analyse s'appuiera sur la transcription écrite, présentée en annexe 6 (page 54/55), du débat argumenté ayant eu lieu avec le second groupe en particulier.

Concernant cette transcription :

- l'intervention de l'enseignant est précédée de la lettre « P » ;
- celles des élèves sont, par souci de confidentialité, précédées d'une codification formée par concaténation de la lettre « E » et d'un nombre affecté à chacun.

L'analyse des hypothèses formulées par les élèves du second groupe, et de leurs justifications, met clairement en évidence que ces derniers caractérisent les acides à partir de leurs propriétés perceptibles (« réactivité/dangerosité du produit ou de la substance », « propriétés organoleptiques ») ; leurs réponses et leurs justifications trouvent uniquement origine dans les connaissances communes et familiaires (registre empirique) plutôt que dans le registre du modèle. D'autre part, l'analyse des échanges montrent que ces élèves ne possèdent aucune idée concernant les bases.

Par la suite, lors de la seconde séance, l'activité « Dans la peau de…William Lewis ! » a vu les élèves soumettre chaque produit d'usage courant à un test au jus de chou rouge pour répondre à la problématique. Les résultats expérimentaux sont présentés à partir des deux photographies ci-dessous :




① : extrait de jus de chou rouge suite à l'ajout de quelques gouttes de jus de citron
② : extrait de jus de chou rouge suite à l'ajout de quelques gouttes de Coca
③ : extrait de jus de chou rouge suite à l'ajout de quelques gouttes d'une solution de Destop diluée
④ : extrait de jus de chou rouge suite à l'ajout de quelques gouttes d'une solution d'Eau de Javel diluée

À partir des supports pédagogiques fournis pour la séance, les élèves n'ont éprouvé aucune difficulté ni à interpréter les résultats expérimentaux pour déterminer l'intervalle de pH correspondant à chaque solution (entre 0 et 3 pour le jus de citron, entre 4 et 6 pour le Coca, entre 9 et 12 pour le déboucheur de canalisations et entre 13 et 14 pour l'Eau de Javel), ni paradoxalement à classer les produits du plus acide au plus basique en fonction du pH. C'est finalement par la confrontation entre l'interprétation des résultats expérimentaux et leurs hypothèses initiales que les élèves ont pris la mesure des limites de leurs préconceptions et du registre alors utilisé pour expliciter et justifier, leur permettant ainsi de prendre conscience puis de surmonter les obstacles liés aux concepts d'acide et de base initialement rencontrés.

## 3.2. Influence de la connaissance des critères sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole

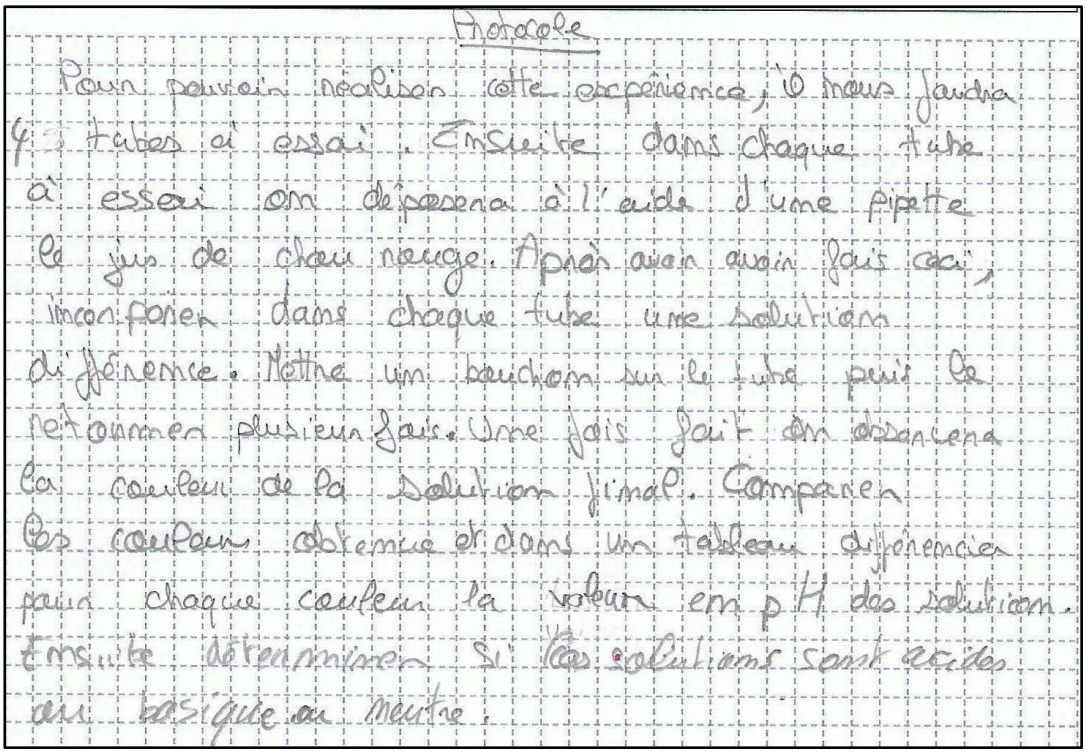
L'objectif de cette partie est de mettre en évidence si la connaissance des critères d'évaluation possède une influence sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole. Notre hypothèse initiale est que la connaissance de ces critères permet à l'élève de mieux réussir la tâche demandée.

Sa mise à l'épreuve s'effectue à partir de la comparaison, entre les deux groupes, des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère (pertinence, exécutabilité, communicabilité) lors de la conception du protocole expérimental de la seconde séance de la séquence.

En effet, pour cette séance, la grille d'évaluation critériée d'un protocole a été mise à disposition des élèves du second groupe dès l'étape de conception individuelle alors qu'elle ne l'a été qu'après pour ceux du premier groupe. Suivant notre hypothèse, les niveaux d'exigence atteints par les élèves du second groupe devraient donc être supérieurs à ceux du premier groupe.

Pour illustrer l'évaluation des productions, nous nous appuierons sur les deux exemples présentés ci-après (cf. figures 1 & 2).

- Évaluation du protocole produit par l'élève "E7" (groupe 1) :


Protocole

Pour pouvoir réaliser cette expérience, il nous faudra 4 tubes à essai. Ensuite dans chaque tube à essai on déposera à l'aide d'une pipette le jus de chou rouge. Après avoir fait ceci, on versera dans chaque tube une solution différente. Mettre un bouchon sur le tube puis le retourner plusieurs fois. Une fois fait on observera la couleur de la solution finale. Comparer les couleurs obtenues et dans un tableau différencier pour chaque couleur la valeur en pH des solutions. Ensuite déterminer si les solutions sont acides ou basique ou neutre.

Figure 1. Protocole produit par l'élève "E7" (groupe 1) lors de la séance n°2

Le protocole proposé met en relation l'hypothèse à tester avec l'évaluation du pH de chaque produit à l'aide d'un test au jus de chou rouge utilisé en tant qu'indicateur coloré acido-basique. Le protocole proposé répond donc aux exigences en matière de pertinence (aux niveaux externe et interne).

Le protocole proposé décrit le matériel nécessaire à l'expérimentation en cohérence avec la méthode choisie et l'exécution des actions du protocole est précisée dans un ordre logique. En outre, il est parfaitement réalisable avec le matériel spécifié et décrit, dans sa partie finale mais de manière incomplète, l'interprétation des résultats expérimentaux. Le protocole proposé répond donc à la plupart des exigences en matière d'exécutabilité.

Le protocole, par ailleurs d'un niveau d'explicitation (lié à la profondeur de la description en sous-tâches) satisfaisant, est proposé sous la forme d'un texte qui est tour à tour de type narratif, puis de type injonctif. Enfin, le protocole n'est pas structuré et ne propose aucun schéma descriptif. Le protocole proposé ne répond donc qu'à quelques exigences en matière de communicabilité.

- Évaluation du protocole produit par l'élève "E13" (groupe 2) :

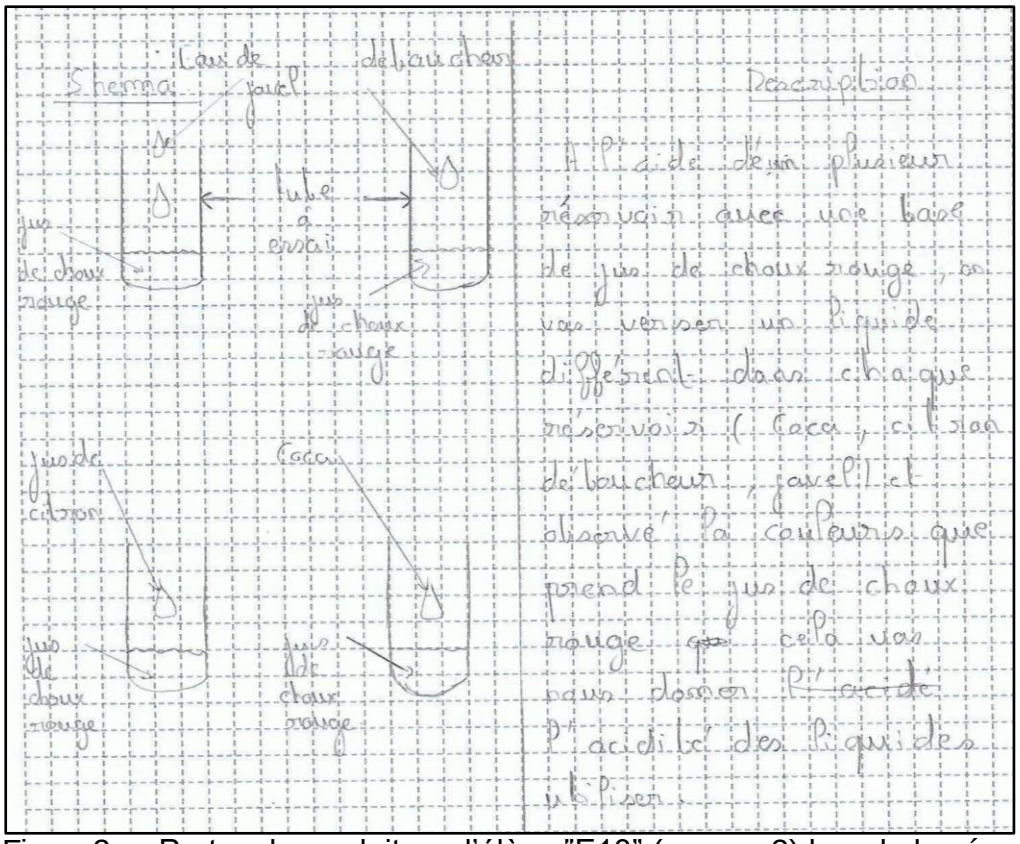



Figure 2. Protocole produit par l'élève "E13" (groupe 2) lors de la séance n°2

Le protocole proposé met en relation l'hypothèse à tester avec l'évaluation « *de l'acidité* » de chaque produit à l'aide d'un test au jus de chou rouge utilisé en tant qu'indicateur coloré acido-basique. Malgré la formulation « *cela va nous donner l'acidité* », on peut considérer que le protocole proposé répond aux exigences en matière de pertinence.

Le protocole proposé décrit, en utilisant des termes inexacts et de manière incomplète, le matériel nécessaire à l'expérimentation. L'exécution des actions du protocole est précisée dans un ordre logique. Le protocole est réalisable avec le matériel de laboratoire mais ne propose pas d'algorithme de décision pour l'interprétation des résultats expérimentaux. Le protocole ne répond donc qu'à quelques exigences en matière d'exécutabilité.

Malgré l'absence de certains termes de vocabulaire scientifique adaptés, le protocole présente un niveau d'explicitation satisfaisant sous la forme d'un texte de type narratif (ce type de discours ne facilitant cependant pas la lisibilité de la procédure d'exécution). Enfin, le protocole est structuré, ce qui en améliore la lisibilité, et propose des schémas descriptifs légendés. Le protocole proposé répond donc à la plupart des exigences en matière de communicabilité.

L'évaluation de l'ensemble des protocoles individuels produits lors de cette séance (dix-sept élèves présents) est synthétisée sous la forme de la représentation graphique suivante (pour chaque critère, les valeurs correspondent aux nombres de protocoles qui atteignent le niveau d'exigence spécifié) :

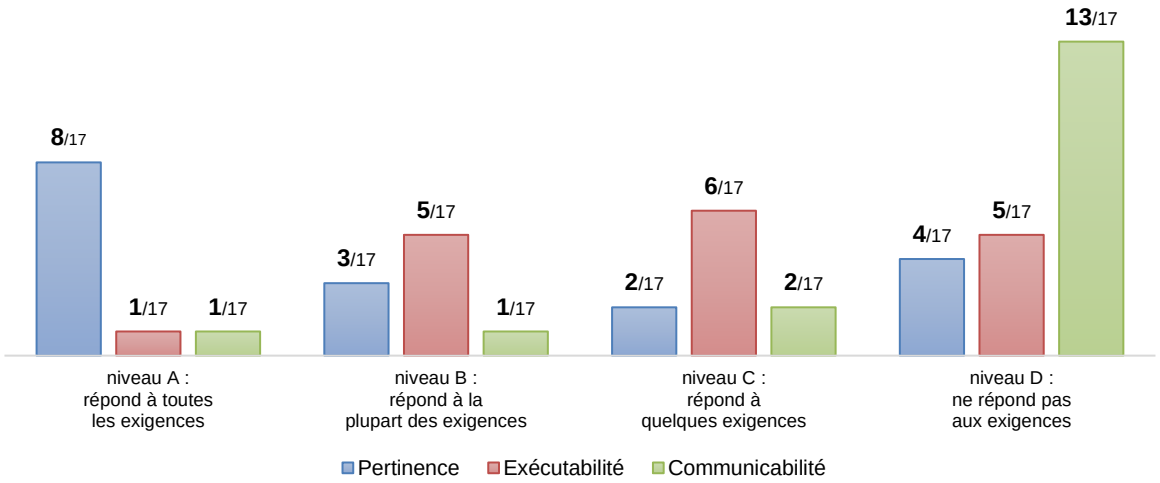



Figure 3. Répartition des protocoles expérimentaux par niveau d'exigence atteint pour chaque critère (séance n°2 - classe entière)

Comme formulé précédemment, la mise à l'épreuve de la première hypothèse concernant notre problématique s'effectue sur la base de la comparaison des deux groupes à partir des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère. À cette fin, les résultats par groupe sont proposés ci-dessous.

L'évaluation de l'ensemble des protocoles individuels produits par les élèves du groupe 1 (onze élèves présents) lors de cette séance est synthétisée sous la forme de la représentation graphique suivante (pour chaque critère, les valeurs correspondent aux nombres de protocoles qui atteignent le niveau d'exigence spécifié) :

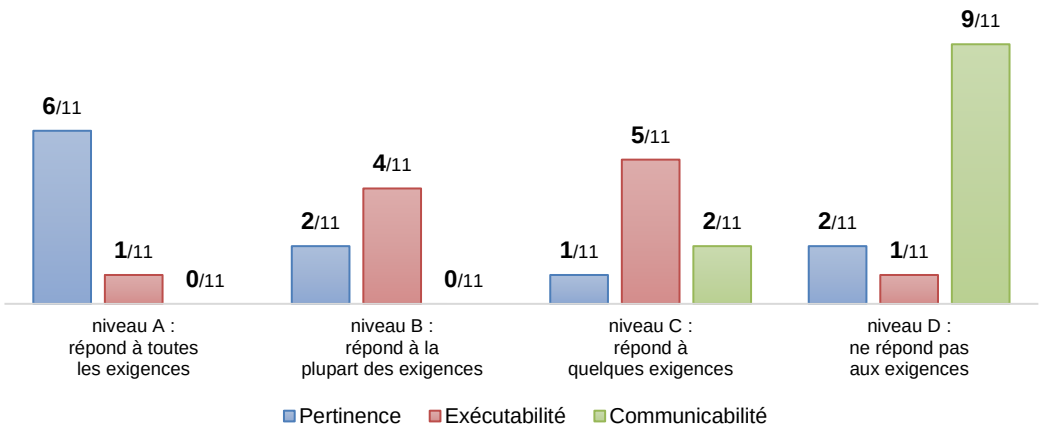



Figure 4. Répartition des protocoles expérimentaux par niveau d'exigence atteint pour chaque critère (séance n°2 - groupe 1)

L'évaluation de l'ensemble des protocoles individuels produits par les élèves du groupe 2 (six élèves présents) lors de cette séance est synthétisée sous la forme de la représentation graphique suivante (pour chaque critère, les valeurs correspondent aux nombres de protocoles qui atteignent le niveau d'exigence spécifié) :

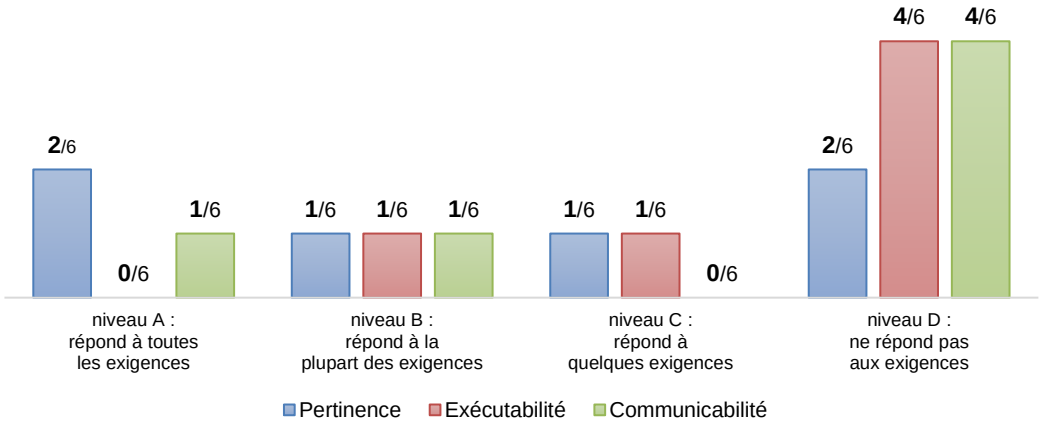



Figure 5. Répartition des protocoles expérimentaux par niveau d'exigence atteint pour chaque critère (séance n°2 - groupe 2 avec un élève absent)

À partir des résultats présentés à la page précédente, on peut s'apercevoir que dans le cadre de notre expérimentation et proportionnellement à la taille des deux groupes :

- les élèves du groupe 1 atteignent des niveaux d'exigence plus élevés que ceux du groupe 2 en matière de pertinence et d'exécutabilité ;
- les élèves du groupe 2 atteignent des niveaux d'exigence plus élevés que ceux du groupe 1 en matière de communicabilité.

Dans le cadre de notre expérimentation, on ne peut donc pas affirmer que l'hypothèse initiale concernant l'influence de la connaissance des critères d'évaluation sur la réussite d'une tâche de conception d'un protocole est vérifiée.

L'écart entre l'hypothèse initiale et l'interprétation des résultats issus de l'expérimentation me conduit à poser les deux questions suivantes :

- « Les deux groupes étant de tailles très différentes (presque du simple au double dans notre cas), la comparaison des résultats est-elle représentative de la réalité ? » En effet, aurais-je sans doute dû choisir une organisation de classe différente pour tester l'hypothèse à partir de deux groupes de taille identique ;
- « Les critères de qualité d'un protocole ont-ils été clairement énoncés et définis de manière à permettre aux élèves du second groupe de produire des protocoles à plus hauts niveaux d'exigence que les élèves du premier groupe ? » Cette question interroge directement ma pratique d'explicitation des critères de qualité d'un protocole qui serait potentiellement à revoir.

## 3.3. Influence de la stratégie d'étayage sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole

L'objectif de cette dernière partie est de mettre en évidence si la stratégie d'étayage possède une influence sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole. Notre hypothèse initiale est que la proposition d'étayages en cours de séquence permet à l'élève de surmonter les obstacles liés à la conception d'un protocole expérimental.

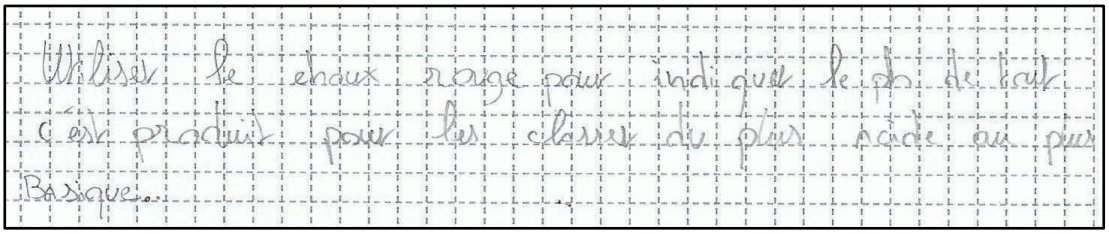
Sa mise à l'épreuve s'effectue à partir de la comparaison, pour chaque élève, des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère d'un protocole (pertinence, exécutabilité, communicabilité) en début et en fin de séquence (respectivement en séances n°2 et n°6).

Pour rappel, les étayages proposés pendant toute la séquence, ou uniquement en cours de séquence, ont par exemple pris la forme :

- de l'explicitation des critères de qualité d'un protocole expérimental pour favoriser leur appropriation par les élèves ;
- de listes de matériel adapté pour favoriser la pertinence interne ;
- de la mise à disposition de supports de description et de communication du protocole préstructurés pour améliorer la communicabilité ;
- de confrontations entre pairs afin d'identifier les insuffisances des protocoles produits en matière de pertinence, exécutabilité et/ou communicabilité.

Pour illustrer l'évaluation des productions, les protocoles produits par l'élève "E15" lors des séances n°2 et n°6 sont présentés ci-après (cf. figures 6 & 7).

➢ <u>Évaluation du protocole produit par l'élève "E15" (gr. 2) lors de la séance n°2 :</u>

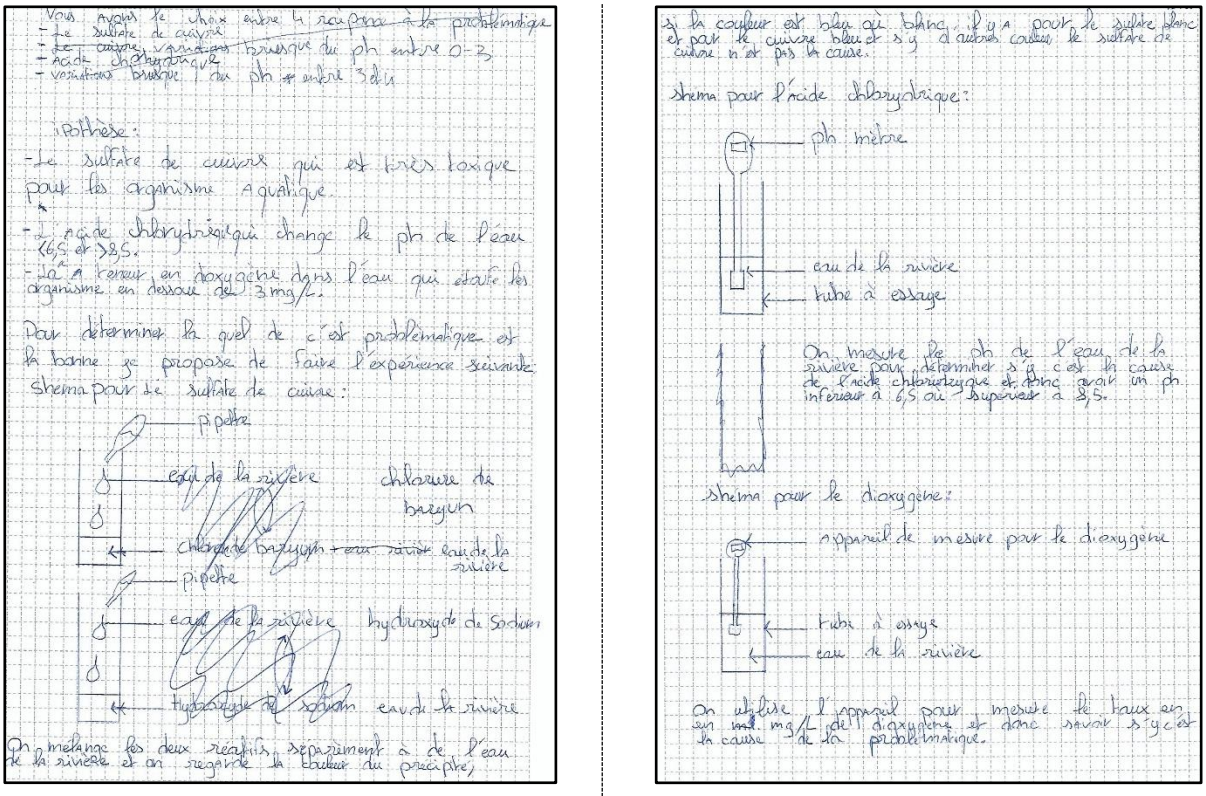



<u>Figure 6.</u> Protocole produit par l'élève "E15" (groupe 2) lors de la séance n°2

Le protocole proposé est composé d'une seule et unique phrase laissant apparaître l'estimation du pH d'un produit à l'aide du jus de chou rouge mais sans faire référence à son utilisation en tant qu'indicateur coloré. Le matériel nécessaire à l'expérimentation n'est aucunement décrit, l'exécution des actions n'est pas précisée, le niveau d'explicitation n'est pas satisfaisant et il n'y a aucun schéma descriptif.

Le protocole proposé par l'élève "E15" lors de la séance n°2 répond donc à quelques exigences en matière de pertinence, mais ne répond pas à celles d'exécutabilité et de communicabilité.

➢ <u>Évaluation du protocole produit par l'élève "E15" (gr. 2) lors de la séance n°6 :</u>




<u>Figure 7.</u> Protocole produit par l'élève "E15" (groupe 2) lors de la séance n°6

Le protocole proposé met en relation les trois hypothèses à vérifier avec la mesure du pH de l'eau de rivière (malgré une erreur concernant l'évolution du pH de l'eau de rivière suite à un rejet accidentel d'acide chlorhydrique), la mise en évidence de la présence ou de l'absence d'ions sulfate et d'ions cuivre, et la mesure de la teneur en dioxygène dissous dans l'eau de rivière. Les méthodes choisies pour tester chaque hypothèse sont pertinentes (On peut même remarquer que l'élève propose une méthode de mesure de la teneur en dioxygène malgré son absence des programmes d'enseignement des sciences physiques et chimiques). Le protocole proposé répond aux exigences en matière de pertinence.

Le matériel nécessaire à l'expérimentation est donné uniquement dans les schémas descriptifs. L'exécution des actions du protocole est précisée dans un ordre logique. Le protocole est réalisable avec le matériel de laboratoire mais les algorithmes de décision proposés pour l'interprétation des résultats expérimentaux sont inexacts. Le protocole ne répond donc qu'à quelques exigences en matière d'exécutabilité.

Concernant le critère de communicabilité, le niveau d'explicitation n'est pas suffisant et l'exécution des actions est proposée sous la forme de textes brefs de type narratif (qui ne favorisent pas la lisibilité de la procédure). Cependant, le protocole est relativement lisible car structuré et propose plusieurs schémas descriptifs légendés. Le protocole proposé ne répond donc qu'à quelques exigences en matière de communicabilité.

Comme formulé précédemment, la mise à l'épreuve de la seconde hypothèse concernant notre problématique s'effectue à partir de la comparaison, pour chaque élève, des niveaux d'exigence atteints pour chaque critère d'un protocole en début et en fin de séquence (respectivement en séances n°2 et n°6). Ainsi, cette comparaison ne pourra prendre en compte que les protocoles expérimentaux des quinze élèves présents lors de ces deux séances.

L'évaluation de l'ensemble des protocoles individuels produits par les élèves lors de la séance n°2 est synthétisée sous la forme de la représentation graphique suivante (pour chaque critère, les valeurs correspondent aux nombres de protocoles qui atteignent le niveau d'exigence spécifié) :

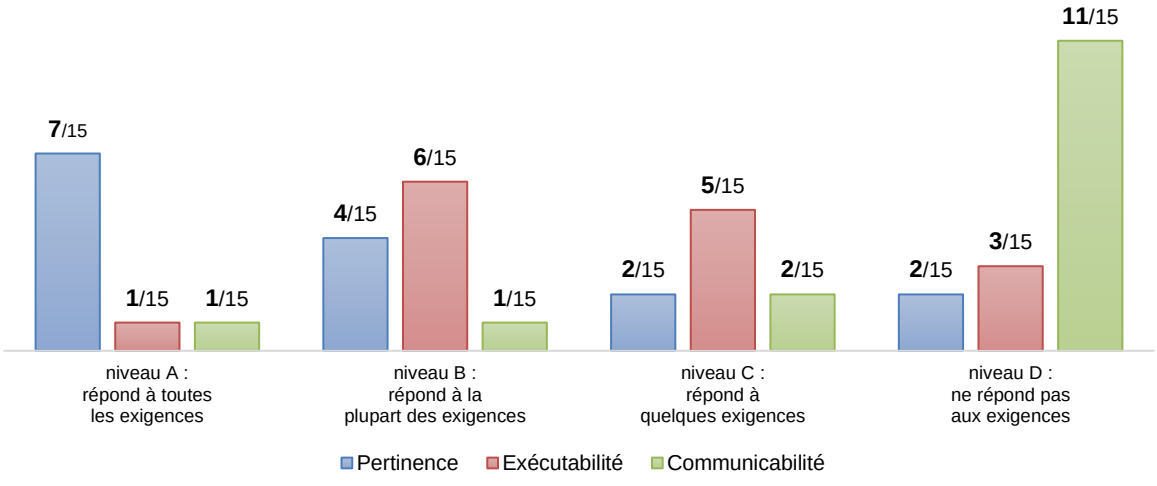



Figure 8. Répartition des protocoles expérimentaux par niveau d'exigence atteint pour chaque critère (séance n°2)

L'évaluation de l'ensemble des protocoles individuels produits par les élèves lors de la séance n°6 est synthétisée sous la forme de la représentation graphique

suivante (pour chaque critère, les valeurs correspondent aux nombres de protocoles qui atteignent le niveau d'exigence spécifié) :

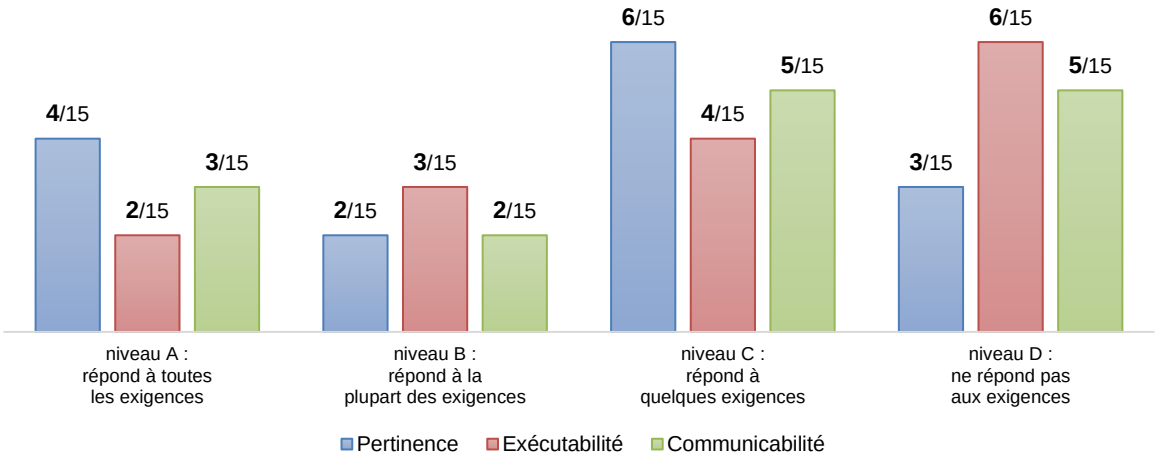



Figure 9. Répartition des protocoles expérimentaux par niveau d'exigence atteint pour chaque critère (séance n°6)

À partir de la comparaison des effectifs par niveau d'exigence pour chaque critère, on peut envisager les tendances d'évolution suivantes dans le cadre de notre expérimentation :

- en matière de pertinence et d'exécutabilité, les niveaux d'exigence atteints en fin de séquence sont moins élevés qu'en début de séquence ;
- en matière de communicabilité, les niveaux d'exigence atteints en fin de séquence sont plus élevés qu'en début de séquence.

La comparaison en détail des niveaux d'exigence atteints en début et en fin de séquence pour chacun des quinze élèves confirme cette tendance :

- en matière de pertinence : en fin de séquence, quatre élèves atteignent un niveau d'exigence plus élevé, quatre élèves restent au même niveau d'exigence et sept élèves atteignent un niveau d'exigence moins élevé.
- en matière d'exécutabilité : en fin de séquence, six élèves atteignent un niveau d'exigence plus élevé et neuf élèves atteignent un niveau d'exigence moins élevé.
- en matière de communicabilité : en fin de séquence, neuf élèves atteignent un niveau d'exigence plus élevé et six élèves atteignent un niveau d'exigence moins élevé.

Dans le cadre de notre expérimentation, on ne peut donc pas affirmer que l'hypothèse initiale concernant la stratégie d'étayage sur la réussite de réalisation d'une tâche de conception de protocole est vérifiée puisque seule la communicabilité a dans l'ensemble été améliorée.

L'écart entre l'hypothèse initiale et l'interprétation des résultats issus de l'expérimentation me conduit à poser les questions suivantes :

- « Les étayages mis en place pour la séquence étaient-ils adaptés ? » En effet, les conclusions, notamment celles concernant l'évolution des niveaux d'exigence en matière de pertinence et d'exécutabilité, peuvent me laisser penser que les étayages proposés pour améliorer ces deux critères sont peut-être en nombre insuffisant ou inadaptés ; ainsi, on pourrait par exemple envisager de proposer à un élève (ou un groupe d'élèves) la mise en œuvre d'un protocole élaboré par un autre (ou un autre groupe) afin de tester les critères d'exécutabilité et de communicabilité. De la même manière, malgré une évolution positive concernant les niveaux d'exigence en matière de communicabilité, il serait également intéressant de proposer une activité de français sur les caractéristiques d'un texte injonctif à partir d'un protocole expérimental.
- « L'activité proposée pour la séance finale n'est-elle pas trop "complexe" pour mes élèves ? » En effet, la baisse des niveaux d'exigence en matière de pertinence et d'exécutabilité pour cette activité peut me laisser penser que la nécessité de prendre en compte plusieurs hypothèses faisant appel à des concepts différents a pu être une charge cognitive trop lourde à gérer lors de la phase de conception de protocole et a découragé un nombre important d'élèves. Aussi, l'activité pourrait être modifiée de manière à tester un nombre d'hypothèses moins important.

Au final, aucune des deux hypothèses formulées pour la problématique (« la connaissance des critères de qualité d'un protocole et la proposition d'étayages en cours de séquence permettent à l'élève de mieux réussir la tâche de conception ») n'est vérifiée dans le cadre de notre expérimentation. C'est pourquoi la séquence d'enseignement présentée mérite d'être retravaillée pour donner aux élèves les moyens de dépasser les difficultés liées à la conception d'un protocole expérimental.

# Conclusion et perspectives

L'expérimentation menée dans le cadre de ce mémoire professionnel m'a tout d'abord permis de conforter l'idée selon laquelle la conception d'un protocole expérimental est une tâche d'une importante difficulté pour les élèves.

En effet, l'élaboration d'un protocole s'appuie notamment à la fois sur la formulation d'hypothèses en réponse à une problématique à partir de la mise en œuvre de modèles scientifiques pertinents, la nécessité de prendre en compte les conditions matérielles dans lesquelles s'inscrira la manipulation expérimentale et le niveau de détail requis pour son écriture.

C'est pourquoi les hypothèses que j'avais formulées dans le cadre de ce mémoire devaient permettre à mes élèves de mieux réussir dans la tâche de conception d'un protocole expérimental puisqu'elles permettaient à la fois de les informer des critères de réussite et également de les accompagner dans la tâche en elle-même.

Or, après analyse, il s'avère que j'ai pu constater des écarts entre mes hypothèses de départ et les résultats de mon expérimentation ce qui m'a conduit à m'interroger à la fois sur mes propres pratiques pédagogiques (qualité de l'explicitation des critères, inadéquation des étayages proposés, "complexité" de la tâche) et sur le choix de la classe et la constitution des groupes.

Véritable vecteur d'analyse de mes propres pratiques, ce mémoire professionnel et la problématique choisie m'ont permis d'inscrire plus encore mon enseignement au service de la réussite des élèves.

C'est pourquoi je m'engage aujourd'hui à prolonger cette expérience concernant la conception de protocole par l'élève en révisant les étayages proposés dans cet écrit, mais aussi en explorant d'autres pistes afin d'augmenter la richesse et la variété d'éléments d'étayage adaptés à différents parcours sur le chemin de la réussite.

# Annexe 1 : Grille nationale d'évaluation

## GRILLE NATIONALE D'ÉVALUATION EN MATHÉMATIQUES ET EN SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

| NOM et Prénom : | Diplôme préparé : | Séquence d'évaluation[1] |
|---|---|---|

### 1. Liste des capacités, connaissances et attitudes évaluées

| | |
|---|---|
| Capacités | |
| Connaissances | |
| Attitudes | |

### 2. Évaluation[2]

| Compétences[3] | Capacités | Questions | | | Appréciation du niveau d'acquisition[4] | | | Aide à la traduction chiffrée par exercice |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 0 | 1 | 2 | |
| S'approprier | Rechercher, extraire et organiser l'information. | | | | | | | |
| Analyser Raisonner | Émettre une conjecture, une hypothèse.<br>Proposer une méthode de résolution, un protocole expérimental. | | | | | | | |
| Réaliser | Choisir une méthode de résolution, un protocole expérimental.<br>Exécuter une méthode de résolution, expérimenter, simuler. | | | | | | | |
| Valider | Contrôler la vraisemblance d'une conjecture, d'une hypothèse.<br>Critiquer un résultat, argumenter. | | | | | | | |
| Communiquer | Rendre compte d'une démarche, d'un résultat, à l'oral ou à l'écrit. | | | | | | | |
| | | | | | | | | / |

[1] Chaque séquence propose la résolution de problèmes issus du domaine professionnel ou de la vie courante. En mathématiques, elle comporte un ou deux exercices ; la résolution de l'un d'eux nécessite la mise en œuvre de capacités expérimentales.

[2] Des appels permettent de s'assurer de la compréhension du problème et d'évaluer le degré de maîtrise de capacités expérimentales et la communication orale. Il y en a au maximum 2 en mathématiques et 3 en sciences physiques et chimiques.
En mathématiques : L'évaluation des capacités expérimentales – émettre une conjecture, expérimenter, simuler, contrôler la vraisemblance d'une conjecture – se fait à travers la réalisation de tâches nécessitant l'utilisation des TIC (logiciel avec ordinateur ou calculatrice). Si cette évaluation est réalisée en seconde, première ou terminale professionnelle, 3 points sur 10 y sont consacrés.
En sciences physiques et chimiques : L'évaluation porte nécessairement sur des capacités expérimentales. 3 points sur 10 sont consacrés aux questions faisant appel à la compétence « Communiquer ».

[3] L'ordre de présentation ne correspond pas à un ordre de mobilisation des compétences. La compétence « Être autonome, faire preuve d'initiative » est prise en compte au travers de l'ensemble des travaux réalisés. Les appels sont des moments privilégiés pour en apprécier le degré d'acquisition.

[4] Le professeur peut utiliser toute forme d'annotation lui permettant d'évaluer l'élève (le candidat) par compétences.

Date : .....

# « De Boyle à Beckman »

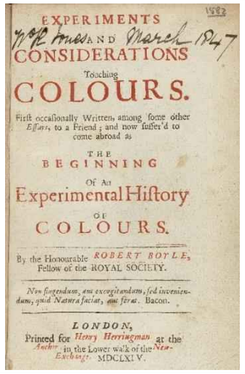
## Doc. 1.a. Les concepts d'acide et de base par Robert Boyle (1627-1691), d'après *The Sceptical Chymist*, 1661

*In 1661 Robert Boyle summarized the properties of acids as follows :*
*- Acids have a sour taste.*
*- Acids are corrosive.*
*- Acids change the color of certain vegetable dyes, such as litmus, from blue to red.*
*- Acids lose their acidity when they are combined with alkalies.*

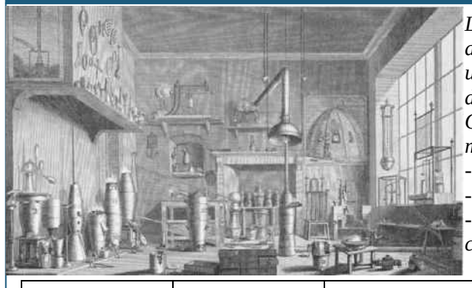
## Doc. 1.b. Les concepts d'acide et de base par Robert Boyle (1627-1691), *Expériences sur les couleurs*, 1664

_EXPERIMENT XX._

Take good Syrrup of Violets, (…) , drop a little of it upon a White Paper (…) and on this Liquor let fall two or three drops of Spirit either of Salt or Vinegar, or almost any other eminently Acid Liquor, and upon the Mixture of these you shall find the Syrrup immediately turn'd Red, and the way of Effecting such a Change has not been unknown to divers Persons who have produc'd the like, by Spirit of Vitriol, or juice of Limmons (…) ; namely, that if instead of Spirit of Salt, or that of Vinegar, you drop upon the Syrrup of Violets a little Oyl of Tartar _per Deliquium_, or the like quantity of Solution of Potashes, and rubb them together with your finger, you shall find the Blew Colour of the Syrrup turn'd in a moment into a perfect Green, and the like may be perform'd by divers other Liquors, as we may have occasion elsewhere to Inform you.


EXPERIMENTS AND CONSIDERATIONS Touching COLOURS.
First occasionally Written among some other Essays, to a Friend; and now suffer'd to come abroad as
THE BEGINNING OF An Experimental History OF COLOURS.
By the Honourable ROBERT BOYLE, Fellow of the ROYAL SOCIETY.
Non fingendum, aut excogitandum, sed inveniendum, quid Natura faciat, aut ferat. Bacon.
LONDON, Printed for Henry Herringman at the Anchor in the Lower walk of the New-Exchange. MDCLXV.

## Doc. 2.a. Des indicateurs colorés en cuisine (d'après *Chimie des couleurs et des odeurs*, 1993)



*La première utilisation d'un indicateur coloré pour les titrages acido-basiques remonte à 1767 par William Lewis. Il employait un extrait de tournesol (...). On utilisait à l'époque des extraits de plantes qui changent de couleur avec l'acidité du milieu (...). On peut en citer quelques-uns parmi les plus connus et les meilleurs :*
*- l'artichaut (...)*
*- la betterave rouge (...)*
*- le chou rouge, de loin l'extrait le plus intéressant car sa couleur change nettement suivant la valeur du pH :*

| *Zone de pH* | 0-3 | 4-6 | 7-8 | 9-12 | 13-14 |
|---|---|---|---|---|---|
| *Couleur du jus* | *rouge* | *violet* | *bleu* | *vert* | *jaune* |

## Doc. 2.b. Des indicateurs colorés en cuisine (d'après sujet Physique-Chimie-Bac Général-série S-session 2005)



*Le chou rouge est un légume riche en fibres et en vitamines, qui se consomme aussi bien en salade que cuit. La couleur du chou rouge est due à la présence d'un pigment naturel appartenant au groupe des anthocyanines. Ce pigment, qu'on peut extraire par décoction, présente une propriété chimique intéressante qui se révèle lors de séances de cuisine hautes en couleurs. Effectivement, la cuisson du chou rouge peut réserver des surprises ! Quand on cuit un chou rouge dans l'eau, l'eau de cuisson devient rapidement bleue. Si l'on ajoute un filet de vinaigre ou de citron à cette eau de cuisson, elle devient rose ou si l'on décide de la parfumer avec un peu de vin blanc, elle devient violette. Et quand enfin, on égoutte le chou, une dernière modification de couleur peut surprendre : versée dans un évier contenant un détergent, l'eau de cuisson devient verte.*

## Doc. 3. Les concepts d'acide et de base par Wilhelm Ostwald (1853-1932), *Les principes scientifiques de la chimie analytique*, 1894 (traduction de 1903)

CHAPITRE VI

IONS $\overset{+}{H}$ ET $\overline{OH}$

***Acides et bases.*** — On appelle *acides* les combinaisons dont les solutions aqueuses contiennent de l'hydrogène à l'état d'ions et *bases* les solutions aqueuses qui contiennent des ions oxhydriles ($\overline{OH}$). On reconnaît qualitativement les acides et les bases aux changements de couleur qu'ils font subir à certains corps colorés et l'on utilise ces mêmes réactions colorées pour la mesure quantitative des ions $\overset{+}{H}$, c'est-à-dire pour mesurer l'acidité, et pour la mesure quantitative des ions $\overline{OH}$ c'est-à-dire pour mesurer la basicité.

Cette mesure se fait, pour les acides, en ajoutant à leur solution, la solution d'une base de teneur connue, de l'eau de baryte par exemple ; on ajoute cette base jusqu'à ce que l'indicateur coloré change de couleur, c'est-à-dire jusqu'à ce que la solution primitivement acide commence à devenir basique. La mesure de la basicité se fait par une opération inverse. La réaction qui se passe ici est la combinaison des ions $\overset{+}{H}$ et $\overline{OH}$ en eau [1] ; l'eau, étant à peine dissociée, a une réaction neutre.

[1] Considérons, en effet, une base et un acide, par exemple de la soude et de l'acide chlorhydrique, l'un et l'autre complètement dissociés dans leurs solutions aqueuses. Mettons ces solutions en présence, en ajoutant, s'il y a lieu, une quantité d'eau suffisante pour que le sel qui en résulte soit lui aussi complètement dissocié ; *nous avons*, d'après la théorie ionisate, la réaction suivante :

$$\overset{+}{Na} + \overline{OH} + \overset{+}{H} + \overline{Cl} = \overset{+}{Na} + \overline{Cl} + H^2O$$



acétique non dissocié ait disparu. A partir de ce moment, il ne peut plus se produire de nouveaux ions $\overset{+}{H}$ ; la réaction acide cesse et est remplacée par la réaction basique due au petit excès d'ions $\overline{OH}$ ajouté. Les développements qui précèdent s'adressent naturellement à tous les acides, et un raisonnement analogue s'applique à toutes les bases.

*En résumé*, la neutralisation ne met pas seulement en évidence les ions *actuels*, mais aussi les ions *potentiels*. On peut généraliser les considérations qui précèdent et les appliquer à toute opération analytique. En analyse, en effet, il s'agit en définitive d'enlever d'une solution des ions déterminés. Cette disparition d'ions rompt l'équilibre qui existait entre ces ions libres et leurs combinaisons présentes dans la solution ; ces combinaisons se dissocient à leur tour partiellement en ions et il se crée un nouvel équilibre entre ces ions et leurs combinaisons qui sont restées non dissociées. Les mêmes phénomènes se produisent successivement au fur et à mesure qu'on achève la réaction, jusqu'à ce qu'enfin tous les ions potentiels qu'il s'agissait de séparer aient quitté leurs combinaisons.

La mesure de la concentration des ions est un problème d'un tout autre genre, dont la solution ne nous occupera pas ici, puisque ce problème, pour le moment du moins, n'est pas considéré comme appartenant à l'analyse chimique.

***Théorie des indicateurs colorés.*** — Un indicateur coloré doit être acide ou basique et, de plus, présenter deux couleurs différentes suivant qu'il est à l'état d'ions ou à l'état non dissocié. En outre il ne doit être ni un acide fort ni une base forte, car il serait alors dissocié en ions et ne subirait par suite aucun changement de coloration par la neutralisation. En effet, par la neutralisation d'un acide fort, ses ions $\overset{+}{H}$ forment de l'eau avec les ions $\overline{OH}$ de la base, tandis que ses anions ne subissent aucun changement. Un acide faible en solution est au contraire à peine dissocié, mais sa neutralisation amène de nouveaux ions en abondance car les sels neutres, même ceux des acides faibles, sont fortement dissociés [1].



*L'indicateur est un acide très faible :* Les acides peu dissociés lui livrent leur hydrogène tant que ces acides sont présents, même en très petit excès, et provoquent ainsi l'apparition de couleur qui correspond au passage de l'état d'ions à l'état de molécules non dissociées. On comprend que de tels indicateurs soient sensibles et puissent s'employer, même pour titrer des acides assez faibles comme l'acide acétique. Mais ils ne peuvent être employés qu'avec des bases fortes ; avec des bases faibles, en effet, ils forment des sels qui subissent l'influence de l'hydrolyse (voir p. 59) et alors les changements de couleurs sont incertains. La *phénolphtaléine* est un acide très faible, incolore à l'état de molécule et rouge vif à l'état d'anion. La solution colorée en rouge par l'alcali contient le sel de la phénolphtaléine dissocié en ions ; cette solution devient incolore après la neutralisation aussitôt qu'apparaît un faible excès d'acide libre ; ce qui s'explique par la formation de la molécule de phtaléine non dissociée et incolore. L'ammoniaque est déjà une base trop faible pour former en solution très

[1] En d'autres termes, si l'on désigne par R le radical de l'acide et par M le métal de la base, la neutralisation d'un acide fort par une base forte peut être représentée par le schéma :

$$\overset{+}{M} + \overline{OH} + \overset{+}{H} + \overline{R} = \overset{+}{M} + \overline{R} + H^2O$$

et la neutralisation d'un acide faible par une base forte est représentée, en supposant négligeable la dissociation de l'acide faible, par l'équation symbolique :

$$\overset{+}{M} + \overline{OH} + HR = \overset{+}{M} + \overline{R} + H^2O$$

(*Note du Traducteur*).

## Doc. 4.a. Extrait de « *Évolution historique des concepts d'acide et de base* » par Latifa Ouertatani et Alain Dumon, *l'actualité chimique – mars 2007 - n° 306*

*Dans le cadre de la théorie d'Arrhenius, une nouvelle grandeur sera introduite en 1909 par un biochimiste danois, Søren Sørensen (1868-1939). Ayant constaté que les valeurs des concentrations en ions $H^+$ dans les solutions couramment utilisées sont très faibles ($10^{-7,07}$ pour l'eau pure), il propose de les représenter par le symbole $P_H$ qui est la valeur numérique de l'exposant négatif de la puissance de dix. Autrement dit, $P_H = - \log_{10} C_{H+}$. La notation* pH *sera introduite par Clark en 1920 pour des raisons de commodités typographiques. La notion mettra une bonne dizaine d'années à s'imposer chez les chimistes et son utilisation se généralisera après l'invention du* pH*-mètre par Arnold Beckman en 1934.*

## Doc. 4.b. Extraits de « *Il y a cent ans… naissait le* pH» par Élisabeth Bardez, *l'actualité chimique – mars 2010 - n° 340*

*Sørensen fut de fait le premier à utiliser une méthode électrométrique avec une électrode au calomel en référence pour une mesure de* pH.*(…) Notons que le symbole* pH *ne sera pas pour autant généralisé dès 1920. En tout cas, sans que Sørensen le dise explicitement, il est très vraisemblable que la lettre « p » doive être associée au danois « potens », comme à l'allemand « potenz » ou au français « puissance » et non, comme il arrive de le rencontrer dans certains textes, à « potentiel ».*

Date : .....

# « De Boyle à Beckman »

**1. À partir des documents 1.a et 1.b, répondre aux questions ci-dessous :**

**1.1. Donner la définition d'un acide selon Robert Boyle :**

.....

.....

.....

**1.2. Décrire l'expérience qui permet à Robert Boyle de « classer » les substances selon leur caractère acide ou basique :**

.....

.....

.....

.....

.....

**1.3. À quelle technique actuelle de détermination du pH, l'expérience décrite par Robert Boyle vous fait-elle penser ?**

.....

**2. À partir des documents 2.a et 2.b, répondre aux questions ci-dessous :**

**2.1. Donner la propriété essentielle d'un indicateur coloré acido-basique :**

.....

.....

**2.2. Donner un encadrement de la valeur du pH d'un vin blanc :**

.....

.....

**2.3. Quel inconvénient important présente l'utilisation du jus de chou rouge en tant qu'indicateur coloré ?**

.....

.....

**3. À partir du document 3, répondre aux questions ci-dessous :**

**3.1. Donner la définition d'un acide et d'une base selon Wilhelm Ostwald :**

.....

.....

.....

.....

**3.2. Donner le nom de la théorie que l'on doit à Wilhelm Ostwald :**

.....

.....

**3.3. Donner le nom d'un indicateur coloré de synthèse cité en exemple par Wilhelm Ostwald :**

.....

.....

**4. À partir des documents 4.a et 4.b, répondre aux questions ci-dessous :**

**4.1. Quelle grandeur a été introduite par le biochimiste danois Søren Sørensen en 1909 ?**

.....

**4.2. Quelle méthode Søren Sørensen utilisa-t-il pour mesurer cette grandeur ?**

.....

.....

**4.3. Donner le nom de l'instrument de mesure qui utilise cette méthode :**

.....

**4.4. Quel avantage cette méthode a-t-elle par rapport à la méthode colorimétrique précédente ?**

.....

.....

**4.5. Donner la relation entre le pH et la concentration en ions $H^+$ proposée par Søren Sørensen :**

.....

.....

Date : .....

# « De Boyle à Beckman »

## Dans la peau de…William Lewis !

**À son domicile, un particulier dispose d'une boisson au cola, d'un déboucheur de canalisations, d'Eau de Javel, de jus de citron et d'un chou rouge.**

**Problématique : « Comment le particulier peut-il classer ces solutions de la plus acide à la plus basique? »**

**Sur certains produits mis à votre disposition, on trouve une étiquette indiquant les éléments relatifs à la sécurité suivants :**

**- Donner la signification de ces pictogrammes de danger :**





**- Donner les précautions à prendre pour manipuler ces produits sans danger :**

# Qu'est-ce qu'une pluie acide ?

chapitre 3 module CME5






**Doc. 1** *Les pluies acides dégradent les monuments et les forêts (chute des feuilles & des aiguilles ; acidification du sol, ce qui diminue la disponibilité en éléments nutritifs azotés). Comparaison entre une branche d'arbre qui a été endommagée par les pluies acides et une branche d'arbre en bonne santé ▶*



## Objectifs

- Lire et exploiter les informations données sur l'étiquette d'un produit chimique de laboratoire ou d'usage domestique (pictogrammes, composition ...) (HS2).
- Identifier les règles et dispositifs de sécurité adéquats à mettre en œuvre (HS2).
- Mesurer le pH d'une solution (CME5).
- Déterminer le caractère acido-basique d'une solution dont le pH est connu (CME5).
- Identifier expérimentalement des ions en solution aqueuse (HS2).
- Mettre en évidence la présence de dioxyde de carbone en solution (HS2).
- Reconnaître expérimentalement le caractère acide ou basique ou neutre d'une solution (HS2).
- Calculer une masse molaire moléculaire (HS2).



**Nos pluies sont-elles « acides » ? D'où viennent-elles ? Quelles conséquences sur nos bâtiments ?**

## Présentation du contexte des expérimentations & de la situation

En l'absence de pollution, le pH d'une eau de pluie est voisin de 5,8. Cette acidité est due à la dissolution, dans l'eau, du dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère.
Le terme « pluies acides » est utilisé pour décrire toute forme de précipitation (pluies, neige, grêles, brouillard...) dont le pH est inférieur à 5.
Deux types de polluants, le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, sont les principales causes des pluies acides. Formés lors de la combustion des hydrocarbures dans les chaudières, les moteurs... ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique (ou leurs sels). On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission. Ceci concoure à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport aux pluies dites « normales ».
C'est ainsi que des pluies peuvent avoir un pH de l'ordre de 4 et seront qualifiées de « pluies acides ». Une pluie acide attaque la faune, la flore, la pierre calcaire de nos édifices et pollue donc l'ensemble de notre hydrosphère. La communauté européenne a établi des lois limitant les rejets dans l'atmosphère des polluants à l'origine des pluies acides.




**Problématique :** On dispose de deux échantillons d'eaux de pluie, l'un recueilli à proximité d'une zone urbaine de taille importante, l'autre recueilli en zone rurale. Les eaux de pluies recueillies peuvent-elles être qualifiées de « pluies normales » ou « pluies acides » ? D'où proviennent les pluies « acides » ? Quelle conséquence sur nos bâtiments ?

## I - Nos eaux de pluie sont-elles « normales » ou « acides » ?

### 1. S'approprier et analyser la situation

**1.1.** Quel est le pH d'une eau de pluie normale ? d'une pluie acide ?

.....

.....

**1.2.** Parmi ces propositions, cocher celle qui qualifie le pH d'une eau de pluie normale ?

☐ neutre ☐ très basique ☐ très acide ☐ légèrement basique ☐ légèrement acide

**1.3.** Expliquer l'origine de l'acidité de l'eau de pluie normale :

.....

.....

**1.4.** Formuler une hypothèse à la première problématique posée, en l'explicitant :

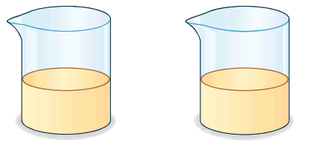
.....

.....

.....

.....

**1.5.** On dispose du matériel suivant pour réaliser l'expérimentation :



..... (eaux de pluie)



.....



.....



.....



.....

Compléter les pointillés des lignes ci-dessus en nommant le matériel.

**1.6.** Proposer un protocole expérimental qui permette de qualifier précisément les eaux de pluie recueillies entre « pluie normale » et « pluie acide » (le protocole proposé devra être accompagné d'un schéma légendé).

| Schéma du dispositif | Description du protocole |
|---|---|
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |

**Appel n° 1 :**

**Appeler le professeur afin de présenter et justifier oralement les réponses aux questions 1.1 à 1.5 ainsi que la proposition de protocole expérimental de la question 1.6.**

**À l'issue de l'appel, le professeur vous donnera l'autorisation de réaliser la suite de l'activité.**



## 2. Expérimenter : Détermination du pH des eaux de pluie

**Appel n° 2 :**

**Appeler le professeur afin de réaliser les manipulations décrites ci-dessous devant lui, de lui présenter les résultats expérimentaux puis de lui proposer oralement les premières conclusions suite aux observations effectuées.**

- **Plonger le stylo-pH dans chacune des solutions testées.**
- **Noter la valeur du pH dans le tableau ci-dessous :**

| Solution | Valeur du pH |
|---|---|
| Eau de pluie « zone urbaine » | |
| Eau de pluie « zone rurale » | |

## 3. Exploiter et répondre à la problématique

**Répondre à la problématique initiale : Les eaux de pluies recueillies peuvent-elles être qualifiées de « pluies normales » ou « pluies acides » ? (justifier la réponse)**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Appel n° 3 :**

**Remettre en état le poste de travail.**

Date : .....

## ——Présentation du contexte des expérimentations & de la situation——

En l'absence de pollution, le pH d'une eau de pluie est voisin de 5,8. Cette acidité est due à la dissolution, dans l'eau, du dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère.
Le terme « pluies acides » est utilisé pour décrire toute forme de précipitation (pluies, neige, grêles, brouillard...) dont le pH est inférieur à 5.
Deux types de polluants, le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, sont les principales causes des pluies acides. Formés lors de la combustion des hydrocarbures dans les chaudières, les moteurs... ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique (ou leurs sels). On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission. Ceci concoure à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport aux pluies dites « normales ».
C'est ainsi que des pluies peuvent avoir un pH de l'ordre de 4 et seront qualifiées de « pluies acides ». Une pluie acide attaque la faune, la flore, la pierre calcaire de nos édifices et pollue donc l'ensemble de notre hydrosphère. La communauté européenne a établi des lois limitant les rejets dans l'atmosphère des polluants à l'origine des pluies acides.





**Problématique :** On dispose de deux échantillons d'eaux de pluie, l'un recueilli à proximité d'une zone urbaine de taille importante, l'autre recueilli en zone rurale. Les eaux de pluies recueillies peuvent-elles être qualifiées de « pluies normales » ou « pluies acides » ? D'où proviennent les pluies « acides » ? Quelle conséquence sur nos bâtiments ?

## II – Les gaz industriels : Quelles conséquences sur l'eau de pluie ?

### 1. S'approprier et analyser la situation

À partir du texte d'introduction, de la vidéo Pluies_acides.flv et de l'animation Pluies_acides.swf, répondre aux questions suivantes :

1.1. Quels sont les acides présents dans les pluies acides ?

.....

.....

1.2. Quelle est leur origine ?

.....

.....

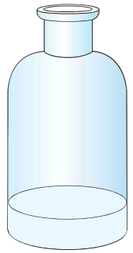
La présence normale dans l'air du dioxyde de carbone $CO_2$ conduit l'eau de pluie à prendre naturellement un caractère acide. Mais quelle influence peut avoir la présence des autres rejets gazeux ?



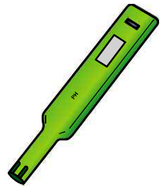
On veut réaliser un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'influence de la dissolution du dioxyde de soufre $SO_2$ sur l'acidité de l'eau. Au laboratoire de Sciences, on dispose du matériel et des produits suivants :



Soufre



Flacon (eau de pluie)



Stylo-pH

1.3. Proposer un protocole expérimental qui permette de mettre en évidence l'influence de la dissolution du dioxyde de soufre $SO_2$ sur l'acidité de l'eau (le protocole proposé devra être accompagné d'un schéma légendé).

| Schéma du dispositif | Description du protocole |
|---|---|
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |

**Appel n° 4 :**

Appeler le professeur afin de présenter et justifier oralement les réponses aux questions 1.1 & 1.2 ainsi que la proposition de protocole expérimental de la question 1.3.

À l'issue de l'appel, le professeur vous donnera l'autorisation de réaliser la suite de l'activité.

## 2. Expérimenter : Simuler l'action des rejets industriels sur l'eau de pluie

Ouvrir le fichier Simulation_pluie_acide.mp4 et noter les observations ci-dessous :

.....

.....

.....

.....

## 3. Exploiter et répondre à la problématique

Interpréter et exploiter les résultats consignés à la question précédente puis répondre à la problématique : « Les gaz industriels : Quelles conséquences sur l'eau de pluie ? »

.....

.....

.....

.....

## III – Pluies « acides » : Quelles conséquences sur les bâtiments ?

### Le calcaire et les pluies acides

Le calcaire est une roche abondante dans la nature, facile à extraire et à travailler qui a depuis longtemps été utilisée en architecture (moellons, pierres de taille, marbre), pour la construction d'habitations et de nombreux monuments. On constate que les constructions en calcaire qui sont exposées à l'eau de pluie se dégradent et que cette dégradation est plus importante dans les zones urbanisées et industrialisées. On nomme « calcaire » toutes les roches contenant au moins 50 % de carbonate de calcium (ou calcite), de formule brute $CaCO_3$ ; y sont souvent associées des variétés contenant un carbonate mixte $CaMg(CO_3)_2$ (dolomite).

## 1. S'approprier et analyser la situation

À partir du texte d'introduction et du texte ci-dessus, répondre aux questions suivantes :

1.1. Quelles sont les conséquences des pluies acides ? Comment peut-on les limiter ?

.....

.....

1.2. Indiquer le nom et le nombre des différents atomes qui constituent la molécule de carbonate de calcium de formule brute $CaCO_3$.

.....

.....

1.3. Calculer la masse molaire moléculaire du carbonate de calcium.

.....

.....



1.4. On veut observer l'effet d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique de pH voisin de celui des pluies très acides sur le carbonate de calcium (calcite). Au laboratoire de Sciences, on dispose du matériel et des produits suivants :



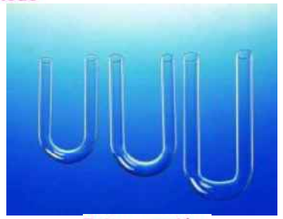
Flacon rond + Bouchon caoutchouc



Ampoule de coulée



Tubes à essais



Tubes coudés

Craie
Acide chlorhydrique
Eau de chaux

Produits

Proposer un protocole expérimental qui permette d'observer l'effet d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique sur le carbonate de calcium (le protocole proposé devra être accompagné d'un schéma légendé).

| Schéma du dispositif | Description du protocole |
|---|---|
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |
| | ..... |

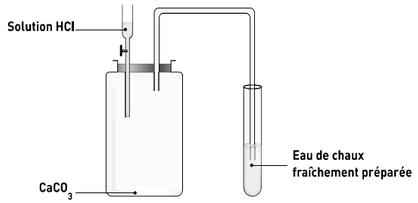
**Appel n° 5 :**

Appeler le professeur afin de présenter et justifier oralement les réponses aux questions 1.1 à 1.3 ainsi que la proposition de protocole expérimental de la question 1.4.

À l'issue de l'appel, le professeur vous donnera l'autorisation de réaliser la suite de l'activité.

## 2. S'approprier et analyser la situation

**2.1.** Réaliser le montage correspondant au schéma ci-dessous :




**2.2.** Faire écouler la solution d'acide chlorhydrique sur le carbonate de calcium $CaCO_3$ ; noter les observations faites.

.....

.....

.....

.....

.....

**2.3.** Après avoir laissé agir quelques minutes, récupérer et filtrer le liquide du flacon. Rechercher dans le tableau ci-dessous le test d'indentification à réaliser pour vérifier si le filtrat obtenu contient des ions $Ca^{2+}$ puis proposer le protocole expérimental correspondant :

**Tableau des réactions de précipitations caractéristiques :**

| Réactif | Couleur du précipité | Ion présent identifié |
|---|---|---|
| Nitrate d'argent | Blanc | $Cl^-$ |
| Chlorure de baryum | Blanc | $SO_4^{2-}$ |
| Oxalate d'ammonium | Blanc | $Ca^{2+}$ |
| Hydroxyde de sodium | Bleu | $Cu^{2+}$ |
| | Vert | $Fe^{2+}$ |
| | Rouille | $Fe^{3+}$ |
| Chlorure de fer | Rouille | $OH^-$ |

**Appel n° 6 :**

Appeler le professeur afin de réaliser les manipulations du test d'identification proposé & validé devant lui, de lui présenter les résultats expérimentaux puis de lui proposer oralement les premières conclusions suite aux observations effectuées.

**2.4.** Consigner le résultat du test en complétant la colonne « Observation » du tableau ci-dessous :

| Tube à essai | Réactif | Observation |
|---|---|---|
| 1 | | |



**2.5.** Recommencer le protocole en remplaçant la solution d'acide chlorhydrique par de l'eau déminéralisée. Noter les observations ci-dessous.

.....

.....

.....

**Appel n° 7 :**

Remettre en état le poste de travail.

## 3. Exploiter et répondre à la problématique

En comparant les deux réactions, rédiger une conclusion sur la conséquence de l'acidité des pluies sur les bâtiments en calcaire.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

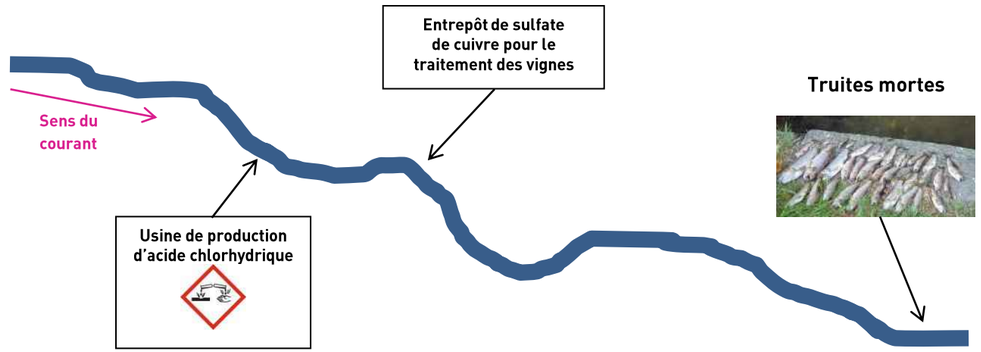
**1ProSPC18**

Date : .....

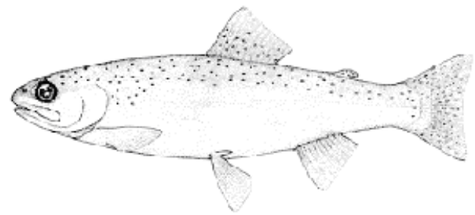
# Truite Arc-en-Ciel

## Présentation du contexte des expérimentations & de la situation

**Dans le cadre de leur mission de surveillance des milieux aquatiques, deux agents de l'AFB (Agence Française pour la Biodiversité) découvrent un nombre important de truites arc-en-ciel mortes dans une rivière.**



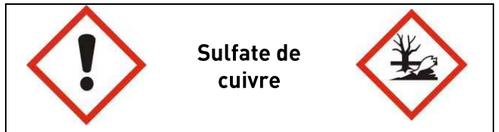

### Doc. 1. Conditions de vie de la truite arc-en-ciel



**La truite arc-en-ciel est un poisson d'eau douce très exigeant en termes de qualité de l'eau. Elle vit dans des lacs ou des cours d'eau, froids, bien oxygénés, situés dans des milieux naturels non pollués.**

**La truite arc-en-ciel supporte mal les variations fortes et brusques du pH de l'eau, en particulier les baisses de pH. Son idéal est un pH autour de 7. Un pH de l'eau inférieur à 6,5 ou supérieur à 8,5 lui ôte toute force.**

### Doc. 2. Données de sécurité



**Sulfate de cuivre**

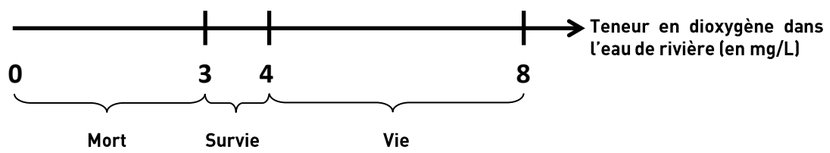
**H302 - Nocif en cas d'ingestion**
**H315- Provoque une irritation cutanée**
**H410- Très toxique pour les organismes aquatiques**

### Doc. 3. Tableau des réactions de précipitations caractéristiques

| Réactif | Couleur du précipité | Ion présent identifié |
|---|---|---|
| Nitrate d'argent | blanc | $Cl^-$ |
| Chlorure de baryum | blanc | $SO_4^{2-}$ |
| Oxalate d'ammonium | blanc | $Ca^{2+}$ |
| Hydroxyde de sodium | bleu | $Cu^{2+}$ |
| | vert | $Fe^{2+}$ |
| | rouille | $Fe^{3+}$ |
| Chlorure de fer | rouille | $OH^-$ |

**Problématique :**
**Quelle est la cause responsable de la mort des truites arc-en-ciel ?**

### Doc. 4. Conséquences biologiques de la teneur en dioxygène sur la faune aquatique.



# Annexe 6 : Transcription écrite d'un débat (séance n°2)

P : Ma question est bien d'émettre une hypothèse concernant la problématique "Comment classer les solutions de la plus acide à la plus basique ?" et puis surtout de dire pourquoi.
[...]
E13 : "Eau de Javel", "déboucheur de canalisations", "jus de citron" et "Coca".
P : Alors, pourquoi tu as classé dans cet ordre-là ? Là, tu m'as bien dit du plus acide au plus basique ?
E13 : Oui. Parce que déjà, j'ai mis l'eau de Javel car vu que c'est un produit ménager il faut que ça décape. Le déboucheur de canalisations, pareil, mais faut pas que ça attaque trop quand même. Le jus de citron parce que ça pique. Et, le Coca parce qu'on peut le boire.
[...]
E14 : Moi, j'aurais dit "Javel", "Destop", "Coca", "citron".
P : Alors, pourquoi ?
E14 : La Javel sur des vêtements, ça rosit déjà, donc c'est assez corrosif. Après, le Destop il faut que ce soit bien corrosif pour déboucher les canalisations. Le Coca car ça arrive à faire fondre les circuits de téléphone donc ça doit quand même être assez acide. Et après le citron.
P : Pourquoi le citron en dernier ?
E14 : Parce que c'est amer.
[...]
E17 : J'ai fait du plus basique au plus acide.
P : Alors du plus basique au plus acide, on t'écoute.
E17 : "Coca", "jus de citron", "déboucheur de canalisations" et "Eau de Javel".
P : Alors, pour quelles raisons ?
E17 : Le Coca, on peut le boire. Le citron, on peut mais c'est un peu plus acide. Le déboucheur de canalisations je l'ai mis avant l'Eau de Javel car il faut que ça décape mais pas trop pour pas ronger les tuyaux. Et l'Eau de Javel, je l'ai mise en dernier car c'est fait pour que ça puisse retirer tout...
P : Quand tu dis "Pour que ça retire tout", tu entends quoi ?
E17 : Pour que ça décape !
P : Pour que ça décape quoi ?
E17 : Admettons sur les frigos ou sur les fours.
P : Tu enlèves quoi avec l'Eau de Javel alors ?
E17 : La graisse !
[...]
E15 : J'ai mis Destop en premier car ça défonce...
P : Ça défonce ?
E14 : Ça casse la gorge (reformule les propos de E15 pour P).
E15 : L'eau de Javel, ça c'est pour nettoyer. Le citron parce que ça pique et le Coca parce qu'il y a du sucre.
E16 : Et que ça enlève de l'acidité !
[...]
E13 : Il a raison en fait [E16] avec le sucre, ça enlève de l'acidité !
[...]
E16 : "Déboucheur", "Eau de Javel", "jus de citron" et "Coca".
[...]
P : Le Coca, parce qu'il y a du sucre...
E13 : Oui c'est ça, ça enlève un peu d'acidité par rapport au citron.
E14 (à E13) : Le Coca, ça aide à décaper des pièces, il faut quand même que ce soit acide.
[...]
E12 : "Déboucheur", "Javel", "Coca", "citron". Déboucheur parce que ça liquide tout ce qu'il y a dans le tuyau. Javel parce que si on en boit, on en crève. Coca parce que c'est acide...
P : Pourquoi c'est acide le Coca ?
E12 : Parce qu'il y a des produits chimiques à l'intérieur.
E14 : Ah ben quand même euh... (désapprouve)
P : C'est un produit chimique le Coca ?
E12 : Non, non...
E17 : Si, c'est un produit chimique, c'est fait industriellement. Enfin, quand on regarde il y a plein de mots qu'on ne comprend pas (montre l'étiquette d'une canette de Coca à P).

# Bibliographie


- ✓ BACHELARD Gaston (2011, 1ère édition 1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Librairie philosophique J. VRIN.
- ✓ BOEN spécial n°2 du 19 février 2009
- ✓ BOEN n°8 du 25 février 2010
- ✓ Propos recueillis par Luce BROSSARD (1999). *Construire des compétences, tout un programme ! Entrevue avec Philippe Perrenoud.* Vie pédagogique, 112.
- ✓ Décret n° 2015-372 du 31 mars 2015 relatif au socle commun de connaissances, de compétences et de culture disponible en lecture à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/3/31/MENE1506516D/jo/texte
- ✓ DEP (décembre 2004). « Note d'Évaluation 04-12 - *Les élèves de 15 ans : Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2003* »
- ✓ DEPP (janvier 2011). « Note d'Information 11-06 - *Les compétences des élèves en sciences expérimentales en fin de collège* »
- ✓ DEPP (juillet 2014). « *Note d'Information n°28 - CEDRE 2013 - Sciences en fin de collège : stabilité des acquis depuis six ans* »
- ✓ DEPP (février 2015). « *Rapport technique CEDRE 2013 sciences expérimentales en fin de collège* »
- ✓ DEPP (décembre 2016). « *Note d'Information n°37 - Les élèves de 15 ans en France selon PISA 2015 en culture scientifique : des résultats stables, toujours marqués par de fortes inégalités* »
- ✓ DGESCO (mai 2010). « *Former et évaluer par compétences dans le cadre des activités expérimentales* »
- ✓ D'HAM Cédric (janvier 2009). « *La construction de protocole expérimental : objet et moyen d'apprentissage* ». Cahiers pédagogiques, 469, « Faire des sciences physiques et chimiques »
- ✓ IGEN (juin 2007). « Rapport n° 2007- 048 : *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis* »
- ✓ IGEN (octobre 2011). « Rapport n° 2011-111 : *Activités expérimentales en physique-chimie : enjeux de formation* »
- ✓ LE BOTERF Guy (1994). *De la compétence…Essai sur un attracteur étrange*. Les Éditions d'Organisation.
- ✓ MEIRIEU Philippe (1987). *Apprendre…oui, mais comment*. ESF éditeur.
- ✓ OCDE (2016). « *Cadre d'évaluation et d'analyse de l'enquête PISA 2015 : Compétences en sciences, en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en matières financières* ». Éditions OCDE.
- ✓ PERRENOUD Philippe (1997). *Construire des compétences dès l'école*. ESF éditeur.
- ✓ Position du Parlement européen arrêtée en première lecture le 26 septembre 2006 en vue de l'adoption de la recommandation du Parlement européen et du Conseil sur les compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie disponible en téléchargement à l'adresse : http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TC&reference=P6-TC1-COD-2005-0221&language=FR

**Résumé :**

Dans le cadre d'un enseignement de disciplines scientifiques qui encourage une démarche pédagogique privilégiant la démarche d'investigation et l'expérimentation dans une approche plus globale d'enseignement et d'évaluation par compétences, ma recherche s'est portée sur l'accompagnement de l'élève vers la réussite dans la tâche de conception d'un protocole expérimental. Cette problématique est abordée à partir de la mise à l'épreuve de deux hypothèses concernant la connaissance des critères d'un protocole (pertinence, exécutabilité, communicabilité) et la proposition d'étayages en cours de séquence prédéfinis comme vecteurs de réussite dans la réalisation de la tâche de conception d'un protocole. À l'échelle de l'expérimentation menée sur un échantillon non significatif, les résultats montrent que les éléments d'étayage proposés aident les élèves à améliorer les protocoles qu'ils produisent en matière de communicabilité mais ni en pertinence, ni en exécutabilité. De ce fait, et en raison des nombreuses difficultés liées à celui-ci, j'en conclus que l'apprentissage de la conception de protocole doit s'inscrire dans la durée et nécessite de ma part de réviser certaines de mes pratiques pédagogiques dans l'intérêt de la réussite des élèves.

**Mots-clés :** sciences / compétences / protocole / conception / étayage