

Inspection générale de l'éducation nationale

Activités expérimentales : enjeux de formation

Rapport à Monsieur le ministre
de l'éducation nationale, de la
jeunesse et de la vie associative

Activités expérimentales : enjeux de formation

Rapporteurs : **Groupe des Sciences physiques et chimiques,
fondamentales et appliquées**

**octobre 2011
N° 2011-111
Version corrigée 1.0-09/2017**

Sommaire

1	Introduction	9
2	Évolution des enjeux de formation des activités expérimentales en physique et en chimie : quelques repères historiques	10
3	Quels enjeux les textes officiels assignent-ils aux activités expérimentales ? ...	13
3.1	Les activités expérimentales et les programmes	13
3.1.1	Au collège	13
3.1.2	En classe de seconde générale et technologique	14
3.1.3	Dans le cycle terminal de la filière générale scientifique	15
3.1.4	Dans la voie professionnelle	15
3.1.5	Dans la voie technologique	16
3.1.6	En CPGE	18
3.1.7	En STS.....	18
3.1.8	Les démarches de projet.....	18
3.1.9	La place de la mesure dans les programmes	19
3.2	L'évaluation des compétences expérimentales	20
3.2.1	Dans la voie professionnelle	20
3.2.2	Au baccalauréat S.....	21
3.2.3	Au baccalauréat STL	21
3.2.4	Dans les concours d'admission aux grandes écoles.....	22
3.3	Conclusion.....	22
4	Une ou des démarches scientifiques ?	23
4.1	L'élaboration de la connaissance scientifique par les physiciens et les chimistes	23
4.2	Quels modèles de démarche scientifique pour enseigner ?	24
4.2.1	La démarche inductive.....	24
4.2.2	La démarche déductive.....	25
4.2.3	La démarche d'investigation ou démarche hypothético-déductive.....	25
4.2.4	La démarche expérimentale de projet.....	26
4.3	Quelles activités expérimentales dans la classe ?.....	26
5	Construire des compétences en pratiquant des activités expérimentales.....	27
5.1	Cadre de réflexion	27
5.1.1	Compétences mises en œuvre lors des activités expérimentales.....	28
5.1.2	La compétence « communiquer ».....	31
5.2	Activités expérimentales favorisant l'acquisition de compétences	32
5.2.1	Quelles activités expérimentales favorisent l'acquisition de compétences ?.....	32
5.2.2	Sur quoi fonder sa réflexion pour concevoir une activité favorisant la mobilisation de compétences ?.....	33
5.2.3	Suivi des acquis des élèves	35
5.3	Comment adapter une séance de travaux pratiques « classique » ?	36
5.3.1	Exemple d'adaptation dans la voie professionnelle	37
5.3.2	Exemple d'adaptation d'un protocole de mesure d'une concentration molaire de diode par comparaison à une échelle de teinte en classe de seconde. 38	
5.3.3	Exemple d'adaptation d'un protocole de synthèse d'une molécule organique, au niveau BTS.....	41
6	Exemples de mise en œuvre	44
6.1	Au collège.....	44
6.2	Au lycée professionnel	45
6.3	Au lycée général.....	46

6.4	Au niveau post-bac.....	48
6.4.1	L'évaluation à l'aide d'une grille de compétences	49
6.4.2	La résolution de problèmes ouverts	50
6.4.3	La mesure	51
7	Conclusion	52
	Annexe 1 : membres du GRIESP	53
	Annexe 2 : Les objectifs de formation et les compétences à construire écrites dans les programmes de seconde de Mathématiques, SPC, SVT et MPS, en vigueur en 2010.....	54
	Annexe 3 : Glossaire de quelques termes fréquemment utilisés dans le cadre de l'enseignement des sciences physiques.....	56
	Annexe 4 : Inventaire des activités réalisées par les élèves au laboratoire en regard des compétences mobilisées.....	59
	Annexe 5 : Un exemple de grille de compétences.....	63
	Annexe 6 : Grille nationale d'évaluation pour le baccalauréat professionnel.	64
	Annexe 7 : Dosage de l'acidité d'un vinaigre, version « Épreuve expérimentale de baccalauréat professionnel » - Sessions 1998 à 2011	65
	Annexe 8 : Dosage de l'acidité d'un vinaigre, version « Contrôle en cours de formation » - Diplôme intermédiaire.....	69
	Annexe 9 : Niveau sonore, version « Épreuve expérimentale de baccalauréat professionnel » - Sessions 1998 à 2011	73
	Annexe 10 : Niveau sonore, version « Contrôle en cours de formation » - Diplôme intermédiaire.....	74
	Annexe 11 : Activités expérimentales produites, du collège au post-bac	78
	Annexe 12 : Mesures et incertitudes en sciences physiques et chimiques.....	80
	Éléments de bibliographie et de sitographie	87

Les activités expérimentales : enjeux de formation

1 Introduction

Le thème d'étude « annuel » du groupe des sciences physiques et chimiques de l'inspection générale, dédié aux activités expérimentales comme enjeu de formation, est en fait devenu biennuel.

Une telle durée a paru nécessaire au groupe qui a voulu établir un rapport de référence sur les différents aspects de l'enseignement expérimental mené dans la discipline et applicable à l'ensemble du cursus secondaire, du collège au lycée (général, technologique et professionnel), et aux deux premières années de l'enseignement post-baccalauréat, CPGE et STS.

Ce rapport s'inscrit dans la continuité des réflexions régulièrement produites par le groupe sur l'enseignement de la discipline et notamment sur sa composante expérimentale : *La place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique-chimie*¹ en 2004, *Les travaux pratiques, leur mise en œuvre et leur évaluation*² en 1999 et *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie ; quels enjeux d'apprentissage ?*³ en 1998.

Le caractère expérimental de l'enseignement des sciences s'est en effet affirmé très tôt dans le système français, avec notamment la mise en place dès 1902, dans l'enseignement général des lycées, d'expériences d'élèves appelés « exercices pratiques ». Tous les concepteurs de programmes de physique-chimie qui se sont succédé ensuite, ont toujours manifesté la volonté d'accorder une part importante à l'approche expérimentale. Les activités expérimentales, désormais reconnues comme constitutives des apprentissages scientifiques et comme essentielles pour la formation des esprits scientifiques, jouent un rôle privilégié dans la pratique de la démarche scientifique. Cette démarche à laquelle les élèves sont initiés dès l'école primaire et au collège, développe chez eux des compétences évaluées dans le cadre du socle commun et constitue actuellement le fil conducteur des programmes rénovés du lycée.

L'objectif de ce rapport est de proposer des outils et des ressources pour faire évoluer les pratiques des enseignants afin de mieux répondre aux nouvelles exigences institutionnelles, d'améliorer l'efficacité de l'enseignement scientifique en termes d'acquis et de compétences des élèves, en accroissant notamment leur autonomie tout en développant leur goût pour les sciences à travers des activités innovantes. La très grande richesse de la terminologie associée à ces nouvelles pratiques conduit à fournir des glossaires qui explicitent le vocabulaire utilisé pour décrire les différentes activités, qui participent à développer une culture commune chez les professeurs et favorisent le dialogue entre eux.

Dans un premier temps, quelques repères historiques seront donnés pour analyser l'évolution des enjeux assignés aux activités expérimentales dans l'enseignement de

¹ http://intranet.crdp.ac-caen.fr/burpeda/Documents/298/statut_tp.pdf

² http://intranet.crdp.ac-caen.fr/burpeda/Documents/298/place_experimental.pdf

³ Publication CRDP Caen Basse Normandie *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie ; quels enjeux d'apprentissage ?* 140 pages, Identifiant : DEJDLOLA0017995

la physique-chimie, puis leurs enjeux actuels seront identifiés à travers les différents textes officiels.

Comme les activités expérimentales revêtent des formes très diversifiées et se dotent d'objectifs d'apprentissage nombreux, variés et parfois très ambitieux, il sera décrit, dans un deuxième temps, les méthodes scientifiques d'élaboration de la connaissance, les différents types de démarches mises en œuvre en classe et les typologies d'activités expérimentales associées.

Enfin, le travail du GRIESP⁴ sera présenté (membres du groupe en Annexe 1). Dans la continuité du socle commun de connaissances et de compétences, il a précisé les capacités et attitudes mises en œuvre de manière spécifique dans les activités expérimentales en sciences physiques et chimiques avec pour objectif de montrer la cohérence et progressivité des apprentissages de la cinquième jusqu'au niveau bac+2 (CPGE et STS). Par ailleurs, la place de la métrologie dans notre enseignement méritant d'être réaffirmée et explicitée, il est apparu nécessaire d'installer un vocabulaire commun dans ce domaine, vocabulaire basé sur les normes internationales (Annexe 12). Le GRIESP a élaboré et testé des exemples d'activités expérimentales ayant pour objectif d'acquérir les compétences identifiées, notamment celles liées au domaine de la mesure désormais inscrites explicitement dans les nouveaux programmes de lycée ; les titres de ces ressources sont regroupées en Annexe 11 et l'intégralité des documents est téléchargeable en ligne sur le site du réseau national STL⁵.

La mise en œuvre du socle commun et les programmes en cours de rénovation nécessitent d'accompagner et de former les enseignants, souhaitons que ce rapport puisse contribuer à ces deux missions auprès des inspecteurs, formateurs et professeurs.

2 Évolution des enjeux de formation des activités expérimentales en physique et en chimie : quelques repères historiques

Depuis le début du XIX^{ème} siècle, le caractère expérimental de l'enseignement de la physique et de la chimie est souligné de manière récurrente à chaque réforme⁶. C'est encore le cas dans les programmes actuellement en vigueur et dans tous les nouveaux programmes de lycée qui viennent d'être publiés pour les voies générale, technologique et professionnelle, avec une importance désormais accrue accordée à la démarche scientifique et aux compétences qu'elle permet de faire acquérir aux élèves. Les enjeux assignés aux activités expérimentales ont cependant évolué au cours de ces deux siècles et il peut être intéressant de rappeler quelques-uns des repères historiques qui ont été déterminants dans l'évolution de cette composante de l'enseignement de cette discipline.

Dès le XVIII^{ème} siècle, la physique expérimentale se développe en France sous l'influence de l'Abbé Nollet dans les cabinets de physique et des collections. Au début du XIX^{ème} siècle, à l'École normale, Haüy souligne déjà l'importance des expériences dans son cours de physique et y décrit les éléments essentiels de la

⁴ Groupe de Recherche et d'Innovation pour l'Enseignement des Sciences Physiques : groupe piloté par l'inspection générale et constitué d'inspecteurs pédagogiques régionaux, et de professeurs de collège, de lycée, de CPGE.

⁵ Réseau national STL : <http://www.educnet.education.fr/rnstl>

⁶ « Le caractère expérimental de l'enseignement de la physique XIX^{ème}-XX^{ème} siècle » par Nicole HULIN, *Bulletin de l'union des physiciens* n° 748 et 749, 1992.

méthode expérimentale, « véritable méthode pour parvenir à l'explication des phénomènes qui a été adoptée par Newton » ; dès 1829, les élèves de l'École reçoivent une initiation aux manipulations. Quand, au milieu du XIX^{ème} siècle, la réforme des études secondaires conduit à la création de la filière scientifique et du baccalauréat ès sciences, Jean-Baptiste Dumas rédige les instructions pour les sciences physiques et affirme que « l'enseignement doit être simple et de caractère expérimental pour être adapté à la masse des élèves. Il faut partir de l'expérience fondamentale toutes les fois que le sujet le permet » c'est alors que sont introduites des épreuves pratiques à l'agrégation. En 1868, Victor Duruy insiste le premier pour que tous les étudiants fassent les expériences par eux-mêmes : « il faut que les yeux voient et que les mains touchent ». Enfin, c'est en 1902 que la réforme introduit des « exercices pratiques » dans l'enseignement général des lycées, avec exposition à la méthode inductive et réalisation de mesures. Cependant, dans la réalité, ces expériences réalisées par les élèves peinent à se mettre en place du fait du manque de matériel et se limitent souvent à accumuler des phénomènes pour « montrer ».

Pourtant, dès le début du XX^{ème} siècle, conférences pédagogiques et rapports de l'inspection générale convergent vers la nécessité d'enseigner « comment la science se fait et non comment la science est faite », de ne pas imposer les lois *a priori* et de ne pas réduire les expériences à une simple vérification. On considère qu'il faut rendre aux sciences leurs valeurs éducative et culturelle en faisant pratiquer et comprendre la méthode expérimentale pour développer le sens de l'observation et le sens critique, manier l'induction scientifique et apprendre à construire une hypothèse.

Entre 1970 et 1980, la commission Lagarrigue cherche, en élaborant les nouveaux programmes, non pas tant à former uniquement des physiciens et chimistes qu'à montrer à tous les élèves l'importance de la démarche spécifique aux sciences expérimentales comme ferment du progrès scientifique avec « l'interaction dialectique entre observation, manipulation, élaboration de modèles progressivement mathématisés, pour finalement revenir à l'expérimentation ». Les activités expérimentales vont alors jouer un rôle nouveau en permettant la mise en œuvre d'activités de modélisation ou l'analyse de modèles. Il est même demandé d'inclure dans le problème du baccalauréat l'étape de modélisation à partir d'exercices ancrés sur des situations expérimentales.

En 1989, le rapport Bergé⁷ constate que l'enseignement de sciences physiques s'est progressivement formalisé et mathématisé avec l'utilisation de démarches et de raisonnements trop déductifs et dogmatiques. Il effectue alors, comme au début du siècle, des recommandations rappelant l'importance des épreuves pratiques, insistant sur la nécessité de préserver le caractère expérimental de cet enseignement et sur l'intérêt de privilégier un apprentissage inductif. Une « évaluation expérimentale » est même demandée pour l'examen afin de « tester la méthodologie et l'aptitude au raisonnement expérimental autant que le savoir ponctuel, la compréhension qualitative avec l'exactitude de l'application numériques, et l'imagination et la créativité des élèves ».

C'est en 1990 qu'un exercice à caractère expérimental en relation avec les travaux pratiques est introduit dans l'épreuve écrite du baccalauréat, le nombre de points qui lui est attribué étant de 05/20.

⁷ Rapport de la mission sur l'enseignement de la physique, rapport Pierre Bergé, Octobre 1989

À partir de la réforme des programmes de 1992, il est demandé de former des citoyens éclairés en capacité d'effectuer des choix de société. On prône résolument un enseignement au caractère expérimental qui prend alors appui sur des objets et produits issus de la vie courante. Les Olympiades nationales de chimie, créées en 1986, puis celles de physique, créées en 1992, apportent à cette fin de nombreuses ressources expérimentales. Ces concours scientifiques évaluent la qualité des expériences et la rigueur de la démarche scientifique des projets d'équipe menés par des lycéens.

De 1997 à 1998, une réflexion s'engage autour des enjeux d'apprentissages des activités expérimentales au sein du groupe Evalphy⁸ piloté par l'inspection générale. Cette réflexion conduit, d'une part, à la publication au CRDP du livre *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie ; quels enjeux d'apprentissage ?* et, d'autre part, à celle du rapport *Les travaux pratiques, leur mise en place et leur évaluation* assortie de l'expérimentation d'une épreuve pratique au niveau terminale S dans plusieurs académies. De 1999 à 2002, l'évaluation des capacités expérimentales d'une durée de 45 minutes est organisée dans les lycées, la note obtenue étant portée dans le livret scolaire.

Enfin, alors qu'en 1992, puis en 1998, une épreuve de travaux pratiques a été instaurée, respectivement dans les baccalauréats technologiques et dans les baccalauréats professionnels, ce n'est qu'en 2003 qu'est introduite une épreuve pratique au baccalauréat général. Épreuve d'évaluation des capacités expérimentales, d'une durée d'une heure, comptant pour 4 points sur 20, elle s'attache à évaluer la maîtrise de l'utilisation du matériel et des gestes techniques. Dans l'épreuve écrite, l'expérimental tient aussi une place importante car les trois exercices supports de l'évaluation s'appuient très souvent sur des expériences et conduisent à l'analyse des protocoles et à l'exploitation de résultats.

Les programmes de lycée entrés en vigueur en 2000 accordent toujours une place privilégiée aux activités expérimentales mais insistent désormais sur la pratique du questionnement, jugé indispensable pour former les esprits scientifiques, et sur la mise en œuvre d'activités de modélisation. Des objectifs nouveaux sont assignés à l'enseignement expérimental et notamment aux travaux pratiques. Il s'agit de faire acquérir des compétences liées à l'expérimental, à la manipulation et aux attitudes à adopter au laboratoire ; une grille de compétences est fournie dans les objectifs généraux des programmes pour formaliser ces objectifs.

Quant aux nouveaux programmes de collège produits en 2005, 2006 et 2008, dans la continuité de ceux de l'école, ils encouragent fortement la pratique de la démarche d'investigation. Les compétences mises en jeu dans cette démarche font maintenant partie des items évalués dans le cadre du socle commun aux paliers 2 et 3.

Les nouveaux programmes de lycée, centrés sur la pratique de la démarche scientifique en seconde et dans toutes les voies au lycée plaident désormais pour une approche par compétences, conséquence « logique » d'un enseignement qui se veut porteur de sens pour l'élève en référence à la pratique réelle des scientifiques.

⁸ Groupe Evalphy (Évaluation en Physique-chimie) piloté par l'inspection générale et précurseur du groupe GRIESP.

3 Quels enjeux les textes officiels assignent-ils aux activités expérimentales ?

3.1 Les activités expérimentales et les programmes

Les activités expérimentales font partie intégrante de l'enseignement des sciences physiques et chimiques, essentiellement sous forme d'expériences de cours et de « travaux pratiques ».

Les programmes du collège et du lycée écrits depuis 2000, réaffirment l'importance de la place accordée à ces activités et inscrivent explicitement des capacités spécifiques et désormais des compétences à faire acquérir aux élèves dans le cadre de ces activités.

3.1.1 Au collège

La compétence 3 (les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique) du socle commun de connaissances et de compétences précise que⁹ :

« L'élève doit être capable :

- de pratiquer une démarche scientifique :
 - o savoir observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider, argumenter, modéliser de façon élémentaire,
 - o comprendre le lien entre les phénomènes de la nature et le langage mathématique qui s'y applique et aide à les décrire ;
- de manipuler et d'expérimenter en éprouvant la résistance du réel :
 - o participer à la conception d'un protocole et le mettre en œuvre en utilisant les outils appropriés, y compris informatiques,
 - o développer des habiletés manuelles, être familiarisé avec certains gestes techniques,
 - o percevoir la différence entre réalité et simulation ;
- d'exprimer et d'exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche et pour cela :
 - o utiliser les langages scientifiques à l'écrit et à l'oral,
 - o maîtriser les principales unités de mesure et savoir les associer aux grandeurs correspondantes,
 - o comprendre qu'à une mesure est associée une incertitude,
 - o comprendre la nature et la validité d'un résultat statistique. »

On voit clairement la mise en avant de la démarche scientifique et le rôle important de la manipulation et de l'expérimentation dans la formation de l'élève.

Dans l'introduction commune des nouveaux programmes de collège des disciplines scientifiques et technologiques¹⁰, on retrouve des références à l'expérimentation et à la manipulation :

« Sciences d'observation, d'expérimentation et technologies

Pour connaître et comprendre le monde de la nature et des phénomènes, il s'agit d'observer, avec curiosité et esprit critique, le jeu des effets et des causes, en imaginer puis construire des explications par raisonnement, percevoir la résistance du réel en manipulant et expérimentant, savoir la contourner tout en s'y pliant. Comprendre permet d'agir, si bien que techniques et sciences progressent de concert, développent l'habileté manuelle, le geste technique, le souci de la sécurité, le goût simultané de la prudence et du risque.»

⁹ <http://eduscol.education.fr/pid23410-cid47414/competence-3.html>

¹⁰ BOEN spécial n° 6 du 28 août 2008

3.1.2 En classe de seconde générale et technologique

Les nouveaux programmes de physique-chimie de la classe de seconde¹¹ ainsi que les préambules des programmes des enseignements d'exploration « sciences et laboratoire » et « méthodes et pratiques scientifiques » mettent l'accent sur l'activité expérimentale.

Le programme de physique-chimie insiste sur le rôle de l'*approche expérimentale* :

« Associée à un questionnement, l'approche expérimentale contribue à la formation de l'esprit et à l'acquisition, évaluée par le professeur, de compétences spécifiques. L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Elle lui permet de confronter ses représentations avec la réalité. Elle développe l'esprit d'initiative, la curiosité et le sens critique. Elle est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une expérimentation authentique et sûre.

Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. Connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir. »

En MPS, le programme est le suivant :

« Cet enseignement d'exploration vise à développer les compétences suivantes :

- savoir utiliser et compléter ses connaissances ;
- s'informer, rechercher, extraire et organiser de l'information utile (écrite, orale, observable, numérique) ;
- raisonner, argumenter, pratiquer une démarche scientifique, démontrer ;
- communiquer à l'aide d'un langage et d'outils adaptés.

Dans le cadre d'une démarche de projet, on demande à l'élève un travail personnel ou d'équipe qui devra intégrer obligatoirement une production (expérience, exploitation de données, modélisation, etc.) et aboutir à une forme de communication scientifique (compte rendu de recherche, affiche, diaporama, production multimédia etc.). Ce travail conjuguera les apports des différents champs disciplinaires concernés. »

Le programme de sciences et laboratoire insiste sur les capacités que les élèves peuvent acquérir à travers une démarche de projet s'appuyant sur des activités expérimentales :

« Dans le cadre d'une démarche de projet, il permet de découvrir les capacités plus particulièrement mises en œuvre à travers des pratiques expérimentales en laboratoire :

- formuler ou s'approprier une problématique,
- proposer une stratégie pour répondre à la problématique,
- mettre en œuvre des activités expérimentales,
- analyser les résultats et valider une solution,
- présenter et partager ses travaux. »

Les objectifs de ces programmes, exprimés en termes de compétences ou de capacités, sont d'ailleurs partagés avec d'autres disciplines scientifiques comme on peut le voir dans le rapprochement des préambules des trois programmes proposé dans l'Annexe 2.

¹¹ BO HS n°4 du 29 avril 2010

3.1.3 Dans le cycle terminal de la filière générale scientifique

Le programme¹² de première S fait référence à l'approche expérimentale. Il fait apparaître explicitement des compétences expérimentales exigibles en fin de formation, en voici un extrait :

« En effet, l'activité expérimentale conduit l'élève à **analyser** la situation-problème qui lui est proposée, à **s'approprier** la problématique du travail à effectuer, à justifier ou à proposer un protocole comportant des expériences, puis à le **réaliser**. L'activité expérimentale l'amène à confronter ses représentations avec la réalité, à porter un jugement critique sur la pertinence des résultats obtenus et des hypothèses faites dans la perspective de les **valider**. Pour cela il doit faire les schématisations et les observations, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre **autonome** et apte à prendre des **initiatives** et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents.

Elle est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une expérimentation authentique et sûre. »

3.1.4 Dans la voie professionnelle.

Pour le baccalauréat professionnel¹³, les programmes de mathématiques - sciences physiques et chimiques mettent l'accent sur la démarche d'investigation et sur l'expérimentation :

«2. Privilégier une démarche d'investigation

Cette démarche, initiée au collège, s'appuie sur un questionnement des élèves relatif au monde réel. Elle permet la construction de connaissances et de capacités à partir de situations problèmes motivantes et proches de la réalité pour conduire l'élève à :

- définir l'objet de son étude ;
- rechercher, extraire et organiser l'information utile (écrite, orale, observable) ;
- inventorier les paramètres et formuler des hypothèses ou des conjectures ;
- proposer et réaliser un protocole expérimental permettant de valider ces hypothèses ou de les infirmer (manipulations, mesures, calculs) ;
- choisir un mode de saisie et d'exploitation des données recueillies lors d'une expérimentation ;
- élaborer et utiliser un modèle théorique ;
- énoncer une propriété et en estimer les limites.

3. S'appuyer sur l'expérimentation

Le travail expérimental en mathématiques s'appuie sur des calculs numériques, sur des représentations ou des figures. Il permet d'émettre des conjectures en utilisant les TICE. Le travail expérimental en sciences physiques et chimiques permet en particulier aux élèves :

- d'exécuter un protocole expérimental en respectant et/ou en définissant les règles élémentaires de sécurité ;
- de réaliser un montage à partir d'un schéma ou d'un document technique ;
- d'utiliser des appareils de mesure et d'acquisition de données ;
- de rendre compte des observations d'un phénomène, de mesures ;
- d'exploiter et d'interpréter les informations obtenues à partir de l'observation d'une expérience réalisée ou d'un document technique. »

Pour le CAP¹⁴, les programmes de mathématiques – sciences physiques et

¹² BOEN HS n°9 du 30 septembre 2010

¹³ BOEN spécial n° 2 du 19 février 2009

chimiques mettent l'accent sur la nécessité d'une pratique courante des activités expérimentales :

« Les choix opérés dans les énoncés des compétences mentionnées dans le référentiel de certification supposent **une pratique courante d'activités expérimentales**, dans le cadre d'une démarche scientifique, par les élèves eux-mêmes lors de séances de travaux pratiques ou en classe laboratoire. **Les compétences expérimentales** attendues sont :

- être capable de mettre en œuvre un protocole expérimental en utilisant les outils appropriés, y compris informatiques,
- être capable de participer à la conception d'un protocole ;
- être capable de rendre compte oralement ou par écrit d'une activité expérimentale et de son exploitation en utilisant les langages scientifiques ;
- respecter les règles de sécurité.

Si, pour des raisons matérielles ou de sécurité, certaines expériences ne peuvent pas être réalisées par les élèves, le professeur pourra les réaliser lui-même ou utiliser tout support audiovisuel adéquat. »

3.1.5 Dans la voie technologique

Un enseignement de physique-chimie¹⁵ est dispensé dans les séries STI2D, ST2S, STI2A et STL. Dans chacun des programmes, comme dans la voie générale, les activités expérimentales occupent une place essentielle associées à la pratique de la démarche scientifique et elles doivent conduire au développement de compétences spécifiques. Dans la spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire de la filière STL, le projet va au-delà en demandant leur mobilisation dans le cadre d'une démarche menée dans son intégralité en autonomie.

Le programme de physique-chimie commun aux séries STI2D et STL précise que :

« Initier l'élève à la **démarche scientifique**, c'est lui permettre de développer des compétences nécessaires pour prendre des décisions raisonnables et éclairées dans les nombreuses situations nouvelles qu'il rencontrera tout au long de sa vie et, ainsi, le conduire à devenir un adulte libre, autonome et responsable.

Ces compétences nécessitent la maîtrise de capacités qui dépassent largement le cadre de l'activité scientifique :

- faire preuve d'initiative, de ténacité et d'esprit critique ;
- confronter ses représentations avec la réalité ;
- observer en faisant preuve de curiosité ;
- mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile fournie par une situation, une expérience ou un document ;
- raisonner, démontrer, argumenter, exercer son esprit d'analyse.

Autre composante essentielle de la démarche scientifique, la **démarche expérimentale** joue un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle établit un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures – toujours entachées d'erreurs aléatoires quand ce ne sont pas des erreurs systématiques – ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La maîtrise de la précision dans le contexte des activités expérimentales est au cœur de l'enseignement de la physique et de la chimie. Elle participe à l'éducation des élèves à la construction

¹⁴ BOEN spécial n° 8 du 25 février 2010.

¹⁵ BOEN spécial n°3 du 17 mars 2011.

d'une vision critique des informations données sous forme numérique, à la possibilité de les confronter à une norme, éducation indispensable pour l'évaluation des risques et la prise de décision.

Les **activités expérimentales** menées par les élèves sont un moyen d'appropriation de techniques, de méthodes, mais aussi de notions et de concepts. Associée à un questionnement inscrit dans un cadre de réflexion théorique, l'activité expérimentale, menée dans l'environnement du laboratoire conduit notamment l'élève à **s'approprier** la problématique du travail à effectuer, à maîtriser l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée), à **justifier** ou à **proposer** un protocole, à **mettre en œuvre** un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. L'élève doit porter un regard critique sur les résultats en identifiant les sources d'erreurs et en estimant l'incertitude sur les mesures.

L'activité expérimentale offre un cadre privilégié pour susciter la curiosité de l'élève, pour le rendre autonome et apte à prendre des initiatives et pour l'habituer à **communiquer** en utilisant des langages et des outils pertinents ».

Dans le programme de la spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire de la série STL, on peut lire :

« Dans la démarche scientifique [...], l'expérience, qui joue un rôle capital, acquiert ainsi un statut qui la distingue fondamentalement de celui d'un protocole fourni à un exécutant qui doit le respecter sans percevoir l'objectif et les finalités de ses actions. La pratique expérimentale dans sa plus large acception – c'est à dire n'excluant pas la simulation – permet à l'élève de la série technologique d'aborder très concrètement les différentes notions scientifiques du programme.

L'exercice de l'esprit critique est inhérent à la pratique de la démarche scientifique. La confrontation d'un résultat d'expérience aux hypothèses formulées ou celle d'un modèle construit au rendu du réel, impose le choix de critères de validation et, très souvent, la délimitation d'un champ ou d'un domaine de validité et d'application. Ce sont les allers-retours entre l'activité expérimentale, ses résultats, et l'activité réflexive sur les concepts et les modèles qui précisent, affinent, stabilisent la connaissance ou la font évoluer.

Dans l'accomplissement de la démarche scientifique, l'élève doit ainsi être capable de prélever des informations pertinentes, de les traiter, de les mettre en relation entre elles et avec son propre savoir et de les exploiter. Il doit aussi être en mesure de communiquer les résultats d'une recherche dans un langage rigoureux mais adapté au public auquel il s'adresse. [...]

Aussi, le professeur doit-il être sensible à développer, chez les élèves, **l'autonomie, la responsabilité et la prise d'initiative**. La démarche scientifique et la conduite de projet participent à un tel développement par les choix qu'elles imposent lors de leur mise en œuvre, par les méthodes de travail qui y sont développées, par les contraintes qui doivent être prises en comptes et par l'indispensable respect d'autrui et de l'environnement.

Claude BERNARD, médecin qui a posé les premières bases de la démarche scientifique ne disait-il pas au sujet de cette dernière : **“Pour être digne de ce nom, l'expérimentateur doit être à la fois théoricien et praticien. [...] Une main habile sans la tête qui la dirige est un instrument aveugle; la tête sans la main qui réalise reste impuissante”.**»

3.1.6 En CPGE

Les programmes de CPGE¹⁶ de physique et de chimie font eux aussi référence à l'approche expérimentale.

Par exemple, en PCSI, le programme de physique précise que « le programme est découpé en deux parties qui font toutes deux appel à l'approche expérimentale et à l'approche théorique ». Quant au programme de chimie, il indique :

« L'enseignement de la chimie est abordé au cours des deux années selon trois axes complémentaires :

- un axe expérimental important qui met en jeu les techniques de base et les outils de modélisation et de simulation ;
- un axe conceptuel qui permet d'acquérir les notions théoriques de base ;
- un axe orienté vers les applications qui présente ou illustre les concepts et notions fondamentaux dans le domaine des matériaux et de la synthèse organique.

La démarche expérimentale qui s'inscrit dans la continuité du cycle terminal du lycée, doit être privilégiée. La réflexion sur les phénomènes doit primer sur toute dérive calculatoire. Les exercices qui ne font place qu'à l'application des mathématiques doivent être bannis. Les travaux pratiques et les TP-cours sont les temps forts de cet enseignement. »

On voit apparaître ici la notion de TP-cours.

3.1.7 En STS

Créées en 1951, les sections de techniciens supérieurs (STS) industrielles ou de laboratoire ont toujours accordé une place importante aux activités expérimentales dans la formation dispensée aux étudiants et dans la certification (BTS). Si la part des capacités expérimentales liées à la maîtrise des gestes et à l'instrumentation prévalait jusqu'alors, la rénovation déjà engagée des programmes de différents BTS exige à présent une maîtrise de la démarche expérimentale qui va au-delà de la simple mise en œuvre de protocoles expérimentaux. On peut prendre l'exemple du référentiel du BTS « Ingénierie des systèmes automatiques » (ISA) :

« Composante essentielle de la démarche scientifique, la démarche expérimentale joue un rôle fondamental dans l'enseignement des sciences physiques et chimiques appliquées. Une bonne maîtrise de cette démarche et des capacités liées aux méthodes expérimentales associées est nécessaire au technicien supérieur en Ingénierie des systèmes automatiques, lequel est confronté à la réalité, que ce soit dans le domaine de la conception, de la réalisation ou de l'amélioration de performances d'un système.

Il doit donc être capable :

- de mettre en œuvre un protocole expérimental, éventuellement d'en proposer un ;
- d'exploiter des mesures ;
- d'interpréter des résultats ;
- de communiquer à l'écrit. »

3.1.8 Les démarches de projet

Les **TPE** en classe de première S, les **TIFE** en CPGE et désormais **le projet** dans les enseignements d'exploration en seconde (MPS et SL), dans la spécialité en première et en terminale STL PCL, encouragent aussi la pratique d'une démarche expérimentale, la mise en œuvre d'expériences pour répondre à une problématique donnée tout en faisant preuve de davantage d'autonomie et de prises d'initiative.

¹⁶ BOEN spécial n° 5 du 28 août 2003

3.1.9 La place de la mesure dans les programmes

Le programme de physique-chimie de collège insiste sur la variabilité de la mesure et reporte les justifications théoriques au niveau du lycée :

« Le problème de la variabilité de la mesure

De nombreuses activités dans les disciplines expérimentales (physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, technologie), basées sur des mesures, doivent intégrer la notion d'incertitude dans l'acte de mesurer et développer l'analyse des séries de mesures. Lors de manipulations, les élèves constatent que certaines grandeurs sont définies avec une certaine imprécision, que d'autres peuvent légèrement varier en fonction de paramètres physiques non maîtrisés. Plusieurs mesures indépendantes d'une même grandeur permettent ainsi la mise en évidence de la dispersion naturelle des mesures. Sans pour autant aborder les justifications théoriques réservées au niveau du lycée, il est indispensable de faire constater cette dispersion d'une série de mesures et d'estimer, en règle générale, la grandeur à mesurer par la moyenne de cette série. »

Au lycée, une place toute particulière a été accordée à la mesure dans les nouveaux programmes.

Tout d'abord, un enseignement de « mesures et instrumentation »¹⁷ est proposé dans la nouvelle première STL. Le préambule précise le rôle central qu'occupent les opérations de mesures dans tous les secteurs de la vie :

« Il n'est plus guère de domaines de la vie des femmes et des hommes d'aujourd'hui qui ne soient tributaires de mesures ; omniprésentes dans tout ce qui touche de près à leur santé, à leur sécurité, à leurs vies professionnelles ou privées, à leurs loisirs, les mesures sont, bien plus encore, au cœur des activités scientifiques, industrielles, agro-alimentaires et commerciales.

Toutes ces activités exigent des moyens et des instruments de prise d'informations de plus en plus performants et fiables au rythme des évolutions technologiques et des besoins engendrés.

Les instruments de mesure permettent d'obtenir des résultats chiffrés de plus en plus fiables et précis, validés par les outils de la métrologie, science et pratique de la mesure. Ils exigent dans leur mise en œuvre une culture scientifique et technologique, constituant un socle nécessaire aux activités de laboratoire.

La métrologie est maintenant indispensable à toute démarche d'accréditation, de certification de méthodes et de techniques comme elle l'est dans les domaines du contrôle-commande et de la modélisation (par exemple en météorologie).

Il importe de faire acquérir, dès le lycée, les éléments fondamentaux de cette culture métrologique à travers une pratique soutenue et raisonnée d'activités expérimentales en laboratoire. »

L'enseignement a pour objectif l'acquisition de compétences importantes pour la maîtrise de la démarche expérimentale :

« En association étroite avec les enseignements de spécialité (physique-chimie en laboratoire et biotechnologies) de chimie-biochimie-sciences du vivant et de physique-chimie de tronc commun, plusieurs situations de réalisation de mesures sont choisies afin de permettre aux élèves d'acquérir les connaissances et les capacités attendues, de réinvestir les compétences dans des contextes différents. »

¹⁷ BOEN spécial n°3 du 17 mars 2011

Cet enseignement aura un prolongement dans les classes de terminales S, STI2D et STL.

3.2 L'évaluation des compétences expérimentales

L'évaluation des compétences expérimentales est prise en compte au baccalauréat dans les trois voies, générale, technologique et professionnelle et dans les CAP et les BEP.

3.2.1 Dans la voie professionnelle

Traditionnellement, dans la voie professionnelle, il est coutume de dire que « la formation est pilotée par l'évaluation », notamment dans le cadre de la certification des diplômes.

En effet, des épreuves d'examen définies en cohérence avec l'esprit et les objectifs des programmes garantissent la qualité de la formation. C'est notamment le cas pour la formation aux activités expérimentales de sciences physiques et chimiques, qui est sanctionnée, dans la plupart des diplômes de CAP, BEP et baccalauréat professionnel, par une épreuve expérimentale, dans le cadre du contrôle en cours de formation (C.C.F.) ou dans celui de l'épreuve ponctuelle destinée aux candidats individuels (en baccalauréat professionnel exclusivement).

Dans le cadre du **contrôle en cours de formation** pour le CAP¹⁸, le BEP¹⁹ ou le baccalauréat professionnel²⁰, les situations d'évaluation en sciences physiques et chimiques comportent deux séquences qui s'appuient sur une ou deux activités expérimentales composées d'une ou plusieurs expériences (dont certaines peuvent être assistées par ordinateur). L'évaluation est conçue comme un sondage probant sur des compétences du référentiel et porte nécessairement sur les capacités expérimentales du candidat telles qu'observées durant ses manipulations, sur les mesures obtenues et leur interprétation.

« Lors de cette évaluation, il est demandé au candidat :

- de mettre en œuvre un protocole expérimental ;
- d'utiliser correctement le matériel mis à sa disposition ;
- de mettre en œuvre les procédures et consignes de sécurité adaptées ;
- de montrer qu'il connaît le vocabulaire, les symboles, les grandeurs et les unités mises en œuvre ;
- d'utiliser une ou plusieurs relations, ces relations étant données ;
- de rendre compte par écrit des résultats des travaux réalisés.

Le candidat porte, sur une fiche qu'il complète en cours de manipulation, les résultats de ses observations, de ses mesures et leur interprétation. L'examineur élabore une grille de compétences qui lui permet d'évaluer les connaissances et capacités du candidat lors de ses manipulations. Lorsque la situation s'appuie sur d'autres disciplines, aucune connaissance relative à ces disciplines n'est exigible des candidats et toutes les indications utiles doivent être fournies dans l'énoncé. »

Dans le cadre de l'épreuve ponctuelle du baccalauréat professionnel²¹, il est adjoint à cette évaluation une partie « exercices ou questions complémentaires, relatifs au

¹⁸ BOEN n° 8 du 25 février 2010

¹⁹ BOEN n° 31 du 27 août 2009

²⁰ BOEN n° 20 du 20 mai 2010

²¹ BOEN n° 20 du 20 mai 2010

contexte de l'expérimentation qui structure le sujet [...], qui mettent en œuvre une ou plusieurs grandeurs et relations entre elles. Les questions posées doivent permettre de vérifier que le candidat est capable :

- de montrer qu'il connaît le vocabulaire, les symboles, les grandeurs et les unités mises en œuvre ;
- d'indiquer l'ordre de grandeur d'une valeur compte tenu des mesures fournies et du contexte envisagé ;
- d'utiliser des définitions, des lois et des modèles pour répondre aux problèmes posés ».

3.2.2 Au baccalauréat S

Depuis 2003, l'épreuve de sciences physiques et chimiques de la série S du baccalauréat général comporte une épreuve pratique d'évaluation des capacités expérimentales d'une durée d'une heure²².

À l'issue de la rénovation des programmes du lycée, la définition des épreuves du baccalauréat de la session 2013 prévoit aussi une épreuve pratique d'évaluation des compétences expérimentales d'une durée d'une heure avec les caractéristiques suivantes :

« Cette épreuve pratique a pour objectif d'évaluer des compétences expérimentales dans le cadre de l'environnement du laboratoire. Selon les situations, le candidat peut être conduit à s'approprier et analyser une situation problème, à justifier ou à proposer un protocole expérimental, à le réaliser, à porter un jugement critique sur la pertinence des hypothèses et des résultats en vue de les valider. Le candidat peut aussi être amené à faire preuve d'initiative et à communiquer en utilisant des langages et des outils pertinents. »

3.2.3 Au baccalauréat STL

Dans la filière STL, la part des activités expérimentales est telle qu'une épreuve pratique de laboratoire (en physique en STL PLPI et en chimie en STL CLPI) d'une durée de trois heures est intégrée dans le référentiel de ces deux baccalauréats (Note de service n°96-260 du 6 novembre 1996, BOEN n°44 du 5 décembre 1996).

La rénovation des programmes dans la filière STL PCL réaffirmant l'importance de la composante expérimentale, une épreuve d'évaluation des compétences expérimentales d'une durée de trois heures aura lieu à partir de la session 2013 du baccalauréat.

« Cette épreuve pratique a pour objectif d'évaluer des compétences dans le cadre d'une démarche scientifique menée au laboratoire de physique - chimie.

Le candidat sera évalué sur les six compétences suivantes :

- **s'approprier** : le candidat s'approprié la problématique du travail à effectuer et l'environnement matériel à l'aide d'une documentation ;
- **analyser** : le candidat justifie ou propose un protocole, propose un modèle ou justifie sa validité, choisit et justifie les modalités d'acquisition et de traitement des mesures ;
- **réaliser** : le candidat met en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité;
- **valider** : le candidat identifie des sources d'erreur, estime l'incertitude sur les mesures à partir d'outils fournis et analyse de manière critique la cohérence des résultats ;

²² B.O. n° 27 du 4 juillet 2002

- **communiquer** : le candidat explique ses choix et rend compte de ses résultats sous forme écrite et orale ;
- **être autonome et faire preuve d'initiative** : le candidat exerce son autonomie et prend des initiatives avec discernement et responsabilité. »

3.2.4 Dans les concours d'admission aux grandes écoles

L'expérimentation constitue une activité importante du métier d'ingénieur. Elle vise principalement deux objectifs : comprendre un phénomène (en vue de le modéliser) et valider ou affiner un modèle. Un certain nombre de grandes écoles attache de l'importance à l'existence d'activités expérimentales dans les classes préparatoires et à l'évaluation des compétences des candidats dans ce domaine et impose aux candidats de passer une épreuve pratique dans le cadre des épreuves d'admission.

À titre d'exemple, en 2009, le concours Centrale-Supélec a décidé d'établir un cahier des charges de conception des épreuves de travaux pratiques afin d'identifier les compétences dont la maîtrise est attendue des candidats ; celles-ci sont, pour la plupart, indépendantes du champ disciplinaire faisant l'objet du support du TP. Ces compétences sont les suivantes :

« • Comprendre

Le candidat doit s'approprier la problématique du travail à effectuer et l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée) afin de mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.

• Analyser

Le candidat doit être capable de justifier ou de proposer un modèle et un protocole d'analyse qui servira de base au choix ou à la justification des modalités d'acquisition et de traitements des mesures.

• Valider

Le candidat doit être capable d'identifier les sources d'erreurs, d'estimer l'incertitude sur une mesure unique ou sur une série de mesures, de présenter les résultats finaux sous une forme cohérente avec le niveau de précision adéquat.

• Communiquer

Le candidat doit être à même d'expliquer, de présenter et de commenter sous forme écrite et orale l'expérimentation conduite et les résultats obtenus. Il doit pouvoir formuler des conclusions et savoir faire preuve d'écoute. »

Ces compétences seront déclinées en savoir-faire observables qui constitueront les éléments de la fiche d'évaluation. Ces éléments seront évalués par les examinateurs à travers l'observation du comportement des candidats, les échanges (questions, réponses) pendant l'épreuve et l'examen d'un éventuel compte-rendu écrit.

3.3 Conclusion

Les textes officiels assignent des enjeux importants en termes d'apprentissages aux activités expérimentales, enjeux cohérents et progressifs tout au long du cursus, du collège à l'enseignement supérieur.

Le vocabulaire employé pour décrire les activités expérimentales dans les différents programmes est particulièrement foisonnant : démarche scientifique, démarche expérimentale, enseignement expérimental, activités expérimentales, expérimentation, démarche d'investigation, travaux pratiques, TP-cours, expérience de cours... Il apparaît donc nécessaire de bien identifier ce que recouvre chaque terme afin de pouvoir établir un dialogue plus construit entre pairs et de communiquer d'une manière plus efficace auprès des élèves. Un glossaire proposé

dans l'Annexe 3 permettra d'installer quelques repères sémantiques, mais aussi pédagogiques.

On constate par ailleurs que, dans tous les programmes, la mise en œuvre d'une **démarche scientifique** apparaît comme un vecteur reconnu propice à la construction des apprentissages et des compétences des élèves. Pour autant, il n'est pas certain que tous les enseignants donnent le même sens à cette expression. Il convient donc de bien en identifier les contours et les stratégies, ce qui sera l'objet du développement suivant.

4 Une ou des démarches scientifiques ?

La démarche scientifique pratiquée par les physiciens et les chimistes, chercheurs ou ingénieurs, est-elle unique ? Peut-elle s'ériger en modèle transposable dans l'enseignement ? Quelle est la place de l'expérience ? Comment peut-on enseigner aux différents niveaux, pour garantir l'authenticité de l'activité scientifique ?

4.1 L'élaboration de la connaissance scientifique par les physiciens et les chimistes

Dans les laboratoires de recherche se côtoient des théoriciens et des expérimentateurs dont les approches scientifiques diffèrent suivant leur mission ou la partie du projet²³ dont ils ont la responsabilité. Un chercheur ou un ingénieur qui, de nos jours, débute un sujet de recherche travaille rarement seul. Il va commencer par faire avec son équipe un inventaire de l'ensemble des publications répertoriées sur le sujet. En confrontant sa propre expérience aux résultats publiés dans le domaine étudié et en échangeant avec ses pairs, il va construire et problématiser la question de science qu'il se pose afin de dégager des hypothèses de travail et conduire un programme d'expériences. Le chercheur partagera nécessairement ses avancées scientifiques par le biais de communications (publications, conférences...). Ces dernières seront utiles à d'autres chercheurs et cela va occasionner de nécessaires rétroactions.

L'activité de ce professionnel pratiquant les sciences va, le plus souvent, consister en une itération d'étapes : bibliographie, hypothèse, modélisation, prévision, expérience, conclusion, communication, réfutation, nouvelle hypothèse... C'est dans la succession de ces étapes qu'on pourrait identifier une démarche typiquement scientifique.

On comprend bien que la diversité des cheminements intellectuels rend illusoire toute volonté de définir une pratique scientifique unique qui représenterait à elle seule le raisonnement type de tous les représentants de la communauté des scientifiques, à un instant donné.

D'ailleurs, si l'on interroge l'histoire des sciences le recul nous permet, grâce aux travaux des philosophes et épistémologues, de constater que le savoir ne s'élabore pas de manière linéaire et que sa construction est faite de nombreuses ruptures et de nombreux changements de paradigme. Thomas Khun²⁴ montre bien comment la

²³ Même au sein de ces deux catégories simplificatrices, les postures épistémologiques et les registres de valeur (humaines, économiques, politiques, philosophique...) peuvent varier.

²⁴ Philosophe et historien des sciences auteur de *La structure des révolutions scientifiques*, paru en 1970.

réfutation d'une théorie au vu de faits qui contredisent les résultats attendus n'est pas une démarche si naturelle que cela pour une communauté scientifique organisée autour d'un paradigme dominant. Par exemple, les irrégularités de l'orbite d'Uranus ont été considérées comme une anomalie au paradigme newtonien jusqu'à ce que Le Verrier imagine la présence d'une nouvelle planète, confortant ainsi la théorie newtonienne. La réticence au changement est si forte que la communauté scientifique a mis beaucoup de temps à accepter la nécessité d'une autre théorie pour expliquer les irrégularités de l'orbite de Mercure. La démarche scientifique décrite plus haut inclut pourtant la réfutation des hypothèses mais on voit que des résistances culturelles ou sociologiques peuvent entraver son bon déroulement.

Si la démarche scientifique n'est pas unique, on peut au moins reconnaître des capacités et attitudes partagées par ceux qui pratiquent les sciences au quotidien. Le sens de l'observation, la curiosité, la capacité à interroger le réel, à se forger un projet pour agir sur le monde des objets, l'esprit critique sont indispensables tout comme l'imagination ou la capacité à concevoir des modèles. Il faut également savoir communiquer, à l'écrit comme à l'oral et travailler en synergie avec ses pairs.

La didactique de la discipline offre un éclairage très utile sur les démarches d'enseignement employées en situation scolaire, en référence au mode de fonctionnement des professionnels de la science. Nous allons montrer en quoi ces démarches peuvent permettre certaines transpositions des attitudes professionnelles et surtout permettre d'enseigner des savoirs et développer des compétences spécifiquement scientifiques.

4.2 Quels modèles de démarche scientifique pour enseigner ?

Les sciences physiques et chimiques sont une discipline scientifique expérimentale d'où la présence incontournable des expériences dans leur enseignement²⁵. On parle d'activité expérimentale dans la classe quand une activité pratique, reposant sur une expérience, est mise en œuvre quelle que soit la **démarche** suivie.

Différentes démarches peuvent être mises en œuvre en fonction des objectifs de formation.

4.2.1 La démarche inductive²⁶

La démarche inductive est fort prisée des enseignants de sciences et abonde dans les manuels scolaires. Les professeurs que l'on interroge sur leur pratique affirment bien souvent que c'est le moyen le plus pertinent, le plus conforme, pour former des esprits scientifiques car ils pensent être plus légitimes en entrant dans les programmes par l'expérience plutôt que par la loi.

Dans cette démarche, l'enseignant propose à ses élèves d'étudier des situations expérimentales particulières où tous les obstacles ont été lissés, expériences à partir desquelles ils vont reconstituer, dans un esprit de « découverte », quelques éléments choisis d'une théorie. À partir des quelques résultats obtenus, les élèves sont invités à généraliser pour aboutir aux lois de la physique qui sont dans leur programme. Cette démarche consiste à « aller du particulier au général ».

L'utilisation de ce type de démarche peut être utile à la construction des connaissances, dans le sens où elle permet à l'élève de se confronter au réel en

²⁵ Ce choix de l'État français de recourir à l'expérience n'est pas partagé unanimement dans tous les pays pour l'enseignement des sciences.

²⁶ Le vocabulaire anglo-saxon utilise aussi le terme de démarche constructiviste. Dans cette démarche, l'élève est associé à la construction de son savoir par la mise en œuvre d'activités qui n'ont pas forcément de caractère expérimental.

utilisant des instruments et des dispositifs dont il doit connaître le principe. Cependant, si cette démarche est systématiquement utilisée, elle risque de donner une représentation réductrice de l'activité scientifique sur le plan de la validation des connaissances car l'élève ne cerne pas le champ d'investigation qu'on lui réserve. L'autonomie de l'élève n'est pas suffisamment mobilisée, sa curiosité et son esprit critique n'y trouvent pas d'occasion de se manifester. L'élève n'est jamais conduit à se poser une question de sciences, ni à formuler une hypothèse. Un autre inconvénient de cette démarche est d'entretenir la confusion entre le monde des objets et le monde des théories et des modèles²⁷. L'élève n'est pas toujours capable de dire dans quel monde il agit ou raisonne et le fait d'écrire une relation à partir de faits observés pourrait l'amener à confondre le monde réel et le cortège symbolique des grandeurs et des signes qu'on lui associe.

Par exemple, les élèves ont à étudier l'évolution de l'accélération d'un mobile en fonction de la force appliquée à ce mobile et/ou à étudier, pour une force appliquée constante, l'évolution de l'accélération en fonction de la masse afin de « redécouvrir » la deuxième loi de Newton.

4.2.2 La démarche déductive

La démarche déductive consiste à « aller du général au particulier ». L'enseignant présente la théorie ou plutôt un de ses modèles à ses élèves (des formes diverses d'introduction peuvent être utilisées : exposés, recherches et lectures par exemple). L'objectif de cette démarche est la présentation et la mise à l'épreuve du **modèle** et non l'élaboration de celui-ci. L'enseignant demande à ses élèves d'en déduire un certain nombre de faits expérimentaux auxquels il attribue une valeur de preuve (ou présente lui-même cette déduction, à charge pour les élèves de l'apprendre ensuite). L'utilisation de ce type de démarche a pour avantage d'explorer plus largement le domaine de validité des lois et modèles. Elle permet de montrer aux élèves l'utilisation qu'un scientifique peut faire d'une loi posée comme valide ou d'un principe et fait une large part au raisonnement. Il est particulièrement intéressant de faire le choix d'une démarche déductive pour ménager des approches qualitatives des phénomènes (par exemple en faisant utiliser par les élèves le principe d'inertie pour prédire le mouvement d'un objet) ou encore pour amener les élèves à s'appuyer sur des modèles (par exemple, en chimie, pour prévoir des résultats). L'élève pourra assez efficacement exercer son esprit critique dans le cadre de cette démarche. Le lien entre le monde des objets et le monde des théories et modèles se fera d'autant plus aisément que la confusion n'est pas entretenue entre les faits attendus et le modèle lui-même.

Par exemple, on donne la loi de Cauchy $n(\lambda)$, les élèves connaissent les lois de Descartes et doivent en déduire ce qui se passe pour une lumière polychromatique pénétrant dans un prisme, puis ils confrontent à la réalité les prévisions faites avec le modèle.

4.2.3 La démarche d'investigation ou démarche hypothético-déductive

L'appellation « démarche d'investigation » relève du vocabulaire de la pédagogie alors que la désignation de « démarche hypothético-déductive » relève davantage de celui de l'épistémologie.

²⁷ Cette distinction monde des objets et monde des théories/modèles est décrite comme nécessaire à la construction des connaissances en sciences physiques par le groupe de recherche en didactique PEGASE INRP qui produit des documents pédagogiques articulés sur les programmes du secondaire. <http://pegase.inrp.fr/>.

L'objectif de ces démarches est d'intégrer une part plus forte de raisonnement et d'autonomie dans l'**activité expérimentale de l'élève**. La logique de cette démarche d'investigation est de résoudre un problème. Elle nécessite la mise en place d'une situation didactique construite autour de ce problème, qui est quelquefois appelée situation-problème ou situation déclenchante. Elle permet la prise en compte des représentations initiales des élèves, lors de la phase de formulation d'hypothèses qui nécessite souvent une redéfinition du problème initial.

La démarche d'investigation est la démarche qui se rapproche le plus de l'**expérimentation** scientifique sans toutefois prétendre s'y identifier. Elle pourrait être une initiation à la démarche scientifique. Elle demeure en pratique souvent très linéaire de type « PHERIC » (Problème – Hypothèse(s) – Expérience – Résultat(s) – Interprétation – Conclusion) ou « OHERIC » (Observation – Hypothèse(s) – Expérience – Résultat(s) – Interprétation – Conclusion). Cette linéarité correspond à une reconstruction d'une représentation de ce que pourrait être la démarche expérimentale à l'usage de classes où le temps de l'apprentissage n'est pas celui du chercheur et où le problème proposé à l'élève est forcément moins complexe. L'élève construit son savoir en passant d'une représentation initiale à une représentation finale ; il a donc appris car « apprendre c'est changer de représentation ».

Lorsque cette démarche est conduite par un binôme ou un petit groupe d'élève, on parle de démarche socio-constructiviste²⁸ pour décrire les apprentissages qui se mettent en œuvre. En effet, outre le fait de travailler sur la résolution d'un problème, l'utilisation d'un dialogue avec ses pairs permet à l'élève une approche socio-cognitive qui va faciliter sa compréhension et sa formulation du problème en favorisant des échanges spontanés.

Par exemple, après avoir été initiés à la mesure de l'intensité du courant par un multimètre, les élèves sont confrontés à un circuit série avec deux lampes dont une brille moins que l'autre et doivent émettre des hypothèses, puis les tester ; cette mise en situation amène à confronter certaines représentations des élèves comme celle « du courant qui s'use » à la réalité de l'unicité de l'intensité du courant dans un circuit série.

4.2.4 La démarche expérimentale de projet

Une démarche de projet est une forme d'organisation sur le long terme pour mener une activité de recherche. Une démarche de projet se décompose généralement en plusieurs étapes : l'état des lieux (ou diagnostic), l'élaboration de l'action et de la stratégie à conduire, la planification du projet, la conduite du projet (concrétisation du projet), la présentation et l'évaluation du projet. Elle n'est pas spécifique de l'activité scientifique. Les enseignements d'exploration en classe de seconde, les TPE et TIPE, relèvent de ce type de démarche qui va intégrer des épisodes d'activités expérimentales de modalités variées.

Elle va permettre de mettre l'élève dans l'obligation de s'approprier suffisamment une question de sciences pour produire un résultat de son activité scientifique, dans le but de le communiquer. Seule cette démarche permet de développer efficacement la compétence « **communiquer** ». Elle a aussi pour effet d'inviter à la ténacité, à la rigueur et à la persévérance, attitudes qui ne sont pas si fréquemment développées dans l'enseignement.

4.3 Quelles activités expérimentales dans la classe ?

²⁸ La construction d'un savoir s'effectue dans un cadre social.

L'activité expérimentale réalisée par les élèves a vocation à apporter des connaissances scientifiques tout en forgeant les compétences des élèves. Pour faire sens, on gagnera à l'inscrire dans une démarche scientifique telle que celles décrites précédemment. Le professeur peut aussi choisir d'insérer la réalisation d'expériences dans le cadre d'un exposé ou de réaliser lui-même un protocole délicat ou encore de montrer un dispositif disponible en un seul exemplaire.

Dans le but d'aider les professeurs à analyser leur pratique et pour leur donner quelques repères, nous proposons en Annexe 4 un inventaire des activités expérimentales réalisées par les élèves dans un cadre scolaire en indiquant pour chacune les objectifs d'enseignement qui leur sont liés.

Dans l'enseignement des sciences physiques et chimiques, les activités liées aux mesures occupent une place importante. Un document présenté en Annexe 12 a pour objectif de présenter le vocabulaire et les notions de base dans le domaine de la métrologie. Ce document s'appuie sur le « Vocabulaire international de métrologie 2008 » (VIM) élaboré par le BIPM²⁹ et le « Guide to the expression of uncertainty in measurement » (GUM). Il constitue une référence et une base de travail communes du collège au lycée.

Pour compléter ces apports sémantiques, il nous a paru utile de définir ou, plus modestement, de préciser le domaine d'application d'un certain nombre d'expressions figurant dans les textes des programmes ou bien fréquemment employées pour décrire des pratiques pédagogiques. Un glossaire de ces termes est disponible dans l'annexe 4.

Notons bien que la langue française est source de confusion pour le propos qui nous occupe. Clairement le mot « expérience », même s'il a une définition possible dans le langage commun (le bagage qu'apporte la vie), a une acception reconnue de manière unanime par la communauté des physiciens et chimistes. Ce mot suggère implicitement la mise en œuvre d'objets matériels. On peut remarquer que le verbe « expérimenter » n'a pas une signification aussi unanimement partagée. Ce verbe pourrait en effet aussi bien être employé par un mathématicien dans le cadre de ses recherches et ne suppose pas obligatoirement l'usage d'un matériel. Nous éviterons de l'employer ici.

5 Construire des compétences en pratiquant des activités expérimentales

On a vu que tous les programmes actuellement en vigueur préconisent la construction de compétences expérimentales par la mise en place par l'enseignant d'activités expérimentales « authentiques et sûres ». Nous venons d'explorer les différentes démarches possibles, ainsi que les types d'activités selon les objectifs d'apprentissage et d'acquisition de compétences visés. Il reste à montrer de manière plus précise comment les enseignants peuvent atteindre progressivement ces objectifs en partant de leur pratique actuelle et en s'inscrivant dans les contenus des programmes en vigueur.

5.1 Cadre de réflexion

²⁹ <http://www.bipm.org/fr/publications/guides/vim.html>

5.1.1 Compétences mises en œuvre lors des activités expérimentales

En plaçant la mobilisation et l'articulation des connaissances et des capacités au cœur de la formation, l'approche par compétences constitue une démarche particulièrement bien adaptée à l'activité expérimentale dans le domaine des sciences physiques et chimiques.

Le concept de compétence étant polysémique, on précise que l'on entend par compétence « la capacité de mobiliser et de réinvestir des connaissances, des capacités et des attitudes afin d'atteindre un objectif donné dans une situation complexe³⁰ ». On pourra se référer au rapport de l'inspection générale de l'éducation nationale *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis*, n°2007-048, juin 2007 disponible sur le site du ministère de l'éducation nationale dont nous citons ci-dessous un extrait :

« Si trouver un sens commun à la notion de compétence semble difficile, quelques traits caractéristiques se dégagent de l'ensemble des propos des chercheurs :

- 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 située³¹ ; pour autant, elle s'exerce dans une diversité de situations, à travers un processus d'adaptation et pas seulement de reproduction de mécanismes. »

Ces compétences se construisent tout au long de la scolarité, depuis l'école, le collège et le lycée jusqu'à l'enseignement supérieur. Cette construction concerne donc à la fois les élèves et les étudiants que nous qualifierons indifféremment d'élèves.

L'évaluation de l'acquisition des compétences en cours de formation permet à l'élève, entre autres grâce à l'auto-évaluation, de mieux identifier ses points forts et ceux restant à améliorer. L'élève a ainsi un moyen de progresser en sachant exactement quel est son niveau de maîtrise de chacune des compétences. La construction d'une activité par le professeur nécessite donc qu'il définisse :

- les compétences mises en œuvre précédemment qui sont à réinvestir. Celles-ci peuvent alors faire l'objet d'une évaluation ;
- les nouvelles compétences à faire travailler ;
- la manière dont il va les communiquer aux élèves ;
- la manière dont il va les évaluer.

Soulignons que l'approche par compétences permet d'assurer une plus grande lisibilité et une plus grande transparence des acquis des élèves ; l'évaluation y gagne en clarté, en fiabilité et en cohérence et l'articulation entre les différents enseignements s'en trouve plus aisée.

Dans le cadre des activités expérimentales, six domaines de compétences ont pu être identifiés³²:

³⁰ Situation dans laquelle il s'agit pour l'élève de choisir et de combiner plusieurs tâches élémentaires afin de résoudre un problème.

³¹ Situation contextualisée, c'est-à-dire faisant référence à un problème particulier.

³² L'ordre de présentation ne correspond pas à un ordre de mobilisation de ces compétences lors d'une séance ou d'une séquence.

Code retenu	Verbe pour situer le « domaine de compétence »	Explicites des « contours »
App	S'approprier	L'élève s'approprie la problématique du travail à effectuer et l'environnement matériel (à l'aide de la documentation appropriée).
Rea	Réaliser	L'élève met en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Ana	Analyser	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.
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.

La grille de compétences qui est proposée en Annexe 5 donne quelques exemples de capacités et d'attitudes à mobiliser dans chacun des différents domaines. Sa mise en œuvre peut permettre de remplir deux objectifs :

- c'est un outil qui sert aux professeurs pour élaborer une programmation de manière à balayer l'intégralité du champ de compétences. Comme cela a déjà été souligné, pour optimiser l'efficacité de cet outil, les activités proposées à l'élève doivent être, dès leur conception, mises en perspective avec les compétences visées. Cette programmation peut être individualisée ;
- elle permet aux élèves de s'approprier les objectifs d'une formation expérimentale et de mesurer leurs progrès dans le cadre d'une évaluation formative. Elle constitue alors une sorte de « contrat didactique » ;
- elle permet de visualiser l'évolution de l'acquisition des compétences par les élèves au cours d'une année ou d'un cycle d'études et synthétise l'ensemble des capacités que le professeur cherchera à faire acquérir et à évaluer, **en fonction du niveau et des exigences** qu'il a fixés pour une activité expérimentale donnée. La grille peut être fournie aux élèves en début de séance afin qu'ils sachent quelle(s) compétence(s) ils auront à travailler et lesquelles seront évaluées.

Pour chacune des capacités, un certain nombre d'observables est proposé (de manière non exhaustive) pour faciliter l'évaluation ou l'autoévaluation.

Capacité	Observable(s)
Se mobiliser en cohérence avec les consignes données	- Agir selon les consignes données en début de séance. - Extraire des informations pertinentes d'un document.

Capacité	Observable(s)
Réaliser ou compléter un schéma permettant de mettre en œuvre le protocole expérimental	- Placer sur un schéma les instruments et appareils nécessaires aux mesures demandées dans le protocole, en utilisant les normes de représentation en vigueur.

Capacité	Observable(s)
Réaliser le dispositif expérimental	<ul style="list-style-type: none"> - Organiser le poste de travail. - Identifier les grandeurs physiques à mesurer. - Mettre en œuvre un dispositif déjà prêt à fonctionner. - Mettre en œuvre, à l'aide d'instructions adaptées, des appareils de mesure, utiliser une notice d'appareil. - Mettre en œuvre le protocole proposé. - Réaliser des montages usuels. - Élaborer un protocole d'étalonnage des instruments.

Capacité	Observable(s)
Observer et décrire les phénomènes	<ul style="list-style-type: none"> - Observer les phénomènes expérimentaux pertinents. - Décrire les phénomènes observés avec le vocabulaire approprié.

Capacité	Observable(s)
Élaborer, choisir et utiliser un modèle adapté	- Mettre en lien les phénomènes observés, les concepts utilisés et le langage mathématique qui peut les décrire.

Capacité	Observable(s)
Définir les conditions d'utilisation des instruments de mesure, réaliser et régler les dispositifs expérimentaux dans les conditions de précision correspondant au protocole	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre en compte l'étendue du ou des phénomènes (domaine de modélisation possible, domaine de linéarité le plus souvent). - Avoir une idée des ordres de grandeur des valeurs mesurées. - Choisir la répartition et le nombre de points de mesure. - Effectuer le paramétrage de la chaîne de mesure et d'acquisition pour obtenir un enregistrement conforme au protocole. - Élaborer un protocole de réglage du système et des instruments pour l'amener à un fonctionnement optimal et l'appliquer. - Procéder à l'acquisition et à l'archivage de la ou des grandeurs physiques mesurées.

Capacité	Observable(s)
Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer la valeur maximale ou minimale, amplitude, période, décalage temporel entre deux signaux, point d'équivalence, rendement. - Pour un nuage de points répartis autour d'une droite moyenne : modéliser par une régression linéaire la droite moyenne, déterminer son équation et juger de la tendance à la linéarité du processus décrit. - Transposer l'équation obtenue aux grandeurs effectives. - Préciser toutes les unités ainsi que les interprétations physiques du coefficient directeur et de l'ordonnée à

	l'origine. - Créer et représenter de nouvelles variables à partir des mesures effectuées.
--	--

Capacité	Observable(s)
Estimer l'incertitude d'une mesure ou d'une série de mesures	- Dans le cas d'une mesure unique, évaluer un ordre de grandeur de l'incertitude de la mesure. - Dans le cas d'une série de mesures, procéder à un traitement statistique. - Exprimer le résultat d'une mesure sous la forme $y = \langle y \rangle \pm \Delta y$ en précisant les unités (lorsque c'est possible, on indiquera le niveau de confiance associé à l'incertitude-type élargie).

5.1.2 La compétence « communiquer »

La pratique de l'oral et de l'écrit dans les activités scientifiques doit être résolument valorisée. Les scientifiques doivent communiquer, en français comme en anglais (ou dans une autre langue), doivent décrire et analyser leurs résultats tant à l'écrit qu'à l'oral, ainsi que leur démarche avec une argumentation pertinente. Ils doivent faire preuve d'exigence et de rigueur dans la construction de leur raisonnement ce qui nécessite l'emploi d'un vocabulaire adapté. Les sciences contribuent ainsi à un renforcement de la maîtrise de la langue, qu'elle soit maternelle ou étrangère. Cette compétence, présente dans les activités expérimentales « traditionnelles », est renforcée notamment dans le cadre de la résolution de problèmes ouverts³³ où l'élève est amené à :

- exprimer une idée, une représentation, une observation ;
- écouter, échanger, confronter son point de vue ;
- questionner, problématiser, interpréter ;
- décrire, expliquer ;
- argumenter, prouver ;
- expliciter une démarche scientifique ;
- faire preuve d'esprit critique ;
- rédiger un rapport, construire un exposé écrit ou oral.

L'acquisition des connaissances et des capacités peut revêtir différentes formes en fonction des objectifs à atteindre :

³³ Un problème ouvert est un problème dont l'énoncé n'induit ni la méthode, ni la solution.

Capacité	Observable(s) possibles
Rendre compte de façon écrite	<ul style="list-style-type: none"> - Transmettre de l'information de manière synthétique et structurée. - Protéger la propriété intellectuelle. - Situer dans le temps les événements, les techniques et les découvertes scientifiques. - Légender les courbes et les tracés. - Présenter les résultats numériques sous une forme adaptée. - Décrire les protocoles non fournis par l'énoncé. - Rédiger des documents de qualité (diaporama, rapports ; orthographe, grammaire). - Rendre compte dans une langue étrangère. - Utiliser les TIC. - réaliser un fascicule commun³⁴. - réaliser une affiche, un poster³⁵.
Capacité	Observable(s) possibles
Rendre compte de façon orale	<ul style="list-style-type: none"> - Transmettre de l'information de manière synthétique et claire. - Résumer sa démarche. - S'exprimer à l'oral avec aisance. - Utiliser les TIC. - Écouter.

5.2 Activités expérimentales favorisant l'acquisition de compétences

5.2.1 Quelles activités expérimentales favorisent l'acquisition de compétences ?

Les élèves ont-ils bien conscience du rôle des activités expérimentales dans leur formation ?

Certains élèves voient dans l'expérimentation proposée « une recette à suivre au mot près pour parvenir au résultat ». Pour d'autres, c'est la « crainte d'échouer, de ne pas comprendre ce qu'il faut faire » et enfin, pour quelques-uns, c'est « une perte de temps puisqu'en cours on a déjà montré que... ».

Ces ressentis peuvent avoir plusieurs origines :

- des activités expérimentales souvent trop dirigées, laissant à l'élève peu d'initiative. Ils assimilent alors l'activité expérimentale à un simple exercice où tout est prévu, la solution est unique, il n'existe pas de marge de manœuvre ;
- la consultation d'ouvrages de travaux pratiques ou de manuels scolaires contenant des protocoles expérimentaux « fermés » qui, bien souvent, se résument à une succession d'étapes, de manipulations ou de gestes à effectuer dans un certain ordre. Ces opérations, souvent justifiées, cohérentes, justes et fiables, imposées à l'élève sans réflexion préalable

³⁴ Si chaque groupe travaille sur une piste différente, on peut compiler l'ensemble de leurs analyses qui sera ensuite distribué à chacun d'entre eux. Les élèves pourront ainsi se rendre compte du travail réalisé par la classe et auront une vue d'ensemble plus large d'une thématique.

³⁵ Le travail peut être consigné sous forme de poster et présenté lors d'une journée portes ouvertes de l'établissement, ou mis en ligne sur le site Internet de l'établissement (un espace numérique de travail par exemple) ou encore présenté sous la forme d'un document multimédia. Ce réinvestissement permet de valoriser le travail des groupes ou de la classe vis-à-vis du monde extérieur. Des publications dans des revues peuvent également être envisagées.

laissent à ce dernier un rôle d'exécutant peu valorisant. Elles conduisent à donner une image fautive d'une science « prête à penser » ;

- des activités expérimentales qui ne permettent pas à l'élève d'appréhender complètement ce qu'est une démarche expérimentale, l'activité proposée étant trop ciblée sur le « geste à reproduire parfaitement » sans forcément avoir compris leur finalité;
- des protocoles expérimentaux fournis aux élèves qui foisonnent souvent de questions. Même si l'élève arrive à répondre à certaines d'entre elles, il est bien rare qu'il en comprenne le fondement et, confronté à une nouvelle expérience du même type, il se heurtera aux mêmes difficultés face aux questions posées sur le protocole qu'il a à réaliser.

Ce type d'activité expérimentale développe relativement peu de compétences chez les élèves, essentiellement celles liées à la compétence « réaliser » ; pour ce qui concerne la compétence « communiquer », elle se limite à une réponse à des questions fermées. Par ailleurs, ce type de pratique peut conduire à démotiver les élèves, notamment les plus faibles qui ont davantage de difficultés que les autres à s'engager dans une démarche experte dont ils ne perçoivent pas toujours les tenants et les aboutissants.

En contrepartie, les tâches complexes³⁶ amènent les élèves à concevoir et à conduire une démarche scientifique pour résoudre un problème. Les élèves y apprennent à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérience pour prouver leurs hypothèses, à exploiter et à communiquer leurs résultats en explicitant leur démarche. Avec cette approche, les élèves font davantage preuve d'esprit d'initiative, d'esprit critique, de curiosité et de créativité. Ils se sentent responsabilisés et, par conséquent, s'investissent davantage dans le travail qui leur est demandé et dans leur apprentissage. Ce type de pratique permet de mobiliser l'ensemble des six domaines de compétences cités précédemment. Néanmoins on veillera, dans la conception des activités expérimentales, à limiter, pour chaque séance, le nombre de compétences travaillées et évaluées.

Un des objectifs des activités expérimentales est de confronter l'élève au travail de laboratoire, à la démarche du scientifique, pour qu'il prenne conscience qu'entre ce qu'un professeur expose au tableau et la réalisation au laboratoire il y a souvent un long parcours. L'activité expérimentale est alors un moment privilégié pour montrer aux élèves comment la recherche se construit, l'intérêt du droit à l'erreur, du tâtonnement, du développement de l'esprit créatif, de la curiosité, du sens de l'observation.

5.2.2 Sur quoi fonder sa réflexion pour concevoir une activité favorisant la mobilisation de compétences ?

Il s'agit, pour le professeur, d'adopter une attitude réflexive en se posant des questions lors de la conception des activités expérimentales.

Quels sont les objectifs visés ?

On est amené à s'interroger sur :

- les compétences à mobiliser ; celles à réinvestir ; les nouvelles compétences à introduire ;

³⁶ La tâche complexe peut être définie en référence au vademécum du socle

- la nature de l'activité proposée :
 - activité durant laquelle l'élève devra proposer, pourra tester...
 - activité pour apprendre une nouvelle technique,
 - activité pour découvrir un appareil de mesure,
 - activité pour appliquer une technique ou une méthode déjà rencontrée.

Quelles consignes donner aux élèves ?

Le choix du guidage est très important : cela va de la consigne écrite (quels sont les verbes utilisés pour mettre l'élève en action ?) à la consigne orale. Montrer du matériel présent dans une salle et le présenter ne va pas produire le même effet que si l'élève doit le choisir, sans aucune consigne orale. La compétence mise en œuvre ne sera alors pas la même.

Quelle stratégie pédagogique mettre en place ?

- Dans quelle salle vont travailler les élèves ?
- De quel matériel disposeront-ils ?
- Le matériel sera-t-il mis sur les paillasses ou devront-ils proposer le matériel à utiliser ?
- De combien de temps les élèves disposeront-ils ?
- Quels sont leurs prérequis et quelles ressources va-t-on mettre à leur disposition ?
- Quelles vont être les activités attendues : observations, expérimentations, manipulations ?
- Le travail se fait-il en équipe ? Si oui, suivant quelles modalités : nombre de membres, avec ou sans coordinateur, avec ou sans rapporteur ?
- Peut-on concevoir des activités expérimentales en ateliers tournants ?
- Quels outils : photocopié(s) de TP, cours, banque de données, rétroprojecteur, vidéoprojecteur, système d'acquisition de données³⁷, tableau numérique interactif ?
- Que doit restituer l'élève à l'issue de la séance ?

Qu'attend-on des productions écrites des élèves ?

Il s'agit de se donner quelques critères d'évaluation du compte rendu de la séquence abordée.

- Quelle(s) étape(s) de la démarche est (sont) à expliciter ?
- Quelles sont les idées à formuler, à confronter ?
- Quelles sont les relations à établir ou à utiliser ?
- Quelles sont les interprétations à proposer ?
- Quelle est la pertinence des résultats obtenus ?
- Quelles sont les conclusions que l'on peut tirer des résultats obtenus ?
- Quelle(s) ouverture(s) peut-on proposer ?

Quels sont les indicateurs de réussite ?

En cours de séance, le professeur peut envisager de mettre en place des étapes que les élèves doivent atteindre afin de pouvoir poursuivre leurs investigations. Celles-ci

³⁷ Rappelons que les acquisitions faites par ordinateur (ou à l'aide d'automates, comme les titrateurs) permettent d'automatiser les tâches ingrates et répétitives, les manipulations de phénomènes se produisant très rapidement ou très lentement. L'utilisation d'acquisition de données doit se faire de manière raisonnée.

peuvent être des observations, des réalisations, des calculs, des notes sur le cahier de laboratoire qui seront validées par le professeur lors du passage dans les groupes ou de la vérification du travail de recherche.

5.2.3 Suivi des acquis des élèves

La mise en œuvre d'une grille de compétences associée à une activité expérimentale permet assurément de mieux **identifier les compétences** que l'on désire mobiliser et de **clarifier les objectifs** à atteindre en particulier pour les élèves.

La **grille d'évaluation par compétences** est communiquée aux élèves.

L'évaluation est en général conduite pendant la séance en observant les élèves en train d'expérimenter et en communiquant avec eux, puis s'appuie, après la séance, sur leurs comptes rendus. Des appels professeurs sont prévus, les élèves pouvant cependant être invités à continuer leur travail en cas d'indisponibilité temporaire du professeur. Ces appels permettent au professeur de faire un point de situation et aux élèves de présenter leurs protocoles ou leurs réalisations. Il est très courant que les élèves soient amenés à revenir après un premier échange. L'utilisation d'une fiche de suivi des groupes permet, si besoin, de garder la mémoire de ces échanges.

La planification des activités expérimentales doit être établie en fonction d'une progressivité des apprentissages et des compétences visés : séances visant les apprentissages de techniques ou de méthodes pouvant s'appuyer sur des activités plus guidées, séances visant le réinvestissement ou l'évaluation (formative ou sommative) s'appuyant davantage sur l'étude de problèmes ouverts. Cette planification peut être annuelle mais gagnerait à être développée sur l'ensemble d'un cycle (lycée, deux premières années en post-bac).

Il apparaît que la grille de compétences, dans une utilisation filée sur l'année scolaire, pourrait constituer une **feuille de route** qui permettrait à l'enseignant de s'assurer que toutes les compétences ont été régulièrement mobilisées et sans doute de répondre précisément à la question : pourquoi proposer tel ou tel type d'activité expérimentale ?

Il s'agit d'éviter que :

- **certaines compétences se retrouvent trop souvent** dans les séances alors que d'autres sont trop peu présentes ;
- **le nombre de compétences travaillées dans une activité soit bien trop important** pour permettre à tous les élèves d'être en situation de réussite.

On peut donc construire un tableau annuel (ou sur un cycle) des compétences. Ce tableau permet au professeur de formaliser sa progression en termes de compétences à acquérir par les élèves. Les objectifs visés pour chaque séance sont identifiés et leur nombre est ainsi limité. Chaque compétence doit être abordée plusieurs fois avec un niveau de maîtrise attendu qui est validé à chaque étape et qui augmente progressivement (progression spiralaire). L'analyse de ce tableau après l'activité permet d'identifier les difficultés sur un ou plusieurs points précis et de construire une remédiation adaptée.

Pour l'élève, la mise en œuvre régulière d'une grille de compétences lui permet de mieux **se connaître**, de **s'auto-évaluer** et de donner davantage de **sens** à la formation expérimentale qui lui est proposée.

L'utilisation d'un **cahier de laboratoire** peut s'avérer très utile pour les élèves. La notion de cahier de laboratoire doit être comprise dans le sens le plus large. Ce peut être effectivement un cahier, mais aussi une compilation organisée de comptes rendus (ceux-ci pouvant prendre diverses formes). Il doit permettre à l'élève et au professeur d'avoir une trace structurée des activités expérimentales menées par l'élève et des compétences travaillées et acquises.

Il peut être utilisé :

- en amont : il peut contenir les idées des élèves, le travail de questionnement et de formulation d'hypothèses, le choix d'expériences, les règles de sécurité à respecter et les précautions à prendre ;
- au cours du travail expérimental : il sera le support pour recueillir les observations, les conditions des expériences, les mesures faites, les pistes explorées, les erreurs commises et les moyens de les corriger, ainsi que les « bons gestes » à effectuer ;
- en aval : on y trouvera l'analyse de l'expérimentateur sur son propre travail et ses conclusions. En fonction du travail demandé, on pourra y retrouver un bilan de la classe, une confrontation avec le travail de groupe et la synthèse qui est élaborée. Bien sûr, il y aura aussi le bilan effectué en interactivité avec le professeur (l'institutionnalisation).

Ce "cahier" peut également être décliné sous forme numérique, avec possibilité d'insertion de photographies, de vidéos, usage de la baladodiffusion.

Un autre intérêt du cahier de laboratoire est d'y consigner les résultats collectés par l'élève au cours de l'année (voire de cycles) ou par d'autres élèves de la classe. En ce sens il constitue une véritable "base de données" pour l'élève, outil nécessaire dans le cadre d'une formation basée sur les compétences qui s'échelonne sur toute la scolarité.

5.3 Comment adapter une séance de travaux pratiques « classique » ?

Il est possible d'adapter une séance de travaux pratiques « classique », c'est-à-dire essentiellement conçue autour du suivi d'un protocole fourni aux élèves, dans le but de donner aux élèves davantage d'autonomie; cela nécessite une reformulation du texte support de l'activité en s'interrogeant sur la nature des compétences mises en œuvre à chaque étape, sur celles que l'on veut effectivement mobiliser. Cela nécessite également d'adopter une attitude réflexive vis-à-vis des activités que l'on a proposées aux élèves. Comme la **prise d'initiative** est encouragée, il est souhaitable de limiter le nombre d'expériences abordées au cours d'une séance, en se concentrant sur l'essentiel de manière à être en mesure de s'adapter aux pistes choisies par les élèves, qui peuvent être variées et originales.

Des exemples d'adaptation d'un protocole sont proposés ci-dessous. Ils illustrent nos propos, mais ne revêtent aucun caractère prescriptif. Tous les épisodes de chacune de ces séances ont été ici modifiés, ce qui peut nécessiter davantage de temps pour faire réaliser le travail aux élèves. Le professeur peut faire le choix de ne modifier que certains épisodes de sa séance en proposant ou non une question plus ouverte, selon le degré d'autonomie des élèves qu'il a en charge.

5.3.1 Exemple d'adaptation dans la voie professionnelle.

Dans la voie professionnelle, les activités expérimentales font partie intégrante de la formation et de l'évaluation des élèves depuis 1995 en baccalauréat professionnel avec la formation méthodologique de base (FMB) et la mise en place dès la session 1998 d'une épreuve expérimentale. En CAP, les programmes de 2002 et l'instauration dans le cadre du contrôle en cours de formation (CCF) de séquences d'évaluation expérimentales ont contribué à généraliser les pratiques expérimentales de sciences physiques et chimiques dans les sections d'enseignement professionnel.

Cependant, les « travaux pratiques » proposés dans ce cadre étaient essentiellement articulés autour de protocoles expérimentaux extrêmement détaillés et guidés pour lesquels l'activité de l'élève se résumait à « suivre le protocole » sans nécessité d'en comprendre les objectifs et les enjeux. De même, l'évaluation portait essentiellement sur la vérification des tâches réalisées.

Quant à la « partie compte rendu », trop souvent délaissée par les élèves, elle ne laissait que peu de place à l'analyse et se focalisait sur des calculs, des exploitations graphiques guidées et des conclusions généralement présentées sous forme binaires (QCM par exemple).

En revanche, il subsiste de cette période une banque de situations qui ont le mérite d'être réalisables dans la plupart des établissements et qui peuvent servir de ressources pour les évolutions attendues par les nouveaux programmes.

Il est possible d'adapter ces activités expérimentales « classiques » en agissant sur plusieurs axes :

- les inscrire dans une **situation contextualisée** s'appuyant sur la vie courante ou professionnelle ;
- problématiser l'objectif par une « **question** » (**problématique**) à laquelle l'activité répond ;
- observer et évaluer les travaux au travers de **compétences transversales (voir grille nationale Annexe 6)** transférables quel que soit le domaine de connaissances ciblé ;
- laisser une place à l'initiative et à l'autonomie en demandant à l'élève de s'approprier la situation, l'analyser, proposer des modélisations, des protocoles ou des montages ;
- instaurer des **phases orales d'échanges** avec le professeur (examineur) afin de mesurer la compréhension, d'affiner les justifications ou l'exploitation des résultats.

Deux exemples « d'adaptation » de situations sont proposés en annexe. On donne pour chacune d'entre elles le sujet et la grille d'évaluation de la version « classique » et le sujet et la grille d'évaluation de la version « actuelle » problématisée et mise en situation.

- Annexe 7 et Annexe 8 : dosage de l'acidité d'un vinaigre,
- Annexe 9 et annexe 11: niveau sonore (atténuation en fonction de la distance source-récepteur).

5.3.2 Exemple d'adaptation d'un protocole de mesure d'une concentration molaire de diode par comparaison à une échelle de teinte en classe de seconde.

Énoncé de l'activité expérimentale initiale :

1. Problème :

On cherche à déterminer la concentration d'une solution aqueuse de diode par utilisation d'une échelle de teinte.

2. Fabrication de l'échelle de teinte:

À partir d'une solution S_0 de diode de concentration $c_0 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, réaliser dans des béchers de 50 mL les solutions suivantes :

Solution S_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Volume de solution S_0 en mL	1	2	3	4	5	6
Volume d'eau en mL	9	8	7	6	5	4

3. Utilisation de l'échelle de teinte

Pourquoi l'échelle de teinte fabriquée ne permet-elle pas de déterminer la concentration de la solution inconnue ?

4. Dilution

Prélever 1,0 mL de solution inconnue et les introduire dans une fiole jaugée de 100 mL. Ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Boucher. Agiter. Déterminer la concentration de la solution diluée par utilisation de l'échelle de teinte et en déduire la concentration de la solution inconnue.

5. Compte rendu

Rédiger le compte rendu des différentes étapes de la manipulation.

Si nous nous plaçons du point de vue d'un enseignant qui s'empare de la grille des six compétences et tente d'écrire des observables pour évaluer l'élève dans cette activité qu'il réalise régulièrement en classe, nous pouvons déceler un certain nombre de difficultés.

- La première partie n'est pas réellement formulée comme une question, elle n'invite pas vraiment l'élève à s'appropriier le problème, on devine que le professeur devait expliquer oralement bon nombre de choses. On pourrait au minimum envisager d'ajouter : « en quoi l'utilisation de l'échelle de teinte permet-elle de déterminer la concentration inconnue de la solution ? » pour obtenir une **appropriation** de l'élève plus aisée à observer.
- La seconde partie décrit des opérations précises à accomplir, les observables ne seront pas difficiles à repérer l'élève met en œuvre ici sa compétence « **réaliser** ».

- La séance est conçue pour que l'élève bute sur un obstacle, il doit mettre en œuvre dans cette troisième partie sa compétence « **analyser** » une situation. Les explications qu'il va produire montreront à la fois son appropriation du problème et sa capacité à l'analyser.
- L'élève est conduit dans la réalisation d'un nouveau protocole. De nouveau il va mettre en œuvre sa compétence « **analyser** » des expériences. Il n'est pas maître de la situation, il pourrait très bien dans son analyse précédente avoir conclu qu'il fallait fabriquer une échelle de teinte différente.
- La dernière partie va demander à l'élève de donner un sens à toutes ces opérations puisqu'on attend de lui qu'il **communique** de manière synthétique et structurée.

On voit qu'un protocole rédigé de cette manière ne permet pas d'accéder aisément à des observables pour les compétences **s'approprier** ou **analyser**. On en vient à la nécessité de formuler très différemment la question initiale.

La proposition suivante, montre comment le concepteur a modifié ses consignes et s'est organisé pour observer des attitudes et les réalisations qui vont lui permettre de juger de la compréhension de l'élève et de ses compétences.

Les élèves se voient proposer une échelle de teinte déjà confectionnée. Elle n'est pas identique pour tous les élèves et trois situations différentes vont devoir être gérées dans la classe, chacune va engendrer une résolution différente du problème :

Problème posé	Solution pour améliorer la mesure
Situation 1. La solution inconnue est plus concentrée que la plus concentrée des solutions de l'échelle de teinte	dilution de la solution inconnue
Situation 2. La solution inconnue est moins concentrée que la moins concentrée des solutions de l'échelle de teinte	dilution de la solution S_1 de l'échelle de teinte
Situation 3. L'échelle de teinte présente les solutions $S_1; S_2; S_3; S_4$. L'intervalle de concentration entre S_1 et S_2 et entre S_2 et S_3 est identique alors qu'il est par exemple 2 fois plus grand entre S_3 et S_4 . La solution inconnue a une concentration comprise entre c_3 et c_4 .	dilution de la solution S_4 de l'échelle de teinte

Nouveau texte proposé aux élèves

Partie 1 : Elaboration d'un protocole expérimental (40 minutes)

La Bétadine[®] est une solution commerciale utilisée dans la pharmacopée comme antiseptique.

On dispose d'un flacon de solution de Bétadine[®] dont la couleur jaune est due au diiode $I_2(aq)$ et d'une échelle de teinte de solutions aqueuses de diiode de concentrations connues et indiquées sur les béchers.

1. Déterminer le domaine de concentration dans lequel se situe la concentration molaire c_0 du diiode dans la Bétadine[®].
2. Proposer un protocole expérimental pour améliorer la précision de la mesure

Appel 1 : Appeler le professeur au bout de 20 minutes maximum pour lui exposer oralement le protocole prévu

Écrire ci-dessous le protocole

Partie 2 : réalisation du protocole expérimental (40 minutes)

Mettre en œuvre le protocole expérimental et utiliser l'échelle de teinte pour répondre à la question posée.

Écrire ci-dessous la réponse à la question posée :

Partie 3: bilan (5 + 5 minutes)

Préparer l'entretien final avec le professeur pour faire avec lui le bilan qui comportera la description des différentes étapes de la démarche expérimentale suivie, les difficultés éventuelles, les modifications du protocole expérimental à effectuer en vue d'une nouvelle expérimentation effectuée pour augmenter encore la précision des mesures, etc.

Plusieurs précisions peuvent être apportées sur le déroulement de cette activité³⁸.

L'élève réalise tout d'abord une tâche simple de comparaison. Le professeur doit s'assurer que le domaine de concentration trouvé est correct puisque celui-ci détermine le type de dilution à effectuer dans la suite.

C'est lors de la deuxième question que l'élève doit véritablement s'approprier le problème pour en déduire qu'améliorer la précision de la mesure veut dire améliorer l'encadrement de la concentration c_0 . Il doit avoir compris qu'il faut procéder à une dilution et fabriquer lui-même sa nouvelle solution.

Lorsque l'élève doit construire lui-même un protocole expérimental et qu'il y parvient, le professeur peut valider à la fois la compétence **analyser** et **s'approprier**. Lorsque l'élève ne réussit pas à construire le protocole demandé, il est nécessaire de lever l'ambiguïté suivante : l'élève n'a-t-il pas compris le problème posé, ce qui l'empêche de construire le protocole, ou bien s'est-il approprié le problème tout en étant incapable de concevoir le protocole adéquat ?

³⁸ Ces préconisations ont été formulées par un enseignant qui a conçu le protocole et l'a testé dans une classe de seconde.

Pour lever cette ambiguïté éventuelle, on prévoit un appel lors duquel le professeur peut poser une série de questions :

- que veut dire améliorer la précision de la mesure ?
- comment peut-on obtenir expérimentalement une solution moins concentrée à partir d'une solution initiale ?
- quelle est ici la solution à diluer ?
- quel facteur de dilution semble ici convenir ?

Lors du test de cette activité avec des élèves de seconde, il est apparu que certains avaient du mal à s'approprier le problème même avec l'aide du professeur. Il faut donc passer suffisamment de temps avec l'élève qui éprouve cette difficulté avant de pouvoir valider ou non la compétence « Analyser ». Ceci s'avère plus simple pour une activité formative que pour une activité évaluative.

5.3.3 Exemple d'adaptation d'un protocole de synthèse d'une molécule organique, au niveau BTS

Extrait d'un sujet de chimie proposé en BTS chimie (2002).

Texte initial de synthèse du pentan-3-ol

On se propose de synthétiser le pentan-3-ol par réaction du bromure d'éthylmagnésium avec le propanal.

II – MODE OPERATOIRE

1 – Préparation de l'organomagnésien

- Préparer un bain d'eau glacée à utiliser si la réaction s'emballé.
- Introduire 4,3 g de magnésium en tournures dans un tricol de 250 mL, équipé d'un agitateur mécanique, d'un réfrigérant et d'une ampoule de coulée surmontés d'un tube de garde contenant un agent desséchant.
- Ajouter environ 5 mL d'une solution de 19,0 g de bromoéthane dans 50 mL d'éther diéthylique anhydre.
- Lorsque la réaction est amorcée, verser goutte à goutte, en une demi-heure environ, le reste de la solution. Ajuster le débit pour que le reflux soit régulier. Mettre l'agitateur en marche lorsque le tiers environ de la solution a été introduit.
- Chauffer à reflux pendant vingt minutes, puis refroidir dans un bain de glace.

2 – Réaction avec le propanal

- Verser goutte à goutte et sous vive agitation, en quinze minutes environ, une solution de 10,0 g de propanal sec dans 20 mL d'éther diéthylique anhydre. Pendant toute l'addition, garder le réacteur dans un bain de glace.
- Chauffer à doux reflux pendant vingt minutes.

3 – Hydrolyse

- Enlever les tubes de garde.
- Refroidir le réacteur, puis ajouter lentement, goutte à goutte au début, 40 mL d'eau. Agiter vigoureusement et refroidir dans un bain de glace pendant l'addition.
- Ajouter une solution à 20 % d'acide chlorhydrique jusqu'à dissolution complète des sels de magnésium.
- Transvaser dans une ampoule à décanter, recueillir la phase organique. Procéder à deux extractions sur la couche aqueuse avec chaque fois 25 mL

d'éther diéthylique.

- Réunir les phases organiques. Laver avec 50 mL d'une solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 5 %, puis avec de l'eau.
- Sécher avec du sulfate de magnésium anhydre.

4 – Purification

- Éliminer l'éther diéthylique à l'aide d'un évaporateur rotatif (ou, avec précaution, par distillation simple).
- Rectifier le pentan-3-ol à la pression ambiante (courbe de rectification à effectuer).

5 – Contrôles de pureté

- Transvaser le pentan-3-ol dans un flacon taré et le peser.
- Déterminer l'indice de réfraction.
- Réaliser un spectre infrarouge.
- Effectuer une analyse par chromatographie en phase gazeuse.

III – COMPTE RENDU

1 – Résultats

Remplir la feuille de résultats

1-1 Tracer la courbe de rectification : température en tête de colonne en fonction du temps. Commenter.

1-2 Interpréter le spectre IR du pentan-3-ol obtenu ; comparer au spectre de référence. On indiquera les principales bandes observées et leur attribution sous forme d'un tableau.

Si le spectre IR du produit fabriqué n'a pas pu être obtenu, commenter le spectre de référence.

1-3 Commenter le chromatogramme du pentan-3-ol obtenu.

2 – Préparation de l'organomagnésien.

2-1 Donner l'équation de la réaction mise en jeu.

2-2 Calculer les quantités de matière mises en œuvre.

2-3 Préciser le rôle de l'éther diéthylique.

2-4 Expliquer pourquoi cette synthèse se fait en milieu anhydre. Écrire l'équation de la réaction indésirable si le milieu n'est pas anhydre.

2-5 Indiquer deux techniques possibles pour amorcer la réaction de formation de l'organomagnésien, si celle-ci ne démarre pas.

3 – Réaction avec le propanal.

3-1 Donner l'équation de la réaction mise en jeu.

3-2 Calculer les quantités de matière mises en œuvre.

4 – Hydrolyse

4-1 Donner l'équation de la réaction mise en jeu.

4-2 Préciser les rôles de l'acide chlorhydrique.

4-3 Indiquer le but du lavage avec la solution d'hydrogénocarbonate de sodium. Écrire l'équation correspondante.

5 – Réaction de synthèse globale.

5-1 Indiquer quelle est l'espèce limitante lors de cette synthèse. Justifier.

5-2 Calculer la masse théorique de pentan-3-ol attendu.

5-3 Exprimer et calculer le rendement de la préparation.

6 – Analyse.

6-1 Interpréter les spectres RMN du proton du pentan-3-ol et du propanal, sous forme de tableaux.

6-2 En CPG, préciser le type de colonne à utiliser pour analyser le pentan-3-ol. Justifier. Prévoir alors l'ordre de sortie de l'éther diéthylique, du propanal et du pentan-3-ol.

6-3 Prévoir les quatre principaux pics du spectre de masse du pentan-3-ol.

La partie « mode opératoire » est fortement guidée : l'intégralité des gestes techniques, des détails de montages et des points délicats est décrite. Une étape de manipulation (par exemple les lavages) est découpée en plusieurs sous-étapes, faisant ainsi perdre à l'élève le sens général de ce qu'il est en train de faire (mettre dans une ampoule à décanter, introduire 10 mL de tel ou tel solvant, séparer, recommencer avec cette fois 10 mL d'un autre solvant, etc.). La compréhension du protocole semble inutile pour arriver au résultat : seule l'habileté manuelle semble évaluée.

Dans la « partie compte-rendu » on constate tout d'abord que les questions posées sont généralement trop binaires (dans le sens où la réponse attendue permet une notation plus qu'une réelle évaluation : l'élève sait ou ne sait pas faire). Ce genre de questions ne permet pas de savoir si l'élève a bien compris le sens du travail demandé. Un questionnement plus ouvert permet davantage de vérifier si l'élève a bien saisi l'essentiel de la manipulation effectuée.

En ce qui concerne l'analyse spectrale, on pourrait envisager de fournir aux élèves un ensemble de spectres (spectres de masse, spectres RMN, spectres IR) de réactifs, d'intermédiaires, de produits, en leur demandant d'en tirer les informations qu'ils jugent utiles.

Suivant le niveau des élèves et les compétences que l'on cherche à mobiliser ou à évaluer, on pourra adapter un protocole en termes de contenus et de guidage des élèves. L'activité expérimentale proposée doit donc être pensée en fonction des compétences que l'on souhaite mobiliser, tester, réinvestir, etc.

Une proposition de réécriture de l'activité de synthèse

Prérequis : cours sur les organomagnésiens.

Partie expérimentale

On souhaite réaliser dans un premier temps une synthèse magnésienne, celle du bromure d'éthylmagnésium, à partir de 19 g de bromoéthane et de magnésium (quantité à prévoir) dans de l'éther anhydre.

Proposer un montage expérimental permettant de réaliser cette synthèse, en tenant compte des conditions de sécurité relatives aux synthèses magnésiennes. On rappelle que le démarrage de la réaction peut être difficile : prévoir et éventuellement mettre en œuvre des solutions pour palier ce problème. Une fois l'intégralité des réactifs introduits, laisser à reflux une vingtaine de minutes.

Afin de synthétiser le pentan-2-ol, la seconde partie de la manipulation consiste à verser lentement une solution de propanal sec, diluée dans de l'éther, dans le milieu réactionnel, avant de réaliser l'hydrolyse en milieu acide.

Traitement du milieu réactionnel

Proposer des conditions expérimentales pour l'étape d'hydrolyse en milieu acide en utilisant le matériel et les produits suivants :

- Éther diéthylique ;
- Eau distillée ;
- Glace ;
- Solution d'acide chlorhydrique à 20% ;
- Solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 5 % ;
- Sulfate de magnésium anhydre ;
- Verrerie usuelle ;
- Ampoule à décanter.

Purification

Éliminer le solvant, rectifier le pentan-3-ol à la pression ambiante (courbe de rectification à effectuer).

Contrôles de pureté

Proposer, en fonction du matériel disponible au laboratoire, plusieurs analyses complémentaires pour déduire la pureté du produit obtenu.

Compte-rendu

Faire apparaître les aspects essentiels du travail effectué : type de réaction, choix des conditions expérimentales, rôle des différentes étapes.

En ce qui concerne le compte-rendu, c'est à l'élève de saisir ce qui est important et nécessaire, intéressant à développer ou encore ce qui permettrait de compléter l'étude. Bien entendu, il faut accepter que les premiers essais ne soient pas totalement concluants. Une comparaison des comptes rendus d'un élève tout au long de l'année doit pouvoir faire apparaître une évolution : il sera alors possible de juger du moment de l'année où des compétences comme "maîtrise de la communication écrite et orale" ou encore "compréhension du protocole" seront acquises par l'élève.

6 Exemples de mise en œuvre

Les exemples proposés sont de natures différentes suivant les voies et les niveaux de formation :

- pour la voie professionnelle et les collèges, il s'agit d'exemples opérationnels mis en œuvre dans le cadre de la réforme de la voie professionnelle ou dans celui de la mise en place du socle ;
- pour le lycée pré et post-bac, il s'agit d'exemples prospectifs prenant en compte les travaux présentés dans ce document. Ils ont tous été testés avec des élèves.

6.1 Au collège

En 2009-2010, le GRIESP a produit un ensemble de situations à destination des professeurs de collège dans le but d'accompagner la mise en œuvre et l'évaluation de certaines capacités du socle, liées aux compétences 1 et 3. Ces productions sont téléchargeables sur le site de l'académie de Toulouse à l'adresse suivante : <https://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/spip.php?article260>

Une grille précise quels sont les éléments exigibles du socle mobilisés dans chacune des activités. En consultant cette grille, on pourra remarquer que les programmes et les éléments attendus du socle n'ont pas tous été explorés de manière exhaustive, cette banque est donc vouée à s'enrichir progressivement.

Toutes les situations de la banque ont été testées dans des classes, selon un scénario explicité dans le document. Les concepteurs ont ainsi exploré des pistes qui ne sont pas les seules possibles, leur production ne s'érige donc pas en modèle.

Les fichiers sont dans un format qui permettra aux utilisateurs de faire toutes les modifications nécessaires pour adapter la situation à leur besoin.

Les sujets sont codifiés de la manière suivante : 5A1 signifie niveau 5^{ème}, partie A du programme du B.O et document 1 portant sur cette partie.

Une « clé » de présentation, placée en tête de chaque document, résume tous les renseignements susceptibles de guider le professeur dans ses choix pédagogiques.

Par ailleurs, un groupe national DGESCO-IGEN composé d'inspecteurs et d'enseignants de mathématiques, de sciences physiques et chimiques, de sciences de la vie et de la Terre et de technologie a travaillé en 2008-2009 et 2009-2010 sur la compétence 3 et produit des outils (vade-mecum) et exemples d'activités disciplinaires ou interdisciplinaires (banque de situations) pour illustrer la manière dont les enseignants des quatre disciplines peuvent contribuer, à travers la mise en œuvre de leurs programmes respectifs, à développer et évaluer les compétences du socle lors de la résolution d'une tâche complexe. La tâche complexe peut être proposée à n'importe quel moment du processus d'apprentissage. Proposée en début d'apprentissage, elle constitue un atout important pour les élèves car elle leur permet :

- d'acquérir des compétences mobilisables dans la vie quotidienne ;
- de prendre davantage d'**initiatives** ;
- de relever un défi motivant ;
- de pouvoir bénéficier d'aides ciblées pour l'accomplir.

L'ensemble des productions est en ligne sur le site Éduscol à l'adresse suivante :

<http://eduscol.education.fr/cid52432/outils-pour-l-evaluation-des-competences.html#competence3>

6.2 Au lycée professionnel

Les programmes de sciences physiques et chimiques de baccalauréat professionnel positionnent la mobilisation des connaissances, des capacités et des attitudes expérimentales au cœur de la formation au travers de démarches pédagogiques s'appuyant sur l'investigation et l'expérimentation.

Les modalités d'évaluation pour le diplôme intermédiaire (BEP ou CAP) et pour le baccalauréat professionnel ont pour but d'évaluer la façon dont les candidats ont atteint les grands objectifs visés par le programme et définissent des séquences d'évaluation s'appuyant sur une activité expérimentale. On évalue les capacités expérimentales du candidat observées durant les manipulations qu'il réalise, les mesures obtenues et leur interprétation.

Chaque évaluation est construite autour d'une situation contextualisée issue de la vie courante ou professionnelle aboutissant à une ou deux problématique(s) formulée(s) sous forme de question. Des ressources documentaires annexes peuvent aussi compléter les informations liées au contexte de l'expérimentation. Dans certains cas, un protocole « de secours » peut aussi être prévu pour palier les difficultés rencontrées lors d'une modélisation ou d'une proposition de protocole.

Des appels, dont le nombre est limité à deux ou trois, permettent au professeur (examineur) de s'assurer de la compréhension, de valider les choix ou les hypothèses, de prendre en compte la communication écrite et orale ainsi que d'évaluer l'exécution de certaines parties du protocole. Les appels sont des moments privilégiés pour mesurer la compétence « Être autonome, faire preuve d'initiative » de manière transversale tout au long de l'activité expérimentale.

L'évaluation s'appuie sur une « grille nationale d'évaluation » par compétences présentée en Annexe 6. Elle est structurée autour de cinq des six domaines de compétences et peut être accompagnée d'une grille chronologique précisant les attendus lors de chacun des appels.

Dans le cadre des épreuves de contrôle en cours de formation, la répartition des points retenue est : 7 points pour l'activité expérimentale et 3 points pour le compte rendu. La compétence « Communiquer » a ainsi été associée à la part dédiée au compte rendu.

Des exemples sont proposés en Annexe 11.

6.3 Au lycée général

Les exemples d'activités expérimentales ont été conçus et testés par un groupe de professeurs de lycée issus de différentes académies, dans le cadre des travaux du GRIESP, au cours des années scolaires 2009-2010 et 2010-2011.

L'objectif principal a été de produire et de mettre à l'épreuve des outils pour suivre l'acquisition de compétences expérimentales par les élèves et permettre l'évaluation de leur travail.

Le GRIESP a conçu des séances d'activités expérimentales (Annexe 11) menées par les élèves à différents niveaux (enseignement général en seconde, enseignement d'exploration « sciences et laboratoire », enseignement en première S) en se donnant pour contrainte de structurer l'apprentissage selon l'armature donnée par la grille des six compétences présentée Annexe 5. Ils ont étudié la faisabilité de la mise en œuvre et ont cherché à recueillir les éléments favorables à un apprentissage de qualité. L'objectif retenu à plus long terme étant de parvenir à définir un nouveau cadre d'évaluation des compétences³⁹ expérimentales des élèves en fin de terminale S, une réflexion importante sur les outils d'évaluation s'est donc engagée.

Beaucoup de questions se sont posées au cours de la conception de ces séances d'activités expérimentales. Certaines ont conduit au perfectionnement des outils, d'autres à la conclusion d'un nécessaire changement de rédaction des consignes pour faire travailler les élèves sur des problématiques plus ouvertes.

³⁹ On remarque un changement significatif du vocabulaire, ECE signifie actuellement « épreuve des **capacités** expérimentales ».

Les points les plus cruciaux des étapes de la réflexion sont résumés ci-dessous.

- Il a parfois été délicat d'attribuer une tâche à un domaine de compétences, alors que la tâche s'avérait classique dans le registre habituel des consignes données à l'élève. Par exemple, la compétence « s'approprier » a parfois été considérée comme très proche de la compétence « analyser » et aussi très souvent liée à « communiquer » car c'est au travers de la communication écrite ou orale qu'elle parvient parfois à s'exprimer. Il s'en est suivi une difficulté pour libeller l'observable associée.
- Les concepteurs ont tout d'abord recherché l'exhaustivité, ce qui les a conduits à dédier un domaine de compétences pour chaque consigne donnée à l'élève. Ils ont assez vite constaté que le trop grand nombre d'observables à saisir dans une séance devenait ingérable. L'inefficacité de « l'atomisation des compétences » a aussi très vite été pointée par les concepteurs. En effet, il leur est apparu progressivement évident que travailler par compétences exige de la part du professeur un regard plus « global » sur l'activité de l'élève. Vouloir compiler les réussites des petits résultats pour alimenter un résultat global pour chaque compétence ne s'est pas révélé une démarche efficace, ne serait-ce qu'en raison de la difficulté à gérer tous ces résultats partiels.
- L'idée du « contrat de confiance » entre le professeur et les élèves a nettement émergé. On compte sur l'engagement de l'élève, on ne souhaite pas voir le professeur arpenter sa classe avec sa grille d'évaluation durant toute l'heure. On espère plutôt voir les professeurs se consacrer plus particulièrement aux élèves qui progressent le plus lentement dans l'acquisition de compétences ciblées pendant que les plus avancés travaillent de manière autonome.
- L'auto-évaluation peut nécessiter l'utilisation d'un outil de positionnement de l'élève comportant la description de plusieurs degrés de maîtrise d'une compétence afin de lui définir un projet d'acquisition progressive de celle-ci. Cet outil, utilisé dans le cadre des activités formatives, doit faciliter le dialogue entre l'enseignant et l'élève et permettre à celui-ci de se positionner.

Un exemple d'explicitation de niveaux de maîtrise pour le domaine de compétence « Réaliser ».

Dans cet exemple, le parti pris consiste à structurer l'apprentissage de la compétence en quatre niveaux de maîtrise. La grille étant toujours rédigée en termes d'acquis, elle recense des capacités observées et non des manques constatés. On peut parler ici d'évaluation « positive ». Il s'en suit que le niveau « zéro » n'est pas répertorié mais peut bel et bien exister pour un élève qui ne manifeste aucune des capacités listées au niveau 1. Il s'agit de niveaux taxonomiques, un élève positionné au niveau 2 possède les capacités de niveau 2, ainsi que celles du ou des niveaux inférieurs (ici le niveau 1).

L'enseignant peut adapter les formulations des niveaux de maîtrise des compétences de façon à se donner pour objectif d'amener tous ses élèves à la fin de chaque année scolaire au niveau 2.

Niveau du domaine de compétences « Réaliser »	Éléments de description du niveau de maîtrise du domaine de compétence
--	---

1	<p>L'élève est capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de reconnaître sur un schéma les instruments et appareils représentés ; - de sécuriser son poste de travail, de respecter les règles de sécurité ; - d'identifier et de nommer le matériel expérimental présenté.
2	<p>L'élève est capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de compléter un schéma permettant de mettre en œuvre un protocole expérimental, conformément aux exigences du professeur ; - de réaliser des gestes expérimentaux précis à partir d'un protocole expérimental détaillé (par exemple, en seconde : l'élève est capable de réaliser le protocole expérimental suivant : prélever 5,0 mL d'une solution-mère à l'aide d'une pipette jaugée de 5 mL et d'une poire à pipeter ; verser la solution-mère dans une fiole jaugée de 50 mL ; ajouter un peu d'eau distillée ; agiter ; ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, agiter, vérifier le trait de jauge, etc.)
3	<p>L'élève est capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de réaliser un schéma permettant de mettre en œuvre un protocole expérimental ; - de proposer un dispositif expérimental en choisissant le matériel approprié puis de réaliser des gestes expérimentaux précis à partir d'un protocole expérimental peu détaillé (par exemple, en Seconde : réaliser une dilution au dixième)

Toutes les activités formatives proposées dans les documents en Annexe 11 indiquent les compétences « mobilisables » à chaque étape. Le professeur utilisateur du document fera un choix raisonné d'une ou deux compétences travaillées de manière accentuée durant la séance, selon l'intégration de l'activité dans sa progression. Ce choix peut être le même pour toute une classe ou bien différencié en fonction de groupes d'élèves que l'on souhaite faire progresser sur des compétences ciblées.

6.4 Au niveau post-bac

Les exemples d'activités expérimentales proposées ont été conduites d'une part dans le cadre des travaux du GRIESP au cours des années scolaires 2009-2010 et 2010-2011 et d'autre part par un groupe de professeurs de chimie de CPGE et de STS. Toutes les activités dont la liste figure dans l'Annexe 11 ont été réalisées dans des classes de première et seconde année de CPGE et de STS et ont conduit les professeurs à établir un bilan général concernant leur mise en œuvre et un bilan spécifique pour chacune d'elle.

L'objectif principal a été de faire évoluer les activités expérimentales proposées en post-bac pour couvrir l'ensemble des champs de **compétences** associées à une pratique des sciences dans sa composante expérimentale et par là-même de s'inscrire dans le cahier des charges de l'épreuve de TP de physique-chimie au concours Centrale-Supélec.

Quatre problématiques ont fait l'objet d'une attention particulière :

- les différentes formes **d'évaluation par compétences** ;

- le choix de mises en **situation contextualisée** pour donner du sens aux activités ;
- la conception de **problèmes ouverts** (ou tâches complexes) visant à développer l'**initiative** et l'**autonomie** chez les élèves ;
- l'élaboration d'activités prenant en compte la **mesure**.

Les activités proposées en Annexe 11 diffèrent les unes des autres par les thématiques abordées (optique, électricité, électronique, chimie des solutions, techniques instrumentales, synthèses...), leurs places dans la progression (en amont de l'étude du phénomène, pour le découvrir, pendant pour le construire ou en aval pour l'illustrer, le consolider ou le prolonger), les conditions matérielles (durées, groupe entier ou quelques élèves dans le cadre de « TP-tournants ») et par les objectifs espérés en termes de formation et d'évaluation par compétences.

6.4.1 L'évaluation à l'aide d'une grille de compétences

La mise en œuvre d'une grille de compétence associée à une activité expérimentale a permis assurément de mieux **identifier les compétences** que l'on désire mobiliser et de **clarifier les objectifs** à atteindre en particulier pour les élèves. Pour l'élève, la mise en œuvre régulière d'une grille de compétences lui permet de mieux **se connaître**, de **s'auto-évaluer** et de donner davantage de **sens** à la formation expérimentale qui lui est proposée.

6.4.1.1 Le point de vue de l'enseignant

Certaines capacités mobilisées au cours d'une activité doivent être observées en cours de séance, c'est le cas par exemple de « Maîtriser certains gestes techniques », « Proposer un protocole » ou « Rendre compte de façon orale ». Des **appels professeurs** sont prévus à cet effet et indiqués dans la fiche élève, cependant il n'est pas toujours facile pour le professeur d'être disponible au bon moment. On a expérimenté plusieurs solutions pour pallier cette difficulté :

- limiter le nombre d'appels à trois par exemple ;
- ne pas vouloir tout observer à chaque séance mais procéder à des choix,
- utiliser des observables assez globales de manière à pouvoir suivre leur acquisition à différentes étapes de l'activité ;
- proposer aux élèves de continuer l'activité en cas d'indisponibilité du professeur ;
- évaluer un nombre réduit de groupes dans le cadre par exemple de « TP tournants » ;
- évaluer plutôt les élèves ayant des difficultés pour leur proposer ensuite des remédiations ;
- recourir à l'**autoévaluation**.

Notons tout de même que ce mode d'évaluation est parfois **chronophage**.

Les moments consacrés au **dialogue** avec les groupes, par exemple au moment de la phase de l'élaboration d'un protocole, sont souvent d'un intérêt extrême pour les élèves et pour le professeur : les échanges, souvent subtils et délicats à conduire, sont riches d'enseignements sur les compétences acquises ou à consolider.

La collaboration entre les deux membres d'un binôme peut faire également l'objet d'une observation.

Des problèmes d'origines variées (pannes, difficultés éprouvées par certains groupes, problèmes informatiques, etc.) peuvent perturber la dynamique de la séance. Il est essentiel, dans la mesure du possible, de profiter de ces moments pour insister auprès des élèves sur les difficultés inhérentes à toute activité expérimentale.

6.4.1.2 Le point de vue des élèves

Les élèves ont apprécié la **transparence de l'évaluation**, ils ont compris les items utilisés et sans doute mieux identifié leurs progrès, les compétences acquises et celles qui ne l'étaient pas encore. Les objectifs de l'activité leur étant explicités, les modalités de l'évaluation sont plus claires pour eux.

Les activités expérimentales basées sur la résolution de problèmes ouverts sont parfois **jugées délicates** par les élèves éprouvant davantage de difficultés : ils peuvent être gênés par des problèmes conceptuels ou des problèmes plus techniques liés à la réalisation des montages ou des mesures, ils ne consacrent donc pas toujours assez de temps à la réflexion. Il convient alors de pratiquer un accompagnement spécifique et, dans la mesure du possible, personnalisé. La mise en œuvre d'une grille permet de clarifier le diagnostic, de leur proposer des pistes pour progresser tout en veillant à dédramatiser la situation. Un travail sur la durée, basé sur une approche formative, permettrait sans doute de mieux gérer ce type de difficultés.

Ils ont aussi particulièrement apprécié la **présentation orale** dont les items et les critères d'évaluation sont fournis : exposer, expliquer, justifier leur démarche, etc. Cela constitue vraiment une plus-value dans la formation dispensée en travaux pratiques. L'enseignant doit prendre le temps d'écouter, de dialoguer et d'évaluer.

6.4.1.3 Conclusion

La grille de compétences facilite l'analyse des séances à la fois pour l'élève et le professeur. Elle induit un changement profond dans les pratiques des enseignants tant pour la conception que pour l'évaluation des pratiques expérimentales. Il s'agit de concevoir des activités en identifiant clairement les compétences visées. Elle implique de travailler davantage en situation complexe (problème ouvert) puisque les activités trop guidées sont peu compatibles avec ce mode d'évaluation. Afin de s'assurer de l'acquisition d'une compétence, il faudra veiller à mettre en place une progression de type « spiralaire » de manière à mobiliser une compétence dans des situations différentes. Le mode d'évaluation par compétences laisse davantage de place à l'évaluation formative ainsi qu'à l'auto-évaluation. Il cadre davantage la séance expérimentale en termes d'objectifs à atteindre ce qui donne plus de lisibilité aux activités expérimentales. Il implique fortement l'élève dans sa réussite en lui permettant de mesurer ses progrès, d'identifier ses points forts, ses faiblesses. L'élève est placé dans un cadre de réussite et d'encouragement qui contribue à le motiver.

6.4.2 La résolution de problèmes ouverts

La résolution d'un problème ouvert lors d'activités expérimentales met au premier plan l'aptitude des élèves à concevoir et à conduire une démarche scientifique. Les élèves apprennent à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérimentation pour prouver leurs hypothèses, à communiquer leurs résultats et à les exploiter. Avec

cette approche, les élèves travaillent davantage les compétences liées à l'esprit d'initiative, l'esprit critique, la curiosité et la créativité. Ils sont fortement motivés car ils se sentent responsabilisés et par conséquent s'investissent davantage dans le travail qui leur est demandé et dans leur apprentissage. Le recours aux défis, aux projets de classe, à la confrontation entre ce qui est écrit sur un tableau et la réalité expérimentale en laboratoire permet de varier la nature des activités. Dans tous les cas, il s'agit de faire en sorte que les élèves n'aient pas l'impression de ne travailler que pour une note mais pour un objectif plus ambitieux où chacun devra apporter sa contribution.

Une grande majorité des élèves a adhéré à cette approche. Ils ont notamment bien perçu que l'élaboration d'un protocole expérimental ou l'étude d'un problème ouvert sont des tâches complexes au cours desquelles leur réflexion est particulièrement sollicitée. Ils y ont trouvé un grand intérêt, ont montré de la **motivation**, un réel désir de bien faire et même de l'enthousiasme pour ces types d'activités.

6.4.3 La mesure

Elle a fait l'objet d'une attention particulière et elle a parfois constitué un élément central de l'activité proposée. Dans certains cas, on a utilisé un tableur de manière à dispenser les élèves des calculs fastidieux de propagation d'incertitude afin de leur permettre de dégager du temps pour l'analyse des causes d'incertitude et des résultats obtenus.

La mise en œuvre de la notion d'incertitude reste difficile pour les élèves. Voici un exemple de l'évaluation de la longueur d'onde d'une onde centimétrique :

Expérimentalement:

$x = 68,6 \text{ cm}$ et $x' = 70,0 \text{ cm}$ avec une incertitude $\pm 0,05 \text{ cm}$ par la lecture sur la règle

et une incertitude $\pm 0,1 \text{ cm}$ par la lecture sur l'oscilloscope.

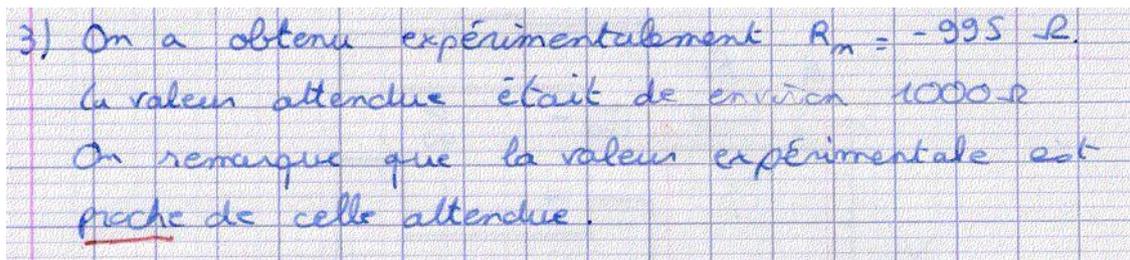
Donc : $(x - x') = 1,4 \pm \sqrt{0,05^2 + 0,1^2}$
 $= 1,4 \pm 0,11 \text{ cm}.$

D'où : $2,58 \text{ cm} \leq \lambda \leq 3,02 \text{ cm}$

La longueur d'onde annoncée par le fabricant de l'émetteur est de $2,8 \text{ cm}$
 \Rightarrow résultat cohérent.

Les notions d'incertitude de lecture, de pointé (ce que l'élève appelle « lecture sur l'oscilloscope ») sont connues, ainsi que leur combinaison quadratique. Néanmoins, la cohérence du nombre de chiffres significatifs reste aléatoire et le vocabulaire utilisé par l'élève imprécis.

L'exemple ci-dessous est un extrait d'un compte rendu d'élève lors d'une activité de fin d'année qui n'est pas explicitement orientée sur la mesure.



3) On a obtenu expérimentalement $R_m = -995 \Omega$.
La valeur attendue était de environ 1000 Ω .
On remarque que la valeur expérimentale est proche de celle attendue.

Dans cette situation, nous avons remarqué que la comparaison entre « valeur mesurée » et « valeur attendue » ne fait que très rarement l'objet d'une analyse argumentée et n'est pas accompagnée par un calcul d'incertitude alors que les élèves l'ont pourtant pratiqué pendant l'année scolaire.

Ceci tend à prouver que lorsque l'activité ne met pas explicitement l'accent sur la mesure, les élèves n'adoptent plus d'approche méthodique et rigoureuse ; cela semble plaider en faveur d'une **sensibilisation précoce** à la problématique de la mesure.

7 Conclusion

Ce rapport a permis une description assez exhaustive des textes officiels, des démarches et des pratiques professionnelles observées dans le cadre des activités expérimentales, du collège à l'enseignement post-baccalauréat. Il a été l'occasion d'avancer des préconisations pour donner plus de lisibilité aux professeurs sur les objectifs poursuivis lors de ces activités menées au laboratoire. La volonté de structurer par compétences les apprentissages de l'élève réalisés dans l'environnement du laboratoire est justifiée par l'analyse des résultats des évaluations des capacités expérimentales au lycée professionnel, au lycée général et aux concours des grandes écoles. Celles-ci ont montré que le regard de l'évaluateur se porte essentiellement sur la maîtrise de l'utilisation du matériel, au risque de dénaturer l'exercice d'une démarche scientifique « authentique et sûre ». Or, c'est en vérifiant que l'élève parvient à **s'approprier** une tâche qu'il aura à **réaliser** que l'on mesure sa capacité à mobiliser des connaissances et des attitudes pour traiter une question de sciences. De la même façon, pouvoir contrôler qu'un élève est capable d'**analyser** des phénomènes ou des résultats d'expériences et de **valider** des hypothèses formulées est indispensable pour l'amener à pratiquer de manière de plus en plus **autonome** une démarche expérimentale qui ne soit pas tronquée. La qualité de la **communication** de l'élève à l'écrit comme à l'oral sera *in fine* le moyen d'appréhender sa compréhension de la question de sciences traitée.

On comprend l'intérêt que ces compétences soient en nombre limité et demeurent identiques tout au long du cursus scolaire : l'expertise des élèves va bien entendu augmenter avec le niveau d'enseignement, le degré de maîtrise de ses compétences aussi, mais on garde un cap simple et clair avec une dénomination des compétences qui reste la même. Si les professeurs bâtissent leur enseignement en introduisant cette structuration, ils pourront contrôler aisément la diversification des activités expérimentales proposées au cours de l'année et rendre compte de leurs progrès aux élèves dans un langage stable, partagé et compréhensible par tous.

Annexe 1 : membres du GRIESP

Membres du GRIESP en 2010-2011

NOM	Prénom	Fonction	Établissement	Académie
ALECIAN	Dominique	professeur	Lycée privé Stanislas	PARIS
BARON	Christine	professeur	Lycée Lavoisier	PARIS
COPPENS	Nicolas	professeur	Lycée International	STRASBOURG
JALLAIS	Viviane	professeur	LGT Camille Claudel	VERSAILLES
GIROUX	Bruno	professeur	Lycée européen Charles de Gaulle	DIJON
GYR	Marc	professeur	Lycée Félix Faure	AMIENS
LASSIAZ	Odile	professeur	Lycée Vallée de Chevreuse	VERSAILLES
MASSOTTE	Muriel	professeur	Lycée COLBERT	PARIS
MOUTET	Laurent	professeur	Lycée BOUCHER DE PERTHES	AMIENS
MONTANGERAND	Michel	professeur	Lycée Européen	AMIENS
CHAPELIER	David	professeur	Lycée Lakanal	PARIS
OBERT	Dominique	professeur	Lycée Victor HUGO	BESANCON
REYDELLET	Laure	professeur	Lycée Louis PASTEUR	PARIS
SCHLOSSER	Nicolas	professeur	Lycée Louis le grand	PARIS
VANDENBROUCK	François	professeur	Lycée Janson de Sailly	PARIS
CHEYMOL	Nicolas	IA-IPR	Rectorat de Versailles	VERSAILLES
MEUR	Daniel	IA-IPR	Rectorat de Versailles	VERSAILLES
SIMON	Christiane	IA-IPR	Rectorat d'Amiens	AMIENS

Annexe 2 : Les objectifs de formation et les compétences à construire écrites dans les programmes de seconde de Mathématiques, SPC, SVT et MPS, en vigueur en 2010

Les objectifs généraux des trois disciplines dans les programmes de 2^{nde} en 2010

Maths	SPC	SVT	MPS
<p>Les maths en seconde</p> <p>Le programme de mathématiques de la classe de seconde a pour fonction :</p> <ul style="list-style-type: none"> -de conforter l'acquisition de la culture mathématique nécessaire à la vie en société et à la compréhension du monde ; -d'assurer et de consolider les bases nécessaires aux poursuites d'études ; -d'aider l'élève à construire son parcours de formation. <p>Dans la mesure du possible, les problèmes posés s'inspirent de situations liées à la vie courantes ou à d'autres disciplines.</p> <p>Les élèves de seconde doivent avoir acquis une expérience qui leur permette de commencer à distinguer les principes de la logique mathématique de ceux de la logique du langage courant (par exemple distinguer implication et causalité).</p>	<p>Les SPC en seconde</p> <p>La culture scientifique et technique acquise au collège doit permettre à l'élève d'avoir une première représentation globale et cohérente du monde dans lequel il vit, dans son unité et sa diversité, qu'il s'agisse de la nature ou du monde construit par l'Homme. L'enseignement des sciences physiques et chimiques en seconde prolonge cette ambition en donnant à l'élève cette culture scientifique et citoyenne indispensable à une époque où l'activité scientifique et le développement technologique imprègnent notre vie quotidienne et les choix de société.</p> <p>Tout en s'inscrivant dans la continuité des acquis du collège et du socle commun de connaissances et de compétences, l'enseignement de la physique et de la chimie donne une place plus importante aux lois et aux modèles qui permettent de décrire et de prévoir le comportement de la nature.</p> <p>Pour cela, il permet la construction progressive et la mobilisation du corpus de connaissances scientifiques de base, en développant des compétences apportées par une initiation aux pratiques et méthodes des sciences expérimentales et à leur genèse :</p> <ul style="list-style-type: none"> -la démarche scientifique, -l'approche expérimentale, -la mise en perspective historique, pour lesquelles sont convoquées la coopération interdisciplinaire, -l'usage des TIC et l'entrée thématique. 	<p>Les SVT au lycée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voie de motivation et de réussite pour la poursuite de la formation scientifique après le collège et la préparation à l'enseignement supérieur . - Participation à l'éducation en matière de santé, sécurité, environnement, de tout élève qui choisira une orientation vers des filières non scientifiques. <p>3 objectifs essentiels :</p> <ul style="list-style-type: none"> - aider à la construction d'une culture scientifique commune fondée sur des connaissances considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits (naturels ou expérimentaux) et des modes de raisonnement propres aux sciences ; - participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde et le développement de qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques ; - préparer les futures études supérieures de ceux qui poursuivront sur le chemin des sciences et, au-delà, les métiers auxquels il conduit ; aider par les acquis méthodologiques et techniques ceux qui s'orienteront vers d'autres voies. 	<p>Découvrir différents domaines des mathématiques, des sciences physiques et chimiques, des sciences de la vie et de la Terre et des sciences de l'ingénieur.</p> <p>Montrer l'apport et la synergie de ces disciplines pour trouver des réponses aux questions scientifiques que soulève une société moderne, d'en faire percevoir différents grands enjeux, et de donner les moyens de les aborder de façon objective.</p> <p>Révéler le goût et les aptitudes des élèves pour les études scientifiques, leur donner la possibilité de découvrir des métiers et des formations dans le champ des sciences et les aider à construire leur projet de poursuite d'études en leur faisant mieux connaître la nature des enseignements scientifiques, les méthodes et les approches croisées mises en œuvre.</p> <p>Initier les élèves à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet.</p>

Les compétences à construire (capacités, attitudes)

Maths	SPC	SVT	MPS
<p>L'objectif général de ce programme est de former les élèves à la démarche scientifique pour les rendre capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - modéliser et s'engager dans une activité de recherche ; - conduire un raisonnement, une démonstration ; - pratiquer une activité expérimentale ou algorithmique ; - faire une analyse critique d'un résultat, d'une démarche ; - pratiquer une lecture active de l'information (critique, traitement), en privilégiant les changements de registre (graphique, numérique, algébrique, géométrique) ; utiliser les logiciels adaptés à la résolution d'un problème ; communiquer à l'écrit et à l'oral. 	<p>Initier l'élève à la démarche scientifique c'est lui permettre d'acquérir des compétences qui le rendent capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - mettre en œuvre un raisonnement pour identifier un problème, - formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique. - rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes - raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe <p>En devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières.</p> <p>Associée à un questionnement, l'approche expérimentale contribue à la formation de l'esprit et à l'acquisition, évaluée par le professeur, de compétences spécifiques. L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Elle lui permet de confronter ses représentations avec la réalité. Elle développe l'esprit d'initiative, la curiosité et l'esprit critique.</p> <p>Ainsi, l'élève doit pouvoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> -élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses ; -faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. -connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir. 	<p>Pratiquer une démarche scientifique (observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser).</p> <p>Recenser, extraire et organiser des informations. Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique. Manipuler et expérimenter. Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes. Exprimer et exploiter des résultats, à l'écrit, à l'oral, en utilisant les technologies de l'information et de la communication.</p> <p>Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique.</p> <p>Percevoir le lien entre sciences et techniques.</p> <p>Manifester sens de l'observation, curiosité, esprit critique.</p> <p>Montrer de l'intérêt pour les progrès scientifiques et techniques.</p> <p>Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement, la santé, le monde vivant.</p> <p>Avoir une bonne maîtrise de son corps.</p> <p>Être conscient de l'existence d'implications éthiques de la science.</p> <p>Respecter les règles de sécurité.</p> <p>Comprendre la nature provisoire, en devenir, du savoir scientifique.</p> <p>Être capable d'attitude critique face aux ressources documentaires.</p> <p>Manifester de l'intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société.</p> <p>Savoir choisir un parcours de formation.</p>	<p>Savoir utiliser et compléter ses connaissances.</p> <p>Raisonner, argumenter, pratiquer une démarche scientifique, démontrer.</p> <p>S'informer, rechercher, extraire et organiser de l'information utile (écrite, orale, observable, numérique).</p> <p>Communiquer à l'aide d'un langage et d'outils adaptés.</p>

Annexe 3 : Glossaire de quelques termes fréquemment utilisés dans le cadre de l'enseignement des sciences physiques

- **Activité expérimentale de découverte** : l'expérience sert d'appui pour faire découvrir (ou plutôt redécouvrir) un phénomène. Il s'agit le plus souvent d'une démarche inductive.
- « **Confrontation** » **au réel** : l'expérience peut valider ou invalider une hypothèse. Elle ne prouve en rien une théorie car seul un raisonnement peut démontrer et prouver.
- **Démarche scientifique empirique** : une démarche scientifique empirique s'appuie sur l'**expérience** et sur l'**observation** de celle-ci. L'objectif n'est pas d'expliquer ou d'interpréter mais d'observer. Ce qui caractérise la démarche empirique c'est qu'on ne sait pas, *a priori*, ce qu'on va obtenir. Elle est basée essentiellement sur la curiosité.
- **Démarche scientifique inductive** : la démarche inductive est un mode de construction de la connaissance. Elle consiste à partir de l'observation, qui fournit au chercheur les faits, pour en exprimer des modèles. L'observation est première et les théories reposent sur les faits mais aussi sur d'autres théories⁴⁰.
- **Démarche scientifique hypothético-déductive** : la démarche hypothético-déductive est une méthode scientifique qui consiste à formuler une hypothèse afin d'en déduire des conséquences observables futures permettant d'en déterminer la validité. Elle trouve ses bases dans le **déterminisme** qui affirme pouvoir prédire des résultats reproductibles. La **démarche d'investigation** décrite dans les programmes du collège est une démarche pédagogique qui inscrit l'élève dans une démarche scientifique hypothético-déductive.
- **Démarche scientifique réfutationniste** : c'est de la critique de la **démarche inductive** qu'est née la démarche réfutationniste. Elle affirme qu'une théorie ne peut être scientifique que si elle est réfutable, c'est-à-dire si elle peut être mise à l'épreuve de nouvelles expériences ou de nouvelles observations.
- **Expérience qualitative** : une expérience qualitative est une **expérience** qui a pour objectif de **collecter des informations** ou de mettre en évidence un phénomène par l'observation. Elle est un moyen d'apprendre à décrire des faits avec des mots pertinents. Elle participe à la constitution d'un référent empirique nécessaire à la formation de scientifiques. Elle permet aussi de valider des hypothèses sur l'évolution de phénomènes. Elle peut être nécessaire pour décider de la pertinence des paramètres retenus lors d'une expérimentation.
- **Expérience quantitative** : l'expérience quantitative met en jeu des paramètres choisis. Il n'y a pas de quantitatif sans qualitatif préalable. Une expérience quantitative est une **expérience** qui a pour objectif de **collecter des informations**,

⁴⁰ Une théorie scientifique regroupe les principes et des lois qui la constituent.

- **Expérience témoin** : pour mettre en évidence l'effet d'un paramètre lors d'une expérience, il convient de réaliser une première expérience, appelée expérience témoin, où ce paramètre n'est pas modifié. Elle est utilisée quand il n'existe pas de capteur adapté. *Elle est davantage mise en œuvre dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre.*
- **Hypothèse/ conjecture** : dans le cadre d'un **questionnement scientifique**, le scientifique fait des supputations et des propositions d'explications qu'il s'agit de soumettre à l'épreuve de l'**expérience**. On privilégiera à ce stade le terme d'hypothèses ou conjectures car il ne s'agit que de suppositions qui n'ont encore reçu aucune confirmation. L'hypothèse exige un cadre de référence.
- **Monstration ou mise en évidence expérimentale** : l'expérience empirique, ou monstration, est une expérience qui montre un phénomène. Par exemple : *le sulfate de cuivre devient bleu en présence d'eau*. L'expérience peut appuyer ou illustrer une théorie : elle a valeur de preuve⁴¹. Par exemple : *le phénomène de réfraction de la lumière peut être illustré par l'expérience du « bâton brisé » à la surface de l'eau*.
- **Observation** : l'observation consiste à constater un phénomène. Elle contribue à la collecte d'informations. Elle est le plus souvent provoquée et fait généralement référence à un cadre théorique sous-jacent. Certains objets/événements sont inaccessibles comme les étoiles qui sont trop lointaines. Dans ce cas, seule l'observation est possible. Elle n'est d'ailleurs très souvent possible qu'à l'aide d'instruments. L'investigation passe alors par l'observation. La signification que l'observateur donne à son observation est influencée par ses propres connaissances. Il existe aussi des objets/événements non observables car n'ayant qu'une existence théorique. Par exemple, Les bosons sont des particules qui n'ont pas d'existence matérielle et ne sont donc pas observables⁴².
- **Protocole expérimental** : un protocole expérimental est la description précise du déroulement d'une **expérience**, des conditions expérimentales et des procédures qui permettent d'aboutir à des résultats exploitables. Il est aussi le mode d'emploi des instruments qui ont été choisis.
- **Questionnement scientifique**⁴³ : la démarche expérimentale est avant tout une volonté de répondre à un questionnement scientifique par l'**expérience**. Ce questionnement peut découler d'un décalage entre le réel et l'idée que l'on peut s'en faire⁴⁴ ou peut s'inscrire dans une volonté de faire évoluer une connaissance scientifique, un **modèle** ou une technologie.
- **Réalisation pratique d'un objet technique** : dans une démarche de projet, l'expérience peut participer à la conception du projet.

⁴¹ quand elle a été répétée et validée par une communauté scientifique. L'expérience montre en fait que la théorie n'a pas été réfutée.

⁴² Mais elles sont liées à des effets observables.

⁴³ « 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 » Gaston Bachelard.

⁴⁴ Représentation du réel

- **Réfutation d'un modèle** : une telle activité est rare, voire inexistante dans l'enseignement, mais n'est pas à exclure. Elle permet de rejeter par l'expérience une théorie.
- **Situation déclenchante** : il s'agit d'un moyen pédagogique d'entraîner l'élève vers un univers qui lui est assez familier pour l'intéresser. La situation a généralement pour cadre la vie quotidienne, elle va servir de prétexte pour formuler une question de sciences.
- **Situation-problème** : cette expression a commencé à être utilisée dans les années 90 pour décrire une mise en situation construite pour permettre aux élèves de dépasser un obstacle didactique. Par exemple, pour lutter contre la représentation séquentielle de la circulation du courant électrique qui fait dire aux élèves que le courant s'épuise, on peut faire prédire aux élèves des phénomènes à partir de leurs propres conceptions et mettre en œuvre des expériences qui vont les amener à modifier leurs représentations initiales. Cette expression est actuellement utilisée beaucoup plus couramment pour décrire une situation où l'élève va devoir résoudre un problème. Elle s'apparente bien souvent à une tâche complexe définie ci-dessous.
- **Tâche complexe** : Il s'agit d'une tâche formulée sous la forme d'une question, dont la résolution va suivre des processus de réalisation différents selon les élèves. Pour résoudre le problème, l'élève devra mobiliser ses ressources internes et des ressources externes qui sont mises à sa disposition. On peut noter que d'autres disciplines utilisent cette même expression pour décrire une mise en situation pédagogique. Cette expression apparaît dans le vade-mecum pour la formation et l'évaluation de la compétence 3 au collège, disponible à cette adresse : http://media.eduscol.education.fr/file/DNB/89/2/socle-C3-vade_mecum_166892.pdf
- **TP-TOP** : Le TP-TOP est la traduction dans les années 1990 de la formalisation d'une démarche pédagogique qui a la volonté de mettre les élèves dans une démarche de mini-projet. Un « TOP » est un signal bref qui a pour objet d'indiquer le moment où une indication donnée par le professeur doit être notée. *L'idée est de fournir des indications aux élèves à des instants précis afin qu'ils apprennent dans l'action.*
- **Validation ou invalidation d'hypothèses par l'expérience** : dans une démarche expérimentale hypothético-déductive, l'expérience permet de valider ou d'invalider une hypothèse (de rendre ou de déclarer valide ou vraie une proposition).
- **Vérification par l'expérience** : cela signifie que l'expérience valide une théorie. Les résultats expérimentaux corroborent les résultats théoriques, en particulier numériques, de mettre en évidence des paramètres qui influent sur un objet/événement ou de mettre en évidence des relations entre grandeurs par des **mesures**.

Annexe 4 : Inventaire des activités réalisées par les élèves au laboratoire en regard des compétences mobilisées

- Compétence « **s'approprier** » l'environnement du laboratoire, à réaliser des expériences et des mesures et activités liées à la bonne utilisation du matériel et des instruments :
 1. Familiarisation avec les objets et les instruments
Découverte des objets et des instruments utilisés dans l'expérimental en classe et des moyens de les décrire.
 2. Familiarisation avec les méthodes et les pratiques
 3. Prise de contact avec les méthodes et les pratiques de l'expérimental en classe et leur appropriation.
 4. Capacité à reconnaître, nommer, décrire et choisir le matériel utilisé en activité expérimentale (verrerie, instruments de mesure...).
 5. Suivi d'un protocole
Capacité à exécuter un certain nombre de micro-tâches prédéfinies et généralement communiquées par écrit en utilisant le matériel prescrit à bon escient.
 6. Respect des règles de sécurité
Toute manipulation se fait dans le respect de la sécurité de soi et des autres personnes présentes, et dans le respect du matériel, des locaux et de l'environnement.
Ce respect contribue à l'acquisition de compétences sociales et civiques.
 7. Développement de gestes
Acquisition de la maîtrise de l'utilisation du matériel de laboratoire, de la précision des gestes, de l'organisation de la paillasse de travail, de la réalisation d'un test...
 8. Réalisation d'un montage
Mise en œuvre d'une expérience à partir d'un schéma ou d'un protocole.
 9. Choix de l'appareil de mesure
Adaptation de l'appareil de mesure à la grandeur dont on cherche à déterminer la valeur.
 10. Réglage de l'appareil de mesure
Opération qui consiste à régler un appareil de mesure afin que celui-ci puisse être utilisé pour déterminer la valeur d'une grandeur conformément à l'objectif fixé.
 11. Visualisation d'informations
Permettre la visualisation d'informations afin d'accéder à la valeur d'une grandeur.
Visualisation d'une tension alternative à l'aide d'un oscilloscope.
 12. Enregistrement / Acquisition
Opération qui consiste à fixer de l'information (des mesures) sur un support. L'utilisation de l'EXAO facilite cet enregistrement/acquisition des mesures.
 13. Anticipation de la mesure
Évaluation de l'ordre de grandeur d'un résultat avant la mesure afin d'adapter cette dernière à la grandeur mesurée. Cette anticipation se base souvent sur la connaissance du modèle sous-jacent.

- compétence « **s'approprier** » les outils de la science et activités amenant à faire le lien entre le monde des objets/événements et celui des théories/modèles⁴⁵ : observer, schématiser, représenter, coder/décoder
 1. Observation d'une expérience
Suivi scientifique (au moyen d'indices et de repères connus) d'un objet ou d'un événement sans agir pour le modifier.
 2. Description d'une expérience, d'un phénomène
Représentation d'un objet ou d'un événement. Certaines descriptions peuvent se traduire par l'utilisation d'un dessin ou d'une schématisation adaptée qui répond à certaines conventions.
 3. Mise en évidence d'un phénomène
Processus qui consiste à faire le lien entre un phénomène et un modèle connu.

- Compétences scientifiques « **analyser** » et « **valider** » et activités liées au traitement des mesures /
 1. Écriture de la mesure
Utilisation d'un symbole adapté à la grandeur mesurée et d'une valeur (nombre et unité) adaptée à la mesure de cette grandeur. Expression d'un résultat avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les conditions de l'expérience. Utilisation des puissances de 10.
 2. Prise en compte de l'incertitude de la mesure
Prise en compte de l'existence d'un intervalle de confiance (prise en compte des erreurs aléatoires et des erreurs de mesurage).
 3. Élaboration d'un recueil de données
Report des résultats obtenus dans un tableau adapté.
 4. Gestion des mesures
Étude statistique d'une série de mesures indépendantes (utilisation d'une calculatrice ou d'un tableur).
 5. Construction d'une représentation graphique/d'une courbe
Opération qui consiste à avoir recours à la représentation graphique pour représenter un ensemble de couples de mesures afin de mettre en évidence une relation entre des grandeurs.
 6. Exploitation d'une représentation graphique/d'une courbe
Opération qui consiste à se servir d'une représentation graphique de résultats de mesures pour pouvoir en extraire l'information souhaitée (représentation symbolique du modèle, relation entre grandeurs).
 7. Utilisation des mathématiques
Conduire des calculs. Connaître et utiliser les fonctions des mathématiques (souvent en articulation avec leur représentation graphique).

- Compétence « **s'approprier** » une question de sciences, à l'analyser et activités amenant à choisir, imaginer, prédire :
 1. Problématique / Problématisation
L'ensemble des questions qui découlent d'une situation-problème. Formulation d'un problème.
 2. Formulation d'hypothèse(s)/de conjecture(s)

⁴⁵ Cette distinction est décrite comme nécessaire à la construction des connaissances en sciences physiques par le groupe de recherche en didactique PEGASE INRP qui produit des documents pédagogiques articulés sur les programmes du secondaire. <http://pegase.inrp.fr/>

Proposition(s) ou explication(s), qui sont énoncées sans préjuger de leur véracité, sur un événement susceptible de se produire ou sur un paramètre pouvant influencer un phénomène (recherche d'une relation causale).

Une hypothèse énoncée sur un objet/événement découle de représentations sur cet objet/événement qui peuvent être mises en évidence par une argumentation de l'hypothèse.

L'élaboration d'une hypothèse peut s'appuyer sur un corpus documentaire.

3. Proposition d'une expérience

Élaboration d'un protocole expérimental susceptible d'être mis en œuvre pour pouvoir valider ou invalider une hypothèse ou pour répondre à un objectif précis. Le choix du matériel de laboratoire devant être adapté et justifié.

Cohérence d'un protocole au regard du problème à résoudre et du modèle lorsqu'il est connu, et qui permet une appropriation des conditions matérielles.

4. Choix d'une expérience

Sélection d'une expérience parmi plusieurs qui sont proposées.

5. Choix de la (ou des) variable(s) à mesurer

Identification de la (ou des) grandeurs qui permet(tent) d'étudier un objet/événement donné car jouant un rôle dans cet objet/événement. Séparation des variables à mesurer.

- Compétence « **valider** » un résultat expérimental et activités amenant à porter un jugement sur la validité d'un résultat, à faire preuve de sens critique :

1. Analyse des résultats

Interrogation de la vraisemblance des résultats expérimentaux (avec un esprit critique). Étude de ces résultats pour les confronter aux prévisions. Exploitation des résultats pour en déduire une modélisation possible.

2. Évaluation de la pertinence d'un protocole

Jugement porté sur la procédure manipulative mise en œuvre au vu des résultats obtenus.

3. Critique de la mesure

Réflexion sur l'exactitude de la mesure (justesse et fidélité) et sa précision. Regard critique sur l'ordre de grandeur du résultat de la mesure. Identification de causes d'erreur. Exclusion raisonnée d'une mesure erronée.

4. Distinction simulation / expérience

Capacité à faire la différence entre une simulation et une expérience.

- Compétence « **communiquer** » et activités amenant à communiquer au sujet d'une expérience, d'un projet :

1. Description d'une expérience, d'un phénomène

Description d'un objet/événement pouvant se faire en utilisant des mots (langage naturel) ou par l'intermédiaire d'une représentation symbolique.

Certaines descriptions peuvent se traduire par l'utilisation d'un dessin ou d'une schématisation adaptée qui répond à certaines conventions.

2. Rédaction d'un compte-rendu

Rédaction d'un rapport qui présente la démarche suivie : la manipulation, les mesures, le traitement des mesures et l'exploitation qui en découle. Les TIC peuvent accompagner (faciliter ou améliorer) la production d'un tel document.

3. Utilisation d'un vocabulaire adapté

Rédaction du compte-rendu qui doit mettre en évidence un vocabulaire adapté (connaissance des noms du matériel de laboratoire et du vocabulaire scientifique pré-acquis).

4. Rédaction d'une argumentation

Écriture d'une série d'arguments en faveur ou contre une proposition. Elle s'accompagne de l'utilisation à bon escient de connecteurs logiques de cause, de conséquence et de but.

Annexe 5 : Un exemple de grille de compétences.

Grille de compétences				
		Séance 1	Séance 2	Séances 3, 4,...
Grille de programmation		Compétence à réinvestir Nouvelle compétence évaluée	Compétence à réinvestir Nouvelle compétence évaluée	Compétence à réinvestir Nouvelle compétence évaluée
Grille de suivi de l'élève		A (acquis) NA (non acquis)	A (acquis) NA (non acquis)	A (acquis) NA (non acquis)
APP. S'APPROPRIER				
	Se mobiliser en cohérence avec les consignes données			
	Adopter une attitude critique et réfléchie vis-à-vis de l'information disponible			
REA. REALISER				
	Réaliser ou compléter un schéma permettant de mettre en œuvre le protocole expérimental			
	Réaliser le dispositif expérimental correspondant au protocole			
	Respecter les règles de sécurité			
	Maîtriser certains gestes techniques			
	Observer et décrire les phénomènes			
ANA. ANALYSER				
	Formuler une hypothèse et proposer une méthode pour la valider			
	Élaborer, choisir et utiliser un modèle adapté			
	Proposer et/ou justifier un protocole, identifier les paramètres pertinents			
	Définir les conditions d'utilisation des instruments de mesure, réaliser et régler les dispositifs expérimentaux dans les conditions de précision correspondant au protocole			
VAL. VALIDER				
	Estimer l'incertitude d'une mesure unique ou d'une série de mesures			
	Confronter un modèle à des résultats expérimentaux : vérifier la cohérence des résultats obtenus avec ceux attendus			
	Analyser l'ensemble des résultats de façon critique et faire des propositions pour améliorer la démarche ou le modèle			
	Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter ...			
COM. COMMUNIQUER				
	Rendre compte de façon orale			
	Rendre compte de façon écrite			
AUTO. ÊTRE AUTONOME, FAIRE PREUVE D'INITIATIVE				
	Prendre des initiatives, des décisions, anticiper			
	Travailler en autonomie			
	Travailler en équipe			
	Mobiliser sa curiosité, sa créativité			
	S'impliquer dans un projet individuel ou collectif			

Annexe 6 : Grille nationale d'évaluation pour le baccalauréat professionnel.

GRILLE NATIONALE D'ÉVALUATION EN SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Nom et prénom :	Diplôme préparé :	Séquence d'évaluation ⁴⁶ n°
-----------------	-------------------	--

❶ Liste des capacités, connaissances et attitudes évaluées⁴⁷

Capacités	
Connaissances	
Attitudes	

❷ Évaluation⁴⁸

	Compétences ⁴⁹	Aptitudes à vérifier	Questions	Appréciation du niveau d'acquisition ⁵⁰
Activité expérimentale	S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information utile, - comprendre la problématique du travail à réaliser, - montrer qu'il connaît le vocabulaire, les symboles, les grandeurs, les unités mises en œuvre. 		
	Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - analyser la situation avant de réaliser une expérience, - formuler une hypothèse, - proposer une modélisation, - choisir un protocole ou le matériel / dispositif expérimental. 		
	Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - organiser son poste de travail, - mettre en œuvre un protocole expérimental, - utiliser le matériel choisi ou mis à sa disposition, - manipuler avec assurance dans le respect des règles élémentaires de sécurité. 		
	Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter et interpréter des observations, des mesures, - vérifier les résultats obtenus, - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi ... 		
				/ 7
Compte Rendu écrit et oral	Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - rendre compte d'observation et des résultats des travaux réalisés, - présenter, formuler une conclusion, expliquer, représenter, argumenter, commenter. 		
				/ 3
TOTAL				/ 10

⁴⁶ Chaque séquence propose une problématique s'appuyant sur une situation issue du domaine professionnel ou de la vie courante.

⁴⁷ Les capacités, connaissances et attitudes évaluées sont issues du programme et du référentiel de certification du diplôme préparé.

⁴⁸ L'évaluation porte nécessairement sur des capacités expérimentales. Des appels permettent de s'assurer de la compréhension, de valider les choix / les hypothèses, d'évaluer l'exécution des manipulations et de prendre en compte la communication écrite et/ou orale.

⁴⁹ La compétence « Être autonome, Faire preuve d'initiative » est prise en compte au travers de l'ensemble des travaux réalisés par l'élève. Les appels sont des moments privilégiés pour en apprécier le degré d'acquisition.

⁵⁰ Le professeur peut utiliser toute forme d'annotation lui permettant de noter l'activité expérimentale sur 7 points et la partie compte rendu sur 3 points.

Annexe 7 : Dosage de l'acidité d'un vinaigre, version « Épreuve expérimentale de baccalauréat professionnel » - Sessions 1998 à 2011

I - SUJET

Buts des manipulations

On caractérise l'acidité d'un vinaigre par son degré d'acidité.

L'objectif des manipulations proposées est la vérification expérimentale du degré d'acidité inscrit sur l'étiquette de la bouteille de vinaigre. Pour cela, il faudra :

- déterminer par dosage la concentration molaire en acide acétique de cette solution diluée de vinaigre ;
- en déduire par calcul le degré d'acidité du vinaigre et comparer le résultat obtenu à la valeur écrite sur l'étiquette de la bouteille.

Travail à réaliser

1 – Détermination de la concentration molaire en acide acétique de la solution diluée de vinaigre par dosage

On réalisera le dosage de l'acide acétique (noté AH) par de la soude de concentration molaire

$C_B = 0,10 \text{ mol/L}$ en présence de phénolphtaléine.

a. Dosage rapide (détermination d'un encadrement du volume équivalent V_E)

À l'aide du contenu du bécher contenant la soude de concentration $C_B = 0,10 \text{ mol/L}$:

- rincer la burette (récupérer les produits dans l'erenmeyer étiqueté « récupération de produits usagés ») ;
- remplir la burette avec la soude ;
- ajuster le niveau du liquide au niveau zéro de la burette en faisant écouler l'excédent de solution basique de l'erenmeyer étiqueté « récupération de produits usagés ».



Appel n° 1

Appeler l'examineur pour réaliser devant lui la manipulation suivante.

Devant l'examineur, introduire dans le bécher étiqueté « dosage rapide »

- 10,0 mL de solution diluée de vinaigre prélevé à l'aide d'une pipette jaugée propre munie d'un dispositif d'aspiration ;
- environ 20 mL d'eau distillée ;
- 3 gouttes de phénolphtaléine ;
- le barreau magnétique propre (le rincer à l'eau distillée puis l'essuyer avec du papier).

Placer le bécher sous la burette. Agiter doucement la solution à l'aide de l'agitateur magnétique.

Ajouter la soude comme indiqué dans le tableau et noter la couleur de la solution en complétant le tableau ci-dessous.

Volume de soude ajouté en	0	5	9	10	11	12	13	14	15
---------------------------	---	---	---	----	----	----	----	----	----

mL									
Couleur									

Le volume précis correspondant au changement de couleur de l'indicateur coloré s'appelle « volume équivalent » noté V_E . La solution a changé de couleur lorsque le volume de soude ajouté correspond au volume équivalent V_E .

Noter l'encadrement du volume V_E où se produit le changement de couleur. $V_1 < V_E < V_2$

$V_1 = \dots\dots\dots$ mL

$V_2 = \dots\dots\dots$ mL



Appel n° 2

Appeler l'examineur pour vérifier les résultats du dosage rapide.

b. Dosage précis (dit « dosage à la goutte »)

On recommence le dosage pour déterminer le volume équivalent V_E à la goutte près. Comme précédemment introduire dans le bécher étiqueté « dosage précis » :

- 10,0 mL de solution de vinaigre dilué prélevés à l'aide d'une pipette jaugée propre munie d'un dispositif d'aspiration ;
- environ 20 mL d'eau distillée ;
- 3 gouttes de phénolphtaléine ;
- le barreau magnétique propre (le rincer à l'eau distillée puis l'essuyer avec du papier).

Verser à nouveau dans la burette de la soude de concentration $C_B = 0,10$ mol/L, puis ajuster le niveau de soude au niveau zéro de la burette.

Placer le bécher sous la burette. Agiter doucement la solution à l'aide de l'agitateur magnétique.



Appel n°3

Appeler l'examineur et réaliser devant lui les manipulations suivantes

Ajouter la soude **jusqu'au changement** de couleur en respectant les consignes suivantes :

- rapidement jusqu'au volume ($V_1 - 1$) mL,
- puis goutte à goutte à l'approche du changement de couleur.

Lire le volume équivalent V_E et inscrire la réponse.

$V_E = \dots\dots\dots$ mL

La réaction acido-basique se modélise par : $AH + OH^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O$
où AH représente l'acide acétique contenu dans le vinaigre et $OH^-(aq)$ représente l'ion hydroxyde contenu dans la soude.

c. Calcul

Calculer la concentration C_{AH} de la solution diluée de vinaigre en utilisant la formule :

$$C_{AH} \times V_{AH} = C_B \times V_E$$

V_{AH} : Volume de la prise d'essai de la solution diluée de vinaigre.
 C_{AH} : Concentration molaire en acide acétique de la solution diluée de vinaigre.
 C_B : Concentration de la soude utilisée.

Calculs :

2- CALCUL DU DEGRÉ D'ACIDITÉ DU VINAIGRE

Calculer le degré d'acidité d° du vinaigre en utilisant la formule : $d^\circ = C_{AH} \times M_{AH}$
 C_{AH} : Concentration molaire en acide acétique de la solution diluée de vinaigre.
 M_{AH} : 60 g/mol (masse molaire de l'acide acétique CH_3COOH)

Réponse :

Relever le degré d'acidité porté sur l'étiquette de la bouteille de vinaigre. Le résultat expérimental trouvé est-il en accord avec cette valeur ?

Degré d'acidité inscrit sur l'étiquette :

Cohérence des deux valeurs :

3- RANGEMENT DU POSTE DE TRAVAIL :

Récupérer les contenus des bécher et de la burette dans le bécher marqué « Récupération de produits usagés ».

Laver les bécher et erlenmeyer vides avec de l'eau du robinet, puis les rincer à l'eau distillée.

Rincer la burette et la pipette à l'eau distillée.

Nettoyer le plan de travail.



Appel n°4

Appeler l'examineur pour lui faire vérifier le rangement et lui rendre ce document.

II - GRILLE D'ÉVALUATION

Appels	Vérifications	Évaluation
Appel n° 1	Remplissage de la burette : - <i>ajustement du zéro</i> ; - <i>absence de bulles d'air</i> .	**
	Récupération des produits usagés	*
	Utilisation de la pipette : - <i>dispositif d'aspiration</i> ;	***

	<ul style="list-style-type: none"> - <i>ajustement au trait de jauge ;</i> - <i>pipette droite appuyée sur le bécher.</i> 	
	Ajout de l'indicateur coloré	*
Appel n° 2	Dosage rapide : <ul style="list-style-type: none"> - <i>exactitude du tableau ;</i> - <i>encadrement du volume équivalent</i> 	**
Appel n°3	Dosage précis : <ul style="list-style-type: none"> - <i>descente rapide jusqu'à (V₁-1) mL ;</i> - <i>dextérité lors du maniement de la burette ;</i> - <i>précision à la goutte près ;</i> - <i>lecture de V_E.</i> 	****
Appel n°4	Remise en état poste de travail : <ul style="list-style-type: none"> - <i>récupération des produits ;</i> - <i>rinçage de la verrerie ;</i> - <i>propreté du poste.</i> 	**

Annexe 8 : Dosage de l'acidité d'un vinaigre, version « Contrôle en cours de formation » - Diplôme intermédiaire

BEP – Classe de 2^{nde} professionnelle

I - SUJET

HS2 - Les liquides d'usage courant :
Que contiennent-ils et quels risques peuvent-ils présenter ?

Présentation de la situation



Le vinaigre d'alcool cristal (incolore), acheté dans le commerce, contient de l'acide acétique, de formule brute $C_2H_4O_2$.

La réglementation impose pour la commercialisation d'un tel vinaigre, une teneur en acide acétique de 8 g d'acide acétique pur pour 100 g de vinaigre.

Cette teneur est indiquée sur l'étiquette en pourcentage (%) ou en degré (°).

Afin de vérifier la conformité du vinaigre dont il dispose, Jérémy réalise le dosage colorimétrique d'une solution de vinaigre diluée 10 fois (10 mL de vinaigre dans 100 mL) avec une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B=0,1$ mol/L. L'indicateur coloré utilisé est la phénolphtaléine.

Lors du dosage « rapide » d'un volume $V_A=10$ mL de solution diluée de vinaigre, Jérémy observe le virage de l'indicateur coloré (passage d'une solution incolore à une solution de couleur rose) pour un volume de soude versé V_B compris entre 13 mL et 14 mL.

En appliquant la relation, fournie par son professeur, Jérémy conclut que ce vinaigre n'est pas conforme à la réglementation.

Relation donnant la teneur en acide acétique du vinaigre : **Teneur (en %) = $6 \times \frac{V_B}{V_A}$**

Problématique

Ce vinaigre est-il, comme le pense Jérémy, non conforme à la réglementation ?

Travail à réaliser

Partie A **Compréhension et analyse de la situation**

- A.1** En effectuant les calculs nécessaires, vérifier la cohérence des conclusions de Jérémy.
- A.2** Critiquer les conclusions de Jérémy et justifier la nécessité de réaliser un dosage précis « à la goutte ».

Partie B **Expérimentation – Réalisation de la solution diluée de vinaigre**

B.1 Cocher dans la liste de matériel ci-dessous, le matériel nécessaire pour réaliser une solution de vinaigre diluée 10 fois :

<input type="checkbox"/> une éprouvette graduée <input type="checkbox"/> une pipette jaugée de 10 mL <input type="checkbox"/> une pipette jaugée de 5 mL <input type="checkbox"/> une pissette d'eau déminéralisée <input type="checkbox"/> une burette	<input type="checkbox"/> une fiole jaugée de 100 mL <input type="checkbox"/> un bécher <input type="checkbox"/> un dispositif d'aspiration <input type="checkbox"/> une fiole jaugée de 50 mL <input type="checkbox"/> une pipette jaugée de 20 mL
---	--

B.2 Préparer le matériel et le poste de travail afin de réaliser la solution diluée.



Appel N°1

Présenter et justifier oralement les réponses aux questions A.1, A.2 et B.1. Réaliser devant le professeur la solution diluée de vinaigre.

Partie C Expérimentation – Réalisation du dosage précis « à la goutte »

C.1 A partir des indications présentes sur l'étiquette de la solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B=0,1 \text{ mol/L}$ utilisée, noter ci-dessous et mettre en œuvre les précautions à prendre afin de réaliser les manipulations en toute sécurité.

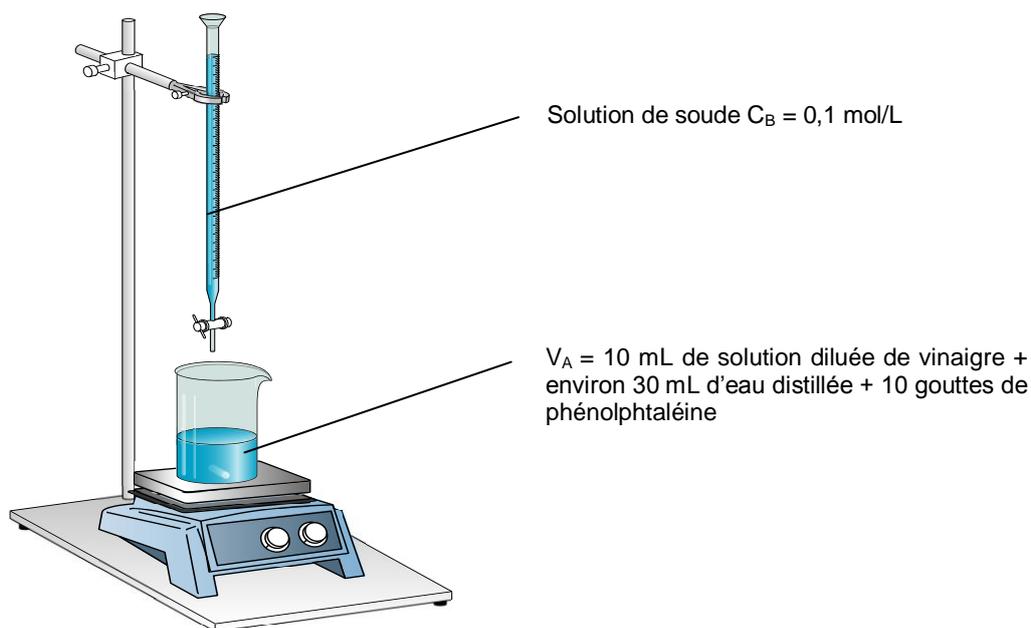


Sodium Hydroxyde
0,1 mol/L

Xi - Irritant

R36/38 : Irritant pour les yeux et la peau
 S2 : Conserver hors de la portée des enfants
 S26 : En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste
 S37 : Porter des gants appropriés
 S46 : En cas d'ingestion, consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette

C.2 Préparer le dosage en vous référant aux indications ci-dessous.





Appel N°2

Justifier oralement la réponse à la question C.1.

Faire vérifier la préparation du dosage puis réaliser le dosage devant le professeur.

Noter le volume de soude V_B versé correspondant au virage de l'indicateur coloré :

$V_B = \dots\dots\dots$

Partie D *Exploitation - Conclusion*

D.1 Calculer la teneur (en %) en acide acétique du vinaigre étudié.

D.2 Le vinaigre étudié est-il, comme le pense Jérémy, non conforme à la réglementation ? Justifier la réponse.

II - GRILLE D'ÉVALUATION

1 - Liste des capacités, connaissances et attitudes évaluées

Capacités	<ul style="list-style-type: none"> - identifier les règles et dispositifs de sécurité adéquats à mettre en œuvre - réaliser une dilution - réaliser un dosage acide-base
Connaissances	<ul style="list-style-type: none"> - savoir que les pictogrammes et la lecture de l'étiquette d'un produit renseignent sur les risques encourus et les moyens de s'en prévenir - reconnaître et nommer le matériel et la verrerie de laboratoire employés lors de manipulations
Attitudes	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">- sens de l'observation <li style="width: 50%;">- rigueur et précision <li style="width: 50%;">- respect des règles élémentaires de sécurité <li style="width: 50%;">- esprit critique

2 - Évaluation par compétences

	Compétences	Aptitudes à vérifier	Questions	Appréciation du niveau d'acquisition
Activité expérimentale	S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information utile, - comprendre la problématique du travail à réaliser, - montrer qu'il connaît le vocabulaire, les symboles, les grandeurs, les unités mises en œuvre. 	A.1 B.1 C.1	
	Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - analyser la situation avant de réaliser une expérience, - formuler une hypothèse, - proposer une modélisation, - choisir un protocole ou le matériel / dispositif expérimental. 	A.1 A.2 B.1 C.1	
	Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - organiser son poste de travail, - mettre en œuvre un protocole expérimental, - utiliser le matériel choisi ou mis à sa disposition, - manipuler avec assurance dans le respect des règles élémentaires de sécurité. 	B.2 C.1 C.2	
	Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter et interpréter des observations, des mesures, - vérifier les résultats obtenus, - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi ... 	A.2 D.1	
				/ 7
Compte Rendu écrit et oral	Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - rendre compte d'observations et des résultats des travaux réalisés, - présenter, formuler une conclusion, expliquer, représenter, argumenter, commenter. 	A.1 A.2 B.1 C.1 D.2	
				/ 3
TOTAL				/ 10

Annexe 9 : Niveau sonore, version « Épreuve expérimentale de baccalauréat professionnel » - Sessions 1998 à 2011

SUJET (extraits)

Buts des manipulations

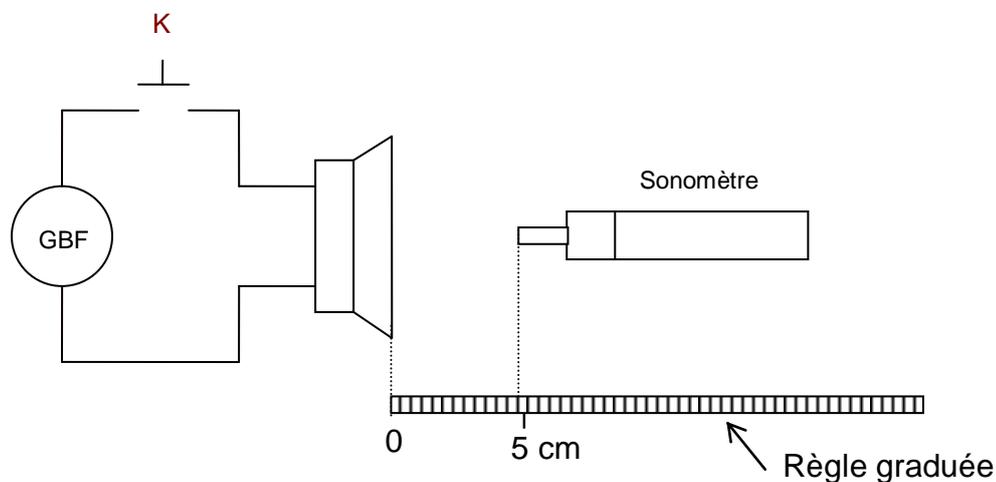
Montrer que lorsque l'on double la distance source-récepteur, le niveau d'intensité acoustique diminue de 6 dB.

Travail à réaliser

(...)

3 – Étude de la propagation d'un son à l'aide du sonomètre

Réaliser le montage expérimental ci-dessous :



Remplacer le microphone par un sonomètre (le réglage du générateur de fonctions reste identique).

Le sonomètre est placé à 5 cm devant le haut-parleur et dans l'axe de celui-ci.

Éloigner le sonomètre, toujours dans l'axe du haut-parleur et noter, dans le tableau suivant, les niveaux sonores lus sur l'appareil lorsque le sonomètre est situé 5 cm, 10 cm puis 20 cm.

Distances entre le haut-parleur et le sonomètre (en cm)	5	10	20
Niveaux sonores (en dB arrondi à l'unité près)	$L_1 =$	$L_2 =$	$L_3 =$



Appel n° 3
Réaliser une mesure devant l'examineur.

(...)

Montrer, à l'aide des résultats du tableau, que lorsque l'on double la distance entre la source et le récepteur, le niveau d'intensité acoustique diminue de 6 dB.

Annexe 10 : Niveau sonore, version « Contrôle en cours de formation » - Diplôme intermédiaire

BEP – Classe de 2^{nde} professionnelle

I - SUJET

HS3-CME3 – Faut-il se protéger des sons ?

Présentation de la situation

Dans un atelier, une nouvelle machine a été mise en place.

Afin de protéger l'ensemble du personnel des nuisances sonores occasionnées par cette machine en fonctionnement, le chef d'entreprise désire matérialiser à la peinture, sur le sol, la zone de l'atelier, à l'intérieur de laquelle, le port de protections auditives est obligatoire.

À une distance d'un mètre de la machine en fonctionnement, le niveau d'intensité acoustique mesuré est de 92 décibels (dB).

L'affiche ci-contre est accrochée sur le mur de l'atelier.



Problématique

A quelle distance de cette machine le port de protections auditives est-il indispensable ?

Travail à réaliser

Partie A *Compréhension et analyse de la situation*

A.1 Indiquer, en vous référant à la présentation de la situation, le niveau d'intensité acoustique à partir duquel on doit pouvoir se protéger du bruit émis.

.....

A.2 Les informations disponibles justifient-elles une étude préalable ? Pour quelles raisons ?

.....

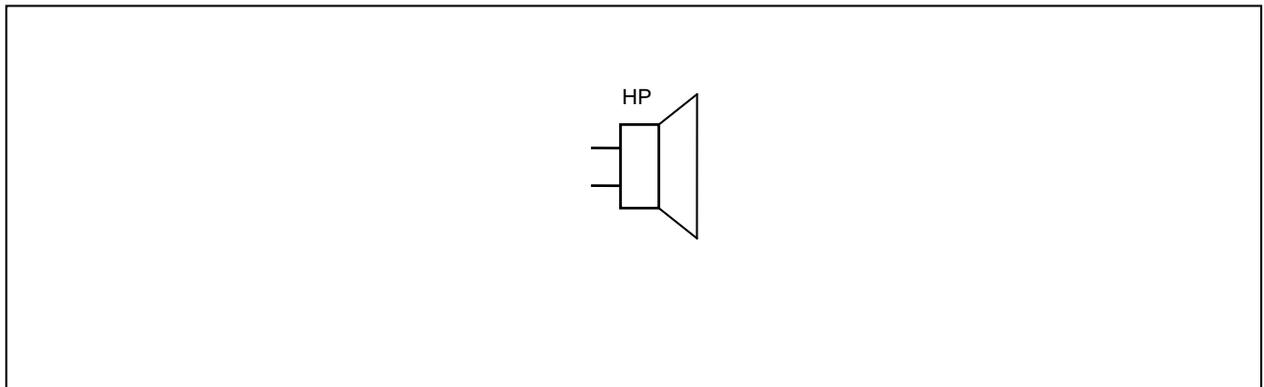
Partie B *Expérimentation – Modélisation de la situation*

On modélise la situation à l'aide d'un haut-parleur qui émet un son sinusoïdal de fréquence $f = 600\text{Hz}$. On règle le niveau d'intensité acoustique à 92dB à 10 cm du haut-parleur.

B.1 Cocher dans la liste suivante le matériel nécessaire à cette modélisation puis représenter le schéma de l'expérience.

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1 GBF | <input type="checkbox"/> 1 règle graduée d'un mètre |
| <input type="checkbox"/> 1 générateur de tension continu | <input type="checkbox"/> 1 oscilloscope |
| <input type="checkbox"/> 1 haut-parleur | <input type="checkbox"/> 1 sonomètre |
| <input type="checkbox"/> Câbles de connexion | <input type="checkbox"/> 1 bouton poussoir |
| <input type="checkbox"/> 1 bouton poussoir | <input type="checkbox"/> 1 microphone |
| <input type="checkbox"/> 2 multimètres | <input type="checkbox"/> 1 diapason |

Schématisation



B.2 Réaliser le montage : attendre l'autorisation du professeur avant la mise sous tension.



Appel N°1

Présenter et justifier oralement les réponses aux questions A.1, A.2 et B.1. Effectuer les réglages du dispositif devant le professeur.

Partie C *Expérimentation – Étude de la situation*

Lors de l'installation de la machine, deux avis divergent quant à l'évolution du niveau d'intensité acoustique en fonction de la distance :

- Le chef d'atelier affirme que le niveau d'intensité acoustique est divisé par deux lorsque la distance double.
- Un agent de maintenance, lui, est certain que le niveau d'intensité acoustique diminue de 6dB lorsque la distance double.

C.1 A l'aide du montage précédent, effectuer une série de mesures permettant de vérifier l'affirmation correcte.

Tableau de mesures

Distance en m	0,1	
Niveau d'intensité acoustique en dB	92	

C.2 A partir des résultats expérimentaux, indiquer et justifier l'affirmation qui vous paraît correcte (celle du chef d'atelier ou celle de l'agent de maintenance).

.....

.....



Appel N°2

Faire vérifier le tableau de mesures.

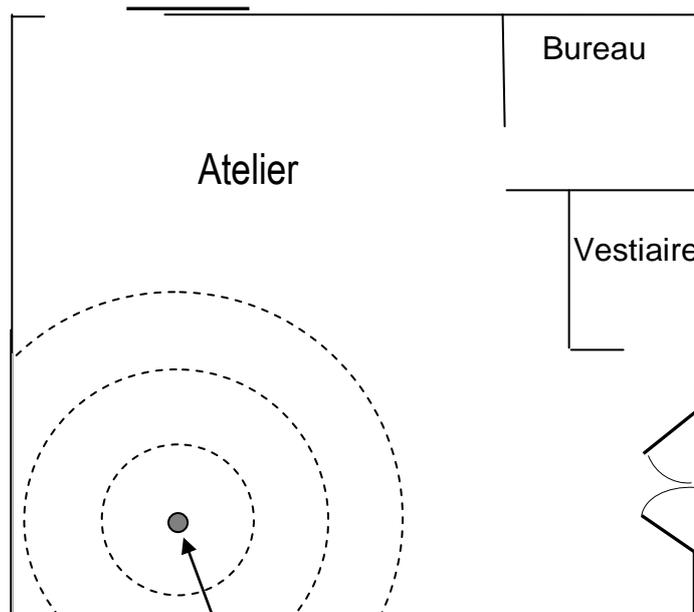
Justifier oralement la réponse à la question C.2.

Partie D *Exploitation et conclusion*

La nouvelle machine mise en place dans l'atelier émet un bruit dont le niveau d'intensité acoustique mesuré à une distance de 1 mètre est de 92dB.

En tenant compte des affirmations précédentes, hachurer sur la figure ci-dessous, la zone dans laquelle les employés doivent se protéger.

Échelle : 1/200 (1 cm sur le plan représente 2 m)



Emplacement de la nouvelle machine

II - GRILLE D'ÉVALUATION

1 - Liste des capacités, connaissances et attitudes évaluées

Capacités	<ul style="list-style-type: none"> - produire un son de fréquence donnée à l'aide d'un GBF et d'un haut-parleur - mesurer un niveau d'intensité acoustique à l'aide d'un sonomètre - vérifier la décroissance de l'intensité acoustique en fonction de la distance
Connaissances	<ul style="list-style-type: none"> - savoir qu'un son se caractérise par une fréquence exprimée en Hz et un niveau d'intensité acoustique exprimé en décibel. - savoir qu'il existe un seuil de dangerosité
Attitudes	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">- sens de l'observation <li style="width: 50%;">- rigueur et précision <li style="width: 50%;">- respect des règles élémentaires de sécurité <li style="width: 50%;">- esprit critique

2 - Évaluation par compétences

	Compétences	Aptitudes à vérifier	Questions	Appréciation du niveau d'acquisition
Activité expérimentale	S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information utile, - comprendre la problématique du travail à réaliser, - montrer qu'il connaît le vocabulaire, les symboles, les grandeurs, les unités mises en œuvre. 	A.1 A.2 B.1	
	Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - analyser la situation avant de réaliser une expérience, - formuler une hypothèse, - proposer une modélisation, - choisir un protocole ou le matériel / dispositif expérimental. 	A.2 B.1 C.1	
	Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - organiser son poste de travail, - mettre en œuvre un protocole expérimental, - utiliser le matériel choisi ou mis à sa disposition, - manipuler avec assurance dans le respect des règles élémentaires de sécurité. 	B.2 C.1	
	Valider	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter et interpréter des observations, des mesures, - vérifier les résultats obtenus, - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi ... 	C.2 D	
				/ 7
Compte Rendu écrit et oral	Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - rendre compte d'observations et des résultats des travaux réalisés, - présenter, formuler une conclusion, expliquer, représenter, argumenter, commenter. 	A.1 - A.2 B.1 C.1 D	
				/ 3
TOTAL				/ 10

Annexe 11 : Activités expérimentales produites, du collège au post-bac

1. Collège

Productions GRIESP :

<https://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/spip.php?article260>

Productions groupe national DGESCO-IGEN :

<http://eduscol.education.fr/cid52432/outils-pour-l-evaluation-des-competences.html#competence3>

2. Lycée général et technologique

Productions GRIESP

En classe de seconde :

<http://spc.ac-amiens.fr/376-quelques-exemples-de-tp-de-chimie-2nde.html>

- Mesure de la concentration du diiode dans la bétadine
- La curcumine 2de
- Comment vérifier la définition d'un écran plat ? (*enseignement d'exploration sciences et laboratoire*)

En classe de première S:

<http://spc.ac-amiens.fr/470-quelques-exemples-de-tp-de-chimie-1es.html>

- La curcumine 1S
- L'optique : « mon œil ! » (utilisable en 1ere ES et L)
- Étude énergétique d'une chute

3. Lycée professionnel

<http://spc.ac-amiens.fr/377-lycee-professionnel.html>

Un exemple de type BEP pour des élèves de 2^{nde} professionnelle

- HS2 - Les liquides d'usage courant : que contiennent-ils et quels risques peuvent-ils présenter ? – Utilisation d'une carafe filtrante

Deux exemples de type baccalauréat professionnel pour des élèves de cycle terminal (1^{ère} et terminale) :

- CME5 - Pourquoi adoucir l'eau ? - Installation d'un chauffe-eau solaire
- T7 - Comment avoir une bonne tenue de route ? - Pré-visite avant contrôle technique

Un exemple de sujet d'épreuve ponctuelle (candidats individuels ou d'établissement non habilités au CCF) :

- Comment fonctionnaient les fontaines de Versailles ?

4. Post bac

Productions GRIESP

<http://spc.ac-amiens.fr/378-sts-et-cpge.html>

- **Étude comparative de disques optiques MP, PC, PSI, PT, TSI** (2 heures) Activité expérimentale formative s'appuyant sur la résolution d'un problème ouvert
- **Diffraction par un réseau MP, PC, PSI, PT, TSI** (2 heures) Activité expérimentale évaluative
- **Filtrage d'un signal à deux composantes spectrales MP, PC, PSI, PT, TSI** (2 heures) Activité expérimentale formative à caractère diagnostique s'appuyant sur des situations ouvertes
- **Photodiodes et application MP, PC, PSI, PT, TSI** (2 heures) Activité expérimentale évaluative s'appuyant sur des situations ouvertes
- **Étude d'un haut-parleur PC, PSI** (4 heures) Activité expérimentale évaluative s'appuyant sur des situations ouvertes
- **Détecteur à boucle inductive PCSI, MP, PC, PSI, PT, TSI** (2 ou 3 heures) Activité expérimentale évaluative s'appuyant sur des situations ouvertes
- **Le billard d'ANAÏS MP, PC, PT, TSI** (entre 2 et 3 heures) « Devoir en temps libre » utilisant une expérience de cours.
- **Titrage d'un comprimé de vitamine C PCSI, PC et BTS** (4 heures) Tâche complexe, évaluation formative
- « **Apprendre avant de faire ou ... apprendre en faisant...** » ; **un exemple de démarche ouverte sur la spectroscopie infrarouge** PC4 heures Problème ouvert, évaluation formative

Annexe 12 : Mesures et incertitudes en sciences physiques et chimiques

1. La mesure : vocabulaire et notations

1.1 Définitions

- La grandeur que l'on veut mesurer est appelée le **mesurande**.
- On appelle **mesurage** (mesure) l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. Quand on mesure la valeur de la résistance R d'un dipôle passif linéaire, le mesurande est la résistance R de ce dipôle et le mesurage est effectué, par exemple, avec un ohmmètre.
- La **valeur vraie** (M_{vrai}) du mesurande est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait, cette valeur est toujours inconnue.
- Le **résultat du mesurage** (résultat de mesure) est un ensemble de valeurs attribuées à un mesurande complété par toute information pertinente disponible. Une expression complète du résultat du mesurage comprend des informations sur l'incertitude de mesure qui permet d'indiquer quel est l'intervalle des valeurs probables du mesurande. En métrologie, on appelle souvent **m la mesure** de la valeur de la grandeur (un nombre), et **M le résultat de la mesure**, c'est à dire l'expression complète du résultat (un intervalle de valeurs).
- Un mesurage n'étant jamais parfait, il y a toujours une **erreur de mesure** $E_R = (m - M_{\text{vrai}})$. **L'erreur de mesure** est la différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence. Si la valeur de référence est la valeur vraie du mesurande, l'erreur est inconnue.

Remarque : Le mot « mesure » a, dans la langue française courante, plusieurs significations. C'est la raison pour laquelle le mot « mesurage » a été introduit pour qualifier l'action de mesurer. Le mot « mesure » intervient cependant à de nombreuses reprises pour former des termes, suivant en cela l'usage courant et sans ambiguïté. On peut citer, par exemple : instrument de mesure, appareil de mesure, unité de mesure, méthode de mesure.

1.2 Notion d'erreur aléatoire.

Les **conditions de répétabilité** sont remplies lorsque le même opérateur ou le même programme effectue N mesures exactement dans les mêmes conditions.

Si on effectue N mesures dans des conditions de répétabilité, le meilleur estimateur de la valeur du mesurande est la valeur moyenne \bar{m} des N mesures. Mais une mesure m_i parmi les N est en général différente de \bar{m} . La différence $E_{Ra} = m_i - \bar{m}$ est appelée **erreur aléatoire**.

Lors de chaque mesure, l'erreur aléatoire peut prendre n'importe quelle valeur entre $(m_{\text{max}} - \bar{m})$ et $(m_{\text{min}} - \bar{m})$. En toute rigueur, l'erreur aléatoire est le résultat d'un mesurage moins la moyenne d'un nombre infini de mesurages du même mesurande,

effectués dans les conditions de répétabilité. Comme l'on ne peut faire qu'un nombre fini de mesures, il est seulement possible de déterminer une estimation de l'erreur aléatoire.

1.3 La notion d'erreur systématique.

Par définition, **l'erreur systématique** est $E_{RS} = (\bar{m} - M_{\text{vrai}})$.

En toute rigueur, \bar{m} est la moyenne qui résulterait d'un nombre infini de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité.

La valeur vraie (M_{vrai}) du mesurande est toujours inconnue et il est impossible de réaliser une infinité de mesures : l'erreur systématique E_{RS} ne peut pas être connue complètement. Il est seulement possible de déterminer une estimation de l'erreur systématique.

Lors d'une mesure, l'erreur aléatoire peut prendre, au hasard, n'importe quelle valeur sur un certain intervalle. Par contre, l'erreur systématique prend la même valeur (inconnue) lors de chaque mesure.

1.4 Fidélité et justesse

Si l'on reprend les définitions et les notations précédentes, on obtient :

$$E_R = m - M_{\text{vrai}} = (m - \bar{m}) + (\bar{m} - M_{\text{vrai}}) = E_{Ra} + E_{RS}.$$

Une erreur de mesure E_R a donc, en général, deux composantes : une erreur aléatoire E_{Ra} et une erreur systématique E_{RS} . L'estimation de l'erreur systématique est appelée **biais de mesure** ou **erreur de justesse**.

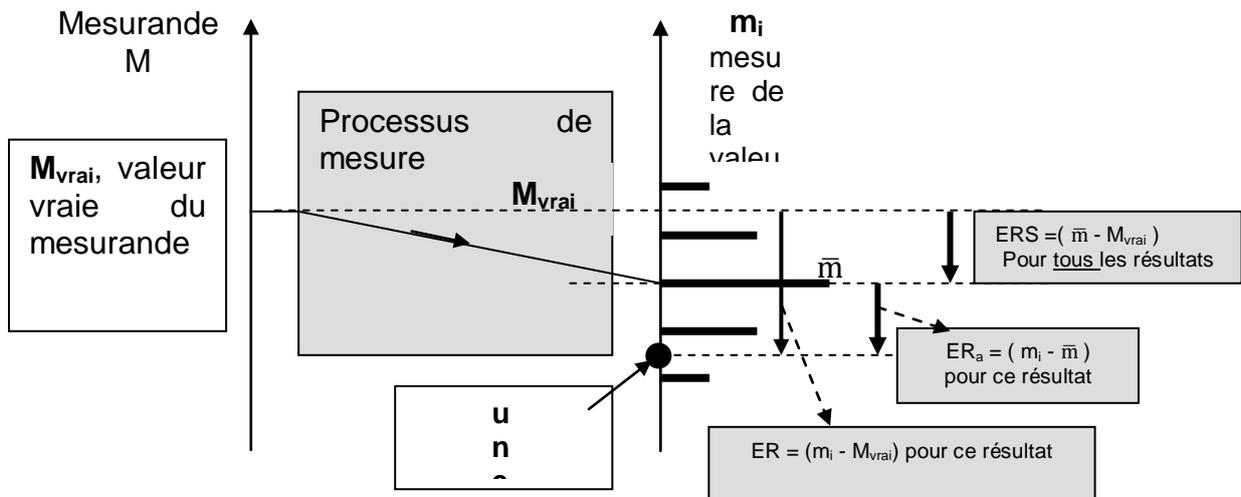
La **fidélité** d'un instrument de mesure est son aptitude à donner des indications très voisines lors de l'application répétée du même mesurande dans les mêmes conditions.

La **justesse** d'un instrument de mesure est son aptitude à donner des indications exemptes d'erreur systématique.

1.5 Grandeur d'influence.

C'est une grandeur qui n'est pas le mesurande mais qui a un effet sur le résultat du mesurage.

1.6 Schéma récapitulatif



Si l'on écrit que $M_{\text{vrai}} = m_i - E_R$, on tente d'obtenir la valeur de la grandeur d'entrée à partir de la valeur m obtenue à la sortie. La valeur de l'erreur E_R étant toujours inconnue, il est impossible d'obtenir la valeur M_{vrai} recherchée. Le concept d'incertitude de mesure permet d'apporter une réponse à la question « Quelle est la valeur de M_{vrai} ? ».

1.7 Notion d'incertitude de mesure

- **L'incertitude de mesure ΔM** est un paramètre, associé au résultat du mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande.
- Ce paramètre peut être, par exemple, la demi-largeur d'un intervalle de niveau de confiance déterminé.
- Le résultat d'une mesure n'est jamais une valeur : il est toujours donné sous la forme d'un intervalle des valeurs probables du mesurande $\mathbf{M} = \mathbf{m} \pm \Delta \mathbf{M}$ associé à un niveau de confiance.
- L'évaluation des incertitudes par des méthodes statistiques est dite de **type A**. Quand la détermination statistique n'est pas possible, on dit que l'évaluation est de **type B**. C'est le cas d'une mesure unique m réalisée avec un appareil de classe connue.
- On appelle **incertitude-type** une incertitude de mesure exprimée sous la forme d'un écart-type
- Lorsque les sources de variabilité de la mesure sont multiples, on estime l'incertitude-type pour chacune d'entre elles et l'on fait un bilan global pour construire une **incertitude-type composée**, qui peut mélanger des évaluations de type A et de type B.

2 Estimation des incertitudes expérimentales et présentation du résultat

Le résultat d'une mesure n'est jamais une valeur : il sera donné sous la forme **d'un intervalle des valeurs probables** du mesurande $M = m \pm \Delta M$ associé à **un niveau de confiance**.

Une part importante du travail expérimental réside donc dans l'estimation de ΔM dit intervalle de confiance associé à un niveau de confiance donné.

Lorsque les incertitudes sont évaluées par des méthodes statistiques, l'évaluation est dite **de type A**.

Quand la détermination statistique n'est pas possible, on dit que **l'évaluation est de type B**.

Lorsque les sources de variabilité de la mesure sont multiples, on estime l'incertitude-type pour chacune d'entre elles et l'on fait un bilan global pour construire une **incertitude-type composée**, qui peut mélanger des évaluations de type A et de type B.

2.1 Évaluation de type A de l'incertitude-type.

L'évaluation de type A de l'incertitude-type est réalisée par l'analyse statistique de séries d'observations (GUM). Si on suppose les n observations m_k indépendantes :

- La meilleure estimation du résultat de la mesure est donnée par la **moyenne**

arithmétique : $m = \bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n m_k$.

- **L'écart-type expérimental** a pour expression $s_{\text{exp}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (m_k - \bar{m})^2}$.
- **L'incertitude-type** est définie comme étant l'écart-type sur la valeur moyenne. Le meilleur estimateur de cet écart-type est $s = \sqrt{\frac{1}{n}} s_{\text{exp}}$.

La détermination de cette incertitude est elle-même entachée d'une ... incertitude.

On démontre que, en valeur relative, cette incertitude a pour expression $\sqrt{\frac{1}{2(n-1)}}$.

Pour 50 mesures, on obtient une incertitude de 10%.

2.2 Évaluation de type B de l'incertitude-type.

L'évaluation de type B est effectuée par des moyens autres que l'analyse statistique de série d'observations.

Pour une estimation d'une grandeur d'entrée qui n'a pas été obtenue à partir d'observations répétées, l'incertitude-type est évaluée par un jugement scientifique fondé sur toutes les informations disponibles au sujet de la variabilité possible de la grandeur d'entrée (GUM). L'ensemble d'informations accumulées peut comprendre :

- des mesures antérieures ;

- l'expérience ou la connaissance générale du comportement et des propriétés des matériaux et des instruments utilisés ;
- les spécifications du fabricant ;
- les données fournies par les certificats d'étalonnages ou autres certificats ;
- l'incertitude assignée à des valeurs de référence provenant d'ouvrage ou de manuel.

Différents cas peuvent se présenter :

- Le constructeur fournit l'incertitude-type (cas très rare). Dans ce cas, on utilise directement son incertitude.
- Pour un appareil de mesure analogique (appareil à cadran, lecture d'un réglet...), l'incertitude de lecture est estimée à partir de la valeur d'une graduation. On peut montrer que :

$$s_{\text{lecture}} = 1 \text{ graduation} / \sqrt{12}$$

- Le constructeur fournit une indication de type Δ_c sans autre information. Dans ce cas, on prendra pour incertitude-type: $s = \Delta_c / \sqrt{3}$ (on considère que l'indication donnée par le constructeur correspond à une distribution rectangulaire de largeur $2 \Delta_c$; à partir de cette hypothèse, on peut trouver que $s = \Delta_c / \sqrt{3}$).
- Considérons un banc optique sur lequel sont installés un objet lumineux, un écran, et une lentille convergente. La position de chaque élément est repérée par un index sur un réglet. Les positions de l'objet et de l'écran sont fixées et l'on recherche la position x de la lentille qui donne une image nette de l'objet sur l'écran. On constate qu'il y a toute une classe de positions qui correspondent à cette condition et que $x_{\min} < x < x_{\max}$. La valeur vraie x_{vrai} appartient à cet intervalle et elle est inconnue. Si l'on fait une mise au point « au hasard » toutes ces positions ont la même probabilité. Dans tous les cas il y a une erreur de mise au point $E_{\text{Rmap}} = x - x_{\text{vrai}}$. Pour exprimer l'ensemble de ces résultats, on retient la valeur médiane de l'intervalle précédent, $x = (x_{\max} + x_{\min})/2$ comme mesure de x . On associe ensuite à l'erreur E_{Rmap} une variable aléatoire ε_{map} de distribution rectangulaire et de demi-largeur $a = (x_{\max} - x_{\min})/2$. On peut alors écrire que $x = x_{\text{vrai}} + \varepsilon_{\text{map}}$ ou que $x_{\text{vrai}} = x - \varepsilon_{\text{map}}$, ce qui signifie que la valeur recherchée, x_{vrai} , peut avoir, avec la même probabilité, n'importe quelle valeur sur l'intervalle $[x_{\min} ; x_{\max}]$. L'incertitude-type sera alors $s = a / \sqrt{3}$.
- Si le constructeur ne fournit rien, il faut procéder à l'évaluation expérimentale de l'appareil.

Exemple

Les quatre anneaux de couleur caractérisant la résistance sont Brun, Noir, Noir, Or. La résistance est donc égale à $R = 10 \Omega \pm 5\%$. L'incertitude type associée est égale à :

$$s = \frac{10 \times \frac{5}{100}}{\sqrt{3}} = 0,29 \Omega.$$

Exemple

Thermomètre : « Range -200 to +700°C, Temperature resolution below 700 °C : 0,01°C. »

On considère que l'indication constructeur est l'incertitude maximale liée à la résolution. L'incertitude due à la résolution associée à une mesure de 18,545 °C est :
 $s = 0,01/\sqrt{3} = 0,0056 \text{ °C}$

Exemple

Boîte à décades : « Range : 1 Ω to 1,11 M Ω , number of decades : 5, full scale accuracy 0,1 %.»

On considère que l'indication du constructeur est l'incertitude maximale. L'incertitude de type B associée à une boîte réglée sur 10 k Ω est :

$$s = 10\,000 \cdot 0,1/100 \cdot 1/\sqrt{3} = 5,8 \Omega.$$

Exemple

On cherche à mesurer une tension de 0,9 V à l'aide d'un voltmètre de classe 2, réglé sur le calibre 100 V. Le résultat lu est 3 V et reste constant. Le calibre est-il bien choisi ?

Voltmètre de classe 2 sur calibre 100V induit une erreur absolue de $2/100 \times 100 = 2$ V.

L'incertitude type est alors $s = 2 / \sqrt{3} = 1,1$ V

Sur la mesure d'une tension de 3 V, l'incertitude relative est alors de $1,1 / 3 = 38 \%$.

Le calibre est mal choisi car la sensibilité du voltmètre n'est pas suffisante pour mesurer 0,9 V.

2.3 Incertitude-type composée

C'est l'incertitude-type d'un mesurage lorsque le résultat y est obtenu à partir des valeurs x_k d'autres grandeurs : $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Si toutes les grandeurs sont indépendantes : $s_y = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_k} s_k \right)^2}$ où s_k est l'incertitude-

type de chacune des grandeurs x_k .

Exemples : dans le cas où $y = x_1 + x_2$, $s_y^2 = s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2$.

2.4 Incertitude-type élargie et intervalle de confiance

L'incertitude-type élargie (qui constituera l'incertitude de la mesure ΔM) est une grandeur définissant un intervalle, autour du résultat du mesurage dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution de valeurs pouvant être attribuées au mesurande (GUM). Elle est associée à un niveau de confiance.

Elle s'exprime sous la forme $\Delta M = k \cdot s$ où s est l'incertitude-type et k le facteur d'élargissement.

Dans la majorité des cas, on conduit une estimation de type B et la forme de la loi de distribution est souvent assimilée à une gaussienne. On peut montrer que le coefficient à retenir pour un niveau de confiance de 95 % est alors $k = 2$.

2.5 Écriture des résultats de mesure

L'écriture du résultat du mesurage doit intégrer l'incertitude, le niveau de confiance et s'écrire avec les unités appropriées :

$M = m \pm \Delta M$, unité, niveau de confiance

La **précision** sur le résultat du mesurage sera caractérisée par $\frac{\Delta M}{m}$. Cette précision est souvent exprimée en %. Plus le résultat est petit, plus le mesurage est précis.

La dernière étape consiste à déterminer le nombre de chiffres significatifs de m et de ΔM .

Pour l'incertitude, comme indiqué dans le paragraphe 0, obtenir une précision plus petite que 10% correspond à des conditions de mesure très contraignantes et coûteuses. Dans la très grande majorité des cas, **il faut donc limiter le nombre de chiffres significatifs de l'incertitude à un seul chiffre significatif.**

Pour l'estimation de la grandeur mesurée, on prendra comme dernier chiffre significatif, celui de même position (au sens numération) que celui de l'incertitude.

Exemple

On mesure $r = 100,251389 \Omega$ avec une incertitude $\Delta M = 0,812349 \Omega$. On écrit alors le résultat sous la forme $R = (100,3 \pm 0,8) \Omega$.

Éléments de bibliographie et de sitographie

Former et évaluer par compétences

Ruffenach, M. & Courtillot, D. : *Enseigner les sciences physiques : l'enseignement par compétences*, Bordas, 2009

Gérard, F. M. : *Évaluer des compétences, guide pratique*. Bruxelles, édition De Boeck, 2008

Scallon, G. (2004) *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences*, Saint-Laurent (Montréal), Éditions du renouveau pédagogique. Site de G. Scallon : <http://www.fse.ulaval.ca/Gerard.Scallon/>

Houchot, A. et al. : *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis*. Rapport de l'inspection générale, n° 2007-048
<http://media.education.gouv.fr/file/50/0/6500.pdf>

Bardi A. N. et al. : *Les acquis des élèves, pierre de touche de la valeur de l'école ?* Rapport de l'inspection générale, n° 2005-079
ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/syst/igen/acquis_des_eleves.pdf

Rey, O. : *De la transmission des savoirs à l'approche par compétences*, dans *Dossier d'actualité*, n° 34, 2008
http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/34_avril2008.htm

Endrizzi, L. & Meunier, O. : *Standards, compétences de base et socle commun* dans *Lettre d'information de la Veille Scientifique et Technologique*, n° 10, 2005.
http://www.inrp.fr/vst/Dossiers/Standards/Dossier_Standards.pdf

Hiribarren, A. & Guédé, V. : *Travailler par compétences* dans *Les cahiers pédagogiques*, n° 476, 2009.
http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?page=numero&id_article=6480

GRIESP. « Socle de connaissances et de compétences en Physique-Chimie. Banque de situations », 2010
<https://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/spip.php?article260>

Démarche et activités expérimentales

Aster n°28, *L'expérimental dans la classe*, 1999

Gérard de Vecchi, *Enseigner l'expérimental en classe, pour une véritable éducation scientifique*, Hachette Éducation

Toussaint, *Didactique appliquée de la physique-chimie*, NATHAN pédagogie, 1996

Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie philosophique J Vrin

Approche par compétences en chimie post-bac

« Évaluer les activités expérimentales... », Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Julien Calafell, Nicolas Cheymol, Anne Szymczak et Michel Vigneron, dans *L'Actualité chimique*, avril 2010, n° 344, p. 15-20

« Sensibiliser les élèves à la démarche scientifique : le cas de la cinétique chimique », Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Hélène Carrié, Nicolas Cheymol et Michel Vigneron, dans *L'Actualité chimique*, avril 2010, n° 340, p. 33-34

« Investigation et analyse chimique : un TP-défi d'analyse qualitative et quantitative... sans aucune solution préparée ! », par Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Nicolas Cheymol, Vincent Mas et Michel Vigneron, dans *L'Actualité chimique*, août-janvier 2010, n° 337, p. 45-50

« Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation » par Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Nicolas Cheymol, Vincent Mas et Michel Vigneron, dans *L'Actualité chimique*, août-septembre 2009, n° 333, p. 42-47
Publié également dans Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie, 101, oct. 2009.

« La démarche d'investigation pour motiver les élèves. Exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge », par Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Nicolas Cheymol, Vincent Mas et Michel Vigneron, dans *L'Actualité chimique*, octobre 2009, n° 334, p. 41-47
Publié également dans Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie, 103, déc. 2009, p. 1-23.

Expérimenter en chimie post-bac, de l'enquête à la réalisation ; Xavier Bataille , Erwan Beauvineau , Nicolas Cheymol , Vincent Mas ; Ellipses 2010