






NOUVEAUX PROGRAMMES DE LYCÉE

CONDUCTEUR DE LA JOURNÉE DE FORMATION DU 24 MAI 2013

-  **L'ACCOMPAGNEMENT PERSONNALISÉ**
-  **L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES À L'ÉCRIT**
-  **LE TRAITEMENT DES MESURES ET LES INCERTITUDES**

**Alain GOURSAUD, Nicolas MONTLIVET, Mélanie PERRIN
IA-IPR de Sciences Physiques
Florence TROUILLET
Chargée de Mission**

L'ACCOMPAGNEMENT PERSONNALISÉ

Quelques rappels :

L'accompagnement personnalisé concerne tous les élèves pour une durée de deux heures hebdomadaires. Présenté lors de la mise en œuvre de la Réforme du Lycée, il comporte quatre déclinaisons :

- le soutien ;
- l'approfondissement ;
- l'aide méthodologique ;
- l'aide à l'orientation.

Des préconisations qui évoluent de la classe de Seconde à la Terminale :

En classe de Seconde :

Il est nécessaire de veiller à ce que tous les élèves maîtrisent les compétences transversales de base qui sont nécessaires à la réussite, quelle que soit la voie de formation choisie. Pour ce faire, le collège des IPR de l'académie d'Orléans-Tours a identifié, en 2010-2011, sept compétences qui méritent d'être travaillées dans le cadre de la déclinaison « aide méthodologique » ; ce sont :

- Comprendre le travail attendu ;
- Lire un document ;
- S'exprimer et communiquer (par écrit et oralement) ;
- Prendre des notes ;
- Analyser et traiter une question ;
- Argumenter ;
- Effectuer une recherche documentaire.

Des groupes ressources ont élaboré des activités permettant de travailler ces compétences tout en mettant en œuvre une approche différenciée rendue nécessaire par l'hétérogénéité des élèves au sein d'une même classe. Il s'agit de faire progresser les élèves les plus fragiles en évitant qu'ils ne décrochent rapidement face à des activités trop difficiles, sans oublier de faire progresser les élèves plus à l'aise. Les activités élaborées sont ainsi déclinées sur trois niveaux de maîtrise.

Le groupe ressource académique « Approche par compétences en Sciences Physiques » a construit cinq exemples d'activités permettant de travailler les compétences C2, C3, C5, C6 et C7. Elles sont présentées sur le site académique : http://physique.ac-orleans-tours.fr/accompagnement_personnalise/seconde/

➤ Activité présentée : C6 (argumenter)

Cette activité a été élaborée par Philippe CHEVALLIER et Cédric BERGERAS du lycée Rotrou à Dreux. Elle est prévue pour une séance d'une heure, en binôme.

Dans chaque binôme, un élève dispose d'une fiche présentant des informations sur les colorants naturels et il doit construire une argumentation pour en justifier l'utilisation ; l'autre élève dispose d'une fiche différente, comportant des informations sur les colorants synthétiques, et doit en défendre l'utilisation.

- L'activité préliminaire « Pourquoi argumenter » permet de faire comprendre que l'argumentation ne se limite pas au cadre scolaire (activité en autoévaluation suivie d'une discussion au sein du groupe classe).
- Le niveau 1 de l'activité consiste à repérer les arguments dans un texte publicitaire autour de bonbons.
- Le niveau 2 consiste à produire une argumentation en repérant les arguments clés, en intégrant chaque argument dans une phrase avec la contrainte d'utiliser un connecteur logique et en organisant ces phrases dans un paragraphe.

- Le niveau 3 met en scène le binôme. Chaque élève disposant d'une fiche présentant des informations sur un colorant (l'un est synthétique, l'autre naturel) se doit d'en exploiter les informations (inconnues de l'autre élève), pour convaincre ce dernier. Après un temps d'écoute, on échange les fiches pour y trouver des contre-arguments. L'objectif est de montrer que pour convaincre et persuader une personne, il faut d'abord écouter ses arguments puis rechercher les informations permettant de construire une contre-argumentation adaptée.

En classe de Première S :

Les IPR, tout comme l'Inspection Générale consultée à ce propos, estiment qu'une partie conséquente de l'horaire dédié à l'accompagnement personnalisé doit être consacrée à travailler les compétences de la démarche scientifique (comme la modélisation ou la notion d'incertitude par exemple). Cela implique en particulier que certaines de ces séances puissent avoir lieu dans une salle spécialisée.

Nous ne sommes plus ici dans la logique de l'AP de seconde qui participe de l'acquisition de compétences transversales mais dans une perspective d'acquisition de compétences en lien avec les compétences spécifiques de la filière S (tout comme en Terminale où les textes officiels précisent que l'AP doit prendre appui sur les enseignements spécifiques et sur les enseignements constituant les dominantes disciplinaires des séries concernées).

Il apparaît également que le choix des élèves quant à leur orientation dans les études supérieures doit être éclairé avant d'entrer en Terminale ; le programme indique ainsi, dans le module « Créer et innover » du thème AGIR, que l'élève doit être amené à « recueillir et exploiter des informations sur ... des métiers ou des formations scientifiques et techniques ». (BO du 30 septembre 2010.) Cette composante pourrait avoir sa place au cours de l'AP du troisième trimestre de l'année de Première S.

Le groupe ressource académique « Approche par compétences en Sciences Physiques » a élaboré quatre activités mettant en œuvre les compétences de la démarche scientifique ; elles sont présentées sur le site académique : http://physique.ac-orleans-tours.fr/accompagnement_personnalise/premiere/

➤ Activité présentée : Choisir et utiliser un modèle adapté (1^{ère} S)

Cette activité a été élaborée par Pascal JAURY du lycée Zola à Châteaudun. Elle est prévue pour une séance d'une heure en individuel et permet d'aborder la notion de modèle qui constitue l'un des thèmes du programme de 1^{ère} S (et de TS) ; cette activité pourrait donc être réalisée en lien avec le thème « Lois et modèles ». Elle peut également être traitée dans le cadre du programme de 1^{ère} STI2D.

On commence par présenter rapidement la notion de modèle (représentation simplifiée de la réalité qui repose sur des hypothèses et des approximations dont la validité doit être vérifiée expérimentalement) et sur les objectifs d'une modélisation (le scientifique établit/choisit un modèle adapté pour étudier des phénomènes plus ou moins complexes). Deux activités suivent alors ; elles mettent en scène deux élèves d'un binôme de TP qui sont en désaccord quant à l'exploitation des mesures effectuées.

- La première activité fait émerger progressivement la loi d'Ohm (modèle mathématique) : les élèves travaillent sur l'exploitation d'une série de mesures assez imprécises et sur la modélisation mathématique du comportement de la résistance.
- La seconde activité consiste à modéliser un chauffe-eau électrique (on présente d'abord le modèle « physique » puis on en modélise mathématiquement le comportement), à prendre conscience des limites du modèle proposé en le confrontant à la réalité de la mesure et à tenter de l'améliorer. On définit ici la notion de « modèle opérant » en montrant qu'il y a toujours des écarts entre la mesure et le modèle, écarts dont il faut juger l'acceptabilité pour le valider ou le faire évoluer.

En classe de Terminale S :

Une question se pose : doit-on privilégier le court terme (et proposer des activités permettant aux élèves de maîtriser les fondamentaux de la classe de Terminale et donc de se préparer aux épreuves de baccalauréat) ou le long terme (et proposer des activités qui prépareraient davantage aux études post-baccalauréat) ? A cette question, l'Inspection Générale de Sciences Physiques a répondu : « *la très grande majorité des élèves de Terminale S aura son baccalauréat ; il semble donc plus efficace de travailler dans l'optique d'une insertion réussie en post-bac. En particulier, il ne faudrait pas négliger la déclinaison « approfondissement » pour des élèves destinés à poursuivre leurs études dans des filières scientifiques supérieures ; à cet égard, la possibilité de faire intervenir un professeur de classe préparatoire en AP, faire travailler « la science » en anglais, sont des pistes à étudier. Il convient aussi de prendre en compte l'indispensable aide à l'orientation pour les études supérieures avec, par exemple, des interventions de scientifiques dans la classe, sans oublier toutes les occasions permettant de connecter science et société.* »

On pourra ainsi proposer des activités s'appuyant sur des points de programme pour lesquels la curiosité des élèves et l'intérêt d'un développement hors-programme justifieraient un approfondissement. Par exemple, en relativité restreinte, après avoir traité de la dilatation du temps (item au programme), on pourrait évoquer la contraction des longueurs (item hors programme) qui trouverait alors sa place en accompagnement personnalisé. L'exemple présenté ci-dessous est disponible sur le site académique à l'adresse : http://physique.ac-orleans-tours.fr/fr/accompagnement_personnalise/terminale/

➤ Activité présentée : la RMN

Cette activité autour de la RMN du proton propose trois niveaux d'approche (un niveau de base, un niveau confirmé et un niveau expert). L'élève pourra être orienté vers le niveau adapté à ses compétences (un élève peut ainsi très bien se passer de réaliser le niveau 1 et commencer directement par le niveau 2).

- Le niveau 1 correspond aux attentes du programme (relier les informations d'un spectre à une molécule) ; on travaille ici le domaine de compétences s'APPROPRIER.
- Le niveau 2 propose à l'élève de retrouver une molécule parmi quatre possibles en analysant le spectre. On est dans une activité demandant d'avantage de réflexion ; on ne se contente pas d'extraire les informations et d'appliquer les consignes vues en classe : cette activité permet de travailler le domaine ANALYSER.
- La dernière partie correspond bien un travail d'approfondissement puisque les élèves doivent retrouver une molécule à partir d'une formule brute et de spectres IR et RMN (question qui relève de l'enseignement supérieur). Cette partie permet de travailler le domaine de compétences VALIDER (ainsi que les domaines APP et ANA).

L'ÉVALUATION PAR COMPÉTENCES À L'ÉCRIT

Problématique

Nous avons reçu voilà quelques semaines déjà, un courriel de notre doyen *concernant l'évaluation par compétences d'un exercice d'analyse et de synthèse de documents scientifiques*. Nous n'avons pas voulu le diffuser en l'état car nous voulions prendre le temps de le commenter et de le justifier.

Il faut tout de suite dire qu'il n'est pas impossible que l'un des exercices du baccalauréat S de cette année soit assorti d'un corrigé et d'un barème s'inscrivant dans cette perspective, ce qui est somme toute, logique ; en effet, nous avons régulièrement affirmé que ce type d'exercice visait à évaluer si les élèves étaient capables d'effectuer une analyse, une synthèse, une résolution de problème, etc. en respectant les critères et les qualités associées à la démarche scientifique et que leur approche du problème, leur raisonnement, etc. étaient plus importants que le résultat lui-même. Et il est plus facile de relier cette évaluation en se référant à des compétences qu'à un barème chiffré comme on en a l'habitude. Notons que, dès l'an dernier, la première partie de l'épreuve anticipée de 1^oL/ES (dans laquelle *l'élève doit présenter une argumentation scientifique*) a été notée d'une façon très semblable à ce qui est ici proposé pour le baccalauréat S.

Une grille des compétences susceptibles d'être mobilisées ou évaluées lors des activités d'analyse et de synthèse de documents scientifiques peut ainsi être utilisée, dans le même esprit que les ECE (voir annexe).

Illustration : les fresques de Pompéi (voir Annexe)

L'exercice servant de point d'appui à cette correction est intitulé : les fresques de Pompéi. Il débute par un texte d'introduction (situation déclenchante) dans lequel on lit que ces fresques ont un aspect ciré. Suivent deux questions « préalables » visant à faire trouver aux élèves les produits susceptibles de donner l'aspect ciré aux fresques et les renseignements que l'on peut tirer du spectre IR.

Le cœur du travail est alors une synthèse de documents permettant, en 30 lignes, de répondre à la problématique : quel matériau peut donner l'aspect ciré (ou laqué) des fresques de Pompéi ?

Six documents sont à la disposition des élèves :

- Une description de la technique de la fresque dite « a fresco » ;
- L'effet de l'éruption du Vésuve sur les fresques ;
- Les caractéristiques de la cire d'abeille ;
- Une table de données pour la spectroscopie infrarouge ;
- Le spectre IR d'un échantillon de la fresque ;
- Les caractéristiques du calcin.

Qu'attend-on des élèves ?

1. Qu'ils répondent aux questions « préalables », c'est-à-dire qu'ils identifient les produits pouvant donner l'aspect ciré aux fresques : la cire d'abeille (doc 3) et le calcin (doc 6), puis qu'ils extraient du spectre IR des informations qui, compte tenu du tableau fourni en doc 4, seront : existence de liaisons N-H ou O-H (3300 cm^{-1}), de N-H ou C=C (1620), et de C=C aromatique (1450).
2. Qu'ils rédigent leur synthèse argumentée. Pour ce faire, il leur faut d'abord analyser les documents pour trouver le produit responsable de l'aspect ciré : le calcin ou la cire d'abeille. La cire d'abeille contenant principalement des esters (doc 3) et le spectre IR ne relevant pas de pic d'absorption entre 1700 et 1740 cm^{-1} , ce ne peut être elle ; ce premier point est confirmé par le fait que la cire aurait disparu des fresques pendant l'éruption en raison de la température (doc 2 et doc 3) et que d'autre part, les premières peintures à la cire sont postérieures aux fresques de Pompéi (doc 3 et introduction). Ce serait donc le calcin. Or, le doc 1 nous apprend que l'enduit utilisé pour les fresques contient de l'hydroxyde de calcium susceptible de diffuser vers la surface

de la fresque où il peut réagir avec l'air pour former ce calcin qui peut donc être produit. C'est une confirmation.

Comment évaluer cet exercice par une approche par compétences ?

Les élèves doivent commencer par **s'approprier** les documents mis à leur disposition (extraire les deux hypothèses et utiliser le spectre IR) ; ils doivent ensuite les **analyser** pour en tirer les informations utiles, faire des recoupements entre plusieurs d'entre eux (un élément d'analyse en faveur de l'hypothèse du calcin et trois éléments en défaveur de l'hypothèse de la cire d'abeille). Deux produits chimiques pouvant répondre *a priori* au phénomène observé, ils doivent les discriminer et pour cela **valider** une hypothèse et en infirmer une autre en cohérence avec les éléments d'analyse précédents. Enfin, l'exercice de synthèse est lui-même un travail dans lequel l'élève doit **communiquer** les résultats de son investigation (pas de paraphrase, connecteurs logiques correctement utilisés, vocabulaire adapté, rigoureux et scientifique).

Ainsi, ce sont 4 domaines de compétences de la grille associée à la démarche scientifique qui sont successivement mis en jeu et donc, évaluable.

La logique de l'évaluation telle que réalisée dans les ECE (avec 4 niveaux de maîtrise différents) est reprise ici selon les critères globaux suivants :

- niveau A : les indicateurs attendus sont (quasiment) tous présents ;
- niveau B : les indicateurs attendus sont partiellement présents ;
- niveau C : les indicateurs attendus sont très peu présents ;
- niveau D : les indicateurs attendus sont absents.

Il faut ensuite transformer le pavé des compétences en une note sur 5 (si l'exercice est noté sur 5). On pourrait utiliser une feuille Excel comme pour les ECE et arrondir à l'entier le plus proche ; mais ici, une autre approche est proposée : une lecture globale du pavé telle que :

- 4 fois la lettre D : 0
- Des C et des D : 1
- Que des C ou C en tant que niveau moyen : 2
- Un mélange de B, C et D : 3
- Des A et des B : 4
- Une majorité de A, le reste en B : 5.

Dans la correction, les indicateurs de réussite seront toujours listés de façon exhaustive.

Un exemple : La détermination de la teneur en ammoniac de l'eau de Calvi

(Cet exemple figure en page 10 à 12 du document « La résolution de problèmes » disponible sur le site EDUSCOL

(http://cache.media.eduscol.education.fr/file/SPC/50/8/Resolution_de_problemes_221508.pdf)

L'exercice débute par une courte introduction expliquant le lien entre la concentration des espèces chimiques dissoutes dans l'eau de mer et l'activité de l'écosystème. Il s'ensuit l'énoncé de la problématique : montrer que la teneur en ammoniac de l'eau de mer à Calvi a une valeur satisfaisante.

Pour cela, cinq documents sont à la disposition des élèves :

- Le document 1 est un texte présentant les différentes formes sous lesquelles on trouve l'élément azote dans l'eau de mer, l'équilibre existant entre les ions ammonium et les molécules d'ammoniac, ainsi que le seuil de toxicité de l'ammoniac pour les êtres vivants.
- Le document 2 décrit la réaction de Berthelot permettant de transformer la totalité des molécules d'ammonium et d'ammoniac en bleu d'indophénol, molécule colorée qui sera dosée par spectrophotométrie.
- Le document 3 donne la droite d'étalonnage $A = f(c)$ obtenue à partir de 6 solutions contenant des ions ammonium de concentrations différentes ayant été traités par la réaction de Berthelot, ainsi que l'équation de la droite obtenue par régression linéaire.

- Le document 4 donne le spectre d'absorption de l'échantillon d'eau de mer ayant subi la transformation de Berthelot.
- Le document 5 donne le diagramme de distribution du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$, le pK_A du couple, les masses molaires atomiques et le pH de l'eau de mer.

Qu'attend-on des élèves ?

- Qu'ils trouvent dans le document 1 que les ions ammonium sont acides et que l'équilibre acido-basique entraîne donc l'existence de sa forme basique NH_3 , qui elle, est toxique à partir de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$, soit $70 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.
- Qu'ils comprennent grâce au document 2 que la totalité des ions ammonium et des molécules d'ammoniac sont dosés par spectrophotométrie.
- Qu'ils déterminent, dans le document 4, que l'échantillon d'eau de mer a une absorbance de 0,13 à 625 nm
- Qu'ils en déduisent, d'après la droite d'étalonnage du document 3 et l'équation de la régression linéaire donnée, que cela correspond à une concentration de 21 ppm, soit $21 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.
- Qu'ils déterminent, d'après le document 5, que si l'eau de mer a un pH de 8,2, 10% des molécules du couple sont sous la forme d'ammoniac, ce qui donne une teneur en ammoniac de $2,1 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.
- Qu'ils en déduisent que l'eau de Calvi a donc une teneur en ammoniac satisfaisante, car inférieure à $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$.

Comment évaluer cet exercice par une approche par compétences ?

Les élèves doivent commencer par **s'approprier** les documents mis à leur disposition en extrayant les informations suivantes :

- les ions ammonium sont acides et que l'équilibre acido-basique entraîne donc l'existence de sa forme basique NH_3 ,
- l'ammoniac est toxique à partir de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$, soit $70 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.
- la totalité des ions ammonium et des molécules d'ammoniac sont dosés par spectrophotométrie.

Ils doivent ensuite **les analyser** pour en tirer les informations utiles, faire des recoupements entre plusieurs d'entre eux :

- l'échantillon d'eau de mer a une absorbance de 0,13 à 625 nm
- d'après l'équation de la régression linéaire donnée, cela correspond à une concentration de 21 ppm, soit $21 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.
- si l'eau de mer a un pH de 8,2, 10% des molécules du couple sont sous la forme d'ammoniac.

Ils doivent ensuite **valider** les résultats et en déduire si l'eau de Calvi est polluée en utilisant les éléments d'analyse précédents : l'eau de Calvi a donc une teneur en ammoniac satisfaisante, car inférieure à $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$.

Enfin, l'exercice de résolution est lui-même un travail dans lequel l'élève doit **communiquer** les résultats de son investigation.

Ainsi, ce sont 4 domaines de compétences de la grille associée à la démarche scientifique qui sont successivement mis en jeu et donc, évaluables. On peut encore utiliser les critères globaux suivants :

- niveau A : les indicateurs attendus sont (quasiment) tous présents ;
- niveau B : les indicateurs attendus sont partiellement présents ;
- niveau C : les indicateurs attendus sont très peu présents ;
- niveau D : les indicateurs attendus sont absents.

Le tableau suivant récapitule les éléments décrits ci-dessus.

Compétences	Critères de réussite permettant d'attribuer le niveau de maîtrise « A »	Niveaux de maîtrise			
		A	B	C	D
S'approprier	Rechercher et extraire trois informations nécessaires : l'équilibre acido-basique, le seuil de toxicité, la méthode spectrophotométrique				
Analyser	Exploiter et organiser les informations : déterminer l'absorbance, en déduire la concentration en ion ammonium, puis celle en ammoniac				
Valider	Valider une conclusion en cohérence avec l'analyse précédente : l'eau de mer n'est pas polluée en ammoniac.				
Communiquer	Rédiger un paragraphe : argumenter, répondre à la question posée, maîtriser les compétences langagières de base, le vocabulaire scientifique				
Note proposée (en nombre entier) :		/ 5			

Pour transformer le bilan de compétences en une note sur 5 (si l'exercice est noté sur 5) telle que :

- 4 fois la lettre D : 0
- Des C et des D : 1
- Que des C ou C en tant que niveau moyen : 2
- Un mélange de B, C et D : 3
- Des A et des B : 4
- Une majorité de A, le reste en B : 5.

LE TRAITEMENT DES MESURES ET LES INCERTITUDES

Ce sujet a été abordé une petite vingtaine de fois lors des visites que nous avons faites dans les lycées cette année ; cela montre qu'un certain nombre d'équipes ont eu du mal à introduire ce module dans les classes et, quand elles l'ont fait, cela s'est souvent limité à la classe terminale.

Or, il convient de rappeler que ce n'est pas parce que seul le BO du programme des classes terminales les mentionne que les questions liées au traitement des mesures et aux incertitudes doivent se limiter à ce niveau d'enseignement ; bien au contraire, il faut y sensibiliser les élèves dès la classe de Seconde.

Il faut aussi avoir conscience que les programmes de Mathématiques de 1^{ère} et de Terminale comportent un module « Statistiques et probabilités » et qu'il est pertinent de se rapprocher de son collègue pour un traitement concerté de ces notions afin de viser une cohérence d'apprentissage chez les élèves.

On peut trouver sur EDUSCOL un document sur le sujet mais son formalisme mathématique peut s'avérer rebutant pour certains qui recherchent avant tout des pistes d'activité pour leurs élèves. C'est la raison qui nous a poussés à publier à la rentrée des vacances de Noël, un document dont les deux tiers sont dédiés à des exemples pratiques utilisables dans les trois niveaux d'enseignement du lycée.

Le but n'est pas aujourd'hui de vous en faire la lecture commentée : vous saurez très bien vous l'approprier tout seul. Il est en ligne sur notre site académique à la rubrique « Informations institutionnelles », rubrique qui regroupe l'ensemble des écrits de l'inspection pédagogique régionale.

Je préfère insister sur quelques aspects particuliers qui reprennent parfois des éléments de ce document, les détaille à l'occasion, ou constituent des exemples nouveaux à disposition. Mais auparavant, rappelons que toute formule dont pourraient avoir besoin les élèves leur sera fournie, que ce soit dans un exercice du sujet d'écrit (voir à ce sujet, le point 4 de l'exercice 3 de l'annale 0 n°2 sur les équilibres acido-basiques en milieu biologique) ou dans un sujet d'ECE comme vous avez pu le voir en parcourant la banque de sujets. Rappelons aussi qu'il existe deux types de notations concurrentielles pour ce qui concerne l'incertitude sur une grandeur X : soit ΔX soit $U(X)$. La plupart des manuels utilisent la première ; la notation officielle telle que définie par le BIPM est la seconde. Les sujets de TP comportant une question sur le sujet sont rédigés avec la notation $U(X)$ parfois notée U_x .

1. Une entrée dogmatique sur le sujet est sans doute à proscrire

Ne pas en faire un chapitre en début d'année ce qui ne peut que conduire à dégoûter les élèves ; il est en revanche souhaitable sans doute de formaliser à un moment donné les résultats obtenus dans quelques situations pour mettre un peu d'ordre dans la tête des élèves.

Privilégier la situation concrète en l'exploitant au-delà de ce qui est fait habituellement, tout spécialement, les situations expérimentales dont les travaux pratiques d'élèves.

Ex : utilisation d'une pipette jaugée

On lit dans un ouvrage : les erreurs absolues commises lors de mesures de volume avec la verrerie traditionnelle dépendent de la classe de cette verrerie. Classe A : Tolérance $< 0,2\%$ sur le volume indiqué. Classe B : Tolérance $< 0,5\%$ sur le volume indiqué. Ainsi, pour une pipette de 10 mL de classe B, la tolérance calculée sera de 0,05 mL.

Remarque : on peut se contenter de cette « incertitude » ou aller un peu plus loin en considérant que l'incertitude est de type B (une seule mesure) pour un appareil dont on connaît la tolérance auquel cas l'incertitude élargie pour un taux de confiance de 95% sera : $2 \times 0,05 / 1,73 \approx 0,05$!

2. L'objectif n'est pas de faire des calculs mais de prendre conscience de la précision d'un résultat

Il y a des machines et des logiciels pour faire des calculs !

En revanche, comment limiter le nombre de chiffres significatifs dans un résultat ? S'il provient d'un calcul opéré sur des valeurs dont on connaît la précision, on peut conclure mais si c'est le résultat d'une mesure, comment faire ? Seule une réflexion sur les incertitudes de mesure peut donner du sens.

Ex : utilisation d'un multimètre numérique

Le constructeur affiche sur sa notice les caractéristiques suivantes : 2000 points – 0,5% + 1 d

Soit la valeur lue après une mesure de tension : 13,28 V

Le calcul d'incertitude donnera : $0,5 \times 13,28 / 100 + 0,01 = 0,07 + 0,01 = 0,08$ V

Il sera donc recommandé de garder comme résultat : 13,3 V

3. Les plages d'accompagnement personnalisé de 1^{ère} et terminale peuvent être mobilisées

Il peut arriver qu'une exploitation de résultats, vue sous l'angle des incertitudes, s'avère délicate ; on peut alors mobiliser une séance d'accompagnement personnalisé pour aller plus loin avec un groupe d'élèves motivés et curieux sans que cela constitue un passage obligé pour tous (déclinaison « Approfondissement » de l'AP). On peut envisager cette modalité en Première (classe pour laquelle on a dit que l'AP devait pouvoir servir à travailler les items de la grille de compétences liées à la démarche scientifique) ou en Terminale comme le montre l'exemple en ligne sur la détermination de la raideur d'un ressort.

Ex : les ressorts en Terminale S

Cette activité est décrite en détail dans une fiche figurant sur le site académique à l'adresse suivante :

http://physique.ac-orleans-tours.fr/accompagnement_personnalise/terminale/

Résumé : le calcul complet de l'incertitude sur la détermination de la raideur d'un ressort nécessite de combiner des erreurs de type A avec des erreurs de type B et présente des étapes relativement délicates et hors programme de TS. Une partie des calculs peut être présentée à tous les élèves alors que seuls relevant d'un « approfondissement » seront concernés par le calcul dans sa globalité.

4. La réflexion sur les incertitudes peut aider à réfuter un modèle

Quand la valeur théorique prévue par un modèle n'est pas comprise dans l'intervalle de confiance bâti sur des valeurs expérimentales après un travail sur les incertitudes de mesure, la question de savoir si l'on a fait le choix d'un modèle adapté est licite. On pourra alors se poser plusieurs questions qualitatives :

- n'a-t-on pas négligé une (ou plusieurs) source(s) d'erreur ?
- la méthode expérimentale utilisée ne possède-t-elle pas un biais ?
- les appareils de mesure étaient-ils bien étalonnés ?
- etc.

Si toutes ces questions reçoivent des réponses négatives ou de nature à ne pas modifier suffisamment les résultats pour que la valeur prévue par le modèle « loge » dans l'intervalle de confiance, alors sans doute, faut-il réfuter ce modèle et faire appel à un second plus « performant ».

Ex : les modèles de la réfraction de la lumière

Il est assez classique, en classe de Seconde, de présenter aux élèves plusieurs modèles de la loi de la réfraction :

- le modèle de Grosseteste : $i = 2r$
- le modèle de Kepler : $i = kr$
- le modèle de Snell-Descartes : $\sin i = n \sin r$

Si l'on peut assez rapidement éliminer le premier modèle, on sait parfaitement que le second peut être conservé pour les petits angles ; mais qu'entend-on par petit angle ? Tout dépend de la précision attendue sur le résultat...

Pour une réfraction air/eau, une différence sur la seconde décimale de l'angle de réfraction exprimé en ° se produit pour un angle d'incidence de 7° ; une différence sur la première décimale, pour $i = 18^\circ$; pour $i = 32^\circ$, la différence sur r (une fois l'arrondi effectué) porte sur le chiffre des unités ($r_{SD} = 23^\circ$; $r_K = 24^\circ$).

5. La réflexion sur les incertitudes peut aider à choisir entre deux méthodes expérimentales

C'est un des aspects les plus intéressants sans doute de ce sujet. Disposant de deux méthodes pour arriver à un résultat, la plus intéressante et donc celle qui devra être privilégiée est celle qui fournira la meilleure précision, donc le plus faible intervalle de confiance.

Un calcul d'incertitudes sur deux méthodes différentes permet donc de trancher.

Ex : les indices de réfraction de « René Moreau »

C'était au millénaire précédent. Un inspecteur général qui savait défendre mieux que quiconque l'aspect expérimental de notre discipline était passionné par les incertitudes ; il s'appelait René MOREAU et on lui doit de très nombreux documents sur le sujet, dont beaucoup sont accessibles dans les archives du BUP.

Il nous avait posé lors d'un séminaire national la question suivante : selon vous, si l'objectif d'une séance consacrée à la réfraction de la lumière est de déterminer l'indice de réfraction d'un milieu donné (le plexiglas du demi-cylindre bien connu, par exemple), est-il préférable de mener l'étude dans le sens d'une réfraction air-plexiglas ou plexiglas-air ?

Et nous de conjecturer autant que nous le pouvions sur la dispersion du faisceau s'écartant de la normale dans un cas, de la nature du filtre que l'on pourrait interposer entre source et demi-cylindre, etc.

Que nenni, nous répondit-il ; faisons l'expérience dans les deux sens un grand nombre de fois et effectuons une étude statistique des résultats : celle qui conduira à l'écart-type le plus faible sera la plus précise et donc celle qu'il convient de privilégier ! Lumineux, non ? C'est normal, puisque c'est la réfraction de la lumière !

And the winner is : la réfraction dans le sens plexiglas – air ! Our world is fabulous !

6. La réflexion sur les incertitudes peut conduire à éliminer une valeur aberrante

Voilà un autre aspect passionnant du travail sur les incertitudes. Comment justifier à un élève qu'on ne retiendra pas sa mesure sous prétexte qu'elle s'écarte « beaucoup » de celles de ses camarades ? Ou s'arrête l'arbitraire dans cette façon de procéder ?

Une façon d'y répondre est de faire une étude statistique des résultats, de bâtir un intervalle de confiance et de regarder où se situent les valeurs par rapport à cet intervalle. En admettant (la démonstration est hors de portée des élèves et de bien d'autres personnes...) que toute valeur extérieure à un intervalle de largeur double de l'intervalle de confiance peut être éliminée, on a la possibilité de corriger la répartition, de recalculer une valeur moyenne, un écart-type et un nouvel intervalle de confiance.

Ex : la détermination du pKa d'un couple acide-base

Cet exemple figure dans le document en ligne sur le site académique, document que j'ai évoqué au début de cette intervention (http://physique.ac-orleans-tours.fr/informations_institutionnelles/).

Je n'en reprendrai donc ici que les résultats.

À l'issue d'une activité expérimentale destinée à déterminer une constante d'acidité, le professeur a relevé les valeurs trouvées par chaque groupe pour la constante pKa du couple $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} / \text{CH}_3\text{COO}^-$.

Groupes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pKa	4.25	4.55	4.75	4.6	4.65	4.75	4.8	4.5	4.8	5	4.75	4.7

On pourra donc écrire (pour un intervalle de confiance à 99%) : $\text{pKa} = 4,67 \pm 0,17$ ou $I_{99} = [4,50 ; 4,84]$

Si l'on adopte le critère (classique en métrologie) que si une valeur s'écarte de la valeur centrale de la distribution de plus de 2 fois l'incertitude élargie, il convient de l'écarter en la déclarant « valeur aberrante aux critères de recevabilité définis ». On peut donc bâtir un nouvel intervalle « de recevabilité » : $I_{\text{rec}} = [4,33 ; 5,01]$.

La valeur n°1 peut ainsi être déclarée aberrante et être écartée de la distribution.

Remarque : une fois cette valeur écartée, on peut recalculer une nouvelle valeur moyenne et un nouvel écart-type.

7. La réflexion sur les incertitudes peut aider à proposer une amélioration dans une démarche

Une fois n'est pas coutume, nous terminerons ce rapide parcours dans le monde des incertitudes par une application qualitative simple. Une réflexion sur les causes d'erreur peut conduire à les hiérarchiser ; on peut alors chercher à éliminer ou, *a minima*, à limiter celle qui « pèse le plus lourd » dans l'incertitude sur le résultat. Cette recherche peut alors déboucher sur :

- le choix d'un autre appareil de verrerie (prendre un appareil de classe supérieure) ;
- le choix d'un autre appareil de mesure
- le choix d'une autre méthode de mesure.

Ex : la détermination de la masse volumique d'un solide

Cette détermination nécessite deux mesures : la masse et le volume du solide.

*Pour le volume, on peut penser à une mesure par déplacement d'eau dans une éprouvette graduée. Supposons que le volume du solide soit de l'ordre de 100 cm^3 ; on pourra utiliser une éprouvette de 250 mL et la précision sur V sera donc de l'ordre de 1%. La masse sera mesurée à l'aide d'une balance électronique. Pour un objet de quelques centaines de grammes, une balance au dg conduira à une précision de mieux que 0,1%. À l'évidence, le facteur limitant est la mesure du volume. Mais si le solide a une forme régulière, une autre méthode peut être utilisée : son volume pourra être déterminé par la mesure de ses cotes (par exemple, pour une sphère, le diamètre $D = 2R$ et : $V = 4/3 * \pi R^3$). On aura alors intérêt à rechercher un appareil de mesure permettant d'aboutir à une précision comparable à celle de la masse ; un pied à coulisse au $1/50^{\text{ème}}$ de millimètre, par exemple.*

ANNEXE : EVALUATION D'UN EXERCICE D'ANALYSE ET DE SYNTHÈSE DE DOCUMENTS SCIENTIFIQUES

Version avec questions préalables

Dans le but d'aider l'élève à l'appropriation des documents, l'exercice est proposé dans une version présentant deux questions préalables. Leur évaluation est prise en compte globalement dans la grille.

Évaluation par compétences

Utilisation d'une grille de compétences pour l'écrit dans le même esprit que celle des ECE.

S'approprier	Extraire l'information utile sur des supports variés (série S) Mobiliser ses connaissances (série S) Se questionner (socle), identifier un problème (série S)
Analyser	Organiser et exploiter ses connaissances ou les informations extraites (série S) Formuler une hypothèse (série S) Construire les étapes d'une résolution d'un problème (série S) Justifier ou proposer un protocole (série S) Identifier les paramètres qui influencent un phénomène (série S) Interpréter les résultats, les mesures, rechercher les sources d'erreur (série S) Utiliser une analyse dimensionnelle (série S) Proposer un modèle (série S)
Réaliser	Effectuer des calculs littéraux ou numériques (série S) Écrire un résultat de façon adaptée (série S) Effectuer une analyse dimensionnelle (série S) Tracer un graphique (socle) Faire un schéma adapté (socle) Utiliser un modèle (série S)
Valider	Faire preuve d'esprit critique (série S) Discuter de la validité d'un résultat, d'une information, d'une hypothèse, d'une propriété, d'une loi, d'un modèle... (série S)
Communiquer	Rédiger une explication, une réponse, un paragraphe argumenté ou une synthèse (série S) Décrire une observation, la démarche suivie ... Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux (vocabulaire de la discipline, de la métrologie...) (série S) Présenter les résultats de manière adaptée (unités, chiffres significatifs, incertitudes ...)

LES FRESQUES DE POMPÉI

Adaptation d'un exercice publié sur le site de l'académie de Créteil



Intérieur de la villa des Mystères à Pompéi

Pompéi est une ville italienne située près de Naples, au pied du Vésuve. Fondée au VI^e siècle av. J.-C., elle est célèbre pour avoir été détruite à la suite d'une éruption du Vésuve.

L'éruption créa une gaine protectrice sur le site qui provoqua l'oubli de la ville pendant 1 600 ans. Redécouverte par hasard au XVII^e siècle, la ville fut ainsi retrouvée dans un état de conservation inespéré : les fouilles exécutées à partir du XVIII^e siècle permirent d'exhumer une cité florissante, précieux témoignage de l'urbanisme et de la civilisation de l'Empire romain.

Lorsque l'on se rend à Pompéi, on peut admirer des fresques de l'antiquité. Ces fresques ont un aspect « ciré » ou « laqué ». L'objectif de cette activité est de comprendre l'origine de cet aspect.

Analyse et synthèse de documents

Questions préalables :

- D'après les documents, quels sont les produits susceptibles de donner un aspect ciré ou laqué ?
- Quels renseignements peut-on tirer du spectre IR ?

Synthèse argumentée :

A l'aide de vos connaissances et des documents mis à votre disposition, rédigez en 30 lignes maximum un paragraphe argumenté permettant de répondre à la problématique suivante :

Quel matériau peut donner l'aspect ciré (ou laqué) des fresques de Pompéi ?

Vous exposerez tous les arguments permettant de valider et d'invalider chacune des hypothèses que vous avez retenues.

Document 1 : Technique de la fresque dite « a fresco »



La fresque est une technique particulière de peinture murale dont la réalisation s'opère sur un enduit appelé *intonaco*, avant qu'il ne soit sec. Le terme vient de l'italien « *a fresco* » qui signifie « dans le frais ».

Le fait de peindre sur un enduit qui n'a pas encore séché permet aux pigments de pénétrer dans la masse, et donc aux couleurs de durer plus longtemps qu'une simple peinture en surface sur un substrat. Son exécution nécessite une grande habileté, et se fait très rapidement, entre la pose de l'enduit et son séchage complet.

L'enduit contient de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 . Cette espèce est susceptible de diffuser à travers les

couches supérieures jusqu'à la surface de la fresque.

Document 2 : Effet de l'éruption du Vésuve sur les fresques

En 79 après J.-C., l'éruption du Vésuve a provoqué la destruction de la ville de Pompéi. Les fresques présentes sur certains murs de la ville ont été retrouvées quasiment intactes après cette catastrophe.

On a remarqué que, sur certaines peintures, l'ocre jaune a été transformé en ocre rouge. Cette transformation se produit seulement entre 300°C et 600°C.

Les fresques de Pompéi ont conservé le même aspect ciré malgré l'éruption.



Document 3 : Caractéristiques de la cire d'abeille

La peinture à la cire ou peinture à l'encaustique est une technique de peinture utilisant la cire d'abeille comme liant. Elle confère aux œuvres et aux peintures un aspect ciré.

L'utilisation de la peinture à la cire remonte, pour ce que nous en savons, aux portraits du Fayoum, datés du Ier au Ve siècle en Egypte). Ces œuvres et des peintures, intactes, sur des sarcophages prouvent, par leur persistance, la résistance de ce type de travail au temps.

Caractéristiques de cette cire

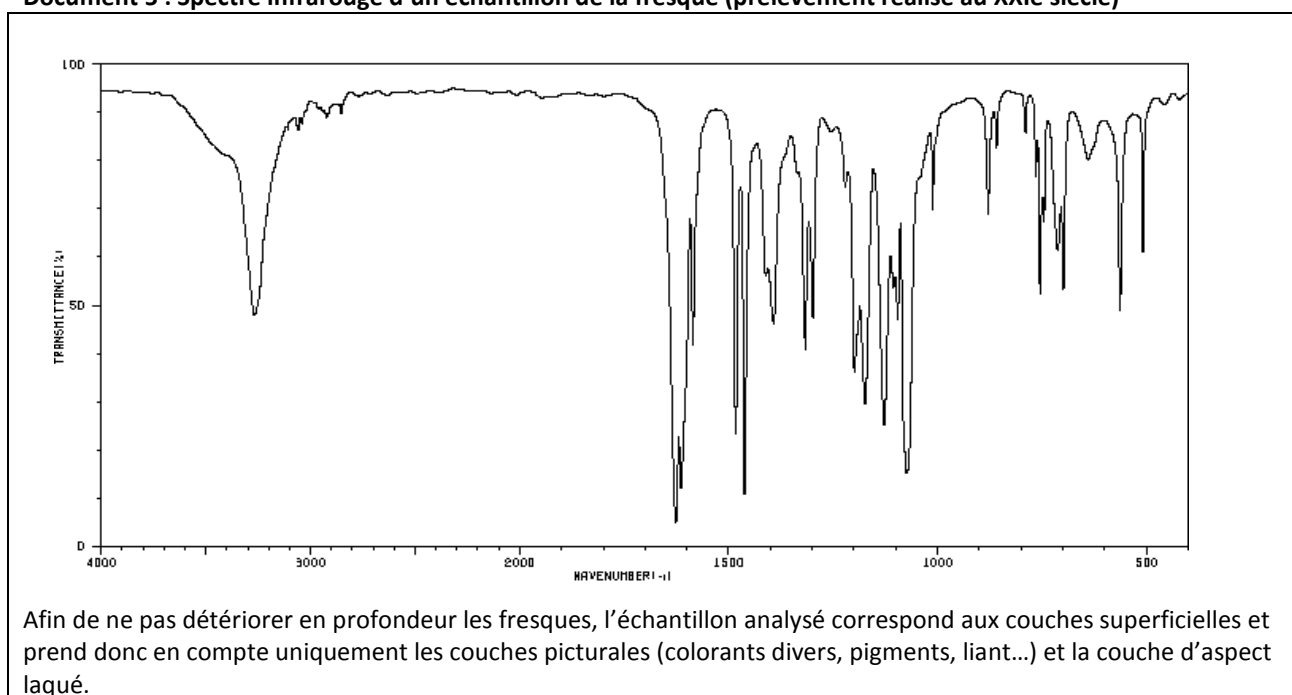
<p>Composition <i>La cire d'abeille contient principalement des esters</i></p>	<p>Température de fusion <i>Entre 60°C et 65°C</i></p>
<p>Solubilité <i>La cire est insoluble dans l'eau</i></p>	<p>Indice de réfraction <i>n = 1,49</i></p>

Document 4 : Table de données pour la spectroscopie infrarouge

Liaison	Nature	Nombre d'onde cm^{-1}	Intensité
O-H alcool libre	élongation	3580-3670	F, large
O-H alcool lié	élongation	3200-3400	F, large
N-H amine	élongation	3100-3500	m
C-H aromatique	élongation	3030-3080	m
C-H	élongation	2800-3000	m
C-H aldéhyde	élongation	2750-2900	F
O-H acide carboxylique	élongation	2500-3200	M
C=C	élongation	2100-2250	F à m; large
C=O (anhydride)	élongation	1700-1840	F ou m
C=O (chlorure d'acyle)	élongation	1770-1820	F ; 2 bandes
C=O (ester)	élongation	1700-1740	F
C=O (aldéhyde et cétone)	élongation	1650-1730	F
		(abaissement de 20 à 30 cm^{-1} si conjugaison)	F
C=O (acide)	élongation	1680-1710	F
C=C	élongation	1625-1685	m
C=C aromatique	élongation	1450-1600	(3 ou 4 bandes)
N=O	élongation	1510-1580 et 1325-	F ; 2 bandes
N-H amine ou amide	déformation	1365	F ou m
		1560-1640	

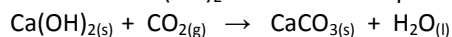
1. F: fort, m: moyen; f: faible ;

Document 5 : Spectre infrarouge d'un échantillon de la fresque (prélèvement réalisé au XXI^e siècle)



Document 6 : Caractéristiques du calcin

On appelle « calcin » le carbonate de calcium de formule CaCO_3 . Sa formation résulte de la réaction entre le dioxyde de carbone CO_2 gazeux et l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 solide selon l'équation de la réaction :



Le dépôt d'une couche de calcin sur une surface lui donne un aspect ciré.

GRILLE D'ÉVALUATION DE LA SYNTHÈSE DE DOCUMENTS LES FRESQUES DE POMPÉI

Compétences	Critères de réussite permettant d'attribuer le niveau de maîtrise « A »	Niveaux de maîtrise			
		A	B	C	D
S'approprier	Rechercher et extraire les deux hypothèses évoquées dans les documents Extraire les informations d'un spectre IR				
Analyser	Exploiter et organiser les informations pour chaque hypothèse				
Valider	Valider et invalider des hypothèses en cohérence avec l'analyse précédente.				
Communiquer	Rédiger un paragraphe argumenté qui répond à la question posée. La rédaction fait apparaître une maîtrise satisfaisante des compétences langagières de base et du vocabulaire scientifique.				
Note proposée (en nombre entier) :		/ 5			

L'ÉVALUATION DE L'EXERCICE PAR LES COMPÉTENCES MISES EN JEU

La grille permet d'apprécier, selon quatre niveaux, les compétences développées dans le sujet par le candidat.

Pour cela, elle s'appuie sur des indicateurs adaptés à l'exercice et traduisant les critères fixés.

Niveau A : les indicateurs choisis apparaissent dans leur (quasi)totalité

Niveau B : les indicateurs choisis apparaissent partiellement

Niveau C : les indicateurs choisis apparaissent de manière insuffisante

Niveau D : les indicateurs choisis ne sont pas présents

L'ATTRIBUTION DE LA NOTE

Le regard porté sur la grille de compétences de manière globale aboutit, en fonction de la position des croix, à la note évaluant la production de l'élève.

Il est inutile de chercher à faire un tableau recensant tous les cas de correspondances possibles entre la grille et les notes de 0 à 5. L'approche globale selon le profil donné par les croix sur la grille, s'avère plus pertinente.

Quelques repères, cependant, peuvent être donnés pour l'harmonisation :

- Majorité de A (≥ 50%) et de B → 5
- Majorité (A+B) et 1 ou 2 C → 4 ou 3
- Majorité de C → 2
- Que des C+ D → 1
- Que des D → 0

Éléments de correction

Indicateurs possibles pour l'évaluation :

S'APPROPRIER

Extraire les deux hypothèses données dans les documents sur la nature du matériau

- *Hypothèse n°1 : l'aspect ciré est dû au calcin;*
- *Hypothèse n°2 : l'aspect ciré est dû à la cire d'abeille.*

Les pics d'absorption IR sont convenablement identifiés et permettent de préciser les groupes contenus dans l'échantillon de la fresque

ANALYSER

L'élément d'analyse ci-dessous est présent (en faveur de l'hypothèse n°1):

- *L'enduit contient de l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et cette espèce chimique est susceptible de diffuser à travers la couche picturale (doc 1);
La diffusion de l'hydroxyde de calcium à travers les couches picturales jusqu'à la surface de la fresque lui a permis de réagir avec le dioxyde de carbone présent dans l'air et de former le carbonate de calcium. Ce dernier donne à la surface un aspect ciré (confrontation des docs 1 et 6).*

Les éléments d'analyse ci-dessous sont présents (en défaveur de l'hypothèse n°2):

- *L'analyse spectroscopique révèle l'absence d'ester dans l'échantillon de la fresque ce qui démontre l'absence de cire d'abeille (confrontation des docs 3, 4 et 5);*
- *Le changement de couleur de l'ocre montre que la température du lieu a dépassé 300°C lors de l'éruption. A cette température, la cire fond et se désolidarise de la fresque. Or, la fresque a conservé son aspect ciré après l'éruption (confrontation des docs 2 et 3);*
- *Les premières utilisations connues par les spécialistes de la cire d'abeille datent du premier siècle après J.-C. ce qui est une date postérieure à la date de création de la ville et de ses fresques (confrontation du doc 3 avec le texte introductif).*

VALIDER

La validation et l'invalidation des hypothèses devront être en cohérence avec l'analyse faite précédemment par l'élève.

Quand l'analyse a été bien menée, la nature du matériau est clairement identifiée (calcin) : Il est attendu que l'élève valide l'hypothèse du calcin en citant un argument en sa faveur. Afin d'invalidier l'hypothèse de la cire, il doit également montrer dans son argumentaire que tous les éléments recueillis sont en sa défaveur.

COMMUNIQUER

Il n'y a pas de paraphrase des documents ; les connecteurs logiques sont correctement employés.
Le vocabulaire employé est adapté, rigoureux et scientifique.