

NOUVEAUX PROGRAMMES DE LYCÉE

L'ÉVALUATION EN SCIENCES PHYSIQUES

 L'ÉVALUATION EN COURS DE FORMATION

 L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

 LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES

L'ÉVALUATION EN SCIENCES PHYSIQUES AU LYCÉE DANS LE CADRE DES NOUVEAUX PROGRAMMES

L'ÉVALUATION EN COURS DE FORMATION

L'évaluation en cours de formation a plusieurs objectifs :

- opérer un suivi régulier des apprentissages des élèves afin de les réguler (mise en œuvre de l'accompagnement personnalisé, par exemple) : c'est sa fonction formative
- évaluer les élèves afin de renseigner les documents officiels dont ceux qui sont utilisés à des fins d'orientation (entrée dans les filières sélectives) ; c'est sa fonction sommative
- aider les élèves, par des bilans de connaissances et de compétences, à élaborer leur projet personnel de formation en adéquation avec leurs aptitudes : c'est sa fonction prédictive
- préparer les élèves aux épreuves d'examen, qu'elles soient de nature écrite ou de nature expérimentale ; c'est sa fonction anticipative.

Nous traiterons de l'évaluation expérimentale dans le prochain module. Pour l'heure, nous nous focalisons sur l'évaluation écrite. Cette dernière doit prendre en compte tous les objectifs de formation tels qu'ils sont définis dans les programmes officiels. Certains d'entre eux sont nouveaux et vont être détaillés dans les paragraphes suivants ; nous verrons ainsi :

- l'introduction de bilans de compétences dans un exemple pour la classe de Seconde ;
- l'argumentation scientifique qui apparaît en classes de Premières L et ES ;
- la résolution de problèmes qui fera l'objet de l'atelier en fin de matinée.

Mais avant la présentation de ces nouveautés, quelques remarques.

1. La fréquence, la durée et la forme possibles des devoirs surveillés

Le principe, jamais annulé, selon lequel il convient de consacrer 10% du temps d'enseignement à l'évaluation des élèves reste valable, ce qui représente :

- environ 4 h par trimestre en Seconde et Première S
- environ 2 h par trimestre en Premières L et ES
- environ 6 h par trimestre en Terminale S.

La durée de ces devoirs ira d'une heure, voire un peu moins, en Seconde à une heure et demie en Première et Terminale, voire deux heures. Une ou deux fois par an, il est souhaitable de proposer un devoir cadré sur la durée de l'épreuve et sur sa forme (les bacs blancs habituellement composés sur des plages spécifiques).

Rappelons qu'en Première L ou ES, l'argumentation scientifique est une des formes possibles de l'évaluation : il faut y préparer les élèves sans, bien entendu, que tous les exercices proposés soient de cette nature. En spécialité de Terminale S, la résolution de problèmes est, là encore, une des formes possibles pour l'exercice dédié ; il faut y entraîner les élèves sans en faire une exclusive : le programme prévoit que l'exercice proposé peut aussi être une EEI (Extraire et Exploiter l'Information).

2. Les devoirs en temps libre

Cette thématique, sur laquelle nous n'étions jamais intervenus, se situe dans le constat que nous faisons sur les résultats de notre académie au baccalauréat, qui sont très décevants. Notre académie est classée 26^{ème} sur les 26 académies métropolitaines. Les premières analyses montrent qu'avec plus de 12 / 20, en terminale S, notre discipline ne pénalise pas les élèves. Il reste cependant nécessaire de comparer nos résultats à ceux des autres académies.

Les causes sont sans doute multiples : caractéristiques sociologiques, attentes des jurys d'examen, préparation aux examens, préparation des élèves, impulsion de la part des inspecteurs ...

Au moins trois types d'exercices font leur apparition dans les nouveaux programmes de lycée :

- La résolution de problèmes (TS voire en STI2D et STL)
- La production d'un paragraphe argumenté « *L'élève doit présenter une argumentation scientifique portant sur des questions de société, sur les avantages et limites des avancées scientifiques et technologiques ou sur des problématiques de santé ou de développement durable. Il fait preuve d'esprit critique. Dans ce cadre, il est amené à mobiliser ses connaissances* » (Premières L et ES).
- L'évaluation des compétences expérimentales.

Ces deux dernières sont à promouvoir, dès la classe de seconde, notamment pour fonder les choix d'orientation. Il nous semble utile, à l'instar de l'inspection de mathématiques, de proposer, au-delà des exercices donnés après le cours, des formes d'entraînement en temps non limité, à la maison.

3. Comment aider les élèves à prendre conscience de leurs difficultés ?

Voilà une forme de travail possible : les copies relatives à un devoir sur table sont anonymées, puis permutées au sein de la classe ; la correction est aussitôt prise en charge au tableau par l'enseignant, chaque élève corrigeant la copie qui lui échoit et lui attribuant une note. Avantages cités : retour sur ses erreurs personnelles, réflexion sur l'évaluation et sur les erreurs des autres, pas de travail de correction pour l'enseignant.

Ces entraînements formatifs à l'examen débouchent sur des notes non prises en compte dans les moyennes trimestrielles. Cette méthode semble particulièrement adaptée aux formes nouvelles d'évaluation (EEI, etc.)

4. L'introduction des bilans de compétences

Il semble que nous soyons tous maintenant convaincus que l'enseignement des Sciences Physiques apporte des connaissances et développe des compétences.

Si peu d'élèves de Seconde utiliseront les techniques propres aux Sciences Physiques dans leur vie professionnelle, citoyenne ou privée, des compétences transférables sont développées dans la continuité du collège. Nous avons préconisé, il y a deux ans, que lors de la préparation d'une séance de cours ou de TP, l'enseignant s'interroge sur une ou deux compétences à faire plus particulièrement travailler. En cours, il peut s'agir de l'analyse d'un document, l'analyse de résultats, le traitement de données. En séance de TP, le panel est beaucoup plus grand et touche à toutes les compétences expérimentales.

De plus, nous savons maintenant que les élèves seront évalués par compétences lors de l'épreuve expérimentale en TS : l'évaluation s'appuiera sur l'autonomie dont aura fait preuve l'élève dans 3 des 5 grands domaines de la démarche scientifique. Cette idée est même poussée encore plus loin avec l'épreuve de spécialité où aucune connaissance nouvelle n'est introduite : seule la démarche scientifique de la résolution du problème sera évaluée. Ces deux derniers points seront détaillés après.

Il semble désormais plus que nécessaire d'entraîner dès la seconde les élèves afin de les préparer au mieux à cette épreuve. Ainsi, l'approche par compétences doit donner lieu à une évaluation ciblée de celles-ci aussi bien dans les séances expérimentales que dans les contrôles. Il s'agit alors de trouver un équilibre entre l'évaluation des connaissances et des compétences.

Prenons l'exemple du devoir en ligne dans le « Dossier stagiaires » : c'est un exemple ambitieux tant dans la longueur du devoir que dans l'évaluation des compétences qui est faite. En effet, le but n'était pas de proposer une évaluation « exemplaire », mais surtout de montrer comment on pouvait mettre en œuvre cette évaluation des compétences, et de proposer des outils pour le faire.

(Voir : http://physique.ac-orleans-tours.fr/dossier_stagiaires/progression_lycee/)

Lors de la construction du devoir, nous avons donc réfléchi aux capacités mobilisées dans les différentes questions. Dans l'exercice 1 par exemple, nous pouvons noter que nous trouvons des questions « classiques » de cours, de calcul, d'exploitation de documents... L'idée est de regarder de manière plus fine si nous faisons appel à des connaissances du cours ou à une des compétences de la démarche scientifique.

Le tableau de correction proposé permet d'avoir au final le bilan par domaine de compétences, sans passer beaucoup plus de temps à corriger. On peut vérifier à cette occasion que toutes les compétences de la démarche scientifique sont balayées dans le devoir, et ce, de manière plutôt équilibrée. Si l'on débute dans ce type d'évaluation ou si l'on manque de temps, on peut ne traiter qu'un seul exercice de cette manière. De même, on n'est pas obligé de détailler les capacités particulièrement évaluées dans chaque domaine de compétences (tableau bleu).

Ainsi, ce type d'évaluation de compétences, même s'il rajoute une durée supplémentaire de préparation du devoir, permet à l'enseignant :

- d'équilibrer les compétences évaluées tout au long de celui-ci ;
- de vérifier qu'il évalue des compétences qui ont été travaillées en amont lors des activités ;
- d'avoir une analyse plus fine des capacités d'un élève et de la classe ;
- de mettre en œuvre plus facilement la remédiation et la diversification pédagogique.

De plus, cela permet une plus grande « lisibilité » de la discipline par l'élève : il peut ainsi prendre conscience qu'il mobilise des compétences différentes en sciences physiques, et que, même s'il pense être médiocre dans cette matière, il sait probablement mobiliser des compétences de manière satisfaisante. Enfin, cela permet à l'élève de suivre ses évolutions.

5. L'argumentation scientifique en 1^{ère} L/ES

« Épreuve d'enseignement scientifique en 1^{ère} L et ES ; durée 1 h 30

L'épreuve permet d'évaluer les connaissances des candidats, leur capacité à les utiliser en situation, ainsi que leur capacité à exploiter des documents et à argumenter. La mobilisation des connaissances et la mise en œuvre d'un raisonnement critique reposent sur des questions scientifiques en relation avec la vie courante ou avec une question sociétale. L'épreuve comprend trois parties. Deux parties ne peuvent pas concerner le même thème.

Partie 1 portant sur l'un des deux thèmes communs aux sciences de la vie et de la Terre et aux sciences physiques et chimiques : « Représentation visuelle » ou « Nourrir l'humanité »

L'évaluation porte sur les acquis de ces deux disciplines. Cette partie est notée sur 8 points.

L'élève doit présenter une argumentation scientifique portant sur des questions de société, sur les avantages et limites des avancées scientifiques et technologiques ou sur des problématiques de santé ou de développement durable. Il fait preuve d'esprit critique. Dans ce cadre, il est amené à mobiliser ses connaissances. Cette réflexion prend la forme d'un commentaire rédigé et s'appuie sur un à trois documents, supports du questionnement et de la construction des éléments de réponse. Ces documents présentent des données scientifiques et/ou relatives à des faits d'actualité. »

L'année dernière, en juin, la réunion d'entente académique a dû gérer pour la première fois les éléments de correction liés à cette partie de l'épreuve anticipée de sciences de premières L et ES.

(Voir : http://lewebpedagogique.com/bac-premiere/files/EA_BCG_Sciences-L-et-ES.pdf)

Le cadre de travail du premier exercice était le suivant :

- Trois documents ont été distribués aux élèves : le premier sur les maladies liées à l'eau, le second sur les filtres céramiques, le dernier sur des paramètres liés à la potabilité de l'eau. Le paragraphe argumenté était contextualisé de la façon suivante : « Vous êtes médecin, rédigez un courrier en précisant le matériel demandé et en argumentant de façon à convaincre de la nécessité de cet envoi ».
- Le tableau fourni dans le corrigé était conforme à celui figurant dans les sujets d'annales 0.

Argumentaire satisfaisant		Argumentaire non satisfaisant		Aucun argumentaire	
Les éléments scientifiques sont présents associés à des éléments culturels ; ils permettent de répondre à la problématique. La réponse est organisée sous forme d'un argumentaire correctement rédigé	Intégrant des éléments scientifiques solides mais sans éléments culturels Ou Intégrant des éléments scientifiques incomplets mais avec des éléments culturels solides	Des éléments culturels et des éléments scientifiques solides et bien choisis	Des éléments culturels et des éléments scientifiques incomplets ou mal choisis	mais des éléments culturels ou des éléments scientifiques corrects	pas d'éléments culturels, pas d'éléments scientifiques
5	4	3	2	1	0

- La correction de copies, uniquement avec le barème national, a mis en évidence une ambiguïté sur la césure à opérer entre « argumentaire satisfaisant », « argumentaire non satisfaisant ». D'où la nécessité d'explicitier les critères : c'est l'objectif des commissions d'entente qui précède les corrections (équité de traitement des candidats).
- Il apparaît que les élèves ont du mal à respecter des consignes, qui peuvent être simples comme : formuler une demande, s'appuyer sur des documents, etc.

Il semble donc nécessaire d'entraîner les élèves afin de leur permettre de maîtriser les compétences nécessaires à la réussite d'une telle épreuve, d'où les préconisations :

- Entraîner les élèves à ce type d'exercice dès la classe de Seconde ;
- Travailler avec les professeurs de SES, d'histoire géographie pour s'assurer de la cohérence des consignes données ;
- Travailler sur l'argumentation, à partir de documents scientifiques, dès la classe de seconde, en particulier dans le cadre de l'accompagnement personnalisé.

L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Généralités :

Les ECE évoluent et abandonnent l'évaluation des gestes techniques pour se focaliser sur les cinq grandes compétences qui participent de la démarche scientifique : s'approprier, analyser, réaliser, valider, communiquer (la sixième compétence, « être autonome, faire preuve d'initiative », étant ventilée sur les cinq précédentes).

Cette évolution génère un changement de posture du professeur qui, pendant la séance, est amené à aider les élèves ne réussissant pas seuls une étape du protocole. Selon le niveau d'aide, le professeur renseigne alors le document d'évaluation sur une grille à 4 niveaux.

Deux sujets d'annales 0 (la coumarine et la flûte à bec) ont été mis en ligne par le Ministère ; nous en avons conçu 3 autres au niveau académique, à raison d'un par niveau d'enseignement. Il est en effet indispensable de familiariser les élèves à cette forme d'évaluation en amont de la classe terminale, tout comme les enseignants, d'ailleurs. C'est la raison pour laquelle nous allons constituer cette année une banque de sujets pour la classe de Première S qui sera disponible pour la seconde journée de formation.

Deux points d'ordre général avant de présenter ces sujets :

- Dans la fiche EXCEL qui transforme automatiquement l'évaluation par niveaux de maîtrise des compétences mises en jeu par le sujet, il suffit de griser les lignes correspondant aux compétences non évaluées et d'affecter à chaque compétence évaluée un coefficient égal à 10% du temps estimé (en minutes) pour satisfaire la partie du protocole qui lui est attachée, la somme des coefficients (entiers) étant égal à 6 pour une épreuve calibrée d'une heure
- Le document « Repères pour l'évaluation » qui est le plus délicat à rédiger pour un auteur de sujet définit les critères permettant à l'évaluateur d'affecter le niveau de maîtrise (A à D) pour chacune des compétences évaluées ; les grands principes de cette grille de lecture à 4 niveaux sont les suivants :

Niveau A : le candidat a réalisé l'ensemble du travail demandé de manière satisfaisante selon les critères précisés dans le sujet ou avec une ou deux interventions de l'examineur, concernant des difficultés identifiées et explicitées par le candidat et auxquelles il apporte une réponse quasiment de lui-même.

Niveau B : le candidat a réalisé l'ensemble du travail demandé de manière satisfaisante selon les critères précisés dans le sujet mais avec quelques interventions de l'examineur concernant des difficultés ou erreurs non identifiées par le candidat mais résolues par celui-ci :

- après avoir réfléchi suite à un questionnement ouvert mené par l'examineur
- ou par l'apport d'une solution partielle dans le cas d'une compétence affectée d'un fort coefficient.

Niveau C : le candidat reste bloqué dans l'avancement de la tâche demandée, malgré les questions posées par l'examineur. Des éléments de solutions lui sont apportés, ce qui lui permet de poursuivre la tâche.

Niveau D : le candidat a été incapable de réaliser la tâche demandée malgré les éléments de réponses apportés par l'examineur. Cette situation conduit l'examineur à fournir une solution complète de la tâche : par exemple un protocole à réaliser ou des valeurs à exploiter pour permettre l'évaluation des autres compétences du sujet.

Présentation de l'exemple de seconde :

(Voir : http://physique.ac-orleans-tours.fr/dossier_stagiaires/progression_lycee/)

Cette ECE a été conçue pour le cas où la réfraction est introduite en début d'année dans le thème de l'Univers. Dans ce cas, elle serait la première de l'année, et c'est donc la raison pour laquelle nous l'avons plutôt envisagée pour être réalisée par binôme, sur une durée d'une heure et demie.

Cette évaluation intervient après un premier TP sur la loi de Snell-Descartes. Les élèves auraient donc déjà vu la loi et le dispositif de mesure des angles incident et réfracté avec l'hémicylindre. Le but de ce TP est alors de réinvestir ce qu'ils ont déjà vu afin de déterminer l'indice de l'eau.

La problématique est introduite par la situation déclenchante de l'arc-en-ciel (extrait de la page Wikipedia), puis sont donnés trois documents : le premier rappelle la loi de la réfraction (car l'objectif n'est pas d'évaluer sa connaissance, mais plutôt l'utilisation de ce modèle) ; le deuxième rappelle la définition de l'indice de réfraction et sa valeur dans l'air ; le troisième apporte un point « technique » pour calculer le sinus d'un angle dans Open Office.

Les trois domaines de compétences évalués dans ce TP sont :

- Analyser (30 minutes) : les élèves utilisent le modèle de Descartes dans le cas de la lumière entrant dans la goutte, puis proposent un protocole pour déterminer l'indice de l'eau
- Réaliser (30 minutes) : ils réalisent le protocole et reportent les mesures dans le tableur
- Valider (30 minutes) : ils vérifient avec le tableur que les sinus sont proportionnels et en déduisent la valeur de l'indice de réfraction de l'eau.

Ainsi, les coefficients seront de 2 pour chacun des trois domaines de compétences.

Quelques solutions partielles ou totales ont été développées :

- Pour la compétence ANA, les solutions partielles sont données sous forme de fiche « coup de pouce ». On a imaginé le cas de l'élève ne sachant pas utiliser le modèle (on le met sur la piste avec les indices de réfraction), le cas de l'élève ne sachant pas quel protocole proposer (on le renvoie vers le protocole suivi au précédent TP), et le cas de l'élève ne sachant pas quoi faire de ses mesures lors de l'élaboration du protocole (on le met sur la piste en lui faisant exprimer l'indice en fonction des sinus). La solution totale donne le protocole à suivre.
- Pour la compétence VAL, les deux solutions partielles concernent le cas où l'élève ne sait pas comment vérifier la proportionnalité de deux grandeurs et le cas où l'élève ne sait pas comment exploiter ses mesures au moment de la validation. La solution totale donne la grandeur à calculer dans le tableur.

Ces solutions partielles ne sont pas exhaustives, il faudra parfois en « improviser » selon les difficultés rencontrées par les élèves.

Les élèves peuvent utiliser la méthode qu'ils veulent pour vérifier la proportionnalité (graphique, ou rapport des grandeurs). Dans la solution totale, on a choisi la plus simple.

Présentation de l'exemple de Première :

(Voir : http://physique.ac-orleans-tours.fr/lycee/premiere_s/exemples_de_sujets_dece/)

Cette ECE est adaptée d'un protocole figurant dans les ressources académiques de première S, mis au point par Mme Nathalie RÉAU.

Cette ECE intervient très tôt dans l'année puisqu'il s'agit de la deuxième séance de travaux expérimentaux du thème 1 Observer (Couleurs et images). Il s'agit ici non seulement d'évaluer les élèves mais aussi de les former au type d'évaluation qu'ils rencontreront au baccalauréat. C'est pourquoi, cette ECE est prévue pour être réalisée par binôme, sur une durée d'une heure et demie.

Cette évaluation intervient après une première séance de TP sur les fonctionnements comparés de l'œil et de l'appareil photo, séance où a été introduit le matériel qui va être utilisé lors de l'ECE (banc d'optique, lampe, écran, lentille) et où les élèves ont travaillé la formation des images. Une séance d'AP sur l'utilisation du tableur comme outil permettant de modéliser des données a été réalisée la semaine précédant l'ECE, ceci afin de bien s'assurer de la maîtrise de l'outil. La relation de conjugaison et son application ont été abordées en classe entière dans le cours.

La problématique est introduite par une situation déclenchante présentant une vieille affaire criminelle. En 1900, à l'occasion de l'Exposition Universelle de Paris et du 1^{er} Congrès International d'électricité, un scientifique russe, le professeur Constantin PERSKYI, avait été retrouvé inanimé dans la petite salle attenante à la salle des cours de l'École Supérieure d'Électricité quelques minutes avant de faire une conférence. On avait alors retrouvé sur place un verre de lunettes. Parmi les suspects appréhendés, se trouvaient un hypermétrope, un presbyte et un myope. Un scientifique, le professeur TROUVETOUT avait alors prêté main-forte à la justice, imaginant un moyen de démasquer le coupable ; il avait utilisé la relation de conjugaison des lentilles : la police scientifique était née !

Pour information, cette affaire est en partie fictive puisque M. PERSKYI a bien donné lecture d'un exposé à l'École Supérieure d'Électricité (mais il est décédé en 1906 !).

L'objectif de l'activité est de reproduire cette méthode afin de confondre le coupable. On dispose du verre de lunettes retrouvé sur la scène de crime.

Les élèves disposent de trois documents : un extrait du dossier judiciaire présentant les caractéristiques des verres des lunettes portées par les trois suspects, un extrait du cours de Physique du Professeur TROUVETOUT présentant la relation de conjugaison des lentilles (l'objectif n'étant pas d'évaluer sa connaissance, mais plutôt l'utilisation du modèle), un document présentant quelques défauts de l'œil.

Les trois domaines de compétences évalués dans ce TP sont :

- Analyser (30 minutes) : Après avoir analysé les documents et identifié que l'un des coupables était myope alors que le verre dont ils disposent est convergent, les élèves proposent un protocole permettant de déterminer la vergence du verre retrouvé sur la scène de crime afin de confondre le coupable.
- Réaliser (30 minutes) : ils réalisent le protocole et reportent les mesures dans le tableur.
- Valider (30 minutes) : ils exploitent leurs mesures au tableur pour démasquer le coupable.

Ainsi, les coefficients seront de 2 pour chacune des trois compétences.

Il est prévu quatre appels obligatoires de la part des élèves.

- Lors de l'appel 1, le professeur vérifie que les données des documents et que la problématique sont bien comprises.
- Lors de l'appel 2, il vérifie la cohérence du protocole proposé.
- Lors de l'appel 3, il vérifie que le montage est correct, que l'élève est capable d'obtenir une image nette et de donner les mesures algébriques des longueurs \overline{OA} et $\overline{OA'}$.
- Lors de l'appel 4, le professeur vérifie que l'élève est capable d'exploiter ses mesures et d'identifier le coupable.

Quelques solutions partielles ou totales ont été développées :

- Pour le domaine ANA, les solutions partielles sont données sous forme de fiches « coup de pouce » au cas où l'élève ne saurait pas quoi faire, ni quoi mesurer ou bien sous la forme d'apports à l'oral. Une solution totale est prévue pour permettre de poursuivre l'activité malgré les difficultés rencontrées.
- Pour le domaine REA, le professeur observe les élèves pendant la mise en œuvre de leur protocole et fournira si besoin une solution partielle à l'oral adaptée.
- Pour le domaine VAL, les solutions partielles sont données sous forme de fiches « coup de pouce » au cas où l'élève ne saurait pas utiliser le tableur et au cas où il ne saurait pas comment identifier le coupable. Une solution totale est proposée mais il faudra aussi envisager que les élèves puissent utiliser d'autres méthodes de validation et s'adapter à la démarche proposée.

Ces solutions partielles ne sont pas exhaustives, il faudra parfois en « improviser » selon les difficultés rencontrées par les élèves.

Bilan :

Le bilan, réalisé auprès de quatre classes où l'activité a été testée, fait état de l'implication et de la motivation des élèves ainsi que de leur réussite (la moyenne des quatre classes se situe autour de 15,5). Les années passées, nous avons réalisé le TP sur la relation de conjugaison dans une forme plus classique et la motivation des élèves n'était pas la même. Dans la forme classique, l'objectif était de modéliser le comportement de la lentille en établissant la relation de conjugaison. Ici, on est dans la démarche inverse, cette relation devient un outil qu'il faut utiliser ; l'appropriation du modèle n'en est que meilleure !

L'ECE, loin d'engendrer le stress propre à chaque situation d'évaluation, a plutôt entraîné un comportement actif chez les élèves, les mettant en position de relever un vrai défi. Le choix de la situation déclenchante prend tout son sens ici. Il doit être motivé par la recherche d'une situation porteuse de sens permettant de contextualiser le problème tout en créant de la motivation chez les élèves ; ce choix induit alors une problématique qui devient un véritable challenge : démasquer un coupable !

Lors de la construction d'une ECE, on s'attachera donc à choisir une situation déclenchante porteuse de sens et motivante, associée à des documents pertinents pour assurer le succès de la démarche.

Présentation de l'exemple de Terminale :

(Voir : http://physique.ac-orleans-tours.fr/lycee/terminale/terminale_s/)

Dans ce sujet, qui vise à déterminer la concentration d'une solution d'acide chlorhydrique par titrage acido-basique, on demande au candidat de :

- déterminer, à partir de graphiques et d'une liste de matériel, la méthode de titrage la plus appropriée pour répondre au problème posé ;
- suivre un protocole en accord avec le choix précédent et exploiter les résultats obtenus.

Les trois domaines de compétences évalués ici sont :

- S'Approprier : détermination du type de titrage le plus approprié à partir de l'analyse des documents fournis (20 min maximum) ;
- Réaliser : réalisation du protocole imposé par le sujet (30 min maximum) ;
- Valider : exploitation des résultats issus de la manipulation, en vue de répondre au problème posé qui porte sur la précision apportée au titrage (10 min maximum).

Des repères pour l'évaluation sont fournis : exemple de questions ouvertes, solutions partielles ou totales pour les différents domaines de compétences, y compris pour la partie expérimentale. Ces repères ne sont pas exhaustifs, ils donnent une idée de l'évaluation attendue pour ce sujet.

LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES

(Pour cette partie, on se reportera au document EDUSCOL : <http://eduscol.education.fr/pid23213-cid61013/ressources-pour-la-classe-terminale-du-lycee-general-et-technologique.html>)

1. Rappel des caractéristiques propres à une résolution de problème

Lors de la démarche de résolution de problèmes scientifiques, l'élève analyse le problème posé pour en comprendre le sens, construit des étapes de résolution et les met en œuvre. Il porte un regard critique sur le résultat, notamment par l'évaluation d'un ordre de grandeur ou par des considérations sur l'homogénéité. Il examine la pertinence des étapes de résolution qu'il a élaborées ...

Les différentes phases d'une RDP sont donc : analyser un problème posé, construire les étapes de résolution, les mettre en œuvre, porter un regard critique et examiner la pertinence de son travail.

Le document EDUSCOL « Quelques pistes pour la construction d'activités portant sur la résolution de problème » souligne tout particulièrement :

- l'existence d'une situation déclenchante, à l'image d'une démarche d'investigation que les élèves ont rencontrée au collège dans plusieurs disciplines, comme en Sciences Physiques
- les qualités que doit posséder la problématique : elle doit être signifiante, orienter mais ne pas induire une démarche de résolution précise, de formulation courte, posant clairement le problème à résoudre, etc.
- la présence de documents à analyser (EEI) dont certains pourront ne pas être fournis par le professeur mais nécessiteront une recherche de l'élève ; en revanche, l'existence éventuelle de documents peu, voire pas, utiles pour la RDP
- le fait que les connaissances nouvelles nécessaires seront fournies ou trouvées par les élèves mais qu'aucune d'entre elles ne sera exigée.

À noter :

- la différence entre une EEI et une RDP : une RDP comprend toujours une étape d'analyse et d'exploitation de documents ; le contraire n'est pas vrai. L'EEI apparaît alors comme une des composantes d'une RDP ; mais une EEI peut former une activité en soi.
- la différence entre RDP de formation et d'évaluation : dans une RDP d'évaluation, toutes les données nécessaires sont fournies aux élèves qui n'ont pas accès à des ressources en ligne, des encyclopédies, etc. Dans une RDP de formation, certains éléments utiles à la résolution peuvent être absents et doivent être recherchés par les élèves.

En conclusion, la recherche et la formulation d'une situation problème mobilisent des sources variées de situations concrètes en rapport avec la « science qui se construit », celle qui nous entoure, etc.

On trouvera ci-dessous une liste non exhaustive de livres ou de sites utiles.

Bibliographie :

- « La physique par les objets du quotidiens » de Cédric Ray et Jean-Claude Poizat
- Les ouvrages de Jean-Michel Courty, Edouard Kierlick (et Roland Lehoucq) : « Les lois du monde », « Le monde a ses raisons » et « La physique buissonnière ».
- Les clés du CEA que l'on peut télécharger : http://www.cea.fr/le_cea/publications/clefs_cea
- La collection « L'Actualité Chimique Livres » : « La chimie et l'habitat », « La chimie et le sport », « La chimie et la santé », « La chimie et l'alimentation », « La chimie et la mer » et « La chimie et l'art »
- Les ouvrages de Mireille Defranceschi : « « La chimie au quotidien », « Chimie et médicaments », et « La chimie des loisirs »

Sitographie :

- ENS Lyon : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/> et en particulier http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/programmes/Prog_Terminale/specialite
- Pour la Science, et en particulier sa rubrique « idées de physique » http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/i/idees_de_physique.php
- Science et Avenir : <http://sciencesetavenir.nouvelobs.com/>
- Le journal du CNRS : <http://www2.cnrs.fr/journal/>
- Le site « sagascience » du CNRS : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/saga.htm>
- Ressources sur le développement durable : <http://www.education-developpement-durable.fr/>
- Le site du CEA et en particulier les dossiers <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/dossiers>

2. Analyse d'un exemple de RDP de formation (30 min)

Exemple 1 : L'eau de mer à Calvi

Repérage des caractéristiques de l'activité

- Existence d'une situation déclenchante
⇒ L'activité est contextualisée par un court texte et une photo introduisant le problème de la pollution de la mer par l'ammoniac.

- La problématique

Montrer que la teneur en ammoniac de l'eau de mer à Calvi a une valeur satisfaisante.

⇒ Elle est très claire, de formulation courte et pose clairement le problème à résoudre.

- Présence de documents à analyser (EEI)

L'activité s'appuie sur 5 documents dont certains contiennent des informations supplémentaires :

- Document 1 : il donne le seuil de la concentration en ammoniac qui permet de résoudre le problème. Il introduit aussi la notion d'équilibre acido-basique avec l'ammonium. Les autres informations sont inutiles pour résoudre le problème.
- Document 2 : il décrit la réaction permettant de transformer l'ammonium en bleu d'indophénol. Il n'apporte pas d'informations indispensables pour résoudre le problème.
- Document 3 : il donne la droite d'étalonnage $A=f(c)$ obtenue à partir de 6 échantillons, ainsi que l'équation de la droite obtenue par régression linéaire.
- Document 4 : il donne le spectre d'absorption de l'échantillon d'eau de mer ayant subi la transformation de Berthelot. Seule la valeur à 625 nm est intéressante.
- Document 5 : il 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. Seule la valeur du pourcentage d'ammoniac au pH de la mer est intéressante.

⇒ Les documents apportent donc des informations peu utiles pour la RDP

▪ Connaissances nouvelles

Les connaissances nouvelles nécessaires (réaction de Berthelot, équilibre acido-basique) sont fournies dans les documents.

Recherche du (des) raisonnement(s) que l'élève peut mettre en œuvre

▪ Les « valeurs satisfaisantes »

D'après le doc. 1, on trouve dans l'eau de mer des composés azotés dont les ions ammonium dont la teneur est de l'ordre de 0 à 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Cet ion étant acide, l'équilibre acido-basique entraîne donc l'existence de sa forme basique NH_3 , qui elle, est toxique à partir de 0,07 mg.L^{-1} .

⇒ Le but de ce problème est donc de vérifier que l'eau de Calvi a une teneur en ammoniac inférieure à 0,07 mg.L^{-1} , soit 70 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

▪ Principe du dosage

D'après le doc. 2, l'ammoniac, par la réaction de Berthelot, peut réagir avec des ions phénolate pour former le bleu d'indophénol qui absorbe à 625 nm. Un équivalent d'ammoniac réagit pour former un équivalent de bleu d'indophénol.

La réaction de Berthelot ayant lieu en milieu basique, les ions ammonium présents sont transformés en ammoniac, de sorte qu'est dosée la somme des ions ammonium et des molécules d'ammoniac de l'échantillon.

Ainsi, l'ammoniac peut être dosé par spectrophotométrie, une courbe d'étalonnage étant fournie dans le doc. 3.

▪ Détermination de la teneur ammonium + ammoniac de l'échantillon

Le doc. 4 donne le spectre d'absorbance d'un échantillon d'eau de mer de Calvi qui a été traité dans les mêmes conditions expérimentales que celles utilisées pour tracer la droite d'étalonnage du doc. 3.

On relève une absorbance de 0,13 à 625 nm, ce qui, d'après l'équation donnée, correspond à une concentration de 21 ppm, soit 21 $\mu\text{g.L}^{-1}$ d'après le résultat de la régression linéaire du doc. 3.

▪ Détermination de la teneur en ammoniac dans l'échantillon

D'après le doc. 5 qui donne le diagramme de répartition du couple ammonium/ammoniac, et prenant l'estimation de ce même document donnant à l'eau de mer un pH de 8,2, on peut déterminer que 10% des molécules du couple sont sous la forme d'ammoniac, ce qui donne une teneur de 2,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

⇒ **L'eau de Calvi a donc une teneur en ammoniac satisfaisante, car inférieure à 0,07 mg.L^{-1} .**

Autre piste

On peut tout à fait se limiter à un raisonnement s'appuyant sur les ordres de grandeur : en effet, en utilisant le spectre d'absorption, on remonte à une absorbance d'environ 0,13, soit, d'après la courbe d'étalonnage, une concentration de l'ordre de la dizaine de ppm, soit de l'ordre de la dizaine de $\mu\text{g.L}^{-1}$. Le diagramme de répartition des espèces donne une proportion d'environ 10% d'ammoniac, soit un ordre de grandeur de l'ordre du $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nous sommes en deçà de l'ordre de grandeur du seuil maximal : il n'est pas forcément utile d'aller plus loin.

Conditions matérielles associées

En cours de formation, seuls les documents 2 et 5 pourraient être donnés (si les diagrammes de prédominance n'ont pas encore été traités en enseignement spécifique) : les autres informations ou résultats pourraient être recherchés par les élèves (on prend alors de l'eau d'un point d'eau plus proche !).

Ainsi, les élèves devraient rechercher :

- le seuil de concentration en ammoniac pour que l'eau soit satisfaisante
- le pK_A du couple ammonium/ammoniac si le cours a été vu en enseignement spécifique.

Expérimentalement, ils devraient :

- faire une gamme de solutions aqueuses d'ammonium
- réaliser la transformation de Berthelot sur l'échantillon d'eau et sur les solutions de la gamme dans les mêmes conditions expérimentales
- réaliser le spectre d'une solution pour déterminer le maximum d'absorption
- mesurer l'absorbance des solutions pour le λ_{\max} ainsi obtenu.

On peut imaginer qu'il faudrait deux séances de cours pour réaliser cette activité.

Si tous les documents sont donnés, l'activité peut être résolue en moins d'une heure.

Exemple 2 : La dilatation des océans

Trois documents sont proposés aux élèves : une variation de la température de surface de la Terre depuis 1880, le profil de l'océan atlantique, un tableau de valeurs donnant la masse volumique de l'eau en fonction de la température.

Le problème à résoudre est le suivant : est-ce qu'une augmentation de la température de 1°C peut entraîner la disparition des états insulaires du Pacifique ?

Un questionnaire guide les élèves :

1. Estimer la variation du volume d'un kilogramme d'eau liquide consécutif à une augmentation de température de 1°C puis la variation relative de ce volume correspondante.
2. Présenter les étapes du raisonnement permettant d'évaluer numériquement la variation du niveau des océans et le mettre en œuvre.
3. Analyser la valeur numérique obtenue, ainsi que le modèle utilisé.

Pour information, de 10 à 11°C , l'augmentation relative de volume est de 10^{-4} ; elle est de $2 \cdot 10^{-4}$ pour une élévation de température de 19 à 20°C .

Pour une profondeur moyenne des océans de 2000 m, cela entraîne une augmentation de 20 à 40 cm du niveau de l'océan, selon les températures retenues.

Les limites du modèle :

- Cette augmentation de volume dépend-elle de la pression ?
- Est-ce que l'eau de mer a le même comportement que de l'eau pure ?
- Est-ce que l'océan Pacifique a une profondeur moyenne de 2000 m ?
- Quelle est la température moyenne de l'Océan Pacifique ?
- La température de l'océan dépend-elle de profondeur ?
- ...

Analyse de la situation :

Nous sommes dans une situation problème immédiatement compréhensible par les élèves. Elle ne requiert pas de connaissances scientifiques ou mathématiques de TS puisque l'exercice peut être résolu avec des outils mathématiques de collège. On pourra, dans ce cadre, évaluer la capacité des élèves à résoudre un problème en mettant en place une démarche scientifique.

Le questionnaire apparaît parfois trop guidé, car on peut regretter qu'il n'y ait pas une appropriation du problème par les élèves. On aurait pu imaginer une phrase du type : en citant les documents, expliquer en quelques lignes pourquoi le niveau de la mer est susceptible d'augmenter.

La première question qui vise à faire calculer l'augmentation de volume d'un kilogramme d'eau n'est pas naturelle. Spontanément, on est tenté de raisonner sur une augmentation d'un cube d'un mètre de côté ; on ne pense pas forcément à faire un calcul sur une augmentation relative. Cela signifie que certains chemins pour arriver au résultat correct ne sont pas tous permis.

L'élève ne pourra pas répondre à la question « Estimer... », ou difficilement s'il n'est capable de comprendre qu'estimer signifie soit donner un encadrement (faire le calcul à 10°C et 20°C) soit prendre une valeur moyenne, comme 15°C.

On pourrait préférer une question qui montre que le doute est possible : « à partir des données, calculer une valeur numérique donnant un ordre de grandeur de l'élévation du niveau de l'eau. On précisera les hypothèses retenues, on indiquera, le cas échéant, s'il s'agit d'une valeur maximale, minimale ou intermédiaire du phénomène », par exemple.

Les limites du modèle et les prolongements possibles ne sont pas fouillés : comportement de l'eau de mer, température en fonction de la profondeur, dilatation en fonction de la pression, profil de l'océan pacifique, influence de la fonte des calottes glacières...

En prévoyant des documents, on aurait pu poser une question du type : dans le cadre du modèle retenu, déterminer un paramètre pouvant modifier le résultat. Proposer un nouveau modèle et vérifier si le résultat obtenu modifie la conclusion à laquelle aboutit le premier modèle.

3. Comment transformer une EEI en RDP ? (15 min)

Exemple 1 : Les piles à combustibles

(Document source : Hachette Spécialité pages 52-53 et 56-57)

Éléments de correction :

Les piles à combustibles sont un des mots-clés proposés en référence au domaine « Eau et énergie » dans le thème 1 (l'eau).

a. Analyse des documents du livre

Les deux premières pages fournissent un rapide historique des piles à combustibles (doc 1), le principe d'une catégorie de pile intéressante car fonctionnant à base température (doc 2), les trois grands domaines d'applications envisagés aujourd'hui (doc 3), quelques caractéristiques de 6 types de piles (doc 4) et un zoom sur la production de dihydrogène (doc 5). Les deux dernières pages présentent un protocole très guidé permettant une étude expérimentale d'une pile à combustible en deux temps : la production des réactifs nécessaires à la pile et l'étude de la pile en fonctionnement.

b. Recherche d'une situation déclenchante et d'une problématique

Les documents du livre proposent « Comment fonctionne une pile à combustible ? ». C'est à l'évidence une question centrée sur l'objet lui-même et peu ouverte sur le monde contemporain. On pourrait imaginer connecter la question au problème des ressources énergétiques disponibles du type : La pile à combustible : une réponse aux besoins en énergie des sociétés du 3^{ème} millénaire ? La situation déclenchante associée pourrait alors être fournie par le document 3 : les piles à combustibles et leurs applications.

c. Le questionnement associé

Celui proposé par le manuel ne soulève que des points de détail à l'exception de la question 5 (rédiger un texte court décrivant le fonctionnement d'une pile) qui pourrait être complétée par :

Quels sont les problèmes technologiques à résoudre pour rendre la pile à combustible facile à installer dans les différentes applications envisagées ?

Il manque des données quantitatives pour répondre à la question ; les élèves iront les chercher sur la toile : ordre de grandeur de la puissance d'une pile à combustible, durée de vie, etc.

d. Le statut de l'activité expérimentale

La partie B peut être conservée car elle permet d'atteindre les grandeurs énergétiques (dans le cadre d'une expérience de laboratoire donc avec un rendement sans doute très inférieur à celui que l'on peut attendre d'une solution industrialisée).

Exemple 2 : La voix et l'oreille humaine

(Document source : Hachette Spécialité pages 68-69)

Éléments de correction :

La voix et l'acoustique physiologique sont des mots clés proposés en référence au domaine « Émetteurs et récepteurs sonores » du thème 2 (Son et musique).

a. Analyse des documents du livre

Il s'agit d'une étude en deux temps. Trois documents fournissent des informations sur la voix : le document 1 explique comment naît la voix (production par les cordes vocales dans le larynx, rôle des résonateurs) ; les paramètres caractérisant la voix (hauteur, timbre, intensité et tenue) sont rappelés dans le document 2 ; le document 3 en présente les registres (basse, baryton, etc.). Les trois documents qui suivent fournissent des informations sur la réception des sons par l'oreille : le document 4 présente l'oreille et son fonctionnement ; le document 5 présente la sensibilité de l'oreille ; le document 6 sensibilise le lecteur aux dangers du bruit. L'objectif est d'expliquer en quoi l'oreille est adaptée à la voix.

b. Recherche d'une situation déclenchante et d'une problématique

Les documents du livre proposent « Comment la voix est-elle créée et comment l'oreille capte-t-elle les sons ? ». Ce sont là des questions centrées sur les notions de voix et d'oreille et peu ouvertes sur le monde contemporain et les préoccupations de nos élèves.

On pourrait imaginer la situation déclenchante suivante : Alain se rend à un concert d'AC/DC dont il est un fan absolu. Revenu du concert, il découvre que ses oreilles sifflent. A quoi cela est-il dû ? Ce trouble auditif sera-t-il permanent ? Il se demande alors si cela est dû à la voix de Brian Johnson. D'ailleurs elle est étrangement perchée cette voix ! Aurait-il eu le même problème si Barry White avait été au micro ? Tiens, au fait, comment se fait-il qu'elles soient si différentes ces deux voix là ?

On pourrait alors introduire une double problématique en deux temps : dans un premier temps, on cherchera à comprendre le principe de la formation de la voix et à expliquer l'individualité de la voix humaine. On cherchera ensuite à comprendre le fonctionnement de l'audition et à étudier l'impact des sons sur le système auditif humain.

c. Le questionnement associé

Celui proposé par le manuel (bas de page 69) permet de s'assurer que les informations des documents ont bien été comprises, mais guide trop les élèves dans la démarche. On pourra garder mais reformuler la question 3 afin d'induire le recours à une démarche expérimentale : « Comment expliquer que les voix de Brian Johnson et de Barry White soient différentes ? Après vous être interrogés sur le principe de formation de la voix, vous mettrez en place une expérience permettant d'illustrer ces différences ».

La question 5 pourrait aussi être modifiée ainsi : « Quels sont les deux paramètres à prendre en compte pour évaluer la nocivité d'un son ? ». On pourrait supprimer le document 2 si les notions ont été abordées en enseignement spécifique.

On pourrait aussi proposer aux élèves de rechercher des informations sur les niveaux d'intensité sonore lors d'un concert, sur la législation, sur les troubles auditifs ...

d. Le statut de l'activité expérimentale

Une analyse spectrale permettant de comparer les voix de deux élèves choisis dans la classe aurait tout son sens ici.

