

Les activités documentaires en physique-chimie au collège, au lycée et en CPGE

Introduction	2
1. Quels sont les contours d'une activité documentaire ?	2
1.1. Les activités documentaires dans les programmes	2
1.2. Les objectifs d'une activité documentaire	3
2. Comment construire une activité documentaire ?	5
2.1. Le choix des documents : une étape déterminante	5
2.2. Un questionnement réfléchi et précis.....	6
3. Comment former les élèves aux activités documentaires ?	7
3.1. Une mise en activité des élèves	7
3.2. Une analyse de la nature des documents par les élèves.....	8
3.3. L'apport d'aides personnalisées	8
4. Comment évaluer les productions des élèves ?	9
4.1. Une tâche évaluée par compétences	9
4.2. L'évaluation des productions	9
5. Banque de ressources	11
5.1. Bibliographie – Sitographie.....	11
5.2. Présentation des exemples d'activités documentaires	11
5.3. Exemples d'activités documentaires.....	12
Annexe 1 : les activités documentaires dans les programmes et les examens	164
Annexe 2 : des capacités associées aux activités documentaires à l'élaboration des questions	171
Annexe 3 : membres du groupe de recherche et d'innovation pour l'enseignement des sciences physiques (GRIESP) en 2014-2015.....	173

Les activités documentaires en physique-chimie au collège, au lycée et en CPGE

Introduction

Une activité documentaire est une tâche complexe s'appuyant sur un ou des documents de nature scientifique. Le recours à ce type d'activités – parmi d'autres – favorise non seulement l'acquisition par l'élève de connaissances et de capacités, en lien avec des objectifs relevant des programmes, mais contribue aussi à former l'élève à la démarche scientifique.

Un ensemble de ressources est mis à disposition des enseignants et formateurs dans ce document ; elles correspondent à des niveaux d'enseignement allant du collège aux classes préparatoires aux grandes écoles. Ces activités ont pratiquement toutes été testées avec des élèves selon des modalités diverses (dans le cadre de la formation, en évaluation ou en accompagnement personnalisé). Plusieurs variantes d'une même activité documentaire sont proposées, avec parfois des documents différents, mais surtout avec un questionnement adapté aux objectifs visés. Les compétences mobilisées par ces activités sont décrites avec une attention particulière portée à la compétence « s'approprier » qui est essentielle à la réussite par les élèves d'une activité documentaire. Des fiches d'aides sont présentes et la problématique de l'évaluation est abordée à travers des exemples de productions d'élèves qui sont évaluées par compétences.

Un texte de présentation accompagne l'ensemble des ressources ; il vise à définir les contours d'une activité documentaire, à fournir des éléments pour aider à sa construction, à donner des pistes pour former les élèves et pour évaluer leurs productions.

1. Quels sont les contours d'une activité documentaire ?

1.1. Les activités documentaires dans les programmes

De nombreux textes officiels font référence aux activités documentaires¹.

Au collège

Au collège, les activités documentaires contribuent à l'acquisition de savoir-faire identifiés dans le nouveau socle² commun de connaissances, de compétences et de culture, notamment dans le domaine 1 : « *les langages pour penser et communiquer* », le domaine 2 : « *les méthodes et outils pour apprendre* » et le domaine 4 : « *les systèmes naturels et les systèmes techniques* ».

Au lycée

Les programmes de lycée des filières générales, technologiques et professionnelles se réfèrent à des activités documentaires pour extraire, exploiter des informations et contribuer à faire acquérir aux élèves les capacités et compétences attendues ou exigibles.

Ainsi, l'extrait du préambule du programme³ de la classe de terminale S stipule : « *Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles*

¹ On pourra se reporter à l'annexe 1.

² On pourra se référer au décret n° 2015-372 du 31-3-2015 - J.O. du 2-4-2015.

³ On pourra se référer à l'arrêté du 12-7-2011 - J.O. du 20-9-2011.

moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc. L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. Cette formalisation pourra conduire à l'établissement des équations du modèle puis à leur traitement mathématique, numérique ou graphique. ». Ce texte illustre, au travers de la nature des exemples cités, comme des exploitations proposées, l'idée que les tâches demandées aux élèves doivent mobiliser des compétences de la démarche scientifique et comporter des phases d'analyse, de raisonnement et de modélisation.

En classes préparatoires aux grandes écoles

Les nouveaux programmes⁴ des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) introduisent explicitement les activités documentaires, en identifiant précisément des thèmes à traiter par le professeur et les compétences mobilisées par ce type d'activités.

1.2. Les objectifs d'une activité documentaire

Des documents comme support de la thématique étudiée

Actuellement, il apparaît que la majorité des activités qui s'appuient sur des documents sont créées par le professeur à partir de textes portant sur une thématique abordée dans le cadre du programme.

En formation, l'utilisation de documents en classe vise à créer un cadre motivant – un contexte – et sert de support à la découverte de nouvelles notions par l'élève : l'objectif principal visé dans ce cas est l'extraction d'informations pour construire de nouveaux « objets scientifiques » : notions, propriétés, modèles, valeur d'une grandeur, etc.

L'utilisation de documents apparaît aussi dans les évaluations ; les textes proposés servent à contextualiser la situation étudiée ou à apporter des données et des informations complémentaires aux connaissances exigibles du programme, à l'instar de ce que l'on trouve dans les exercices proposés dans les examens⁵ (baccalauréat) et dans les concours (concours général des lycées, concours d'entrée dans les grandes écoles, etc.).

L'activité documentaire comme support de la formation à la démarche scientifique

L'utilisation de documents et d'un questionnement associé constitue une activité documentaire si elle permet de développer, dans un contexte scientifique, des compétences liées à la recherche, à l'extraction et à l'exploitation – organisation, analyse, synthèse – de l'information recueillie ou fournie. Avec le développement de ces compétences, essentielles pour le scientifique comme pour le citoyen, les élèves sont ainsi progressivement habitués à apprendre et à se cultiver par eux-mêmes dans la perspective d'une formation tout au long de la vie.

La grille ci-dessous présente les principales capacités visées par les activités documentaires, associées aux compétences de la démarche scientifique. La liste n'est pas exhaustive et les capacités ne sont pas hiérarchisées.

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	Dégager la problématique principale d'un ensemble de documents. Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie. Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...).

⁴ Les nouveaux programmes de seconde année des classes préparatoires aux grandes écoles sont publiés dans le bulletin officiel spécial n°1 du 23 janvier 2014.

⁵ On pourra se reporter à l'annexe 1.

	Extraire des informations de différents documents scientifiques (texte, graphe, tableau, schéma). ...
Analyser (ANA)	Relier, trier et organiser qualitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents. Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse. Identifier les idées essentielles et leurs articulations. Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence dans des documents faisant appel à des registres différents. ...
Réaliser (REA)	Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique. Tracer un graphe à partir de données. Utiliser une échelle. Réaliser des calculs analytiques ou numériques. Décrire un phénomène à travers la lecture d'un tableau ou d'un graphe. Schématiser une situation (dispositif, expérience...) ...
Valider (VAL)	Faire preuve d'esprit critique. Repérer les points faibles d'une argumentation dans un document (contradiction, partialité, incomplétude). Confronter le contenu de documents avec ses ressources internes (connaissances, savoir-faire) ou des ressources externes (bibliographie, Internet, pairs, professeur...) Estimer des ordres de grandeurs et procéder à des tests de vraisemblance. Discuter la fiabilité des sources. Apprécier la validité d'une information, d'une hypothèse, d'une propriété, d'une loi, d'un modèle... ...
Communiquer (COM)	Rédiger/présenter, une analyse, une argumentation... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique). Rédiger la synthèse d'un document scientifique en effectuant un changement de registre (texte, schéma, carte mentale...) Utiliser comme support de présentation des outils numériques. Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques... ...

Tableau 1 – Principales capacités visées par les activités documentaires.

La maîtrise de la langue française, un objectif important du collège

Eu égard à l'importance dans le domaine 1 du socle commun de la composante « *Comprendre, s'exprimer en utilisant la langue française à l'oral et à l'écrit* »⁶ et de la composante « *Comprendre, s'exprimer en utilisant les langages scientifiques* », un travail sur la maîtrise de la langue française pourra être proposé dans les activités documentaires en physique-chimie, conjointement à celui portant sur la maîtrise des langages, connaissances et démarches scientifiques.

⁶ « Il [l'élève] adapte sa lecture et la module en fonction de la nature et de la difficulté du texte. Pour construire ou vérifier le sens de ce qu'il lit, il cherche et extrait avec pertinence et de façon critique des informations issues de différentes sources. Il découvre le plaisir de lire. L'élève s'exprime à l'écrit pour raconter, décrire, expliquer ou argumenter de façon claire et organisée. Lorsque c'est nécessaire, il reprend ses écrits pour rechercher la formulation qui convient le mieux et préciser ses intentions et sa pensée. » (Extrait du nouveau socle commun de connaissances, de compétences et de culture – BO n°17 du 23 avril 2015).

Après avoir appris à lire, on doit amener l'élève à « lire pour apprendre » et « apprendre à apprendre » ; le travail sur les documents scientifiques peut contribuer à développer ces compétences. Pour faciliter la compréhension des textes afin de pouvoir en utiliser le contenu scientifique, il peut être proposé des tâches écrites et orales aux élèves, portant par exemple sur :

- du lexique autour de la polysémie, de l'étymologie, des champs lexicaux, des synonymes, des antonymes, ... ;
- des articulations du discours comme par exemple, les conjonctions relatives à l'argumentation : or...donc, car, parce que, si...alors ;
- du décodage de l'implicite.

De nombreuses ressources ont été élaborées en académie à ce propos et sont téléchargeables sur les sites académiques⁷.

2. Comment construire une activité documentaire ?

Il n'est pas essentiel pour le professeur de chercher à différencier une activité documentaire d'une résolution de problème utilisant des documents. La spécificité d'une résolution de problème réside sans doute dans un cahier des charges très précis, dans une appropriation relativement aisée de la problématique et dans une place importante réservée à la mobilisation ou à la construction d'un modèle, à l'analyse et à la validation.

2.1. Le choix des documents : une étape déterminante

Les documents utilisés peuvent revêtir **des formes très plurielles** – texte, extrait vidéo ou audio, compte-rendu d'expérience, conférence, etc.

Les documents fournis aux élèves doivent être les plus **scientifiques** possibles. Il est souhaitable qu'y apparaissent les différentes formes de langages scientifiques⁸ : graphes, allures de courbes, équations, schémas expérimentaux, photos, symboles, etc. afin que l'élève acquière la capacité d'« identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes »⁹.

Dans le but de former les élèves à la lecture critique et à l'appropriation de documents réels, les documents doivent aussi être les plus « **authentiques** » possibles (c'est-à-dire avoir été peu transformés). Cependant, afin de faciliter leur appropriation, il est **parfois nécessaire de « didactiser »** les documents en réécrivant plus simplement des parties délicates¹⁰, notamment pour clarifier ce qui pourrait s'avérer trop implicite, pour enlever des informations inutiles ou encore pour organiser différemment les données¹¹. Il est toutefois recommandé d'éviter tout découpage excessif des documents pour ne pas rendre l'activité caricaturale, par exemple avec une succession de documents n'apportant qu'une seule information explicite chacun. Ainsi, si l'activité a pour objectif l'acquisition de nouvelles connaissances en autonomie par les élèves (par exemple dans le cadre d'une pédagogie de type « classe inversée »), il est souhaitable que les documents ne soient pas trop compliqués, contiennent peu d'informations inutiles et soient rédigés de manière rigoureuse pour favoriser l'apprentissage. En revanche, si l'activité a pour objectif l'illustration ou l'approfondissement d'une notion connue ou l'étude des limites d'un modèle, les documents peuvent être non transformés, et on peut même accepter qu'une petite

⁷ Par exemple : des outils pour repérer les spécificités du discours scientifique : <http://spc.ac-amiens.fr/spip.php?article319>

⁸ Il convient de montrer aux élèves que l'existence de langages scientifiques dans un texte n'est pas le garant de fondements scientifiques validés par une communauté d'experts reconnus : le cas des textes créationnistes est emblématique de ce point de vue.

⁹ Capacité associée à la compétence « s'approprier » du tableau 1. (voir en particulier la ressource intitulée « Les pendules »).

¹⁰ Confer par exemple dans la ressource intitulée « Les pendules » qui propose deux versions de textes : D1 et D2.

¹¹ Confer par exemple dans la ressource intitulée « La synthèse de Merrifield » qui propose deux présentations de données : 1 et 2.

partie du texte ne soit pas totalement accessible à l'élève si cela ne l'empêche pas de répondre aux questions posées.

D'autres points de vigilance concernant les documents sont à considérer au moment de leur choix :

- leur **pertinence** : tous les textes scientifiques ne sont pas adaptés à la création d'une activité documentaire. Dans ce cadre, l'intérêt d'un texte n'est pas forcément à trouver dans la contextualisation qu'il permet, mais plutôt dans son potentiel à servir de support à un questionnement scientifique pertinent ;
- leur **longueur** : il convient de veiller à la longueur des documents à lire et à décoder. Une activité documentaire n'a pas forcément besoin de textes longs ;
- **un seul document** peut tout à fait suffire s'il comporte en son sein des éléments suffisants pour proposer une analyse ambitieuse¹².

2.2. Un questionnement réfléchi et précis

Il peut être utile, au début de l'activité, de préciser un ou plusieurs de ses objectifs, de proposer une problématique générale ; cela peut permettre aux élèves d'avoir un fil conducteur pour éclairer leur appropriation des documents.

Après un choix judicieux des documents, il convient d'assurer un caractère résolument scientifique au questionnement proposé aux élèves dans le cadre de la physique-chimie, sans bien entendu exclure les interfaces avec les autres disciplines toujours sources d'enrichissements.

Concernant l'extraction et l'exploitation d'informations, il est indispensable de **ne pas se limiter à des extractions directes d'informations explicites**¹³ (valeur d'une grandeur, propriétés d'une grandeur, illustration d'un phénomène, etc.) sans exploitation de ces dernières. Par contre, une extraction amenant l'élève à **changer de registre** (comme la production d'un graphique lorsqu'on dispose d'un ensemble de données par exemple, ou encore le commentaire d'un graphe) peut être proposée lorsque cela est possible car elle mobilise les différents langages du scientifique¹⁴.

L'importance de la phase d'appropriation des documents par l'élève, pour la réussite ultérieure de l'activité, conduit à accorder une place particulière à **la compétence « s'approprier »**. Pour faciliter l'appropriation de documents complexes, une stratégie peut consister à proposer des questions spécifiquement dédiées à la mise en œuvre de cette compétence. Ainsi, dans la banque de ressources qui suit, les versions « initiation » proposent souvent des questions spécifiques pour faciliter l'appropriation des documents avant de procéder à leur analyse, tandis que dans les versions « confirmé », ces questions sont moins nombreuses, voire absentes¹⁵. Quand les questions relatives à l'appropriation ne sont pas présentes, la compétence « s'approprier » est tout de même mobilisée par l'élève¹⁶, de manière autonome, afin de répondre aux autres questions ; le niveau de difficulté attribué à la compétence est alors plus grand.

Il est recommandé, pour construire le questionnement, d'**utiliser les compétences** de la démarche scientifique rappelées dans le tableau 1. L'annexe 2 propose, à partir d'un texte d'Hervé

¹² Confer par exemple dans les ressources intitulées « « élaboration du zinc » ou « laser ».

¹³ Cela amène à produire souvent une réponse sous forme textuelle à partir d'un texte et correspond à une activité de type « copier-coller » qui n'active pas de compétences scientifiques.

¹⁴ Confer par exemple la ressource intitulée « Elaboration du zinc » qui, à partir d'un texte descriptif, demande la création d'une diapositive présentant de manière schématique ce processus industriel présente un exemple de mobilisation de la capacité « Rédiger la synthèse d'un document scientifique en effectuant un changement de registre (textes, schémas, carte mentale, ...) » (COM) du tableau 1 des capacités.

¹⁵ Confer par exemple la ressource intitulée « Les pendules » qui propose deux versions de questionnement : Q1 et Q2.

¹⁶ C'est l'importance de la compétence « s'approprier » qui différencie une activité documentaire d'un exercice à caractère documentaire ; dans ce dernier, les documents sont là pour contextualiser l'étude et pour apporter quelques informations qualitatives ou quantitatives qui sont extraites et utilisées.

This, des exemples de questions organisés par compétences et construits à partir des capacités du tableau 1.

Si, dans l'élaboration de son questionnement, le professeur a effectué ce travail d'identification des capacités ou compétences, il n'a pas nécessairement à le communiquer aux élèves au moment où ces derniers réalisent l'activité. Cependant, lors de la correction, les critères de réussite peuvent être présentés dans un tableau comportant les compétences mobilisées, ce qui permet une évaluation par compétences¹⁷. De même, dans une approche formative, le professeur peut expliciter aux élèves les compétences ou les capacités associées à chaque question. Ceci permet à chaque élève de connaître ses acquis et les compétences qu'il lui faut encore développer.

3. Comment former les élèves aux activités documentaires ?

La formation des élèves aux activités documentaires débute au collège et se poursuit jusqu'à l'enseignement supérieur. Ce continuum de formation s'appuie sur les notions du programme et participe à la construction et au développement progressif des compétences de la démarche scientifique, dans une recherche d'autonomie de plus en plus grande à développer chez les élèves.

Le professeur dispose alors clairement de deux leviers sur lesquels agir pour construire cette progressivité dans les apprentissages : les documents – diversité, complexité des registres utilisés, accessibilité, etc. – et la nature du questionnement – nombre et précision des questions posées, nature des tâches demandées, autonomie requise dans l'appropriation et dans l'analyse de ces documents, etc.

3.1. Une mise en activité des élèves

Une inquiétude formulée par les professeurs vis-à-vis des activités documentaires concerne leur caractère chronophage. S'il est possible de conduire ce type d'activités lors des enseignements d'exploration, des travaux personnels encadrés (TPE) ou de l'accompagnement personnalisé, il est également possible de les intégrer régulièrement dans les séances de physique-chimie.

La difficulté et la durée de lecture des documents sont à prendre en compte lors de la conception d'une activité documentaire et du scénario pédagogique associé. L'anticipation d'une gestion correcte du temps accordé à chaque phase d'étude facilite la réussite de l'activité. Une première appropriation des textes, graphes ou schémas fournis peut être utilement opérée en amont, en dehors de la classe ; une exposition régulière des élèves à ce travail préparatoire est souhaitable.

La première phase de lecture des documents est toujours individuelle, chaque élève ayant son propre rythme d'appropriation.

La poursuite de l'activité documentaire peut revêtir des modalités différentes :

- en présentiel ou en dehors de la classe ;
- individuel ou par groupe.

La production d'un élève ou d'un groupe d'élèves peut avoir plusieurs formes :

- écrite ou orale, en utilisant éventuellement des outils numériques ;
- individuelle ou par groupe.

¹⁷ Cette évaluation par compétence est présentée au paragraphe 4.

Dans le cadre d'un travail en groupe, une organisation qui privilégie la constitution de groupes de trois ou quatre élèves offre l'opportunité de multiplier les regards et les savoir-faire pour résoudre la problématique à travers les questions posées. Le rôle du professeur est de réunir les conditions pour favoriser une collaboration effective des élèves à l'intérieur du groupe et pour permettre aux idées de s'échanger le plus librement possible, et aux productions d'être réalisées de manière constructive. Le degré d'autonomie étant variable d'un élève à l'autre, la constitution des groupes mérite d'être étudiée par le professeur, non pas pour constituer des groupes de niveaux, mais pour élargir le champ des intelligences et des compétences, voire des motivations.

Lorsque la phase de restitution est collective, la forme du débat peut être utilisée pour :

- accroître les interactions entre élèves ;
- montrer la diversité des approches¹⁸ ;
- travailler la qualité de l'écoute mais aussi de l'argumentation orale ;
- inciter les élèves à porter un regard critique et bienveillant sur les productions des autres groupes.

Comme pour toute séance, il est souhaitable que le scénario pédagogique soit soigneusement établi par le professeur, la gestion du temps bénéficiant d'une réflexion en amont et d'un contrôle en cours de séance et le scénario alternant, dans un mode dynamique, des moments de recherche individuelle ou en groupe et des temps de partage au cours desquels différentes approches sont présentées pour en montrer la variété et pour institutionnaliser les nouvelles connaissances produites.

3.2. Une analyse de la nature des documents par les élèves

L'information étant accessible en grande quantité, il est essentiel de s'interroger sur le degré de pertinence et de justesse qu'on peut attendre *a priori* d'un document. Cela permet d'aider les futurs citoyens à acquérir une méthode d'analyse et un esprit critique devant la multiplicité des points de vue qui s'expriment parfois sur certains sujets et ne reposent pas toujours sur des bases scientifiques.

Ainsi, lors de la phase d'appropriation, il peut être utile d'amener les élèves à se poser les questions suivantes :

- qui a produit le document ?
- quand a été produit le document ?
- pour qui a été produit le document ?
- comment vérifier la qualité scientifique du document ?

Un travail avec le professeur documentaliste peut alors s'avérer judicieux.

3.3. L'apport d'aides personnalisées

L'hétérogénéité des élèves est souvent vécue comme un frein pédagogique. Cette hétérogénéité dans les savoirs, comme dans les capacités, peut alors être gérée :

- de manière individuelle par une différenciation pédagogique, en proposant des versions différentes d'une même activité (authentique ou en donnant la même activité à la classe mais en apportant des aides personnalisées au moment opportun), le professeur focalisant alors son attention au cours de la formation sur les élèves les plus en difficulté ;

¹⁸ Les outils numériques pédagogiques, en particulier les TNI et VPI seront utilisés pour accroître les interactions et la mutualisation des propositions de réponses. De plus, en les combinant à une tablette numérique ou à un appareil photo numérique, il est possible de projeter la production d'un groupe d'élèves pour que la classe puisse en faire une analyse critique constructive ou pour comparer plusieurs démarches.

- par la constitution de groupes au sein desquels les aides que peuvent s'apporter mutuellement les élèves pour accomplir la tâche sont souvent pertinentes et précieuses pour opérer un accompagnement vécu comme un compagnonnage¹⁹.

Des fiches d'aides peuvent être préparées à l'avance, que le travail soit individuel ou en groupe. Ces aides ne se substituent pas aux interactions que peut avoir le professeur avec le ou les élèves ; elles en constituent simplement une autre forme.

Lors des évaluations, l'enseignant doit être particulièrement attentif à la manière dont la compétence « s'approprier » est mobilisée car elle impacte directement la réussite ultérieure de l'activité.

4. Comment évaluer les productions des élèves ?

4.1. Une tâche évaluée par compétences

L'activité documentaire, tout comme la résolution de problème, est une tâche complexe qui nécessite, de la part de l'élève, la mobilisation de connaissances, de savoir-faire acquis et l'exploitation d'informations apportées par les documents.

La variabilité des productions des élèves pour répondre à la problématique de l'activité documentaire permet d'envisager une évaluation par indicateurs de réussite que l'on peut choisir d'organiser par compétences, selon une procédure analogue à celle d'une résolution de problème²⁰. Comme pour les autres activités scientifiques proposées aux élèves, les compétences retenues pour les activités documentaires sont celles relatives à la démarche scientifique²¹. Rappelons que la compétence « s'approprier » y occupe une place privilégiée car elle conditionne souvent la réussite de l'activité.

Dans une activité documentaire donnée, le professeur peut choisir de ne faire travailler ou de n'évaluer que certaines compétences ou capacités. En revanche, la compétence « s'approprier » doit y être systématiquement travaillée et/ou évaluée.

4.2. L'évaluation des productions

L'identification des indicateurs de réussite

Le professeur identifie, dès la conception de l'activité, les indicateurs de réussite relatifs à chaque question. Il s'agit des principaux éléments, de natures variées, susceptibles d'être présents dans les réponses aux questions ou dans la production globale et qui attestent de la réussite de la question ou de l'activité. Ces exemples d'indicateurs de réussite sont organisés dans un tableau structuré autour des cinq compétences de la démarche scientifique²².

Une évaluation par niveau de maîtrise des compétences

Le choix a été fait d'une évaluation qui s'appuie sur l'attribution d'un niveau de maîtrise pour chaque compétence en positionnant la production de l'élève au regard des indicateurs de réussite précédemment identifiés. Cette évaluation a l'avantage de permettre à l'élève d'identifier ses réussites et les différents points à consolider.

¹⁹ Cf. par exemple la ressource intitulée TER Alsace en Troisième.

²⁰ Les travaux menés à propos de l'évaluation de la résolution de problème peuvent donc être transférés à l'évaluation des activités documentaires : « Résoudre un problème de la seconde à la terminale » : http://eduscol.education.fr/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/PDF/resolution_problemes_Griesp.pdf

²¹ Compétences listées dans le tableau 1.

²² Dans toutes les ressources proposées dans ce document, des indicateurs de réussite sont identifiés et classés.

Ce niveau de maîtrise est apprécié selon quatre niveaux :

- niveau A : Les indicateurs de réussite apparaissent dans leur (quasi) totalité ;
- niveau B : Les indicateurs de réussite apparaissent partiellement ;
- niveau C : Les indicateurs de réussite apparaissent de manière insuffisante ;
- niveau D : Les indicateurs de réussite ne sont pas présents.

Le tableau ci-dessous est un exemple, il permet de synthétiser le travail d'évaluation.

	Exemples d'indicateurs de réussite pour le niveau A	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	- - ...					
Analyser	- - ...					
Réaliser	- - ...					
Valider	- - ...					
Communiquer	- - ...					

Tableau 2 - Évaluation par compétence

Le passage éventuel à une note chiffrée

Dans le cadre d'une évaluation sommative, on peut attribuer, selon la nature de l'activité, un poids relatif pour chaque compétence, comme cela se pratique lors de l'évaluation des compétences expérimentales ou de la résolution de problème.

Certaines activités documentaires présentes dans ce document proposent des exemples d'attribution de niveau de maîtrise de compétences et de notes chiffrées pour quelques productions d'élèves.

Une autoévaluation possible

Les élèves peuvent être associés à l'évaluation par compétences. Il faut alors leur permettre d'identifier leurs points de réussite et ceux qui font défaut dans leurs productions en leur fournissant la grille de compétences ainsi que les critères explicites de réussite. On peut également envisager une évaluation par les pairs.

5. Banque de ressources

5.1. Bibliographie – Sitographie

- Dalcq, A.-E., Englebert, A., Uyttebrouck, E., Van Raemdonck, D & Wilmet, B. (1999). *Lire , comprendre, écrire le français scientifique* , De Boeck Université.

- Feller, I. (2009). [Usage scolaire de documents d'origine non scolaire en sciences physiques : éléments pour un état des lieux et étude d'impact d'un accompagnement ciblé en classe de seconde](#). Thèse de doctorat, Université Paris Diderot, Paris 7. En ligne :

https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/366318/filename/These_Ivan_FELLER_op.pdf

- Revue Aster, 2001, n° 33, « Écrire pour comprendre les sciences ». En ligne :

<http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/aster/RA033.pdf>

- Sur le site de l'académie d'Amiens :

Des outils pour repérer les spécificités du discours scientifique :

<http://spc.ac-amiens.fr/spip.php?article319>

Maîtriser la langue en sciences expérimentales : http://spc.ac-amiens.fr/sites/spc.ac-amiens.fr/IMG/pdf/Outils_pour_travailler_sur_des_textes_scientifiques_version_en_ligne.pdf

Recueil de textes pour maîtriser la langue française en sciences : http://spc.ac-amiens.fr/sites/spc.ac-amiens.fr/IMG/pdf/annexe_recueil_de_documents_commentes_version_en_ligne.pdf

5.2. Présentation des exemples d'activités documentaires

Ce document offre quelques exemples d'activités documentaires, du collège à la deuxième année de CPGE. Ces activités ont pratiquement toutes été testées dans les classes. Il s'agit d'exemples illustrant un champ des possibles dans divers domaines de la physique et de la chimie, mais ne visant pas l'exhaustivité et n'ayant pas vocation à être normatifs.

Chaque ressource proposée identifie, dans sa fiche de présentation, les compétences et les capacités caractéristiques de l'activité. Ces capacités sont mobilisées à travers des questions spécifiques, les documents étant adaptés pour le faire. Deux ou trois versions de complexité ou de difficulté différentes sont souvent proposées : niveau « initiation », niveau « confirmé » et niveau « expert ». Ces versions diffèrent par le questionnement choisi et/ou par une didactisation des documents. Certaines ressources, à partir d'un même document, proposent un questionnement possible en lycée et un prolongement en CPGE.

Toutes ces ressources sont structurées de la même manière. Elles comportent successivement :

- un résumé de l'activité ;
- l'extrait de programme concerné ;
- les principales compétences et capacités visées ;
- la nature des documents ;
- l'analyse des différentes versions avec attribution des niveaux de difficulté aux compétences mobilisées ;
- les différentes versions de l'activité élève (fiche 1) ;

- des aides (fiche 2) ;
- des éléments de réponse (fiche 3) ;
- des exemples d'indicateurs de réussite (fiche 4) ;
- des exemples de productions d'élèves et d'attribution de niveaux de réussite (fiche 5) quand ils sont joints.

Les différents exemples proposés dans le document figurent dans le tableau ci-dessous.

Intitulé	Classe	Description sommaire	Nombre de versions	Page
SOUFFLE	4 ^{ème}	Dégager une problématique, analyser les idées essentielles d'un texte de vulgarisation, réaliser des calculs et adopter un esprit critique.	1	13
TER ALSACE	3 ^{ème}	S'approprier et analyser des documents de natures différentes ; réaliser un calcul de vitesse ; porter un regard critique sur la nature des informations fournies.	3	20
KOUROU	3 ^{ème}	Mettre en relation des informations pour justifier le choix stratégique de la base de lancement européenne de Kourou.	2	35
PENDULES	TS	Étudier, à l'aide de documents de registres différents, les paramètres qui influent sur la période d'oscillations d'un pendule simple.	4	44
EXOPLANETES	TS	Expliquer les différentes méthodes de détection à l'aide de schémas et de graphes (changement de registre).	3	63
ECHOGRAPHIE	TS	Montrer l'importance du choix de la fréquence d'émission d'une sonde échographique et trouver l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé avec la sonde.	2	78
MERRIFIELD	TS et BCPST1	Comprendre le procédé de la synthèse de Merrifield qui permet de synthétiser des polypeptides après une suite de protections et de déprotections.	2	94
STEREOISOMERIE	TS et BCPST1	Utiliser un modèle de reconnaissance chirale, puis en discuter la pertinence.	2	111
ZINC	TS spécialité	Réaliser une communication scientifique sous la forme d'une diapositive à partir d'informations scientifiques textuelles.	2	125
LASER	TS, PCSI et PC	S'approprier un article de vulgarisation scientifique et réaliser des calculs utilisant des données issues du document	3	141

Tableau 3 - Liste des ressources présentées

5.3. Exemples d'activités documentaires

Un soufflé qui ne manque pas...d'eau !

Niveau : **quatrième**

Thème : Une description moléculaire pour comprendre

Résumé de l'activité :

Les objectifs de cette activité sont :

- interpréter, à l'échelle microscopique, les changements d'états physiques ;
- traduire, sous forme de schémas, une suite d'étapes de transformation.

Programme

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Les trois états de l'eau à travers la description moléculaire : - L'état gazeux est dispersé et désordonné ; - L'état liquide est compact et désordonné ; - L'état solide est compact, les solides cristallins sont ordonnés.	Utiliser la notion de molécules pour interpréter les différences entre les trois états physiques de l'eau.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	- Extraire une information de document scientifique
Analyser (ANA)	- Identifier les idées essentielles et leurs articulations. - Relier, trier et organiser qualitativement différents éléments du document - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.
Réaliser (REA)	- Schématiser une situation
Communiquer (COM)	- Illustrer son propos par des schémas (en réalisant un changement de registres)

Nature et origine des documents

Un texte d'Hervé This est étudié dans cette activité. Il est issu du n° 212 de Sciences Ouest. Il présente de façon qualitative et quantitative, les raisons pour lesquelles un soufflé gonfle.

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions de cette activité documentaire sont proposées avec des niveaux relatifs de difficultés différentes.

Compétences	Niveaux de difficultés		
	Version 1 (niveau « initiation »)	Version 2 (niveau « intermédiaire »)	Version 3 (niveau « confirmé »)
S'approprier (APP)	2	2	3
Analyser (ANA)	2	2	3
Réaliser (REA)	1	1	2
Communiquer (COM)	1	2	3

Description des différentes versions de l'activité

Les trois versions proposées de cette activité documentaire s'appuient sur le même document mais diffèrent par le questionnement.

La version 1 accompagne l'élève dans la compréhension des différentes phases de raisonnement. Ainsi, la présentation de réalisation de la synthèse sous forme de schéma est facilitée.

La version 2 pointe les différentes étapes d'analyse du document proposé mais laisse à l'élève davantage d'autonomie dans la présentation de la synthèse. La transformation physique est ciblée, les détails enrichissant celle-ci ne sont pas attendus dans cette version.

La version 3 laisse une part plus importante d'autonomie aux élèves. Elle nécessite de choisir une représentation adaptée au format d'une affiche ou d'un panneau, de trier les informations importantes du document pour privilégier l'information la plus pertinente. L'organisation des différentes étapes de réalisation doivent être cohérente à l'analyse du texte.

Dans les trois versions proposées, une représentation particulière de la matière est attendue, cependant, une représentation moléculaire peut être fournie.

Déroulement de l'activité

Durée de l'activité : 30 minutes

Travail individuel pouvant servir d'évaluation sommative à cette partie du programme.

Fiche 1 – Activité élèves

Hervé This est un physico-chimiste à l'Inra (Institut National de la Recherche Agronomique). Il est connu pour ses interventions « science et cuisine ». Cette activité vous expliquera pourquoi un soufflé gonfle ainsi que les astuces de sa réussite.

Un soufflé qui ne manque pas... d'eau !

On dit que les soufflés gonflent parce que les bulles d'air introduites dans la préparation pour soufflé se dilatent à la chaleur. Vrai ou faux ?

Il est exact que les bulles d'air introduites dans un soufflé, grâce aux blancs d'œufs battus en neige, se dilatent quand on cuit le soufflé, mais le gonflement dû à cette dilatation de l'air des bulles n'explique pas bien le gonflement des soufflés : elle n'est que de 20 % environ. Alors que les cuisinières et cuisiniers savent bien que les soufflés peuvent doubler de volume. 20 % contre 200 %, l'explication classique est insuffisante !

Alors pourquoi les soufflés gonflent-ils tant à la cuisson ? Parce que l'eau qu'ils renferment s'évapore quand les parois des ramequins atteignent la température de 100 degrés. Or un gramme d'eau fait environ un litre de vapeur.

Combien d'eau un soufflé perd-il en cuisant ? Pour le savoir, il suffit de peser un soufflé avant et après cuisson. Pour un soufflé de 300 grammes, une perte de 10 grammes est mesurée. Autrement dit, si l'on savait retenir toute la vapeur formée lors de la cuisson d'un petit soufflé individuel, on obtiendrait un soufflé de dix litres ! Les cuisiniers ont de la marge...

Pour atteindre ce sommet gastronomique, ils devront rendre la surface du soufflé imperméable à la vapeur, en la gratinant, par exemple, avant la cuisson proprement dite. Ou bien savoir que les blancs d'œufs bien fermes laissent moins s'échapper la vapeur formée. Enfin, il est également bon de noter que c'est le chauffage du fond qui forme la vapeur qui fait gonfler les soufflés : elle pousse les couches de soufflé vers le haut, avant de s'échapper sous la forme de petites bulles à travers la surface.

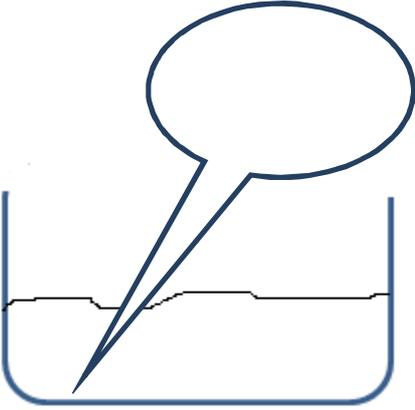
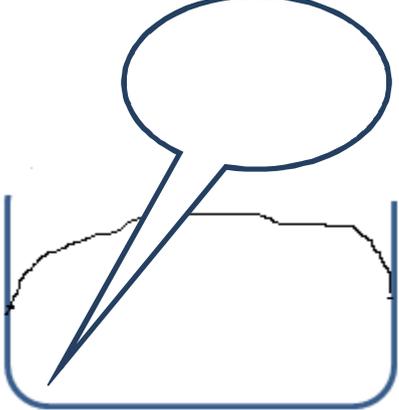
Hervé This

[Chronique issue du n° 212 de Sciences Ouest](#)

QUESTIONS

Version 1 : niveau « initiation »

- 1- Le gonflement d'un soufflé est-il lié davantage à la présence d'air ou d'eau dans la pâte? Justifier la réponse en citant la ou les parties du texte correspondante(s).
- 2- Quel changement d'état physique est décrit dans le texte d'Hervé This ?
- 3- Au niveau microscopique, comment représente-t-on les différents états de la matière ?
- 4- Le patron du restaurant « Au soufflé le plus gonflé ! » souhaite afficher sur le mur de sa salle de restaurant un panneau avec des schémas expliquant, au niveau microscopique, le gonflement des soufflés. Etant très occupé par ses préparations culinaires, il te charge de compléter cette affiche.

		
Dans la première phase de chauffage du soufflé	Quand les parois du moule atteignent 100°C	Deux astuces pour augmenter le gonflement du soufflé

Version 2 : niveau « intermédiaire »

- 1- Le gonflement d'un soufflé est-il lié davantage à la présence d'air ou d'eau dans la pâte ? Justifier la réponse.
- 2- Quel changement d'état physique ayant lieu lors de la cuisson du soufflé est décrit dans le texte d'Hervé This ?
- 3- Le patron du restaurant « Au soufflé le plus gonflé ! » souhaite afficher sur le mur de sa salle de restaurant un panneau avec des schémas expliquant, au niveau microscopique, le gonflement des soufflés. Etant très occupé par ses préparations, il te charge de réaliser cette affiche. Deux images légendées au minimum sont attendues.

Version 3 : niveau « confirmé »

Le patron du restaurant « Au soufflé le plus gonflé ! » souhaite afficher sur le mur de sa salle de restaurant une affiche avec des schémas expliquant, au niveau microscopique, les causes du gonflement des soufflés et les astuces pour le rendre les plus gonflés possible. Etant très occupé par ses préparations, il te charge de réaliser cette affiche. Tu t'aideras du texte d'Hervé This pour décrire à l'échelle microscopique les étapes de réalisation de ces soufflés si gonflés !

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

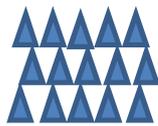
S'APPROPRIER (pour les versions 1 et 2)

Information sur la matière à prendre en considération

- Relever le pourcentage correspondant au rôle de l'air dans le gonflement du soufflé.
- A la fin de sa cuisson, le soufflé est de même taille, deux fois plus gros ou deux fois plus petit, qu'avant la cuisson.
- Souligne le changement d'état physique décrit dans cette partie du texte « *Alors pourquoi les soufflés gonflent-ils tant à la cuisson ? Parce que l'eau qu'ils renferment s'évapore quand les parois des ramequins atteignent la température de 100 degrés. Or un gramme d'eau fait environ un litre de vapeur.* »

ANALYSER/ REALISER

- La matière existe à l'état solide, liquide et gazeux. Complète l'état physique correspondant à la représentation particulaire correspondante.

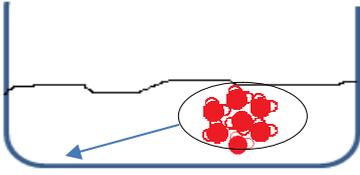
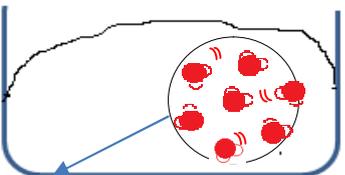
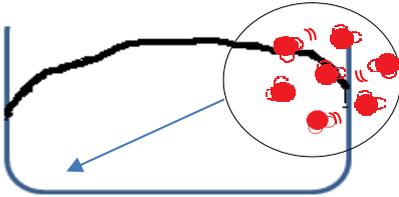


COMMUNIQUER

- (Pour la version 3) L'affiche peut contenir 4 images : 2 pour décrire la méthode de gonflement et 2 pour expliquer les astuces présentées. Chaque image peut être accompagnée d'un texte court.

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemple de production attendue :

	
<p>Au début du chauffage, de l'eau...</p>	<p>Arrivée à la température de 100°C, l'eau s'évapore et la vapeur d'eau occupe plus de place, la pâte gonfle</p>
	
<p>Une couche de gruyère retient la vapeur d'eau à l'intérieur du soufflé. Il reste gonflé.</p>	<p>Des blancs en neige très ferme laissent moins la vapeur d'eau d'échapper.</p>

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none">- L'eau est responsable du gonflement du soufflé (plus que l'air).- L'évaporation de l'eau permet essentiellement au soufflé de gonfler. « <i>Parce que l'eau qu'ils renferment s'évapore...</i> »
ANALYSER	<ul style="list-style-type: none">- Lors de la vaporisation, les molécules d'eau s'éloignent les unes des autres et occupent un espace plus important.- Pour augmenter le gonflement, il faut piéger la vapeur d'eau.- Représentation en fond de récipient.
REALISER	<ul style="list-style-type: none">- Représentation particulière ou moléculaire (version 3) de la matière.- Particules en contact à l'état liquide, particules détachées à l'état gazeux.
COMMUNIQUER	<ul style="list-style-type: none">- Format d'affiche respectée.- Cohérence dans les images- Prise en compte des astuces (version 3)

Remarque : Bien que la version 3 de cette activité ne permette pas de détailler chaque compétence travaillée, l'appréciation globale de la production de l'élève permet d'en attester leur degré de maîtrise.

Les transports express régionaux

Niveau : Troisième

Thème : De la gravitation... à l'énergie mécanique

Résumé de l'activité :

Cette activité permet de :

- s'approprier et analyser des documents de natures différentes (texte, carte, affiche publicitaire) ;
- réaliser un calcul de vitesse ;
- porter un regard critique sur la nature des informations fournies.

Programme de Troisième

Notions et contenus	Attendus du programme
Energie cinétique et sécurité routière Dans les moyens de transport, l'homme cherche toujours à aller plus vite pour gagner du temps ; le train à grande vitesse (TGV) en est une remarquable illustration.	Vitesse d'un solide en translation (<i>la notion de vitesse a déjà été abordée en classe de Quatrième</i>). Exploiter des documents relatifs à la sécurité routière.

Dans le cadre du thème de convergence portant sur la sécurité, cette activité documentaire peut aussi être utilisée pour faire le lien avec des activités proposées en éducation civique ou en géographie par exemple.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	Extraire une information de différents documents (texte, carte ferroviaire, affiche publicitaire)
Réaliser (REA)	Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique : utiliser une échelle. Réaliser un calcul numérique.
Valider (VAL)	Faire preuve d'esprit critique. Apprécier la validité d'une information.

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire propose différents types de documents à étudier :

- deux extraits de sites Internet portant sur les trains express régionaux (TER) et sur les règles de sécurité à l'abord d'un passage à niveau ferroviaire ;
- une carte ferroviaire ;
- une affiche publicitaire.

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions d'une même activité documentaire sont proposées avec des niveaux de difficulté relatifs différents.

Compétences	Niveaux de difficulté		
	Version 1 (niveau « initiation »)	Version 2 (niveau « confirmé »)	Version 3 (niveau « confirmé »)
S'approprier (APP)	1	2	2
Réaliser (REA)	2	3	4
Valider (VAL)	3	3	3

La **version 1** de l'activité documentaire a un niveau de difficulté modeste car elle demande de répondre à des questions précises correspondant chacune à une tâche simple et portant sur des documents accessibles à des collégiens.

La **version 2** de l'activité présente davantage de difficultés au niveau de la réalisation du calcul de vitesse. Les élèves doivent d'abord s'approprier une carte puis utiliser une échelle pour calculer une longueur, grandeur donnée dans la version 1.

La **version 3** est plus difficile, aucune aide n'est donnée pour réaliser le calcul de la vitesse.

Déroulement de l'activité

La durée de cette activité en classe de Troisième est de 45 minutes (une heure au maximum).

Cette activité peut se réaliser en faisant travailler par exemple les élèves par groupes hétérogènes.

Il peut être utile d'aider les élèves lorsqu'ils ont des difficultés qu'ils n'arrivent pas à surmonter seuls, comme par exemple lorsqu'il est demandé d'utiliser une échelle pour mesurer une longueur.

Fiche 1 – Activité élèves

En Alsace, comme dans toutes les régions en France, de nombreux voyages sont effectués en train chaque jour de la semaine. Certains trains portent le nom de TER 200 car ces transports express régionaux peuvent atteindre 200 kilomètres par heure.

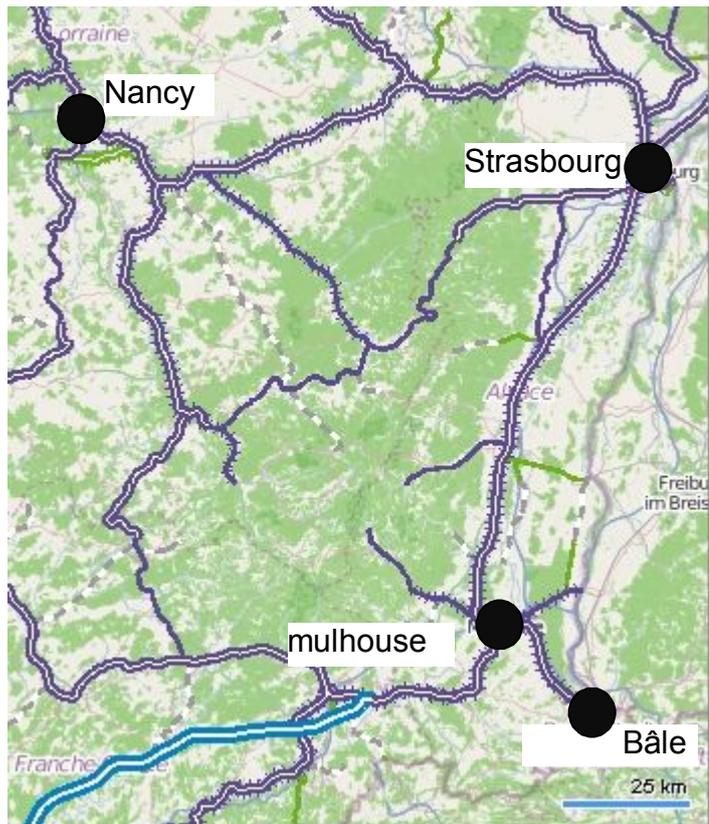
Extrait n° 1 d'un site Internet : Les TER 200

Les TER 200 entre Strasbourg et Bâle ont la particularité d'atteindre 200 km/h, alors qu'habituellement la vitesse des TER dépasse rarement 160 km/h. La vitesse de 200 km/h peut être atteinte sur la grande majorité du parcours (123 km sur les 142 km séparant Strasbourg et Bâle). Cela est dû au tracé quasi-rectiligne et à l'absence de passages à niveau sur la ligne de la plaine d'Alsace.

Entre Strasbourg et Nancy, ces mêmes trains n'atteignent que 160 km/h.

D'après un article de Wikipedia sur les TER 200 : http://fr.wikipedia.org/wiki/TER_200

Détail d'une carte du réseau ferré



Légende	
	LGV en service
	Ligne Mixte Double Voie Electrifiée
	Ligne Mixte Double Voie Non Electrifiée
	Ligne Mixte Voie Unique Electrifiée
	Ligne Mixte Voie Unique Non Electrifiée
	Ligne Fret Double Voie Electrifiée
	Ligne Fret Double Voie Non Electrifiée
	Ligne Fret Voie Unique Electrifiée
	Ligne Fret Voie Unique Non Electrifiée
	Ligne Non Exploitée

Carte éditée par le site Internet du Réseau Ferré de France : http://www.rff.fr/cartes/carte_reseau.html

Extrait n° 2 d'un site Internet : Les règles de sécurité à l'abord d'un passage à niveau

À pied, en voiture, en camion, en deux-roues, à un passage à niveau respecter le code de la route et prendre en compte la signalétique est vitale.

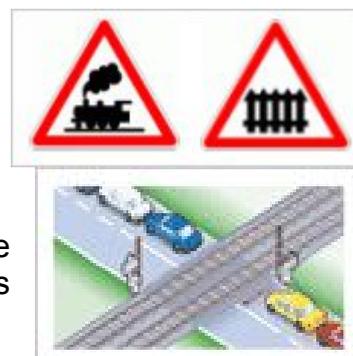
Traverser une voie ferrée, encadrée par un passage à niveau n'est pas dangereux à condition de respecter les règles de prudence.

À l'approche d'un passage à niveau ralentissez.

Les panneaux ci-contre sont installés 150 m avant le passage à niveau, ralentissez à la vue d'un de ces deux panneaux.

Au feu rouge clignotant, même si les barrières ne sont pas encore baissées, s'arrêter impérativement (un train peut passer 25 secondes après le début du signal et ne pourra en aucun cas s'arrêter)

D'après un article du Réseau Ferré de France : <http://www.securite-passageaniveau.fr/securite-routiere/>



Affiche d'une campagne publicitaire en Alsace en novembre 2014



Mulhouse - Strasbourg en 52 minutes
À 200 km/h, tout va plus vite !

Grâce à TER Alsace, plus besoin de vous inquiéter de la circulation ni des bouchons. Avec 26 allers-retours par jour à 200 km/h, vous vous déplacez en toute liberté entre Mulhouse et

Strasbourg. Pensez-y et filez à toute allure avec le TER 200 ! Pour en savoir plus : www.ter-sncf.com/alsace, ou au 0 800 77 98 67 (appel gratuit depuis un poste fixe).



Affiche conçue par l'agence Dagré : www.dagre.fr

Donnée pour la version 1 (niveau « initiation »), à supprimer dans l'énoncé des versions 2 et 3.

Donnée :

Longueur de la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg : $L = 108,316$ km
(pour plus d'informations : http://fr.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%A9ma_de_la_ligne_de_Strasbourg-Ville_%C3%A0_Saint-Louis)

QUESTIONS

Version 1 : niveau « initiation » (l'énoncé comprend la donnée sur la longueur du trajet Mulhouse-Strasbourg)

S'APPROPRIER

1. Qu'est-ce qu'un TER 200 ?
2. Quelles sont les règles de sécurité routière à respecter à l'abord d'un passage à niveau ?
3. Quelle est la durée Δt du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg ?

REALISER

4. Sachant que la vitesse v peut être définie par la relation $v = \frac{L}{\Delta t}$, avec L la longueur et Δt la durée du trajet entre Mulhouse et Strasbourg, calculer la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg en km / h.

VALIDER

5. Porter un regard critique sur l'affiche publicitaire : « Mulhouse-Strasbourg en 52 minutes. À 200 km/h, tout va plus vite ! ».
 6. Pourquoi les TER peuvent-ils atteindre la vitesse de 200 km/h en Alsace alors qu'ils dépassent rarement les 160 km/h dans le reste de la France ?
-

Version 2 : niveau « confirmé » (l'énoncé **ne** comprend **pas** la donnée sur la longueur du trajet Mulhouse-Strasbourg)

S'APPROPRIER

1. Qu'est-ce qu'un TER 200 ?
2. Quelles sont les règles de sécurité routière à respecter à l'abord d'un passage à niveau ?
3. Quelle est la durée Δt du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg ?

REALISER

4. Mesurer sur la carte du réseau ferré la longueur L de la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg.
5. Sachant que la vitesse v peut être définie par la relation $v = \frac{L}{\Delta t}$, avec L la longueur et Δt la durée du trajet entre Mulhouse et Strasbourg, calculer la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg en km / h.

VALIDER

6. Porter un regard critique sur l'affiche publicitaire : « Mulhouse-Strasbourg en 52 minutes. À 200 km/h, tout va plus vite ! ».
 7. Pourquoi les TER peuvent-ils atteindre la vitesse de 200 km/h en Alsace alors qu'ils dépassent rarement les 160 km/h dans le reste de la France ?
-

Version 3 : niveau « confirmé » (l'énoncé **ne** comprend **pas** la donnée sur la longueur du trajet Mulhouse-Strasbourg)

S'APPROPRIER

1. Qu'est-ce qu'un TER 200 ?
2. Quelles sont les règles de sécurité routière à respecter à l'abord d'un passage à niveau ?

REALISER, VALIDER

3. Après avoir calculé la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg, porter un regard critique sur l'affiche publicitaire : « Mulhouse-Strasbourg en 52 minutes. À 200 km/h, tout va plus vite ! ».
4. Pourquoi les TER peuvent-ils atteindre la vitesse de 200 km/h en Alsace alors qu'ils dépassent rarement les 160 km/h dans le reste de la France ?

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- Les informations à extraire peuvent se trouver dans les documents mais aussi dans l'introduction de l'énoncé du sujet.
- Il faut reprendre les informations utiles dans les documents sans recopier tout le document.

REALISER

- D'après la carte du réseau ferré, on peut considérer en première approximation la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg comme une ligne droite.
- L'échelle de la carte du réseau ferré est : 1,5 cm \Leftrightarrow 25 km.
- La longueur de la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg peut être déterminée grâce au tableau suivant

	Longueur sur la carte	Longueur réelle
Echelle	1,5 cm	25 km
Ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg	6 cm	

- La ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg a une longueur : $L = 1.10^2$ km (environ 100 km)

- D'après les données, la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg a une longueur : $L = 108,316$ km. (pour la version 1)

- D'après l'affiche publicitaire, un trajet Mulhouse-Strasbourg en TER 200 dure : $\Delta t = 52$ min.
- La durée d'un trajet Mulhouse-Strasbourg en TER 200 est égale à : $\Delta t = 52 \text{ min} = \frac{52}{60} = 0,87$ h.

VALIDER

- D'après l'affiche publicitaire, il y a « 26 allers-retours par jour à 200 km/h » entre Mulhouse et Strasbourg.
- D'après l'introduction de l'énoncé, la vitesse maximale d'un TER 200 est 200 km/h.
- La vitesse moyenne d'un TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est d'environ 100 km/h.

- D'après l'extrait n° 1 du site Internet, les TER circulent en Alsace dans une plaine.
- D'après l'extrait n° 1 du site Internet et la carte du réseau ferré, le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite.
- D'après les extraits n° 1 et 2 des sites Internet, il n'y a pas de passages à niveau sur la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg.

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de productions attendues

S'APPROPRIER	<i>Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, carte ferroviaire, affiche publicitaire).</i>
---------------------	---

Versions 1, 2 et 3 :

1. Qu'est-ce qu'un TER 200 ?
D'après l'introduction de l'énoncé, un TER 200 est un train express régional pouvant atteindre 200 kilomètres par heure.
2. Quelles sont les règles de sécurité routière à respecter à l'abord d'un passage à niveau ?
D'après l'extrait n° 2 d'un site Internet, il faut ralentir à l'approche d'un passage à niveau et s'arrêter dès que le feu est rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées.

Versions 1 et 2 :

3. Quelle est la durée Δt du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg ?
D'après l'affiche publicitaire, la durée du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est : $\Delta t = 52$ minutes.

REALISER	<i>Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique : utiliser une échelle pour mesurer une longueur sur une carte.</i>
-----------------	---

Versions 2 et 3 :

4. (version 2)

Mesurer sur la carte du réseau ferré la longueur de la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg.

3. (version 3)

Calculer la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg (*pour cela, commencer par mesurer sur la carte du réseau ferré la longueur de la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg*).

D'après la carte du réseau ferré, on peut considérer en première approximation la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg comme une ligne droite.

	Longueur sur la carte	Longueur réelle
Echelle	1,5 cm	25 km
Ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg	6 cm	$\frac{6 \times 25}{1,5} = 1.10^2$ km (environ 100 km)

Ainsi, la ligne de chemin de fer entre Mulhouse et Strasbourg a une longueur : $L = 1.10^2$ km (environ 100 km).

REALISER	<i>Réaliser un calcul numérique.</i>
-----------------	--------------------------------------

Versions 1, 2 et 3 :

4. (version 1) ou 5. (version 2)

Sachant que la vitesse v peut être définie par la relation $v = \frac{L}{\Delta t}$, avec L la longueur et Δt la durée du trajet entre Mulhouse et Strasbourg, calculer la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg.

3. (version 3) Calculer la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg.

La vitesse moyenne v d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg est définie par la relation $v = \frac{L}{\Delta t}$, avec L la longueur et Δt la durée du trajet entre Mulhouse et Strasbourg.

Application numérique :

D'après l'affiche publicitaire, $\Delta t = 52$ min

$$\Delta t = \frac{52}{60} = 0,87 \text{ h.}$$

D'après les données, $L = 108,316$ km (pour la version 1).

D'après la carte du réseau ferré, on trouve que $L = 1.10^2$ km (pour les versions 2 et 3).

Ainsi : $v = \frac{108,316}{0,87} = 1,2.10^2$ km/h (environ 120 km/h) (pour la version 1).

$$v = \frac{1.10^2}{0,87} = 1.10^2 \text{ km/h (environ 100 km/h) (pour les versions 2 et 3).}$$

VALIDER

*Faire preuve d'esprit critique.
Apprécier la validité d'une information.*

Versions 1, 2 et 3 :

5. (version 1), 4. (version 2) ou 3. (version 3)

Après avoir calculé la vitesse moyenne d'un TER 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg, porter un regard critique sur l'affiche publicitaire : « Mulhouse-Strasbourg en 52 minutes. À 200 km/h, tout va plus vite ! ».

L'affiche publicitaire semble volontairement imprécise. En effet, la vitesse maximale du TER 200 est bien de 200 km/h mais sa vitesse moyenne est environ deux fois plus faible.

Avec une telle affiche, il est possible que certains voyageurs pensent que la vitesse moyenne du TER 200 est de 200 km/h, ce qui n'est pas le cas.

6. (version 1), 5. (version 2) ou 4. (version 3)

Pourquoi les TER peuvent-ils atteindre la vitesse de 200 km/h en Alsace alors qu'ils dépassent rarement les 160 km/h dans le reste de la France ?

Les TER circulent plus vite en Alsace que dans le reste de la France pour plusieurs raisons :

- d'après l'extrait n ° 1 du site Internet, les TER circulent en Alsace dans une plaine ; il n'y a donc pas de collines ou de montagnes à gravir contrairement à ce qui existe dans d'autres régions ;
- d'après l'extrait n ° 1 du site Internet et la carte du réseau ferré, le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite alors que l'on voit par exemple que le tracé est beaucoup plus sinueux entre Strasbourg et Nancy ;
- d'après les extraits n ° 1 et 2 des sites Internet, il n'y a pas de passages à niveau sur cette ligne de chemin de fer alors qu'il en existe encore ailleurs. Or, si les voitures doivent ralentir à proximité d'un passage à niveau, il est raisonnable de penser que les trains ralentissent eux aussi lorsqu'ils s'en approchent.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none">• Les informations suivantes sont extraites des documents :<ul style="list-style-type: none">- D'après l'introduction de l'énoncé, un TER 200 peut atteindre 200 kilomètres par heure.- D'après l'extrait n° 2 d'un site Internet, il faut ralentir à l'approche d'un passage à niveau et s'arrêter dès que le feu est rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées.- D'après l'affiche publicitaire, la durée du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est : $\Delta t = 52$ minutes.
REALISER	<ul style="list-style-type: none">• La longueur de la ligne de chemin de fer Mulhouse-Strasbourg mesurée sur la carte est d'environ 100 km. <i>(pour les versions 2 et 3)</i>• La vitesse moyenne calculée d'un TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est d'environ 100 km/h <i>(environ 120 km/h pour la version 1 si l'élève a utilisé la distance Mulhouse-Strasbourg qui se trouve dans les données).</i>
VALIDER	<ul style="list-style-type: none">• La différence entre vitesse moyenne et vitesse maximale n'est pas précisée sur l'affiche publicitaire.• Les raisons expliquant la vitesse plus rapide des TER en Alsace sont les suivantes :<ul style="list-style-type: none">- les TER circulent en Alsace dans une plaine ;- le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite ;- il n'y a pas de passages à niveau sur cette ligne de chemin de fer.

Fiche 5 – Exemples de productions d'élèves et d'attribution de niveaux de réussite

Les trois versions de cette activité documentaire ont été proposées à une classe de Troisième. Les élèves ont travaillé pendant 45 minutes par groupes de trois ou quatre et la version distribuée à chaque groupe résultait du choix du professeur, selon la maîtrise des compétences travaillées et la confiance des élèves dans la réalisation d'une telle tâche.

La version 1 a donc été donnée à des élèves ayant *a priori* davantage de difficultés que ceux à qui la version 3 a été donnée.

Bilan d'ensemble concernant la version 1 de l'activité

L'ensemble des copies montre une appropriation aisée des informations.

Les calculs demandés ont été réalisés de façon satisfaisante et les élèves ont pensé à convertir les unités de temps. Cependant les résultats ont été donnés avec l'ensemble des chiffres décimaux que la calculatrice pouvait afficher. Il a donc été difficile pour ces élèves de donner un résultat arrondi et par conséquent de comprendre le sens d'une valeur.

Enfin, la plupart des élèves ont réussi à comparer leur résultat calculé précédemment avec l'information donnée sur l'affiche publicitaire mais ils ont eu des difficultés à comprendre d'où venait cette différence, donc finalement à exploiter leur résultat.

Exemple de copie d'élève

(copie n° 1)

1) Le TGV 200 est un train qui atteint 200 km/h.

2) Les règles de sécurité routière à respecter sont : ralentir à la vue des panneaux à 150 m avant le passage à niveau et s'arrêter impérativement à la vue du feu rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées.

3) La durée du trajet TGV 200 entre Mulhouse et Strasbourg est de 52 minutes.

4) $v = \frac{L}{T} = \frac{60 \times 108,96}{52} = 124,98 \text{ km/h}$
La vitesse moyenne du TGV 200 circulant entre Mulhouse et Strasbourg est de 124,98 km/h.

5) L'affiche est mensongère car le TGV ne va pas vraiment à 200 km/h alors il ne prendra pas que 52 minutes.

6) Le TGV peut atteindre 200 km/h en Alsace car en Alsace le trajet n'a pas de virages alors il peut aller plus vite.

Copie n° 1	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> Les informations suivantes sont extraites des documents : <ul style="list-style-type: none"> D'après l'introduction de l'énoncé, un TER 200 peut atteindre 200 kilomètres par heure. D'après l'extrait n° 2 d'un site Internet, il faut ralentir à l'approche d'un passage à niveau et s'arrêter dès que le feu est rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées. D'après l'affiche publicitaire, la durée du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est : $\Delta t = 52$ minutes. 	X X				2
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> La vitesse moyenne calculée d'un TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est d'environ 120 km/h 	X				1
Valider	<ul style="list-style-type: none"> La différence entre vitesse moyenne et vitesse maximale n'est pas précisée sur l'affiche publicitaire. Les raisons expliquant la vitesse plus rapide des TER en Alsace sont les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> les TER circulent en Alsace dans une plaine ; le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite ; il n'y a pas de passages à niveau sur cette ligne de chemin de fer. 			X X		2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ;

NOTE :
4 / 5

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Bilan d'ensemble concernant la version 2 de l'activité

La version 2 de l'activité a été donnée à des élèves ayant *a priori* moins de difficulté que ceux à qui la version 1 a été proposée. En effet, il est demandé dans la version 2 de déterminer la distance entre Mulhouse et Strasbourg sur une carte, en utilisant l'échelle proposée sur cette carte, alors que cette distance est donnée dans la version 1.

Cette détermination de distance sur une carte a nécessité dans la majorité des cas une mise en confiance du professeur sur le raisonnement proposé par les élèves. En revanche, avec ces élèves, les résultats du calcul de la vitesse étaient le plus souvent arrondis.

Enfin, les élèves ont porté un regard critique sur le contenu de l'affiche publicitaire mais ils n'ont pas réussi à le justifier correctement. Ils ont souvent conclu à une affiche « vraie » ou « fausse » sans davantage d'explications. De plus, des erreurs d'interprétation ont parfois été observées comme sur la copie présentée ci-dessous, car certains élèves n'ont pas relu les documents avant de conclure.

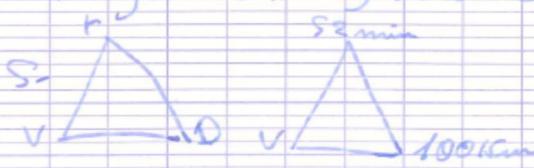
Exemple de copie d'élève (copie n° 2)

1- Un TER 200, c'est un train qui peut aller jusqu'à 200 km/h.

2- Les panneaux sont installés 150 m avant le passage de niveau il faut donc ralentir. Avec un feu rouge clignotant, si les barrières ne se sont pas encore baissées il faut s'arrêter.

3- Le trajet Mulhouse-Strasbourg est de 52 minutes.

4- Il y a 4x1,6 cm sur la carte, et dans la réalité 4x25 km le trajet Strasbourg-Mulhouse fait 100 km.

5-  $\frac{100}{0,86} = 116 \text{ km/h}$

6- C'est faux, c'est de la propagande, la vraie vitesse est 116 km/h et pas 200 km/h.

7- Car en Alsace il y a des pentes grâce au montage et donc de l'énergie de mouvement au TER 200.

1h → 60 min
 $\frac{1}{60} \rightarrow 52 \text{ min}$
 $\frac{52 \times 1}{60} = 0,86$

Copie n° 2	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> Les informations suivantes sont extraites des documents : <ul style="list-style-type: none"> D'après l'introduction de l'énoncé, un TER 200 peut atteindre 200 kilomètres par heure. D'après l'extrait n° 2 d'un site Internet, il faut ralentir à l'approche d'un passage à niveau et s'arrêter dès que le feu est rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées. D'après l'affiche publicitaire, la durée du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est : $\Delta t = 52$ minutes. 	X X				2
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> La vitesse moyenne calculée d'un TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est d'environ 120 km/h <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>** Le niveau de réussite pour la compétence « Réaliser » est B car il y a une incohérence entre le calcul réalisé et le triangle de calcul utilisé.</p> </div>		XX			2 (le coefficient a augmenté par rapport à la version 1 car une mesure de longueur est aussi demandée)
Valider	<ul style="list-style-type: none"> La différence entre vitesse moyenne et vitesse maximale n'est pas précisée sur l'affiche publicitaire. Les raisons expliquant la vitesse plus rapide des TER en Alsace sont les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> les TER circulent en Alsace dans une plaine ; le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite ; il n'y a pas de passages à niveau sur cette ligne de chemin de fer. 			X X		2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

NOTE :
3 / 5

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Bilan d'ensemble concernant la version 3 de cette activité

La version 3 de l'activité a été proposée aux élèves n'ayant *a priori* pas de difficulté en physique-chimie.

L'appropriation des documents et la réalisation des calculs n'ont pas posé de difficulté spécifique à ces élèves. Ils ont cependant mené les calculs de différentes manières :

- certains élèves ont appliqué la formule définissant la vitesse en fonction de la distance parcourue et de la durée pour la parcourir (en ayant pris soin de convertir la durée en heure ou de spécifier l'unité obtenue (km/min) ;
- d'autres élèves, comme dans la copie ci-dessous, ont raisonné par application de la proportionnalité.

Le regard critique demandé a été pertinent et convenablement explicité.

Enfin, dans cette version plus ouverte, certaines traces écrites pouvaient manquer à un professeur attendant une rédaction plus explicite et/ou plus rigoureuse des calculs menés. Cependant, la compétence COMMUNIQUER n'étant pas spécifiquement visée dans cette activité, cela n'est pas sanctionné ici.

Exemple de copie d'élève (copie n° 3)

1) Un TGV 200 c'est un train qui peut atteindre les 200 km/h.

2) A l'approche d'un passage à niveau ralentissez :
- Les panneaux avertissent d'un passage à niveau, ralentissez à la vue de ces panneaux
- Au feu rouge clignotant, même si les barrières ne sont pas encore baissées s'arrêter impérativement

3) 114 km en 52 min
 $114 \div 52 = 2,2 \text{ km/min}$
 $2,2 \times 60 = 132 \text{ km/h}$

L'effi che nous fait croire que la vitesse moyenne du train est de 200 km/h mais en fait c'est la vitesse maximale.

4) grâce au tracé quasi-rectiligne et à l'absence de passage à niveau sur la ligne de la plaine d'Alsace.

Copie n° 3	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> Les informations suivantes sont extraites des documents : <ul style="list-style-type: none"> D'après l'introduction de l'énoncé, un TER 200 peut atteindre 200 kilomètres par heure. D'après l'extrait n° 2 d'un site Internet, il faut ralentir à l'approche d'un passage à niveau et s'arrêter dès que le feu est rouge clignotant même si les barrières ne sont pas encore baissées. D'après l'affiche publicitaire, la durée du trajet en TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est : $\Delta t = 52$ minutes. 	X X				2
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> La longueur de la ligne de chemin de fer Mulhouse-Strasbourg mesurée sur la carte est d'environ 100 km. La vitesse moyenne calculée d'un TER 200 entre Mulhouse et Strasbourg est d'environ 100 km/h 	XX				2
Valider	<ul style="list-style-type: none"> La différence entre vitesse moyenne et vitesse maximale n'est pas précisée sur l'affiche publicitaire. Les raisons expliquant la vitesse plus rapide des TER en Alsace sont les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> les TER circulent en Alsace dans une plaine ; le tracé de la ligne de chemin de fer des TER en Alsace est quasiment une ligne droite ; il n'y a pas de passages à niveau sur cette ligne de chemin de fer. 	X X				2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le

5 / 5

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

KOUROU

Niveau : **Troisième**

Thème : De la gravitation... à l'énergie mécanique

Résumé de l'activité :

Cette activité propose de travailler un thème commun à la classe de troisième et de seconde, la gravitation et ses effets. L'approche qualitative est privilégiée. Les élèves sont amenés à saisir et mettre en relation des informations issues des documents proposés afin de justifier le choix stratégique de la base de lancement européenne de Kourou.

Programme de Troisième :

NOTION DE GRAVITATION : pourquoi les planètes gravitent-elles autour du Soleil et les satellites autour de la Terre ?

Connaissances	Capacités
<i>La gravitation est une interaction attractive entre deux objets qui ont une masse ; elle dépend de leur distance.</i>	<i>Suivre un raisonnement scientifique afin de comparer, en analysant les analogies et les différences, le mouvement d'une fronde à celui d'une planète autour du Soleil.</i>

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	Extraire une information de différents documents (texte, vidéo)
Analyser (ANA)	Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents.
Valider (VAL)	Faire preuve d'esprit critique. Apprécier la validité d'une information. Argumenter.

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire propose différents types de documents à étudier :

- un extrait d'une vidéo « C'est pas sorcier! » : Kourou aux portes de l'espace 2013. Extrait à visionner en ligne jusqu'à 10'46. <https://www.youtube.com/watch?v=-c-hgTC43d0> ;
- extraits d'un forum sur l'effet de la rotation de la Terre : <http://www.fondation-lamap.org/fr/forum/questions-aux-experts> ;
- un schéma expliquant la latitude <http://matoumatheux.ac-rennes.fr> ;
- extraits de livrets météorologiques : http://www.anciensmeteos.info/aec_pdf/aec_38.pdf ;
- fiche de renseignement de la ville de Kourou : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Kourou>.

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Cette activité est proposée en deux versions, de niveaux de difficulté différents. Les documents d'appropriation restent identiques mais le questionnement diffère selon le degré d'autonomie des élèves.

Compétences	Niveaux de difficulté	
	Version 1 (niveau « initiation »)	Version 2 (niveau « confirmé »)
S'approprier (APP)	1	2
Analyser (ANA)	2	3
Valider (VAL)	3	3

La **version 1** de l'activité propose une phase d'appropriation des documents. Celle-ci permet à l'élève de repérer les critères nécessaires à une base de lancement et facilite ainsi l'organisation de la réponse à la dernière question.

La **version 2** de l'activité est plus ouverte et demande aux collégiens de s'approprier, d'extraire et d'organiser sa réponse à partir d'une consigne unique. Les élèves doivent faire preuve de beaucoup plus d'autonomie et de prise d'initiatives.

Déroulement de l'activité

La durée de cette activité en classe de Troisième est de 45 minutes (une heure au maximum).

Cette activité documentaire s'effectue en phase de formation, par groupe.

Ce travail, élargissement des programmes en vigueur (2008) se trouve valorisé par une réalisation en groupe, source d'échanges et de confrontations d'idées.

Selon les conditions matérielles, plusieurs options sont envisageables :

- réaliser deux diffusions de la vidéo en classe entière : une première diffusion est une phase d'écoute, permettant d'appréhender le sujet à traiter, elle se réalise sans crayon et la deuxième diffusion s'accompagne de prise de notes pour les élèves réalisant la version 2 de l'activité et du sujet pour la version 1 ;
- utiliser les postes informatiques de la salle multimédia pour une diffusion par groupe de travail. Prévoir dans ce cas un casque par élève ou une paire d'écouteurs (individuel ou à deux).

Fiche 1 – Activité élèves

ACTIVITE DOCUMENTAIRE : KOUROU, BASE DE LANCEMENT EUROPEENNE

Depuis les débuts de la conquête spatiale du milieu du XX^{ème} siècle, les satellites sont devenus indispensables à notre vie : téléphonie, prévisions météorologiques... Les fusées européennes transportant ce type de satellites sont lancées à partir de la base de Kourou en Guyane. Mais pourquoi ce choix géographique ?

Cette activité a pour but de justifier l'intérêt de ce lieu géographique pour le lancement de satellites dit géostationnaires.

Document 1 : extrait de vidéo « C'est pas sorcier ! » : Kourou aux portes de l'espace 2013. A visionner à l'adresse suivante <https://www.youtube.com/watch?v=c-hgTC43d0>, jusqu'à 10 minutes 46.

Document 2 : Kourou

Kourou	
 Blason	
Administration	
Pays	France
Région	Guyane
Code postal	97310
Démographie	
Gentilé	Kouroucien, Kourouciennne
Population	25 490 hab. (2012)
Densité	12 hab/km ²
Géographie	
Coordonnées	5° 09' 35" Nord 52° 39' 01" Ouest
Altitude	Min. 0 m – Max. 141 m
Superficie	2 160 km ²

Géographie

Commune située au nord-est de l'Amérique du Sud. Derrière la ville se trouvent quatre monts : la Carapa, le Pariacabo, la montagne Café et la montagne Lombard. Elle est parsemée de trois lacs. Les environs sont un mélange de savane sèche et inondée ainsi que de forêt tropicale.

De longues plages de sable bordent la côte Atlantique ; elles sont délimitées au nord par des mangroves et au sud par le fleuve Kourou. Kourou est située dans une zone sismique d'intensité faible.

Climat

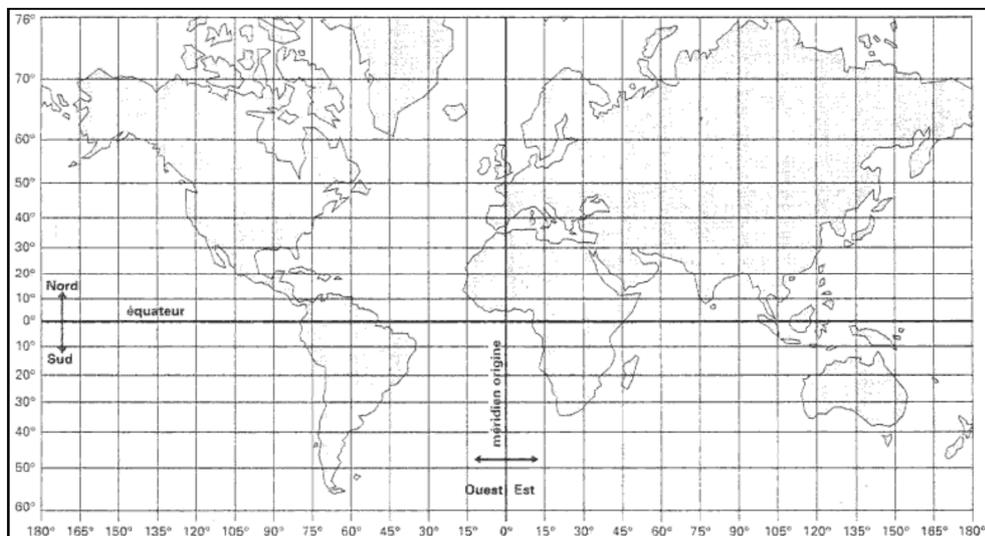
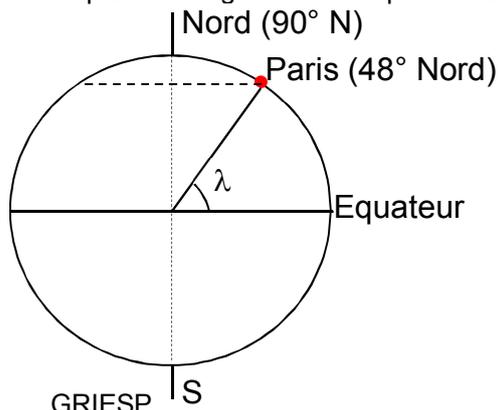
Le climat de Kourou est équatorial avec alternance de saisons sèches et humides. La température moyenne est de 26 °C. L'humidité moyenne oscille entre 80 et 90 %. La zone d'instabilité météorologique se trouvant bien plus au nord que le département, il n'y a aucun risque qu'un ouragan touche la côte guyanaise. Pas plus que dans le reste de la Guyane, les vents n'y sont violents. Les alizés (vents réguliers) y sont fréquents, diminuant la présence des moustiques omniprésents dans l'intérieur du département.

Source : wikipédia

Document 3 : La latitude

La latitude d'un lieu permet de le positionner par rapport à l'équateur, vers le nord ou vers le sud.

La latitude représente l'angle λ formé par le rayon équatorial (rayon de la Terre à l'équateur) et le rayon passant par ce lieu. Elle est donc nulle à l'équateur et égale à 90° au pôle nord.



Planisphère

Document 4 : Effet de la rotation de la Terre sur elle-même expliqué par des scientifiques.

Question-réponse à un expert : réponse de l'astrophysicien Roland Lehoucq à la question d'un internaute:

Quel est l'avantage de faire décoller une fusée à l'équateur ?

L'internaute

Pourquoi une fusée qui décolle de l'équateur peut-elle embarquer un pourcentage non négligeable de masse utile en plus, par rapport à une fusée qui décollerait de Roubaix (dans le Nord-Pas-de-Calais) ?

Roland Lehoucq

Elle le peut parce que, sur l'équateur, la vitesse linéaire d'un point de la Terre est plus grande qu'à Roubaix. Cela fonctionne comme une fronde : plus la boucle est longue, plus la pierre partira vite, donc loin. La vitesse angulaire de la Terre est, en chacun des points de sa surface, d'un tour en 24 heures (soit 72,7 milliardième de radian* par seconde). En revanche, la vitesse linéaire (produit de la distance à l'axe de rotation par la vitesse angulaire) dépend du lieu : la distance à l'axe est maximum à l'équateur (égale au rayon terrestre) et nulle aux pôles (par où passe l'axe de rotation de la Terre). Plus précisément,

Source : La Main à La Pâte

***radian** : c'est une unité permettant de mesurer des angles.

Document 5 : Le centre spatial guyanais

INFORMATIONS SELECTIONNEES
DE LA METEOROLOGIE NATIONALE
Janvier 1965
LE CENTRE SPATIAL GUYANAIS

En application des Accords d'Evian, le champ de tir de Hammaguir, en Algérie, devra sans doute être évacué en juillet 1967. Aussi entreprit-on, dès l'année 1963, la recherche d'un territoire satisfaisant à certains impératifs techniques et scientifiques, logistiques et politiques. Les résultats de ces études ont permis de décider d'implanter en Guyane notre champ de tir spatial national. Un champ de tir idéal doit permettre de tirer dans la direction de l'Est et doit être situé aussi près que possible de l'équateur. [...]

Du point de vue logistique, il fallait trouver un territoire assez proche de la France, d'accès facile et de climat supportable. Enfin, du point de vue politique, il était souhaitable de choisir un territoire appartenant à la France, en l'occurrence un département français.

Version 1

- 1- Situe approximativement sur le planisphère du document 3 la ville de Kourou.
- 2- À partir des différents documents, coche la ou les bonne(s) réponse(s) :

Parmi les caractéristiques ci-contre, lesquelles sont nécessaires au choix du lieu d'une base de lancement ?	<input type="checkbox"/> Position géographique ; <input type="checkbox"/> Latitude ; <input type="checkbox"/> Absence de risque sismique ; <input type="checkbox"/> Présence de grandes villes à proximité ; <input type="checkbox"/> Type de végétation ; <input type="checkbox"/> Qualité de l'air ; <input type="checkbox"/> Solidité du sol ; <input type="checkbox"/> Altitude ; <input type="checkbox"/> Température de l'eau.
La vitesse angulaire de la Terre est identique en tout point de la surface.	<input type="checkbox"/> Vrai <input type="checkbox"/> Faux
Pour lancer une balle le plus loin possible avec une fronde, on peut :	<input type="checkbox"/> Augmenter la vitesse linéaire de la balle ; <input type="checkbox"/> Diminuer la vitesse linéaire de la balle ; <input type="checkbox"/> Augmenter la longueur de la ficelle ; <input type="checkbox"/> Diminuer la longueur de la ficelle.
La vitesse linéaire à l'équateur est plus grande qu'aux pôles car :	<input type="checkbox"/> La vitesse angulaire de la Terre est plus grande. <input type="checkbox"/> La distance à parcourir à cette latitude est plus grande. <input type="checkbox"/> La distance à l'axe de rotation de la Terre est la plus grande. <input type="checkbox"/> L'altitude est plus importante

- 3- Kourou est une station idéale pour le lancement des satellites géostationnaires. Trouve un argument dans la vidéo qui explique ce choix.
- 4- À l'aide des différents documents que tu as étudiés, démontre que Kourou rassemble toutes les caractéristiques d'une base de lancement. Tu argumenteras chaque caractéristique développée. Toute piste de recherche, même non aboutie, figurera sur la feuille
- 5- Parmi les arguments que tu as utilisés, choisis-en un qui relève du domaine des sciences et un autre qui n'en relève pas. Justifie ton choix.

Version 2

À l'aide des différents documents que tu as étudiés, démontre que Kourou rassemble toutes les caractéristiques d'une base de lancement. Tu argumenteras chaque caractéristique développée. Toute piste de recherche, même non aboutie, figurera sur la feuille.

Parmi les arguments que tu as utilisés, choisis-en un qui relève du domaine des sciences et un autre qui n'en relève pas. Justifie ton choix.

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- Relire la question, identifier le mot clé, retrouver le document s'y rapportant, souligner les mots clés dans ce document
- Cibler des extraits de la vidéo plus restreints.
- Définir la notion de caractéristique.

ANALYSER

- Reprendre le passage de la vidéo correspondant à l'explication de la vitesse linéaire.
- Repérer dans les documents ce qui se rapporte à la vitesse linéaire.
- Faire reformuler les deux notions de vitesse par chaque élève du groupe pour confronter leurs représentations.

VALIDER

- Faire construire par les élèves un tableau à deux colonnes, mettant en parallèle, les critères d'une base de lancement et les caractéristiques de Kourou.

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de productions attendues :

Version 1 :

1- À partir des différents documents, coche la ou les bonne(s) réponse(s) :

Parmi les caractéristiques ci-contre, lesquelles sont nécessaires au choix du lieu d'une base de lancement ?	<input checked="" type="checkbox"/> Position géographique ; <input type="checkbox"/> Latitude ; <i>peut être coché</i> <input checked="" type="checkbox"/> Absence de risque sismique ; <input type="checkbox"/> Présence de grandes villes à proximité ; <input type="checkbox"/> Type de végétation ; <input type="checkbox"/> Qualité de l'air ; <input checked="" type="checkbox"/> Solidité du sol ; <input type="checkbox"/> Altitude ; <input type="checkbox"/> Température de l'eau.
La vitesse angulaire de la Terre est identique en tout point de la surface.	<input checked="" type="checkbox"/> Vrai <input type="checkbox"/> Faux
Pour lancer une balle le plus loin possible avec une fronde, on peut :	<input checked="" type="checkbox"/> Augmenter la vitesse linéaire de la balle ; <input type="checkbox"/> Diminuer la vitesse linéaire de la balle ; <input checked="" type="checkbox"/> Augmenter la longueur de la ficelle ; <input type="checkbox"/> Diminuer la longueur de la ficelle.
Pourquoi la vitesse linéaire est-elle plus importante à l'équateur qu'aux pôles ?	<input type="checkbox"/> La vitesse angulaire de la Terre est plus grande. <input checked="" type="checkbox"/> La distance à parcourir à cette latitude est plus grande. <input checked="" type="checkbox"/> La distance à l'axe de rotation de la Terre est la plus grande. <input type="checkbox"/> L'altitude est plus importante

2- *Kourou est une station idéale pour le lancement des satellites géostationnaires. Trouve un argument dans la vidéo qui explique ce choix.*

Kourou est un lieu idéal pour le lancement des satellites géostationnaires, car ce lieu est proche de l'équateur. Lorsqu'on lance un satellite de cet endroit, il bénéficie de davantage de vitesse et la latitude est idéale pour atteindre facilement l'orbite géostationnaire.

3- *À l'aide des différents documents que tu as étudiés, démontre que Kourou rassemble toutes les caractéristiques d'une base de lancement. Tu argumenteras chaque caractéristique développée. Toute piste de recherche, même non aboutie, figurera sur la feuille (les erreurs ne seront pas sanctionnées !).*

Le choix d'une base de lancement se fait selon différents critères que la ville de Kourou rassemble :

- une zone dégagée pour les lancements : Kourou se trouvant sur le littoral, la zone est entourée d'océan à l'est et vers le nord (ce qui facilite également les transports de

matériels) et peu peuplée (Les environs sont un mélange de savane sèche et inondée ainsi que de forêt tropicale). ;

- proche de l'équateur : Kourou se situe quasiment à l'équateur, à 5° nord. Ainsi, les lanceurs bénéficient de l'énergie cinétique de la Terre. Cette latitude est idéale pour placer en orbite les satellites géostationnaires ;
- des conditions climatiques stables : les vents ne sont pas violents et les risques d'ouragan quasi-inexistants. De plus, le risque sismique est faible ;
- la Guyane est un département français, ce qui est plus pratique pour la France ;
- stabilité du sol pour supporter l'impact lors du décollage.

4- Parmi les arguments que tu as utilisés, choisis-en un qui relève du domaine des sciences et un autre qui n'en relève pas. Justifie ton choix.

Le caractère « proche de l'équateur » relève du domaine des sciences, car l'énergie cinétique est une grandeur scientifique.

Le caractère « climatique » relève du domaine des sciences, car la climatologie est une science.

Le caractère « géographique » (accessibilité, zones dégagées...) est utilisé pour des raisons politiques, économiques et humaines.

Version 2 :

À l'aide des différents documents que tu as étudiés, démontre que Kourou rassemble toutes les caractéristiques d'une base de lancement. Tu argumenteras chaque caractéristique développée. Toute piste de recherche, même non aboutie, figurera sur la feuille (les erreurs ne seront pas sanctionnées !).

Le choix d'une base de lancement se fait selon différents critères que la ville de Kourou rassemble :

- une zone dégagée pour les lancements : Kourou se trouvant sur le littoral, la zone est entourée d'océan à l'est et vers le nord (ce qui facilite également les transports de matériels) et peu peuplée (Les environs sont un mélange de savane sèche et inondée ainsi que de forêt tropicale) ;
- proche de l'équateur : Kourou se situe quasiment à l'équateur, à 5° nord. Ainsi, les lanceurs bénéficient de l'énergie cinétique de la Terre. Cette latitude est idéale pour placer en orbite les satellites géostationnaires ;
- des conditions climatiques stables : les vents ne sont pas violents et les risques d'ouragan quasi-inexistants. De plus, le risque sismique est faible ;
- la Guyane est un département français, ce qui est plus pratique pour la France ;
- stabilité du sol pour supporter l'impact lors du décollage.

Parmi les arguments que tu as utilisés, choisis-en un qui relève du domaine des sciences et un autre qui n'en relève pas. Justifie ton choix.

Le caractère « proche de l'équateur » relève du domaine des sciences, car l'énergie cinétique est une grandeur scientifique.

Le caractère « climatique » relève du domaine des sciences, car la climatologie est une science.

Le caractère « géographique » (accessibilité, zones dégagées...) est utilisé pour des raisons politiques, économiques et humaines.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite attendus au niveau A
S'APPROPRIER	<p>La Guyane est correctement placée sur le planisphère.</p> <p>Les caractéristiques nécessaires ont été correctement cochées. La latitude peut aussi être cochée mais elle n'est pas nécessaire pour installer une base de lancement (cf base de lancement russe ou américaine)</p> <p>La vitesse angulaire de la Terre, d'un tour en 24h est identique en tout point de la surface.</p>
ANALYSER	<p>Pour lancer plus loin une balle à l'aide d'une fronde, on peut (en considérant la masse de la balle comme fixe) augmenter la longueur de la ficelle ou augmenter la vitesse de rotation. Lors du lancer d'un satellite, seule la vitesse de rotation entre en compte par l'intermédiaire du choix du lieu de la base de lancement (influence de la latitude).</p> <p>La vitesse linéaire est plus importante à l'équateur qu'aux pôles car : La distance à parcourir à cette latitude est plus grande. La distance à l'axe de rotation de la Terre est la plus grande.</p> <p>Kourou se situe proche de l'équateur, ce qui est un atout pour le lancement de satellite géostationnaire.</p>
VALIDER	<p>Argumenter les différents critères d'une base de lancement avec les caractéristiques de Kourou.</p> <p>Justification cohérente avec le choix d'un critère relevant des sciences ou non.</p>

La version 2 de cette activité étant moins guidée, les compétences S'APPROPRIER et ANALYSER sont implicites. La rigueur, la précision et la complétude de la réponse ont une importance primordiale car elles permettent au correcteur d'apprécier le degré de maîtrise de ces deux compétences.

Paramètres expérimentaux et période d'un pendule simple

Niveau : Terminale S
Thème : Temps, mouvement et évolution

Résumé de l'activité :

Le but de l'activité est d'étudier à l'aide de documents de registres différents (texte, graphe, vidéo) les paramètres qui influent sur la période d'oscillations d'un pendule simple.

Programme de terminale S

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Mesure du temps et oscillateur	Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence les différents paramètres influençant la période d'un oscillateur mécanique.

Cette activité documentaire peut être préalable à l'activité expérimentale exigée par le programme.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées ²³
S'approprier (APP)	<ul style="list-style-type: none">- Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)- Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, graphe, tableau, schéma, vidéo, photo,).
Analyser (ANA)	<ul style="list-style-type: none">- Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents.- Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence dans des documents faisant appel à des registres différents.
Valider (VAL)	<ul style="list-style-type: none">- Apprécier la validité d'une information, d'une hypothèse, d'une propriété, d'une loi, d'un modèle.

Nature et origine des documents

- Schéma introductif
- Traduction d'un extrait du livre « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde », 1632, Galiléo Galilei
- Extrait de « Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caienne », Paris, 1679, Jean Richer
- Graphique
- Extrait d'une vidéo réalisée par le MIT OpenCourseWare

²³ Capacités de la démarche scientifique peu travaillées dans les activités documentaires habituelles

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

L'activité présente :

deux versions de documents :

- D1 : les documents sont didactisés afin de rendre le contenu scientifique plus accessible
- D2 : les documents sont extraits de textes originaux

deux versions de questionnement :

- Q1
 - Dans une première partie, les questions mettent en œuvre la compétence « s'approprier » en entraînant l'élève à l'extraction d'informations de documents de registres différents (textes, graphes, schémas...)
 - Dans une deuxième partie, les compétences « analyser » et « valider » sont mises en œuvre à travers des questions peu souvent rencontrées par les élèves.

- Q2

Cette deuxième version peut être utilisée avec des élèves déjà plus habitués à mettre en œuvre la compétence « s'approprier » sans questions pour les y aider.

Les questions posées mettent en œuvre les compétences « analyser » et « valider ». La compétence « s'approprier » est présente mais de façon implicite dans les questions.

Il est donc possible de construire **quatre** activités documentaires (D1 + Q1 ; D1 + Q2 ; D2 + Q1 ; D2 + Q2) dont les niveaux de difficultés relatifs sont consignés ci-dessous :

Compétences	Niveaux de difficulté			
	Version D1+Q1 « initiation »	Version D1+Q2 « confirmé »	Version D2+Q1 « confirmé »	Version D2+Q2 « expert »
S'approprier (APP)	1	2	3	4
Analyser (ANA)	2	3	2	3
Valider (VAL)	3	4	3	4

Déroulement de l'activité

Durée de l'activité : 1h30 environ

Chaque version de l'activité documentaire peut être travaillée en formation des élèves pour améliorer leur niveau d'acquisition des compétences APP, ANA et VAL ou utilisée en évaluation au cours de l'année.

Chaque élève peut se voir confier une des quatre versions possibles en fonction de son niveau d'acquisition des compétences et de ses difficultés.

Il est à noter que cette activité ne peut être proposée que si les élèves ont déjà vu la notion de sources d'erreurs pour la mesure.

Fiche 1 – Activité élèves

Version D1

Le but de l'activité est d'étudier à l'aide des divers documents et informations ci-dessous, les paramètres qui influent sur la période d'un pendule simple.

Pendule simple

Un pendule qui est constitué d'un solide de masse m , suspendu à un fil inextensible, de masse négligeable devant m et de longueur L au moins dix fois supérieure aux dimensions du solide, est qualifiée de « simple ».

Lorsque le pendule oscille, sa position est repérée par son abscisse angulaire θ , angle entre la verticale et la direction du fil. L'abscisse angulaire maximale est notée θ_m .

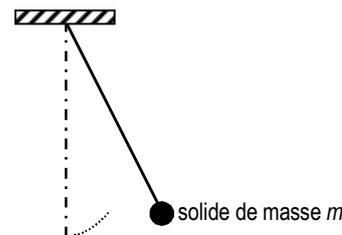


Figure 1

Texte n°1 : A partir d'un extrait du livre « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde », 1632, Galileo Galilei

Dans son ouvrage « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde », Galilée explique l'expérience suivante.

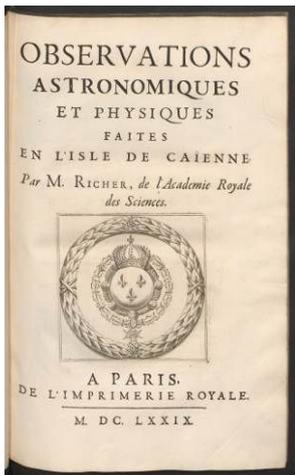
Il prend deux balles. L'une en plomb est cent fois plus lourde que la deuxième en liège. Il accroche les deux balles à deux fils fins de longueur identique. Il écarte les deux balles de leur position d'équilibre d'une même abscisse angulaire maximale et les lâche en même temps. Il observe que les deux balles décrivent des arcs de cercle de rayon identique à la même vitesse et qu'aucune des balles n'acquiert de retard dans son mouvement par rapport à l'autre.

Il écarte et lâche ensuite le pendule de plomb d'une abscisse angulaire maximale de 50° . Il remarque que le pendule décrit un arc de presque 100° en une durée identique à un arc de 90° , de 50° puis de 20° , de 10° ou de 4° avant de revenir à sa position d'équilibre.

Il montre ensuite que si l'on veut que la durée des oscillations d'un pendule 1 soit le double de la durée des oscillations d'un pendule 2, il faut que la longueur de la corde du pendule 1 soit le quadruple de la longueur de la corde du pendule 2.

Note : Galilée utilisait son pouls pour faire les mesures de durées.

Texte n°2 A partir d'un extrait de « Observations astronomiques et physiques faites



Par des mesures faites à Paris puis à Cayenne, Richer montre qu'un pendule qui bat la seconde à Paris a une longueur plus grande de 2,25 mm par rapport à un pendule qui bat la seconde à Cayenne.

Note : un pendule bat la seconde s'il fait un « aller et retour » en deux secondes.

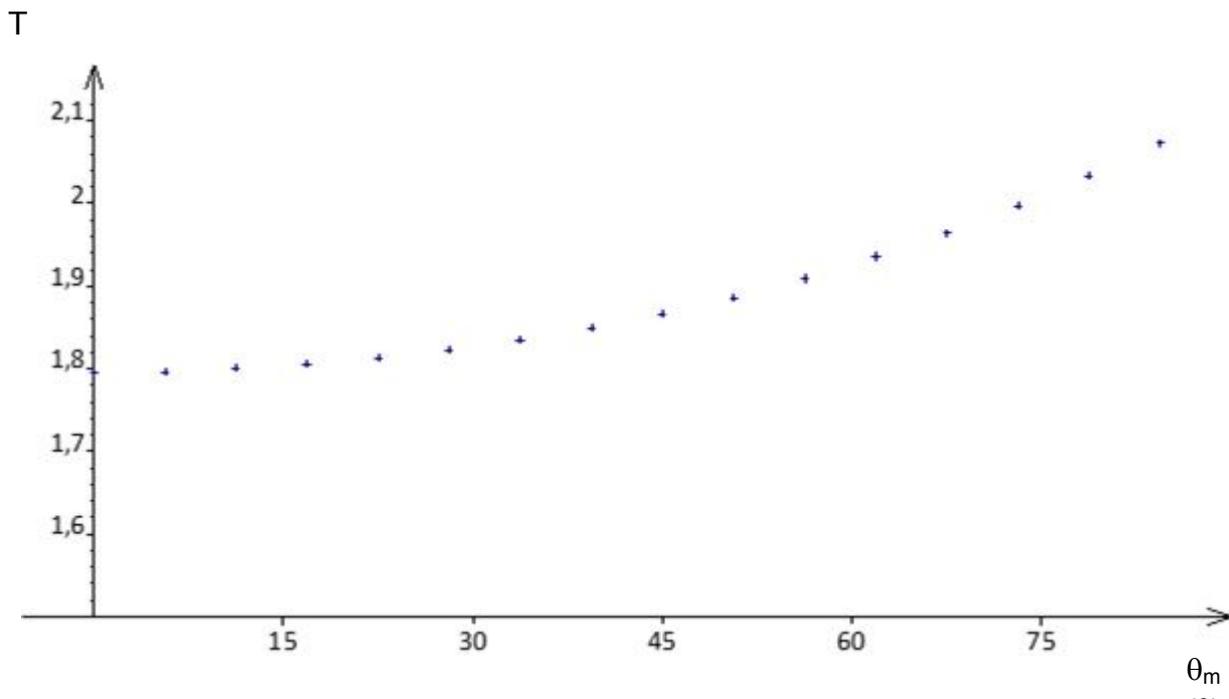
en l'isle de Caienne », Paris, 1679, Jean Richer

Graphes de la période d'un pendule simple en fonction de l'abscisse angulaire θ_m

L'acquisition des mesures a été réalisée avec une grande précision grâce à l'obturation d'un faisceau laser au passage du pendule simple dans un laboratoire universitaire en 2014 à Paris.

Longueur L du pendule : 80,0 cm

Masse du pendule : $m = 100$ g



Extrait n°3 d'une vidéo réalisée par MIT OpenCourseWare

Le MIT OpenCourseWare est un site américain qui propose des ressources en ligne telles que des cours magistraux, des prises de notes des étudiants, des devoirs, etc.

La vidéo proposée, fichier « *GRIESP_Pendule_Vidéo MIT OpenCourseWare.mp4* », propose un extrait du cours magistral du professeur de physique Walter Lewin qui officie depuis 1966 au M.I.T, prestigieuse université américaine. Le cours, réalisé en 1999, porte sur l'étude de l'oscillateur harmonique. La séquence sélectionnée présente plus particulièrement l'influence de la masse sur la période des oscillations d'un pendule simple.

Données :

- intensité de la pesanteur terrestre à Paris : $g_{0\text{Paris}} = 9,8094 \text{ m.s}^{-2}$;
- intensité de la pesanteur terrestre à Cayenne : $g_{0\text{Cayenne}} = 9,7807 \text{ m.s}^{-2}$.

Version D2

Le but de l'activité est d'étudier à l'aide des divers documents et informations ci-dessous, les paramètres qui influent sur la période d'un pendule simple.

Pendule simple

Un pendule qui est constitué d'un solide de masse m , suspendu à un fil inextensible, de masse négligeable devant m et de longueur L au moins dix fois supérieure aux dimensions du solide, est qualifiée de « simple ».

Lorsque le pendule oscille, sa position est repérée par son abscisse angulaire θ , angle entre la verticale et la direction du fil. L'abscisse angulaire maximale est notée θ_m .

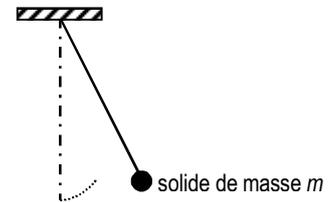


Figure 1

Extrait n°1 : Traduction d'un extrait du livre « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde », 1632, Galileo Galilei

« J'ai pris deux balles, l'une de plomb, l'autre de liège, celle-là bien plus de cent fois plus lourde que celle-ci, toutes deux attachées à des fils fins et égaux, long de 4 à 5 coudées¹, fixés par le haut. Puis, les ayant éloignées l'une de l'autre de la verticale, je les ai laissées aller en même temps ; et toutes deux descendant le long des circonférences, des cercles décrits par les fils et de rayons égaux, dépassèrent la verticale ; puis elles revinrent en arrière par le même chemin et répétant bien cent fois les mêmes allées et venues, elles ont montré d'une manière évidente que la boule lourde marche tellement dans le même temps que la légère, qu'elle ne dépasse pas ce temps ni en cent oscillations, ni en mille, du plus petit intervalle, mais elle marche d'un pas tout à fait égal... »

« Eloignant le pendule de plomb de 50° de la verticale, et le laissant en liberté, il court, et dépassant la verticale presque de 50 autres degrés, il décrit un arc de près de 100°. Retournant alors en arrière sur lui-même, il décrit un autre arc plus petit ; et continuant ses oscillations, après un grand nombre de celles-ci, il revient enfin au repos. Chacune de ces oscillations se fait dans des temps égaux², tant celle de 90°, que celle de 50°, ou de 20°, de 10°, de 4°. Il s'ensuit que la rapidité du mobile diminue toujours, puisque dans des temps égaux il décrit successivement des arcs de plus en plus petits... »

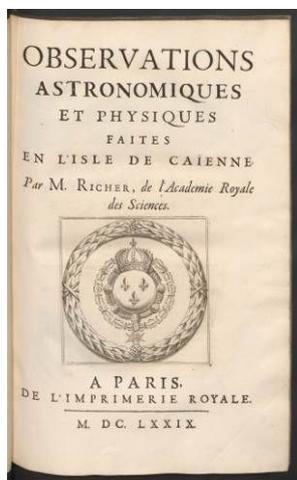
« Ensuite, quant à la proportion des temps des oscillations des mobiles suspendus à des fils de différentes longueurs, des expériences répétées, que chacun peut faire, m'ont démontré que ces temps sont en proportion sous-doublée³ des longueurs des fils ; en d'autres termes, les longueurs des fils sont en proportion doublée des temps, c'est-à-dire qu'elles sont comme les carrés des temps des oscillations isolées ou d'un égal nombre d'oscillations de sorte que, si l'on veut que le temps des oscillations d'un pendule soit double du temps des oscillations d'un autre, il faut que la longueur de la corde de celui-là soit quadruple de la longueur de la corde de celui-ci. Et alors dans les temps d'une vibration d'un pendule, un autre en fera trois si sa corde est neuf fois moins longue que celle de l'autre. Il suit de là que les longueurs des cordes ont entre elles la

proportion réciproque qu'ont les carrés des nombres des oscillations qui se font dans le même temps... »

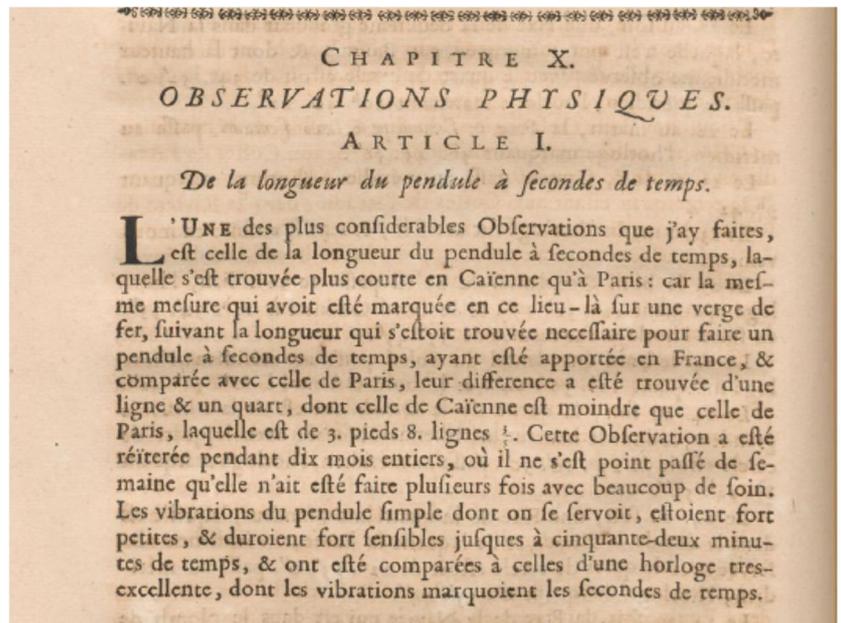
Notes :

1. coudée : ancienne mesure de longueur correspondant à la distance du coude à l'extrémité du médius soit environ 50 cm.
2. Galilée utilisait son pouls pour faire les mesures de durées.
3. Les périodes du pendule sont proportionnelles à la racine carrée des longueurs.

Extrait n°2 de « Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caienne », Paris, 1679, Jean Richer



Mémoire Académie des Sciences,
1679



1 ligne correspond à un peu plus de 2 mm.

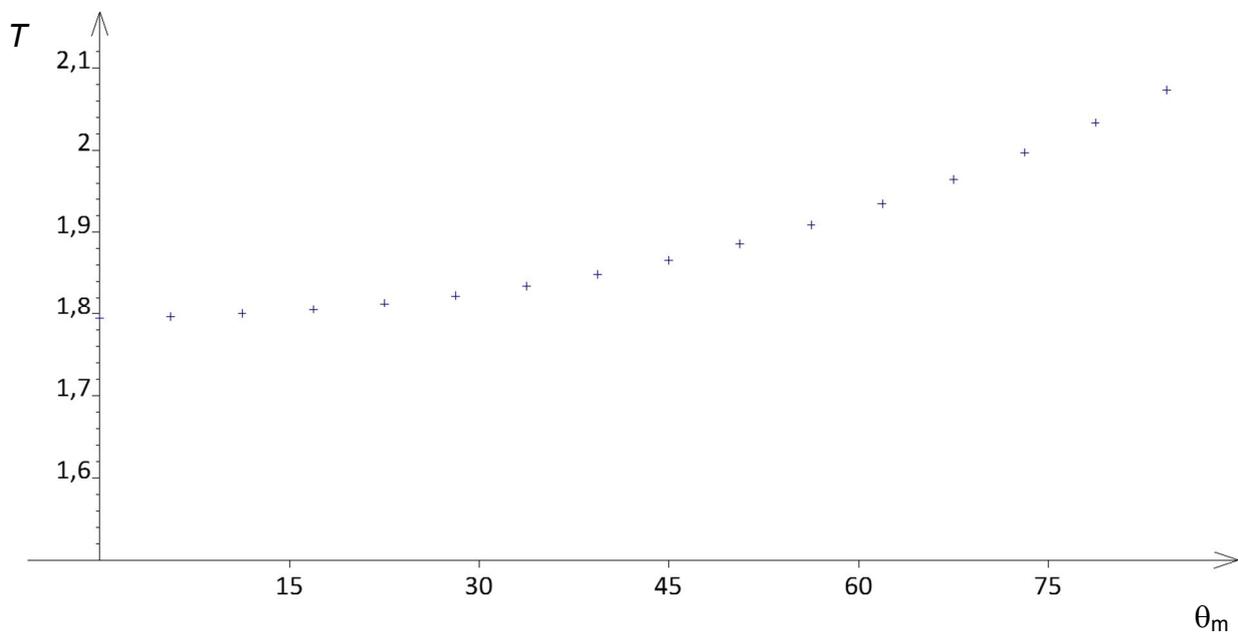
1 pied correspond à un peu plus de 30 cm

Graphes de la période d'un pendule simple en fonction de l'abscisse angulaire θ_m

L'acquisition des mesures a été réalisée avec une grande précision grâce à l'obturation d'un faisceau laser au passage du pendule simple dans un laboratoire universitaire en 2014 à Paris.

Longueur L du pendule : 80,0 cm

Masse du pendule : $m = 100$ g



Extrait n°3 d'une vidéo réalisée par MIT OpenCourseWare

Le MIT OpenCourseWare est un site américain qui propose des ressources en ligne telles que des cours magistraux, des prises de notes des étudiants, des devoirs, etc.

La vidéo proposée, fichier « *GRIESP_Pendule_Vidéo MIT OpenCourseWare.mp4* », propose un extrait du cours magistral du professeur de physique Walter Lewin qui officie depuis 1966 au M.I.T, prestigieuse université américaine. Le cours, réalisé en 1999, porte sur l'étude de l'oscillateur harmonique. La séquence sélectionnée présente plus particulièrement l'influence de la masse sur la période des oscillations d'un pendule simple.

Données :

- intensité de la pesanteur terrestre à Paris : $g_{0\text{Paris}} = 9,8094 \text{ m.s}^{-2}$;
- intensité de la pesanteur terrestre à Cayenne : $g_{0\text{Cayenne}} = 9,7807 \text{ m.s}^{-2}$.

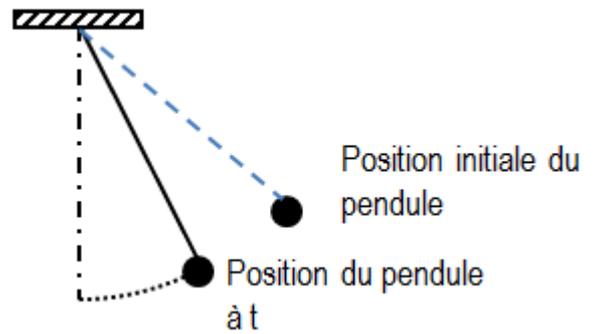
Questions Q1

À l'aide des informations, des données ci-dessus et de vos connaissances, vous répondrez aux questions suivantes :

Appropriation des documents

1. Sur le schéma du pendule simple suivant, faire figurer L la longueur du pendule, θ l'abscisse angulaire à l'instant t et θ_m l'abscisse angulaire maximale.

2. D'après le texte n°1, Galilée a réalisé des expériences au XVII^{ème} siècle portant sur des pendules qui peuvent être modélisés par des pendules simples.



a. Quels sont les trois paramètres expérimentaux étudiés dans ses expériences ?
b. D'après Galilée quels sont, parmi ces paramètres, ceux qui influent sur la période T des oscillations du pendule simple ?

3. Les deux pendules utilisés par Richer au XVII^{ème} siècle, à Paris et à Cayenne ont été lancés avec une même abscisse angulaire maximale θ_m : D'après le texte n°2, ces deux pendules utilisés à Paris et à Cayenne, ont :

- a. la même masse ? oui non le texte ne donne pas l'information
b. la même longueur ? oui non le texte ne donne pas l'information
c. les mêmes périodes d'oscillations ? oui non le texte ne donne pas l'information

4. D'après les données, l'intensité de pesanteur g est-elle la même à Paris et à Cayenne ?

5. D'après l'expérience réalisée en 2014, quelle est la valeur de T pour : $\theta_m = 15^\circ$, puis $\theta_m = 30^\circ$ et $\theta_m = 60^\circ$?

6. D'après l'extrait n°3, Walter Lewin a réalisé en 1999 une expérience portant sur un pendule qui peut être modélisé par un pendule simple.

- a. Quel est le paramètre expérimental étudié dans ces expériences ?
b. D'après Walter Lewin ce paramètre influe-t-il sur la période T des oscillations du pendule simple ?

Analyse de la validité du modèle du pendule simple

7. Les observations de Richer permettent de montrer l'influence d'un paramètre non étudié par Galilée. Quel est ce paramètre ? Justifier.

8.
a. Pour un des paramètres étudiés, deux expériences apportent des conclusions contradictoires. Relever ce paramètre.
b. En étudiant les sources d'erreurs expérimentales, indiquer si ce paramètre a ou non une influence sur la période des oscillations.

9. Pour finir, parmi les paramètres listés, quels sont ceux qui ont une influence sur la période des oscillations ?

10. On peut modéliser la période propre du pendule simple par la relation : $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$.

Indiquer quelles sont les conditions expérimentales pour lesquelles on peut utiliser l'expression donnée précédemment.

Questions Q2

À l'aide de vos connaissances et en indiquant les informations et les données extraites des documents ci-dessus, vous répondrez aux questions suivantes.

Analyse de la validité du modèle du pendule simple

1. On peut dégager des résultats des expériences décrites dans les différents documents une contradiction quant à l'influence d'un paramètre sur la période T des oscillations du pendule simple. Relever ce paramètre.
2. En étudiant les sources d'erreurs expérimentales, conclure quant à l'influence de ce paramètre sur la période propre.
3. Parmi tous les paramètres étudiés dans les différentes expériences, préciser ceux qui influent sur la période T du pendule simple et ceux qui n'ont pas d'influence.

4. On peut modéliser la période propre du pendule simple par la relation : $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$.

Préciser le domaine de validité expérimental de ce modèle.

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- On peut lister 4 paramètres étudiés pouvant avoir une influence sur la période d'oscillations d'un pendule
- Deux expériences étudient l'influence de la masse sur la période d'oscillations du pendule
- Quelle est la différence entre $\theta(t)$ et θ_m ?
- Deux expériences étudient l'influence de l'abscisse angulaire maximale sur la période d'oscillations du pendule

ANALYSER

- Richer a réussi en changeant de lieu géographique à modifier la valeur d'un paramètre que Galilée ne pouvait pas modifier expérimentalement
- Les expériences de Galilée et l'expérience réalisée en 2014 ont étudié l'influence d'un même paramètre expérimental sur la valeur de la période d'oscillation d'un pendule simple mais apportent des résultats contradictoires
- En comparant les instruments de mesure utilisés pour avoir accès à la période d'oscillation du pendule par Galilée et lors de l'expérience en 2014, on peut faire une estimation des incertitudes sur les mesures effectuées.

VALIDER

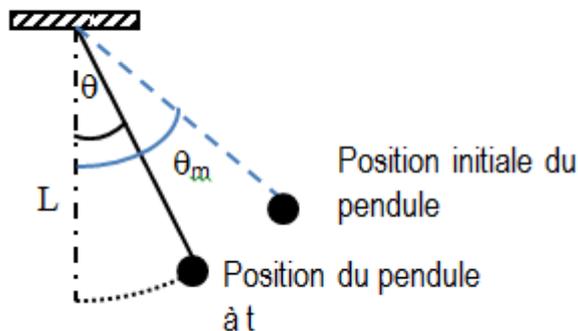
- Lister les paramètres influençant la période d'oscillation du pendule dans le modèle proposé
- Quel paramètre vu précédemment est absent du modèle proposé ?
- Dans quel cadre expérimental peut-on considérer que l'abscisse angulaire maximale n'a pas d'influence sur la période d'oscillations du pendule ?

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemple de production attendue:

Q1

1.



2.a. Les trois paramètres qui interviennent dans les expériences décrites par Galilée en 1632 sont :

- la **masse m** : la balle en plomb est cent fois plus lourde que la balle en liège

- l'**abscisse angulaire maximale θ_m** : le pendule décrit un arc de presque 100° en une durée identique à celle pour un arc de 90° , de 50° de 20° , de 10° ou de 4° .

- la **longueur L** du fil : la durée des oscillations d'un pendule 1 est le double de la durée des oscillations d'un pendule 2 si la longueur de la corde du pendule 1 est le quadruple de la longueur de la corde du pendule 2.

2.b. D'après Galilée, parmi les trois paramètres étudiés, seule la longueur L du fil influe sur la période T des oscillations du pendule simple.

3.

a. la même masse ? oui non le texte ne donne pas l'information

b. la même longueur ? oui non le texte ne donne pas l'information

c. les mêmes périodes d'oscillations : oui non le texte ne donne pas l'information

4. D'après les données, l'intensité de la pesanteur terrestre à Paris a pour valeur $g_{0\text{Paris}} = 9,8094 \text{ m.s}^{-2} \neq g_{0\text{Cayenne}} = 9,7807 \text{ m.s}^{-2}$ l'intensité de la pesanteur terrestre à Cayenne.

5. D'après le graphe $T = f(\theta_m)$ réalisé en 2014, on obtient le tableau de valeurs suivant :

θ_m en $^\circ$	15	30	60
T en s	1,80	1,83	1,92

6.

a. Dans l'extrait n°3, le professeur de physique Walter Lewin étudie l'influence de la masse sur la période T d'oscillations du pendule simple.

b. D'après Walter Lewin, ce paramètre n'influe pas sur la période T .

7. Richer a utilisé des pendules battant la seconde ce qui signifie que la longueur du fil du pendule était fixée de manière à obtenir une période T de 2 s à Paris comme à Cayenne. Or d'après ses observations, pour que le pendule de Cayenne batte à nouveau la seconde, il a fallu le raccourcir d'une ligne et quart, soit un peu plus de 2 mm.

Il y a donc un autre paramètre que la longueur qui influe sur la période T d'oscillations du pendule simple. Or l'intensité de pesanteur étant légèrement différente à Cayenne qu'à Paris, on peut penser qu'elle influe sur la période T .

8

a. D'après les expériences de Galilée, l'abscisse angulaire maximale θ_m n'influe pas sur la période T d'oscillations du pendule simple alors que lors des expériences réalisées en 2014, on observe le contraire : T augmente lorsque θ_m augmente.

b. Lors de ses expériences Galilée utilisait son pouls pour mesurer les périodes T du pendule alors qu'en 2014, on s'est servi pour déclencher et arrêter le chronomètre de l'obturation d'un faisceau laser par le mouvement d'aller-retour du pendule. On peut donc considérer qu'en 2014 l'incertitude sur la mesure de T est beaucoup plus faible qu'en 1632.

9. Les paramètres influant sur la période T des oscillations du pendule simple sont :

- la longueur L du fil : cf. travaux de Galilée

- l'intensité de pesanteur g : cf. écrit de Richer

- l'abscisse angulaire maximale θ_m : cf. expérience de 2014

10. Dans cette expression proposée, la période propre ne dépend que des paramètres L et g . Le paramètre θ_m est absent de l'expression littérale. On doit donc chercher dans quels cas la période ne dépend pas de l'abscisse angulaire maximale. Cette expression est donc valable par exemple pour les abscisses angulaires maximales inférieures à 30° environ si on peut mesurer la période au mieux avec une incertitude de l'ordre de 0,02 s.

Q2

1. D'après les expériences de Galilée, l'abscisse angulaire maximale θ_m n'influe pas sur la période T d'oscillations du pendule simple alors que lors des expériences réalisées en 2014, on observe le contraire : T varie lorsque θ_m prend une valeur importante (θ_m supérieure à 30°).
2. Lors de ses expériences, Galilée utilisait son pouls pour mesurer les périodes T du pendule alors qu'en 2014, on s'est servi pour déclencher et arrêter le chronomètre de l'obturation d'un faisceau laser par le mouvement d'aller-retour du pendule. On peut donc considérer qu'en 2014 l'incertitude sur la mesure de T est beaucoup plus faible qu'en 1632.

Grâce au graphe de la période d'un pendule simple en fonction de l'abscisse angulaire θ_m , on lit une différence d'environ 0,3 s entre la période propre pour 10° et la période propre pour 90° . Cette différence n'était pas mesurable par Galilée. En effet, il utilisait son pouls dont on peut supposer qu'il battait à peu près la seconde (60 BPM).

3. Les paramètres influant sur la période T des oscillations du pendule simple sont :
 - l'abscisse angulaire maximale θ_m (voir questions 1 et 2)
 - la longueur L du pendule d'après l'expérience de Galilée (note 3)
 - l'intensité de pesanteur g . Richer a utilisé des pendules battant la seconde ce qui signifie que la longueur du fil du pendule était fixée de manière à obtenir une période T de 2 s à Paris comme à Cayenne. Or d'après ses observations, pour que le pendule de Cayenne batte à nouveau la seconde, il a fallu le raccourcir d'une ligne et quart, soit un peu plus de 2 mm.

Il y a donc un autre paramètre que la longueur qui influe sur la période T d'oscillations du pendule simple. Or l'intensité de pesanteur étant légèrement différente à Cayenne qu'à Paris, on peut penser qu'elle influe sur la période T .

Les paramètres n'ayant pas d'influence sur la période T des oscillations :

- la masse : la vidéo ou l'expérience de Galilée apportent la même conclusion.
4. Dans cette expression proposée, la période propre ne dépend que des paramètres L et g . Le paramètre θ_m est absent de l'expression littérale. On doit donc chercher dans quels cas la période ne dépend pas de l'abscisse angulaire maximale. Cette expression est donc valable par exemple pour les abscisses angulaires maximales inférieures à 30° environ, en considérant la mesure de la période au mieux avec une incertitude de l'ordre de 0,02 s.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Version Q1

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<p>Expérience de Galilée : paramètres relevés (longueur du fil, masse, abscisse angulaire maximale), influence de L relevée</p> <p>Expérience de Richer : pendule de même période mais pas de même longueur, variation de g en fonction du lieu</p> <p>Expérience 2014 : relevés de T pour θ_m différents</p> <p>Vidéo : pas d'influence de m</p>
ANALYSER	<p>Influence de g</p> <p>Contradiction relevée pour θ_m</p> <p>Comparaison des incertitudes de mesure pour expérience de Galilée et expérience 2014</p>
VALIDER	<p>Absence du paramètre θ_m dans le modèle proposé</p> <p>Validité du modèle proposé (accepter « pour θ_m suffisamment petit » ou « pour θ_m inférieur à une quinzaine (une vingtaine) de degrés »)</p>

Version Q2

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	Paramètre influençant la période relevé (sans nécessité d'analyse) : L
ANALYSER	<p>Influence de g</p> <p>Contradiction relevée pour θ_m</p> <p>Comparaison des incertitudes de mesure pour expérience de Galilée et expérience 2014</p>
VALIDER	<p>Absence du paramètre θ_m dans le modèle proposé</p> <p>Validité du modèle proposé (accepter « pour θ_m suffisamment petit » ou « pour θ_m inférieur à une quinzaine (une vingtaine) de degrés »)</p>

Fiche 5 – Exemple de production d'élève et d'attribution de niveaux de réussite

Seule la version initiation « D1+Q1 » a été proposée à une classe de terminale S.

Une courte présentation du type d'exercice à réaliser a été faite en début de séance par le professeur avec les consignes suivantes :

- Durée 1h15 min maximum
- Travail individuel à rendre sur copie
- Exercice évalué par compétence et noté sur 5 points

La vidéo peut être passée deux fois de suite pour être sûr que les élèves ne sont pas gênés par une mauvaise compréhension de l'anglais.

Cette version de l'activité a été donnée à 22 élèves de terminale S assez autonomes. La partie du programme a été traitée deux mois plus tôt et les élèves ont faits en « ECE blanches » le sujet « la danse des pendules » (cf. annales zéro).

La répartition des notes obtenues a été la suivante :

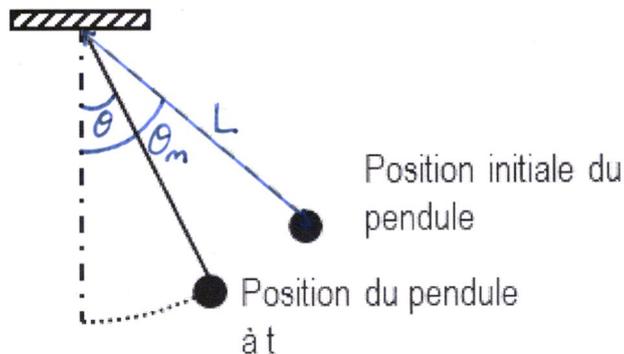
Note	5	4	3	2
Nombre de copies	3	8	9	2
Evaluation par compétence	Niveau A pour APP et ANA et B pour VAL (voir copie 1)	Niveau A pour APP et ANA mais C pour VAL	Les copies présentent de réelles faiblesses dans une des compétences APP ou ANA (voir copie 2)	Les copies présentent de réelles faiblesses dans les compétences APP et ANA et dans la compétence VAL

Copies d'élèves

À l'aide des informations, des données et de vos connaissances, vous répondrez aux questions suivantes :

Appropriation des documents

1. Sur le schéma du pendule simple suivant, faire figurer l la longueur du pendule, θ l'abscisse angulaire à l'instant t et θ_m l'abscisse angulaire maximale.



2. D'après le texte n°1, Galilée a réalisé des expériences au XVII^{ème} siècle portant sur des pendules qui peuvent être modélisés par des pendules simples.

a. Quels sont les trois paramètres expérimentaux étudiés dans ses expériences ?

1. Le poids de la masse accrochée au fil.
2. L'écart angulaire maximal.
3. La longueur du fil.

b. D'après Galilée quels sont, parmi ces paramètres, ceux qui influent sur la période T des oscillations du pendule simple ?

D'après Galilée, seule la longueur du fil influence sur la période.

3. Les deux pendules utilisés par Richer au XVII^{ème} siècle, à Paris et à Cayenne ont été lancés avec une même abscisse angulaire maximale θ_m : D'après le texte n°2, ces deux pendules utilisés à Paris et à Cayenne, ont :

- a. la même masse ? oui non le texte ne donne pas l'information
- b. la même longueur ? oui non le texte ne donne pas l'information
- c. les mêmes périodes d'oscillations : oui non le texte ne donne pas l'information

4. D'après les données, l'intensité de pesanteur g est-elle la même à Paris et à Cayenne ?

Non, d'après les données :

$$g_{\text{Paris}} = 9,8096 \text{ m.s}^{-2}$$

$$g_{\text{Cayenne}} = 9,7807 \text{ m.s}^{-2}$$

Donc $g_{\text{Paris}} > g_{\text{Cayenne}}$

5. D'après l'expérience réalisée en 2014, quelle est la valeur de T pour : $\theta_m = 15^\circ$, puis $\theta_m = 30^\circ$ et $\theta_m = 60^\circ$?

$T_{15} \approx 1,8 \text{ s.}$
 $T_{30} \approx 1,82 \text{ s.}$
 $T_{60} \approx 1,82 \text{ s.}$) périodes déterminées graphiquement

6. D'après l'extrait n°3, Walter Lewin a réalisé en 1999 une expérience portant sur un pendule qui peut être modélisé par un pendule simple.

6.a. Quel est le paramètre expérimental étudié dans ces expériences ?

C'est l'influence de la masse sur la période qui est étudiée ici.

b. D'après Walter Lewin ce paramètre influe-t-il sur la période T des oscillations du pendule simple ?

Oui, d'après lui la masse d'un pendule simple influe sur la période.

Analyse de la validité du modèle du pendule simple

7. Les observations de Richer permettent de montrer l'influence d'un paramètre non étudié par Galilée. Quel est ce paramètre ? Justifier.

Ce paramètre est la pesanteur terrestre. En effet, selon Galilée, seule la longueur fait varier la période. Or le pendule de Cayenne est plus long que celui de Paris mais bat aussi bien la seconde. Cette différence de longueur compense donc une autre variation de paramètre. Ici, le seul autre qui varie est l'intensité de la pesanteur.

8.a. Pour un des paramètres étudiés, deux expériences apportent des conclusions contradictoires. Relever ce paramètre.

Ce paramètre est la masse. Galilée pense qu'elle ne fait pas varier la période tandis que Walter Lewin pense le contraire.

b. En étudiant les sources d'erreurs expérimentales, indiquer si ce paramètre a ou non une influence sur la période des oscillations.

En utilisant son corps pour augmenter la masse du pendule, W.L. s'écarte du modèle du pendule simple car il ne peut plus être résumé à un point matériel : il introduit des frottements et déplace le centre de gravité de l'objet. Galilée respecte le modèle d'approximation du pendule simple. On ne peut donc pas affirmer que la masse ait une influence sur la période des oscillations.

9. Pour finir, parmi les paramètres listés, quels sont ceux qui ont une influence sur la période des oscillations ?

La longueur du pendule et l'intensité de la pesanteur influent avec certitude sur la période des oscillations.

10. On peut modéliser la période propre du pendule simple par la relation : $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$.

Indiquer quelles sont les conditions expérimentales pour lesquelles on peut utiliser l'expression donnée précédemment.

La masse et l'écart angulaire n'influençant pas la période et les 2 paramètres déterminants étant inclus dans l'expression, on peut dire que cette dernière est utilisable avec n'importe quelles conditions dans le référentiel terrestre (les frottements étant négligés sur un pendule simple).

Remarques :

Pour l'appropriation :

L'élève répond bien aux questions mais se trompe sur l'influence du paramètre « masse » après avoir vu la vidéo deux fois.

Pour l'analyse :

L'élève ne relève pas le paramètre « abscisse angulaire maximale » mais il relève bien le paramètre masse en cohérence avec son erreur d'appropriation.

Sa justification des sources d'erreurs est scientifique et cohérente avec son erreur de choix du paramètre « masse ». Sa liste définitive des paramètres ayant une influence sur la période est cohérente. Malgré donc des réponses fausses par rapport aux attendus, la cohérence du raisonnement lui permet d'obtenir le niveau B pour la compétence.

Pour la validation :

L'élève répond de manière tout à fait cohérente. Il obtient le niveau A pour la compétence.

	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A <small>* : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe</small>	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	Expérience de Galilée : paramètres relevés (longueur du fil, masse, abscisse angulaire maximale), influence de L relevée Expérience de Richer : pendule de même période mais pas de même longueur, variation de g en fonction du lieu Expérience 2014 : relevés de T pour θ_m différents Vidéo : pas d'influence de m		X			2
Analyser	Influence de g Contradiction relevée pour θ_m Comparaison des incertitudes de mesure pour expérience de Galilée et expérience 2014		X X			2
Valider	Absence du paramètre θ_m dans le modèle proposé Validité du modèle proposé (accepter « pour θ_m suffisamment petit » ou « pour θ_m inférieur à une quinzaine (une vingtaine) de degrés »)	X				1

Note : 3/5

Détection des exoplanètes

Niveau : Terminale S
Thème : Caractéristiques et propriétés des ondes
Temps, mouvement et évolution

Résumé de l'activité :

Cette activité permet aux élèves de réfléchir sur les moyens dont disposent les astronomes pour détecter les exoplanètes et d'expliquer les différentes méthodes de détection à l'aide de schémas et de graphes (changement de registre).

Programme

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Effet Doppler	Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées ²⁴
S'approprier (APP)	- Dégager la problématique principale. - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
Analyser (ANA)	Identifier les idées essentielles et leurs articulations
Réaliser (REA)	Tracer un graphe à partir de données ; faire un schéma à partir d'informations données dans un texte.
Valider (VAL)	
Communiquer (COM)	Illustrer son propos par des schémas, des graphes.

Nature et origine des documents

Deux documents :

Un document texte, non modifié mais extrait d'un article plus volumineux du CEA.

Un document sous forme de schéma et de texte pour les versions « confirmé » 1 et 2.

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions d'une même activité documentaire sont proposées avec des niveaux relatifs de difficulté différents.

²⁴ Capacités de la démarche scientifique peu travaillées dans les activités documentaires habituelles

Compétences	Niveaux de difficulté		
	Version 1 (niveau « confirmé »)	Version 1 (« niveau « confirmé »)	Version 3 (niveau « expert »)
S'approprier (APP)	2	2	2
Analyser (ANA)	2	2	4
Réaliser (REA)	2	3	4
Valider (VAL)			
Communiquer (COM)	2	2	3

La **version 1** de cette activité documentaire a un niveau de difficulté modéré car un schéma déjà préparé et à compléter guide les élèves. Ce n'est quand même pas une activité simple car il faut comprendre le texte qui n'est pas « didactisé ».

La **version 2** est peu plus difficile car le schéma à compléter a été supprimé. Il reste le deuxième document pour guider les élèves mais la tâche est plus délicate. D'autre part, une question avec un calcul a été introduite ce qui augmente la difficulté de la compétence « Réaliser ». Les autres compétences ne sont pas modifiées.

La **version 3** est beaucoup plus difficile car il n'y a plus que le document texte. Une deuxième question, destinée à vérifier que les élèves ont bien compris le problème, a été ajoutée. Les niveaux des compétences « Analyser », « Réaliser » et « Communiquer » se trouvent modifiés.

Déroulement de l'activité

Durée : **1h**

Seule la **version 1** peut être faite individuellement sans aide du professeur, en évaluation par exemple, après le cours sur l'effet Doppler (mais est possible de la faire par petits groupes avec des aides apportées.)

Les versions 2 et 3 ne peuvent être faites que par petits groupes avec des aides apportées, indispensables pour certaines questions (sauf pour de très bons élèves, passionnés par le sujet).

La version 1 de cette activité a été testée avec un groupe de 18 élèves de TS au mois de mai 2015. Les élèves n'avaient pas du tout été prévenus et la partie ondes a été traitée en début d'année, en octobre.

Les souvenirs relatifs à effet Doppler étaient donc bien loin et c'est le point qui semble avoir posé le plus de difficultés aux élèves. Trois copies notées figurent en annexe.

Fiche 1 – Activité élèves

L'habitabilité des exoplanètes

Détection des exoplanètes

Hors du système solaire, [...] les exoplanètes sont extrêmement difficiles à observer avec des méthodes traditionnelles. Notamment en raison d'un rayonnement très faible noyé dans celui de l'étoile. De ce fait, les études des astrophysiciens nécessitent des techniques d'observation indirecte. C'est grâce à la méthode dite des vitesses radiales que la première planète extrasolaire, 51 Pegasi b, s'est révélée aux yeux des Suisses Michel Mayor et Didier Queloz en 1995. *« Cette technique s'appuie sur les perturbations qu'une planète provoque sur le mouvement de son étoile. En effet, tout comme l'étoile exerce une force d'attraction gravitationnelle sur la planète, cette dernière produit une force sur l'étoile. Bien évidemment, la planète étant beaucoup moins massive que l'étoile, l'effet de cette force est extrêmement faible. Cependant, il entraîne un petit mouvement de l'étoile qui, alternativement, se rapproche et s'éloigne de nous. Ce mouvement, suite à l'effet Doppler-Fizeau, se traduit pour l'observateur par de légers déplacements en longueur d'onde du spectre de lumière apparent de l'étoile »* explique Pierre-Olivier Lagage, chef du Service d'Astrophysique du CEA-Irfu. Ainsi, si le spectrographe détecte une variation périodique de la longueur d'onde de certaines raies lumineuses, cela laisse supposer la présence d'une planète en orbite autour de l'étoile. Ces fluctuations sont toujours très faibles. C'est pourquoi l'usage de la vitesse radiale était initialement limité aux planètes massives de type géantes gazeuses et très proches de leur étoile. Aujourd'hui, des spectromètres très performants permettent aussi de détecter des planètes plus grosses que la Terre, appelées super-Terres.

Le passage d'une planète devant son étoile...

Si cette méthode a permis de découvrir la majorité des planètes extrasolaires connues à ce jour, elle présente quelques limites. Son inconvénient majeur est que seul le mouvement de l'étoile le long de la ligne de visée est mesuré. Lorsque cette ligne n'est pas dans le plan orbital de la planète, l'effet que la planète exerce sur l'étoile sera en réalité plus important que ce qui a été calculé à travers les changements de vitesse radiale. Par conséquent, la masse de la planète sera sous-estimée. Afin d'affiner et de compléter ces résultats, la méthode dite de transit a été développée. Comme son nom l'indique, elle consiste en l'observation du transit, c'est-à-dire le passage d'une planète exactement alignée avec l'étoile et l'observateur. Il existe deux cas de figures.

Le premier, appelé transit primaire, consiste à voir passer la planète devant l'étoile. Par conséquent, une fraction de la surface de l'étoile est temporairement cachée et sa luminosité apparente baisse légèrement.

Cette situation peut être détectée par des mesures plus précises. Plus la planète est grande plus cette baisse temporaire de luminosité est marquée.

La deuxième situation rencontrée est le passage de la planète derrière son étoile. Au cours de ce transit secondaire, la face éclairée de la planète éclipsée par son étoile peut être étudiée en soustrayant l'empreinte lumineuse de l'étoile. Il ne reste ensuite que la lumière émise par l'exoplanète qui informe sur sa couleur ou sa température. De cette façon, l'étude des transits fournit des informations cruciales sur les exoplanètes : leur rayon, leur température, la composition chimique de leur atmosphère, le plan orbital... Ces données, combinées avec les résultats apportés par la méthode des vitesses radiales, permettent de déterminer la masse de l'exoplanète et sa densité. C'est ainsi que l'existence d'exoplanètes rocheuses a pu être montrée.

La méthode des transits ne peut malheureusement révéler que celles qui passent exactement entre leur étoile et l'observateur, ce qui est rare.

Identifier les exoplanètes habitables

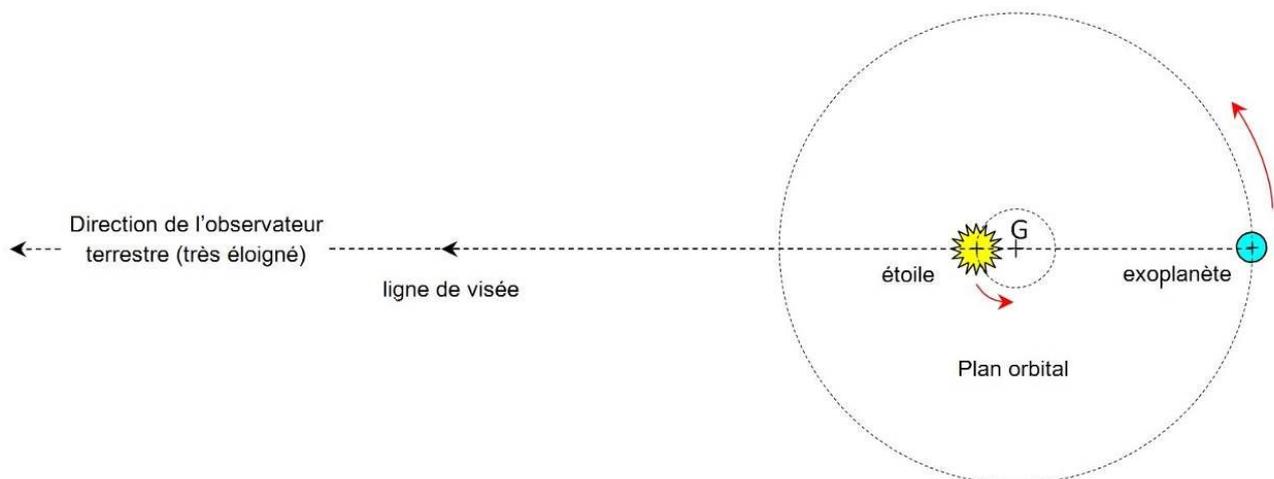
« Grâce à ces deux principales méthodes de vitesse radiale et de transit, plus de 800 planètes ont été découvertes à ce jour. Parmi elles, quelques-unes ont été identifiées comme orbitant dans une zone habitable. À l'image des études réalisées sur les planètes du système solaire, cela signifie qu'elles sont à une distance de leur étoile telle que l'eau puisse être à l'état liquide. Cette distance est étroitement corrélée à la luminosité de l'étoile et donc à sa taille » ajoute Pierre-Olivier Lagage. Quelques exoplanètes habitables identifiées ! Mais sont-elles habitées ? Pour le savoir, il va falloir caractériser leur atmosphère et c'est ce que JWST, le futur télescope de la NASA sera en partie voué à faire en 2018 en scrutant principalement les transits secondaires. En effet, ce nouveau télescope spatial sera utilisé entre autres pour l'étude des exoplanètes.

Malheureusement, il ne sera capable d'effectuer des mesures spectrométriques précises que sur les super-Terres orbitant autour d'étoiles dans notre voisinage. Ce qui n'est pas le cas des quelques exoplanètes observées en zone habitable. La course à la découverte du parfait candidat est donc toujours ouverte, en espérant qu'il apparaîtra prochainement dans une ligne de visée pour être ensuite étudié par le futur télescope JWST !

extrait des défis du CEA n° 176 décembre janvier 2013

Mouvement d'un système étoile-exoplanète

Quand une étoile et une exoplanète sont en interaction, chacun des deux astres tourne, avec la même période, autour du centre « d'inertie » G de l'ensemble. La masse de l'étoile étant beaucoup plus grande que celle de l'exoplanète, le centre d'inertie G est souvent à l'intérieur de l'étoile. Pour une même étoile, plus la masse de l'exoplanète est grande, plus le point G s'éloigne du centre de l'étoile.



QUESTIONS

Version 1 : niveau « confirmé » (les deux documents sont fournis)

S'APPROPRIER

1. Citer une des raisons pour lesquelles il n'est pas possible d'observer directement une exoplanète depuis la Terre avec un télescope.
2. Rappeler le principe de l'effet Doppler.
3. Quels sont les noms des deux techniques d'observation indirecte décrites dans le document ? Quelle grandeur est mesurée dans chacune de ces techniques ?
4. Quelle contrainte supplémentaire la deuxième technique impose-t-elle ?
5. Dans cette deuxième technique, la taille de l'exoplanète est-elle importante ?

ANALYSER & REALISER

6. Le schéma suivant représente quatre positions particulières du système étoile-exoplanète au cours de son mouvement. À l'instant t_1 , l'étoile et l'exoplanète sont en position 1, à l'instant t_2 en position 2, etc. Sur la droite du schéma, une seule raie du spectre observé depuis la Terre quand le système est en position 1 est représentée. Représenter, en explicitant votre raisonnement, la même raie pour les autres positions particulières du système étoile-exoplanète et illustrer la phrase : « Ainsi, si le spectrographe détecte une variation périodique de la longueur d'onde de certaines raies lumineuses, cela laisse supposer la présence d'une planète en orbite autour de l'étoile. »

Expliquer pourquoi les fluctuations de la longueur d'onde sont toujours très faibles.

7. Tracer qualitativement l'allure du graphe donnant la luminosité apparente de l'étoile en fonction du temps dans le cas où la méthode du transit est utilisable. Indiquer sur ce graphe la période de révolution de l'exoplanète.
8. Sur un schéma représentant l'étoile et sa zone d'habitabilité, indiquer les zones où l'eau est à l'état solide, liquide ou gazeux.

Version 2 : niveau « confirmé » (les deux documents sont fournis)

S'APPROPRIER

1. Citer une des raisons pour lesquelles il n'est pas possible d'observer directement une exoplanète depuis la Terre avec un télescope.
2. Rappeler le principe de l'effet Doppler.
3. Quels sont les noms des deux techniques d'observation indirecte décrites dans le document 1 ? Quelle grandeur est mesurée dans chacune de ces techniques ?
4. Quelle contrainte supplémentaire la deuxième technique impose-t-elle ?

ANALYSER & REALISER

5. Dans quelle situation particulière aucune des deux méthodes ne permet de détecter l'exoplanète ?
6. À l'aide des documents, réaliser un schéma pour illustrer la phrase : « Ainsi, si le spectrographe détecte une variation périodique de la longueur d'onde de certaines raies lumineuses, cela laisse supposer la présence d'une planète en orbite autour de l'étoile. »
7. Expliquer pourquoi les fluctuations de la longueur d'onde sont toujours très faibles.
8. Tracer qualitativement l'allure du graphe donnant la luminosité apparente de l'étoile en fonction du temps dans le cas où la méthode du transit est utilisable. Indiquer sur ce graphe la période de révolution de l'exoplanète.
9. En supposant que le système « étoile-exoplanète » est semblable au système Soleil-Jupiter, donner un ordre de grandeur de la baisse relative de luminosité apparente de l'étoile lors d'un transit. Commenter votre résultat.

Données :

- pour un observateur lointain, la baisse relative de luminosité est égale rapport des surfaces des disques de l'exoplanète et de l'étoile ;

- rayon du Soleil : $R_S = 7,0 \times 10^8$ m ;
 - rayon de Jupiter : $R_J = 7,0 \times 10^7$ m ;
 - rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \times 10^6$ m
10. Sur un schéma représentant l'étoile et sa zone d'habitabilité, indiquer les zones où l'eau est à l'état solide, liquide ou gazeux.

COMMUNIQUER

11. Résumer en quelques lignes les deux techniques utilisées pour détecter des exoplanètes en indiquant les avantages et les inconvénients de chacune des méthodes.

Version 3 : niveau « expert » (Seul le premier document est fourni)

S'APPROPRIER

1. Citer une des raisons pour lesquelles il n'est pas possible d'observer directement une exoplanète depuis la Terre avec un télescope.
2. Rappeler le principe de l'effet Doppler.
3. Quels sont les noms des deux techniques d'observation indirecte décrites dans le document 1 ? Quelle grandeur est mesurée dans chacune de ces techniques ?
4. Quelle contrainte supplémentaire la deuxième technique impose-t-elle ?

ANALYSER & REALISER

5. Dans quelle situation particulière, aucune des deux méthodes ne permet de détecter l'exoplanète ?
6. Montrer que si la ligne de visée n'est pas dans le plan orbital de l'exoplanète, la masse de celle-ci est sous-estimée.
7. À l'aide d'un schéma, expliquer la phrase : « Ainsi, si le spectrographe détecte une variation périodique de la longueur d'onde de certaines raies lumineuses, cela laisse supposer la présence d'une planète en orbite autour de l'étoile. »
8. Expliquer pourquoi les fluctuations de la longueur d'onde sont toujours très faibles.
9. Tracer l'allure du graphe donnant la luminosité apparente de l'étoile en fonction du temps dans le cas où la méthode du transit est utilisable. Indiquer la période de révolution de l'exoplanète sur ce graphe.
10. En supposant que le système « étoile-exoplanète » est semblable au système Soleil-Jupiter, donner un ordre de grandeur de la baisse relative de luminosité apparente de l'étoile lors d'un transit.
Données :
 - pour une étoile donnée, la luminosité est proportionnelle au carré du rayon ;
 - rayon du Soleil : $R_S = 7,0 \times 10^8$ m ;
 - rayon de Jupiter : $R_J = 7,0 \times 10^7$ m ;
 - rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \times 10^6$ m.
11. Expliquer, en vous aidant d'un schéma, comment la méthode du transit secondaire permet d'analyser la lumière diffusée par l'exoplanète.

COMMUNIQUER

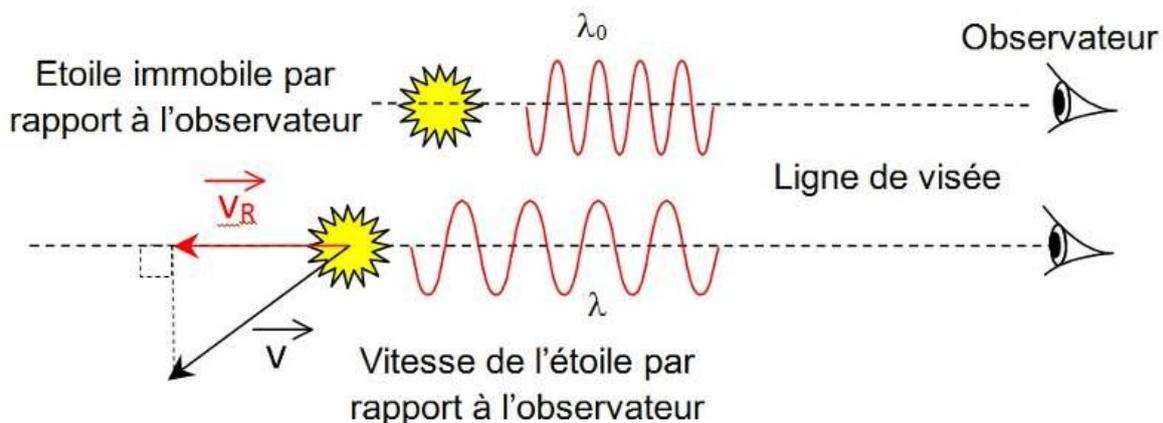
12. Rédiger en quelques lignes, une conclusion à cet article mettant en évidence les difficultés qu'éprouvent les astronomes à détecter des exoplanètes habitables avec les techniques utilisées actuellement.

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- L'effet Doppler se manifeste quand la distance entre la source lumineuse et l'observateur varie au cours du temps.
 - La longueur d'onde de l'onde perçue est plus grande quand la source s'éloigne de l'observateur.
 - La vitesse radiale est la vitesse mesurée suivant l'axe étoile-observateur : elle correspond à la vitesse d'éloignement ou de rapprochement de l'étoile.
 - Effet Doppler : quand une source de lumière est en mouvement par rapport à l'observateur, la longueur d'onde λ de la lumière perçue est différente de la longueur d'onde λ_0 de la lumière émise mesure dans le référentiel où la source est au repos. Le décalage s'effectue vers :
 - les grandes longueurs d'onde (décalage vers le rouge) quand la source s'éloigne ;
 - les courtes longueurs d'onde (décalage vers le bleu) quand la source s'approche.Seule la vitesse radiale, c'est-à-dire la vitesse suivant la ligne de visée, provoque l'effet Doppler.
- Cet effet est d'autant plus important que la vitesse radiale est grande.



ANALYSER

- L'étoile peut-elle avoir une vitesse radiale toujours nulle ? (versions 2 et 3)

REALISER

- Représenter sur la donnée 2 le couple étoile-exoplanète dans plusieurs positions (version 2)
- Tracer les vecteurs vitesses de l'étoile dans les quatre positions (version 1)
- Il ne faut pas hésiter à exagérer un phénomène pour mieux le mettre en valeur (toutes versions)

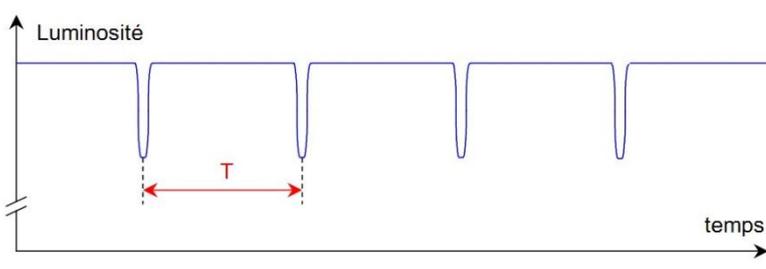
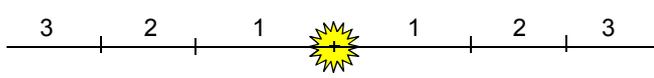
COMMUNIQUER

- Il faut recenser les limites de chacune des méthodes avant de conclure sur la difficulté d'observer une exoplanète habitable dans un avenir proche. (version 3)

Fiche 3 – Éléments de réponses

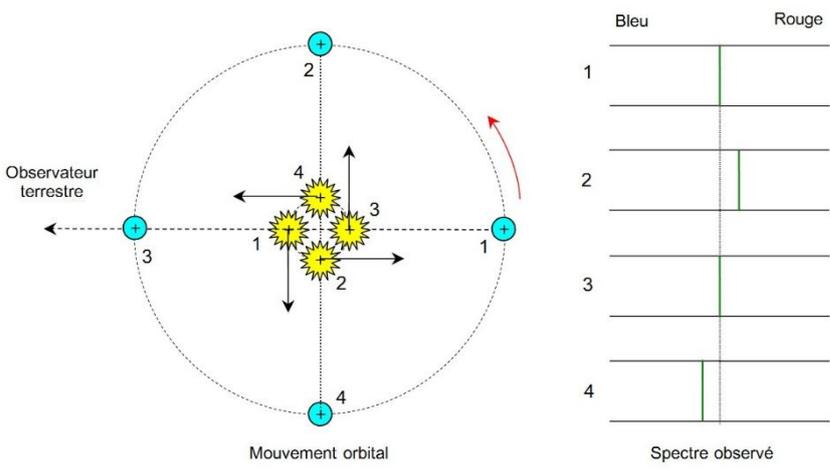
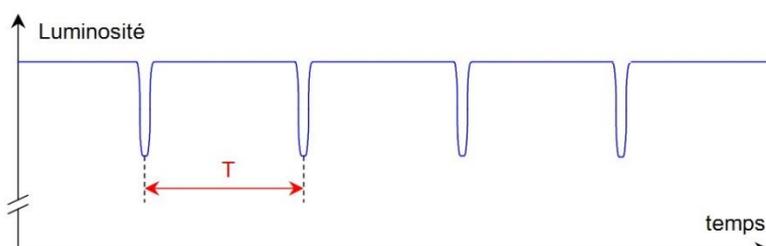
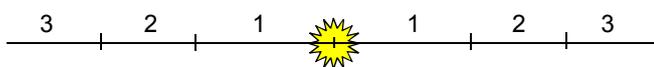
Exemple de production attendue (version 1) :

	Réponse attendue	Compétence	Niveau de difficulté
1	Il n'est pas possible d'observer une exoplanète directement depuis la Terre car son rayonnement très faible est noyé dans celui de l'étoile.	APP	1
2	Lorsqu'une source d'ondes (mécaniques ou électromagnétiques) s'approche ou s'éloigne d'un observateur, la fréquence de l'onde perçue est différente de la fréquence de l'onde émise : c'est l'effet Doppler. La différence de fréquences ou de longueurs d'onde, permet de calculer la vitesse radiale de la source par rapport à l'observateur.		
3	Les deux techniques d'observation indirecte sont la méthode des vitesses radiales et la méthode du transit. La première mesure la vitesse radiale de l'étoile à l'aide de l'effet Doppler et la deuxième la luminosité apparente de l'étoile.	APP	1
4	Il faut que l'exoplanète passe exactement entre l'étoile et l'observateur, ce qui est rare.	APP	1
5	Oui, plus la planète est grande, plus la baisse de luminosité est marquée.	APP	1
6	<p>L'étoile décrit une trajectoire circulaire de même période que l'exoplanète.</p> <p>En position 1 ou 3, la vitesse radiale est nulle, il n'y a pas d'effet Doppler et la longueur d'onde de la radiation choisie n'est pas modifiée.</p> <p>En position 2 l'étoile s'éloigne avec la vitesse radiale maximale : le décalage vers le rouge est maximum.</p> <p>C'est le contraire en position 4 où le décalage vers le bleu est maximum.</p> <p>La variation de la longueur d'onde a donc la même période que la période de révolution de l'exoplanète.</p>	REA	2 pour la version 1 3 ou 4 pour la version 2
7	S'il n'y a pas d'exoplanète, l'étoile ne décrit pas de trajectoire circulaire et le spectre n'est pas modifié	ANA	2
7	Le point G est toujours très proche de l'étoile (souvent à l'intérieur). La vitesse de l'étoile est faible par rapport à la vitesse de la lumière. Le décalage Doppler est donc faible en		

	valeur relative.		
8	<p>À chaque fois que l'exoplanète repasse devant l'étoile, il y a une baisse de luminosité apparente (exagérée sur le graphe). La période de révolution est donc la durée qui sépare deux baisses consécutives de la luminosité apparente.</p> 	REA	2
9	<p>Zone 1 : trop proche de l'étoile, eau à l'état gazeux Zone 2 : bonne distance, eau à l'état liquide (zone d'habitabilité) Zone 3 : trop éloignée de l'étoile, eau à l'état solide</p> 	REA	2

Exemple de production attendue (version 2) :

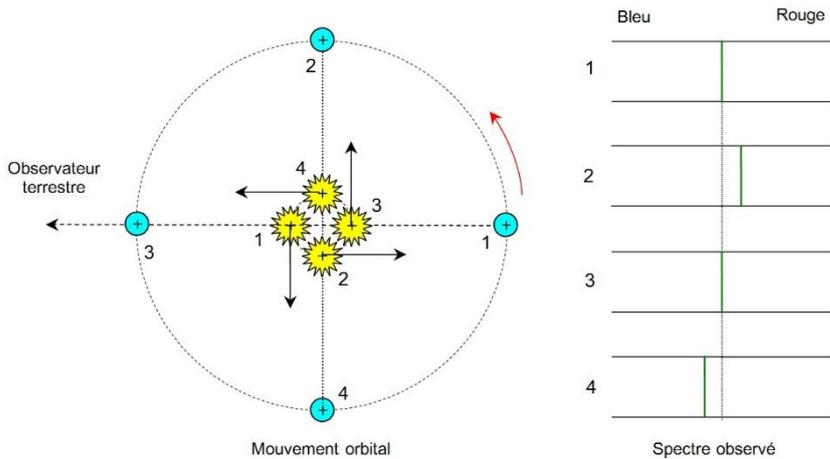
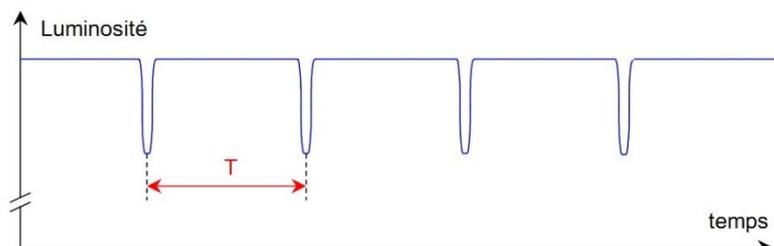
	Réponse attendue	Compétence	Niveau de difficulté
1	Il n'est pas possible d'observer une exoplanète directement depuis la Terre car son rayonnement très faible est noyé dans celui de l'étoile.	APP	1
2	Lorsqu'une source d'ondes (mécaniques ou électromagnétiques) s'approche ou s'éloigne d'un observateur, la fréquence de l'onde perçue est différente de la fréquence de l'onde émise : c'est l'effet Doppler. La différence de fréquences ou de longueurs d'onde, permet de calculer la vitesse radiale de la source par rapport à l'observateur.		
3	Les deux techniques d'observation indirecte sont la méthode des vitesses radiales et la méthode du transit. La première mesure la vitesse radiale de l'étoile à l'aide de l'effet Doppler et la deuxième la luminosité apparente de l'étoile.	APP	1
4	Il faut que l'exoplanète passe exactement entre l'étoile et l'observateur, ce qui est rare.	APP	1
5	Quand le plan de l'orbite est perpendiculaire à la ligne de visée (pas d'effet Doppler et pas de transit).	ANA	2
6	<p>L'étoile décrit une trajectoire circulaire de même période que l'exoplanète.</p> <p>En position 1 ou 3, la vitesse radiale est nulle et la longueur d'onde de la radiation choisie n'est pas modifiée.</p> <p>En position 2 l'étoile s'éloigne avec la vitesse radiale maximale : le décalage vers le rouge est maximum.</p> <p>C'est le contraire en position 4 où le décalage vers le bleu est maximum.</p> <p>La variation de la longueur d'onde a donc la même période que la période de révolution de l'exoplanète.</p>	REA	3

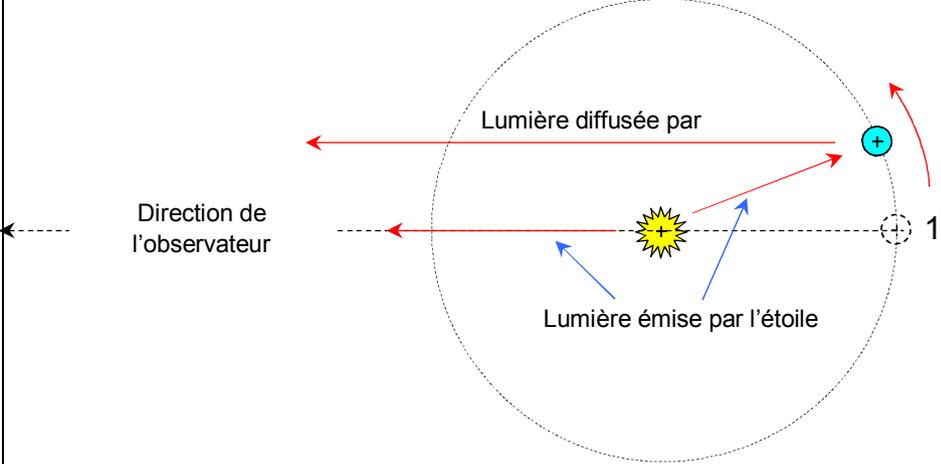
	<p>S'il n'y a pas d'exoplanète, l'étoile ne décrit pas de trajectoire circulaire et le spectre n'est pas modifié</p> 		
7	<p>Le point G est toujours très proche de l'étoile (souvent à l'intérieur). La vitesse de l'étoile est faible par rapport à la vitesse de la lumière. Le décalage Doppler est donc faible en valeur relative.</p>	ANA	2
8	<p>À chaque fois que l'exoplanète repasse devant l'étoile, il y a une baisse de luminosité apparente (exagérée sur le graphe). La période de révolution est donc la durée qui sépare deux baisses consécutives de la luminosité apparente.</p> 	REA	2
9	<p>Zone 1 : trop proche de l'étoile, eau à l'état gazeux Zone 2 : bonne distance, eau à l'état liquide (zone d'habitabilité) Zone 3 : trop éloignée de l'étoile, eau à l'état solide</p> 	REA	2
10	<p>L'énoncé nous indique que la baisse relative de luminosité est égale au rapport des surfaces des disques de l'exoplanète et de l'étoile. Calculons ce rapport dans le cas du système Soleil Jupiter :</p> $\frac{ \Delta L }{L} = \frac{\pi R_J^2}{\pi R_S^2} = \left(\frac{R_J}{R_S}\right)^2 = \left(\frac{7,0 \times 10^7}{7,0 \times 10^8}\right)^2 = 1,0 \times 10^{-2}$ <p>La baisse relative de luminosité est de l'ordre de 1%, ce qui est très faible pour une planète de la taille de Jupiter, la plus grosse planète du système solaire. Pour une exoplanète de la taille de la Terre, avec une même étoile, la baisse relative de la luminosité ne dépasse pas 10^{-4}. On comprend mieux, avec ce calcul, qu'on ne puisse détecter, pour le moment, que des « super-Terres ».</p>	REA	2
11	<p>La méthode de la vitesse radiale est moins contraignante que la</p>	COM	2

	<p>méthode du transit car elle n'impose pas que la ligne de visée soit dans le plan de l'orbite. Elle peut donc être utilisée dans la majorité des cas mais elle est peu précise car la vitesse radiale de l'étoile ne renseigne pas sur sa vitesse réelle donc sur la masse de l'exoplanète.</p> <p>La méthode du transit est un peu plus précise quant à la taille de l'exoplanète par rapport à celle de l'étoile car la baisse de luminosité apparente en dépend mais son utilisation est très limitée.</p>		
--	---	--	--

Exemple de production attendue (version 3) :

	Réponse attendue	Compétence	Niveau de difficulté
1	Il n'est pas possible d'observer une exoplanète directement depuis la Terre car son rayonnement très faible est noyé dans celui de l'étoile.	APP	1
2	Lorsqu'une source d'ondes (mécaniques ou électromagnétiques) s'approche ou s'éloigne d'un observateur, la fréquence de l'onde perçue est différente de la fréquence de l'onde émise : c'est l'effet Doppler. La différence de fréquences ou de longueurs d'onde, permet de calculer la vitesse radiale de la source par rapport à l'observateur.		
3	Les deux techniques d'observation indirecte sont la méthode des vitesses radiales et la méthode du transit. La première mesure la vitesse radiale de l'étoile à l'aide de l'effet Doppler et la deuxième la luminosité apparente de l'étoile.	APP	1
4	Il faut que l'exoplanète passe exactement entre l'étoile et l'observateur, ce qui est rare.	APP	1
5	Quand le plan de l'orbite est perpendiculaire à la ligne de visée (pas d'effet Doppler et pas de transit)	ANA	2
6	<p>Pour un angle $\alpha = 60^\circ$ ($\cos 60 = 0,5$), la vitesse réelle de l'étoile est deux fois plus grande que la vitesse mesurée par effet Doppler. Cela signifie que la force exercée par l'exoplanète sur l'étoile est plus grande donc que l'exoplanète est plus massive.</p> <div data-bbox="375 1478 941 1724" data-label="Diagram"> </div>	REA	3

7	<p>L'étoile décrit une trajectoire circulaire de même période que l'exoplanète.</p>  <p>Mouvement orbital</p> <p>Spectre observé</p> <p>En position 1 ou 3, la vitesse radiale est nulle et la longueur d'onde de la radiation choisie n'est pas modifiée. En position 2 l'étoile s'éloigne avec la vitesse radiale maximale : le décalage vers le rouge est maximum. C'est le contraire en position 4 où le décalage vers le bleu est maximum. La variation de la longueur d'onde a donc la même période que la période de révolution de l'exoplanète.</p>	REA	4
8	<p>Le point G est toujours très proche de l'étoile (souvent à l'intérieur). La vitesse de l'étoile est faible par rapport à la vitesse de la lumière. Le décalage Doppler est donc faible en valeur relative.</p>	ANA	2
9	<p>A chaque fois que l'exoplanète repasse devant l'étoile, il y a une baisse de luminosité apparente (exagérée sur le graphe). La période de révolution est donc la durée qui sépare deux baisses consécutives de la luminosité apparente.</p> 	REA	2
10	<p>Dans le cas d'une exoplanète, la distance étoile exoplanète est toujours négligeable devant la distance étoile observateur. Dans ces conditions, la surface du disque de l'étoile cachée par l'exoplanète est égale à la surface du disque de l'exoplanète. La luminosité de l'étoile étant proportionnelle au carré du rayon, elle est proportionnelle à la surface du disque stellaire. On peut donc écrire dans le cas analogue au système Soleil Jupiter :</p> $\frac{ \Delta L }{L} = \frac{k\pi R_S^2 - (k\pi R_S^2 - k\pi R_J^2)}{k\pi R_S^2} = \frac{R_J^2}{R_S^2} = \left(\frac{R_J}{R_S}\right)^2$	REA	4

	<p>Application numérique : $\frac{ \Delta L }{L} = \left(\frac{7,0 \times 10^7}{7,0 \times 10^8}\right)^2 = 1,0 \times 10^{-2}$</p> <p>La baisse relative de luminosité est de l'ordre de 1%, ce qui est très faible pour une planète de la taille de Jupiter, la plus grosse planète du système solaire. Pour une exoplanète de la taille de la Terre, avec une même étoile, la baisse relative de la luminosité ne dépasse pas 10^{-4}. On comprend mieux, avec ce calcul, qu'on ne puisse détecter, pour le moment, que des « super-Terres ».</p>		
11	 <p>Quand l'exoplanète est en position 1, position qu'elle atteint une demi-période après une baisse de la luminosité apparente, elle est cachée par l'étoile. La lumière qu'elle diffuse ne parvient pas sur la Terre. Le spectre de la lumière enregistré à cet instant est celui de l'étoile seule. Un peu plus tard (position indiquée sur le schéma), la face de l'exoplanète éclairée par l'étoile est dirigée vers la Terre. Le spectre réalisé à cet instant est celui de l'étoile et de l'exoplanète. Il est donc légèrement différent du précédent. Par différence, nous dit le texte, on peut obtenir le spectre de la lumière diffusée par l'exoplanète seule, ce qui renseigne sur son atmosphère.</p>	REA	4
12	<p>Les techniques décrites dans ce document montrent à quel point il est difficile de détecter une exoplanète habitable. En effet, si la méthode de la vitesse radiale permet de détecter de nombreuses exoplanètes, elle ne fournit aucune information sur leurs caractéristiques physiques (composition de l'atmosphère...). La méthode du transit secondaire fournit plus de renseignements mais, d'une part elle laisse de côté toutes les exoplanètes dans le plan de révolution ne contient pas la ligne de visée et d'autre part, on ne saura détecter en 2018 que des super-Terres proches de la notre.</p>	COM	3

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	
ANALYSER	Lorsque la vitesse de l'étoile est continuellement perpendiculaire à la ligne de visée, la vitesse radiale est nulle.
REALISER	L'étoile décrit une trajectoire circulaire et sa vitesse radiale change périodiquement. L'effet Doppler est utilisé. La baisse périodique de la luminosité apparaît sur un schéma Lorsque l'exoplanète est éclipsée par l'étoile, seule la lumière de l'étoile arrive sur Terre, ce qui n'est pas le cas dans les autres positions.
COMMUNIQUER	La difficulté d'obtenir des renseignements précis sur les exoplanètes, quelle que soit la méthode utilisée est notée.

Le fonctionnement de l'échographie diagnostique

Niveau : **Terminale S, enseignement spécifique**

Thème : Ondes & matières

Résumé de l'activité :

Cette activité permet :

- de montrer l'importance du choix de la fréquence d'émission d'une sonde échographique ;
- de déterminer l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé avec la sonde.

Programme

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Les ondes dans la matière Houle, ondes sismiques, ondes sonores. Caractéristiques des ondes Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard. Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales. Ondes sonores et ultrasonores.	Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière. Définir une onde progressive à une dimension. Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation de propagation (célérité). Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	<ul style="list-style-type: none">- Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie- Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau, schéma)- Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, graphe, tableau, schéma)
Analyser (ANA)	<ul style="list-style-type: none">- Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations,...) du ou des documents- Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence dans des documents faisant appel à des registres différents- Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif
Réaliser (REA)	<ul style="list-style-type: none">- Réaliser des calculs analytiques et/ou numériques
Valider (VAL)	<ul style="list-style-type: none">- Estimer des ordres de grandeurs
Communiquer (COM)	<ul style="list-style-type: none">- Illustrer son propos par des schémas- Rédiger une argumentation (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique et concision)

Nature et origine des documents

Un texte de deux pages est étudié dans cette activité. Il est principalement issu du livre « La physique par les objets quotidiens » de C. Ray et J.C. Poizat et comprend :

- deux tableaux de valeurs (vitesse de propagation des ondes et impédances acoustiques en fonction du milieu) ;
- deux graphes donnant l'évolution de l'intensité sonore d'une part en fonction de la distance parcourue dans le milieu à une fréquence f fixée et d'autre part en fonction de la distance parcourue dans le milieu pour 3 fréquences f différentes issues du site :

http://www.uvp5.univ-paris5.fr/WIKINU/docvideos/pcem2/sylvie_grand_2a_p01/index.htm ;

- deux schémas et une image d'échographie d'un fœtus.

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions d'une même activité documentaire sont proposées avec des niveaux relatifs de difficultés différentes.

Compétences	Niveaux de difficultés	
	Version 1 (niveau « initiation »)	Version 2 (niveau « confirmé »)
S'approprier (APP)	2	3
Analyser (ANA)	2	3
Réaliser (REA)	2	
Valider (VAL)	2	3
Communiquer (COM)	2	3

Description des différentes versions de l'activité

Les deux activités documentaires proposées possèdent les mêmes documents, seule la nature du questionnement change.

La **version 1** de l'activité documentaire a un niveau de difficulté assez faible car l'élève est guidé par des questions précises lui permettant d'identifier les idées essentielles de l'article et de les articuler afin de pouvoir répondre aux objectifs de l'activité. Son niveau de difficulté de 2 tient compte de la longueur du texte étudié et de la diversité des documents scientifiques à exploiter.

La **version 2** de l'activité est globalement plus difficile, elle demande la rédaction d'une argumentation et l'évaluation d'un ordre de grandeur sans guider les élèves avec des questions préalables.

Déroulement de l'activité

Durée de l'activité : 1h30 environ.

La rédaction de la version 1 est plus longue que celle de la version 2.

Il y a plusieurs possibilités de travail :

- la version 1 de l'activité documentaire peut être travaillée pour former les élèves et améliorer leur niveau d'acquisition des compétences APP, ANA et COM et la version 2, utilisée en évaluation au cours de l'année ;
- les versions 1 et 2 peuvent être données aux élèves en fonction de leur niveau d'acquisition des compétences et de leurs difficultés (voir la fiche 5 pour l'expérimentation dans une classe de TS).

Fiche 1 – Activité élèves

Les objectifs de cette activité sont, d'une part, de montrer que le choix de la fréquence d'émission d'une sonde échographique est déterminant quant aux possibilités d'exploration des organes internes et d'autre part, de déterminer l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé avec la sonde échographique.

LE FONCTIONNEMENT DE L'ECHOGRAPHIE DIAGNOSTIQUE

Les appareils de prospection médicale sont toujours des applications de phénomènes physiques ou chimiques. L'utilisation des ultrasons conduit à des examens non traumatisants, courants aujourd'hui dans un cabinet médical.

Principe de l'échographie

En médecine, l'échographie est un examen courant, indolore et non dangereux permettant l'observation « directe » d'organes internes. La technique de l'échographie utilise des ondes ultrasonores produites par une sonde jouant le rôle d'émetteur et de récepteur. Les fréquences utilisées dépendent des organes ou des tissus biologiques à sonder (2 MHz à 15 MHz).



Image d'échographie d'un fœtus

Pour obtenir une image par échographie on exploite entre autres, les propriétés suivantes des ondes ultrasonores :

- la vitesse de propagation et l'absorption de l'onde ultrasonore dépendent du milieu traversé ;
- lorsqu'elle change de milieu, une partie de l'onde incidente est réfléchiée, l'autre est transmise (elle continue son chemin). On dit qu'il y a réflexion partielle lorsqu'il y a changement de milieu aux interfaces tissulaires.

Connaissant les temps de retour des échos, leurs amplitudes et leurs vitesses de propagation, on en déduit des informations sur la nature et l'épaisseur des tissus traversés. Un ordinateur compile toutes les informations et fournit des images de synthèse des organes sondés.

Interactions des ultrasons avec la matière

Lorsque l'on essaie de repérer un objet sous la mer à l'aide d'un sonar, l'onde acoustique se propage dans un seul milieu, l'eau, jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle, un sous-marin par exemple : elle s'y réfléchit (c'est l'écho) et revient en partie vers l'émetteur-récepteur. Le temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho renseigne sur la distance à laquelle se trouve l'obstacle si l'on connaît la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu : c'est ce qu'on appelle l'écholocalisation. Dans un système d'échographie, l'onde ultrasonore traverse divers milieux, avec des vitesses de propagation distinctes, ce qui complique la situation. En outre, on ne cherche pas simplement à connaître la distance de l'objet à étudier, mais on veut en produire une image. Comment procéder ?

Milieu	Vitesse (en m.s ⁻¹)
Air	340
Eau	1 480
Tissus mous	1 540
Os	4 080

Tableau 1 : Au cours d'une échographie, les ondes ultrasonores qui se propagent dans les différentes parties du corps humain, ont en réalité une vitesse de propagation variable selon la partie traversée.

L'impédance acoustique

Quand une onde sonore ou ultrasonore atteint la frontière entre deux milieux, une partie de l'onde est transmise tandis que l'autre partie est réfléchiée. Les ondes ultrasonores se comportent de ce point de vue comme les ondes électromagnétiques et les mêmes lois de la réflexion et de la réfraction s'appliquent. Aussi on peut définir, de manière analogue à l'indice optique, une impédance acoustique. Elle dépend de la masse volumique et de la compressibilité du milieu, c'est-à-dire son aptitude à reprendre sa forme initiale après déformation. L'impédance

Milieu	Impédance (en 10 ⁶ kg.m ⁻² .s ⁻¹)
air	0,0004
graisse	1,38
eau	1,52
peau	1,62
os	3,65 à 7,09

acoustique d'un milieu est d'autant plus élevée que le milieu est dense, et les ondes ultrasonores s'y propagent vite.

Tableau 2 : Quelques valeurs d'impédances acoustiques

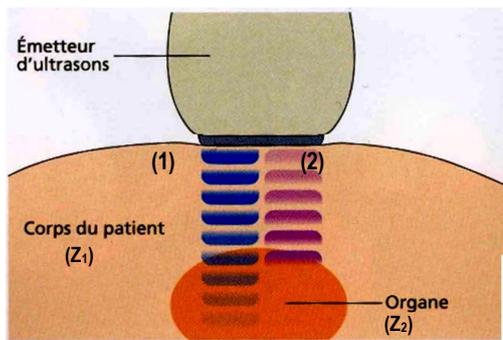


Fig. 1 : Une onde incidente (1) est partiellement réfléchi (2) à la frontière entre deux milieux d'impédances différentes Z_1 et Z_2 . L'onde ultrasonore s'atténue par ailleurs au fur et à mesure de sa progression dans le milieu. (« La physique par les objets quotidiens » de C. Ray et J.C. Poizat)

La réflexion des ultrasons

Lors du passage d'une onde ultrasonore d'un milieu 1 d'impédance acoustique Z_1 à un milieu 2 d'impédance acoustique Z_2 en incidence normale (figure 1), l'onde incidente (1) est partiellement réfléchi sur l'organe (2). Le coefficient de réflexion R est alors défini comme le rapport du carré de la différence entre les impédances acoustiques des deux milieux sur le carré de la somme de ces deux impédances. Par conséquent l'écho est plus intense lorsque les milieux ont des impédances très différentes (comme l'air et l'eau par exemple).

L'onde réfléchi contient deux types d'informations : la mesure de la durée qui s'est écoulée entre l'émission de l'onde et la détection de l'écho indique la position de l'interface, tandis que l'amplitude de l'écho renseigne sur la différence d'impédance entre les deux milieux.

La diffusion

Lorsque les dimensions de l'interface rencontrée sont petites en comparaison avec la longueur d'onde, l'onde ultrasonore est absorbée puis réémise dans toutes les directions : c'est le phénomène de diffusion (cf. figure 2). La cible diffusante (capillaires, globules rouges,...) se comporte alors comme une source émettrice. Ces phénomènes vont permettre de décrire la structure interne de l'organe que l'on est en train d'examiner.

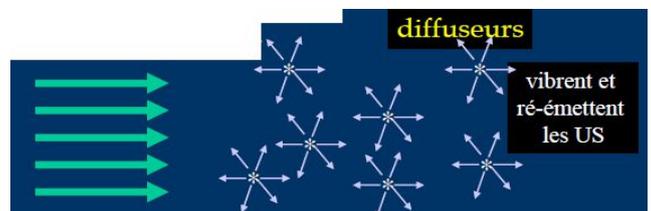


Fig. 2 : Schéma du phénomène de diffusion

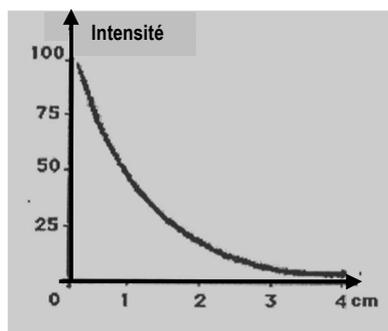
L'absorption des ultrasons

L'onde ultrasonore, en se propageant, cède une partie de son énergie au milieu : il y a absorption de l'énergie et l'intensité sonore du faisceau diminue (cf. graphe 1).

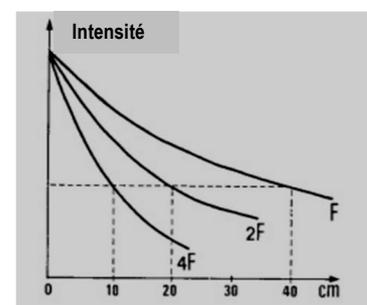
L'absorption des ultrasons dépend de la nature du milieu traversé et de son épaisseur ainsi que de la fréquence f de l'ultrason (cf. graphe 2).

Par exemple à 5 MHz, on peut explorer des zones jusqu'à 12 cm de profondeur, alors qu'à 10 MHz on atteint seulement 6 cm.

Pourquoi alors ne pas se cantonner aux ondes de plus basses fréquences ? Parce que la précision dépend également de la fréquence, mais en sens inverse. En effet la résolution axiale, aptitude du dispositif à présenter deux échos distincts pour deux cibles très rapprochées, peut être définie comme la plus petite distance entre ces deux cibles pour laquelle on a encore deux échos distincts. Cette résolution de l'appareillage est d'autant meilleure que la fréquence est élevée (elle vaut par exemple 0,3 mm à 5 MHz, mais 0,15 mm à 10 MHz). On comprend de ce fait la nécessité d'adapter la fréquence pour obtenir la meilleure résolution à une profondeur d'examen donnée.



Graphe 1 : évolution de l'intensité sonore en fonction de la distance parcourue dans un milieu à une fréquence f donnée de l'onde ultrasonore



Graphe 2 : évolution de l'intensité de l'onde ultrasonore en fonction de la distance parcourue dans un milieu pour 3 fréquences f différentes

Le rôle du gel

Avant chaque examen, le médecin applique un gel sur la sonde et sur la zone à examiner. Ce gel a pour rôle d'améliorer le contact entre la sonde et la peau, et donc la transmission des ondes ultrasonores. En particulier, il sert à limiter le plus possible la couche d'air qui pourrait subsister entre la sonde et la peau du patient. Comme on l'a vu, l'impédance de l'air étant très différente de celle des tissus vivants, cette couche d'air produirait une réflexion importante des ondes ultrasonores, peu souhaitable à cet endroit.

Bibliographie :

- « L'échographie, comment ça marche ? » d'après bac Métropole sept.2009 ;
- « La physique par les objets quotidiens » de C. Ray et J.C. Poizat ;
- « [Imagerie ultrasonore](#) » J.C. Solacroup et N. Grenier ;
- « Ultrasons et échographie » – K. Chevalier.

QUESTIONS

Version 1 : niveau « initiation »

À l'aide du document précédent, de vos connaissances et des données fournies, vous répondrez aux questions suivantes.

Partie 1 : Extraction des informations utiles pour répondre aux objectifs de cette activité

Informations concernant la sonde

- 1.a. Quel est le rôle de la sonde échographique ?
- 1.b. Quelle est la bande de fréquences des ondes émises par une sonde échographique ?
- 1.c. À quel domaine des ondes sonores appartiennent-elles ?

Informations concernant la technique de l'échographie

- 2.a. Quelles propriétés des ondes ultrasonores sont exploitées lors d'une échographie ?
- 2.b. De quelles informations l'ordinateur doit-il disposer pour fournir les images de synthèse des organes sondés ?

Informations concernant les interactions des ultrasons avec la matière

- 3.a. Le faisceau réfléchi reçu par la sonde est toujours moins intense que le faisceau incident : citer les causes principales de ce phénomène.
- 3.b. Le coefficient de réflexion R a pour expression littérale (*cocher la réponse appropriée*).

$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$

$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$

$R = \frac{(Z_1 + Z_2)^2}{(Z_1 - Z_2)^2}$

$R = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}$

- 3.c. L'amplitude du signal réfléchi à l'interface des deux milieux est plus intense si : (*cocher la ou les réponses appropriées*)

- les deux milieux ont des impédances de valeurs de même ordre de grandeur
- les deux milieux ont des impédances de valeurs très différentes l'une de l'autre
- le coefficient de réflexion R a une valeur proche de 1
- le coefficient de réflexion R a une valeur faible.

Informations concernant la résolution axiale

4. Comment évolue la résolution axiale lorsque la fréquence augmente ? On argumentera à partir des exemples donnés dans le texte.

Informations apportées par les graphes

5.a. D'après le graphe 1, de quoi dépend l'intensité sonore ?

5.b. Quelle information supplémentaire apporte le graphe 2 ?

Rôle du gel

6.a. Quel est le rôle du gel ?

6.b. Quelles sont les valeurs des impédances de l'air et de la peau ?

Principe de l'écholocation

7. À l'aide d'un schéma simplifié et légendé, expliquer pourquoi le principe d'écholocation permet de renseigner sur la distance à laquelle se situe un obstacle.

Complémentarité d'informations sur les propriétés de l'impédance acoustique d'un milieu

8. En quoi les données des tableaux 1 et 2 permettent-elles d'illustrer la phrase « l'impédance acoustique d'un milieu est d'autant plus élevée que le milieu est dense et que les ondes ultrasonores s'y propagent vite » ?

Partie 2 : Analyse et mise en relation des informations extraites afin de répondre aux objectifs de cette activité

9.a. Quelles analogies peut-on faire entre le principe de fonctionnement de l'échographie et celui du sonar ?

9.b. Quelle information supplémentaire l'échographie apporte-t-elle ?

10.a. Déterminer la longueur d'onde, en mm, de l'onde ultrasonore traversant les tissus mous pour des fréquences $f_1 = 5,0$ MHz et $f_2 = 10$ MHz.

10.b. Quel semble être le rapport entre la longueur d'onde de l'onde ultrasonore et la résolution axiale ?

11. En quoi la fréquence f de l'onde ultrasonore émise est-elle déterminante sur les possibilités d'exploration des organes internes d'un patient ?

12. En quoi la couche d'air entre la sonde et la peau est-elle gênante dans la transmission des ondes ultrasonores ?

13. Rédiger en **10 lignes maximum** une réponse argumentée à la question suivante :

« Quel doit-être l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé par le médecin lors d'un examen échographique pour améliorer la transmission des ondes ultrasonores ? »

Version 2 : niveau « confirmé »

A l'aide du document précédent, de vos connaissances et des données fournies, vous répondrez aux questions suivantes en indiquant vos pistes de recherche, l'analyse des informations extraites et la démarche suivie.

1) Quelles analogies peut-on faire entre le principe de fonctionnement de l'échographie et celui d'un sonar ? Quelle information supplémentaire l'échographie apporte-t-elle ?

2) En quoi la fréquence f de l'onde ultrasonore émise est-elle déterminante sur les possibilités d'exploration des organes internes d'un patient ?

**3) Rédiger en 10 lignes maximum une réponse argumentée à la question suivante :
« Quel doit-être l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé par le médecin lors d'un examen échographique pour améliorer la transmission des ondes ultrasonores ? »**

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

Informations utiles sur la sonde

- Relire attentivement le premier paragraphe du « principe de l'échographie » et souligner les informations se rapportant à la sonde.
- Dans quelle gamme de fréquences se situent les ondes émises par la sonde ? De quel type d'ondes s'agit-il ?

Propriétés des ondes ultrasonores exploitées lors d'une échographie

- Relire attentivement le deuxième paragraphe du « principe de l'échographie » et souligner les informations se rapportant aux propriétés des ondes ultrasonores exploitées lors d'une échographie.

Informations dont l'ordinateur doit disposer pour fournir les images de synthèse des organes sondés :

- le temps de retour des échos.
- les amplitudes de ces échos.
- les vitesses de propagation de ces échos.

Informations concernant les interactions des ultrasons avec la matière

- Sur la figure 1, à quoi correspondent les faisceaux (1) et (2) ? Comment évolue l'onde ultrasonore incidente au fur et à mesure de sa progression dans le milieu ?
- En quoi consiste la diffusion des ondes ultrasonores ?
- En quoi consiste l'absorption des ondes ultrasonores ?

Informations concernant la résolution axiale

- Rechercher dans le texte donné la définition de la résolution axiale.

Informations apportées par les graphes

- Quels sont les titres des graphes 1 et 2 ?
- Quelle grandeur a-t-on en ordonnée du graphe 1 ? En abscisse ? Mêmes questions pour le graphe 2 ?

Complémentarité d'informations sur les propriétés de l'impédance acoustique d'un milieu

- Donner les valeurs de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air, puis dans les os. Comparer.
- Donner les valeurs de l'impédance acoustique dans l'air, puis dans les os. Comparer.

ANALYSER

- Comparer le type d'ondes utilisées dans le sonar et l'échographie.
- Comment détermine-t-on la distance à un obstacle dans le cas du sonar ? Dans le cas de l'échographie ?
- Comparer les milieux de propagation des ondes dans le cas du sonar et celui de l'échographie.
- Relever les valeurs des résolutions axiales pour les fréquences de l'onde ultrasonore de 5 MHz puis de 10 MHz et comparer aux longueurs d'onde correspondantes.
- Relier la profondeur d'exploration avec la fréquence de l'onde ultrasonore.
- Relier la qualité de l'image avec la résolution axiale.
- À quelles contraintes est soumis le praticien ?
- Comparer les impédances de l'air et de la peau. Que peut-on en déduire sur le coefficient de réflexion R ?

REALISER

- Version 2 uniquement : déterminer la longueur d'onde, en mm, de l'onde ultrasonore traversant les tissus mous pour des fréquences $f_1 = 5,0$ MHz et $f_2 = 10$ MHz.
- La relation liant la célérité de l'onde, la fréquence et la longueur d'onde est : $\lambda = v/f$

VALIDER

- Quelle est l'expression littérale du coefficient de réflexion en énergie R ?
- Comment doivent être les valeurs des impédances acoustiques des milieux pour que R soit minimal ?

COMMUNIQUER

- Rédiger avec clarté, justesse, pertinence, exhaustivité et logique.
- L'argumentation est-elle étayée par des exemples précis issus du ou des tableau(x) ? Du ou des graphe(s) ?
- Illustrer certains de vos propos à l'aide de schémas.
- L'argumentation doit être concise.

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemple de production attendue (versions 1 et 2) :

Partie 1 : Appropriation des documents (uniquement pour la version 1)

Informations concernant la sonde

1.a. Quel est le rôle de la sonde échographique ?

La sonde échographique joue à la fois le rôle de l'émetteur et du récepteur des ondes ultrasonores émises.

1.b. Quelle est la bande de fréquences des ondes émises par une sonde échographique ?

La bande de fréquences des ondes émises par une sonde échographique se situe entre 2 MHz et 15 MHz.

1.c. À quel domaine des ondes sonores appartiennent-elles ?

Les ondes émises par la sonde échographique appartiennent au domaine des ondes ultrasonores.

Informations concernant la technique de l'échographie

2.a. Quelles propriétés des ondes ultrasonores sont exploitées lors d'une échographie ?

Lors d'une échographie :

- la vitesse de propagation et l'absorption des ondes ultrasonores dépendent du milieu traversé ;
- à une interface tissulaire, l'onde incidente est en partie réfléchi et en partie transmise.

2.b. De quelles informations l'ordinateur doit-il disposer pour fournir les images de synthèse des organes sondés ?

Pour fournir les images de synthèse des organes sondés, l'ordinateur doit disposer :

- du temps de retour des échos ;
- des amplitudes de ces échos ;
- des vitesses de propagation de ces échos.

Informations concernant les interactions des ultrasons avec la matière

3.a. Le faisceau réfléchi reçu par la sonde est toujours moins intense que le faisceau incident : citer les causes principales de ce phénomène.

Les ondes ultrasonores vont interagir avec la matière qu'elles traversent. Il se produit plusieurs phénomènes qui aboutissent à leur atténuation :

- l'**absorption** : l'onde en se propageant cède une partie de son énergie au milieu ;
- les **réflexions et transmissions aux changements de milieu** : l'onde incidente est partiellement réfléchi à l'interface entre deux milieux différents, l'autre partie de l'onde incidente est transmise (cf. figure 1). L'onde ultrasonore s'atténue ainsi au fur et à mesure de sa progression ;
- les **diffusions** qui correspondent à une réémission dans toutes les directions des ultrasons par les inhomogénéités des tissus traversés.

3.b. Le coefficient de réflexion R a pour expression littérale (cocher la réponse appropriée).

<input checked="" type="checkbox"/>	$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$	<input type="checkbox"/>	$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$
<input type="checkbox"/>	$R = \frac{(Z_1 + Z_2)^2}{(Z_1 - Z_2)^2}$	<input type="checkbox"/>	$R = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}$

3.c. Cette amplitude du signal réfléchi à l'interface des deux milieux est plus intense si :

- les deux milieux ont des impédances de valeurs de même ordre de grandeur ;
- les deux milieux ont des impédances de valeurs très différentes l'une de l'autre ;
- le coefficient de réflexion R a une valeur proche de 1 ;

□ le coefficient de réflexion R a une valeur faible.

Informations concernant la résolution axiale

4. Comment évolue la résolution axiale lorsque la fréquence augmente ? On argumentera à partir des exemples donnés dans le texte.

D'après la question 3.a, on constate que lorsque la résolution axiale augmente, donc la distance séparant deux points plus petite (0,3 mm à 0,15 mm par exemple), la fréquence de l'onde ultrasonore augmente (5 MHz à 10 MHz).

Informations apportées par les graphes

5.a. D'après le graphe 1, de quoi dépend l'intensité sonore ?

Le graphe 1 décrit l'évolution de l'intensité sonore I en fonction de la distance parcourue dans un milieu à une fréquence f donnée de l'onde ultrasonore. Il montre que I dépend de l'épaisseur du milieu traversé.

5.b. Quelle information supplémentaire apporte le graphe 2 ?

Le graphe 2 décrit l'évolution de l'intensité sonore I de l'onde ultrasonore en fonction de la distance parcourue dans un milieu pour 3 fréquences f différentes. Il montre que la fréquence f de l'onde ultrasonore influe aussi sur l'absorption des ultrasons.

Rôle du gel

6.a. Quel est le rôle du gel ?

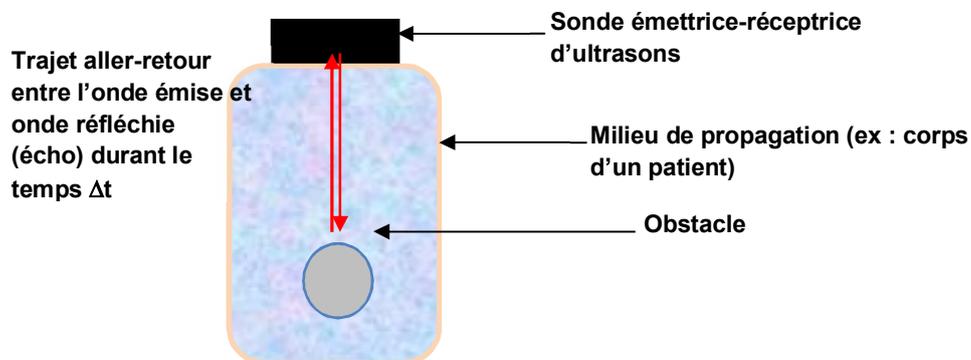
Le gel utilisé par le médecin lors de l'examen échographique a pour rôle d'améliorer le contact entre la sonde et la peau.

6.b. Quelles sont les valeurs des impédances de l'air et de la peau ?

D'après le tableau 2 : $Z_{\text{air}} = 4 \times 10^2 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ et $Z_{\text{peau}} = 1,62 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Principe de l'écholocation

7. À l'aide d'un schéma simplifié et légendé, expliquer pourquoi le principe d'écholocation permet de renseigner sur la distance à laquelle se situe un obstacle.



L'onde acoustique se propage jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle où elle s'y réfléchit (c'est l'écho) et revient en partie vers l'émetteur-récepteur. Le temps écoulé Δt entre l'émission du signal et la réception de l'écho renseigne sur la distance d à laquelle se trouve l'obstacle si l'on connaît la vitesse de propagation V de l'onde dans le milieu.

$$d = \frac{V \Delta t}{2}$$

Complémentarité d'informations sur les propriétés de l'impédance acoustique d'un milieu

8. En quoi les données des tableaux 1 et 2 permettent-elles d'illustrer la phrase « l'impédance acoustique d'un milieu est d'autant plus élevée que le milieu est dense et que les ondes ultrasonores s'y propagent vite » ?

D'après les tableaux 1 et 2, on note que les ondes ultrasonores :

- se déplacent dans l'air à la vitesse de propagation de 340 m.s^{-1} et dans les os à 4080 m.s^{-1} , donc la vitesse de propagation des ultrasons augmente avec la densité du milieu ;

- ont une impédance acoustique dans l'air de $4 \cdot 10^2 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$ et dans les os d'au minimum $3,65 \cdot 10^6 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$, donc l'impédance acoustique augmente avec la densité du milieu.

Par conséquent l'impédance acoustique est d'autant plus élevée que le milieu est dense et que les ondes ultrasonores s'y propagent vite.

Partie 2 : Analyse et mise en relation des informations extraites afin de répondre aux objectifs de cette activité

9.a. (version 1) ou 1. (version 2)

Quelles analogies peut-on faire entre le principe de fonctionnement de l'échographie et celui du sonar ?

L'échographie et le sonar reposent tous les deux, d'une part, sur **l'émission et la réception d'ondes sonores** et, d'autre part, sur le **principe de l'écholocalisation** qui permet à partir de la mesure de la durée qui s'est écoulée entre l'émission de l'onde et la détection de l'écho **d'indiquer la position de l'interface**.

9.b. (version 1) ou 1. (version 2)

Quelle information supplémentaire l'échographie apporte-t-elle ?

L'échographie apporte en plus de la localisation de l'interface, **des informations sur la structure interne de l'organe** que l'on examine car contrairement au sonar pour lequel l'onde émise traverse un type de milieu, l'eau, celle émise par la sonde, **traverse des milieux différents** pour lesquels la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore varie (cf. tableau 1), ainsi que son impédance acoustique (cf. tableau 2).

10.a. (version 1 uniquement)

Déterminer la longueur d'onde, en mm, de l'onde ultrasonore traversant les tissus mous pour des fréquences $f_1 = 5,0 \text{ MHz}$ et $f_2 = 10 \text{ MHz}$.

Soit λ la longueur d'onde de l'onde ultrasonore et V sa célérité : $\lambda = V/f$

A.N. : $\lambda_1 = 0,31 \text{ mm}$ et $\lambda_2 = 0,15 \text{ mm}$

10.b. (version 1 uniquement)

Quel semble être le rapport entre la longueur d'onde de l'onde ultrasonore et la résolution axiale ?

On constate **que plus la fréquence augmente, plus la longueur d'onde diminue**.

Par ailleurs, on note que pour 5 MHz la résolution axiale est de 0,3 mm et pour 10 MHz, elle est de 0,15 mm. Autrement dit la résolution axiale est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde ultrasonore.

Ainsi pour que la résolution soit meilleure, il faut que la longueur d'onde de l'onde ultrasonore diminue c'est-à-dire que sa fréquence augmente. Une sonde de fréquence plus élevée permet d'obtenir une meilleure résolution.

11. (version 1) ou 2. (version 2)

En quoi la fréquence f de l'onde ultrasonore émise est-elle déterminante sur les possibilités d'exploration des organes internes d'un patient ?

La fréquence de l'onde ultrasonore influe sur :

- la **profondeur d'exploration** donc la possibilité de sonder le plus loin possible les organes. D'après le graphe 2, on constate que pour une même intensité sonore, la profondeur d'exploration passe de 40 cm à 20 cm lorsqu'on double la fréquence des ondes ultrasonores ;
- la **résolution donc la qualité de l'image** : cf. question 10.a et 10.b.

Pour une bonne résolution d'image il faut une fréquence très élevée alors que si on veut pouvoir sonder au plus profond il faut une fréquence au contraire plutôt peu élevée. Le praticien est donc soumis à ces deux contraintes et devra suivant les tissus, et les organes sondés, adapter la valeur de la fréquence f comprise d'après le document 1 entre 2 et 15 MHz.

12. (version 1 uniquement)

En quoi la couche d'air entre la sonde et la peau est-elle gênante dans la transmission des ondes ultrasonores ?

D'après les informations recueillies, l'impédance de l'air est beaucoup plus petite que celle de la peau (cf. question 6.b.). Les impédances de ces deux milieux ayant des valeurs très différentes l'une de l'autre, le coefficient de réflexion R sera maximal (valeur proche de 1). La couche d'air ne permet donc pas une bonne transmission des ondes ultrasonores. On peut aussi noter que ce phénomène sera à nouveau présent dans la phase de réception : passage de l'onde réfléchie des tissus vers la sonde.

13. (version 1) ou 3. (version 2)

Rédiger en 10 lignes maximum une réponse argumentée à la question suivante :

« Quel doit-être l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique du gel utilisé par le médecin lors d'un examen échographique pour améliorer la transmission des ondes ultrasonores ? »

Le gel utilisé par le médecin lors de l'examen échographique a pour rôle d'améliorer le contact entre la sonde et la peau. En effet l'objectif est d'avoir une transmission maximale et une réflexion minimale et ceci pour l'onde incidente comme pour l'onde réfléchie. Or d'après les informations recueillies précédemment, le coefficient de réflexion en énergie R a pour expression littérale

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Plus cette différence est proche de 0 autrement dit plus les impédances acoustiques des milieux ont des valeurs proches, plus R sera minimal.

Par conséquent, il suffit de prendre un gel dont l'impédance acoustique est proche de celle de la graisse ou de l'eau (constituant principal des tissus organiques), soit de l'ordre de $10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ d'après le tableau 2.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none"> - Les informations utiles concernant la sonde et la technique de l'échographie sont convenablement extraites - Les informations concernant les interactions des ultrasons avec la matière et celles sur la résolution axiale sont convenablement recueillies - Les facteurs dont dépend l'intensité sonore ont été précisés grâce aux graphes - Le rôle du gel a été explicité et les valeurs Z_{air} et Z_{peau} extraites du tableau 2 - Le principe de l'écholocalisation a été expliqué clairement - Les propriétés de l'impédance acoustique ont été illustrées par complémentarité entre les données des tableaux 1 et 2 et le texte
ANALYSER	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison échographie et sonar - Recherche sur le lien entre la longueur d'onde et la résolution axiale - Raisonnement conduisant à souligner en quoi le choix de la fréquence de l'onde émise est déterminant - Raisonnement conduisant à souligner en quoi la couche d'air gêne la transmission des ondes ultrasonores - Raisonnement sur l'intérêt du gel dans la transmission des ondes ultrasonores
REALISER	<ul style="list-style-type: none"> - Détermination des longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 correspondantes à $f_1 = 5,0$ MHz et $f_2 = 10$ MHz (<i>version 1</i>)
VALIDER	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation de l'ordre de grandeur de l'impédance du gel
COMMUNIQUER	<ul style="list-style-type: none"> - La communication est claire, cohérente avec un vocabulaire scientifique précis - Les calculs sont effectués à partir de formules littérales, dans un langage mathématique correct - L'argumentation a été étayée par des exemples tirés des tableaux et des graphes - Réalisation du schéma simplifié et légendé expliquant le principe de l'écholocalisation (<i>version 1</i>) - L'argumentation est concise

Fiche 5 – Analyse de productions d'élèves

Les deux versions de cette activité documentaire ont été proposées à une classe de Terminale S, en classe entière.

Les élèves ont travaillé seuls et la version distribuée à chaque élève résultait du choix du professeur par rapport à leur niveau d'appropriation et d'analyse des documents scientifiques.

Une courte présentation sur le type d'exercice à réaliser a été faite en début de séance par le professeur avec les consignes suivantes :

- durée 1h30 maximum ;
- travail individuel à rendre sur copie ;
- lire plusieurs fois l'article et ne pas hésiter à surligner les éléments qui paraissent importants à la compréhension de l'article ou les lister sur une feuille de brouillon ;
- appeler le professeur en cas de difficultés : compréhension du texte, des consignes... ;
- exercice évalué par compétences et noté sur cinq points.

Version 1 de l'activité (niveau « Initiation »)

20 élèves de Terminale S, assez peu autonomes et ayant quelques difficultés dans la gestion du temps de travail, l'appropriation et l'analyse de documents scientifiques, ont travaillé sur la version 1 de cette activité.

Au bout de 15 min environ, les élèves ont commencé à répondre aux questions posées.

Peu d'élèves ont appelé le professeur pour poser des questions ou solliciter une aide durant la séance.

Seuls 7 élèves ont fini entièrement le sujet, les autres n'ont pas eu le temps au bout de 1h30 d'aller au-delà de la question 10.b.

Le professeur est intervenu auprès d'une dizaine d'élèves en leur apportant notamment une aide sur :

- les différentes interactions des ultrasons avec la matière ;
- la notion d'impédance acoustique et son unité ;
- les informations apportées par les deux graphes.

La répartition des notes (sur 5 points) obtenues par les élèves a été la suivante :

Note (/5)	5	4	3	2	1
Nb. de copies	1	0	11	5	3
Evaluation par compétences	Niveau A dans toutes les compétences sauf pour la compétence « Communiquer »		Une partie des copies présente des faiblesses dans les compétences APP et ANA (voir la copie 2). Une autre partie des copies montre des difficultés dans la gestion du temps imparti mais pas dans l'appropriation et l'analyse : niveau A ou B pour les compétences APP, REA et COM (voir copie 3).	Des copies présentant majoritairement des faiblesses dans les compétences ANA, REA et VAL. On observe des confusions, des erreurs de calculs, peu de justifications .	Elèves en grande difficulté dans l'appropriation du texte. Le professeur a apporté une aide au fur et à mesure des questions ce qui a entraîné du retard dans l'avancée du travail par rapport au reste de la classe.

Remarque : la version 1 proposée aux élèves était légèrement différente de la version finale présentée dans ce document, notamment pour les questions 3b., 3c. et 4. Dans la version proposée aux élèves :

3.b. Le coefficient de réflexion R a pour expression littérale :

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$R = \frac{(Z_1 + Z_2)^2}{(Z_1 - Z_2)^2}$$

Cocher la réponse appropriée.

3.c. L'amplitude du signal réfléchi à l'interface des deux milieux est plus intense si :

- les deux milieux ont des impédances de valeurs de même ordre de grandeur
- les deux milieux ont des impédances de valeurs très différentes l'une de l'autre.

et la question 4 était décomposée en deux questions 4.a. et 4.b. au lieu d'être regroupée en une seule question.

4.a. Quelle est la valeur de la résolution axiale pour une fréquence de 5 MHz, puis celle pour une fréquence de 10 MHz ?

4.b. Comment évolue la résolution axiale lorsque la fréquence augmente ?

Version 2 de l'activité (niveau « Confirmé »)

16 élèves de Terminale S, de niveau scolaire varié mais assez autonomes, ont réalisé la version 2 de l'activité documentaire. Tous ces élèves se sont bien impliqués dans la tâche à réaliser.

Très peu d'élèves ont rédigé un brouillon pour préciser les idées principales et l'articulation du texte scientifique étudié. La plupart ont préféré surligner les informations utiles directement dans le texte.

La répartition des notes (sur 5 points) obtenues par les élèves a été la suivante :

Note (/5)	5	4	3	2
Nb de copies	1	6	7	2
Evaluation par compétences	Niveau A dans toutes les compétences sauf pour la compétence « Communiquer »	Niveau B pour les compétences « S'approprier » et « Analyser ».	Majoritairement des copies avec le niveau B pour les compétences « S'approprier », « Analyser » mais plus de difficultés pour les compétences « Valider » et « Communiquer ».	Majoritairement des copies avec le niveau C pour l'ensemble des compétences.

La synthèse de Merrifield

Niveau : **Terminale S, enseignement spécifique**

Thème : **Agir**

Résumé de l'activité

Il s'agit de comprendre la méthode de synthèse de Merrifield qui permet de synthétiser des polypeptides après une suite de réactions de protection de fonctions et de déprotection. Cette méthode utilise une chaîne greffée sur un polymère qui sera libérée une fois la synthèse du polypeptide terminée.

Programme

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Sélectivité en chimie organique Composé polyfonctionnel : réactif chimiosélectif, protection de fonctions.	Extraire et exploiter des informations : - sur l'utilisation de réactifs chimiosélectifs, - sur la protection d'une fonction dans le cas de la synthèse peptidique, pour mettre en évidence le caractère sélectif ou non d'une réaction.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau). Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, tableau, schéma).
Analyser (ANA)	Identifier les idées essentielles et leurs articulations. Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents. Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.
Réaliser (REA)	Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique (tableau). Décrire un phénomène à travers la lecture d'un tableau.

Nature et origine des documents

Les documents sont variés : texte, tableaux de résultats et schéma réactionnel. Ils sont issus d'une publication de recherche (R.B. Merrifield, J.Am.Chem.Soc. 1963, 85(14), 2149-2154).

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions d'une même activité documentaire sont proposées avec des niveaux de difficulté différents.

Compétences	Niveaux de difficulté	
	Version 1 (niveau « confirmé »)	Version 2 (niveau « expert »)
S'approprier (APP)	3	4
Analyser (ANA)	4	4
Réaliser (REA)	2	4

Les deux activités documentaires proposées possèdent le même questionnement, seule la nature des documents change. La **version 1** de l'activité documentaire a un niveau de difficulté important et, même si les documents ont été retravaillés pour qu'ils soient accessibles à des lycéens, leur analyse en demeure délicate. La **version 2** de l'activité présente des difficultés plus importantes au niveau de l'appropriation des documents car ces derniers sont des extraits « originaux » et donc non destinés initialement à des lycéens. La compétence « réaliser » passe de 2 à 4 car un tableau multi-entrées comportant des indications en anglais est à utiliser.

Déroulement de l'activité

La durée de l'activité est de deux heures. La réalisation de l'activité nécessite un temps d'appropriation important (il faut compter au moins une heure d'appropriation pour la version 2). La **version 2** a été testée avec une classe de Terminale S sur des créneaux où la classe se trouvait en effectif réduit. Les élèves étaient répartis par binômes et ils répondaient en rédigeant un document à l'aide d'un traitement de textes. L'enseignant intervenait de façon à apporter toute l'aide nécessaire. Le cours sur la stratégie de synthèse et la sélectivité en chimie organique avait eu lieu en enseignement spécifique la semaine précédente et il était à disposition des élèves lors de ce test.

Fiche 1 – Activité élèves

Version 1 : niveau « intermédiaire »

Le but de l'activité est de trouver des meilleures conditions opératoires de synthèse d'un polypeptide par la méthode de Merrifield (d'après R.B. Merrifield, *J.Am.Chem.Soc.* 1963, 85(14), 2149-2154).

La synthèse des polypeptides, qui consiste à associer plusieurs acides aminés par des liaisons covalentes, a pris de plus en plus d'importance. La voie classique, en milieu homogène, comporte des inconvénients techniques. Les problèmes de solubilité et de purification des différents intermédiaires, suite aux réactions de protection et de déprotection, sont d'autant plus importants que le polypeptide comporte un nombre élevé d'acides aminés. Une nouvelle approche de synthèse en phase solide est proposée par l'intermédiaire de polymères.

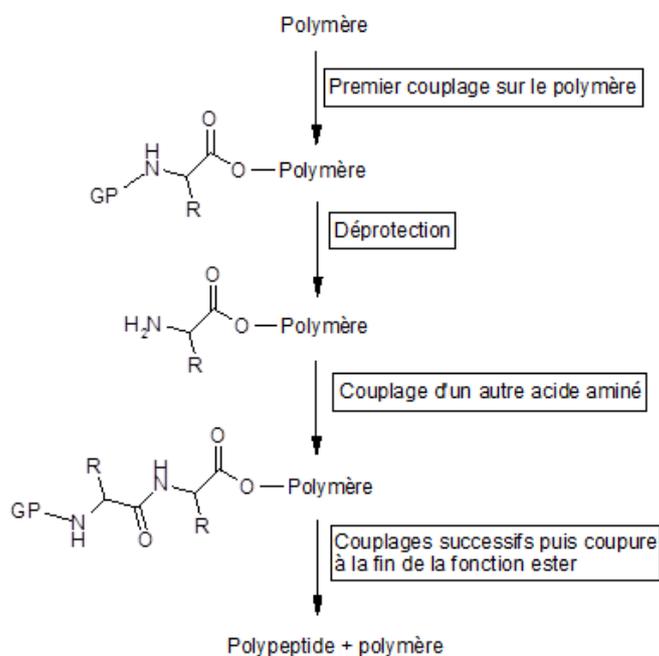
Le premier acide aminé possède une fonction amine déjà protégée avec un groupe protecteur, noté GP. Cet acide aminé se fixe sur le polymère en formant une fonction ester.

La déprotection de la fonction amine se fait en présence d'acide bromhydrique ($H^+(aq)$, $Br^-(aq)$), noté simplement HBr par la suite, et d'acide éthanoïque anhydre. Une réaction secondaire existe puisque la fonction ester reliant le premier acide aminé au polymère peut aussi être coupée.

Trois types de polymères ont été testés : un polymère brut, un polymère partiellement nitré et un polymère partiellement bromé.

Après libération du groupe protecteur de la fonction amine, un nouvel acide aminé possédant une fonction amine protégée est ajouté. Cette opération est réalisée autant de fois que nécessaire. La molécule, fixée au support insoluble, augmente donc de taille par réactions successives.

Un traitement avec une solution aqueuse de soude dans de l'éthanol libère le polypeptide une fois le bon nombre d'acides aminés associés.



Synthèse d'un polypeptide

Résultats expérimentaux

Polymère non traité, concentration massique en HBr de 10 %		
Durée de la réaction (minutes)	Rendement de déprotection	Rendement de coupure du premier acide aminé (coupure ester)
5	52 %	6 %
10	73 %	8 %
20	90 %	12 %
30	100 %	15 %

Polymère préalablement nitré, concentration massique en HBr de 10 %

Durée de la réaction (minutes)	Rendement de déprotection	Rendement de coupure du premier acide aminé (coupure ester)
10	6 %	0 %
30	19 %	0 %
60	38 %	1,2 %
90	57 %	2,0 %
120	67 %	2,5 %
180	83 %	2,5 %
300	99 %	3,2 %

Polymère préalablement nitré, concentration massique en HBr de 30 %

Durée de la réaction (minutes)	Rendement de déprotection	Rendement de coupure du premier acide aminé (coupure ester)
10	14 %	0 %
20	28 %	0 %
30	43 %	1,2 %
60	67 %	2,5 %
90	90 %	3,8 %
120	100 %	4,3 %

Polymère préalablement bromé, concentration massique en HBr de 10 %

Durée de la réaction (minutes)	Rendement de déprotection	Rendement de coupure du premier acide aminé (coupure ester)
5	8 %	0,5 %
10	17 %	1,1 %
20	32 %	2,2 %
60	77 %	6 %
120	87 %	10 %
180	91 %	14 %
300	100 %	18 %

Polymère préalablement bromé, concentration massique en HBr de 30 %

Durée de la réaction (minutes)	Rendement de coupure du premier acide aminé (coupure ester)
5	8 %
10	13 %
20	21 %
30	28 %
60	46 %
90	52 %
120	58 %
240	69 %

À l'aide des informations tirées des différents documents et de vos connaissances, répondre aux questions suivantes :

Appropriation des documents

1. Que représentent les valeurs numériques des tableaux ?
2. Quelles sont les différentes étapes pour ajouter un nouvel acide aminé ?
3. Pourquoi une réaction prématurée avec la fonction ester est-elle à éviter ?
4. Quelles sont les deux réactions étudiées lors de l'étude expérimentale ?

Analyse des conditions opératoires

5. Quelles doivent être les valeurs des rendements de chacune de ces deux réactions ?
6. Quels sont les différents paramètres étudiés dans l'étude expérimentale ?
7. Quelle précaution méthodologique faut-il prendre lorsqu'on étudie l'influence d'un paramètre expérimental ?
8. Expliquer pourquoi le polymère non traité donne de mauvais résultats s'il est utilisé lors d'une synthèse de Merrifield.
9. Donner les conditions expérimentales optimales afin de déprotéger la fonction amine dans une synthèse de Merrifield. Justifier ce choix en utilisant des critères chiffrés.

Version 2 : niveau « confirmé »

Le but de l'activité est de trouver des meilleures conditions opératoires de synthèse d'un polypeptide par la méthode de Merrifield (d'après R.B. Merrifield, *J.Am.Chem.Soc.* 1963, 85(14), 2149-2154).

La synthèse des polypeptides, qui consiste à associer plusieurs acides aminés par des liaisons covalentes, a pris de plus en plus d'importance. La voie dite classique, en milieu homogène, comporte des inconvénients techniques. Les problèmes de solubilités et de purifications des différents intermédiaires, suite aux protections et aux déprotections, sont d'autant plus importants que le polypeptide comporte un nombre élevé d'acides aminés. Une nouvelle approche de synthèse en phase solide est proposée par l'intermédiaire de polymères.

Le premier acide aminé est lié au polymère par le biais d'une liaison covalente. La chaîne peptidique, fixée au support insoluble, augmente de taille par réactions successives. Les peptides intermédiaires sont ainsi purifiés par simple lavage et dissolution des impuretés. Cela simplifie les différentes opérations et permet de gagner du temps lors de la synthèse des polypeptides. L'automatisation du procédé est possible, ce qui permet d'envisager la fabrication rapide de polypeptides avec une masse molaire élevée.

Le polymère est une résine à base de polystyrène qui contient des groupes chlorométhyle ClCH_2 —Le premier acide aminé possède une fonction amine protégée avec un groupe carbobenzoxy, noté Cbzo ou Cbz. Cet acide aminé se fixe sur le polymère en formant une fonction ester.

La déprotection de la fonction amine est une réaction sélective puisque le groupe Cbz est entièrement éliminé en présence d'acide bromhydrique HBr et d'acide éthanóïque anhydre noté ici HOAc. Une réaction secondaire existe puisque la fonction ester reliant le premier acide aminé au polymère peut aussi être hydrolysée.

Trois types de polymères contenant des groupes chlorométhyles ont été testés : un polymère brut, un polymère partiellement nitré (nitropolymère) et un polymère partiellement bromé (bromopolymère).

Après libération du groupe protecteur de la fonction amine, un nouvel acide aminé possédant une fonction amine protégée est ajouté. Une méthode utilisant la N,N-dicyclohexylcarbodiimide est utilisée afin de diminuer la durée de la réaction de couplage qui se déroule alors à température ambiante.

Cette opération est réalisée autant de fois que nécessaire.

Un traitement avec une solution aqueuse de soude dans de l'éthanol libère le polypeptide une fois le bon nombre d'acides aminés associés.

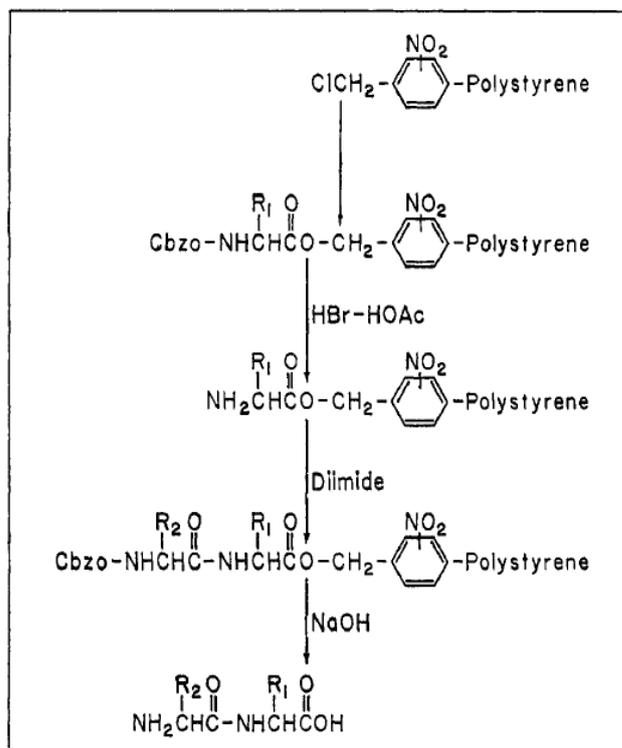


Fig. 1.—The scheme for solid phase peptide synthesis.

Résultats expérimentaux

TABLE I
CLEAVAGE OF CARBOBENZOXY AND ESTER GROUPS BY
HBr-ACETIC ACID

Time, min.	Extent of cleavage, %								
	Cbz-val polymer		Cbz-val- nitropolymer				Cbz-val- bromopolymer		
	10% HBr		10% HBr		30% HBr		10% HBr		30% HBr
	Cbz	Ester	Cbz	Ester	Cbz	Ester	Cbz	Ester	Ester
5	52	6					8	0.5	8
10	73	8	6		14		17	1.1	13
20	90	12	12		28		32	2.2	21
30	100	15	19		43	1.2			28
60	100	18	38	1.2	67		77	6	46
90			57	2.0	90	3.8			52
120			67	2.5	100	4.3	87	10	58
180			83		99		91	14	
240			94	3.2	100	5.4			69
300			99	3.2	98	4.8	100	18	

À l'aide des informations tirées des différents documents et de vos connaissances, répondre aux questions suivantes :

Appropriation des documents

1. Que représentent les valeurs numériques du tableau ?
2. Quelles sont les différentes étapes pour ajouter un nouvel acide aminé ?
3. Pourquoi une réaction prématurée avec la fonction ester est-elle à éviter ?
4. Quelles sont les deux réactions étudiées lors de l'étude expérimentale ?

Analyse des conditions opératoires

5. Quelles doivent être les valeurs des rendements de chacune de ces deux réactions ?
6. Quels sont les différents paramètres étudiés dans l'étude expérimentale ?
7. Quelle précaution méthodologique faut-il prendre lorsqu'on étudie l'influence d'un paramètre expérimental ?
8. Expliquer pourquoi le polymère non traité donne de mauvais résultats s'il est utilisé lors d'une synthèse de Merrifield.
9. Donner les conditions expérimentales optimales afin de déprotéger la fonction amine dans une synthèse de Merrifield. Justifier ce choix en utilisant des critères chiffrés.

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- Où se trouve le groupe ester dans le document 2 ? Est-ce qu'on le retrouve souvent ?
- Que se passe-t-il si on veut ajouter un troisième acide aminé, un quatrième, ... ?

ANALYSER

- A quoi correspond la coupure du premier acide aminé ?
- Quelle est la réaction étudiée principalement ?
- Quelle est la réaction mise en jeu lors de la séquence d'ajout d'un nouvel acide aminé ?
- Quelles doivent être les valeurs des durées de chacune des deux réactions ?

REALISER

- Comment extraire les conditions expérimentales d'une manipulation à partir des données ?
- Comment pourrait-on présenter d'une autre façon les résultats et les conditions expérimentales de chaque manipulation ?

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de production attendue :

S'APPROPRIER	<i>Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau). Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, tableau, schéma).</i>
---------------------	---

4. Que représentent les valeurs numériques du(des) tableau(x) ?

Les différentes valeurs du tableau représentent des rendements en pourcentage. La colonne la plus à gauche correspond à des durées de réaction en minute.

5. Quelles sont les différentes étapes pour ajouter un nouvel acide aminé ?

Il faut libérer la fonction amine de l'acide aminé (ou du dernier acide aminé du polypeptide ajouté) présent sur le polymère. On fait réagir un nouvel acide aminé avec sa fonction amine protégée.

6. Pourquoi une réaction prématurée avec la fonction ester est-elle à éviter ?

Lors de la déprotection de la fonction amine, une réaction secondaire existe puisque la fonction ester reliant le premier acide aminé au polymère peut aussi être hydrolysée. La molécule peut ainsi être décrochée du polymère avant que la synthèse totale du polypeptide soit terminée.

7. Quelles sont les deux réactions étudiées lors de l'étude expérimentale ?

Il s'agit de l'hydrolyse de la fonction ester et de l'hydrolyse de la fonction amine protégée.

ANALYSER	<i>Identifier les idées essentielles et leurs articulations. Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents. Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.</i>
-----------------	--

REALISER	<i>Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique (tableau). Décrire un phénomène à travers la lecture d'un tableau.</i>
-----------------	--

8. Quelles doivent être les valeurs des rendements de chacune de ces deux réactions ?

Le rendement de la réaction de déprotection de la fonction amine doit être le plus élevé possible et celui de l'hydrolyse de la fonction ester le plus faible possible.

9. Quels sont les différents paramètres étudiés dans l'étude expérimentale ?

Il s'agit de la durée de la réaction, de la concentration en HBr et de la nature du polymère.

10. Quelle précaution méthodologique faut-il prendre lorsqu'on étudie l'influence d'un paramètre expérimental ?

Il faut faire varier ce paramètre en veillant à maintenir tous les autres constants. On peut s'intéresser par exemple à l'effet de la durée de réaction sur le rendement de déprotection de la fonction amine ajoutée sur un polymère non traité avec une solution d'HBr à 10 %.

11. Expliquer pourquoi le polymère non traité donnerait de mauvais résultats s'il était utilisé lors d'une synthèse de Merrifield.

Un polymère non traité conduit rapidement, avec une solution d'HBr à 10%, à la déprotection quantitative de la fonction amine (30 minutes) mais l'hydrolyse de la fonction ester n'est pas négligeable (15 %).

12. Donner les conditions expérimentales optimales afin de déprotéger la fonction amine dans une synthèse de Merrifield. Justifier ce choix en utilisant des critères chiffrés.

Les critères de choix du polymère sont les suivants : durée de réaction faible, rendement de déprotection maximal et rendement d'hydrolyse de l'ester minimal.

Le polymère bromé est moins réactif pour la déprotection de fonction car elle ne devient quantitative qu'au bout de 5 heures et le pourcentage d'hydrolyse de la fonction ester est non négligeable (18 %).

Le polymère nitré conduit à une réaction quantitative de déprotection au bout de 5 heures avec une solution d'HBr à 10 % et à un pourcentage négligeable d'hydrolyse de la fonction ester (3,2 %).

En augmentant la concentration d'HBr, on augmente la vitesse de la réaction car la déprotection est quantitative au bout de 2 heures avec une solution d'HBr à 30 %. Une quantité négligeable de réaction parasite est observée (4,3 %).

Les conditions optimales de réaction sont donc : polymère nitré, solution d'HBr à 30 % et 2 heures de traitement.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<p>Repérage des trois paramètres (durée, nature du polymère, concentration d'HBr).</p> <p>Présence de deux réactions (déprotection et hydrolyse de l'ester).</p> <p>La réaction d'hydrolyse de l'ester est une réaction parasite.</p>
ANALYSER	<p>Recherche des conditions opératoires optimales avec une durée de réaction minimale et un rendement de déprotection maximal.</p> <p>Recherche des conditions opératoires optimales avec un rendement de la réaction d'hydrolyse de l'ester minimal.</p> <p>Comparaison des différentes conditions opératoires en ne faisant varier qu'un paramètre, les autres étant constants.</p>
REALISER	<p>Extraire les informations du tableau.</p> <p>Trier et organiser les informations extraites.</p> <p>Proposer un polymère en le justifiant rigoureusement.</p>

Fiche 5 – Exemples de productions d'élèves et d'attribution de niveaux de réussite

Copie 1 (version 2)

- 1- Les valeurs du tableau représentent les résultats de plusieurs expériences de réaction. Elles montrent ainsi pour chaque expérience son taux de liaisons rompues dans la fonction ester et dans la molécule de protection (carbobenzoxy) en prenant en compte le temps de la réaction et le type d'acide bromhydrique utilisé (10 ou 30%). L'expérience a également été réalisée avec des polymères différents et ces paramètres sont également montrés dans le tableau.
- 2- Les différentes étapes pour greffer un nouvel acide aminé sont la protection de la molécule avec du carbobenzoxy qui est un acide aminé, il y a ensuite l'association des molécules voulue, puis la déprotection de la molécule en rompant les liaisons de la molécule de carbobenzoxy à l'aide de l'acide bromhydrique.
- 3- Une réaction prématurée avec la fonction ester est à éviter car cette fonction lie les molécules souhaitées et si la réaction est prématurée, la fonction ester n'aura pas le rôle souhaité. La molécule sera ainsi moins bien liée et donc plus fragile.
- 4- Nous pouvons observer une réaction sélective, c'est-à-dire une réaction lors de la déprotection qui va faire disparaître le groupe Cbz, on observe également une réaction secondaire puisque la fonction ester utilisée peut être hydrolysée.
- 5- Le but de cette réaction est de déprotéger la molécule en rompant le plus de liaisons de carbobenzoxy mais cela en rompant le moins de liaisons possibles de la fonction ester qui permet d'avoir une molécule bien liée. Ainsi, nous devons trouver un pourcentage très élevé de ruptures de liaisons du Cbz et un pourcentage le plus faible possible de liaisons de la fonction ester.
- 6- Les paramètres étudiés dans l'étude expérimentale sont : le temps, le polymère utilisé, le type d'acide bromhydrique utilisé (10 ou 30%) ainsi que les pourcentages de rupture des liaisons du carbobenzoxy et de la fonction ester.
- 7- Afin d'étudier un seul paramètre expérimental, il faut s'assurer que tous les autres paramètres restent identiques pendant toutes les expériences et il faut essayer toutes les variations du paramètre auquel on s'intéresse afin d'observer les différentes réactions que cela provoque.
- 8- Le polymère non traité donnerait de mauvais résultats car n'étant pas pur lui-même il causerait des problèmes de solubilités et de purifications des différents intermédiaires. Ainsi tous les réactifs pourraient ne pas avoir le « rôle » attendu et la réaction pourrait ne pas se dérouler convenablement et avoir un moins bon rendement. Ces problèmes de pureté sont d'autant plus important qu'il y a d'acides aminés.
- 9- En déprotégeant la fonction amine dans une synthèse de Merrifield, on utilise de l'acide bromhydrique (HBr) afin de faire disparaître le groupe protecteur qui est le carbobenzoxy (Cbz). L'acide bromhydrique coupe des liaisons de la molécule Cbz ce qui explique sa disparition. En revanche, cet acide fait également des coupures dans la fonction ester alors que cette fonction doit rester intact pour la stabilité de la molécule. Dans des conditions optimales, les coupures dans la molécule de Cbz doivent être plus importantes que celles de l'ester qui devrait être idéalement nulle.

Ainsi, en nous aidant du tableau de valeurs expérimentales, nous pouvons dire que les conditions optimales sont de faire une expérience en utilisant un nitropolymère, c'est-à-dire un polymère partiellement nitré, que l'on déprotège avec de l'acide bromhydrique à 10% pendant 300 minutes. Il y aura donc environ 99% de ruptures de liaisons de la molécule de carbobenzoxy qui suffisent à la faire disparaître et elle ne provoque que 3.2% de coupures dans la fonction ester. Cela permet d'avoir une molécule presque complètement déprotégée et stable à 96.8%.

Or, si l'on cherche à effectuer cette réaction plus rapidement en ayant des résultats satisfaisants, il est possible de réaliser l'expérience à nouveau avec un nitropolymère mais en utilisant cette fois de l'acide bromhydrique à 30% et en faisant durer cette réaction 120 minutes ce qui est presque deux fois plus rapide que l'expérience précédente. Ces conditions permettent la rupture de 100% des liaisons de carbobenzoxy et seulement 4.3% des liaisons de la fonction ester. Les résultats sont donc satisfaisants en ayant une réaction presque deux fois plus rapide.

Nous remarquons que les meilleurs résultats en général sont obtenus avec un nitropolymère alors que les résultats obtenus avec un polymère normal et un bromopolymère sont moins satisfaisants en comparaison.

Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe		Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	Repérage des trois paramètres (durée, nature du polymère, concentration d'HBr). Présence de deux réactions (déprotection et hydrolyse de l'ester). La réaction d'hydrolyse de l'ester est une réaction parasite.	X				2
Analyser	Recherche des conditions opératoires optimales avec une durée de réaction minimale et un rendement de déprotection maximal. Recherche des conditions opératoires optimales avec un rendement de la réaction d'hydrolyse de l'ester minimal. Comparaison des différentes conditions opératoires en ne faisant varier qu'un paramètre, les autres étant constants.	X				3
Réaliser	Extraire les informations du tableau. Trier et organiser les informations extraites. Proposer un polymère en le justifiant rigoureusement.	X				2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

5 / 5

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Activité documentaire : La synthèse d'un polypeptide par la méthode de Merrifield.

- 1) Les valeurs numériques du tableau représentent le pourcentage de quantité de Carbobenzoxy et de l'Ester par une concentration différentes d'acide Bromhydrique (HBr) en fonction du temps ainsi que de différents polymères. Ces différents polymères sont : un polymère brut, nitropolymère, et bromopolymère.
- 2) Tout d'abord, il faut protéger le groupe caractéristique amino avec un groupe carbobenzoxy (Cbz). Une fois protégé cet acide aminé se fixe sur le polymère par le biais d'une liaison peptidique pour former une fonction Ester. Puis, on introduit de l'acide Bromhydrique (Hbr) et de l'acide éthanoïque anhydre (HOAc) pour éliminer totalement le groupe carbobenzoxy. Après libération du groupe protecteur de la fonction amine, un nouvel acide aminé possédant une fonction amine protégée est ajouté.
- 3) Une réaction prématurée avec la fonction Ester est à éviter car cette fonction reliant le premier acide aminé au polymère peut aussi être hydrolysée. Et il ne faut pas que celle-ci disparaisse car c'est la fonction Ester qui relie les polymères, si elle disparaît la synthèse ne peut donc pas se produire.
- 4) Les deux réactions étudiées lors de l'étude expérimentale sont :
 - Une réaction successive (lorsque la chaîne peptidique fixée au support insoluble augmente de taille)
 - Une réaction sélective (quand le Cbz est entièrement éliminé mais pas la fonction Ester)
- 5) Le rendement de la première réaction doit être totale tandis que celui de la deuxième doit faire disparaître le Cbz sans faire disparaître le groupe Ester.
- 6) Les différents paramètres étudiés dans l'étude expérimentale sont : le temps, les différentes concentrations en Hbr et les différents polymères.
- 7) Il faut avoir les mêmes paramètres lors de la synthèse.
- 8) Le polymère non traité donnerait de mauvais résultats car le groupe serait mal protégé et que l'association des acides aminés serait incontrôlable.
- 9) Pour déprotéger dans des conditions expérimentales optimales la fonction amine dans une synthèse de Merrifield, il faut utiliser 10% de Hbr pour éliminer entièrement le Cbz et pour avoir un minimum de perte d'Ester.

	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	Repérage des trois paramètres (durée, nature du polymère, concentration d'HBr). Présence de deux réactions (déprotection et hydrolyse de l'ester). La réaction d'hydrolyse de l'ester est une réaction parasite.		X			2
Analyser	Recherche des conditions opératoires optimales avec une durée de réaction minimale et un rendement de déprotection maximal. Recherche des conditions opératoires optimales avec un rendement de la réaction d'hydrolyse de l'ester minimal. Comparaison des différentes conditions opératoires en ne faisant varier qu'un paramètre, les autres étant constants.			X		3
Réaliser	Extraire les informations du tableau. Trier et organiser les informations extraites. Proposer un polymère en le justifiant rigoureusement.			X		2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

3 / 5

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Activité documentaire : La synthèse d'un polypeptide par la méthode de Merrifield

Le but de l'activité est de trouver des meilleures conditions opératoires de synthèse d'un polypeptide par la méthode de Merrifield.

1. Les valeurs numériques du tableau représentent le pourcentage d'hydrolyse du carbobenzoxy et des esther provenant de 3 polymères différents (polymère brut, nitropolymère et bromopolymère), en fonction du temps.
2. Il existe 3 étapes : première étapes, les acides aminés contenu dans le polymère possèdent des acides servant a protégé a l'aide d'un groupe de carbobenzoxy noté Cbzo ou Cb le dipeptide. L'acide s'accroche au polymère qui formera une fonction esther. Cette étape est la protection. Dans la deuxième étape, le carbobenzoxy est éliminé a cause d'acide bromhydrique (HBr) et d'acide éthanoïque anhydre (HOAc) mais il y a une réaction secondaire, l'esther relié a l'acide aminé du polymère est hydrolysée : c'est alors la déprotection. Dans la dernière étape, un nouvel acide qui contient également une fonction aminé vient pour protéger le polymère. Il y a une méthode permettant de diminuer la durée de la réaction de couplage qui est utilisé qu'a une température ambiante. Ces étapes répétitives alternant protection et déprotection servent a laissé réagir l'acide aminé précédant pour qu'il se fixe au polymère par une liaison covalente.
3. Une réaction prématurée avec la fonction ester est à éviter car plus il y aura d'acides aminés, plus il y aura de fonction ester. La protection de la fonction amine n'aura pas eu le temps d'être effectué et par conséquent, nous obtiendrons la mauvaise fonction, c'est-à-dire la fonction amide.
4. La première réaction est lorsque le premier acide aminé se fixe au polypeptide, que sa fonction amine est protégée avec un groupe carbobenzoxy Cbz et qu'il y a formation d'une fonction ester. La seconde réaction est lorsqu'il y a dé protection de la fonction amine et que par conséquent, la fonction ester peut être hydrolysée.
5. Au bout de la première réaction, la fonction amine de l'acide aminé doit être protégée. L'acide aminé doit être fixé au polymère en formant une fonction ester.
6. Les différents paramètres étudiés sont le temps (la durée de la réaction), la présence de différents polymères présents dans la molécule, les différentes concentrations des solutions, la température et l'état physique (solide ou milieu homogène).
7. Lorsqu'on étudie l'influence d'un paramètre expérimental, il est important de prendre en compte certaines mesures de précaution. Ainsi, il est important de purifier les solutions en lavant et dissolvant les impuretés pouvant nuire aux résultats attendus. Cela permet aussi de gagner du temps lors de la synthèse des polypeptides.
8. Si un polymère non traité était utilisé lors d'une synthèse de Merrifield, car les réactions parasites / secondaires seraient nombreuses et il y aurait donc une mauvaise synthèse de la molécule.
9. Les conditions expérimentales optimales afin de déprotéger la fonction amine dans une synthèse de Merrifield sont :

	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	Repérage des trois paramètres (durée, nature du polymère, concentration d'HBr). Présence de deux réactions (déprotection et hydrolyse de l'ester). La réaction d'hydrolyse de l'ester est une réaction parasite.			X		2
Analyser	Recherche des conditions opératoires optimales avec une durée de réaction minimale et un rendement de déprotection maximal. Recherche des conditions opératoires optimales avec un rendement de la réaction d'hydrolyse de l'ester minimal. Comparaison des différentes conditions opératoires en ne faisant varier qu'un paramètre, les autres étant constants.			X		3
Réaliser	Extraire les informations du tableau. Trier et organiser les informations extraites. Proposer un polymère en le justifiant rigoureusement.				X	2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

2 / 5

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Asymétrie et monde du vivant

Niveau : **Terminale S, enseignement spécifique**

Thème : Structure et transformation de la matière

Résumé de l'activité :

Il s'agit d'utiliser le modèle de reconnaissance chirale, puis de discuter de sa pertinence.

Programme de première S

Cohésion et transformations de la matière	
Notions et contenus	Compétences attendues
Solide ionique. Interaction électrostatique ; loi de Coulomb. Solide moléculaire. Interaction de Van der Waals, liaison hydrogène.	Interpréter la cohésion des solides ioniques et moléculaires.

Programme de terminale S

Structure et transformation de la matière	
Notions et contenus	Compétences exigibles
Chiralité : définition, approche historique. Représentation de Cram. Carbone asymétrique. Énantiomérie, mélange racémique, diastéréoisométrie. Formule topologique des molécules organiques. Propriétés biologiques et stéréoisométrie.	Reconnaître des espèces chirales à partir de leur représentation. Utiliser la représentation de Cram. Identifier les atomes de carbone asymétrique d'une molécule donnée. A partir d'un modèle moléculaire ou d'une représentation, reconnaître si des molécules sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères. Utiliser la représentation topologique des molécules organiques. Extraire et exploiter des informations sur les propriétés biologiques de stéréoisomères pour mettre en évidence l'importance de la stéréoisométrie dans la nature.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	- Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, schéma).
Analyser (ANA)	- Relier, trier et organiser qualitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents. - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.
Valider (VAL)	- Faire preuve d'esprit critique. - Apprécier la validité d'un modèle.

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire utilise des textes et des schémas représentant des structures moléculaires expliquant le modèle de la reconnaissance chirale. Ils sont extraits de la thèse de doctorat de Mustapha Zaher (Université de Grenoble, 2010).

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions de cette activité documentaire sont proposées avec des niveaux relatifs de difficulté différents.

Compétences	Niveaux de difficulté	
	Version 1 (niveau «confirmé»)	Version 2 (niveau «expert»)
S'approprier (APP)	2	3
Analyser (ANA)	3	4
Valider (VAL)	3	3

Description des différentes versions de l'activité

Les deux activités documentaires proposées sont fondées sur le même document, seule la nature du questionnement change. La version 1 de l'activité documentaire a un niveau de difficulté moyen car le questionnement associé est relativement important mais le document est assez difficile. La version 2 de l'activité présente une difficulté plus importante car le questionnement facilitant l'appropriation et l'analyse est moins développé.

Déroulement de l'activité

Cette activité dure environ une heure suivant la fréquence d'exposition des élèves à ce type d'activités.

La version 1 a été testée avec une classe de terminale S. Les élèves étaient en binôme et ils rédigeaient leur réponse à l'aide d'un logiciel de traitement de textes. L'activité a duré une heure. La majeure partie du programme de chimie d'enseignement spécifique avait déjà été traitée. Les élèves ont travaillé en autonomie avec très peu d'aide de l'enseignant.

Fiche 1 – Activité élèves

Les énantiomères de l'adrénaline

(D'après la thèse de doctorat de Mustapha Zaher, Université de Grenoble, 2010)

Chiralité et systèmes biologiques

La chiralité est une propriété inhérente à de nombreuses espèces présentes dans les systèmes biologiques et peut expliquer les différents phénomènes observés au niveau de l'activité de ces systèmes.

En effet, étant donné que les acides aminés, briques élémentaires des protéines qui constituent les récepteurs biologiques, sont des molécules chirales, seules des molécules (ou entités ioniques) ayant une géométrie particulière et donc chirales peuvent interagir avec ces récepteurs : on parle alors de reconnaissance chirale.

Ce concept de reconnaissance chirale indique que les deux énantiomères ont des affinités différentes pour un même récepteur (ou enzyme). Cette affinité est basée sur un minimum de trois sites d'interaction entre le soluté et le récepteur. Le récepteur sera capable de différencier les deux énantiomères car un seul énantiomère aura une complémentarité satisfaisante et sera l'énantiomère actif appelé eutomère. L'autre énantiomère inactif, qui ne peut interagir qu'avec un ou deux groupements du récepteur, est appelé distomère (Figure 1).

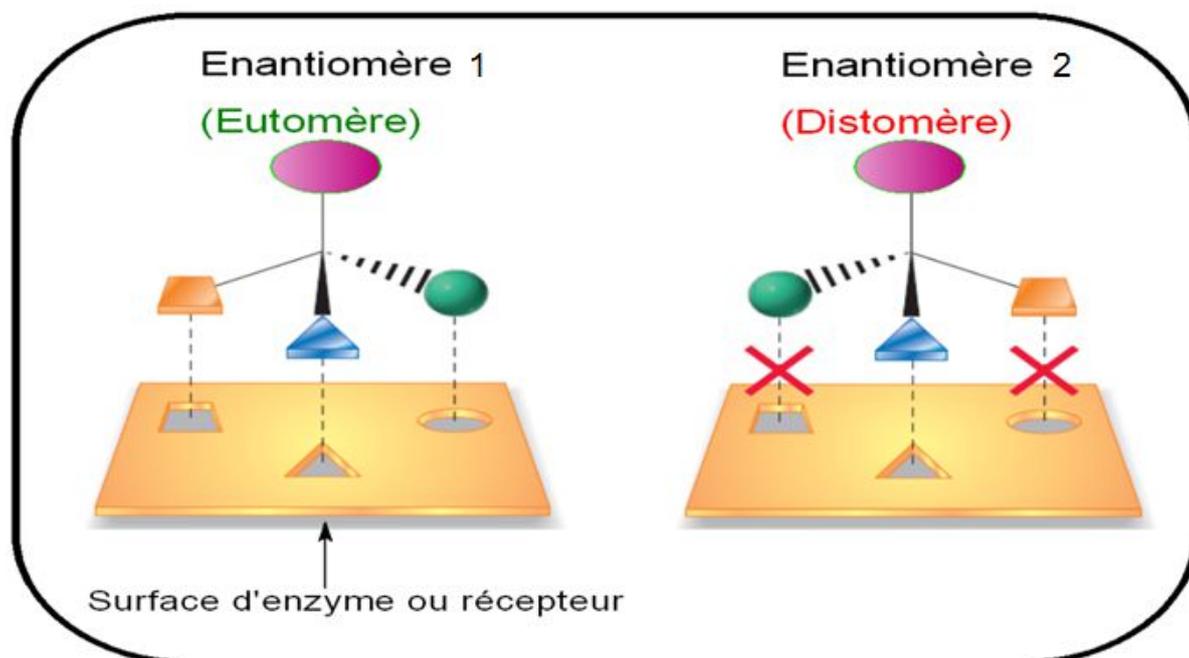


Figure 1 : Modèle de reconnaissance chirale

Le cas de l'adrénaline

L'adrénaline est une hormone sécrétée en réponse à un état de stress ou en vue d'une activité physique, entraînant une accélération du rythme cardiaque, une augmentation de la vitesse des

contractions du cœur, une hausse de la pression artérielle, une dilatation des bronches ainsi que des pupilles. Elle répond à un besoin d'énergie, par exemple pour faire face au danger.

L'adrénaline est majoritairement sécrétée par le système nerveux central et par les glandes surrénales. L'adrénaline produit son effet en se fixant sur les récepteurs cibles, comme une clé dans une serrure. L'injection intraveineuse d'adrénaline est également utilisée pour traiter un arrêt cardio-vasculaire ou, à petites doses, lors d'un choc anaphylactique caractérisé par une chute de la pression artérielle. Il est donc nécessaire d'en synthétiser des quantités industrielles.

Les effets de l'adrénaline dépendent fortement de la dose et de la répartition des récepteurs sur les organes. Il existe deux stéréoisomères de configuration de l'adrénaline :

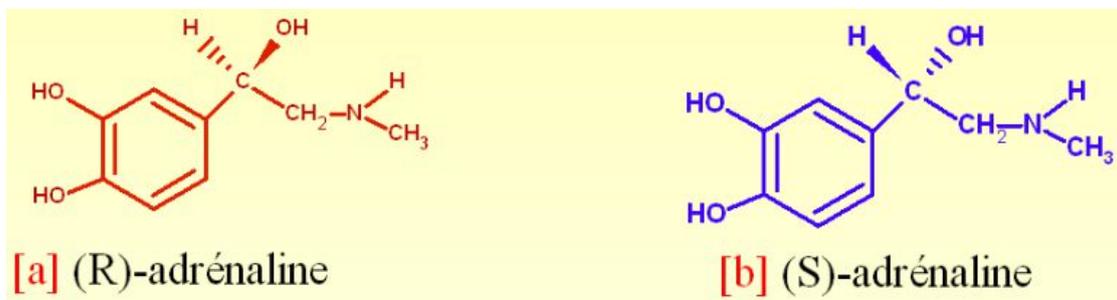


Figure 2

On observe une activité biologique pour les deux stéréoisomères ; cependant, la forme *R* est douze fois plus active que la forme *S*.

Le mode d'action dans l'organisme a été étudié, et met en évidence les interactions suivantes :

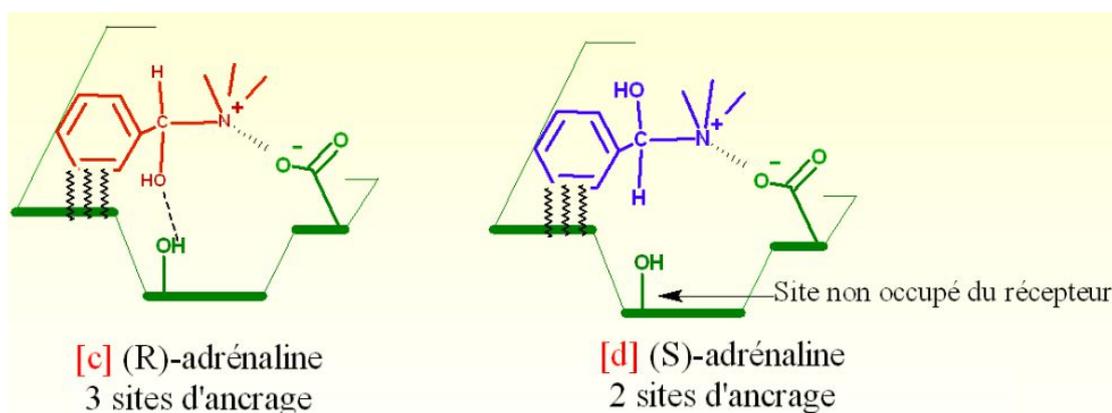


Figure 3

QUESTIONS

Version 1 : niveau «confirmé»

1. Indiquer la relation de stéréoisomérisation entre la (R)-adrénaline et (S)-adrénaline.
2. Expliquer pourquoi on peut dire que la surface de l'enzyme de la **figure 1** est chirale.
3. Dans la **figure 1**, l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à deux structures pouvant être assimilées à deux stéréoisomères de configuration. Indiquer la nature du nouveau couple de stéréoisomères de configuration formé.
4. Associer l'eutomère et le distomère aux deux formes de l'adrénaline.
5. Pourquoi les différences d'interaction des deux formes de l'adrénaline permettent d'illustrer la notion de reconnaissance chirale ?
6. Le modèle de reconnaissance chirale présenté dans le texte permet-il de bien comprendre la différence d'activité des deux stéréoisomères de l'adrénaline ? N'est-il pas trop simplifié ? Donner des pistes d'amélioration.

Version 2 : niveau «expert»

1. Dans la **figure 1**, l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à deux structures pouvant être assimilées à deux stéréoisomères de configuration. Indiquer la nature du nouveau couple de stéréoisomères de configuration formé.
2. Pourquoi les différences d'interaction des deux formes de l'adrénaline permettent d'illustrer la notion de reconnaissance chirale ?
3. Le modèle de reconnaissance chirale présenté dans le texte permet-il de bien comprendre la différence d'activité des deux stéréoisomères de l'adrénaline ? N'est-il pas trop simplifié ? Donner des pistes d'amélioration.

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• La molécule d'adrénaline est-elle chirale ? |
| <ul style="list-style-type: none">• Quelle est la relation de stéréoisomérisation entre les deux formes <i>R</i> et <i>S</i> de l'adrénaline ? |

ANALYSER

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Représenter l'image de la surface de l'enzyme par rapport à un miroir plan. |
| <ul style="list-style-type: none">• La surface de l'enzyme de la figure 1 est-elle chirale ? |
| <ul style="list-style-type: none">• La représentation de l'enzyme n'est-elle pas trop simplifiée ? L'enzyme est-elle réellement « plane » ? |
| <ul style="list-style-type: none">• Quelle est la nature et la force des interactions entre une molécule d'adrénaline et la surface du récepteur ? |
| <ul style="list-style-type: none">• Quels sont les types ainsi que le nombre d'interactions entre les formes <i>R</i> ou <i>S</i> de la molécule d'adrénaline et la surface du récepteur ? |
| <ul style="list-style-type: none">• Comment relier le modèle de reconnaissance chirale et la réactivité des formes <i>R</i> ou <i>S</i> de la molécule d'adrénaline ? |

VALIDER

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Les différences d'interaction entre les formes <i>R</i> et <i>S</i> de l'adrénaline sont-elles prévisibles grâce au modèle utilisé ? |
| <ul style="list-style-type: none">• Le distomère de l'adrénaline a-t-il une activité biologique ? |
| <ul style="list-style-type: none">• L'activité biologique du distomère de l'adrénaline est-elle conforme au modèle de reconnaissance chirale ? |

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de production attendue :

S'APPROPRIER	<i>Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, schéma).</i>
---------------------	--

Version 1 :

1. Indiquer la relation de stéréoisométrie entre les membres du couple de stéréoisomères *R* et *S* de l'adrénaline.

Les deux structures de l'adrénaline qui sont représentées sont énantiomères.

ANALYSER	<i>S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse. Relier, trier et organiser qualitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents. Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.</i>
-----------------	---

Version 1 :

2. Pourquoi peut-on dire que la surface de l'enzyme de la **figure 1** est chirale ?

La surface de l'enzyme est chirale car elle n'est pas superposable à son image obtenue par rapport à un miroir plan. La représentation de l'enzyme est très simplifiée. Elle n'est pas plane.

Versions 1 et 2 :

3. (version 1) ou 1. (version 2)

Dans la figure 1, l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à deux structures pouvant être assimilées à deux stéréoisomères de configuration. Indiquer la nature du nouveau couple de stéréoisomères de configuration formé.

Le récepteur a toujours la même forme spatiale (donc la même stéréochimie) et peut se lier au stéréoisomère *R* ou *S* de l'adrénaline. On obtient donc deux stéréoisomères de configuration non images l'un de l'autre par un miroir plan, soit un couple de diastéréoisomères.

Version 1 :

4. Associer l'eutomère et le distomère aux deux formes de l'adrénaline.

L'eutomère correspond à l'énantiomère *R* de l'adrénaline car on observe trois interactions avec la surface de l'enzyme.

Le distomère correspond à l'énantiomère *S* de l'adrénaline car on n'observe que deux interactions avec la surface de l'enzyme.

Ou

D'après le texte « Le cas de l'adrénaline », « la forme *R* est douze fois plus active que la forme *S* » et la forme la plus active d'une molécule est appelée eutomère (d'après le document « Chiralité et systèmes biologiques »). Ainsi, l'eutomère correspond à la forme *R* de l'adrénaline et le distomère à l'énantiomère *S* de l'adrénaline.

Versions 1 et 2 :

5. (version 1) ou 2. (version 2)

Pourquoi les différences d'interaction des deux formes de l'adrénaline permettent d'illustrer la notion de reconnaissance chirale ?

L'association entre les énantiomères *R* ou *S* et la surface de l'enzyme conduit à des diastéréoisomères qui ont des propriétés chimiques et physiques différentes, cela explique pourquoi les énantiomères *R* ou *S* de l'adrénaline ont une activité biologique différente.

Ce sont des interactions de type Van der Waals ou des liaisons hydrogène qui sont mises en jeu entre la molécule d'adrénaline et le substrat.

Le stéréoisomère *R* de l'adrénaline est plus lié au substrat que le stéréoisomère *S* car la géométrie du stéréoisomère *R* est plus adaptée au substrat.

Le concept de reconnaissance chirale explique que seules les molécules chirales ayant la géométrie adaptée à un substrat chiral (enzyme ou récepteur) pourront conduire à une activité biologique. Il faut pour cela au minimum trois sites d'interaction. C'est le cas de la forme *R* de l'adrénaline qui est l'eutomère. La forme *S* de l'adrénaline n'a que deux sites d'interaction, c'est le distomère et, cela explique pourquoi cette forme est biologiquement moins active que la forme *R*.

VALIDER	<i>Faire preuve d'esprit critique. Apprécier la validité d'un modèle.</i>
----------------	---

Versions 1 et 2 :

6. (version 1) ou 3. (version 2)

Le modèle de reconnaissance chirale présenté dans le texte permet-il de bien comprendre la différence d'activité des deux stéréoisomères de l'adrénaline ? N'est-il pas trop simplifié ? Donner des pistes d'amélioration.

La forme *R* de l'adrénaline est douze fois biologiquement plus active que la forme *S*. Le phénomène de reconnaissance chirale n'est donc pas en tout ou rien. Le modèle (figure 1) prévoit que la forme *S*, qui n'a que deux sites d'interaction avec la structure de l'enzyme, devrait être biologiquement inactive alors que la forme *R* qui a trois sites d'interaction, devrait être biologiquement active. Le modèle ne permet donc pas d'expliquer la réactivité de l'énantiomère *S*. Il faut donc modifier le modèle en expliquant que le distomère peut avoir une réactivité, qu'elle est plus faible que celle de l'eutomère et qu'elle est liée à la nature des interactions mises en jeu.

De plus, la **figure 1** proposée pour l'interaction avec le distomère présente le cas le plus défavorable avec un site d'interaction unique entre la protéine et le récepteur. Une simple rotation de la protéine distomère proposée permet de réaliser deux interactions avec le récepteur et conduit donc potentiellement à une activité biologique plus élevée.

Ces rotations possibles sont bien entendu liées à la structure précise de la protéine et du récepteur, des potentielles gênes stériques et de la force des interactions mises en jeu.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none">- Extraire l'information indiquant l'existence de deux stéréoisomères de l'adrénaline ayant des activités biologiques différentes.- Se rendre compte que les deux stéréoisomères de l'adrénaline sont énantiomères.
ANALYSER	<ul style="list-style-type: none">- Se rendre compte que la surface de l'enzyme est chirale.- Se rendre compte que l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à des diastéréoisomères.- Utiliser la notion d'interaction de Van der Waals ou de liaisons hydrogène pour comprendre le modèle de la reconnaissance chirale.- Associer diastéréoisomérisation et comportement biologique différents des formes <i>R</i> et <i>S</i> de l'adrénaline.- Utiliser le modèle de la reconnaissance chirale.
VALIDER	<ul style="list-style-type: none">- Repérer un point faible du modèle qui est proposé (la forme <i>S</i> de l'adrénaline n'est pas inactive).- Proposer des pistes d'amélioration.

Fiche 5 – Exemples de productions d'élèves et d'attribution de niveaux de réussite

Copie 1 (version 1) :

Les énantiomères de l'adrénaline

1. Le couple de stéréoisomères est un couple d'énantiomères.
2. La surface de l'enzyme est chirale parce que ses trois sites d'interaction sont différents. Un seul des énantiomères est reconnu par le récepteur.
3. L'association énantiomère 1 ou 2 – surface de l'enzyme conduit à des stéréoisomères de configuration car les énantiomères 1 et 2 sont déjà des stéréoisomères de configuration : on ne peut passer de l'un à l'autre qu'en cassant une liaison.
4. L'eutomère est la forme R de l'adrénaline car elle est plus active que la forme S (elle se fixe plus facilement sur les récepteurs cibles). Le distomère est donc la forme S de l'adrénaline.
5. Pour la même formule semi-développée, les deux formes de l'adrénaline ont de très grandes différences d'interaction (la forme R est douze fois plus active que la forme S). C'est l'effet de la reconnaissance chirale : le récepteur ne s'associe qu'avec un des énantiomères.
6. Le modèle de reconnaissance chirale présenté dans la figure 1 permet de bien comprendre le principe de reconnaissance chirale car les énantiomères sont très simples et les atomes sont représentés par des formes géométriques bien distinctes. Cependant, pour bien comprendre la différence d'activité des deux stéréoisomères de l'adrénaline, il est nécessaire d'étudier des schémas plus détaillés où les interactions entre les atomes sont représentées de façon plus exactes et précises.

	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				coeff icien t
		A	B	C	D	
S'approprier	- Extraire l'information indiquant l'existence de deux stéréoisomères de l'adrénaline ayant des activités biologiques différentes. - Se rendre compte que les deux stéréoisomères de l'adrénaline sont énantiomères.	X				1
Analyser	- Se rendre compte que la surface de l'enzyme est chirale. - Se rendre compte que l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à des diastéréoisomères. - Utiliser la notion d'interaction de Van der Waals ou de liaisons hydrogène pour comprendre le modèle de la reconnaissance chirale. - Associer diastéréoisométrie et comportement biologique différents des formes R et S de l'adrénaline. - Utiliser le modèle de la reconnaissance chirale.		X			3
Valider	- Repérer un point faible du modèle qui est proposé (la forme S de l'adrénaline n'est pas inactive). - Proposer des pistes d'amélioration.		X			2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

4 / 5

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

La note finale résulte d'une analyse du tableau avec l'aide à la notation utilisée mais la décision finale relève de l'expertise du professeur.

Les énantiomères de l'adrénaline

1. Ce sont les énantiomères gauche et droit de l'adrénaline. Ils sont chiraux car ils possèdent un atome de carbone asymétrique.
2. La surface de l'enzyme de la figure 1 est chirale car les énantiomères sont symétriques par rapport à un miroir plan mais sont non superposables.
3. Dans la figure 1, on peut affirmer que l'association énantiomère 1 ou 2 – surface de l'enzyme conduit à des stéréoisomères de configuration car l'énantiomère 1 possède des figures géométriques qui peuvent se lier aux récepteurs (ou enzyme) possédant les mêmes formes géométriques au même endroit. Afin que l'énantiomère 1 soit fixé chaque forme géométrique doit être sur la forme associée or on remarque que si on essaye de placer l'énantiomère 2 sur certains récepteurs (enzyme). Ainsi l'énantiomère 2 est placé de manière à ce qu'il soit l'image de l'énantiomère 1 par rapport à un miroir plan. C'est un stéréoisomère de configuration.
4. L'eutomère est l'énantiomère R-adrénaline car c'est l'énantiomère qui est le plus efficace de l'adrénaline. Le distomère représente donc l'énantiomère S-adrénaline.
5. Les différences d'interaction des deux formes de l'adrénaline permettent d'illustrer la notion de reconnaissance chirale car elles mettent en jeu les deux énantiomères de l'adrénaline qui sont chiraux. On peut voir que l'une des deux figures se fixe parfaitement sur l'enzyme. Au contraire, l'autre énantiomère qui est non superposable à son image dans un miroir plan ne se fixe pas parfaitement sur l'enzyme.
6. On peut dire que le modèle de reconnaissance chirale présenté dans la figure 1 permet en effet de comprendre la différence d'activité des deux stéréoisomères de l'adrénaline car on observe dans un premier temps que l'énantiomère R-adrénaline se lie correctement à l'enzyme alors que pour l'énantiomère S-adrénaline ce n'est pas le cas. Cette représentation est un peu trop simplifiée car on ne peut pas identifier les différents groupes d'atomes et les différentes fonctions présentes dans la molécule.

	Exemples d'indicateurs de réussite* pour le niveau A * : les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides données lors du début de la résolution du problème en classe	Niveaux de réussite				Coefficient
		A	B	C	D	
S'approprier	- Extraire l'information indiquant l'existence de deux stéréoisomères de l'adrénaline ayant des activités biologiques différentes. - Se rendre compte que les deux stéréoisomères de l'adrénaline sont énantiomères.	X				1
Analyser	- Se rendre compte que la surface de l'enzyme est chirale. - Se rendre compte que l'association entre les énantiomères 1 ou 2 et la surface de l'enzyme conduit à des diastéréoisomères. - Utiliser la notion d'interaction de Van der Waals ou de liaisons hydrogène pour comprendre le modèle de la reconnaissance chirale. - Associer diastéréoisomérisation et comportement biologique différents des formes R et S de l'adrénaline. - Utiliser le modèle de la reconnaissance chirale.			X		3
Valider	- Repérer un point faible du modèle qui est proposé (la forme S de l'adrénaline n'est pas inactive). - Proposer des pistes d'amélioration.			X		2

Aide à la notation :

Première étape :

- majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ;
- majorité de C et D : note entre 0 à 3

3 / 5

Deuxième étape :

- majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5)
- majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3)
- majorité de C : entre 1 et 3 (uniquement des C : 2)
- majorité de D entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)

Élaboration du zinc

Niveau : **Terminale S Spécialité Chimie**

Thème : **Matériaux**

Résumé de l'activité :

L'objectif principal de cette activité est de réaliser une communication scientifique sous la forme d'une unique diapositive à partir d'informations scientifiques textuelles se trouvant sur le site de la Société Chimique de France.

Programme

Domaines d'étude	Mots-clés
Cycle de vie.	Élaboration, recyclage.

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées ²⁵
S'approprier (APP)	<ul style="list-style-type: none">- Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.- Extraire une information de différents documents scientifiques (texte, graphe, tableau, schéma).
Analyser (ANA)	<ul style="list-style-type: none">- Identifier les idées essentielles et leurs articulations.- Relier, trier et organiser qualitativement ou quantitativement différents éléments (données, informations...) du ou des documents.
Communiquer (COM)	<ul style="list-style-type: none">- Rédiger/présenter, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique).- Rédiger la synthèse d'un document scientifique en effectuant un changement de registres (textes, schémas, carte mentale, ...).- Utiliser comme support de présentation les outils numériques.

Nature et origine des documents

Nature : pages d'un site web

Adresse : <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/zn/cadzn.htm>

Analyse des différentes versions de l'activité documentaire

Plusieurs versions de cette activité documentaire sont proposées avec des niveaux relatifs de difficulté différents.

²⁵ Capacités de la démarche scientifique peu travaillées dans les activités documentaires habituelles

Compétences	Niveaux de difficulté	
	Version 1 (niveau « confirmé »)	Version 2 (niveau « expert »)
S'approprier (APP)	2	3
Analyser (ANA)	2	3
Communiquer (COM)	4	4

Il s'agit d'une activité d'analyse et de **synthèse** documentaire, non réalisable par un élève qui n'est pas en filière scientifique, car elle nécessite un changement de registres. C'est une activité formative en « classe inversée ». Elle met en avant la compétence **COM**. Les élèves doivent réaliser une communication scientifique sous la forme d'une unique diapositive à partir d'informations scientifiques textuelles se trouvant sur le site de la Société Chimique de France.

Cette activité présente des difficultés pour les élèves, concernant :

- l'appropriation. Elle repose sur un texte long, contenant beaucoup d'informations à trier dont certaines ne sont pas utiles pour la tâche demandée et dont certaines sont compliquées et devront donc être appréhendées de façon globale. De plus, les élèves n'ont pas toujours l'habitude d'explorer de façon exhaustive les informations affichées sur une page de la « toile » ;
- l'analyse. Elle devra permettre de comprendre l'enchaînement des différentes étapes afin de synthétiser de façon pertinente et complète ;
- la communication. Le format numérique demandé implique que l'élève fasse, par exemple, un choix judicieux de couleurs et de formes pour rendre plus intelligible la diapositive.

Il n'y a pas de version « initiation » dans cette activité en raisons des difficultés énoncées ci-dessus et parce qu'elle est inhabituelle pour les élèves.

La **version 1** guide les élèves dans leur tâche en posant des questions d'appropriation et d'analyse.

La **version 2** est réservée aux élèves les plus aguerris car ils ne sont pas guidés.

Déroulement de l'activité

L'énoncé de l'activité documentaire est donné dans la fiche 1.

Au cours de son raisonnement, cette activité étant donnée en formation, l'élève peut faire appel à des aides, décrites dans la fiche 2.

Un exemple de production attendue est donné dans la fiche 3 pour le professeur. Il est nécessaire que ce dernier ait prévu une phase de mise en commun pour la structuration en fin de séance, en s'appuyant par exemple sur cette production.

La fiche 4 donne des exemples d'indicateurs de réussite permettant à l'enseignant (ou aux élèves) d'évaluer (de s'auto-évaluer) par compétences les productions des différents groupes ; ce qui est fortement conseillé pour que la « classe inversée » fonctionne pleinement. Dans ce cas, le professeur présente un exemple de production attendue après cette évaluation.

La réalisation de l'activité nécessite une salle informatique avec connexion internet et un logiciel pour réaliser un diaporama.

Durée : 2 à 4 heures suivant la version et si les élèves évaluent les diapositives des différents groupes (co-évaluation). Une partie du travail peut être effectué à la maison entre deux séances. Les élèves travaillent par binômes pour les compétences APP et ANA puis par quatre, éventuellement, pour la compétence COM (réalisation de la diapositive).

Fiche 1 – Activité élèves

Version 1 : niveau « confirmé »

Élaboration du zinc

Connectez-vous à l'adresse suivante :

<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/zn/cadzn.htm>

Tâche à effectuer :

À partir des informations dont vous disposez à l'adresse indiquée, vous réaliserez une unique diapositive présentant de façon schématique l'ensemble des principales étapes permettant de **préparer du zinc à partir de son minerai ou bien par recyclage**.

Pour vous aider dans votre travail, vous répondrez aux questions ci-dessous :

S'APPROPRIER

1. Comment est nommé l'ensemble des traitements physiques auquel le minerai est soumis ?
2. En combien d'étapes se déroule la métallurgie de première fusion ?
3. Quel est le principal procédé de réduction employé ?
4. En combien d'étapes l'hydrométallurgie se déroule-t-elle ?

ANALYSER

5. Résumer les étapes de la métallurgie de première fusion.
6. Résumer les étapes de l'hydrométallurgie.
7. Le recyclage intervient à deux endroits dans la succession des étapes de l'élaboration du zinc. Les identifier et les résumer.

Version 2 : niveau « expert »

Élaboration du zinc

Connectez-vous à l'adresse suivante :

<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/metaux/zn/cadzn.htm>

Tâche à effectuer :

À partir des informations dont vous disposez à l'adresse indiquée, vous réaliserez une unique diapositive présentant de façon schématique l'ensemble des principales étapes permettant de **préparer du zinc à partir de son minerai ou bien par recyclage.**

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

S'APPROPRIER

- Il s'agit d'un site fiable ; la véracité des informations contenues n'est pas à remettre en cause.
- Observer la manière dont est organisé et hiérarchisé le document.
- Identifier les différentes parties du document.
- Le document comporte beaucoup de données non utiles pour le travail demandé. Exemples : les productions minières, les principaux producteurs...
- Le document comporte des données difficiles à comprendre qu'il conviendrait d'appréhender dans leur globalité.
- ...

ANALYSER

- Parmi les différentes parties du document que vous avez identifiées, choisissez celles qui seront utiles pour la réalisation de la tâche demandée.
- Pour chaque partie du document que vous avez choisie de faire figurer dans votre production, comment peut-on la résumer de façon schématique et symbolique tout en restant suffisamment explicite ?
- ...

COMMUNIQUER

- Titre et légende sont inutiles.
- Pour rationaliser votre diapositive, vous pourrez, par exemple, utiliser une symbolique de type rectangle, ovale ... pertinente et cohérente.
- Des flèches pourront être utilisées pour symboliser les transformations.
- Indiquer sur votre schéma les noms des transformations et les formules chimiques des réactifs ou des produits présentant un intérêt lors de l'élaboration du zinc.
- Indiquer l'état physico-chimique du zinc avant et après transformation.
- ...

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de réponses attendues (version 1) :

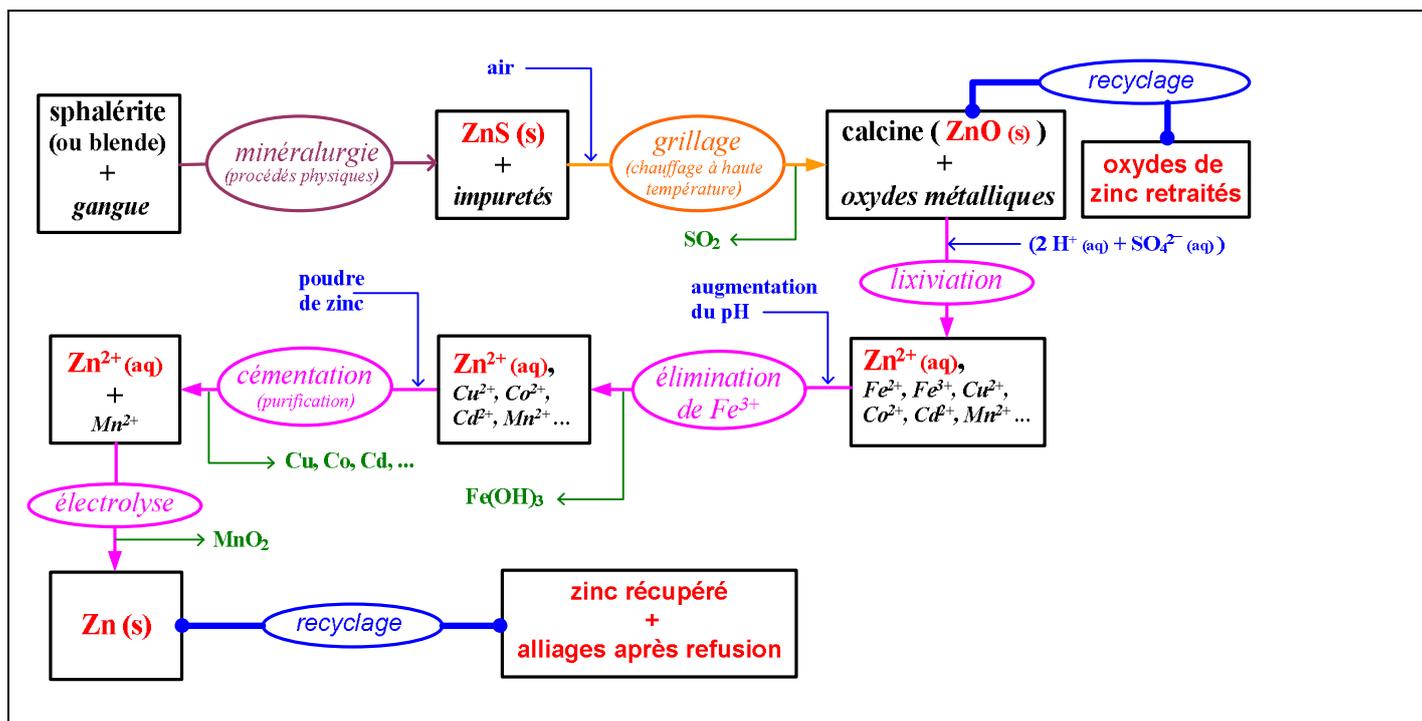
S'APPROPRIER

1. L'ensemble des traitements physiques auquel le minerai est soumis est la minéralurgie ou concentration.
2. La métallurgie de première fusion se déroule en deux étapes : le grillage puis la réduction.
3. Le principal procédé de réduction employé est l'hydrométallurgie. Elle concerne 90 % de la production. L'autre procédé est la pyrométallurgie ou procédé thermique (10 % de la production).
4. L'hydrométallurgie se déroule en quatre étapes : la lixiviation, l'élimination des ions ferriques, la cémentation (purification de la solution) et enfin l'électrolyse.

ANALYSER

5. Au cours de la métallurgie de première fusion, le sulfure de zinc solide, en présence du dioxygène de l'air, est transformé, par chauffage à haute température (grillage), en oxyde de zinc solide. Puis, au cours de l'hydrométallurgie, l'oxyde de zinc solide est réduit en zinc solide.
6. L'hydrométallurgie se déroule en quatre étapes. Au cours de la première, la lixiviation, par action d'une solution d'acide sulfurique, l'oxyde de zinc solide passe en solution sous forme d'ions Zn^{2+} . La solution obtenue contient beaucoup d'autres ions métalliques, les principaux étant les ions Fe^{2+} . Lors de la deuxième étape, après oxydation des ions Fe^{2+} en ions Fe^{3+} , on élimine ces derniers, par augmentation du pH de la solution contenant Zn^{2+} . La troisième étape consiste en la purification de la solution contenant Zn^{2+} par élimination des ions métalliques (autres que Fe^{3+}) par passage sur une poudre de zinc (cémentation). Enfin, au cours de la quatrième et dernière étape, les ions Zn^{2+} en solution sont transformés en zinc solide par électrolyse.
7. Le recyclage intervient à deux endroits dans la succession des étapes de l'élaboration du zinc. Il s'agit des oxydes de zinc (récupérés après traitements) que l'on réinjecte dans le circuit des transformations avant la lixiviation. Mais le zinc est également produit par recyclage à partir de zinc récupéré ou par refusion d'alliages en contenant.

Exemple de production attendue (versions 1 et 2) :



Explicitation des choix arbitraires effectués pour la réalisation de la diapositive ci-dessus :

Les rectangles noirs contiennent l'état physico-chimique de l'élément zinc et les sous-produits indésirables au cours des différentes étapes.

Les ovales contiennent les noms des différentes étapes de transformation.

Les flèches et autres connecteurs symbolisent les transformations et/ou permettent de comprendre :

- le sens du déroulé des différentes étapes ;
- l'intervention des réactifs nécessaires et les sous-produits éliminés éventuellement.

Les couleurs utilisées permettent de mettre en évidence :

- la présence de l'élément Zn (couleur rouge) ;
- les réactifs utilisés (couleur bleue) ;
- les sous-produits indésirables (couleur noire) ;
- les sous-produits éliminés (couleur verte).

Les couleurs utilisées permettent également de repérer les étapes d'une même voie de transformation.

L'italique est utilisé pour le nom des transformations.

Une police différente est utilisée pour le recyclage.

Une taille de caractère plus petite sert à différencier les réactifs et les sous-produits éliminés.

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

Compétences	Exemples d'indicateurs de réussite
S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none"> • Les informations contenues dans la diapositive sont justes. • Les informations extraites sont pertinentes et sont donc contenues dans la diapositive. Il s'agit : <ul style="list-style-type: none"> - de la minéralurgie (ou concentration) ; - des 2 étapes de la métallurgie de 1^{ère} fusion (grillage et réduction) ; - des 4 étapes (lixiviation, élimination des ions ferriques, cémentation et électrolyse) de la principale voie de réduction (ou hydrométallurgie) ; - des 2 voies de recyclage qui concernent le zinc récupéré et les oxydes de zinc retraités.
ANALYSER	<ul style="list-style-type: none"> • Pour toutes les étapes principales de l'élaboration, l'état physico-chimique du zinc est correctement repéré avant et après transformation ainsi que les autres réactifs et produits. • Les transformations sont correctement reliées entre elles. • Le changement de registre a été effectué de façon satisfaisante (la diapositive ne contient pas de phrases ou de textes mais une majorité de symboles).
COMMUNIQUER	<ul style="list-style-type: none"> • Le format correspondant à une unique diapositive est respecté. • La communication est visible, claire et rationnelle. • La communication est complète. • Des couleurs et/ou des formes de typologie différentes sont employées de façon judicieuse. Elles doivent permettre d'unifier les différentes étapes d'une même voie, les réactifs, les produits... • La symbolique utilisée est pertinente et cohérente. Elle doit permettre de comprendre ce qui est effectué à chaque étape de l'élaboration (avant et après transformation). • La communication utilise un vocabulaire scientifique précis (noms des transformations, formules chimiques, états physico-chimiques...)

Fiche 5 – Exemples de productions d’élèves et d’attribution de niveaux de réussite

L’activité a été testée avec deux classes (n°1 et 2) de spécialité physique-chimie en classe de terminale S dans sa version « expert ».

Les deux classes ont des profils différents.

La classe n°2, composée 18 élèves, est plus sérieuse et obtient généralement de meilleurs résultats que la classe n°1 comportant 15 élèves.

Les deux classes se suivent dans l’emploi du temps du professeur.

L’activité s’est déroulée sur deux séances consécutives. Durée consacrée : première séance : 1h30 ; deuxième séance : 2h.

Les élèves ont travaillé par 2 pour les compétences APP et ANA lors de la première séance, puis éventuellement par 3 ou 4 pour la compétence COM lors de la deuxième séance. La classe n°1 a réalisé 6 diapositives et la classe n°2 : 8 diapositives.

Déroulement de la première séance :

Les objectifs de l’activité ont été commentés par l’enseignant, en mettant l’accent sur le fait que la compétence « communiquer » serait principalement travaillée sur un domaine inconnu et relativement difficile.

Les élèves ont bien adhéré à l’activité. Ils se sont vite emparés des informations. Certains ont travaillé sur papier en relevant ce qui leur paraissait essentiel, d’autres ont utilisé un « copier-coller » à partir duquel ils ont « surligné » les mots ou extraits importants. À la fin de la première séance, tous les groupes ont commencé la « rédaction » de la diapositive.

Travail donné entre les deux séances : « Poursuivre la réflexion et la mise en forme de la diapositive ». Les élèves ont été simplement « incités » à faire ce travail. Peu d’élèves l’ont effectué (un tiers des groupes environ).

Déroulement de la deuxième séance :

Des contraintes horaires ont été fixées par l’enseignant. Les groupes ont finalisé leur diapositive pendant la première heure. Les groupes les plus avancés ont travaillé sur un exercice en attendant les groupes retardataires. À la fin de la première heure, pendant environ trente minutes, tous les binômes se sont auto-évalués et ont évalué les différentes productions de leur classe. L’enseignant a ensuite présenté la « correction » en utilisant l’exemple de production attendue et en analysant avec les élèves ce qui a été bien réalisé et ce qui l’a été beaucoup moins. L’auto-évaluation et la co-évaluation ont permis d’accroître considérablement l’efficacité du retour sur l’activité.

Commentaires concernant l’évaluation :

De façon générale, la classe n°2 a eu tendance à noter « plus large » que la classe n°1 (liée certainement à la difficulté d’évaluer). Globalement, il n’y a pas eu de disparité significative entre l’auto-évaluation et la co-évaluation, les élèves ayant finalement un regard assez objectif sur leur travail lorsqu’ils procèdent par comparaison avec la production des autres groupes. Enfin, la compétence qui a posé le plus de problèmes à évaluer par les élèves est la compétence ANA. Ceci est très certainement lié au fait que les élèves n’ont pas toujours bien compris le document dans sa globalité.

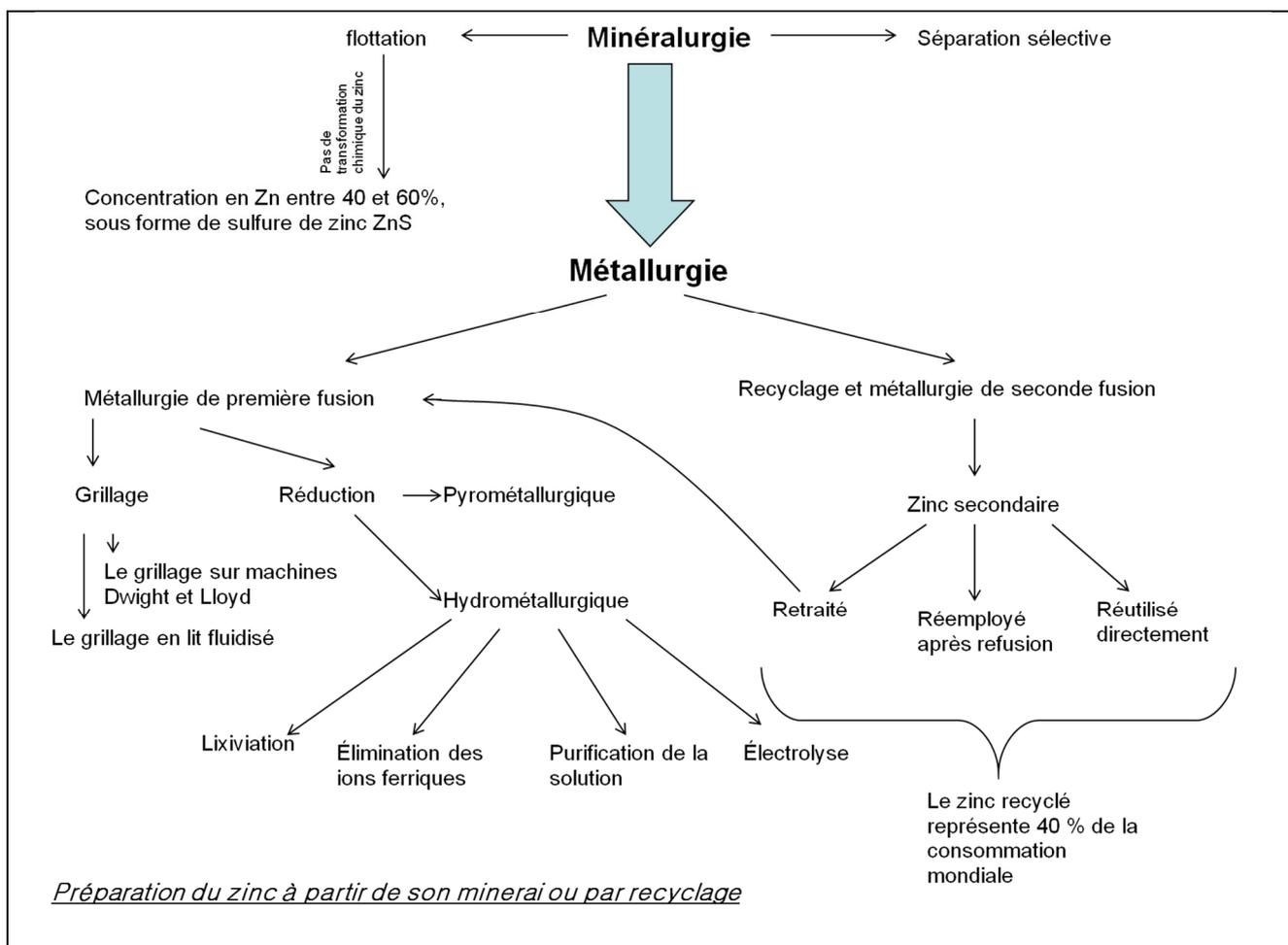
À titre d’exemples deux productions d’élèves (dénommées n°1 et n°2) ont été choisies pour être analysées. Il s’agit de la diapositive la moins bien évaluée par la classe n°1 et de la diapositive la

mieux évaluée par la classe n°2. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats des différentes évaluations pratiquées sur les deux exemples sélectionnés :

	« production n°1 » : diapositive la moins bien évaluée par la classe n°1			« production n°2 » : diapositive la mieux évaluée par la classe n°2		
	auto- évaluation	« moyenne » de la co- évaluation	évaluation par l'enseignant	auto- évaluation	« moyenne » de la co- évaluation	évaluation par l'enseignant
APP	B	B	B	A	A	A
ANA	B	B	C	A	A	B
CO M	B	C	C	A	B	B

Pour plus de détails concernant l'évaluation effectuée par l'enseignant : voir ci-après.

Production n°1 :



Remarques sur la production n°1 :

S'appropriier :

- Les informations contenues dans la diapositive sont presque toutes justes, mise à part la voie de recyclage concernant les oxydes de zinc retraités.
- Les informations extraites sont presque toutes pertinentes mais certains choix sont discutables :
 - grillage, minéralurgie et recyclage sont trop détaillés ;
 - présence non nécessaire de la pyrométallurgie.

Analyser :

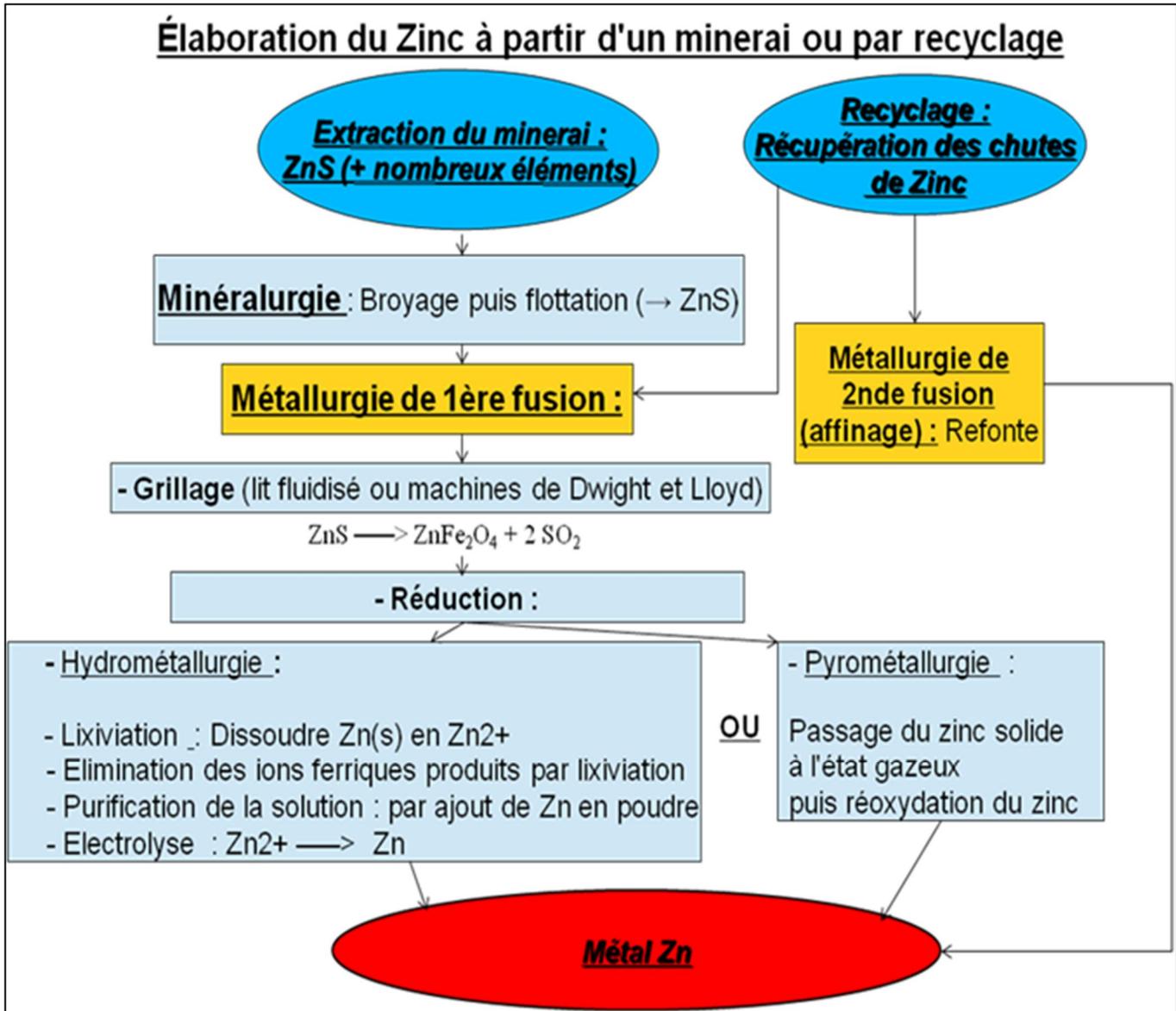
- Pour toutes les étapes principales de l'élaboration, l'état physico-chimique du zinc n'est pas repéré avant et après transformation. De même pour les autres réactifs et produits.
- Le déroulé du minerai au zinc solide n'est pas présent ; l'articulation grillage-réduction est fautive ; il n'y a pas d'enchaînement logique pour les 4 étapes de l'hydrométallurgie ; le recyclage des oxydes de zinc retraités doit apparaître après le grillage...
- Le changement de registre n'a pas été effectué de façon satisfaisante (la diapositive ne contient pas une majorité de symboles).

Communiquer :

- Le format correspondant à une unique diapositive a été respecté et la communication est complète.
- La communication est peu visible (taille de la police trop petite) mais claire. Elle n'est pas totalement rationnelle.
- Il n'y a pas de couleurs et/ou de formes de typologie différentes devant permettre d'unifier les différentes étapes d'une même voie, les réactifs, les produits... Rien n'est mis en valeur si ce n'est une « grosse flèche bleue » indiquant le passage de la minéralurgie à la métallurgie dont le choix est discutable.
- Les flèches utilisées ne permettent pas de comprendre ce qui est effectué à chaque étape de l'élaboration car elles ne symbolisent pas toujours une transformation.
- La communication utilise les noms des transformations mais il n'y a pas de formules chimiques, d'états physico-chimiques, de réactifs, de sous-produits.
- La communication est peu visible (taille de la police trop petite) mais claire. Elle n'est pas totalement rationnelle.

Production n°1	Exemples d'indicateurs de réussite pour le niveau A	Niveaux de réussite				Coeff
		A	B	C	D	
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> Les informations contenues dans la diapositive sont justes. Les informations extraites sont pertinentes et sont donc contenues dans la diapositive. Il s'agit : <ul style="list-style-type: none"> de la minéralurgie (ou concentration) ; des 2 étapes de la métallurgie de 1^{ère} fusion (grillage et réduction) ; des 4 étapes (lixiviation, élimination des ions ferriques, cémentation et électrolyse) de la principale voie de réduction (ou hydrométallurgie) ; des 2 voies de recyclage qui concernent le zinc récupéré et les oxydes de zinc retraités. 		<ul style="list-style-type: none"> x x 			x 2
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> Pour toutes les étapes principales de l'élaboration, l'état physico-chimique du zinc est correctement repéré avant et après transformation ainsi que les autres réactifs et produits. Les transformations sont correctement reliées entre elles. Le changement de registre a été effectué de façon satisfaisante (la diapositive ne contient pas de phrases ou de textes mais une majorité de symboles). 			<ul style="list-style-type: none"> x x 		x 2
Communique r	<ul style="list-style-type: none"> Le format correspondant à une unique diapositive est respecté. La communication est visible, claire et rationnelle. La communication est complète. Des couleurs et/ou des formes de typologie différentes sont employées de façon judicieuse. Elles doivent permettre d'unifier les différentes étapes d'une même voie, les réactifs, les produits... La symbolique utilisée est pertinente et cohérente. Elle doit permettre de comprendre ce qui est effectué à chaque étape de l'élaboration (avant et après transformation). La communication utilise un vocabulaire scientifique précis (noms des transformations, formules chimiques, états physico-chimiques...) 			<ul style="list-style-type: none"> x x x 		x 3
Aide à la notation : Première étape : <ul style="list-style-type: none"> majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ; majorité de C et D : note entre 0 à 3 		Deuxième étape : <ul style="list-style-type: none"> majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5) majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3) majorité de C : note entre 1 et 3 (uniquement des C : 2) majorité de D : note entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2) 				Note : 3 / 5

Production n°2 :



Remarques sur la production n°2 :

S'appropriier :

- Les informations contenues dans la diapositive sont quasiment toutes justes. Toutefois, les explications sur la pyrométallurgie sont très incomplètes et donc erronées. L'équation choisie pour modéliser le grillage n'est pas pertinente. Elle est incomplète et non ajustée.
- Les informations extraites sont globalement pertinentes et sont contenues dans la diapositive. Cependant :
 - le choix de la présence de la pyrométallurgie est discutable ;
 - les informations sur le recyclage sont trop restrictives (il manque les oxydes de zinc).

Analyser :

- Pour les étapes principales de l'élaboration, l'état physico-chimique du zinc n'est pas toujours correctement repéré avant et après transformation (absence de ZnO). Les autres réactifs et produits ne sont pas repérés.
- Les transformations sont correctement reliées entre elles hormis un connecteur erroné concernant le recyclage.

- Le changement de registre a été effectué de façon globalement satisfaisante.

Communiquer :

- Le format correspondant à une unique diapositive a été respecté.
- La communication est visible, claire, rationnelle et complète.
- Des couleurs et des formes de typologie différentes sont employées. Elles permettent d'unifier les différentes étapes d'une même voie mais pas les réactifs et les produits.
- La symbolique utilisée est cohérente mais pas toujours pertinente. En particulier, elle ne rend pas assez compte de ce qui est effectué lors des 4 étapes de l'hydrométallurgie.
- La communication utilise les noms des transformations mais pas assez de formules chimiques et d'états physico-chimiques.

Production n°2	Exemples d'indicateurs de réussite pour le niveau A	Niveaux de réussite				Coeff
		A	B	C	D	
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> Les informations contenues dans la diapositive sont justes. Les informations extraites sont pertinentes et sont donc contenues dans la diapositive. Il s'agit : <ul style="list-style-type: none"> de la minéralurgie (ou concentration) ; des 2 étapes de la métallurgie de 1^{ère} fusion (grillage et réduction) ; des 4 étapes (lixiviation, élimination des ions ferriques, cémentation et électrolyse) de la principale voie de réduction (ou hydrométallurgie) ; des 2 voies de recyclage qui concernent le zinc récupéré et les oxydes de zinc retraités. 	x x				x 2
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> Pour toutes les étapes principales de l'élaboration, l'état physico-chimique du zinc est correctement repéré avant et après transformation ainsi que les autres réactifs et produits. Les transformations sont correctement reliées entre elles. Le changement de registre a été effectué de façon satisfaisante (la diapositive ne contient pas de phrases ou de textes mais une majorité de symboles). 		xx			x 2
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> Le format correspondant à une unique diapositive est respecté. La communication est visible, claire et rationnelle. La communication est complète. Des couleurs et/ou des formes de typologie différentes sont employées de façon judicieuse. Elles doivent permettre d'unifier les différentes étapes d'une même voie, les réactifs, les produits... La symbolique utilisée est pertinente et cohérente. Elle doit permettre de comprendre ce qui est effectué à chaque étape de l'élaboration (avant et après transformation). La communication utilise un vocabulaire scientifique précis (noms des transformations, formules chimiques, états physico-chimiques...) 		xxx			x 3
Aide à la notation : Première étape : - majorité de A et de B : note entre 3 et 5 ; - majorité de C et D : note entre 0 à 3		Deuxième étape : - majorité de A : note entre 4 ou 5 (majorité de A et aucun C ou D : 5) - majorité de B : note entre 2 et 4 (uniquement des B : 3) - majorité de C : note entre 1 et 3 (uniquement des C : 2) majorité de D : note entre 0 et 2 (uniquement des D : 0 ; dès qu'il y a d'autres niveaux que le D : 1 ou 2)		Note : 4 / 5		

Le Laser

Niveau : **Terminale S, enseignement spécifique**

Thème : Agir

Résumé de l'activité

Cette activité permet de :

- s'approprier et analyser des documents de natures différentes (texte, carte, affiche publicitaire) ;
- réaliser un calcul de vitesse ;
- porter un regard critique sur la nature des informations fournies.

Programme

Notions et contenus	Attendus ou exigences du programme
Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser.	Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie).
Stockage optique Écriture et lecture des données sur un disque optique. Capacités de stockage.	Expliquer le principe de la lecture par une approche interférentielle. Relier la capacité de stockage et son évolution au phénomène de diffraction

Compétences et capacités visées

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier (APP)	Extraire une information d'un document.
Réaliser (REA)	Réaliser un calcul numérique. Utiliser le résultat d'un calcul.
Analyser (ANA)	Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. S'appuyer sur ses connaissances et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire propose l'étude d'un extrait d'article publié dans la revue *Pour la Science* (n° 387, janvier 2010) par Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK, professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

Analyse de la version proposée de l'activité documentaire

La version de l'activité documentaire est proposée en Terminale S avec les niveaux de difficulté relatifs suivants.

Compétences	Niveaux de difficulté (niveau « initiation »)
S'approprier (APP)	2
Réaliser (REA)	1
Analyser (ANA)	1

Cette activité documentaire présente assez peu de difficultés. Cependant, l'appropriation du document peut s'avérer assez difficile pour certains élèves.

Le même document peut aussi être proposé à des étudiants de classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) de première et de seconde année avec un questionnement différent. Deux exemples figurent à la suite de cette activité.

Description et déroulement de la version proposée de l'activité

La durée de cette activité en classe de Terminale est de 40 minutes.

Cette activité peut être réalisée en autonomie par les élèves sans difficultés particulières, que ce soit en classe ou à la maison.

Fiche 1 – Activité élèves

Extrait d'un article du magazine scientifique « Pour la Science ».

Un rayon bleu pour des disques plus denses

Comment augmenter la capacité des disques à lecture optique ? En réduisant la longueur d'onde du laser et en améliorant les composants optiques.

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik, professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris

Seul le laser permet d'enregistrer et de lire, par des procédés optiques, de hautes densités d'information, stockée sur les disques compacts (CD), les DVD et maintenant les nouveaux disques Blu-Ray. Afin d'augmenter la densité de stockage, on doit focaliser le faisceau lumineux sur des régions de plus en plus petites. Comment ? D'abord en diminuant la longueur d'onde de la lumière utilisée : de l'infrarouge pour les CD, on est passé à une lumière rouge pour le DVD, puis bleue pour le Blu-Ray, couleurs qui correspondent à des longueurs d'onde plus courtes.

Sur les disques numériques, on code l'information de façon binaire (des « 0 » et des « 1 ») sur une piste d'alvéoles par une série de zones réfléchissantes ou non. Les réflexions ou non-réflexions d'un faisceau lumineux sur cette piste traduisent l'information inscrite. Plus la tache produite sur le disque par le faisceau lumineux est petite, plus on peut diminuer la taille des alvéoles, donc augmenter la densité d'information stockée : on atteint aujourd'hui près de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray, grâce à une tache lumineuse d'un demi-micromètre (un demi-millionième de mètre) de diamètre.

Petite tache de laser

Afin d'obtenir un tel résultat, il faut que la source lumineuse soit aussi de petite taille, parce qu'une lentille convergente qui focalise un faisceau reproduit dans son plan focal une image de la source. Mais plus la source est petite, moins elle est brillante. Peut-on trouver un bon compromis entre taille et intensité ? La solution est fournie par le laser, réalisé pour la première fois par l'Américain Theodore Maiman et qui fête cette année ses 50 ans d'existence.

Au cœur du laser se trouve un milieu amplificateur de lumière constitué d'atomes excités, par exemple grâce à des décharges électriques. Lorsqu'un grain de lumière (un photon) frappe l'un de ces atomes, il induit l'émission d'un second photon identique en tous points au premier.

En rebondissant entre deux miroirs placés de part et d'autre du milieu amplificateur, les photons se multiplient à chaque traversée et l'intensité de la lumière s'accroît. Les miroirs qui forment la cavité laser sont particuliers. Tout d'abord, au moins l'un des deux est courbe, afin que la lumière ne s'échappe pas par les côtés et reste confinée autour de l'axe optique. Ensuite, l'un des miroirs transmet une petite partie de la lumière qu'il reçoit, laissant émerger un faisceau lumineux, le rayon laser (voir la figure 1).

Focaliser au mieux

Comment focaliser le faisceau laser qui, à sa sortie, est cylindrique ? En utilisant une lentille, qui le transforme en un faisceau conique convergent.

Pour les CD, la lumière infrarouge de 785 nanomètres de longueur d'onde est focalisée avec une lentille et forme une tache de 1,56 micromètre. La densité d'information correspondante est de 0,65 gigaoctet pour un disque de 12 centimètres de diamètre.

En jouant sur la longueur d'onde on peut augmenter la densité d'information. Ainsi, on a utilisé des longueurs d'onde plus courtes en passant au rouge à 650 nanomètres des DVD, puis au bleu à 405 nanomètres des Blu-Ray (voir la figure 2).

Cette réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde diminue la surface de la tache d'un facteur quatre. Les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray.

En outre, la qualité optique du faisceau (sa bonne convergence) doit être meilleure. Pour le CD, on peut protéger l'information par une couche de vinyle transparent. Pour le Blu-Ray, les aberrations optiques produites par la traversée de l'interface air-vinyle empêcheraient l'obtention d'une tache focale de diamètre minimal. Pour cette raison, l'inscription est effectuée à la surface du disque : il n'y a plus de couche de protection et le disque est protégé par une boîte, comme l'étaient les anciennes disquettes de micro-ordinateur.

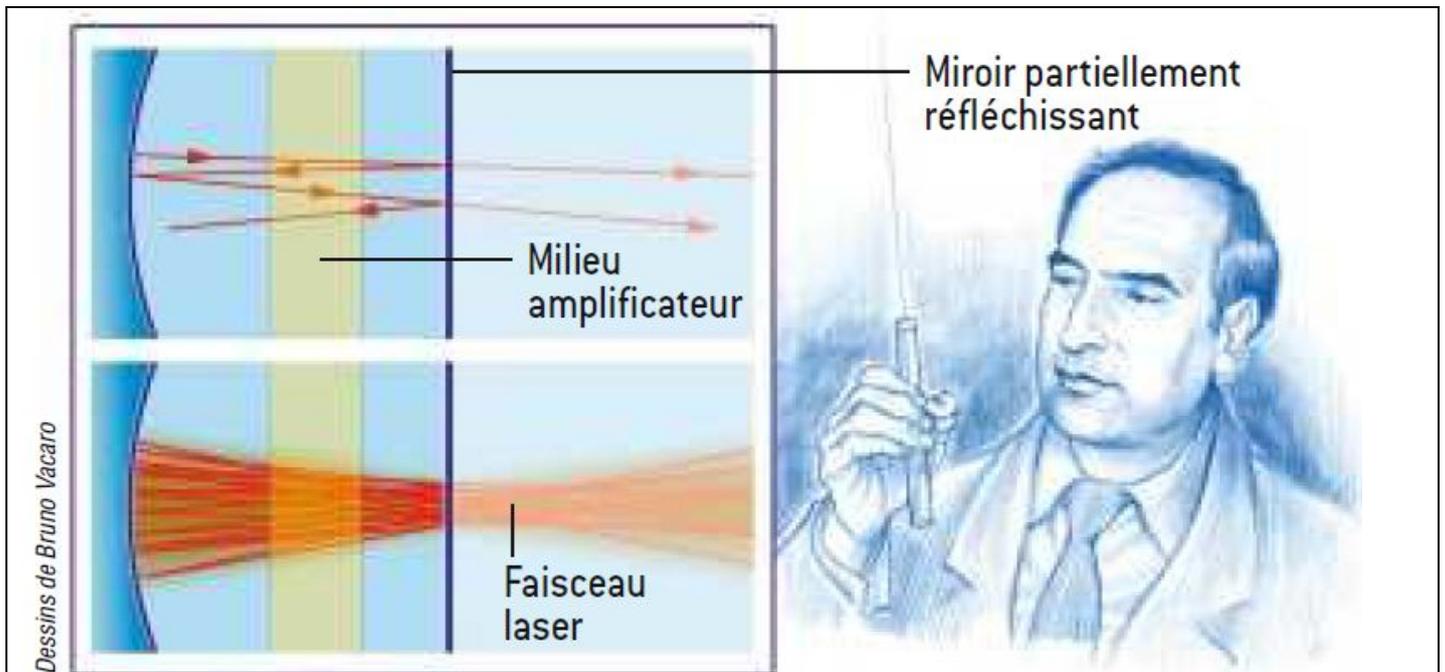


Fig.1 : Avec un laser, on peut obtenir un faisceau lumineux intense et très peu divergent. Un laser est constitué de deux miroirs disposés de part et d'autre d'un milieu amplificateur constitué par des atomes excités. Chaque photon qui arrive sur un atome excité induit l'émission par cet atome d'un photon identique, d'où une multiplication du nombre de photons. L'un des miroirs est partiellement réfléchissant et laisse sortir une partie des photons, qui constituent le rayon laser.

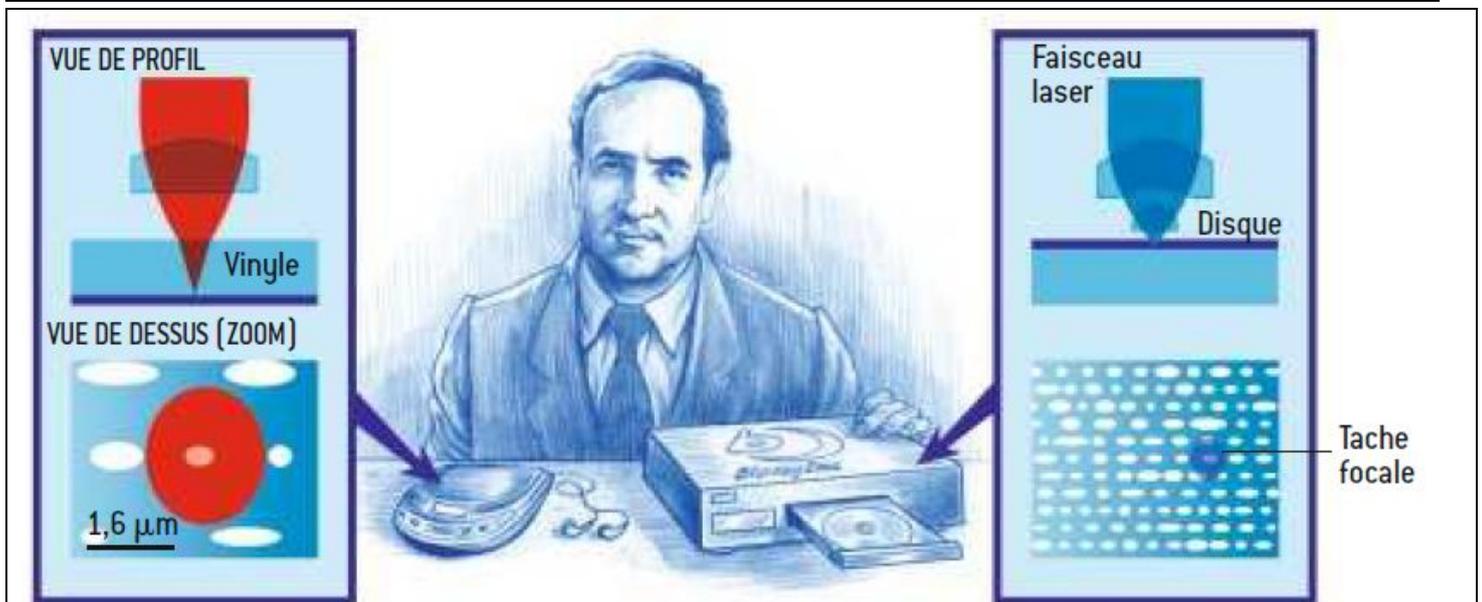


Fig.2 : L'AUGMENTATION DES CAPACITÉS DE STOCKAGE des disques à lecture optique a été obtenue surtout grâce à une diminution de la longueur d'onde du laser. Etant donné que cette tache a diminué de taille entre les CD (tache rouge à gauche) et les DVD, et les Blu-Ray (tache bleue, à droite), le nombre d'information stockée lisible (taches blanches) a augmenté notablement. Les CD et DVD sont protégés par une couche transparente de vinyle. En raison des perturbations optiques qu'elle aurait entraînées, les disques Blu-Ray en sont dépourvus.

Pour en savoir plus

A. S. van de Nes et al., High-density optical data storage, *Rep. Prog. Phys.*, vol. 69, pp. 2323-2363, 2006.

H. Kogelnik et T. Li, Laser beams and resonators, *Applied Optics*, vol. 5(10), pp. 1550-1567, 1966.

QUESTIONS

Lors du passage du CD au Blu-Ray, la densité d'information stockée a augmenté. Le rapport entre la densité d'information stockée dans un Blu-ray et celle stockée dans un CD est noté Q .

Cette augmentation de la densité d'information stockée est notamment due au changement de laser qui a pour effet de multiplier par Q' la densité d'information stockée.

1.a. Déterminer les valeurs Q et Q' .

1.b. Calculer la proportion Q' / Q de l'augmentation de la densité d'information stockée due au changement de laser.

2. Quels sont les autres facteurs de l'amélioration apportés au stockage optique ?

Fiche 2 - Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées à l'élève, quels que soient la version et le niveau de difficulté de l'activité documentaire choisis.

Les aides sont peu nombreuses dans cette activité car il est préconisé de donner cette activité en laissant travailler les élèves en autonomie.

S'APPROPRIER

- Pour simplifier, l'unité de la densité d'information peut être le gigaotet.

ANALYSER

- La densité d'information stockée sur un CD ou un Blu-Ray dépend de la surface de la tache du laser qui lit le CD ou le Blu-Ray.

REALISER

- Un rapport n'a pas d'unité.
- La proportion Q' / Q n'a pas d'unité
- La proportion Q' / Q peut être donnée en pourcentage.

Fiche 3 – Éléments de réponses

Exemples de productions attendues :

S'APPROPRIER	Extraire une information d'un document.
REALISER	Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique : utiliser une échelle pour mesurer une longueur sur une carte.

1.a. Déterminer les valeurs Q et Q'.

D'après le document, « on atteint aujourd'hui près de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray » et « 0,65 gigaoctet » pour un CD, soit un rapport $Q = 35$.

S'APPROPRIER	Extraire une information d'un document.
REALISER	Réaliser un calcul numérique. Utiliser le résultat d'un calcul.
ANALYSER	Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. S'appuyer sur ses connaissances et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.

D'après le document, entre les lasers lisant les CD et les Blu-Ray, la : « réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde diminue la surface de la tache d'un facteur quatre ».
Or, la diminution de la surface de la tache du laser sur un disque optique d'un facteur quatre implique une augmentation de la densité d'information stockée sur le disque optique d'un facteur quatre.
Ainsi, on a pu multiplier par $Q' = 4$ la quantité d'information stockée sur les disques optiques grâce au changement de longueur d'onde.

Remarque : il est possible de retrouver ce résultat de la manière suivante :

la longueur d'onde pour le laser lisant les CD est $\lambda_{IR} = 785nm$, et pour le bleu

$$\lambda_B = 405nm. \text{ Donc la surface de la tache a été divisée par } \left(\frac{\lambda_{IR}}{\lambda_B}\right)^2 = \left(\frac{785}{405}\right)^2 = 3,76.$$

REALISER	Utiliser le résultat d'un calcul. Réaliser un calcul numérique.
-----------------	--

1.b. Calculer la proportion Q' / Q de l'augmentation de la densité d'information stockée due au changement de laser.

- Le changement de la longueur d'onde explique donc seulement $\frac{Q'}{Q} = \frac{4}{35} = 1.10\%$ (environ 10 %) de l'augmentation de la quantité d'information stockée.

S'APPROPRIER	Extraire une information d'un document.
---------------------	---

2. Quels sont les autres facteurs de l'amélioration apportés au stockage optique ?

- D'après le document, « les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray ».

Fiche 4 – Exemples d'indicateurs de réussite

S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none"> • Les informations suivantes sont extraites des documents : <ul style="list-style-type: none"> - la densité d'information stockée est de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray ; - la densité d'information stockée est de 0,65 gigaoctet pour un CD ; - la réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde des lasers lisant les CD et les Blu-Ray diminue la surface de la tache d'un facteur quatre ; - les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray
REALISER	<ul style="list-style-type: none"> • Le rapport Q est égal à $Q = 23 / 0,65 = 35$. • La proportion $\frac{Q'}{Q}$ est égale à : $\frac{Q'}{Q} = \frac{4}{35} = 1.10^{1\%}$ (environ 10 %).
ANALYSER	<ul style="list-style-type: none"> • La diminution de la surface de la tache du laser sur un disque optique d'un facteur quatre implique une augmentation de la densité d'information stockée sur le disque optique d'un facteur quatre.

Version CPGE voie PCSI

Programme

Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Conditions de Gauss.	Énoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	<p>Connaître les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.</p> <p>Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.</p> <p>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes, Newton).</p> <p>Choisir de façon pertinente dans un contexte donné la formulation (Descartes ou Newton) la plus adaptée.</p>
Diffraction à l'infini.	<p>Utiliser la relation $\sin \theta \approx \lambda / d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.</p> <p>Connaître les conséquences de la diffraction sur la focalisation et sur la propagation d'un faisceau</p>

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire propose l'étude d'un extrait d'article publié dans la revue *Pour la Science* (n° 387, janvier 2010) par Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK, professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

Extrait d'un article du magazine scientifique « Pour la Science ».

Un rayon bleu pour des disques plus denses

Comment augmenter la capacité des disques à lecture optique ? En réduisant la longueur d'onde du laser et en améliorant les composants optiques.

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

Seul le laser permet d'enregistrer et de lire, par des procédés optiques, de hautes densités d'information, stockée sur les disques compacts (CD), les DVD et maintenant les nouveaux disques Blu-Ray. Afin d'augmenter la densité de stockage, on doit focaliser le faisceau lumineux sur des régions de plus en plus petites. Comment ? D'abord en diminuant la longueur d'onde de la lumière utilisée : de l'infrarouge pour les CD, on est passé à une lumière rouge pour le DVD, puis bleue pour le Blu-Ray, couleurs qui correspondent à des longueurs d'onde plus courtes.

Sur les disques numériques, on code l'information de façon binaire (des « 0 » et des « 1 ») sur une piste d'alvéoles par une série de zones réfléchissantes ou non. Les réflexions ou non-réflexions d'un faisceau lumineux sur cette piste traduisent l'information inscrite. Plus la tache produite sur le disque par le faisceau lumineux est petite, plus on peut diminuer la taille des alvéoles, donc augmenter la densité d'information stockée : on atteint aujourd'hui près de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray, grâce à une tache lumineuse d'un demi-micromètre (un demi-millionième de mètre) de diamètre.

Petite tache de laser

Afin d'obtenir un tel résultat, il faut que la source lumineuse soit aussi de petite taille, parce qu'une lentille convergente qui focalise un faisceau reproduit dans son plan focal une image de la source. Mais plus la source est petite, moins elle est brillante. Peut-on trouver un bon compromis entre taille et intensité ? La solution est fournie par le laser, réalisé pour la première fois par l'Américain Theodore Maiman et qui fête cette année ses 50 ans d'existence.

Au cœur du laser se trouve un milieu amplificateur de lumière constitué d'atomes excités, par exemple grâce à des décharges électriques. Lorsqu'un grain de lumière (un photon) frappe l'un de ces atomes, il induit l'émission d'un second photon identique en tous points au premier.

En rebondissant entre deux miroirs placés de part et d'autre du milieu amplificateur, les photons se multiplient à chaque traversée et l'intensité de la lumière s'accroît. Les miroirs qui forment la cavité laser sont particuliers. Tout d'abord, au moins l'un des deux est courbe, afin que la lumière ne s'échappe pas par les côtés et reste confinée autour de l'axe optique. Ensuite, l'un des miroirs transmet une petite partie de la lumière qu'il reçoit, laissant émerger un faisceau lumineux, le rayon laser (voir la figure 1).

On peut l'assimiler à ce que l'on obtiendrait en illuminant perpendiculairement un trou circulaire. C'est une manifestation du phénomène de diffraction : en franchissant un obstacle, la propagation de la lumière se modifie et n'est plus rectiligne.

Avec un trou circulaire, l'angle de divergence du faisceau est proche du rapport entre la longueur d'onde de la lumière et le diamètre du trou. Par exemple, un pointeur à laser rouge de 0,7

micromètre de longueur d'onde et de deux millimètres de diamètre a une divergence de 0,4 milliradian.

Focaliser au mieux

Comment focaliser le faisceau laser qui, à sa sortie, est cylindrique ? En utilisant une lentille, qui le transforme en un faisceau conique convergent. On peut montrer (et même deviner, en vertu du principe du retour inverse de la lumière) que la taille de la tache focale est égale au rapport entre la longueur d'onde lumineuse et l'angle du cône formé, ou, plus exactement, pour les grands angles, le sinus de cet angle, nommé ouverture numérique du faisceau. Le sinus étant inférieur ou égal à un, la tache est toujours plus grande que la longueur d'onde.

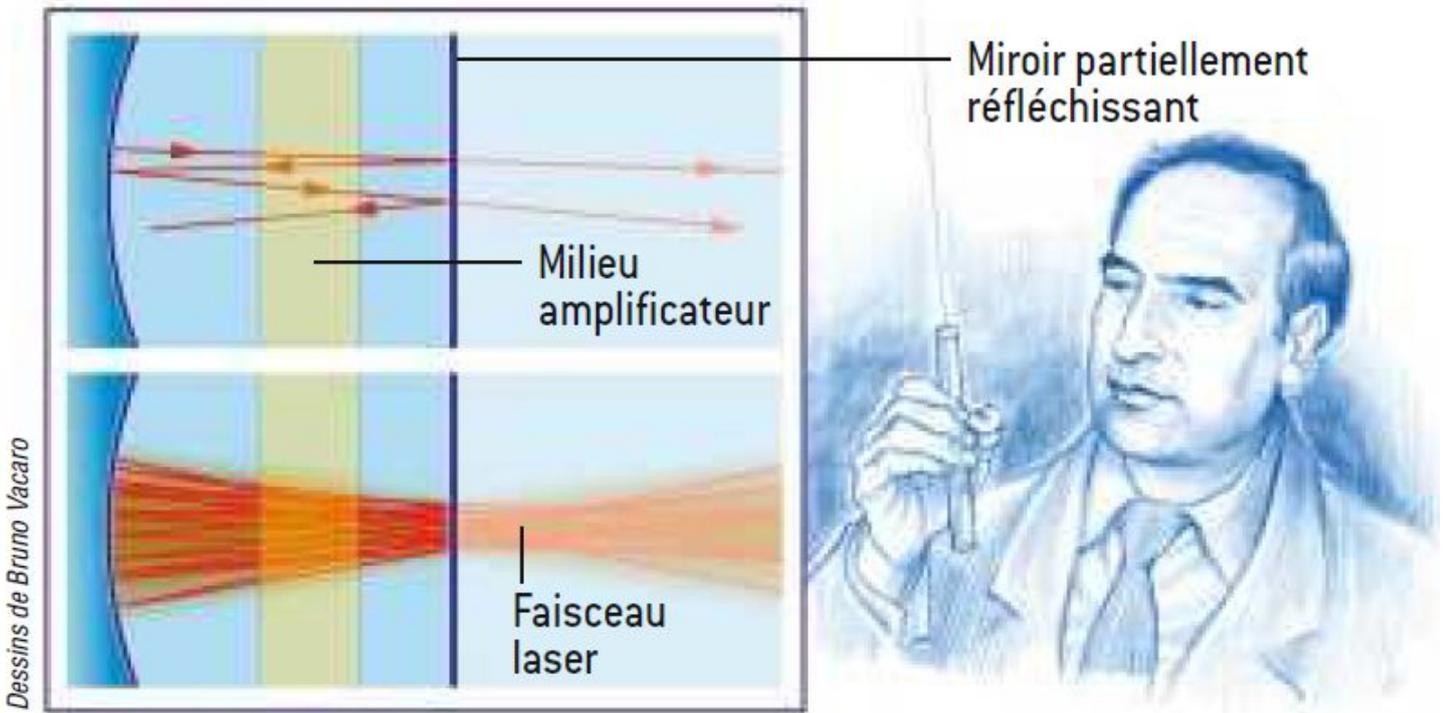
Pour les CD, la lumière infrarouge de 785 nanomètres de longueur d'onde est focalisée avec une lentille d'ouverture numérique 0,45 et forme une tache de 1,56 micromètre. La densité d'information correspondante est de 0,65 gigaoctet pour un disque de 12 centimètres de diamètre.

En jouant sur les deux paramètres (longueur d'onde et ouverture numérique), on peut augmenter la densité d'information. Ainsi, on a utilisé des longueurs d'onde plus courtes en passant au rouge à 650 nanomètres des DVD, puis au bleu à 405 nanomètres des Blu-Ray (voir la figure 3).

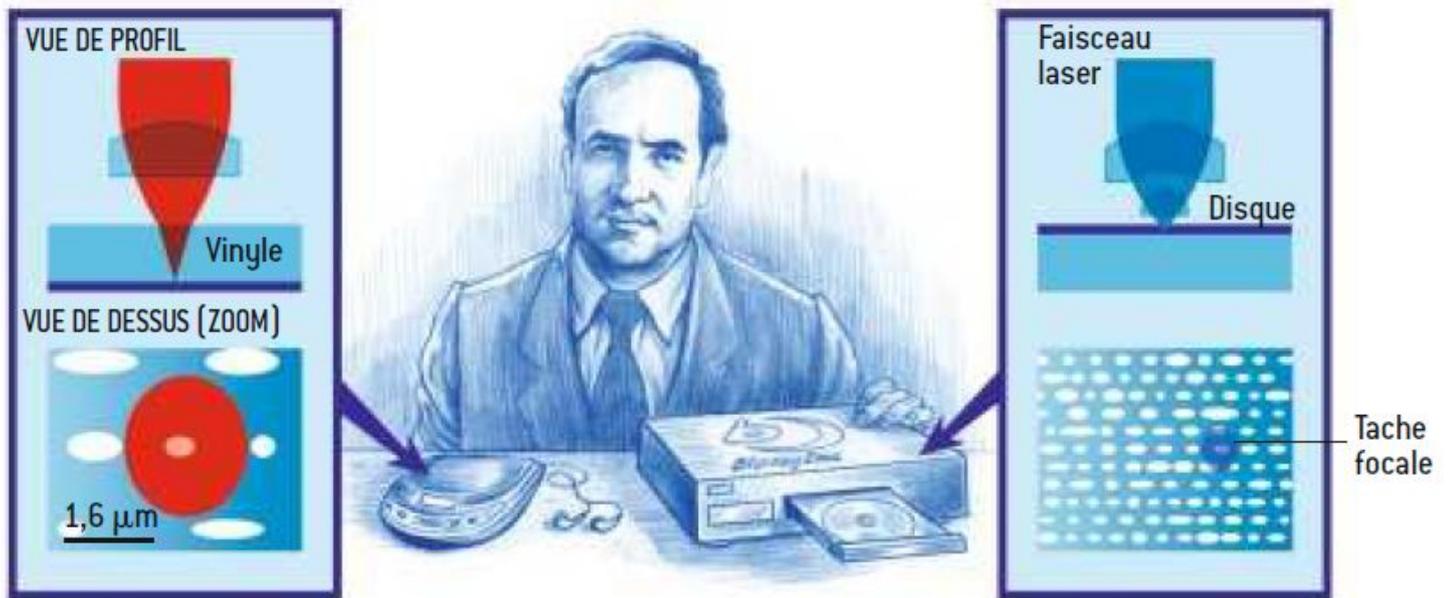
Cette réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde diminue la surface de la tache d'un facteur quatre. Avec l'amélioration de l'optique pour augmenter l'ouverture numérique jusqu'à 0,85, on gagne encore un facteur deux. Les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray.

En outre, la qualité optique du faisceau (sa bonne convergence) doit être meilleure. Pour le CD, on peut protéger l'information par une couche de vinyle transparent. Pour le Blu-Ray, les aberrations optiques produites par la traversée de l'interface air-vinyle empêcheraient l'obtention d'une tache focale de diamètre minimal. Pour cette raison, l'inscription est effectuée à la surface du disque : il n'y a plus de couche de protection et le disque est protégé par une boîte, comme l'étaient les anciennes disquettes de micro-ordinateur.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.



Avec un laser, on peut obtenir un faisceau lumineux intense et très peu divergent. Un laser est constitué de deux miroirs disposés de part et d'autre d'un milieu amplificateur constitué par des atomes excités. Chaque photon qui arrive sur un atome excité induit l'émission par cet atome d'un photon identique, d'où une multiplication du nombre de photons. L'un des miroirs est partiellement réfléchissant et laisse sortir une partie des photons, qui constituent le rayon laser.



L'AUGMENTATION DES CAPACITÉS DE STOCKAGE des disques à lecture optique a été obtenue surtout grâce à une diminution de la longueur d'onde du laser et à des optiques d'ouverture numérique supérieure, ce qui réduit la taille de la tache focale du faisceau. Etant donné que cette tache a diminué de taille entre les CD (tache rouge à gauche) et les DVD, et les Blu-Ray (tache bleue, à droite), le nombre d'information stockée lisible (taches blanches) a augmenté notablement. Les CD et DVD sont protégés par une couche transparente de vinyle. En raison des perturbations optiques qu'elle aurait entraînées, les disques Blu-Ray en sont dépourvus.

Pour en savoir plus

A. S. van de Nes et al., High-density optical data storage, Rep. Prog. Phys., vol. 69, pp. 2323-2363, 2006.

H. Kogelnik et T. Li, Laser beams and resonators, Applied Optics, vol. 5(10), pp. 1550-1567, 1966.

Questions

1) Expliquer en quoi la quantité d'information stockée est liée à la longueur d'onde du laser utilisé pour lire un disque optique. On fera en particulier un schéma annoté avec les grandeurs dont parle le document (« tache focale », « angle du cône formé », « ouverture numérique »...)

2) Lors du passage du CD au Blu-Ray, la quantité d'information stockée a été multipliée par Q . Mais le changement de laser a eu pour effet de multiplier par Q' la quantité d'information stockée.

Déterminer la proportion Q'/Q de l'augmentation de la quantité d'information stockée due au changement de laser. Quels sont les autres facteurs de l'amélioration apportés au stockage optique ?

Version CPGE voie PC

Programme

Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité	
<p>Approche descriptive :</p> <p>Rôle de la diffraction dans l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.</p> <p>Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : longueur de Rayleigh L_R.</p> <p>Utilisation d'une lentille pour transformer un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement</p>	<p>Relier l'ouverture angulaire λ/a et le rayon minimal a.</p> <p>Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité en fonction de la distance axiale.</p> <p>Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique de rayon a et d'un faisceau conique centré sur l'orifice de sortie du laser, et de demi-ouverture angulaire λ/a.</p> <p>Exploiter la convergence angulaire du faisceau issue de l'optique géométrique, la loi du retour inverse, et le lien entre l'ouverture angulaire λ/a et le rayon minimal a pour obtenir la dimension et la position de la section minimale.</p> <p>Montrer que le rayon minimal est de l'ordre de λ.</p> <p>Utiliser un élargisseur de faisceau pour réduire l'ouverture angulaire.</p>

Nature et origine des documents

Cette activité documentaire propose l'étude d'un article publié dans la revue *Pour la Science* (n° 387, janvier 2010) par Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK, professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

Texte de l'activité

Un rayon bleu pour des disques plus denses

Comment augmenter la capacité des disques à lecture optique ? En réduisant la longueur d'onde du laser et en améliorant les composants optiques.

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

Seul le laser permet d'enregistrer et de lire, par des procédés optiques, de hautes densités d'information, stockée sur les disques compacts (CD), les DVD et maintenant les nouveaux disques Blu-Ray. Afin d'augmenter la densité de stockage, on doit focaliser le faisceau lumineux sur des régions de plus en plus petites. Comment ? D'abord en diminuant la longueur d'onde de la

lumière utilisée : de l'infrarouge pour les CD, on est passé à une lumière rouge pour le DVD, puis bleue pour le Blu-Ray, couleurs qui correspondent à des longueurs d'onde plus courtes. Mais c'est loin de suffire : il faut aussi réaliser des optiques de haute qualité et affronter la diffraction, c'est-à-dire la divergence naturelle de tout faisceau lumineux.

Sur les disques numériques, on code l'information de façon binaire (des « 0 » et des « 1 ») sur une piste d'alvéoles par une série de zones réfléchissantes ou non. Les réflexions ou non-réflexions d'un faisceau lumineux sur cette piste traduisent l'information inscrite. Plus la tache produite sur le disque par le faisceau lumineux est petite, plus on peut diminuer la taille des alvéoles, donc augmenter la densité d'information stockée : on atteint aujourd'hui près de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray, grâce à une tache lumineuse d'un demi-micromètre (un demi-millionième de mètre) de diamètre.

Petite tache de laser

Afin d'obtenir un tel résultat, il faut que la source lumineuse soit aussi de petite taille, parce qu'une lentille convergente qui focalise un faisceau reproduit dans son plan focal une image de la source. Mais plus la source est petite, moins elle est brillante. Peut-on trouver un bon compromis entre taille et intensité ? La solution est fournie par le laser, réalisé pour la première fois par l'Américain Theodore Maiman et qui fête cette année ses 50 ans d'existence.

Au cœur du laser se trouve un milieu amplificateur de lumière constitué d'atomes excités, par exemple grâce à des décharges électriques. Lorsqu'un grain de lumière (un photon) frappe l'un de ces atomes, il induit l'émission d'un second photon identique en tous points au premier.

En rebondissant entre deux miroirs placés de part et d'autre du milieu amplificateur, les photons se multiplient à chaque traversée et l'intensité de la lumière s'accroît. Les miroirs qui forment la cavité laser sont particuliers. Tout d'abord, au moins l'un des deux est courbe, afin que la lumière ne s'échappe pas par les côtés et reste confinée autour de l'axe optique. Ensuite, l'un des miroirs transmet une petite partie de la lumière qu'il reçoit, laissant émerger un faisceau lumineux, le rayon laser (voir la figure 1).

À la sortie du faisceau, son intensité est maximale au centre et décroît lorsqu'on s'écarte de son axe. Quelle est sa forme ? On peut l'assimiler à ce que l'on obtiendrait en illuminant perpendiculairement un trou circulaire. Dans un premier temps, le faisceau a une forme cylindrique, de section constante ; mais, plus loin de l'ouverture, il devient conique, comme s'il était issu du centre du trou. C'est une manifestation du phénomène de diffraction : en franchissant un obstacle, la propagation de la lumière se modifie et n'est plus rectiligne.

Avec un trou circulaire, l'angle de divergence du faisceau est proche du rapport entre la longueur d'onde de la lumière et le diamètre du trou. Avant de devenir conique, le faisceau reste cylindrique jusqu'à ce que l'ouverture du cône soit comparable au diamètre du faisceau. Par exemple, un pointeur à laser rouge de 0,7 micromètre de longueur d'onde et de deux millimètres de diamètre a une divergence de 0,4 milliradian ; cette divergence devient sensible à partir de deux mètres environ.

Pour diminuer la divergence, il faut un faisceau large. C'est critique lorsqu'on vise la Lune avec un laser ! La mission Apollo XI a déposé à la surface de notre satellite des catadioptrés qui réfléchissent la lumière dans la direction d'émission : si on éclaire depuis la Terre ces catadioptrés, la lumière nous revient et la durée de l'aller-retour renseigne sur la distance Terre-Lune (voir la figure 2).

Mais si le faisceau diverge trop, l'énergie se disperse dans l'espace et on ne capte plus rien. En utilisant un télescope, on dilate le rayon vert d'un laser, à 500 nanomètres de longueur d'onde, en

un faisceau de 15 centimètres de diamètre. Son angle de divergence est de trois microradians (l'angle sous lequel on voit un objet de trois millimètres à une distance de un kilomètre). Les effets de la diffraction se manifestent à partir de 25 kilomètres. C'est peu à l'échelle des 400 000 kilomètres de la distance Terre-Lune. À cette distance, le faisceau crée, en théorie, une tache de plus de un kilomètre (sept en réalité, à cause des perturbations atmosphériques). Cela n'a pas que des inconvénients : on peut alors éclairer les catadioptrés sans trop les chercher !

Focaliser au mieux

Comment focaliser le faisceau laser qui, à sa sortie, est cylindrique ? En utilisant une lentille, qui le transforme en un faisceau conique convergent. On peut montrer (et même deviner, en vertu du principe du retour inverse de la lumière) que la taille de la tache focale est égale au rapport entre la longueur d'onde lumineuse et l'angle du cône formé, ou, plus exactement, pour les grands angles, le sinus de cet angle, nommé ouverture numérique du faisceau. Le sinus étant inférieur ou égal à un, la tache est toujours plus grande que la longueur d'onde.

Pour les CD, la lumière infrarouge de 785 nanomètres de longueur d'onde est focalisée avec une lentille d'ouverture numérique 0,45 et forme une tache de 1,56 micromètre. La densité d'information correspondante est de 0,65 gigaoctet pour un disque de 12 centimètres de diamètre.

En jouant sur les deux paramètres (longueur d'onde et ouverture numérique), on peut augmenter la densité d'information. Ainsi, on a utilisé des longueurs d'onde plus courtes en passant au rouge à 650 nanomètres des DVD, puis au bleu à 405 nanomètres des Blu-Ray (voir la figure 3).

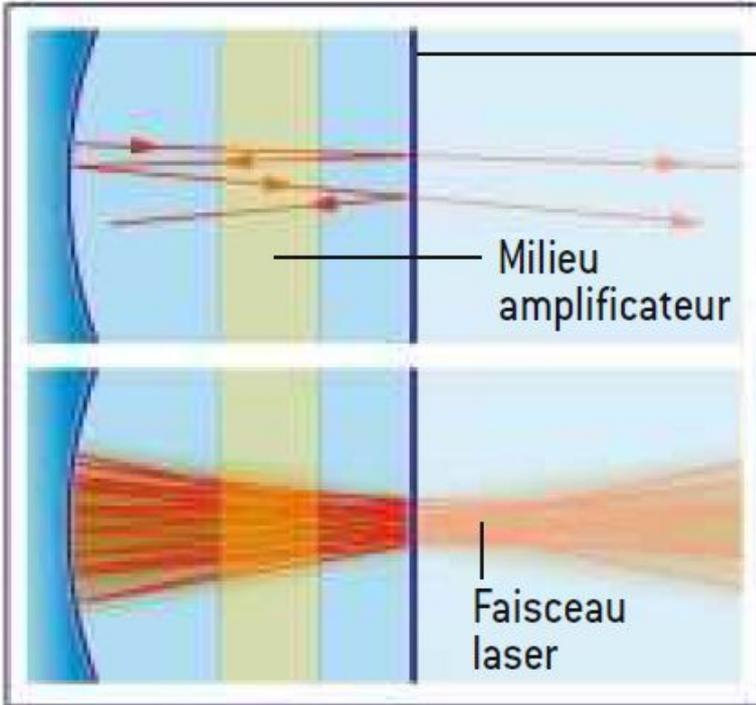
Cette réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde diminue la surface de la tache d'un facteur quatre. Avec l'amélioration de l'optique pour augmenter l'ouverture numérique jusqu'à 0,85, on gagne encore un facteur deux. Les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray.

Par ailleurs, une ouverture numérique élevée a pour conséquence de diminuer la distance sur laquelle le faisceau reste cylindrique. Cela permet d'utiliser des disques à double couche où l'information est inscrite soit à la surface du disque, soit sur une couche intérieure : lorsque le faisceau lit la couche interne, il est encore très large au niveau de la surface ; il couvre de nombreuses alvéoles dont l'effet se moyenne et il est donc peu sensible à ce qui est écrit en surface.

En outre, la qualité optique du faisceau (sa bonne convergence) doit être meilleure. Pour le CD, on peut protéger l'information par une couche de vinyle transparent. Pour le Blu-Ray, les aberrations optiques produites par la traversée de l'interface air-vinyle empêcheraient l'obtention d'une tache focale de diamètre minimal. Pour cette raison, l'inscription est effectuée à la surface du disque : il n'y a plus de couche de protection et le disque est protégé par une boîte, comme l'étaient les anciennes disquettes de micro-ordinateur.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

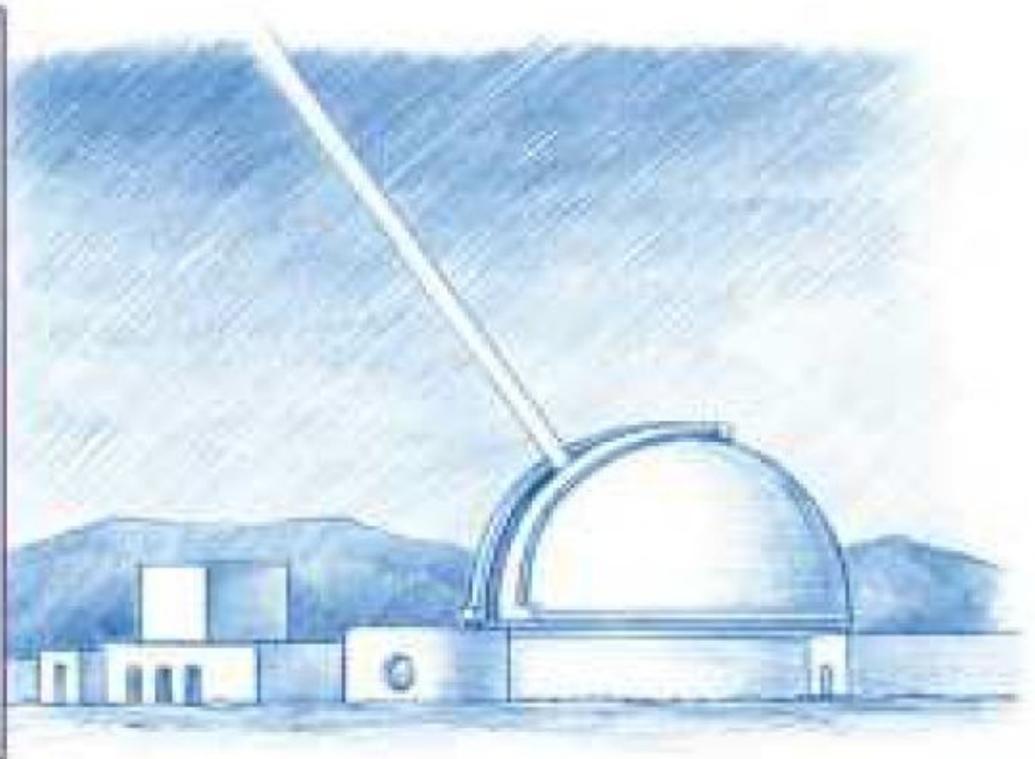
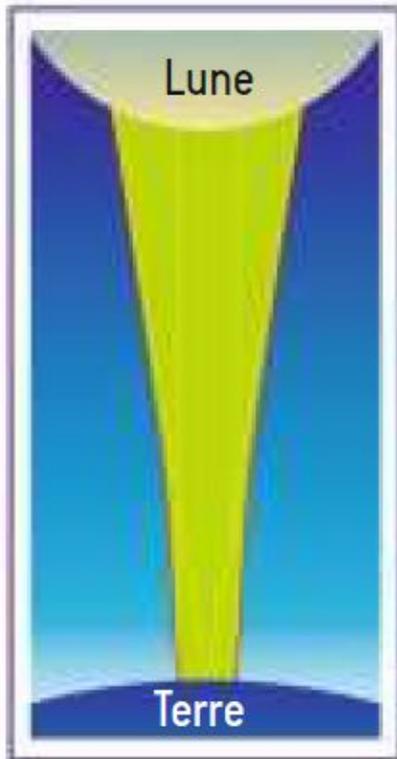
Dessins de Bruno Vacaro



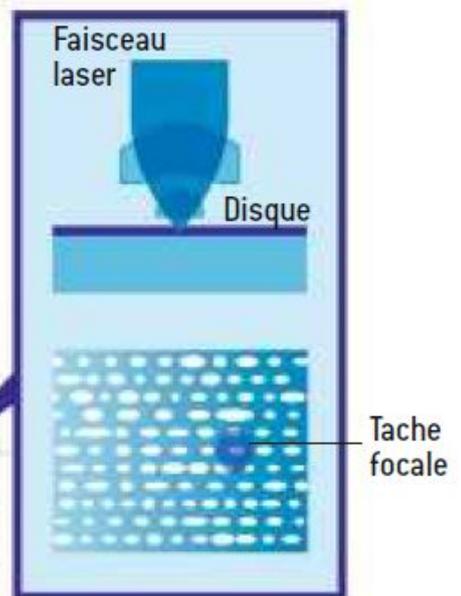
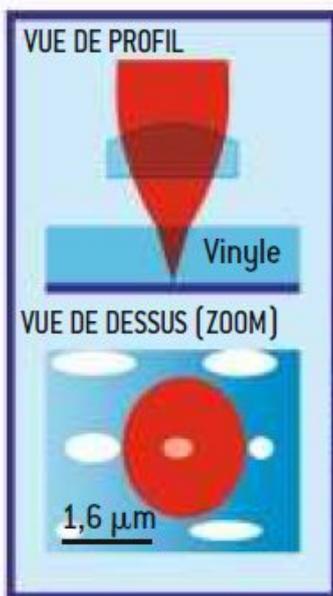
Miroir partiellement réfléchissant



Avec un laser, on peut obtenir un faisceau lumineux intense et très peu divergent. Un laser est constitué de deux miroirs disposés de part et d'autre d'un milieu amplificateur constitué par des atomes excités. Chaque photon qui arrive sur un atome excité induit l'émission par cet atome d'un photon identique, d'où une multiplication du nombre de photons. L'un des miroirs est partiellement réfléchissant et laisse sortir une partie des photons, qui constituent le rayon laser.



La faible divergence d'un faisceau laser permet de le diriger, à l'aide d'un télescope, vers des réflecteurs posés sur la Lune en 1969, et de détecter la lumière réfléchie. La durée du trajet aller-retour détermine la distance Terre-Lune avec une grande précision. Le faisceau laser, de 15 centimètres de diamètre initial, devient conique au bout de 25 kilomètre ; sur la Lune, il s'étale sur une région de quelque sept kilomètres de diamètre (un kilomètre s'il n'y avait pas d'influences atmosphériques).



L'AUGMENTATION DES CAPACITÉS DE STOCKAGE des disques à lecture optique a été obtenue surtout grâce à une diminution de la longueur d'onde du laser et à des optiques d'ouverture numérique supérieure, ce qui réduit la taille de la tache focale du faisceau. Etant donné que cette tache a diminué de taille entre les CD (tache rouge à gauche) et les DVD, et les

Blu-Ray (tache bleue, à droite), le nombre d'information stockée lisible (taches blanches) a augmenté notablement. Les CD et DVD sont protégés par une couche transparente de vinyle. En raison des perturbations optiques qu'elle aurait entraînées, les disques Blu-Ray en sont dépourvus.

Pour en savoir plus

A. S. van de Nes et al., High-density optical data storage, Rep. Prog. Phys., vol. 69, pp. 2323-2363, 2006.

H. Kogelnik et T. Li, Laser beams and resonators, Applied Optics, vol. 5(10), pp. 1550-1567, 1966.

Questions

1) Expliquer dans les trois cas développés dans le document :

a) comment est reliée l'ouverture angulaire d'un pointeur laser et son rayon minimal ;

b) en quoi le télescope utilisé pour le laser qui illumine la Lune diminue la divergence de ce dernier ;

c) pourquoi le rayon minimal du laser focalisé grâce à une lentille convergente sur un disque optique est-il de l'ordre de la longueur d'onde.

On vérifiera la cohérence des valeurs numériques relevées dans le document grâce au tracé des allures de faisceaux gaussiens de lasers.

2) Lors du passage du CD au Blu-Ray, la quantité d'information stockée a été multipliée par Q . Mais le changement du laser a eu pour effet de multiplier par Q' la quantité d'information stockée.

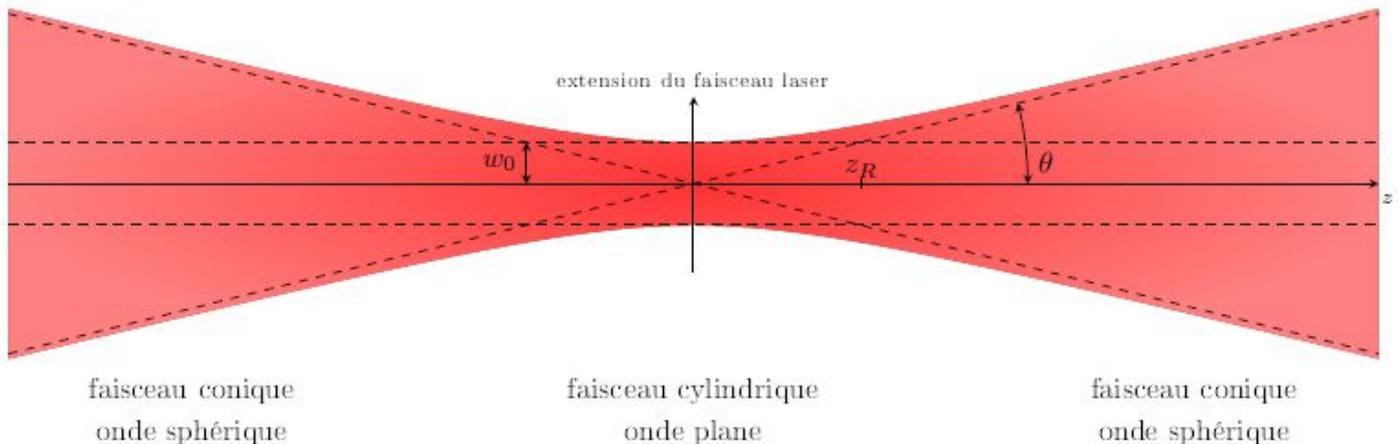
a) Déterminer la proportion Q'/Q de l'augmentation de la quantité d'information stockée due au changement de laser.

b) Quels sont les autres facteurs de l'amélioration apportés au stockage optique ?

Exemple de correction :

1.a) Il est écrit dans le document que le pointeur laser a

- "0,7 micromètre de longueur d'onde" ($\lambda = 700 \text{ nm}$) ;
- "deux millimètres de diamètre" (soit $w_0 = 1 \text{ mm}$) ;
- "une divergence qui devient sensible à partir de deux mètres environ" (ce qui donne $z_R \approx 2 \text{ m}$) ;
- "une divergence de 0,4 milliradian" ($\theta = 4 \times 10^{-4} \text{ rad}$).



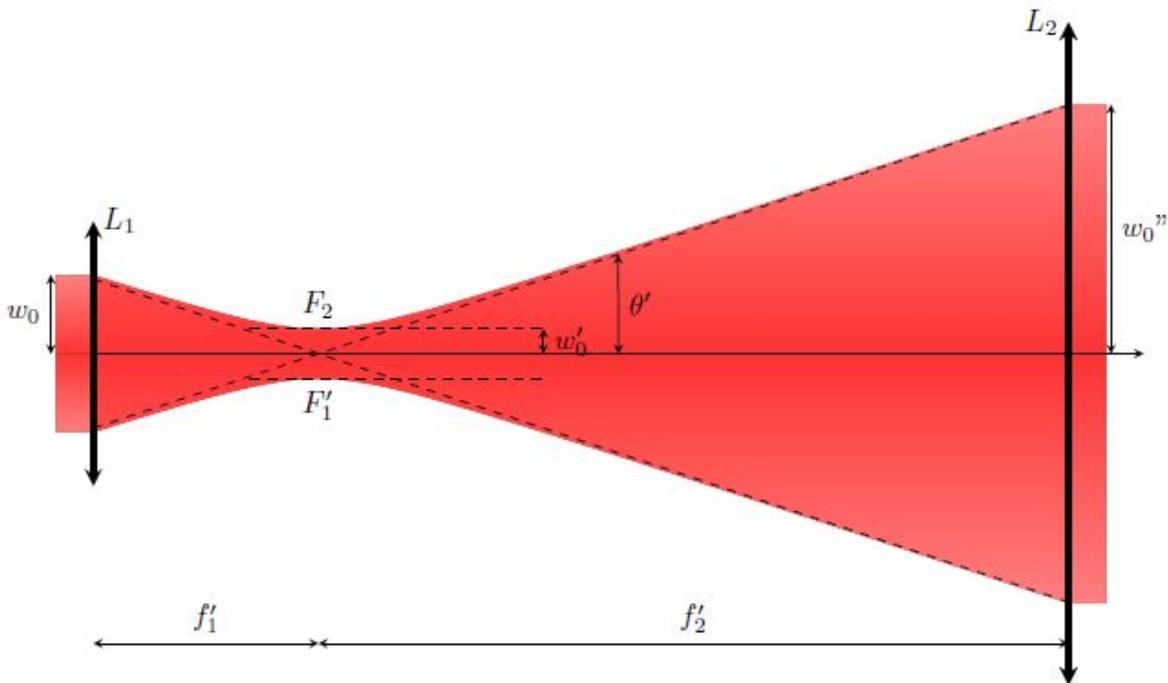
Or, comme $\theta \approx \frac{\lambda}{\pi w_0}$, on trouve $w_0 \approx \frac{\lambda}{\pi \theta} = \frac{700 \times 10^{-9}}{4\pi \times 10^{-4}} = 0,6 \text{ mm}$, qui est du même ordre de grandeur que l'indication du texte (1 mm).

D'autre part, on sait aussi que $\theta = \frac{w_0}{z_R}$ qui donne $z_R = 2,5 \text{ m}$, qui est du même ordre de grandeur que $z_R \approx 2 \text{ m}$ (indiqué par le texte).

b) D'après le document, le laser qui illumine la Lune a, à la sortie du télescope,

- une longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$;
- un waist $w_0 = 7,5 \text{ cm}$;
- une longueur de Rayleigh $z_R \approx 25 \text{ km}$;
- une divergence $\theta = 3 \times 10^{-6} \text{ rad}$.

Le schéma du télescope qui permet d'élargir le faisceau est le suivant :

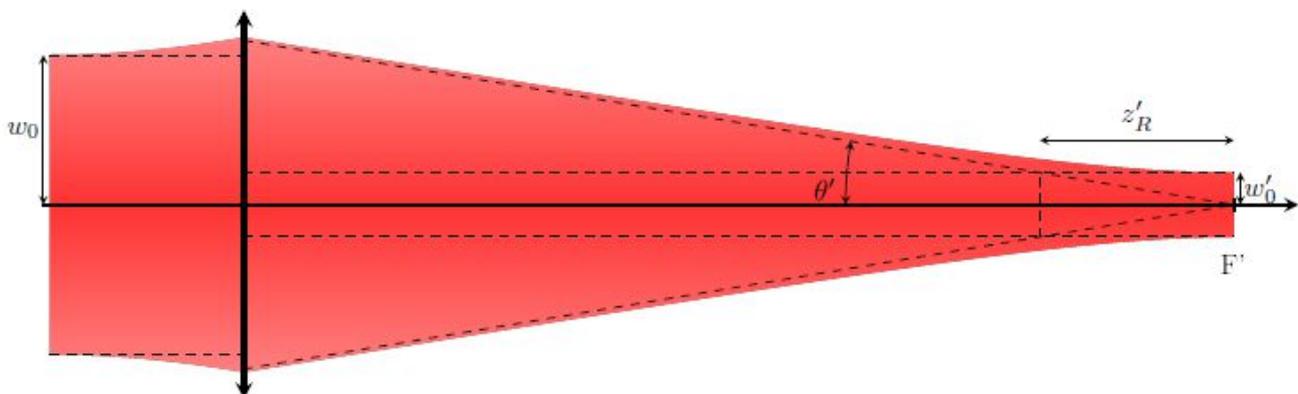


Or, comme $\theta'' \approx \frac{\lambda}{\pi w_0''}$, on trouve $w_0'' \approx \frac{\lambda}{\pi \theta''} = \frac{500 \times 10^{-9}}{3\pi \times 10^{-6}} = 5 \text{ cm}$, qui est du même ordre de grandeur que l'indication du texte. L'augmentation du rayon (« waist ») du faisceau grâce au télescope a pour effet de diminuer sa divergence.

D'autre part, on sait aussi que $\theta'' = \frac{w_0''}{z_R''}$ qui donne $z_R'' = 50 \text{ km}$, qui est du même ordre de grandeur que $z_R \approx 25 \text{ km}$ (indiqué par le texte).

Comme $\theta'' \approx \tan \theta'' = \frac{d}{D_{TL}}$ où d est le rayon de la tache sur la Lune et $D_{TL} = 400\,000 \text{ km}$, on trouve $d \approx \theta'' D_{TL} = 3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^5 \approx 1 \text{ km}$, ce qui est cohérent avec le document.

c) Le schéma du faisceau du laser focalisé grâce à une lentille convergente est le suivant :



On voit sur le schéma que $\tan \theta' \approx \theta' = \frac{w_0}{f'}$. On peut assimiler l'ouverture numérique à θ' . D'autre part, on sait que $\theta' \approx \frac{\lambda}{\pi w_0'}$ aussi $w_0' \approx \frac{\lambda}{\pi \theta'} > \lambda$ car θ' est petit dans l'approximation de Gauss.

2) D'après le document, « on atteint aujourd'hui près de 23 gigaoctets pour un disque Blu-Ray » et « 0,65 gigaoctet » pour un CD, soit un rapport $Q=35$.

La longueur d'onde pour les CD est $\lambda_{IR} = 785nm$, et pour le bleu $\lambda_B = 405nm$. Donc la surface de la tache a été divisée par $\left(\frac{\lambda_{IR}}{\lambda_B}\right)^2 = \left(\frac{785}{405}\right)^2 = 3,76$ (« Cette réduction d'un facteur deux des longueurs d'onde diminue la surface de la tache d'un facteur quatre»). On a pu ainsi multiplier par $Q'=3,76$ (presque 4) la quantité d'information stockée sur les disques optiques grâce au changement de longueur d'onde.

Le changement de la longueur d'onde explique donc seulement $\frac{Q'}{Q} = \frac{3,76}{35} = 10\%$ de l'augmentation de la quantité d'information stockée. D'après le document, « les progrès du codage numérique et des dispositifs de détection achèvent d'expliquer les performances des Blu-Ray. »

Annexe 1 : les activités documentaires dans les programmes et les examens

1. Les activités documentaires dans les programmes

- **Des compétences liées à l'extraction et l'exploitation d'informations dans le socle commun de connaissances, de compétences et de culture**

Domaine 2 : les méthodes et outils pour apprendre

En classe, l'élève est amené à [...] comprendre un document, rédiger un texte, prendre des notes [...] Il doit savoir [...] rédiger un devoir, préparer un exposé, prendre la parole, travailler à un projet [...] Ces compétences requièrent [...] la fréquentation des bibliothèques et centres de documentation, la capacité à utiliser de manière pertinente les technologies numériques pour faire des recherches, accéder à l'information, la hiérarchiser et produire soi-même des contenus. [...]

[L'élève] comprend le sens des consignes; [...] met en œuvre les capacités essentielles que sont l'attention, la mémorisation, la mobilisation de ressources, la concentration, l'aptitude à l'échange et au questionnement, le respect des consignes [...]

Il sait utiliser de façon réfléchie des outils de recherche, notamment sur internet. Il apprend à confronter différentes sources et à évaluer la validité des contenus. Il sait traiter les informations collectées, les organiser, les mémoriser sous des formats appropriés et les mettre en forme. Il les met en relation pour construire ses connaissances.

L'élève sait mobiliser différents outils numériques pour créer des documents intégrant divers médias et les publier ou les transmettre, afin qu'ils soient consultables et utilisables par d'autres. Il sait réutiliser des productions collaboratives pour enrichir ses propres réalisations, dans le respect des règles du droit d'auteur.

Domaine 3 : la formation de la personne et du citoyen

L'élève vérifie la validité d'une information et distingue ce qui est objectif et ce qui est subjectif.

- **Des éléments explicatifs au projet de programme du cycle 4²⁶**

Physique-chimie

Pour la compétence « **lire et comprendre des documents scientifiques variés ; produire des écrits scientifiques en utilisant le vocabulaire spécifique à la physique et à la chimie** », un des attendus de fin de cycle est énoncée ainsi : « l'élève s'approprie des documents scientifiques comportant du texte, des schémas et des graphiques ; il sait changer de registre ». On peut proposer, en lien avec une programmation de contenus donnée, la progressivité suivante :

En 5^{ème} : Extraire (et rechercher, éventuellement) l'information utile sur le tri des matériaux (matière et transformation), sur le mouvement des planètes (Homme et environnement), sur les sources d'énergie... en limitant le nombre de documents à un ou deux, de nature différente, textuelle et/ou graphique par exemple.

²⁶ En ligne à l'adresse :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/CSP/55/2/ELEMENTS_EXPLICATIFS_projet_de_programme_cycle_4_5_mai2015_419552.pdf

En 4^{ème} : Produire un écrit scientifique comportant au moins un graphique simple à propos de la vitesse de la lumière, exploiter des documents relatifs au traitement de l'eau pour décrire et comprendre le fonctionnement d'une station d'épuration, repérer les métiers associés à une telle installation dans le cadre du PIIODMEP.

En 3^{ème} : Rédiger un écrit scientifique portant sur l'impact de l'exploitation de différentes sources d'énergie sur notre environnement, exploiter des documents (textes, schémas, graphiques, formules) relatifs à la sécurité routière ou acoustique, étudier l'influence de paramètres sur une grandeur physique en produisant des courbes.

- **Des préambules de programmes qui sont explicites vis à vis de l'utilisation des documents et des compétences associées, en particulier « extraire et exploiter de l'information »**

Préambule du programme de Seconde générale

Initier l'élève à la démarche scientifique c'est lui permettre d'acquérir des **compétences** qui le rendent capable de mettre en œuvre un raisonnement pour identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique.

Il doit pour cela pouvoir mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes. Il lui faut également raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe. En devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières [...]

La recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'Internet.

Préambule du cycle terminal de la série économique et sociale et de la série littéraire (Première ES-L)

Cet enseignement scientifique a comme objectifs de permettre à l'élève :

- d'acquérir des connaissances nécessaires à la compréhension des questions et problématiques scientifiques telles qu'il peut les rencontrer quotidiennement ;
- d'appréhender des enjeux de la science en lien avec des questions de société comme le développement durable et la santé, en portant un regard critique afin d'agir en citoyen responsable ;
- de susciter son envie d'approfondir ces questions à travers la consultation de ressources documentaires variées [...]

Former l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des compétences qui le rendent capable de mettre en œuvre un raisonnement : [...]

- en prélevant et en exploitant des informations dans des revues, des sites internet, des médias scientifiques, etc.

Il lui faut rechercher, extraire et organiser l'information utile et également raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe.

Il s'agit pour lui de tirer des conclusions fondées sur des faits en ayant soin de sélectionner des données, d'en évaluer la pertinence scientifique (distinguer le prouvé du probable ou de l'incertain)

et d'appréhender le caractère éventuellement incomplet des informations recueillies l'empêchant alors de conclure de manière certaine.

L'élève est ainsi confronté à des données scientifiques ou des faits d'actualité suscitant le questionnement et lui permettant de construire des éléments de réponses. On lui donne l'envie « d'aller plus loin » par l'accès personnel aux ouvrages ou revues de bonne vulgarisation scientifique. [...]

En présentant la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières et de développer le goût de la rigueur dans l'expression et de l'enrichissement du vocabulaire. Il élabore des synthèses, des commentaires et des argumentations, à l'écrit comme à l'oral, sous la forme d'exposés, de débats, à partir de supports divers (scientifiques mais aussi littéraires, historiques, etc.) [...]

La recherche documentaire sur internet sera l'occasion de renforcer les compétences liées à l'utilisation des Tic déjà travaillées au collège et en seconde permettant à l'élève de faire de ce mode de recherche une utilisation raisonnée [...]

Préambule du cycle terminal de la série scientifique (Première et Terminale S)

[L'élève] doit [...] pouvoir **mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes**. Il lui faut également **raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe** [...]

En devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières, orales et écrites, dans la langue française. [...]

Outre la recherche documentaire, le recueil des informations, la connaissance de l'actualité scientifique, qui requièrent notamment l'exploration pertinente des ressources d'internet, la mise en relation de classes effectuant une même recherche documentaire ainsi que la comparaison de mesures effectuées dans des établissements différents sont rendues possibles par les Tic.

Préambule du programme de Terminale S Spécifique :

Dans une société où des informations de tous ordres arrivent dans l'immédiateté et de toutes parts, la priorité est donnée à la formation des esprits pour transformer cette information en une connaissance. L'enseignant doit être un accompagnateur de chaque élève dans l'acquisition de compétences qui ne peuvent être opérationnelles sans connaissances, qui sont à la fois la base et l'objectif de la didactique, notamment scientifique. Formation des esprits et acquisition de connaissances sont deux facettes indissociables de l'activité éducative.

Ainsi le programme de physique-chimie de terminale S se situe dans le prolongement de celui de première S en approfondissant la formation à la démarche scientifique. Il permet de mieux installer les compétences déjà rencontrées, de les compléter et de faire acquérir des connaissances nouvelles. [...]

Deux compétences occupent une place centrale en terminale : « extraire » et « exploiter » des informations ; elles seront mises en œuvre fréquemment, notamment dans les situations

identifiées dans la colonne de droite du programme, en respectant l'esprit de la démarche scientifique.

Les activités proposées aux élèves au sujet de la compétence « extraire » et leurs connaissances acquises doivent les conduire à s'interroger de manière critique sur la valeur scientifique des informations, sur la pertinence de leur prise en compte, et à choisir de façon argumentée ce qui est à retenir dans des ensembles où l'information est souvent surabondante et parfois erronée, où la connaissance objective et rationnelle doit être distinguée de l'opinion et de la croyance.

Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc.

L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. Cette formalisation pourra conduire à l'établissement des équations du modèle puis à leur traitement mathématique, numérique ou graphique.

Préambule du programme de Terminale S Spécialité :

En plaçant l'élève en situation de recherche et d'action, cet enseignement lui permet de consolider les compétences associées à une démarche scientifique. L'élève est ainsi amené à développer trois activités essentielles chez un scientifique :

- la pratique expérimentale ;
- l'analyse et la synthèse de documents scientifiques ;
- la résolution de problèmes scientifiques.

[...]

L'analyse et la synthèse de documents scientifiques prolongent les compétences « extraire et exploiter » mises en œuvre dans l'enseignement spécifique. Elles conduisent l'élève à présenter de façon objective et critique, structurée et claire, les éléments qu'il aura extraits et exploités des documents scientifiques mis à sa disposition.

2. En classes préparatoires aux grandes écoles(CPGE) un préambule assorti de compétences et de capacités spécifiques associées à ce type de tâche.

Préambule du programme de physique ou de chimie de la voie PCSI (1^{ère} année de classe préparatoire)

Dans la première partie [du programme] sont décrites les compétences que la pratique de la « **démarche scientifique** » permet de développer à travers certaines de ces composantes : la démarche expérimentale, les approches documentaires et la résolution de problèmes. Ces compétences et les capacités associées seront exercées et mises en œuvre dans des situations variées tout au long de la première année en s'appuyant sur les autres parties du programme. Elles continueront à l'être en deuxième année. Leur acquisition doit donc faire l'objet d'un suivi dans la durée. Les compétences mentionnées dans cette partie tissent des liens transversaux entre les différentes rubriques du programme, contribuant ainsi à souligner l'idée d'une science constituée de domaines interdépendants.

[...]

Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La formation expérimentale, l'approche documentaire, la résolution de problèmes favorisent cette mise en activité.

[...]

Dans un monde où le volume d'informations disponibles rend en pratique difficile l'accès raisonné à la connaissance, il importe de continuer le travail commencé au collège et au lycée sur la recherche, l'extraction et l'organisation de l'information. L'objectif reste de permettre l'accès à la connaissance en toute autonomie, avec la prise de conscience de l'existence d'un continuum de niveaux de compétence sur un domaine donné, de la méconnaissance (et donc la découverte) à la maîtrise totale.

Le programme de physique-chimie prévoit qu'un certain nombre de rubriques, identifiées dans la colonne capacités exigibles relèvent d'une « **approche documentaire** ». L'objectif est double ; il s'agit :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver différemment en utilisant des documents au support varié (texte, vidéo, photo...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (grandes idées, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs) dans les domaines de la physique et de la chimie du XX^{ème} et XXI^{ème} siècle et de leurs applications.

Ces approches documentaires sont aussi l'occasion d'apporter des éléments de compréhension de la construction du "savoir scientifique" (histoire des sciences, débats d'idées, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...). Elles doivent permettre de développer des compétences d'analyse et de synthèse. Sans que cette liste de pratiques soit exhaustive on pourra, par exemple, travailler sur un document extrait directement d'un article de revue scientifique, sur une vidéo, une photo ou sur un document produit par le professeur ; il est également envisageable de demander aux élèves de chercher eux-mêmes des informations sur un thème donné ; ce travail pourra se faire sous forme d'analyse de documents dont les résultats seront présentés aussi bien à l'écrit qu'à l'oral.

Quelle que soit la façon d'aborder ces approches documentaires, le rôle du professeur est de travailler à un niveau adapté à sa classe et d'assurer une synthèse de ce qu'il convient de retenir. Elles doivent être en cohérence avec le socle du programme. Elles peuvent être l'occasion d'acquérir de nouvelles connaissances ou d'approcher de nouveaux modèles mais il faut proscrire toute dérive en particulier calculatoire.

Préambule du programme de physique ou de chimie de la voie PC (2^{ème} année de classe préparatoire)

Dans ce programme comme dans celui de première année, il est proposé au professeur d'aborder certaines notions à partir de l'étude d'un document. L'objectif de cette « approche documentaire » est d'apprendre à l'étudiant à compléter ses connaissances et ses savoir-faire par l'exploitation de ressources et de documents scientifiques variés, ce qu'il aura inévitablement à pratiquer dans la suite de sa formation et de sa vie professionnelle.

En seconde année, comme en première année, le programme de physique prévoit un certain nombre **d'approches documentaires**, identifiées comme telles dans la colonne « capacités exigibles » de la partie « formation disciplinaire ». L'objectif de ces activités reste le même :

- dans la perspective d'une formation tout au long de la vie, d'habituer les étudiants à se cultiver en utilisant des documents variés (texte, schéma, graphe, vidéo, photo,...), démarche dans laquelle ils sont acteurs de leur formation ;
- d'acquérir des éléments de culture (construction du savoir scientifique, histoire des sciences, étapes d'une démarche scientifique, raisonnements, ordres de grandeurs, avancée de la recherche sur des sujets contemporains, ouverture sur les problèmes sociétaux...) dans les domaines de la physique des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles et de leurs applications ;
- de mobiliser et de développer des compétences liées à la recherche, à l'extraction, à l'organisation, à l'analyse et à la synthèse de l'information recueillie ou fournie, compétences essentielles pour les futurs ingénieurs et chercheurs scientifiques. Ces compétences et des exemples de capacités associées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Elles peuvent servir de support pour la formation et l'évaluation des étudiants.

À l'issue de l'activité documentaire, une synthèse finale est indispensable pour bien identifier les nouvelles connaissances, les nouveaux modèles et les éléments de culture générale que les étudiants doivent s'approprier.

Compétence	Exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager la problématique principale - Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie - Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les idées essentielles et leurs articulations - Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents - Identifier une tendance, une corrélation, une grandeur d'influence - Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif. - S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau - Trier et organiser des données, des informations - Tracer un graphe à partir de données - Schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure,... - Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe, d'un tableau,... - Conduire une analyse dimensionnelle - Utiliser un modèle décrit
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique - Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire - Repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, incomplétude,...) - Estimer des ordres de grandeur et procéder à des tests de vraisemblance
Communiquer à l'écrit comme à l'oral	<ul style="list-style-type: none"> - Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation, ... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique) - Résumer un paragraphe sous la forme d'un texte, d'un schéma, d'une carte mentale - Illustrer son propos par des schémas, des graphes, des développements mathématiques

2. Les activités documentaires dans les examens

Il est observé depuis plusieurs années une contextualisation croissante des exercices proposés en évaluation que ce soit dans les examens (baccalauréat) ou dans les concours (concours général des lycées, olympiades nationales de chimie, concours d'entrées aux grandes écoles, ...)

Des documents supports présents dans les exercices de baccalauréat sont extraites et exploitées des informations utiles aux résolutions ou confrontées aux modèles étudiés. Que de soit dans les exercices d'un type nouveau (résolution de problèmes pour l'exercice de spécialité de la filière S) ou tout exercice qui prend appui sur des documents (exercices communs du bac S, exercices des bacs STI2D, STL et ES/L), il y a mise en relation entre les informations apportées et les connaissances et capacités exigibles des programmes.

L'épreuve scientifique au bac ES/L présente un exercice spécifique, la synthèse argumentée d'une série de documents scientifique autour d'une problématique donnée.

Annexe 2 : des capacités associées aux activités documentaires à l'élaboration des questions

Un soufflé qui ne manque pas... d'eau !

On dit que les soufflés gonflent parce que les bulles d'air introduites dans la préparation pour soufflé se dilatent à la chaleur. Vrai ou faux ?

Il est exact que les bulles d'air introduites dans un soufflé, grâce aux blancs d'œufs battus en neige, se dilatent quand on cuit le soufflé, mais le gonflement dû à cette dilatation de l'air des bulles n'explique pas bien le gonflement des soufflés : elle n'est que de 20 % environ. Alors que les cuisinières et cuisiniers savent bien que les soufflés peuvent doubler de volume. 20 % contre 200 %, l'explication classique est insuffisante !

Alors pourquoi les soufflés gonflent-ils tant à la cuisson ? Parce que l'eau qu'ils renferment s'évapore quand les parois des ramequins atteignent la température de 100 degrés. Or un gramme d'eau fait environ un litre de vapeur.

Combien d'eau un soufflé perd-il en cuisant ? Pour le savoir, il suffit de peser un soufflé avant et après cuisson. Pour un soufflé de 300 grammes, une perte de 10 grammes est mesurée. Autrement dit, si l'on savait retenir toute la vapeur formée lors de la cuisson d'un petit soufflé individuel, on obtiendrait un soufflé de dix litres !

Les cuisiniers ont de la marge...

Pour atteindre ce sommet gastronomique, ils devront rendre la surface du soufflé imperméable à la vapeur, en la gratinant, par exemple, avant la cuisson proprement dite. Ou bien savoir que les blancs d'œufs bien fermes laissent moins s'échapper la vapeur formée. Enfin, il est également bon de noter que c'est le chauffage du fond qui forme la vapeur qui fait gonfler les soufflés : elle pousse les couches de soufflé vers le haut, avant de s'échapper sous la forme de petites bulles à travers la surface.

Hervé This

[Chronique issue du n° 212 de Sciences Ouest](#)

Voici quelques exemples de questions pouvant être posées à propos de ce texte, en partant des compétences et des capacités associées aux approches documentaires, à différents niveaux du cursus, non précisés ici :

S'approprier (APP)

Capacité : Dégager la problématique principale

Question : Quelle est la question scientifique étudiée dans ce document ?

Capacité : Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie

Question : Qu'arrive-t-il à l'air lors de la cuisson ? Qu'arrive-t-il à l'eau lors de la cuisson ?

Question : Quels sont les deux phénomènes responsables de l'augmentation de volume du soufflé ?
Question : Quel est, d'après le document, l'ordre de grandeur de la masse d'un litre de vapeur d'eau ?
Comparer cette masse à celle d'un litre d'air. Conclure.

Analyser (ANA)

Capacité : Identifier les idées essentielles et leurs articulations

Question : Quelles sont les deux hypothèses émises ?
Question : Qu'est-ce qui permet de valider ou d'invalider les deux hypothèses émises ?

Réaliser (REA)

Capacité : Prélever la valeur d'une grandeur d'un document scientifique

Capacité : Réaliser des calculs analytiques ou numériques

Question : On prépare 300 g de pâte de soufflé dont le volume initial est d'environ 250 mL. Quel serait son volume après cuisson si l'hypothèse d'une dilatation de l'air était validée ? Qu'en est-il en réalité ?
Conclure.
Question : On prépare 300 g de pâte de soufflé dont le volume initial est d'environ 250 mL. D'après le texte, le soufflé double de volume à la cuisson. Quelle masse d'eau vapeur a permis ce gonflement ?

Valider (VAL)

Capacité : Apprécier la validité d'une information, d'une hypothèse, d'une propriété, d'une loi, d'un modèle

Question : L'affirmation « si l'on savait retenir toute la vapeur formée lors de la cuisson d'un petit soufflé individuel, on obtiendrait un soufflé de dix litres » peut-elle être expliquée par le modèle du gaz parfait ?
Données : Masse molaire de l'eau et équation d'état du gaz parfait (si elle n'est pas connue au niveau du cursus où est posée cette question)

Capacité : Faire preuve d'esprit critique

Question : Que pensez-vous de l'affirmation de l'auteur « un gramme d'eau fait environ 1 litre de vapeur » ?
Données : Masse molaire de l'eau et équation d'état du gaz parfait (si elle n'est pas connue au niveau du cursus où est posée la question)

Question : Que pensez-vous de la rédaction de la phrase suivante : « un gramme d'eau fait environ un litre de vapeur » ? Proposer une rédaction plus rigoureuse scientifiquement.

Communiquer (COM)

Capacité : Rédiger la synthèse d'un document scientifique en effectuant un changement de registre (textes, schémas, carte mentale, ...).

Question : Effectuer une synthèse du texte en vous appuyant sur des schémas.
Question : Proposer une série de schémas permettant de rendre compte des phénomènes intervenant lors de la cuisson du soufflé, au niveau microscopique.

Capacité : Rédiger/présenter, une analyse, une argumentation,... (clarté, justesse, pertinence, exhaustivité, logique).

Question : Présenter en quelques lignes une réponse argumentée à la question : pourquoi les soufflés gonflent-ils ?
Question : Présenter en quelques lignes une réponse argumentée à la question : comment améliorer le gonflement des soufflés ?

Annexe 3 : membres du groupe de recherche et d'innovation pour l'enseignement des sciences physiques (GRIESP) en 2014-2015

NOM	Prénom	Statut
BARON	Christine	Professeure
BLOQUEL	Carole	Professeure
COPPENS	Nicolas	Professeur
GANIVET	Pauline	Professeure
GIROUX	Bruno	Professeur
GYR	Marc	Professeur
HOURT	Michel	Professeur
LE RILLE	Alain	Professeur
MASSOTTE	Muriel	Professeure
MOUTET	Laurent	Professeur
MONTANGERAND	Michel	Professeur
SCHLOSSER	Nicolas	Professeur
ZITOUNI	Manuelle	Professeure
MOMBELLI	Bruno	IA-IPR
VIGNERON	Michel	IA-IPR

Le GRIESP est soutenu par la direction générale de l'enseignement scolaire (DGESCO) et est piloté par le groupe physique-chimie de l'inspection générale de l'éducation nationale (IGEN).

La réflexion sur les activités documentaires a été engagée au sein du GRIESP en 2013-2014 et a bénéficié du pilotage de Christiane SIMON, IA-IPR.