



Ref.: 2021-01-D-56-fr-3¹

Orig.: EN

Programme de physique – S6-S7

Approuvé par le Comité pédagogique mixte lors de sa réunion en ligne des 11 et 12 février 2021

Entrée en vigueur : le 1^{er} septembre 2021 pour la S6
le 1^{er} septembre 2022 pour la S7

1^{ère} session du Baccalauréat en juin 2023

¹ Mise à jour de la fiche d'évaluation orale (oral record sheet) : le CIS a approuvé par la voie de la Procédure écrite n°2022/60 le document "European Schools' Criteria for the Assessment of the Baccalaureate Oral Exams – Applicable as from European Baccalaureate session 2023" (Ref. 2022-09-D-46-en), le 5 décembre 2022 avec une entrée en vigueur immédiate.

Table des matières

1. Objectifs généraux	3
2. Principes didactiques	4
3. Objectifs d'apprentissage	5
3.1.Compétences	5
3.2.Concepts transversaux	6
4. Contenu	7
4.1.Chapitres	7
• Champs	7
• Interactions	8
• Oscillations et Ondes	10
• Physique quantique	10
4.2.Tableaux.....	13
• Année scolaire S6.....	13
• Année scolaire S7.....	25
4.3.Nombre de périodes	37
5. Evaluation	38
5.1.Descripteurs des niveaux atteints	41
6. Annexe.....	44
6.1.Exemple d'Examen du Baccalauréat	44
6.2.Matrice générique de Physique	61
6.3.Matrice spécifique à l'examen donné en exemple.....	62
6.4.Fiche d'évaluation orale.....	63

1. Objectifs généraux

Les Ecoles Européennes poursuivent une double mission : assurer une formation de base, grâce à l'enseignement d'un certain nombre de matières, et encourager le développement personnel des élèves dans un contexte culturel et social élargi. La formation de base implique l'acquisition de compétences (savoirs, savoir-faire et savoir-être) dans une série de disciplines. Le développement personnel se réalise dans différents contextes spirituels, moraux, sociaux et culturels. Elle implique une prise de conscience des comportements appropriés, une compréhension de leur cadre de vie et la construction de leur identité personnelle.

Le cheminement vers ces deux objectifs se réalise dans le contexte d'une prise de conscience accrue de la richesse de la culture européenne. La prise de conscience et l'expérience d'une vie européenne partagée devraient guider les élèves à un plus grand respect des traditions de chaque pays et région d'Europe tout en développant et en préservant leur identité nationale propre.

Les élèves des Ecoles Européennes sont de futurs citoyens d'Europe et du monde. Comme tels, ils auront besoin d'un éventail de compétences clés s'ils veulent relever les défis d'un monde qui évolue rapidement. En 2006, le Conseil de l'Europe et le Parlement européen ont approuvé le Cadre européen des compétences clés pour l'éducation et la formation continue (« European Framework for Key Competences for Lifelong Learning »). Il identifie huit compétences clés dont tous les individus ont besoin pour leur épanouissement et leur développement personnel, pour une citoyenneté active, l'intégration sociale et la vie active :

1. Les compétences en lecture et en écriture,
2. Les compétences multilingues,
3. La compétence mathématique et les compétences en sciences, en technologies et en ingénierie,
4. La compétence numérique,
5. Les compétences personnelles et sociales et la capacité d'apprendre à apprendre,
6. Les compétences citoyennes,
7. Les compétences entrepreneuriales,
8. Les compétences relatives à la sensibilité et à l'expression culturelles.

Les programmes des Ecoles Européennes visent à développer chez les élèves toutes ces compétences clés.

2. Principes didactiques

Les principes didactiques des Ecoles Européennes sont formulés dans les normes pédagogiques des Ecoles Européennes (réf. 2012-09-D-11-fr-4). Pour l'enseignement, les normes pédagogiques stipulent que l'enseignant :

- Utilise ses compétences pédagogiques et sa créativité pour inspirer et motiver les élèves ;
- Dispense des leçons correctement structurées ;
- Fait un usage efficace du temps d'enseignement ;
- Emploie diverses méthodes pédagogiques et d'apprentissage, y compris technologiques, adaptées au contenu ;
- Motive les élèves à s'impliquer activement dans leur propre apprentissage ;
- Démonstre une bonne connaissance des matières et des programmes d'études, notamment dans leurs dimensions nationales et européennes.

Les huit compétences pour la physique sont la connaissance, la compréhension, l'application, l'analyse, l'expérimentation, les compétences numériques et d'information, la communication et le travail en équipe.

Pour enseigner les compétences en physique conformément aux normes pédagogiques des Ecoles Européennes, une approche de l'enseignement et de l'apprentissage axée sur la recherche est fortement recommandée en S6 et S7. Les objectifs d'apprentissage concernant le travail expérimental, les capacités numérique et d'information, la communication et le travail de groupe, ne peuvent être atteints sans un recours intensif au travail pratique.

3. Objectifs d'apprentissage

Apprendre ne consiste pas seulement à acquérir de nouvelles connaissances théoriques. Lors de l'apprentissage à l'école, le contenu est utilisé pour donner aux élèves les compétences nécessaires pour se préparer à la société et au monde du travail. Les objectifs d'apprentissage pour les performances des élèves trouvent leur source dans : le Cadre européen portant sur les compétences clés pour l'éducation et la formation continue, (« European Framework for Key Competences for Lifelong Learning ») décrit au point 1, les compétences scolaires décrites au point 3.1 et les concepts transversaux (connexions interdisciplinaires), décrits au point 3.2. Nous espérons ainsi préparer les élèves à apprendre tout au long de leur vie.

3.1. Compétences

	Compétence	Concepts clés
1.	Connaissances	L'élève fait preuve d'une connaissance approfondie des faits
2.	Compréhension	L'élève fait preuve d'une maîtrise et d'une utilisation approfondies des concepts et des principes scientifiques
3.	Application	L'élève établit des liens entre les différentes parties du programme et applique les concepts à une grande variété de situations inconnues, et il fait des prédictions appropriées
4.	Analyse	L'élève est capable d'analyser et d'expliquer de façon détaillée et critique des données complexes
5.	Expérimentation	L'élève est à même de formuler des hypothèses et de planifier et mener des recherches en recourant à des techniques très diverses, et a conscience des questions d'éthique
6.	Compétences numériques et de gestion d'informations	L'élève peut, de manière régulière et autonome, trouver des informations concernant des sujets scientifiques, en ligne et hors ligne, en évaluer la fiabilité, et utiliser de façon autonome un logiciel approprié pour accomplir des tâches scientifiques
7.	Communication (orale et écrite)	L'élève est à même de communiquer de façon logique et concise en utilisant un vocabulaire scientifique correct et fait preuve d'excellentes aptitudes de présentation
8.	Travail d'équipe	L'élève travaille bien en groupe

3.2. Concepts transversaux

La liste des compétences transversales inscrit les objectifs d'apprentissage dans un contexte plus vaste qui peut servir de base à un projet pluridisciplinaire. La liste provisoire à enseigner est fondée sur la nouvelle génération de standards scientifiques américains (National Research Council/Conseil National de la Recherche, 2013) :

	Concept	Description
1.	Séquences régulières	Les séquences régulières observées de formes et d'événements guident l'organisation et la classification, et elles soulèvent des questions sur leurs relations et les facteurs qui les influencent
2.	Causes et effets	Les événements ont des causes, tantôt simples, tantôt multiples. Le décryptage des relations causales et des mécanismes de leur enchaînement est une activité majeure de la science et de l'ingénierie
3.	Echelle, proportion et quantité	Lors de l'étude des phénomènes, il est essentiel de comprendre ce qui est pertinent à différentes échelles de taille, de temps et d'énergie, et de comprendre les relations proportionnelles entre différentes quantités au fur et à mesure que les échelles changent
4.	Systèmes et modèles de systèmes	La définition du système étudié, qui consiste à préciser ses limites et rendre explicite un modèle de ce système, fournit des outils pour comprendre le monde. Souvent, les systèmes peuvent être divisés en sous-systèmes et combinés en systèmes plus vastes, en fonction de la question à laquelle on s'intéresse
5.	Energie et matière	Le suivi des flux d'énergie et de matière, à l'entrée, à la sortie et à l'intérieur des systèmes, aide à comprendre le comportement de ces derniers
6.	Structure et fonction	La façon dont un objet est construit ou structuré détermine bon nombre de ses propriétés et fonctions
7.	Stabilité et changement	Pour les systèmes, qu'ils soient construits ou naturels, les conditions qui influent leur stabilité ainsi que les facteurs qui contrôlent le taux de leur changement, sont des éléments essentiels à considérer et à comprendre

4. Contenu

4.1. Chapitres

Dans le programme S6 – S7, la matière est structurée par chapitre, de manière à ce que le contenu et les compétences soient acquis aussi bien en profondeur qu'en largeur. La matière de S4 à S5 doit être connue pour aborder S6 et ne sera que brièvement rappelée lors de l'introduction de chaque chapitre.

Les élèves, en tant que citoyens, devraient être en mesure de discuter et de prendre des décisions sur des sujets qui sont associés à la physique. Il est donc fortement recommandé que les élèves entreprennent chaque année un projet lié à des aspects sociaux (voir les descriptions des objectifs).

Il est recommandé aux professeurs de physique et de mathématiques de coordonner leur enseignement pour aider les élèves à aborder les mathématiques nécessaires aux matières scientifiques (voir la partie évaluation).

Thème	S6	S7
Champs : Forces et Champs de Force	x	
Champs : Potentiel, Force de Lorentz, induction		x
Interactions	x	
Oscillations et Ondes : Équation d'Onde, Principe d'Huygens	x	
Oscillations et Ondes : Diffraction, Ondes Stationnaires		x
Physique Quantique		x

- **Champs**

Une compréhension des champs est fondamentale pour la physique moderne. Les champs existent dans l'espace ; ils peuvent aider à expliquer comment des objets peuvent interagir sans se toucher, comment ils peuvent stocker de l'énergie potentielle dans un système d'objets en interaction, et ces champs servent de base à la compréhension de la physique quantique. De nombreux champs obéissent à des lois mathématiques similaires, et les élèves peuvent utiliser un petit ensemble de principes sur la nature des champs pour interpréter et expliquer de nombreux phénomènes. Ces notions sur les champs sont développées au fur et à mesure que les élèves étudient un ensemble varié de champs différents. Dans le chapitre consacré aux champs, les élèves apprennent à connaître trois champs clés qui prédominent dans la vie quotidienne : les champs électriques, magnétiques et gravitationnels. Tout au long de leurs recherches, les élèves apprennent d'abord comment les champs transmettent des forces à distance, puis comment ces champs peuvent stocker et transférer de l'énergie.

En 4e et 5e années, les élèves ont exploré certaines composantes des champs magnétiques, comme le champ magnétique des aimants permanents, des solénoïdes et des fils. En 6e et 7e années, les élèves s'appuient sur leurs notions acquises sur les champs magnétiques, ainsi que sur ce qu'ils ont appris sur l'effet de la force sur le mouvement, pour explorer les phénomènes électriques et gravitationnels et les expliquer en termes d'interactions entre les champs et les particules. L'étude des champs en 6e année commence par une exploration du champ électrique et de la manière dont il peut être utilisé pour expliquer l'interaction à distance entre les particules chargées, ainsi que pour stocker de l'énergie. Leur étude des champs électriques commence par l'apprentissage du fait que les charges peuvent agir les unes sur les autres à distance, et que cette force résulte des champs qui entourent les particules chargées. Après avoir défini et calculé le champ électrique et l'intensité de la force résultante, les élèves explorent le rôle des champs électriques dans le stockage de l'énergie dans les circuits électriques lorsque les charges se déplacent vers ou depuis un condensateur. Dans ce contexte, les élèves explorent la relation entre le potentiel électrique et l'intensité du champ électrique. En plus d'utiliser des modèles mathématiques pour relier le potentiel aux champs, les élèves construisent des modèles physiques pour relier les deux concepts. Une application du champ électrique est le circuit électrique, ainsi que la capacité à stocker et à transférer de l'énergie par le biais des champs électriques.

Tout au long du chapitre, les élèves doivent faire bien plus que résoudre des problèmes mathématiques. Lors de chaque étape, les élèves doivent construire, analyser et collecter des données afin d'étudier comment les champs peuvent stocker et transférer de l'énergie.

Après avoir étudié les champs électriques, les élèves se tournent vers les champs magnétiques. La plupart des élèves sont familiers avec les champs magnétiques, grâce aux apprentissages antérieurs et à la vie quotidienne. Dans le chapitre sur les champs magnétiques, l'accent est mis sur le rôle des champs magnétiques dans l'explication de l'interaction à distance (notamment en ce qui concerne les charges mobiles et les fils conducteurs de courant), et sur la relation entre la direction du champ magnétique et la force exercée sur les charges mobiles. Les élèves devraient utiliser des opérations vectorielles simples comme la « règle de la main droite » pour modéliser les interactions magnétiques. Le second point important de ce chapitre est le rôle des champs magnétiques dans la génération des champs électriques, et vice versa. Les étudiants doivent utiliser des métaphores pour comprendre l'idée de flux magnétique et comment un flux magnétique variable induit un champ électrique et peut conduire à un courant électrique dans un fil. Les éléments de circuit qui dépendent des champs magnétiques, tels que les inducteurs, doivent également être découverts conceptuellement et représentés mathématiquement.

Les élèves étudient également les champs gravitationnels en les mettant en relation avec ce qu'ils ont appris sur les champs électriques. Ici, l'accent est mis sur les champs gravitationnels en tant que mécanisme explicatif de l'interaction à distance et sur la relation entre les champs gravitationnels et l'énergie potentielle gravitationnelle. Les élèves doivent construire des simulations mathématiques et informatiques des champs et de l'énergie pour résoudre des problèmes du monde réel.

- **Interactions**

Des phénomènes se produisent lorsque des objets interagissent, et l'analyse systématique de ces

interactions donne aux élèves une base solide pour interpréter et expliquer un large éventail de phénomènes de la vie quotidienne. En s'appuyant sur leurs connaissances des lois du mouvement, les élèves commencent à utiliser le concept mathématique des fonctions pour construire des modèles plus complexes qui peuvent prédire et expliquer le mouvement d'objets allant d'un ballon de football sur le terrain à des satellites dans l'espace. L'approfondissement des connaissances préalables des élèves sur les lois et les forces de Newton en tant que vecteurs leur permet de modéliser et d'expliquer les changements instantanés de mouvement. En développant des concepts déjà acquis comme l'énergie cinétique, l'énergie potentielle, le travail et la puissance, les concepts de force, de quantité de mouvement et d'énergie sont appliqués à des échelles familières pour modéliser les interactions des objets, par exemple lors des collisions d'un billard ou du rebond d'un ballon de basket.

Une réalisation remarquable de la physique est la reconnaissance du fait qu'une gamme extraordinairement large de phénomènes peut être interprétée en utilisant les mêmes principes mathématiques et physiques. Ainsi, les phénomènes qui impliquent des champs gravitationnels et qui se déroulent sur plusieurs jours, voire plusieurs siècles, peuvent être analysés avec le même ensemble d'outils que les phénomènes qui se produisent en moins d'une seconde et qui impliquent des interactions ayant pour intermédiaire des champs électriques et magnétiques.

Tout au long de ce chapitre, les élèves apprennent à appliquer le même ensemble de principes pour analyser un large éventail de phénomènes. Pour commencer, les élèves utilisent les principes de la cinématique et de la dynamique pour analyser des situations impliquant un mouvement en 1D et 2D. Cette analyse met l'accent sur les mathématiques et les concepts physiques qui permettent de comprendre comment les choses bougent lorsqu'elles sont soumises à des forces, que ces forces proviennent de la gravitation, du contact entre des objets ou de particules chargées dans des champs électriques et/ou magnétiques. La boîte à outils analytique des élèves s'élargit lorsqu'ils commencent à étudier comment les interactions qui se produisent lors de phénomènes se traduisent par le transfert et la conservation de la quantité de mouvement et d'énergie entre divers systèmes et sous-systèmes. Ces lois de conservation imposent des contraintes sur le comportement des systèmes en interaction.

Après avoir appris à utiliser systématiquement les principes de force et d'énergie pour analyser les interactions, les élèves explorent le mouvement périodique des objets en mouvement circulaire et le mouvement oscillatoire harmonique. Comme c'était le cas pour les analyses qu'ils ont effectuées jusqu'à ce point du chapitre, les principes mathématiques et physiques qui régissent le mouvement circulaire et les oscillations s'appliquent à un large éventail de phénomènes. Pour cette raison, les élèves considèrent explicitement les phénomènes à l'échelle "quotidienne", et ils considèrent également les phénomènes à de très grandes échelles spatiales et temporelles (par exemple, les orbites des planètes) et à de très petites échelles spatiales et temporelles (par exemple, les circuits en courant alternatif).

Tout au long du chapitre consacré aux interactions, l'idée principale est que ces mêmes principes physiques des lois de Newton, de la conservation de l'énergie, de la conservation de la quantité de mouvement et des oscillations peuvent être appliqués largement et de manière cohérente. Cette étendue de l'application des lois de la physique nous aide à développer une manière cohérente et constante d'interpréter un large éventail de phénomènes que nous observons dans le monde qui nous entoure.

Une coopération étroite avec les mathématiques est prévue. Les enseignants sont encouragés à collaborer avec leurs collègues de mathématiques afin d'utiliser les liens entre les sujets, par exemple en utilisant les données recueillies dans le cadre de la physique pour la modélisation mathématique.

- **Oscillations et Ondes**

Afin d'acquérir une compréhension satisfaisante des ondes, il est utile de commencer par des exemples concrets d'ondes et de passer à des ondes plus abstraites comme les ondes électromagnétiques.

Les nombreux exemples variés d'ondes qui nous entourent motivent les élèves à étudier les concepts d'onde et pourraient être un bon moyen de commencer le chapitre tout en revoyant les concepts des ondes qui ont été introduits pour la première fois dans S4 et S5. Une première étape consistera à décrire correctement les ondes et à distinguer les ondes des oscillations. Cela conduit à la question de savoir comment les ondes se propagent dans l'espace, ce qui constitue la deuxième partie de ce chapitre. Après avoir présenté les bases théoriques des ondes, on introduira les phénomènes de superposition, de réflexion, de réfraction et de diffraction des ondes. Le principe de Huygens devrait être utilisé pour aider à expliquer la propagation et le comportement des ondes.

Le chapitre sur les ondes a été développé comme une progression des ondes mécaniques concrètes aux ondes électromagnétiques abstraites. L'introduction du photon aidera à la transition des élèves vers les notions de la physique quantique.

Les connaissances préalables sont acquises dans le cadre du sujet Ondes S4 : le Son et la Lumière utilisés comme des exemples d'ondes ayant des caractéristiques communes de longueur d'onde, de fréquence, de vitesse et d'amplitude (λ, f, v, A). Les connaissances en mathématiques des fonctions trigonométriques (sinus et cosinus) sont utiles.

Pour approfondir la compréhension de l'étudiant et favoriser l'acquisition de compétences clés, un projet de recherche peut être inclus, examinant les différentes façons dont les ondes électromagnétiques ont été et sont utilisées pour transmettre des informations. (N. Tesla, émetteur radio, télévision, internet sans fil).

Dans le prolongement de cette section, le dernier sujet sur la mécanique quantique portera sur les ondes de la matière, comme les électrons, et permettra à l'élève de mieux comprendre l'étendue des concepts d'ondes dans notre Univers.

- **Physique quantique**

La physique quantique a changé les bases de la physique et est devenue le fondement de la physique moderne. La physique quantique explique la nature et le comportement de la matière et de l'énergie au niveau atomique et subatomique. Les découvertes qui ont conduit à la formulation de la théorie quantique et au débat de son interprétation fournissent un contexte parfait pour démontrer aux élèves la pertinence fondamentale de la physique dans une société basée sur la

technologie. Suivre les développements historiques en termes d'expériences majeures (par exemple, l'expérience de Franck-Hertz) montre comment les physiciens ont successivement obtenu des connaissances plus approfondies sur les mécanismes aux niveaux atomique et subatomique et montre à quel point le changement de paradigme qui en découle est profond. La physique quantique fournit un contexte parfait pour engager les élèves dans des compétences scientifiques majeures telles que le développement et l'utilisation de modèles, l'argumentation basée sur des preuves, et l'utilisation de représentations mathématiques et de la pensée informatique. Elle permet également aux élèves d'aborder des concepts transversaux majeurs tels que l'échelle, la proportion et la quantité, les systèmes et les modèles de systèmes, et la nature de la science et de la recherche scientifique.

La physique quantique est centrée sur le comportement et les propriétés des objets quantiques. Les objets quantiques se comportent à la fois comme des ondes et des particules. Le photon est un exemple éminent d'objet quantique. L'effet photoélectrique montre les limites de la théorie des ondes de la lumière pour expliquer tous les aspects du comportement de la lumière, ce qui nécessite de supposer que la lumière se comporte également comme une particule, un objet quantique. À leur tour, les électrons en tant que particules peuvent également se comporter comme des ondes. Cette hypothèse repose sur une compréhension préalable des électrons en tant que particules et de la manière dont les électrons se comportent à la suite d'une interaction entre un champ et la matière. L'étape suivante consiste à résoudre la dualité onde-particule par une discussion sur la nature stochastique du comportement des objets quantiques. En utilisant des exemples d'expériences historiques à double fente, l'idée de la dualité onde-particule des objets quantiques ainsi que leurs principales propriétés peuvent être développées. Ces propriétés sont les suivantes : quantification, comportement stochastique, interférence, incertitude et non-localité. L'application des notions quantiques pour développer un modèle quantique de l'atome et l'utilisation de ce modèle pour expliquer la structure du tableau périodique marquent la fin du chapitre de physique quantique.

La physique quantique est souvent enseignée à travers l'évolution historique de la matière. Bien qu'il s'agisse d'une approche réalisable, d'autres approches sont possibles. Par exemple, les objets quantiques et leurs propriétés peuvent être présentés à l'aide d'exemples d'expériences clés et de leurs résultats, comme la ou les expériences à double fente, l'effet photoélectrique ou l'effet Compton. Notez que, bien que la physique quantique puisse sembler nécessiter une approche plus théorique, certaines des expériences clés (par exemple l'effet photoélectrique et les expériences à double fente) peuvent en fait être réalisées en classe, ce qui donne une approche plus investigatrice. Les élèves doivent avoir la possibilité de découvrir ces expériences, ou au moins de travailler avec les données originales de ces expériences, pour enquêter et tirer des conclusions. Lorsque les expériences ne sont pas disponibles, ou ne peuvent pas être facilement réalisées en classe, des simulations peuvent être utilisées.

Six symboles différents sont utilisés dans ce document. Ils concernent les domaines suivants :

	Activités
	Prolongements
	Phénomènes
	Histoire
	Concepts transversaux
	Compétences numériques

Chacune de ces icônes met en évidence un domaine différent et est utilisée pour faciliter la lecture du programme. Ces domaines sont basés sur les compétences clés mentionnées dans la partie 1 du présent document.

4.2. Tableaux

- Année scolaire S6

Année S6	Chapitre : Champs	Prérequis : S4 : circuits, courant, charges, puissance, magnétisme, lignes de champ, induction électromagnétique, force, lois de Newton ; S5 : énergie et travail		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Champ électrique	Revoir la nature de la charge électrique. La charge électrique élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	Planifier et mener des enquêtes pour déterminer la force entre des objets chargés distants l'un de l'autre. Expliquer pourquoi la valeur de cette charge est qualifiée d'« élémentaire ». Rappeler la valeur de la charge électrique élémentaire et l'utiliser dans des calculs.	   	Attraction/répulsion les boules de moelle chargées. Générateur électrostatique. Discuter de l'expérience de Millikan et de sa signification pour établir la quantification de la charge. Établir le lien entre la charge électrique élémentaire et le concept d'ions de charges relatives de +1, -2, etc. comme utilisés en chimie. Discuter des particules fondamentales et de leurs charges (modèle standard).
	Force entre des charges électriques ponctuelles $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ où $k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r}$	Calculer la force entre deux charges ponctuelles.		Expériences montrant visuellement la forme des champs électriques (ex. grains de semoule ou poudre de carbone dans de l'huile).

Année S6	Chapitre : Champs	Prérequis : S4 : circuits, courant, charges, puissance, magnétisme, lignes de champ, induction électromagnétique, force, lois de Newton ; S5 : énergie et travail		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	$\epsilon_r = 1$ dans le vide.			
	Intensité du champ électrique $E = \frac{F}{q}$ Champ radial $E = k \frac{Q}{r^2}$ Champ uniforme $E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{U}{d}$ où d est la distance entre deux plaques parallèles de charges différentes.	Définir l'intensité du champ électrique. Développer, en utilisant des lignes de champ, des modèles physiques décrivant un champ présent autour d'une charge ponctuelle et un champ régnant entre des plaques parallèles de charges différentes. Utiliser des modèles mathématiques de champs électriques pour calculer la force électrique entre deux charges ponctuelles et la force agissant sur une charge ponctuelle dans un champ uniforme.	 	Il est possible de généraliser avec la résolution de problèmes avec 3 charges et/ou portant sur la superposition de champs. L'influence d'un diélectrique sur le champ électrique pourrait être explorée.
Condensateur	Le condensateur à plaques parallèles comme un dispositif de stockage de charge et d'énergie $Q = C U$ $W = \frac{1}{2} C U^2$ où C est la capacité.			Discuter de la foudre, des dispositifs piézo-électriques, des écrans tactiles capacitifs et d'autres exemples technologiques et naturels de condensateurs et de décharges électriques.

Année S6	Chapitre : Champs	Prérequis : S4 : circuits, courant, charges, puissance, magnétisme, lignes de champ, induction électromagnétique, force, lois de Newton ; S5 : énergie et travail		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Courant et tension en fonction du temps dans un circuit lorsqu'un condensateur est chargé ou déchargé.	Concevoir et construire des circuits simples pour étudier les facteurs qui affectent le temps de charge d'un condensateur. Rassembler des preuves simples pour soutenir l'affirmation selon laquelle les condensateurs stockent l'énergie dans le champ électrique entre deux conducteurs.	 Démontrer l'effet des dimensions et du diélectrique d'un condensateur à plaques parallèles sur sa capacité. Cela peut constituer une expérience quantitative ou qualitative utile.  Le sujet offre une bonne occasion d'initier les étudiants à l'utilisation de l'oscilloscope.	
Champ magnétique	Champs magnétiques autour des charges en mouvement Densité de Flux Magnétique B Le champ uniforme à l'intérieur d'un solénoïde $B = \mu n I, \quad n = N/l$	Réaliser des expériences pour montrer que des charges mobiles produisent un champ magnétique. Rappeler et décrire la forme, la direction et le sens du champ magnétique autour d'un long fil droit parcouru par un courant et le champ dans et autour d'un solénoïde. Rechercher expérimentalement les facteurs qui influencent le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde. Utiliser la formule du champ à l'intérieur d'un solénoïde dans des calculs.	 Expérience Oersted, faisceaux d'électrons.  Examiner les similitudes et les différences entre les champs autour des aimants permanents et ceux observés autour des courants.  Une sonde de Hall et un Slinky (long jouet métallique hélicoïdal) peuvent être utilisés pour étudier la dépendance entre le courant et de la densité de spires du solénoïde.	

Année S6	Chapitre : Champs	Prérequis : S4 : circuits, courant, charges, puissance, magnétisme, lignes de champ, induction électromagnétique, force, lois de Newton ; S5 : énergie et travail		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Champ gravitationnel	La loi de Newton sur la gravitation universelle $F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ où G est la constante de gravitation universelle	Calculer la force entre deux masses sphériques ponctuelles ou homogènes. Utiliser un raisonnement mathématique pour expliquer comment déterminer la valeur de la Constante de gravitation universelle a permis de déterminer la masse de la Terre en connaissant ses dimensions	 	Discuter la variation de l'accélération due à la gravité à différentes positions et altitudes autour de la Terre. Expérience de Cavendish.
	L'intensité du champ gravitationnel est donnée par $g = \frac{F_G}{m}$ Champs radiaux et uniformes. Pour les champs radiaux $g = G \frac{M}{r^2}$	Définir l'intensité du champ gravitationnel. Elaborer des modèles physiques pour représenter, en termes de lignes de champ, le champ autour d'une masse ponctuelle et celui près de la surface de la Terre. Discuter de la manière dont les deux modèles peuvent être reliés. Utiliser des représentations mathématiques des champs gravitationnels pour calculer la force gravitationnelle entre deux masses ponctuelles et sur une masse dans un champ uniforme.	 	Comparer et opposer : le Champ Gravitationnel de Newton diffère des champs E et B en ce qu'il n'y a aucune répulsion et aucun moyen d'éliminer le champ gravitationnel. Discussion sur la façon dont il est possible pour une masse de se maintenir sur une orbite stable si elle a une vitesse tangentielle suffisante, comme par exemple : le Système solaire, les satellites, les comètes, etc. La connexion au mouvement le long des équipotentielles pourrait être explorée.

Année S6 Chapitre : Interactions		Prérequis : S4 : Travail, potentiel et énergie cinétique ; S5 : quantité de mouvement, lois de conservation (énergie et quantité de mouvement).	
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés
Mouvement uniforme et uniformément accéléré	$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ $v(t) = v_0 + a t$ Indépendance du mouvement dans deux directions perpendiculaires dans des champs uniformes Mouvement d'un projectile dans un champ uniforme	Organiser et mener des recherches pour déterminer les relations entre les données position - temps, vitesse - temps, accélération - temps. Analyser et interpréter les données. Utiliser les mathématiques pour analyser les variations de mouvement. Analyser le mouvement à deux dimensions en termes de résultante de composantes perpendiculaires indépendantes. Planifier des recherches pour mesurer le mouvement des masses et des particules chargées dans des champs uniformes. Analyser les données obtenues. Calculer la cinématique des particules, dans des champs électriques ou gravitationnels uniformes ou les deux, à l'aide de fonctions mathématiques. (Les calculs ne doivent pas inclure les forces dissipatives.) Appliquer la conservation de l'énergie aux problèmes de cinématique et discuter des contraintes qu'elle impose.	    Analyse de vidéos de mouvements comportant des situations de la vie réelle. Activités d'enregistrement de données et analyse graphique. Combiner avec les mathématiques pour donner un contexte intéressant au calcul différentiel et donner à la cinématique une base mathématique. Étudier les différences entre le mouvement de particules • en raison de la seule force gravitationnelle, • avec une force dissipatrice, • avec propulsion. On peut citer comme exemples les sports, la trajectoire des balles de golf, les parachutes, les distances de freinage, la rentrée des vaisseaux spatiaux, les projectiles d'armes à feu, etc.

Année S6	Chapitre : Interactions	Prérequis : S4 : Travail, potentiel et énergie cinétique ; S5 : quantité de mouvement, lois de conservation (énergie et quantité de mouvement).		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Mouvement circulaire uniforme	Vitesse angulaire $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{v}{r}$ Accélération centripète $a_{cent} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ Cinématiques des objets en mouvement circulaire uniforme - des objets terrestres - des particules chargées dans des champs magnétiques uniformes - des orbites de masses dans l'espace	Décrire et identifier les propriétés du mouvement circulaire. Reconnaître le mouvement circulaire dans différents contextes et l'expliquer comme un mouvement accéléré. Reconnaître que le mouvement circulaire nécessite une résultante centripète. Identifier la force centripète dans des exemples de mouvement circulaire. Étudier expérimentalement l'accélération et la force centripète. Utiliser des représentations mathématiques pour calculer les caractéristiques des objets en mouvement circulaire.	  Carrousels, CD/DVD, roues, etc. Discuter des idées trompeuses sur la soi-disant "force centrifuge".     Tubes à faisceaux d'électrons avec les bobines de Helmholtz. Courbes et dévers. Satellites. Peut-être utilisé dans S7 pour réviser le mouvement circulaire : aurores, cyclotrons et autres phénomènes. Discuter de la conservation de l'énergie dans le mouvement circulaire horizontal et vertical.	

Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Oscillations harmoniques	Des expériences visant à établir les concepts de force de rappel et de fréquence dans les oscillations harmoniques simples d'un pendule et d'un ressort oscillant $f = \frac{1}{T}, \quad \omega = 2\pi f$ Mouvement harmonique simple (MHS) $F = -k y,$ $a = -\omega^2 y,$ $y = A \sin(\omega t)$ où F est la force de rappel, A est l'amplitude de l'oscillation, y est le déplacement par rapport à la position d'équilibre et k est une constante.	Etablir que le mouvement oscillatoire nécessite une force résultante dirigée vers la position d'équilibre du système en $y = 0$. Identifier les forces responsables du mouvement oscillatoire dans des exemples. Analyser et interpréter la cinématique et la dynamique d'une masse oscillante attachée à un ressort et attachée à un pendule simple. Faire le lien entre le MHS d'un système oscillant et la projection dans une dimension d'un mouvement circulaire uniforme. Comprendre que pour une oscillation harmonique, la force de rappel doit être proportionnelle au déplacement. Construire (déduire) des équations et résoudre des problèmes traitant de l'oscillation harmonique simple non amortie.	Réaliser des expériences, par exemple avec des enregistrements de données, pour montrer le mouvement sinusoïdal et comparer le déplacement, la vitesse et l'accélération. Exemples d'utilisations d'oscillateurs tels que l'horloge à pendule. Le mouvement d'un oscillateur harmonique non amorti pourrait être discuté en termes d'équation différentielle $m\ddot{y} + ky = 0$. Des exemples expérimentaux de la superposition d'oscillations de différentes fréquences pourraient être étudiés, par exemple dans le comportement du tympan, etc. Des oscillations non harmoniques pourraient être envisagées.	

Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	L'énergie stockée dans les oscillations harmoniques simples des systèmes mécaniques Le rôle d'une force externe périodique dans le transfert d'énergie à un système oscillant La résonance se produit lorsqu'une fréquence propre du système est la même que celle de la force motrice	Identifier et décrire la conservation d'énergie dans les systèmes oscillants. Comprendre la fréquence de résonance comme étant la fréquence pour laquelle le transfert d'énergie entre l'oscillation forcée et le système est le plus efficace. Définir la condition de résonance en termes de fréquence d'excitation et de fréquence naturelle.	   	Dans des expériences, examiner la conservation de l'énergie dans les systèmes oscillants non amortis. La dissipation d'énergie des systèmes amortis pourrait être envisagée. Diapasons pour illustrer la fréquence naturelle Verre chantant, récepteurs et émetteurs radio, etc. Conception de structures pour résister aux tremblements de terre, au trafic, à l'exposition au vent, ...

Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Échange d'énergie électromagnétique entre le champ électrique du condensateur et le champ magnétique de l'inducteur dans un circuit LC L'énergie dans le champ magnétique $W = \frac{1}{2} L I^2$ où L est l'inductance. (Rappeler l'énergie dans le champ électrique $W = \frac{1}{2} C U^2$ où C est la capacité).	Collecter et analyser des données des circuits LC. Comparer le comportement du circuit LC à celui d'une masse oscillant attachée à un ressort. Expliquer le comportement du courant et de la tension dans un circuit LC.	  	Les élèves construisent des circuits et utilisent un oscilloscope. Les enregistreurs de données permettent aux élèves de produire des modèles mathématiques de ces systèmes à partir de données d'expérience. Les simulations peuvent être utiles pour encourager les élèves à identifier des modèles et à relier des concepts entre différents sujets.
	Les oscillations électromagnétiques peuvent être maintenues en utilisant une alimentation en AC qui introduit continuellement de l'énergie dans les circuits RLC			
	Résonance et fréquence naturelle d'un oscillateur LC $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L C}}$	Utiliser un modèle conceptuel d'un circuit RLC en série pour faire le lien entre la fréquence d'excitation et la réponse des oscillations du courant électrique dans le circuit. (Limite de contenu : les élèves doivent utiliser l'analogie d'un oscillateur mécanique pour arriver à la fréquence naturelle du circuit LC. D'autres caractéristiques, telles que l'impédance, ne sont pas étudiées).		

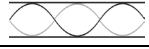
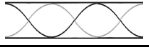
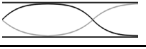
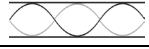
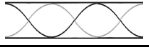
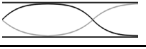
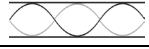
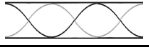
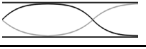
Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Description des ondes	Onde comme propagation d'une oscillation dans l'espace avec les caractéristiques suivantes : période T, fréquence $f = 1/T$, longueur d'onde λ, amplitude A, déplacement $y(x, t)$, phase φ, vitesse de propagation d'une onde $v = f \lambda$ Ondes longitudinales et transversales	Identifier les ondes dans le monde qui nous entoure. Trouver et décrire les similitudes et les différences dans le comportement et les caractéristiques des ondes. Expliquer comment l'énergie est transférée par une onde progressive sans transport de matière dans un système d'oscillateurs couplés. Utiliser un modèle d'ondes pour expliquer la différence entre une onde transversale et une onde longitudinale.	   	Les cordes, les cuves à ondes, les haut-parleurs, etc. sont utiles pour illustrer et clarifier. La simulation informatique peut également être utilisée. Mesures de la vitesse du son. Un long ressort pour illustrer les ondes transversales par rapport aux ondes longitudinales. Contexte : tremblement de terre avec des ondes primaires et secondaires.
Équation de l'onde sinusoïdale	Ondes sinusoïdales en fonction du temps $y(t)$ et de l'espace $y(x)$ et expression mathématique $y(x, t) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$	Construire et interpréter les représentations graphiques d'une onde sinusoïdale de manière à distinguer les caractéristiques temporelles, $y(t)$ et spatiale, $y(x)$, de l'onde. Distinguer la vitesse de propagation et la vitesse d'oscillation en fonction du temps d'un des oscillateurs couplés	 	Utilisation de la différenciation pour trouver la vitesse et l'accélération d'un oscillateur. Les simulations informatiques et les applications de géométrie dynamique telles que GeoGebra sont utiles pour rendre les mathématiques plus concrètes pour les élèves. Les élèves peuvent taper la fonction d'onde et observer ce qui se passe dans l'espace $y-t$, et $y-x$.

Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Effet Doppler	Effet Doppler des ondes mécaniques $f_{observer} = f_{source} \left(\frac{v \pm u_{obs}}{v} \right)$ $f_{observer} = f_{source} \left(\frac{v}{v \pm u_{source}} \right)$ Effet Doppler des ondes électromagnétiques	Utiliser des arguments mathématiques et physiques pour obtenir les formules de l'effet Doppler et les utiliser . Identifier des exemples de l'effet Doppler dans la nature et la technologie et les expliquer .		Exemples de l'effet Doppler : ambulance, imagerie Doppler, utilisation par les chauves-souris pour chasser, rotation du Soleil, radar de vitesse par effet Doppler.

Année S6	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Propriétés des ondes	Superposition des ondes	Identifier des exemples de superposition d'ondes.		La superposition pourrait être illustrée à l'aide d'une machine à ondes de Shive, de longues cordes, de haut-parleurs (battements et interférences). Des oscilloscopes ou des enregistreurs de données peuvent être utilisés pour analyser les fréquences composant des sons.
	Principe de Huygens	Utiliser des représentations géométriques pour montrer les propriétés des ondes telles que la réflexion et la réfraction.		Utiliser une cuve à ondes avec des générateurs d'ondes pour illustrer la réflexion, la réfraction, la diffraction, la superposition. L'analyse et la synthèse de Fourier peuvent être présentées dans ce contexte.
	Réflexion $\alpha_{\text{incidence}} = \alpha_{\text{réflexion}}$	Résoudre des problèmes quantitatifs simples impliquant la réflexion et la réfraction de la lumière.		
	Réfraction $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$	Identifier des exemples de réflexion et de réfraction d'ondes et les expliquer en termes de changements de direction et/ou de vitesse.	 	Loi de Snell-Descartes, angle critique et Réflexion Interne Totale : exemples et expériences. Sondage de la structure interne de la Terre par l'analyse de la propagation des ondes sismiques. Prospection géologique
	Dispersion	Décrire la dépendance, dans les milieux dispersifs, de l'indice de réfraction par rapport à la longueur d'onde.		Faire des recherches sur des exemples tels que les arcs-en-ciel et les prismes.

• Année scolaire S7

Année S7	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques ; S6 : oscillations et ondes		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Propriétés des ondes	Diffraction La formule de la double fente de Young (Ondes provenant des deux sources ponctuelles cohérentes)^ $\frac{\Delta y}{D} = \frac{\lambda}{d}$ Formule du réseau $n \lambda = d \sin \alpha_n$	Expliquer qualitativement la propagation d'une onde autour d'un obstacle ou à travers une fente en utilisant le principe de Huygens et sa dépendance par rapport à la longueur d'onde. Expliquer le schéma des minima et des maxima dans les expériences de double fente. Planifier, réaliser et analyser l'expérience de la double fente afin de simuler des méthodes de travail et de pensée scientifiques. Déduire les formules de la colonne de contenu et discuter des approximations et des limites des méthodes utilisées.	  	Fente unique pour introduire la diffraction. Mesurer la longueur d'onde Utiliser des applets pour faciliter la compréhension. Effet de réseau d'un DVD Spectromètre.
	Ondes stationnaires	Décrire que deux ondes, de fréquence et d'amplitude égales, se déplaçant dans des directions opposées, se superposent pour former une onde stationnaire. Définir les termes "nœud" et "ventre" et les utiliser pour décrire des ondes stationnaires. Indiquer que la distance entre des nœuds (ou des ventres) successifs est $d = \lambda/2$.	 	Concept des ondes stationnaires : Tuyaux d'orgue et autres instruments à vent et à cordes. Explorer les sons musicaux produits par les instruments à cordes ou à vent ainsi que les résonances émergentes dues aux caractéristiques physiques de l'instrument.

Année S7	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques ; S6 : oscillations et ondes																
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés															
	Conditions aux limites : ondes mécaniques sur une corde et ondes sonores dans un tuyau de longueur L $L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$ $L = n \frac{\lambda}{4}, \quad n = 1, 3, 5, \dots$ Attention : il faut faire attention car l'utilisation des termes anglais de «harmonic» et de «overtone» varie selon les langues; «overtone» n'existe pas dans certaines langues comme le français.	Expliquer comment une onde stationnaire ne se forme que - sur une corde de longueur L fixée aux deux extrémités ou dans un tuyau dont les deux extrémités sont fermées ou ouvertes si un multiple entier de $\lambda/2$ s'inscrit dans L - dans un tuyau dont une extrémité est ouverte et l'autre fermée si un multiple impair de $\lambda/4$ s'inscrit dans L. Résoudre des problèmes numériques impliquant différents modes de vibration des ondes stationnaires sur des cordes ou dans des tuyaux. Identifier les modes de résonance à partir de diagrammes de déplacement par rapport à la distance et dessiner un tel diagramme pour une fréquence de résonance donnée. <table><tr><td>Cordes et tuyaux fermés aux deux extrémités</td><td>Les tuyaux sont ouverts aux deux extrémités</td><td>Tuyaux aux extrémités différentes</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>...</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="3">...</td></tr></table>	Cordes et tuyaux fermés aux deux extrémités	Les tuyaux sont ouverts aux deux extrémités	Tuyaux aux extrémités différentes						...				...			 Expériences visant à montrer la dépendance des fréquences de résonance d'une corde ou d'un fil tendu(e) par rapport à la masse linéaire, la tension et la longueur de la corde (expérience de Melde).  Pour les ondes stationnaires dans les tuyaux : des expériences avec des diapasons peuvent être menées et le tube de Kundt peut être utilisé pour déterminer la vitesse des ondes sonores.  Les outils informatiques offrent des possibilités utiles pour explorer l'analyse de Fourier des fréquences dans une superposition complexe d'ondes comme un son musical.  Généralisations à 2 ou 3 dimensions peuvent être explorées comme les cymbales, les tambours et autres membranes.
Cordes et tuyaux fermés aux deux extrémités	Les tuyaux sont ouverts aux deux extrémités	Tuyaux aux extrémités différentes																
																		
		...																
																		
...																		

Année S7	Chapitre : Oscillations et Ondes	Prérequis : S4 : Oscillateurs, énergies potentielle et cinétique, circuits électriques ; S6 : oscillations et ondes		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Ondes électromagnétiques	Caractéristiques des ondes électromagnétiques - Les champs E et B oscillent perpendiculairement l'un par rapport à l'autre - Vitesse de la lumière - Les ondes sont transversales par rapport à la direction de propagation de l'énergie Principales régions du spectre électromagnétique : radio, micro-ondes, infrarouge, visible, ultraviolet, rayons X et gamma	Indiquer qu'une charge qui accélère émet une onde électromagnétique. Décrire la propagation des champs oscillants E et B d'une antenne lorsqu'une tension alternative est appliquée aux extrémités. Comparer les interactions avec la matière des ondes électromagnétiques dans différentes parties du spectre afin de les classer selon leur région. Mettre en relation différentes régions du spectre électromagnétique avec différentes applications et phénomènes naturels.	    	On peut discuter de divers exemples de la manière dont une onde électromagnétique est produite par l'accélération des charges. Des animations peuvent être utilisées pour illustrer le dipôle de Hertz. Expériences historiques pour mesurer la vitesse de la lumière, par exemple, appareil de Rømer, Fizeau ou interférométrie. Expérience du miroir de Fresnel. Antenne dipolaire et fours à micro-ondes : exemples d'ondes électromagnétiques stationnaires. Discussion critique sur les risques associés aux différentes régions du spectre de rayonnement électromagnétique : lesquels sont réels et lesquels sont des mythes populaires.

Année S7	Chapitre : Champs	Prérequis : S6 : Champs électriques, magnétiques et gravitationnels, intensité des champs, forces dans les champs, mouvement rectiligne et circulaire, cinématique des objets et orbites		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Potentiel électrique	Potentiel électrique V en un point La différence de potentiel est la variation de l'énergie potentielle d'une unité de charge positive se déplaçant entre deux points du champ. $\Delta V = \frac{\Delta E_p}{q}$	Définir le potentiel électrique à une position r comme le travail nécessaire pour prendre une charge positive unitaire d'un point de référence où $V = 0$ à la position r dans le champ. Décrire et expliquer la relation entre les lignes de force et les équipotentiels.		
	Potentiel dans le champ radial d'une charge ponctuelle Q à une distance r de la charge $V = k \frac{Q}{r}$ Equipotentiels	Déterminer le potentiel dans un champ radial et des champs uniformes. Rappeler que V est posé égal à 0 à une distance infinie de Q (à $r = \infty$). Expliquer le phénomène et calculer sur base de cette convention. Calculer l'énergie potentielle d'une charge dans un champ radial ou dans un champ uniforme. Mettre en rapport le travail de la force électrique avec le mouvement à travers des équipotentiels.	 	Des néons fluorescents placés sous des lignes électriques. Simulations et expériences sur ordinateur (comme la cartographie sur papier conducteur) pour montrer visuellement les lignes et surfaces équipotentiels. Relier ce concept aux courbes de niveau sur les cartes.
	Travail lors du déplacement d'une charge dans un champ électrique homogène : $W = Q U$	Appliquer la conservation d'énergie au potentiel électrique.		

Année S7	Chapitre : Champs	Prérequis : S6 : Champs électriques, magnétiques et gravitationnels, intensité des champs, forces dans les champs, mouvement rectiligne et circulaire, cinématique des objets et orbites		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Induction électromagnétique $\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ où ε est la force électromotrice (FEM) (Pour un solénoïde, le flux à travers une seule spire doit être multiplié par le nombre de spires). Une bobine traversée par un courant variable produit un champ B variable proportionnel au courant, de sorte qu'une force électromotrice est induite à travers elle. Loi de Lenz-Faraday	Concevoir des expériences pour étudier une relation causale entre un champ magnétique variable et un courant électrique. Expliquer des observations en termes d'induction électromagnétique et discuter du transfert et de la conservation de l'énergie. Faire le lien entre ces explications concernant le transfert d'énergie entre des systèmes et le fonctionnement d'appareils de la vie quotidienne. Utiliser des modèles de lignes de champ pour expliquer pourquoi une bobine de fil en rotation dans un champ magnétique externe produit un modèle prévisible de courant électrique variable dans le fil. Effectuer des expériences pour étudier, qualitativement et quantitativement, la tension aux bornes d'une bobine lorsqu'un courant variable la traverse. Expliquer les observations en termes de lois de l'induction électromagnétique, en particulier la loi de Lenz-Faraday.	Des exemples d'induction électromagnétique tels que les générateurs à bobines rotatives, les guitares électriques, le transformateur, les détecteurs de métaux pourraient être étudiés. Les avantages et les inconvénients des courants de Foucault pourraient être discutés. Les exemples incluent les tables de cuisson à induction, un transformateur, l'amortissement et le freinage électromagnétique. La signification physique de L n'est pas nécessaire à ce stade, mais pourrait être explorée en faisant varier les dimensions de la bobine. Les similitudes et les différences entre le rôle d'un diélectrique dans les condensateurs et le rôle du noyau de fer dans un inducteur sont intéressantes à discuter.	

Année S7	Chapitre : Champs	Prérequis : S6 : Champs électriques, magnétiques et gravitationnels, intensité des champs, forces dans les champs, mouvement rectiligne et circulaire, cinématique des objets et orbites		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Champ Gravitationnel	Potentiel gravitationnel La différence de potentiel est la variation de l'énergie potentielle d'une unité de masse se déplaçant entre deux points du champ $\Delta V = \frac{\Delta E_p}{m}$ Potentiel dans un champ radial à une distance r de la masse $V(r) = -G \frac{M}{r}$ Variation de l'énergie potentielle dans un champ gravitationnel uniforme $\Delta E_p = m g \Delta h$ Equipotentielles	Définir le potentiel gravitationnel en un point de position r dans le champ comme le travail nécessaire pour amener une masse unitaire d'un point de référence où $V = 0$ à cette position r. Déterminer le potentiel dans des champs radiaux et des champs uniformes. Réviser les mouvements dans un champ gravitationnel radial. Comprendre le concept de la vitesse d'échappement. Effectuer des expériences pour déterminer l'énergie transférée vers ou depuis un champ gravitationnel uniforme lorsque la distance entre la Terre et l'objet varie. Établir une relation entre le travail de la force gravitationnelle et le mouvement à travers les équipotentiels.	Discussion sur « l'apesanteur » en orbite. Généralisation possible avec la résolution de problèmes à 3 masses et la superposition des champs. Simulations informatiques et autres visualisations des champs gravitationnels et des surfaces équipotentiels. Relier ce concept aux courbes de niveau sur les cartes.	

Année S7	Chapitre : Physique quantique	Prérequis : S5 : structure de la matière ; S6 : Travail, énergie, quantité de mouvement, oscillations et résonance ; S7 : ondes, ondes stationnaires, spectre électromagnétique.		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
Comportement des ondes comme des particules	Le concept du photon. Énergie du photon. $E = hf$ où h est la constante de Planck L'effet photoélectrique des surfaces métalliques L'équation d'Einstein $E_K = hf - W_0$ La fréquence seuil f_0 Attention : Une traduction exacte de « potentiel d'arrêt » n'existe pas dans quelques langues.	Utiliser le terme photon pour décrire la quantification de l'énergie électromagnétique. Appliquer la formule pour calculer l'énergie, la fréquence et la longueur d'onde des photons. Donner la signification de l'intensité et de la fréquence de la lumière sur les photoélectrons et les mettre en relation avec les principales observations expérimentales, p. ex. courant photoélectrique. Comparer les prédictions d'un modèle de particules avec celles d'un modèle d'ondes lorsqu'elles sont appliquées aux observations de l'effet photoélectrique. Discuter de la validité de chaque modèle. Identifier E_K dans l'équation d'Einstein comme l'énergie cinétique maximale des photoélectrons et définir W_0 comme le travail effectué pour libérer un électron de la surface photoémissive. Analyser les données et interpréter les graphiques qui confirment la relation entre l'énergie cinétique d'un photoélectron et la fréquence de la lumière.	 D'autres exemples de quanta d'ondes pourraient être introduits, comme les phonons.  Effet photoélectrique : examen de la décharge d'un électroscope lors de l'exposition à un rayonnement.  D'autres aspects et applications de l'effet photoélectrique, tels que le courant de saturation et l'efficacité quantique, peuvent être étudiés.  Méthode du potentiel d'arrêt : mesure de la fréquence seuil, du travail d'extraction et de la constante de Planck sur différentes surfaces métalliques. Des simulations informatiques et des vidéos sont disponibles pour aider les étudiants à comprendre ces concepts et à simuler l'expérience classique.	

Année S7	Chapitre : Physique quantique	Prérequis : S5 : structure de la matière ; S6 : Travail, énergie, quantité de mouvement, oscillations et résonance ; S7 : ondes, ondes stationnaires, spectre électromagnétique.		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Quantité de mouvement des photons $p_{\text{photon}} = \frac{h}{\lambda}$ L'effet Compton	Interpréter les observations de la littérature ou des simulations informatiques en utilisant la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie pour expliquer le décalage de fréquence observé dans les photons des rayons X et le gain de la quantité de mouvement qui en résulte pour les électrons. Indiquer que les résultats impliquent que les photons possèdent une quantité de mouvement.	 	Des exemples dans la technologie et dans la nature peuvent être étudiés, tels que les voiles légères, la pression de radiation dans une étoile, les techniques de fusion par confinement inertiel et le refroidissement par laser, etc. Les simulations sur ordinateur sont utiles pour rendre l'expérience plus concrète pour les étudiants lorsqu'il n'est pas possible d'accéder aux expériences réelles.
Comportement des particules comme des ondes	Hypothèse de de Broglie « toute particule ou objet en mouvement est associé à une onde » $\lambda = \frac{h}{p}$ L'électron comme exemple d'onde de particule. Démontré par • Diffraction des électrons par un réseau cristallin • Superposition d'électrons dans une expérience de la double fente	Extrapoler à partir du comportement dual du photon pour prédire le comportement dual d'une particule. Rassembler des exemples et des preuves tirés de documents, d'expériences ou de simulations informatiques. Comparer et opposer les preuves du comportement de particule et du comportement d'onde de la matière.	  	Tube à diffraction d'électrons : des mesures quantitatives pourraient être effectuées en utilisant l'équation des maxima de diffraction : $2 d \sin \alpha = k \lambda$. Applications de la cristallographie pour déterminer la structure des matériaux. Le microscope électronique à transmission fournit un exemple d'application réelle du comportement ondulatoire des particules.

Année S7	Chapitre : Physique quantique	Prérequis : S5 : structure de la matière ; S6 : Travail, énergie, quantité de mouvement, oscillations et résonance ; S7 : ondes, ondes stationnaires, spectre électromagnétique.		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
La dualité onde-particule	Principe d'incertitude de Heisenberg $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ $\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$ Comportement stochastique des objets quantiques avec une référence particulière à : - figures d'interférence des photons et des électrons - effet tunnel - description de la fonction d'onde des objets quantiques. Objets quantiques à considérer : photons et électrons.	Examiner les conséquences du principe d'incertitude en termes de mesure et d'information sur l'état d'un système. Expliquer la figure d'interférence observée lorsque la lumière (laser) ou les électrons passent à travers une double fente, en vous basant sur la nature stochastique des objets quantiques. Établir, à l'aide d'un argument mathématique, l'affirmation selon laquelle la quantité de mouvement et la position d'un objet quantique ne peuvent pas être exactement connues simultanément.	Des expériences à double fente : Les trois expériences (historiques) à double fente suivantes permettent de revisiter les photons et les électrons en tant qu'objets quantiques : - L'expérience de Young (1800) : Lumière (laser) de haute intensité, support majeur de la théorie des ondes de la lumière ; - Expérience de Taylor (1909) : Lumière de faible intensité ; la source originale "Interference Frings with feeble light" peut être lue par des lycéens ; - Expérience de Jönsson (1960) : Interférence des électrons ; l'expérience peut être comprise en utilisant des simulations informatiques ou les données expérimentales de la publication originale de Jönsson. L'expérience à fente unique peut être utilisée comme analogie pour démontrer la relation entre les variables dans le principe d'incertitude de Heisenberg.	

Année S7	Chapitre : Physique quantique	Prérequis : S5 : structure de la matière ; S6 : Travail, énergie, quantité de mouvement, oscillations et résonance ; S7 : ondes, ondes stationnaires, spectre électromagnétique.		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Les implications de la non-localité quantique pour le déterminisme et la causalité Le principe de la correspondance	Raisonnement fondé sur la preuve que la mesure d'une propriété d'un objet quantique a des implications et des conséquences non locales pour la compréhension classique de la relation de cause à effet. Discuter du passage d'un nombre plus faible d'objets quantiques à un nombre plus élevé d'objets quantiques (c'est-à-dire le passage à la physique macroscopique).	Un contexte (historique) approprié pour discuter des implications de la non-localité sur notre compréhension de la physique est le paradoxe formulé par Einstein, Podolski et Rosen ; ce contexte offre également l'occasion de débattre des aspects de la nature de la science et de faire le pont avec la physique moderne. Expérience Einstein-Podolski-Rosen. Intrication quantique. Les enseignants doivent faire des recherches sur les textes et les ressources à l'intention des élèves et encourager la lecture et l'apprentissage.	
Modèle quantique de l'atome	États énergétiques d'un objet quantique de masse m dans un puits de potentiel carré unidimensionnel infini de largeur L $E_n = \frac{h^2}{8 m L^2} n^2$ L'état fondamental du système est défini comme l'état le plus bas du système, $n = 1$. Les états $n > 1$ sont appelés les états excités du système.	Établir l'équation des niveaux d'énergie d'un objet quantique dans un puits de potentiel infini unidimensionnel.	Certaines molécules organiques ont un potentiel qui se rapproche du carré et pourraient être mentionnées pour illustrer le sujet.	

Année S7	Chapitre : Physique quantique	Prérequis : S5 : structure de la matière ; S6 : Travail, énergie, quantité de mouvement, oscillations et résonance ; S7 : ondes, ondes stationnaires, spectre électromagnétique.		
Sujet	Contenu	Objectifs pédagogiques	Concepts, phénomènes et activités clés	
	Des potentiels réalistes Les états énergétiques de l'atome d'hydrogène $E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$ Emission et absorption de la lumière, quantification de l'énergie, spectres de raies $W = hf = E_n - E_m $	Expliquer comment la preuve des spectres de raies et la connaissance du potentiel de Coulomb suggèrent que les états d'énergie dans les atomes sont discrets. Analyser et interpréter des données pour en déduire les structures des niveaux d'énergie.	    	L'expérience de Franck-Hertz a été déterminante pour confirmer spécifiquement la quantification de l'énergie dans l'atome. Il est recommandé de réaliser l'expérience avec des étudiants. Le spectre caractéristique des rayons X des métaux fournit des preuves supplémentaires de la quantification de l'atome. Discuter du puits fini et de la région classiquement interdite. Ceux-ci peuvent être utilement étudiés par le biais de simulations sur ordinateur. Dans la mesure du possible, les étudiants doivent avoir la possibilité de travailler avec des données réelles, par exemple sur la série spectrale de l'hydrogène. Identifier les liens entre la spectrométrie et la chimie. Examiner comment les colorants produisent leurs couleurs.
	Autres nombres quantiques ($l, m, s, \dots$) et le principe d'exclusion de Pauli	Expliquer la structure du tableau périodique basé sur les nombres quantiques et le principe d'exclusion de Pauli		Établir des liens avec les orbitales.

4.3. Nombre de périodes

Les tableaux ci-dessus pour S6-S7 ne donnent pas le nombre d'heures consacrées par l'enseignant, car le temps d'enseignement ne dépend pas seulement du contenu, mais aussi de la compétence enseignée.

Le tableau ci-dessous ne donne que des périodes approximatives, ces dernières n'étant données qu'à titre indicatif. Ces nombres sont estimés en prenant en compte les périodes dédiées aux projets, aux voyages scolaires, ...

Chapitre	Sujet	Périodes en S6	Périodes en S7	Total
Champs	Champ électrique	10	6	16
	Champ magnétique	8	8	16
	Champ gravitationnel	10	6	16
Interactions	Accélération uniforme	20		20
	Mouvement circulaire uniforme	12		12
Oscillations et Ondes	Oscillations harmoniques	20		20
	Description des ondes, équation d'onde	8		8
	Effet Doppler	4		4
	Comportement des ondes	8	10	18
	Ondes stationnaires		14	14
	Ondes électromagnétiques		4	4
Physique quantique	Comportement des ondes comme des particules		14	14
	Comportement des particules comme des ondes		8	8
	Dualité onde-particule		8	8
	Modèle quantique de l'atome		14	14
	Somme	100	92	192

5. Evaluation

Pour chaque niveau, il existe des critères de réussite qui sont énumérés dans le tableau ci-dessous et expliqués pour chaque compétence. Ils donnent une idée du niveau que les élèves doivent atteindre. Ils donnent également une idée du type d'évaluation qui peut être faite. Les élèves doivent être évalués de diverses manières tout au long de l'année, afin d'obtenir pour chaque élève une vue d'ensemble de ses acquis, de ses points forts, et des domaines dans lesquels il doit poursuivre son travail.

L'évaluation est sommative lorsqu'elle sert à évaluer l'apprentissage des élèves à la fin du processus pédagogique ou d'une période d'apprentissage. L'objectif est de synthétiser les acquis des élèves et de déterminer si, et dans quelle mesure, les élèves ont pu démontrer la compréhension de cet apprentissage. Une évaluation sommative évalue l'apprentissage de l'élève lors des examens de fin de période.

L'évaluation est formative lorsque des procédures formelles ou informelles sont utilisées pour recueillir des preuves de l'apprentissage au cours du processus de formation et sont utilisées pour adapter l'enseignement aux besoins des élèves. Ce processus permet aux enseignants et aux élèves de recueillir des informations sur les progrès des élèves et de suggérer des ajustements sur l'approche de l'instruction adoptée par l'enseignant et sur l'approche de l'élève vis-à-vis de l'apprentissage.

L'évaluation formative a lieu au cours de presque toutes les leçons de l'année scolaire et devrait comprendre les éléments suivants :

- Des rapports de laboratoire ;
- Des présentations ;
- Des tests portant sur le contenu de la matière ;
- Des tests portant sur les savoir-faire pratiques ;
- L'autoévaluation et l'évaluation par les pairs.

Les compétences sont exprimées dans le tableau sous la forme d'un ensemble de verbes qui donnent une idée du type d'évaluation qui peut être utilisé pour chaque objectif. Ces verbes sont utilisés et mis en gras dans le tableau des objectifs d'apprentissage, de sorte qu'il y a un lien direct entre les compétences et les objectifs d'apprentissage.

L'évaluation de la connaissance du contenu peut se faire par des questions écrites auxquelles l'élève doit répondre. Cela peut se faire en partie par des questions à choix multiples, mais les compétences comme l'élaboration d'explications et l'argumentation ainsi que les compétences clés comme la communication et la compétence mathématique nécessitent des questions ouvertes ou d'autres moyens d'évaluation.

Un devoir pour lequel les élèves doivent utiliser leurs connaissances factuelles afin de rédiger un article ou de concevoir une affiche sur un sujet (plus vaste) peut aussi servir à juger de leur capacité d'analyser les données de façon critique, d'utiliser des concepts dans des situations inhabituelles et de communiquer de façon logique et concise sur le sujet en question.

Les élèves doivent être capables de faire des recherches (expérimentales). Un exercice de recherche (ouverte) devrait faire partie des évaluations. L'évaluation de la conception et de la recherche peut être combinée avec d'autres sujets d'évaluation.

La compétence numérique peut être évaluée par un travail sur des feuilles de calcul, la collecte d'informations sur Internet, la mesure de données à l'aide de programmes et de matériel de mesure, la modélisation de la théorie sur ordinateur et la comparaison des résultats d'un modèle avec des données mesurées. Il convient de combiner donc cette évaluation avec d'autres évaluations lorsque cette compétence est nécessaire.

Structure du document pour l'examen écrit de PHYSIQUE

Temps total alloué pour l'examen écrit en Physique : 3 heures (180 minutes).

La structure globale de l'examen écrit du Baccalauréat consiste en 4 questions, divisées en plusieurs sous-questions :

- Q 1** : Champs (25 points),
- Q 2** : Oscillations et Ondes (25 points)
- Q 3** : Physique quantique (25 points)
- Q 4** : Sujets mixtes (25 points)

Les compétences sont regroupées dans les quatre domaines de compétences suivants, avec la pondération indiquée :

- Connaissance et Compréhension ($\pm 36\%$)
- Application ($\pm 36\%$)
- Analyse et Evaluation ($\pm 16\%$)
- Communication Ecrite ($\pm 12\%$).

Pour chaque sujet, une déviation de maximum 6% (1,5 point) du nombre de points total pour ce domaine sera tolérée, pour autant que le nombre total de points (25 points) soit respecté pour chaque question. Il faudra autant que possible ne pas excéder 4% (1 point) de déviation.

Contenu des Questions Ecrites du Baccalauréat

Les questions pour l'examen écrit du Baccalauréat sont basées sur le programme de physique de 7^{ème} année, mais elles peuvent faire appel à des connaissances acquises plus tôt. La matière couverte uniquement dans les sections optionnelles du programme ne sera pas supposée connue.

Les questions devraient avoir un bon équilibre entre les différents éléments, sans trop de restitution pure ni trop de réflexion originale poussée. Elles devraient examiner essentiellement la compréhension générale des principes de physique, et pas les capacités de mémoire ou les facultés d'appliquer sommairement des formules.

Les questions ne devraient pas être longues au point de décourager les élèves dans leur tâche de lecture approfondie et de compréhension du contenu. C'est d'autant plus important pour les élèves qui travailleront dans une langue étrangère de par la difficulté d'ouvrir des options dans des sections pour des langues moins importantes.

Les candidats répondent à ces 4 questions en utilisant une page différente pour chaque question. Les réponses doivent être appuyées par des explications. Ils doivent montrer le raisonnement derrière les résultats ou les solutions donnés. Si des graphiques sont utilisés pour trouver une solution, ils doivent être esquissés en tant que partie de la réponse. Sauf indication contraire, la totalité des points ne sera pas attribuée si une réponse correcte n'est pas accompagnée par des preuves à l'appui ou par des explications sur comment la solution a été atteinte. Quand la réponse fournie n'est pas correcte, certains points peuvent être attribués s'il est montré qu'une méthode appropriée ou une approche correcte a été utilisée.

Les outils IT autorisés durant l'examen sont définis dans un document séparé approuvé par le JTC.

Examen Oral du Baccalauréat

- Les examens oraux ne peuvent être considérés comme une répétition des examens écrits.
- L'examen oral consiste en une présentation qui peut être appuyée par des médias, suivie par une discussion et un entretien d'examen.
- Les candidats disposent de 20 minutes de temps de préparation et l'examen oral ne peut durer plus de 20 minutes.
- Les sujets à travailler lors d'un examen oral sont basés sur S7, et les sujets de S6 peuvent être nécessaires pour répondre à l'examen.
- Les professeurs sont supposés fournir, avec les questions d'examen, la solution ainsi qu'une grille avec les réponses attendues et les points à attribuer.

Pour toute évaluation, l'échelle de cotation des écoles Européennes doit être utilisé, comme décrit dans "*Marking system of the European schools: Guidelines for use*" (Ref.: 2017-05-D-29-en-7).

5.1. Descripteurs des niveaux atteints

	A (9,0-10 – Excellent)	B (8,0-8,9 – Très bon)	C (7,0-7,9 – Bon)	D (6,0-6,9 – Satisfaisant)	E (5,0-5,9 – Suffisant)	F (3,0-4,9 – Insuffisant/Échec)	FX (0-2,9 – Très Insuffisant /Échec)
Connaissances	Démontre une connaissance exhaustive des faits.	Démontre une connaissance complète des faits.	Démontre une connaissance générale des faits.	Possède un niveau de connaissance des faits et définitions assez satisfaisant.	Est capable de se rappeler des noms, des faits et des définitions.	Démontre une faible aptitude à se souvenir des faits.	Très faible aptitude à se souvenir des faits.
Compréhension	Démontre une maîtrise approfondie et une utilisation correcte des concepts et principes scientifiques.	Possède une bonne maîtrise et utilisation des concepts et principes scientifiques.	Possède une bonne compréhension des concepts et principes scientifiques.	Comprend les concepts et principes scientifiques simples.	Comprend, de manière limitée, des concepts et principes scientifiques simples.	Comprend de manière limitée quelques concepts et principes scientifiques.	Montre une très faible compréhension des principes et concepts.
Application	Relie les différentes parties du programme, met en application les concepts afin de résoudre une grande variété de problèmes non préparés et propose des hypothèses appropriées.	Relie certaines parties du programme et met en application les concepts et principes lors de problèmes non préparés.	Est capable d'utiliser ses connaissances pour résoudre des problèmes non préparés.	Est capable d'utiliser ses connaissances lors de problèmes déjà rencontrés.	Est capable de résoudre des problèmes de base ou habituels.	/	/

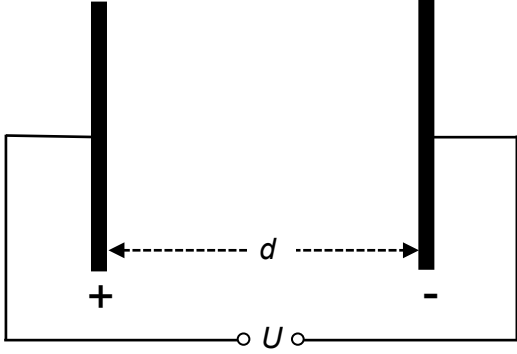
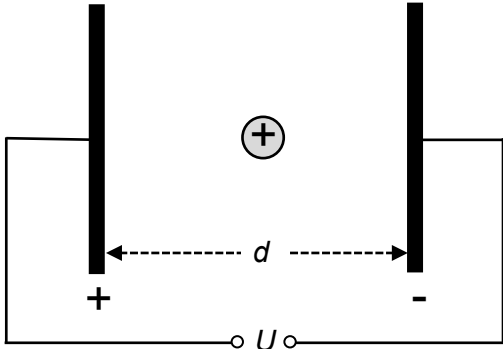
	A (9,0-10 – Excellent)	B (8,0-8,9 – Très bon)	C (7,0-7,9 – Bon)	D (6,0-6,9 – Satisfaisant)	E (5,0-5,9 – Suffisant)	F (3,0-4,9 – Insuffisant/Échec)	FX (0-2,9 – Très Insuffisant /Échec)
Analyse	Analyse des données de façon détaillée et critique afin de les expliquer.	Analyse et explique des données compliquées de manière correcte.	Analyse et explique des données simples.	Analyse et explique de manière rudimentaire des données simples.	Démontre certaines capacités à utiliser les données.	Incapable d'utiliser des données sans une aide considérable.	Ne sait pas utiliser les données de manière adéquate.
Travail expérimental	Formule des hypothèses, prévoit et mène des expériences en utilisant une grande variété de techniques tout en étant attentif aux règles de sécurité et à l'éthique.	Prévoit et mène des expériences en utilisant les techniques appropriées tout en étant attentif aux règles de sécurité.	Sait suivre un protocole écrit et peut rapporter des observations grâce à l'utilisation de plusieurs techniques.	Sait suivre un protocole écrit sans difficulté et rapporte des observations.	Sait suivre un protocole écrit sans difficulté et rapporte des observations simples.	A des difficultés pour respecter des consignes sans supervision.	Ne peut pas suivre un protocole écrit.
Compétences numériques et d'information	Est capable de trouver systématiquement et de manière autonome des informations sur des sujets scientifiques, et d'en évaluer la fiabilité, en ligne et hors ligne.	Est capable de trouver généralement et de manière autonome des informations sur des sujets scientifiques, et d'en évaluer la fiabilité, en ligne et hors ligne.	Est capable de trouver assez souvent et de manière autonome des informations sur des sujets scientifiques, et d'en évaluer la fiabilité, en ligne et hors ligne.	Avec de l'aide, peut trouver et évaluer la fiabilité d'informations sur des sujets scientifiques, en ligne et hors ligne.	Peut récupérer des informations sur des sujets scientifiques lorsqu'il (elle) est dirigé(e) vers des sources fiables, en ligne et hors ligne.	Généralement inapte à trouver ou vérifier la fiabilité d'informations sur des sujets scientifiques, en ligne et hors ligne.	Inapte à trouver ou vérifier la fiabilité d'informations sur des sujets scientifiques, en ligne et hors ligne.

	A (9,0-10 – Excellent)	B (8,0-8,9 – Très bon)	C (7,0-7,9 – Bon)	D (6,0-6,9 – Satisfaisant)	E (5,0-5,9 – Suffisant)	F (3,0-4,9 – Insuffisant/Échec)	FX (0-2,9 – Très Insuffisant /Échec)
Compétences numériques et d'information	Sait utiliser des logiciels appropriés pour réaliser des tâches scientifiques, de manière autonome.	Sait utiliser, avec un peu d'aide, des logiciels appropriés pour des tâches scientifiques.	Sait utiliser, avec de l'aide, des logiciels appropriés pour des tâches scientifiques.	Sait utiliser des logiciels appropriés pour des tâches scientifiques, mais avec une assistance structurée.	Sait suivre des instructions structurées afin d'utiliser des logiciels appropriés pour des tâches scientifiques.	Eprouve de grandes difficultés à utiliser des logiciels appropriés pour les tâches scientifiques même avec de l'aide.	Inapte à utiliser des logiciels appropriés pour les tâches scientifiques, même avec de l'aide.
Communication (orale et écrite)	Communique de manière logique et concise en utilisant la terminologie adéquate. Excelle dans la présentation de ses travaux.	Communique de manière claire en utilisant le vocabulaire scientifique adapté. Présente très bien ses travaux.	Communique clairement la plupart du temps en utilisant le vocabulaire scientifique adapté. . Présente bien ses travaux.	Utilise un vocabulaire scientifique de base et la rédaction a une structure assez satisfaisante. Présente ses travaux de manière satisfaisante.	Utilise un vocabulaire scientifique de base bien que la rédaction puisse manquer de structure ou de clarté. Présente de manière acceptable ses travaux.	Rédige de manière insuffisante ou incomplète en utilisant un vocabulaire scientifique pauvre. Présente ses travaux de manière insuffisante.	Ne sait pas communiquer des informations scientifiques à l'écrit ou oralement.
Travail en groupe	Prend des initiatives – a un rôle de meneur.	Possède un esprit d'équipe constructif.	Possède un bon esprit d'équipe.	Participe de manière satisfaisante au travail d'équipe.	Peut travailler en équipe.	Nécessite une assistance lors d'un travail d'équipe.	Incapable de travailler en équipe.

*) This competence is part of the European Digital Competence Framework (<https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp>)

6. Annexe

6.1. Exemple d'Examen du Baccalauréat

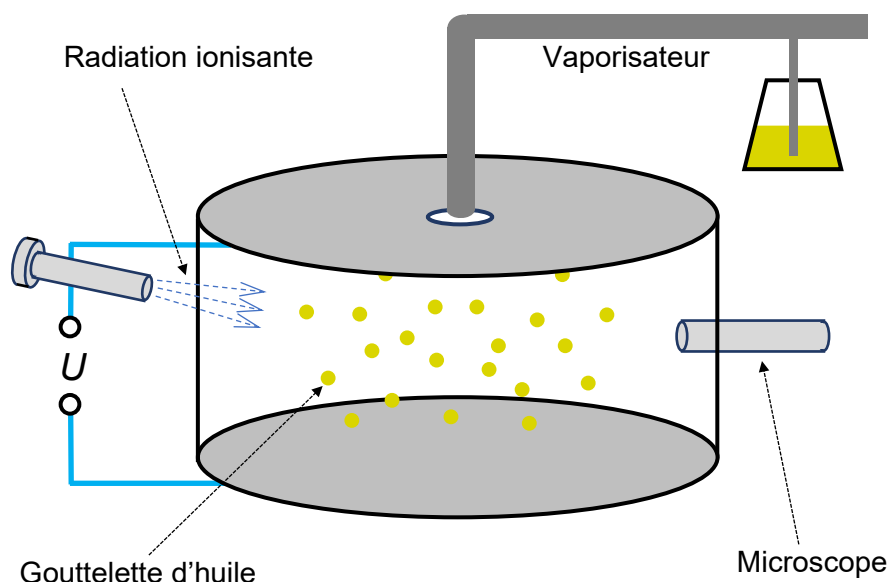
Question 1 : Champs		
	Page 1/3	Barème
a) Un condensateur est chargé jusqu'à obtenir une différence de potentiel U entre les plaques.		
 Le champ électrique entre des corps chargés est caractérisé par les lignes de champ.		
i. Donner trois des caractéristiques décrivant comment les lignes de champ électrique se dessinent entre des surfaces conductrices chargées.		3 points
ii. Copier les deux plaques de la figure ci-dessus et esquissez les lignes de champ et les équipotentielles.		2 points
iii. Une petite balle chargée positivement est maintenant centrée entre les deux plaques.		
		
Recopier les deux plaques et la balle et tracer les lignes de champ.		2 points

Question 1 : Champs

Page 2/3

Barème

- b) Dans son expérience historique, Robert Millikan a déterminé la charge électrique élémentaire en pulvérisant des gouttelettes d'huile dans le champ électrique vertical d'un condensateur.



La goutte peut être observée à l'aide d'un microscope fixé à l'appareil et, selon la différence de potentiel appliquée entre les plaques du condensateur, elle se déplace vers le haut, vers le bas, ou reste immobile.

- i. Décrire comment cette expérience est réalisée, en accordant une attention particulière aux points suivants :
 - le rôle des rayons X ;
 - le rôle du microscope ;
 - les conditions pour qu'une gouttelette puisse se déplacer vers le haut, vers le bas ou rester en suspension.
- ii. Le rayon r de la gouttelette peut être mesuré et permet de calculer sa masse m .

En négligeant la flottabilité, la charge q d'une seule gouttelette d'huile en suspension peut alors être déterminée à l'aide de l'équation

$$q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U},$$

où g est l'accélération de la pesanteur, d la distance entre les plaques et U la tension électrique appliquée.

Démontrer cette équation.

4 points

3 points

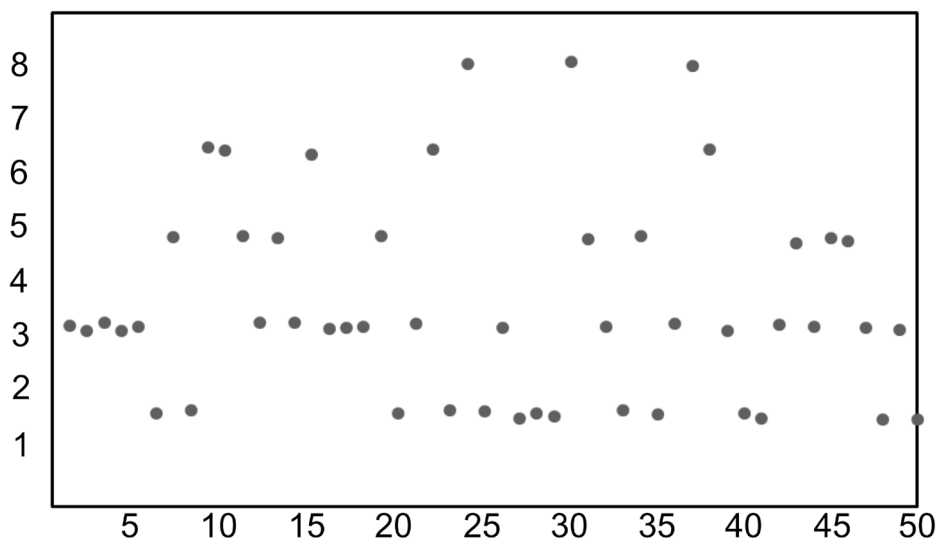
Question 1 : Champs

Page 3/3

Barème

- iii. La figure ci-dessous montre les résultats d'une série de mesures de 50 gouttelettes d'huile.

$Q/10^{-19} \text{ C}$



Interpréter ces résultats.

4 points

- c) Dans une deuxième série d'expériences avec deux plaques distantes de $d = 2,76 \text{ mm}$, les valeurs mesurées pour 6 gouttelettes d'huile ont été enregistrées afin de déterminer la charge électrique élémentaire.

expérience	1	2	3	4	5	6
U / V	52	174	88	117	138	92
$m / 10^{-16} \text{ kg}$	6,16	10,2	15,4	7,05	16,7	22,0

En utilisant la formule donnée dans la partie b)ii (avec $g = 9,81 \text{ ms}^{-1}$), calculer la charge q de chaque gouttelette d'huile, et expliquer (sans calcul) comment trouver la charge électrique élémentaire.

5 points

- d) Expliquer l'importance de l'expérience de Millikan pour le développement de la physique quantique.

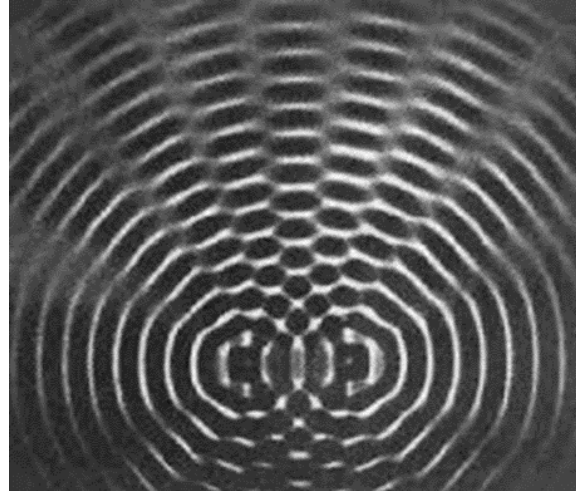
2 points

Question 2: Oscillations et Ondes

Page 1/2

Barème

- a) i.** Dans une cuve-à-ondes, les ondes sont générées par deux sources cohérentes oscillant en phase. Cela crée un modèle d'interférence à la surface de l'eau.



Expliquer l'origine de cette figure d'interférence.

4 points

- ii.** Loin des sources, les maxima d'interférence sont situés (avec une bonne approximation) sur des lignes droites qui passent par le milieu du segment de droite reliant les sources. L'angle α situé entre ces lignes droites et la médiatrice du segment entre les deux sources, est donné par la formule suivante,

$$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda_k}{d}$$

où d est la distance entre les sources.

Démontrer cette formule.

2 points

- iii.** La distance entre les deux générateurs d'ultrasons est $d = 20,0$ mm. L'angle entre les directions des maxima du 0^{ème} et du 1^{er} ordre est de 12° .

(Le spectre des ultrasons commence à environ 20 kHz.)

Montrer que la fréquence des ultrasons est d'environ $f = 82$ kHz.

2 points

- iv.** Justifier, à l'aide de schémas similaires à l'image de la cuve-à-onde ci-dessus, que la modification de la distance d a un impact sur le nombre de maxima observés.

3 points

Question 2: Oscillations et Ondes

	Page 2/2	Barème
b) Les chauves-souris émettent régulièrement de courts signaux sonores dans le spectre des ultrasons et s'orientent par le retour de l'écho des objets ou des proies. Les narines d'une espèce de chauve-souris (le Grand fer à cheval) ne sont distantes que de 2 mm environ. Elle utilise des sons de localisation de $f = 82 \text{ kHz}$, qu'elle émet par ses narines. La célérité du son dans l'air est 340 m s^{-1}. i. Vérifier que seul le maximum d'interférence d'ordre 0 existe. ii. Décrire un inconvénient, pour l'écholocalisation, s'il y avait des maxima d'ordre supérieur. c) i. L'intensité de l'écho est suffisante pour être reconnue par la chauve-souris jusqu'à une distance d'environ 30 m. La chauve-souris vole directement vers la proie avec une vitesse de $u = 15 \text{ km/h}$. Calculez le temps nécessaire au son pour aller et revenir, en tenant compte du mouvement de la chauve-souris. ii. Les navires utilisent également la localisation par écho pour détecter des obstacles tels que des rochers ou d'autres navires, mais ils utilisent des ondes électromagnétiques dans la gamme des micro-ondes (également appelées ondes radar) au lieu d'ondes sonores. 1) Donnez la gamme des longueurs d'onde des micro-ondes. 2) Calculez le temps nécessaire aux ondes radar pour faire un aller-retour entre le navire et un obstacle situé à 3,0 km. Expliquez pourquoi la vitesse du navire (moins de 50 km/h) ne doit pas être prise en compte ici.	 Source (2020-12-23) : https://unsplash.com/photos/_f8lZ0gGS6E	4 points 3 points 4 points 1 point 2 points

Question 3: Physique Quantique

Page 1/2

Barème

- a) Le puits de potentiel aux parois infiniment hautes permet de modéliser la quantification des niveaux d'énergie d'une particule « confinée » dans un espace sans trop d'efforts mathématiques. Les niveaux d'énergie pour un puits de potentiel infini de largeur L sont les suivants :

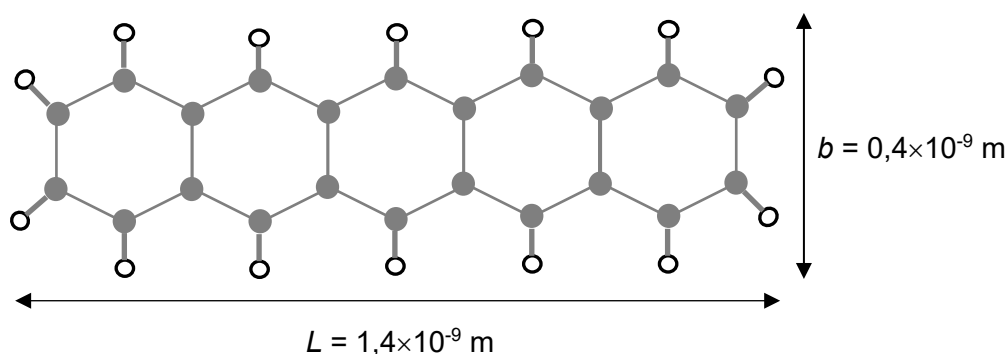
$$E_n = \frac{h^2}{8 m_e L^2} n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- i. Décrire le modèle du puits à potentiel infini et expliquer comment ce modèle explique la quantification de l'énergie.
- ii. Dessiner les ondes de matière pour les trois niveaux les plus bas.

3 points

3 points

- b) Le modèle peut être appliqué à la molécule Pentacène.



- i. En utilisant le principe d'incertitude, expliquer pourquoi l'état d'énergie le plus bas pour la molécule de Pentacène a une énergie supérieure à zéro.
- ii. Pour la molécule de Pentacène, calculer l'énergie de l'état fondamental en eV en raison de la longueur L de cette molécule.

2 points

2 points

Question 3: Physique Quantique		
	Page 2/2	Marks
iii. Déterminer si la longueur d'onde du photon émis à la transition d'un électron de l'état 4 à l'état 2 se situe dans le spectre de la lumière visible. iv. Dans un système quantique, l'énergie totale est donnée par la somme des énergies basées sur les nombres quantiques individuels. Pourquoi la largeur b de la molécule n'affecte-t-elle pas le résultat en question b) iii. ?		5 points
c) Même si les atomes n'ont pas un puits de potentiel infini, les principes physiques du modèle évoqué ci-dessus s'appliquent également à eux. Pour l'atome d'hydrogène, les niveaux d'énergie sont donnés par $E_n = -13,6 \text{ eV} \times \frac{1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$		
i. Expliquer ce qu'est l'énergie d'ionisation.		2 points
ii. Montrer que l'énergie nécessaire pour ioniser un atome d'hydrogène à l'état fondamental est de 13,6 eV.		1 point
iii. Calculer la quantité de mouvement minimale d'un photon qui peut ioniser cet atome d'hydrogène.		3 points
iv. Expliquer s'il peut y avoir une ionisation dans le puits infini.		2 points

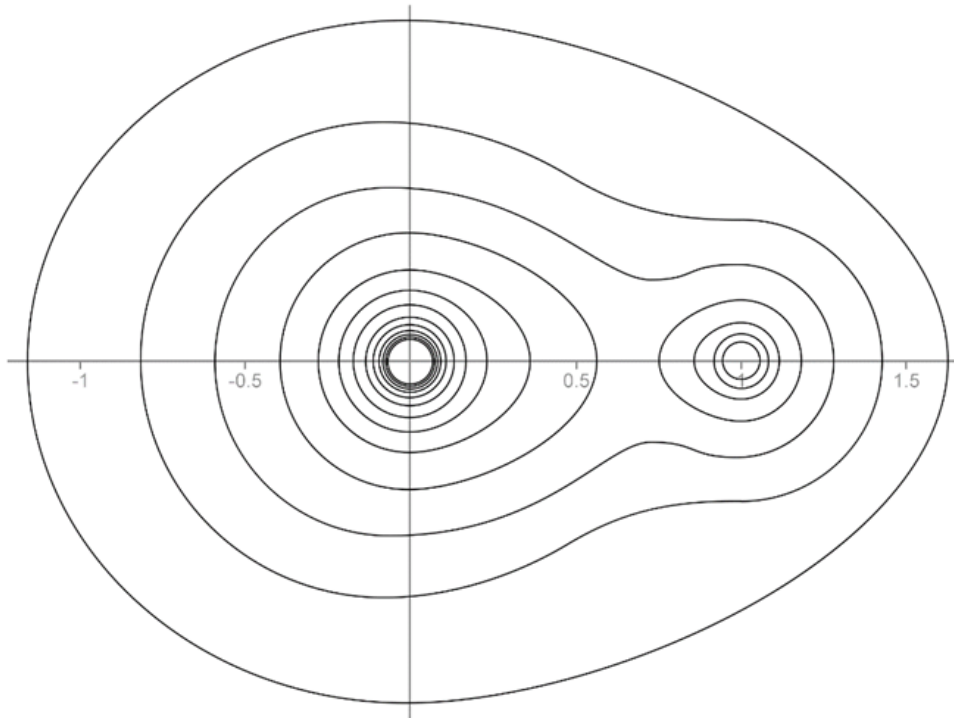
Données :	
Constante de Planck :	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Masse de l'électron :	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Célérité de la lumière dans le vide :	$3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Charge électrique élémentaire :	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Spectre de la lumière visible :	$380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 740 \text{ nm}$

Question 4: Sujets Divers

Page 1/2

Barème

a)



Sur la figure ci-dessus, vous pouvez voir quelques équipotentiels du système Terre-Lune à un moment donné.

- i. Trouver les coordonnées (x,y) de la Terre et de la Lune sur la figure ci-dessus. Justifier.
- ii. Utilisez la figure ci-dessus pour dessiner le potentiel en fonction de la distance de la Terre, sur le segment de droite entre la Terre et la Lune. Sur votre schéma, identifier l'emplacement du point dans l'espace où les forces gravitationnelles de la Terre et de la Lune s'annulent mutuellement (le point zéro).

2 points

4 points

- b)** Afin d'obtenir l'accélération à la surface de la Lune, un astronaute mesure la période d'oscillation T d'un simple pendule de longueur variable L sur la Lune. Il obtient les résultats suivants :

L / m	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600
T / s	2,1	2,8	3,0	3,5	3,8

- i. Tracer un graphique donnant L en fonction de T^2
- ii. Expliquer comment obtenir g_{Lune} à partir de ces valeurs, sachant que

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{Moon}}}}$$

3 points

3 points

Question 4 : Sujets mixtes

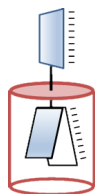
Page 2/2

Barème

c)

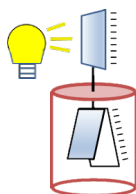
Plaque de
zinc chargée

Electroscope



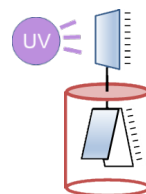
α)

Ampoule
électrique



β)

UV



Sur la figure ci-dessus, deux expériences importantes sont réalisées. Une plaque de zinc est chargée au début des expériences α et β . Dans l'expérience α , une ampoule à incandescence ordinaire est utilisée, et la plaque de zinc reste chargée. Dans l'expérience β , une lampe UV est utilisée et la plaque de zinc se décharge.

i. Cela devait être inquiétant pour les physiciens des années 1900. Expliquer pourquoi.

3 points

ii. Lorsque l'expérience β est répétée mais qu'une vitre en verre est insérée entre la lampe UV et la plaque de zinc chargée, celle-ci reste chargée.

Utiliser cette expérience pour expliquer comment on peut ressentir la chaleur dans une serre mais ne pas attraper de coup de soleil.

2 points

d)

Lorsqu'une onde (mécanique, électromagnétique ou quantique) passe à travers une ouverture, il y a diffraction. L'effet est négligeable si $\lambda \ll d$. Expliquer comment vous ne semblez pas vous diffracter lorsque vous passez une porte.

3 points

e)

i. Le physicien Bohr, dans son modèle de l'atome d'hydrogène, a suggéré que les électrons se déplacent autour du proton sur une orbite circulaire. En physique classique, une charge accélérée émettrait un rayonnement électromagnétique.

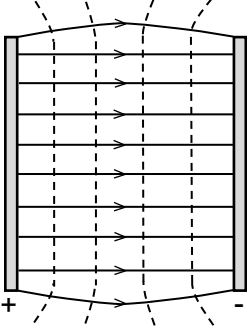
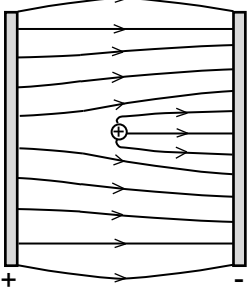
En se basant sur la mécanique classique, décrire le comportement de l'électron dans un atome d'hydrogène.

3 points

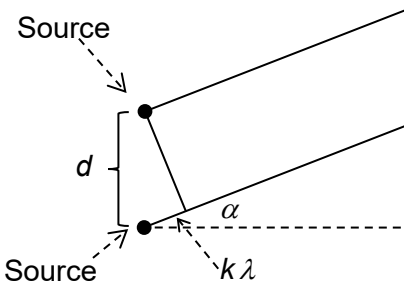
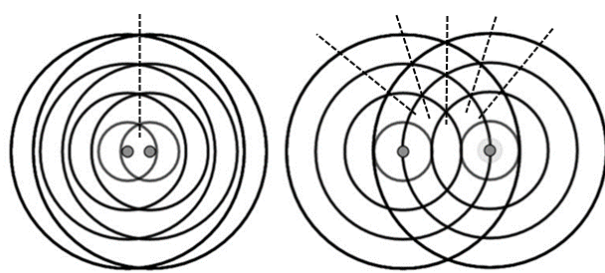
ii. L'atome d'hydrogène est constitué d'un électron et d'un proton, subissant une attraction électrostatique mutuelle. Dans une configuration classique à plus faible énergie, l'électron se trouverait alors directement dans le voisinage immédiat du proton.

Trouver un principe de physique quantique qui interdit à l'électron d'atteindre le proton.

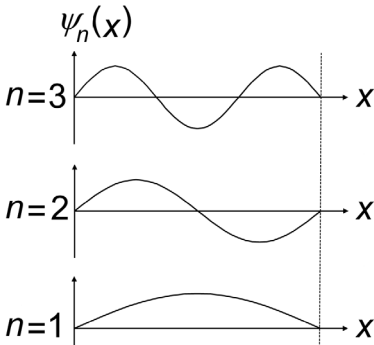
2 points

Solution to Question 1			Champ				
A : Connaissances et Compréhension ; B : Application ; C : Analyse et Evaluation ; W : Communication Ecrite			A	B	C	W	Σ
a)	i.	3 principes doivent être mentionnés, comme par exemple : • Les lignes de champ d'un champ électrique sont perpendiculaires aux surfaces conductrices. • Les lignes de champ ne se croisent pas entre elles. • Les lignes de champ électrique sont orientées des charges positives vers des charges négatives. • Les lignes de champ sont les plus courts chemins entre les surfaces chargées, mais sont situées à la plus grande distance possible des lignes de champs voisines. • - • ...	3				3
	ii.		2				2
	iii.	 Toute solution où au moins une ligne de champ va de la charge supplémentaire à la plaque négative, et où quelques lignes de champ, vont de la plaque positive à la plaque négative en s'éloignant de la charge supplémentaire, doit être acceptée.		1	1		2
b)	i.	Des gouttelettes d'huile sont pulvérisées dans le conteneur. Une gouttelette qui s'enfonce dans le condensateur est irradiée par les rayons X et se charge électriquement. Le microscope permet une observation précise du mouvement des gouttelettes. Si la force gravitationnelle dépasse la force électrique, la gouttelette se déplace vers le bas, sinon elle se déplace vers le haut. Si les deux forces s'annulent, la gouttelette reste en suspension. Cette situation peut être obtenue en ajustant la différence de potentiel entre les plaques du condensateur.	1,5			1	4
			1,5				

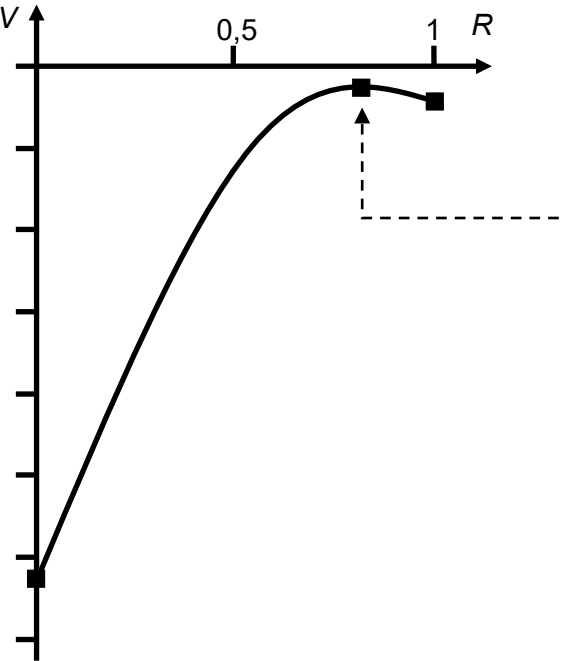
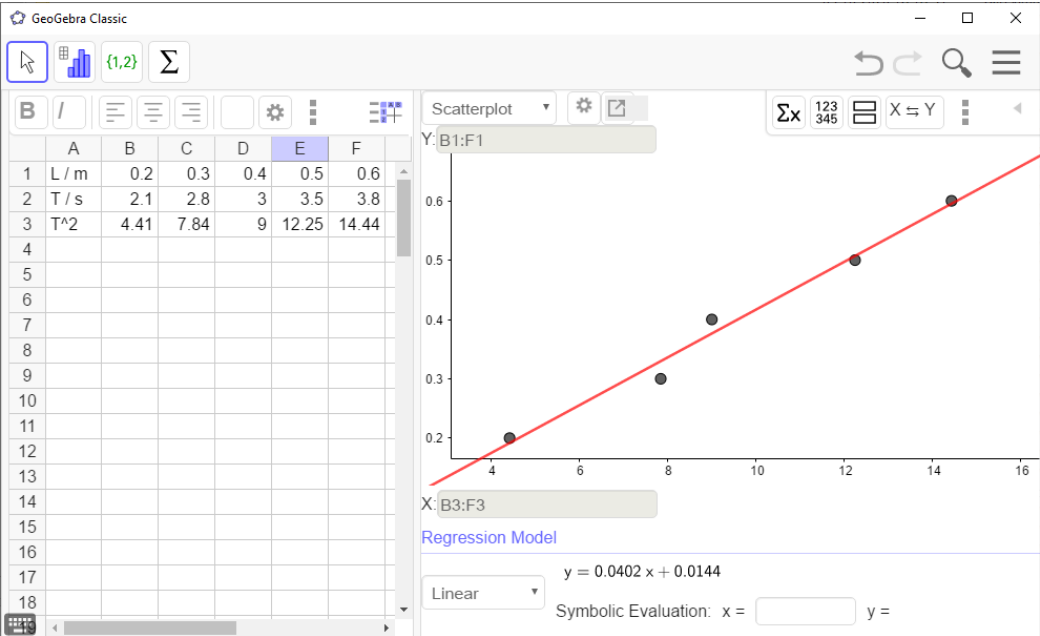
Solution to Question 1							Champ																																																																			
ii.	Pour une gouttelette maintenue en suspension, nous avons $F_{el} = F_g \Rightarrow E \cdot q = \frac{U}{d} q = m \cdot g \Rightarrow q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U}$						1	2			3																																																															
iii.	Les points se situent approximativement le long de plusieurs droites horizontales. On peut voir que les gouttelettes d'huile n'ont que des charges q dont les valeurs sont un multiple entier d'une certaine charge e : $q = n e$ et $n =$ entier. Cette charge particulière e est la charge électrique élémentaire. Les écarts par rapport aux valeurs $q = n e$ peuvent être attribués aux imprécisions de la mesure.							2	1	1	4																																																															
c)	Avec Geogebra, nous obtenons pour les charges : <table border="1"><tr><td>droplet</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>U / V</td><td>52</td><td>174</td><td>88</td><td>117</td><td>138</td><td>92</td></tr><tr><td>m/10⁻¹⁶kg</td><td>6.16</td><td>10.2</td><td>15.4</td><td>7.05</td><td>16.7</td><td>22</td></tr><tr><td>q/10⁻¹⁹C</td><td>3.21</td><td>1.59</td><td>4.74</td><td>1.63</td><td>3.28</td><td>6.47</td></tr></table> Trouver la valeur la plus faible de q dans le tableau ci-dessus. Ensuite, diviser toutes les charges par cette charge minimale pour vérifier si elles sont des multiples de cette valeur. Si oui (dans la marge d'erreur), il s'agit de la charge électrique élémentaire. Le calcul n'est pas nécessaire. Néanmoins, il est indiqué ici Les charges dont les valeurs sont les plus faibles, sont les n° 2 et 4. (Il est donc préférable d'utiliser leur moyenne). <table border="1"><tr><td>droplet</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>U / V</td><td>52</td><td>174</td><td>88</td><td>117</td><td>138</td><td>92</td></tr><tr><td>m/10⁻¹⁶kg</td><td>6.16</td><td>10.2</td><td>15.4</td><td>7.05</td><td>16.7</td><td>22</td></tr><tr><td>q/10⁻¹⁹C</td><td>3.21</td><td>1.59</td><td>4.74</td><td>1.63</td><td>3.28</td><td>6.47</td></tr><tr><td>q / q2.4</td><td>1.99</td><td>0.99</td><td>2.94</td><td>1.01</td><td>2.04</td><td>4.02</td></tr></table> Dans la marge d'erreur, toutes les charges sont des multiples entiers.						droplet	1	2	3	4	5	6	U / V	52	174	88	117	138	92	m/10 ⁻¹⁶ kg	6.16	10.2	15.4	7.05	16.7	22	q/10 ⁻¹⁹ C	3.21	1.59	4.74	1.63	3.28	6.47	droplet	1	2	3	4	5	6	U / V	52	174	88	117	138	92	m/10 ⁻¹⁶ kg	6.16	10.2	15.4	7.05	16.7	22	q/10 ⁻¹⁹ C	3.21	1.59	4.74	1.63	3.28	6.47	q / q2.4	1.99	0.99	2.94	1.01	2.04	4.02	2,5				5
droplet	1	2	3	4	5	6																																																																				
U / V	52	174	88	117	138	92																																																																				
m/10 ⁻¹⁶ kg	6.16	10.2	15.4	7.05	16.7	22																																																																				
q/10 ⁻¹⁹ C	3.21	1.59	4.74	1.63	3.28	6.47																																																																				
droplet	1	2	3	4	5	6																																																																				
U / V	52	174	88	117	138	92																																																																				
m/10 ⁻¹⁶ kg	6.16	10.2	15.4	7.05	16.7	22																																																																				
q/10 ⁻¹⁹ C	3.21	1.59	4.74	1.63	3.28	6.47																																																																				
q / q2.4	1.99	0.99	2.94	1.01	2.04	4.02																																																																				
d)	La différence importante entre la physique classique et la physique quantique est la quantification. La quantification de la charge électrique a été la première découverte grâce à l'expérience de Millikan. Cela a contribué à faire naître l'idée que d'autres valeurs physiques pourraient également être quantifiées.								1	1	2																																																															
Somme :							9	9	4	3	25																																																															

Solution to Question 2				Oscillations et Ondes				
A : Connaissances et Compréhension ; B : Application ; C : Analyse et Evaluation ; W : Communication Ecrite				A	B	C	W	Σ
a)	i.	En fonction de la différence de marche entre les ondes émises par les deux sources, il y a interférence constructive ou destructrice. L'interférence constructive se produit avec une différence de marche de k fois la longueur d'onde, l'interférence destructive se produit pour une demi-longueur d'onde supplémentaire.		2			2	4
	ii.		Pour qu'une interférence constructive se produise en un point, la différence de marche entre les ondes se rencontrant en ce point doit être égale à un multiple entier de la longueur d'onde de la lumière. $\Rightarrow \sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d}$		2			2
	iii.	$\sin \alpha_n = \frac{k \cdot \lambda}{d} \Rightarrow \lambda = a \cdot \sin \alpha_1 = 20 \text{ mm} \cdot \sin 12^\circ = 0,02 \text{ m} \cdot \sin 12^\circ$ $= 0,00416 \text{ m} = 4,16 \text{ mm}$ $c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{340 \text{ m s}^{-1}}{0,00416 \text{ m}} = 81,7 \text{ kHz}$		1				2
	iv.	Il suffit de montrer la crête des ondes, comme on le fait habituellement en appliquant le principe de Huygens. Les schémas peuvent être réalisés avec Geogebra.  Plus la distance est grande, plus il y a de maxima.			2		1	3
b)	i.	La plus grande différence de marche possible apparaît pour les ondes qui vont le long de la ligne reliant les deux sources. Par conséquent, la différence de marche peut tout au plus devenir aussi importante que d . Si la longueur d'onde est supérieure à d , seul le maximum d'ordre 0 peut se produire. La longueur d'onde est : $f \lambda = v \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m s}^{-1}}{82 \times 10^3 \text{ s}^{-1}} = 0,0041 \text{ m} = 4,1 \text{ mm} > 2 \text{ mm}$ Pour $f = 82 \text{ kHz}$ la longueur d'onde est supérieure à la distance entre les narines de la chauve-souris. Donc seul le maximum du 0 ^e ordre peut se produire.		1	1			4
						2		

Solution to Question 2			Oscillations et Ondes				
	ii.	Il suffit de donner l'une des possibilités suivantes ou une autre explication plausible : - Tout droit, l'intensité est particulièrement élevée, vers le côté, elle diminue ; - Avec des maxima secondaires, il y aurait également des maxima d'où ne reviendrait aucun écho ; - La localisation est facilitée parce qu'il n'y a pas de maxima d'ordre supérieur. - ...		1	1	1	3
c)	i.	Son : $s_{\text{sound}} = v t$ Chauve-souris : $s_{\text{ch-s}} = u t$ $2 \cdot 30\text{m} - s_{\text{ch-s}} = s_{\text{son}}$ $2 \cdot 30\text{m} = s_{\text{son}} + s_{\text{ch-s}} = v t + u t = (v + u) t$ $\Rightarrow t = \frac{2 \cdot 30\text{m}}{v + u} = \frac{2 \cdot 30\text{m}}{340\text{ms}^{-1} + 15 \times 10^3 \text{m}/(3600\text{s})^{-1}} = 0,17\text{s}$	2	1	1		4
	ii.	1) Voir formulaire : $10^{-1}\text{m} > \lambda > 10^{-3}\text{m}$	1				1
		2) $s = c t \Rightarrow t = \frac{s}{c} = 2 \frac{3 \times 10^3 \text{m}}{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2 \times 10^{-5} \text{s} (= 20 \mu\text{s})$ La vitesse du navire est beaucoup plus petite que la célérité de la lumière. Dans la partie i la relation est $\frac{340\text{ms}^{-1}}{15 \times 10^3 \text{m}/(3600\text{s})^{-1}} = 82$. Ici elle est $\frac{3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}}{50 \times 10^3 \text{m}/(3600\text{s})^{-1}} \approx 7 \times 10^7$	1	1			2
Somme :			8	9	4	4	25

Solutions à la Question 3			Fields				
A : Connaissances et Compréhension ; B : Application ; C : Analyse et Evaluation ; W : Communication Ecrite			A	B	C	W	Σ
a)	i.	- L'énergie potentielle de l'électron à l'intérieur du puits de potentiel est nulle. Au bord du puits, elle devient infinie. L'onde de matière représentant l'électron est entièrement réfléchi sur cette paroi, et une onde stationnaire se forme entre les deux côtés du puits, comme sur une corde fixée des deux côtés. - Cette onde stationnaire ne peut exister que si un nombre entier de demi-longueur d'onde s'inscrit dans la largeur du puits. La quantification de l'énergie est une conséquence de la dépendance de l'énergie aux longueurs d'onde des ondes stationnaires.	0,5			0,5	3
	ii.		3				3
b)	i.	Le principe d'incertitude stipule que la position et la quantité de mouvement ne peuvent pas être connues avec une précision parfaite. Comme la molécule de Pentacène a une taille finie, la quantité de mouvement de l'électron - et son énergie - ne peuvent pas être connus exactement et ne peuvent donc pas être nuls.		1	0,5	0,5	2
	ii.	Pour le niveau le plus bas $n = 1$, la formule donne $E_n = \frac{h^2}{8 m_e L^2} n^2$ $E_1 = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{(8 \cdot 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1,4 \times 10^{-9} \text{ m})^2} \cdot 1^2 = 3,01 \times 10^{-20} \text{ J} = 0,19 \text{ eV}$		2			2
	iii.	$\Delta E = E_4 - E_2 = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{(8 \cdot 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1,4 \times 10^{-9} \text{ m})^2} (4^2 - 2^2) = 3,69 \times 10^{-19} \text{ J}$ La longueur d'onde correspondante de la lumière émise est $E = hf \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})}{3,69 \times 10^{-19} \text{ J}} = 5,39 \times 10^{-7} \text{ m} = 539 \text{ nm}$ Elle se situe dans le spectre de la lumière visible.		5			5

Solutions à la Question 3			Fields				
	iv.	- Une modification du nombre quantique due à b n'a pas été prise en compte dans b) ii. - Comme les énergies liées à ce nombre quantique sont beaucoup plus élevées, les photons correspondants se situent en dehors du spectre de la lumière visible. - ... - (Il suffit de donner une seule raison pour obtenir des notes complètes).			1,5	0,5	2
c)	i.	C'est l'énergie nécessaire pour exciter un électron à un niveau infiniment élevé et ainsi le libérer de l'atome.	1,5			0,5	2
	ii.	L'énergie dans l'état fondamental $n = 1$ est de 13,6 eV, pour $n = \infty$ elle est nulle. L'énergie d'ionisation est donc de 13,6 eV.	1				1
	iii.	L'énergie du photon doit être égale ou supérieure à l'énergie d'ionisation. $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h \cdot f}{c}; \quad E = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{E}{h}$ $\Rightarrow p = \frac{h E}{c h} = \frac{E}{c} = \frac{13,6 \text{ eV}}{3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = \frac{13,6 \text{ eV} \cdot 1,6 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 7,25 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1	1			3
	iv.	Comme le puits a une hauteur infinie, l'électron ne peut pas le quitter.			1,5	0,5	2
Somme :			9,5	9	3,5	3	25

Solution de la Question 4				Champs				
A : Connaissances et Compréhension ; B : Application ; C : Analyse et Evaluation ; W : Communication Ecrite				A	B	C	W	Σ
a)	i.	La Terre est à (0,0), tandis que la Lune est à (1,0). Les masses générant les champs doivent être au centre des équipotentiellles (circulaires). En raison du champ plus fort de la Terre, ses équipotentiellles doivent être plus rapprochées que celles de la Lune.		2				2
	ii.	 Le point zéro est situé là où le graphique des potentiels passe par un maximum, car une masse se déplace vers un potentiel plus faible.			2,5	1	0,5	4
b)	i.	 L'élève doit savoir (ou voir d'après la formule donnée) que pour un pendule $L \propto T^2$, le graphique doit être une ligne droite.		2	1			3

Solution de la Question 4				Champs				
	ii	Alternative 1 : à partir du graphique Les points doivent être situés sur une ligne droite de pente $s = \frac{g_{\text{Moon}}}{4 \pi^2}$. $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{Moon}}}} \Rightarrow L = \frac{g_{\text{Moon}}}{4 \pi^2} T^2$		2,5	0,5	3		
	Alternative 2 : à partir du tableau Pour chaque colonne du tableau, calculer g. Ensuite, pour augmenter la précision, prendre la moyenne de ces résultats. $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{Moon}}}} \Rightarrow g_{\text{Moon}} = L \frac{4 \pi^2}{T^2}$							
c)	i.	Dans la mécanique ondulatoire classique, toutes les ondes transportent de l'énergie de manière continue. Pour un physicien classique, la seule différence entre la lampe à incandescence et la lampe UV est la puissance transmise. Il s'attendrait donc à ce que la plaque se décharge dans les deux cas, ou à ce qu'elle ne se décharge dans aucun des cas.	2		1	3		
	ii.	La nouvelle expérience tend à montrer que la lumière UV est bloquée par le verre. On peut s'attendre à ce que la lumière visible passe à travers le verre. Dans une serre, la lumière visible est convertie en infrarouge, ce qui augmente la température. La lumière UV étant bloquée par le verre, il ne devrait pas y avoir de risque de coups de soleil dans la serre.	1	0,5	0,5	2		
d)		Les élèves doivent parler de la longueur d'onde de l'onde de matière associée aux objets macroscopiques. Plus la quantité de mouvement d'un objet est importante, plus la longueur d'onde de l'onde de matière correspondante est courte. Pour un objet macroscopique, la longueur d'onde est extrêmement courte (surtout par rapport à la largeur d'une porte). La diffraction ne devrait pas se produire.	1	1	1	3		
e)	i.	Le mouvement circulaire est un mouvement accéléré, et donc les électrons en orbite devraient rayonner de l'énergie de manière continue. L'énergie mécanique totale d'un électron sur cette orbite circulaire dépend également du rayon, des rayons plus petits correspondant à des énergies plus faibles. Ainsi, l'électron devrait orbiter sur un rayon de plus en plus petit ; la trajectoire sera une spirale.	1	1	1	3		
	ii.	Le principe d'incertitude de Heisenbergs stipule que les mesures ne peuvent pas être effectuées avec une précision infinie sur la position et la quantité de mouvement d'une particule quantique. L'énergie de l'électron est un des niveaux d'énergie de l'atome. Si l'électron était au repos dans le voisinage immédiat du proton, il serait trop étalé. (Alternative : L'électron se trouvant à un endroit précis dans le voisinage immédiat du proton, il en résulterait une grande quantité de mouvement qui l'éloignerait).	1	1	1	2		
Somme :				8	9	3,5	4,5	25

6.2. Matrice générique de Physique

Chapitre évalué	Compétence	Pondération en %	Evaluation/notation	Pondération en points
Champs	Connaissances et compréhension	± 36 %	Barème détaillé accompagnant les solutions	± 9
	Application	± 36 %		± 9
	Analyse et évaluation	± 16 %		± 4
	Communication écrite	± 12 %		± 3
		100 %		25
Oscillations et Ondes	Connaissances et compréhension	± 36 %	Barème détaillé accompagnant les solutions	± 9
	Application	± 36 %		± 9
	Analyse et évaluation	± 16 %		± 4
	Communication écrite	± 12 %		± 3
		100 %		25
Physique Quantique	Connaissances et compréhension	± 36 %	Barème détaillé accompagnant les solutions	± 9
	Application	± 36 %		± 9
	Analyse et évaluation	± 16 %		± 4
	Communication écrite	± 12 %		± 3
		100 %		25
Sujets Dvers	Connaissances et compréhension	± 36 %	Barème détaillé accompagnant les solutions	± 9
	Application	± 36 %		± 9
	Analyse et évaluation	± 16 %		± 4
	Communication écrite	± 12 %		± 3
		100 %		25
Chapitre évalué	Compétence	Pondération en %	Evaluation/notation	Pondération en points

Dans chaque chapitre, un écart pouvant aller jusqu'à 6% (1,5 point) sera toléré pour autant que le nombre total de points (25 points) soit respecté pour chaque question.

Dans l'EB, un élève sera considéré comme ayant atteint un niveau suffisant s'il a obtenu 50 points sur 100.

EXCELLENT	TRES BON	BON	SATISFAISANT	SUFFISANT	INSUFISANT	TRES INSUFISANT
100-90	89-80	79-70	69-60	59-50	49-21	20-0

6.3. Matrice spécifique à l'examen donné en exemple

Chapitre examiné	Compétence	Pondération en %	Evaluation/notation	Pondération en points
Champs	Connaissances et compréhension	36,0 %	Barème détaillé voir les solutions	9,0
	Application	36,0 %		9,0
	Analyse et évaluation	16,0 %		4,0
	Communication écrite	12,0 %		3,0
		100 %		25
Ondes	Connaissances et compréhension	32,0 %	Barème détaillé voir les solutions	8,0
	Application	36,0 %		9,0
	Analyse et évaluation	16,0 %		4,0
	Communication écrite	16,0 %		4,0
		100 %		25
Physique Quantique	Connaissances et compréhension	38,0 %	Barème détaillé voir les solutions	9,5
	Application	36,0 %		9,0
	Analyse et évaluation	14,0 %		3,5
	Communication écrite	12,0 %		3,0
		100 %		25
Sujets mixtes	Connaissances et Compréhension	32,0 %	Barème détaillé voir les solutions	8,0
	Application	36,0 %		9,0
	Analyse et Evaluation	14,0 %		3,5
	Communication écrite	18,0 %		4,5
		100 %		25
Total de l'examen				100

6.4. Fiche d'évaluation orale

Fiche d'évaluation Examen oral – Physique

École européenne :

Étudiant :

Classe :

Examineur :

Barème	Évaluation selon les descripteurs des niveaux atteints
9,0-10 Excellent	Le candidat peut facilement, et sans aide, identifier le sujet des questions choisies. Il montre sa capacité à placer le problème donné dans un contexte de physique et applique les techniques d'analyse sans aide. Il présente des compétences de communication claires, utilise un vocabulaire approprié, rappelle et applique les définitions et les lois nécessaires et montre une approche cohérente. Il démontre la maîtrise de toutes les techniques de calcul en présentant et en faisant des calculs. Il est à l'aise pour analyser des problèmes non familiers et peut proposer des approches expérimentales ou théoriques imaginatives. Il a des réponses organisées de manière claire et concise aux problèmes posés et s'engage avec aisance dans des discussions complémentaires.
8,0-8,9 Très bon	Le candidat peut identifier le sujet des questions choisies. Il montre sa capacité à placer le problème donné dans un contexte de physique et il applique les techniques d'analyse avec peu d'aide. Il présente des compétences de communication claires, utilise un vocabulaire approprié, rappelle et applique les définitions et les lois nécessaires et montre une approche cohérente. Il démontre des techniques de calcul appropriées en présentant et en faisant des calculs. Il est capable d'analyser des problèmes non familiers et peut proposer des approches d'investigation. Il a des réponses bien organisées aux problèmes posés et est capable de répondre de manière appropriée à des discussions complémentaires.
7,0-7,9 Bon	Le candidat peut identifier le sujet des questions choisies. Il montre sa capacité à placer le problème donné dans un contexte de physique avec l'aide des examinateurs et il est capable d'appliquer les techniques d'analyse avec un peu d'aide. Il utilise un vocabulaire correct, rappelle et applique les définitions et les lois nécessaires avec peu d'aide. Il démontre des techniques de calcul appropriées en présentant et en faisant des calculs. Il peut analyser des problèmes non familiers et suggérer des approches d'investigation avec peu d'aide. Il est capable de s'engager dans des discussions complémentaires, avec l'aide des examinateurs.

6,0-6,9
Satisfaisant

Le candidat montre qu'il comprend les principaux domaines couverts par les questions choisies et qu'il est capable de placer le problème donné dans un contexte de physique avec une certaine aide des examinateurs. Il utilise un vocabulaire correct, se souvient de certaines définitions et lois et les applique avec de l'aide. Il peut avoir besoin d'aide pour analyser des problèmes peu familiers ou pour suggérer des approches d'investigation. Il a préparé et structuré des réponses aux problèmes posés et est capable de s'engager dans des discussions complémentaires dirigées par les examinateurs.

5,0-5,9
Suffisant

Le candidat montre qu'il comprend les principaux domaines couverts par les questions choisies et qu'il est capable de placer le problème donné dans un contexte de physique avec l'aide des examinateurs. Il utilise en grande partie un vocabulaire correct et est capable de se rappeler des faits de base relatifs aux questions. Il a besoin d'aide pour analyser des problèmes peu familiers. Il n'a préparé que quelques réponses aux problèmes posés, et est capable de s'engager dans une discussion complémentaire avec l'aide des examinateurs.

3,0-4,9
Échec /
Faible

Le candidat montre des lacunes dans la compréhension des principaux domaines couverts par les questions choisies. Il n'est pas capable de placer le problème donné dans un contexte de physique, même avec l'aide des examinateurs. Il montre des lacunes dans le vocabulaire et les faits de base liés aux questions. Il manque des réponses à la majorité des questions choisies. Le candidat présente une capacité minimale pour des discussions complémentaires.

0-2,9
Échec /
Très faible

Le candidat montre des lacunes dans la compréhension des principaux domaines couverts par les questions choisies. Il est incapable de placer le problème donné dans un contexte de physique, même avec l'aide des examinateurs. Il montre des lacunes importantes dans le vocabulaire et les connaissances factuelles liées aux questions. Les réponses sont en grande partie manquantes ou incorrectes. Il n'y a pas de possibilité de discussions complémentaires.

Barème final :

Date : **Signature :**