Quantique

I. MPSI

4. Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. **Approche documentaire :** décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon. **Approche documentaire :** décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.
Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Obtenir les niveaux d'énergie par analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification.

II. PCSI

4. Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. **Approche documentaire :** décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon. **Approche documentaire :** décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.
Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes.
Inégalité de Heisenberg spatiale.	À l'aide d'une analogie avec la diffraction des ondes lumineuses, établir l'inégalité en ordre de grandeur : $\Delta p \, \Delta x \geq \hbar$.
Énergie minimale de l'oscillateur harmonique quantique.	Établir le lien entre confinement spatial et énergie minimale (induit par l'inégalité de Heisenberg spatiale).
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Obtenir les niveaux d'énergie par analogie avec les modes propres d'une corde vibrante. Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification.

III. PTSI

4. Introduction au monde quantique	
Dualité onde-particule pour la lumière et la matière. Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.	Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques. **Approche documentaire :** décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.

	Approche documentaire : décrire un exemple d'expérience illustrant la notion d'ondes de matière.
Interprétation probabiliste associée à la fonction d'onde : approche qualitative.	Interpréter une expérience d'interférences (matière ou lumière) « particule par particule » en termes probabilistes. .

Inégalités de Heisenberg.	**Approche documentaire :** comprendre les conséquences d'une inégalité d'Heisenberg fournie dans une expérience nécessitant une description quantique.
Quantification de l'énergie d'une particule libre confinée 1D.	Établir le lien qualitatif entre confinement spatial et quantification

IV. MP

6.1. Fonction d'onde et équation de Schrödinger	
Fonction d'onde ψ d'une particule sans spin et densité de probabilité de présence.	Interpréter en termes de probabilité l'amplitude d'une onde associée à une particule.
Équation de Schrödinger à une dimension dans un potentiel V(x).	Utiliser le caractère linéaire de l'équation (principe de superposition).
États stationnaires de l'équation de Schrödinger.	Procéder à la séparation des variables temps et espace. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Relier l'énergie de la particule à l'évolution temporelle de sa fonction d'onde et faire le lien avec la relation de Planck-Einstein. Identifier le terme associé à l'énergie cinétique.
6.2. Particule libre	
Fonction d'onde d'une particule libre non localisée.	Établir les solutions. Connaître et interpréter la difficulté de normalisation de cette fonction d'onde.
Relation de de Broglie.	Relier l'énergie de la particule et le vecteur d'onde de l'onde plane associée.
Inégalité d'Heisenberg spatiale et paquet d'ondes.	Expliquer, en s'appuyant sur l'inégalité d'Heisenberg spatiale, que la localisation de la particule peut s'obtenir par superposition d'ondes planes.
Densité de courant de probabilité associée à une particule libre.	Utiliser l'expression admise $\boldsymbol{J} = \lvert\psi\rvert^2 \dfrac{\hbar \boldsymbol{k}}{m}$ par analogie avec la densité de courant électrique.
6.3. États stationnaires d'une particule dans des potentiels constants par morceaux	
États stationnaires d'une particule dans le cas d'une marche de potentiel	Citer des exemples physiques illustrant cette problématique. Exploiter les conditions de continuité (admises) relatives à la fonction d'onde. Établir la solution dans le cas d'une particule incidente sur une marche de potentiel. Expliquer les différences de comportement par rapport à une particule classique
Cas E > V : probabilité de transmission et de réflexion.	Déterminer les coefficients de transmission et de réflexion en utilisant les courants de probabilités

Cas E < V : évanescence.	Reconnaître l'existence d'une onde évanescente et la caractériser.
Barrière de potentiel et effet tunnel.	Décrire qualitativement l'influence de la hauteur ou de largeur de la barrière de potentiel sur le coefficient de transmission. Exploiter un coefficient de transmission fourni. **Approche documentaire** : en utilisant le coefficient de transmission fourni, expliquer le rôle de l'effet tunnel dans la radioactivité α ou la microscopie à effet tunnel.

États stationnaires d'une particule dans un puits de potentiel infini. Énergie de confinement.	Établir les solutions et les niveaux d'énergie de la particule confinée. Identifier les analogies avec la corde vibrante. Estimer l'énergie d'une particule confinée dans son état fondamental pour un puits non rectangulaire. Associer l'analyse à l'inégalité d'Heisenberg.
6.4. États non stationnaires d'une particule	
Combinaison linéaire d'états stationnaires.	Expliquer qu'une superposition de deux états stationnaires engendre une évolution au cours du temps de l'état de la particule. Établir l'expression de la densité de probabilité de présence de la particule dans le cas d'une superposition de deux états stationnaires ; interpréter le résultat. **Approche numérique** : en utilisant un logiciel dédié, décrire l'évolution temporelle d'une particule confinée (puits infini, oscillateur harmonique,…).

V. PC

5. Approche ondulatoire de la mécanique quantique	
5.1. Amplitude de probabilité	
Fonction d'onde $\psi(x,t)$ associée à une particule dans un problème unidimensionnel. Densité linéique de probabilité. Principe de superposition. Interférences.	Normaliser une fonction d'onde. Faire le lien qualitatif avec la notion d'orbitale en chimie. Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.
5.2. Équation de Schrödinger pour une particule libre	
Équation de Schrödinger. États stationnaires.	Utiliser l'équation de Schrödinger fournie. Identifier les états stationnaires aux états d'énergie fixée. Établir et utiliser la relation : $\psi(x,t) = \varphi(x) \exp(-iEt/\hbar)$ et l'associer à la relation de Planck-Einstein. Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes.

	Utiliser l'équation de Schrödinger pour la partie spatiale $\varphi(x)$. En exploitant l'expression classique de l'énergie de la particule libre, associer la relation de dispersion obtenue et la relation de de Broglie.
Paquet d'ondes associé à une particule libre. Relation $\Delta k_x \, \Delta x \geq 1/2$	Identifier vitesse de groupe et vitesse de la particule. Faire le lien avec l'inégalité de Heisenberg spatiale.
Courant de probabilité associé à une particule libre.	Utiliser l'expression admise $\boldsymbol{J} = \lvert\psi\rvert^2 \dfrac{\hbar \boldsymbol{k}}{m}$ et l'interpréter comme produit densité*vitesse.

5.3. Équation de Schrödinger dans un potentiel V(x) uniforme par morceaux	
Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel rectangulaire de profondeur infinie.	Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Faire l'analogie avec la recherche des pulsations propres d'une corde vibrante fixée en ses deux extrémités. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale.
Énergie de confinement quantique.	Associer le confinement d'une particule quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.
Quantification de l'énergie des états liés dans un puits de profondeur finie. Élargissement effectif du puits par les ondes évanescentes.	Mettre en place les éléments du modèle : forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de φ et $d\varphi/dx$. Associer la quantification de l'énergie au caractère lié de la particule. Mener une discussion graphique. Interpréter qualitativement, à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale, l'abaissement des niveaux d'énergie par rapport au puits de profondeur infinie.
5.4. Effet tunnel	
Notions sur l'effet tunnel.	Associer l'existence d'une probabilité de traverser une barrière de potentiel et l'existence de deux ondes évanescentes dans la zone classiquement interdite.
Coefficient de transmission associé à une particule libre incidente sur une barrière de potentiel.	Exprimer le coefficient de transmission comme un rapport de courants de probabilités.

	Approche documentaire de la radioactivité alpha: - utiliser une expression fournie du coefficient de transmission pour analyser des documents scientifiques ; - expliquer le rôle de l'effet tunnel dans la radioactivité alpha.
	Approche documentaire de la microscopie à effet tunnel : - utiliser une expression fournie du coefficient de transmission pour analyser des documents scientifiques ; - expliquer la sensibilité à la distance de cette méthode d'observation des surfaces.
Approche descriptive : Double puits symétrique. Étude des deux premiers états stationnaires : symétrique et antisymétrique. Évolution temporelle d'une superposition de ces deux états.	 Exploiter les diagrammes d'énergie et faire le lien avec la chimie. Sur l'exemple de la molécule d'ammoniac, utiliser le principe de superposition pour relier la fréquence des oscillations d'une particule initialement confinée dans un des puits à la différence des énergies.