

EXERCICE I : OPTIQUE ATOMIQUE (8 POINTS)

DOCUMENT 1 : EXTRAIT DE LA THÈSE PUBLIÉE PAR LOUIS DE BROGLIE EN 1924

La notion de quanta fut introduite dans la science en 1900 par M. MAX PLANCK. Ce savant étudiait alors théoriquement la question du rayonnement [...] Il admit un étrange postulat : « Les échanges d'énergie n'ont lieu que par quantités finies égales à h fois la fréquence, h étant une nouvelle constante universelle de la physique ». À chaque fréquence correspond donc une sorte d'atome d'énergie, un quantum d'énergie.

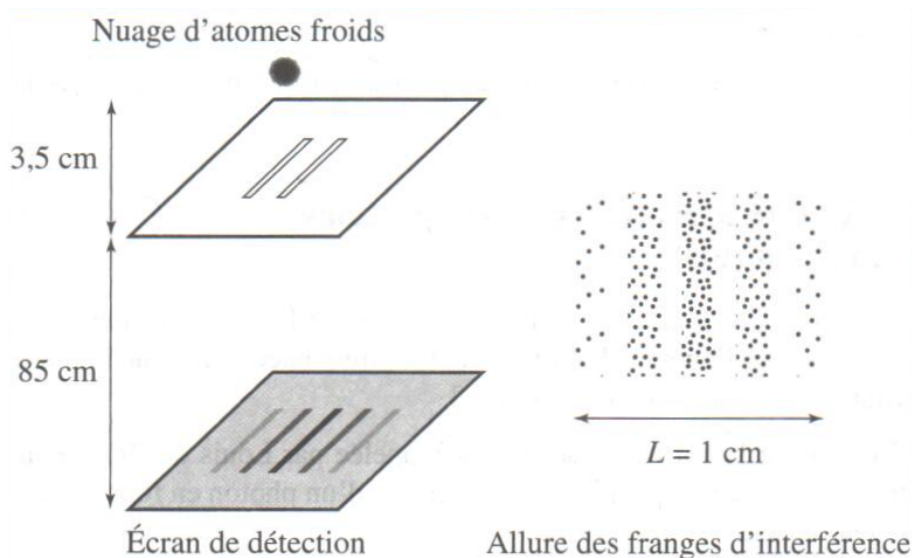
Les données de l'observation (expérimentale) fournirent à M. PLANCK les bases nécessaires pour le calcul de la constante h et la valeur trouvée alors n'a pour ainsi dire pas été modifiée par les innombrables déterminations postérieures faites par les méthodes les plus diverses. C'est là un des plus beaux exemples de la puissance de la physique théorique.

Thèse *Recherche sur la théorie des quanta*, disponible sur
<http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/70/78/PDF/tel-00006807.pdf>

DOCUMENT 2 : INTERFÉRENCES AVEC DES PARTICULES DE MATIÈRES (EXPÉRIENCE A)

Une expérience d'interférences atomiques réalisée par une équipe japonaise en 1992 a consisté à immobiliser et refroidir une assemblée d'atomes de néon, puis à laisser tomber en chute libre ce nuage d'atomes au-dessus d'une plaque percée de deux fentes microscopiques. Comme avec les ondes lumineuses, chaque onde atomique se dédouble à son passage par les deux fentes, et la superposition de ces deux ondes produit des franges d'interférence sur un écran de détection placé un peu plus bas.

La vitesse des atomes à ce niveau est de l'ordre de $1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ seulement ; avec une distance fentes-écran $D = 85 \text{ cm}$ et des fentes écartées de $a = 6,0 \text{ } \mu\text{m}$, on observe les franges présentées ci-dessous.



Expérience des fentes d'Young avec un nuage atomique

Adapté de
http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/tutorial/pages/10_interf_atomiquest.htm

DOCUMENT 3 : DES INTERFÉRENCES ATOMIQUES, POUR QUOI FAIRE ?

Dans un interféromètre lumineux, les ondes voyagent... à la vitesse de la lumière, c'est-à-dire très vite !

Avec des atomes, c'est différent : les ondes atomiques, beaucoup plus lentes, passent un temps relativement long dans l'interféromètre.

Il s'ensuit une grande sensibilité des dispositifs à interférences atomiques, sensibilité vis-à-vis des éventuelles interactions auxquelles les atomes sont soumis.

Cette sensibilité peut être mise à profit pour des mesures très précises, par exemple de l'accélération de la pesanteur (applications possibles à la prospection minière ou pétrolière...), de la masse d'un atome (pour des tests de certaines lois fondamentales de la physique), de la rotation subie par l'interféromètre (qui devient alors un gyromètre), etc.

Autre avantage des ondes atomiques par rapport aux ondes lumineuses : on peut accéder à une gamme de longueurs d'onde plus étendue, allant grosso modo du micromètre au nanomètre, alors que les ondes lumineuses tournent seulement autour du micromètre.

Par ailleurs, les interférences atomiques sont exploitées pour faire de l'holographie avec des atomes. Par exemple, en constituant une figure d'interférence, on fabrique du même coup une microstructure, ce qui ouvre la voie à des techniques microlithographiques encore plus fines que celles existant actuellement (pour les besoins de la microélectronique en particulier).

D'après http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/tutorial/pages/10_interf_atomiques.htm

1. Extrait de la thèse publiée par LOUIS DE BROGLIE en 1924

- 1.1. En utilisant la constante de Planck rappelée par LOUIS DE BROGLIE dans sa thèse, exprimer l'énergie E d'un photon de fréquence ν . Dans quelle unité la constante de Planck s'exprime-t-elle ?
- 1.2. En utilisant la constante de Planck rappelée par LOUIS DE BROGLIE dans sa thèse, exprimer la quantité de mouvement p d'un photon en fonction de sa longueur d'onde λ .
- 1.3. Comment LOUIS DE BROGLIE a-t-il généralisé ce résultat à une particule de masse m et de vitesse v ?

2. Interférences avec des particules de matière (expérience A)

- 2.1. Quelle vitesse ont les atomes de néon de l'expérience A décrite dans le **document 2** ? La comparer à celle d'un photon et commenter brièvement.
- 2.2. La masse d'un atome de néon est de $m(\text{Ne}) = 20 \times 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. Quelle est la longueur d'onde λ associée à cet atome dans l'expérience A ? On donnera l'expression littérale et la valeur numérique et on donne $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J · s.
- 2.3. On observe l'allure des franges d'interférence représentées sur le **document 2**. Définir l'interfrange i . Donner sa valeur expérimentale et une estimation de l'incertitude absolue sur cette mesure.
- 2.4. Un calcul théorique permet d'établir la relation $i = \lambda \times \frac{D}{a}$. Calculer l'interfrange i dans le cadre de l'expérience A et comparer le résultat à celui de la question précédente.

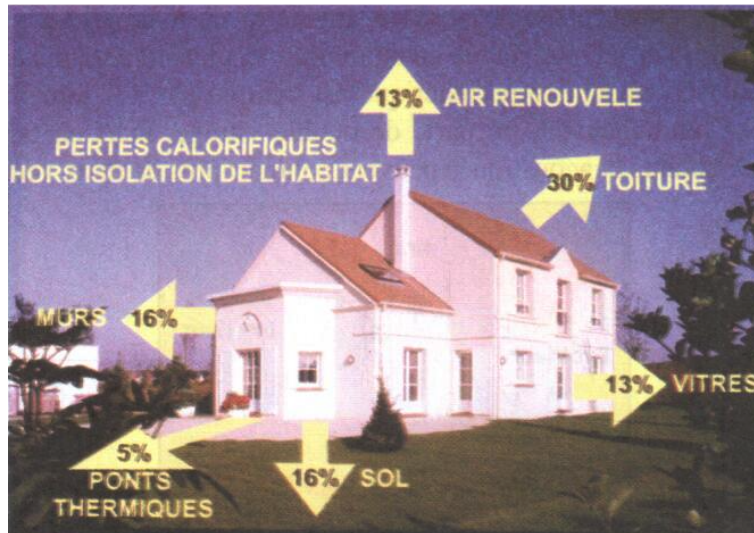
3. Des interférences atomiques, pour quoi faire ?

- 3.1. À quelle vitesse de l'atome de néon correspond une longueur d'onde de $1,0 \mu\text{m}$.
- 3.2. Relever, dans le **document 3**, ce qui fait l'intérêt des interférences atomiques et l'expliquer avec vos propres mots.

EXERCICE II : DOUBLE VITRAGE ET ISOLATION THERMIQUE (12 points)

DOCUMENT 1 : ESPACE ÉCOCITOYEN

Dans une maison non isolée, **une grande partie de la chaleur peut s'échapper par le toit, les murs et les fenêtres**. Il est donc important d'apporter une attention particulière à ces éléments de construction. Le **schéma** ci-après montre l'importance et la localisation des pertes de chaleur.



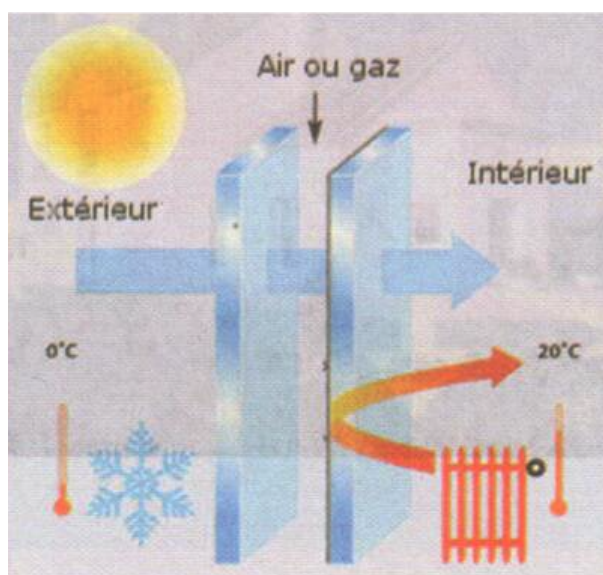
La résistance thermique R d'un matériau traduit sa capacité à empêcher le passage du froid ou de la chaleur, pour une épaisseur donnée. Plus R est grande, plus le matériau est isolant. Les données chiffrées, exigences précisées par la réglementation thermique pour les bâtiments existants, sont données en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

| Type de paroi opaque (altitude < 800 m) | Résistance thermique minimale R (en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) |
|--|--|
| Vitrage | 0,50 |
| Mur extérieur | 2,3 |
| Mur ou plancher bas donnant sur un local non chauffé | 2,0 |
| Comble perdu | 4,5 |

D'après <http://ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation/renover/isolation/toit-murs-planchers>

DOCUMENT 2 : DOUBLE VITRAGE

Le principe consiste à enfermer une lame d'air déshydraté. Les verres sont séparés par un intercalaire en aluminium contenant des agents déshydratants. L'étanchéité périphérique est assurée par des joints organiques. Communément, on parle de double vitrage, mais en fait, les vitrages isolants et acoustiques peuvent contenir plus de deux verres.



D'après <http://www.vitrierie-centre.fr/double-vitrage.html>

1. Espace écocitoyen

Soit une paroi d'épaisseur e , de surface S , de conductivité thermique λ (constante positive dépendant du matériau utilisé). En régime permanent, le flux thermique diffusif J la traversant, de l'intérieur vers l'extérieur, est donné par la relation $J = -\lambda \times S \times \frac{T_e - T_i}{e}$ où T_e est la température extérieure et T_i la température intérieure, au niveau de la paroi. On définit la résistance thermique R du vitrage par la relation $R = \frac{T_i - T_e}{J}$.

- 1.1. Déterminer l'expression littérale de la résistance thermique R de la paroi en fonction de λ , S et e .
- 1.2. Quel est le signe de R ?
- 1.3. Que peut-on dire sur le sens du flux thermique en fonction de la différence entre température intérieure et température extérieure?
- 1.4. Rappeler l'unité du flux thermique J dans le système international. En déduire l'unité de la résistance thermique R dans le système international.
- 1.5. D'après le tableau du **document 1**, quelle est la valeur de la résistance thermique minimale exigée pour 1 m^2 de plancher bas donnant sur un local non chauffé? Quelle est la résistance thermique minimale exigée pour la surface totale de ce plancher, de surface $S' = 36 \text{ m}^2$?
- 1.6. Quelle est la partie de la maison dont l'isolation est primordiale en termes d'économie d'énergie?

2. Vitrage simple

On considère une baie vitrée de surface $S = 15 \text{ m}^2$. On utilise les notations de la partie précédente. Pour une vitre simple, la conductivité thermique effective résulte d'une analyse assez fine des flux thermiques dans le verre et des effets convectifs de chaque côté du verre. On prendra donc $\lambda_{\text{effectif}} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- 2.1. Calculer R et J pour une épaisseur de verre $e = 5,0 \text{ mm}$, $T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $S = 15 \text{ m}^2$.
- 2.2. La valeur trouvée pour R est-elle conforme au niveau réglementaire défini dans le **document 1** ?
- 2.3. Commenter la valeur de J . Pour obtenir la même puissance, combien de lampes halogène de puissance 100 W faudrait-il allumer ? Combien de radiateurs de puissance 2000 W ?
- 2.4. Comment pourrait-on réduire les déperditions énergétiques en gardant les mêmes conditions de température intérieure et extérieure ?

3. Double vitrage

Entre deux vitres simples identiques (**document 2**), chacune de résistance thermique $R_i = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$, on insère une couche d'air d'épaisseur $e' = 16 \text{ mm}$, norme standard actuelle. On note λ' la conductivité thermique de l'air. On admet que les résistances thermiques de différentes couches s'additionnent et que la résistance thermique d'une couche de matériau de surface S , d'épaisseur e et de conductivité thermique λ est donnée par la relation $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$, comme cela a été démontré précédemment. On prendra $S = 15 \text{ m}^2$.

- 3.1. Déterminer l'expression littérale de la résistance thermique R_a de la couche d'air de surface S et d'épaisseur e' en fonction de λ' , S et e' . Calculer la valeur de R_a sachant que, pour l'air, on a $\lambda' = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- 3.2. Déterminer l'expression de la résistance thermique du double vitrage R_d en fonction de R et R_a . Calculer la valeur numérique de R_d et indiquer si cette valeur est conforme au niveau réglementaire.
- 3.3. Déterminer les déperditions thermiques (flux thermique J) à travers un double vitrage pour $T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ et $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Commenter le résultat.