Locqman Benyoucef
Bineta Diop

Physique Moderne

Effet Ramsauer -Towsend

Projet Numérique

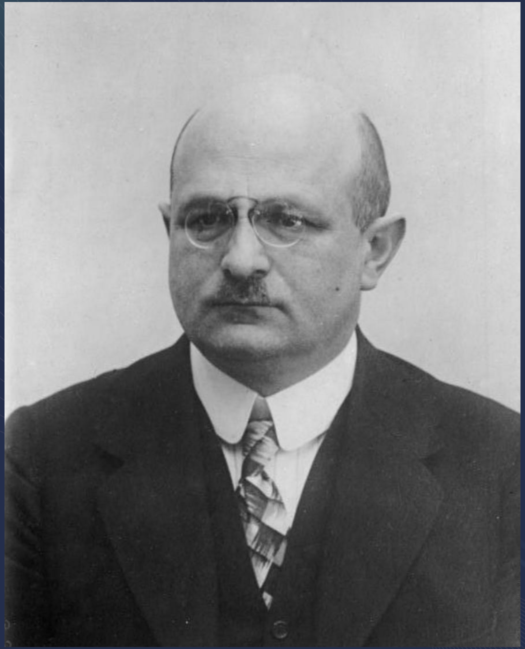
Table des matières

01
Introduction

Qu’est ce que l’effet Ramsauer ?

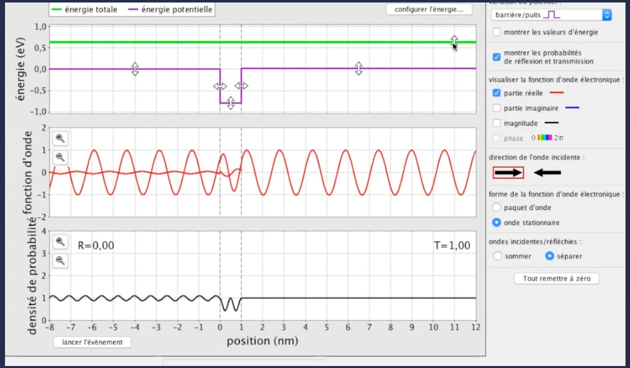
Effet Ramsauer

L’effet Ramsauer, découvert en 1921 par Carl Ramsauer, est un phénomène quantique observé dans la diffusion d’électrons lents par des atomes nobles qui montre que les électrons peuvent traverser l’atome presque sans interaction a certaines énergies particulières.



Effet Ramsauer (contexte)

A l’époque, Ramsauer cherchait à mesurer la section efficace de diffusion (probabilité de collision) d’électrons lents dans des gaz nobles.
Il envoyait un faisceau d’électrons de faible énergie à travers une cellule contenant un gaz rare.
Il mesurait le courant transmis pour différentes énergies des électrons.



Résultat inattendu :

Selon la physique classique, plus l’électron est lent, plus il a de chances d’être dévié ou ralenti.
Mais Ramsauer observa un phénomène étrange; à certaines énergies faibles (~1 eV), les électrons traversaient le gaz presque sans être diffusés.

02

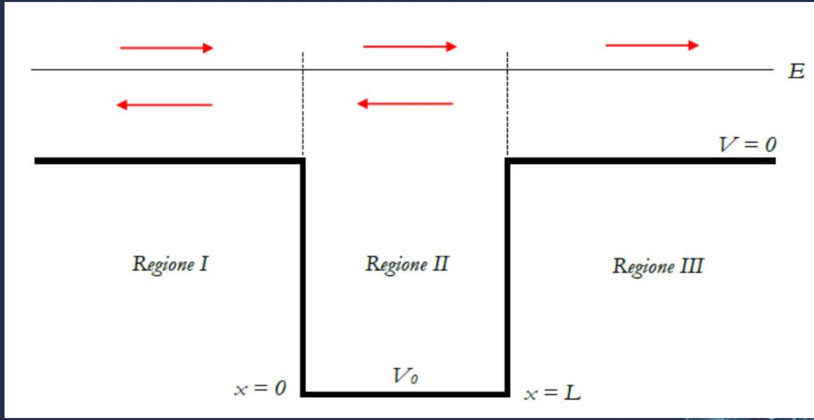
Pertinence du modèle

Pourquoi le modèle du puits de potentiel est intéressant ?

Puits de potentiel

Tout d'abord, quelqu'un puits de potentiel ?

Un puits de potentiel est une modélisation simplifiée d'un système quantique dans lequel une particule (comme un électron) est piégée dans une région de l'espace par des barrières d'énergie.



Pertinence du modèle

I) Il permet de modéliser un atome neutre
II) il montre le comportement ondulatoire
III) Il permet une analyse mathématique précise

Il est particulièrement pertinent pour modéliser l'effet Ramsauer, car il permet de représenter le comportement d'un électron traversant un atome neutre.
Grâce à ce modèle, on comprend que l'électron peut traverser sans être diffusé à certaines énergies précises, un phénomène purement quantique

03

Résolution Analytique

Résolution analytique

$$V(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \quad \text{(Rgion I)} \\ -V_0 & \text{si } 0 \leq x \leq a \quad \text{(Rgion II)} \\ 0 & \text{si } x > a \quad \text{(Rgion III)} \end{cases}$$

- $V_0 > 0$ (profondeur du puits)
- a : largeur du puits
- $E > 0$: énergie de la particule incidente (électron)

Nous cherchons une **solution stationnaire** :

$$\psi(x,t) = \psi(x)e^{-iEt/\hbar}$$

Nous allons donc résoudre l'équation de Schrödinger stationnaire dans chaque région :

$$\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$

Résolution analytique

Forme générale :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - V(x))\psi = 0$$

◆ **Région I :** $x < 0$, $V(x) = 0$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + k^2\psi = 0, \quad \text{avec } k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

Solution générale :

$$\psi_I(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$$

- A : onde incidente
- B : onde réfléchie

◆ **Région II :** $0 \leq x \leq a$, $V(x) = -V_0$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + k'^2\psi = 0, \quad \text{avec } k' = \sqrt{\frac{2m(E+V_0)}{\hbar^2}}$$

Solution :

$$\psi_{II}(x) = Ce^{ik'x} + De^{-ik'x}$$

◆ **Région III :** $x > a$, $V(x) = 0$

Même équation que dans I :

$$\psi_{III}(x) = Fe^{ikx}$$

- F : onde transmise (pas d'onde entrante ici)

Résolution analytique

On impose la **continuité** de ψ et ψ' à $x = 0$ et $x = a$.

À $x = 0$ **:**

$$\psi_I(0) = \psi_{II}(0) \Rightarrow A + B = C + D$$

$$\psi_I{}'(0) = \psi_{II}{}'(0) \Rightarrow ik(A - B) = ik'(C - D)$$

À $x = a$ **:**

$$\psi_{II}(a) = \psi_{III}(a) \Rightarrow Ce^{ik'a} + De^{-ik'a} = Fe^{ika}$$

$$\psi_{II}{}'(a) = \psi_{III}{}'(a) \Rightarrow ik'(Ce^{ik'a} - De^{-ik'a}) = ikFe^{ika}$$

La transmission parfaite (T = 1) implique qu'il y ai aucune réflexion donc on suppose B = 0. Après calcule on obtient :

$$T = \left|\frac{F}{A}\right|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_0^2}{4E(E+V_0)}\right)\sin^2(k'a)}$$

$$\sin^2(k'a) = 0 \Rightarrow \sin(k'a) = 0 \Rightarrow k'a = n\pi, \quad n \in \mathbb{N}$$

04

Etats Stationnaires

Qu’est ce que l’effet Ramsauer ?

Etats Stationnaires

Résolution pour E < 0

Particule confiné dans le puits

Méthode utilisée: Ils sont obtenus numériquement via la diagonalisation de l'Hamiltonien.

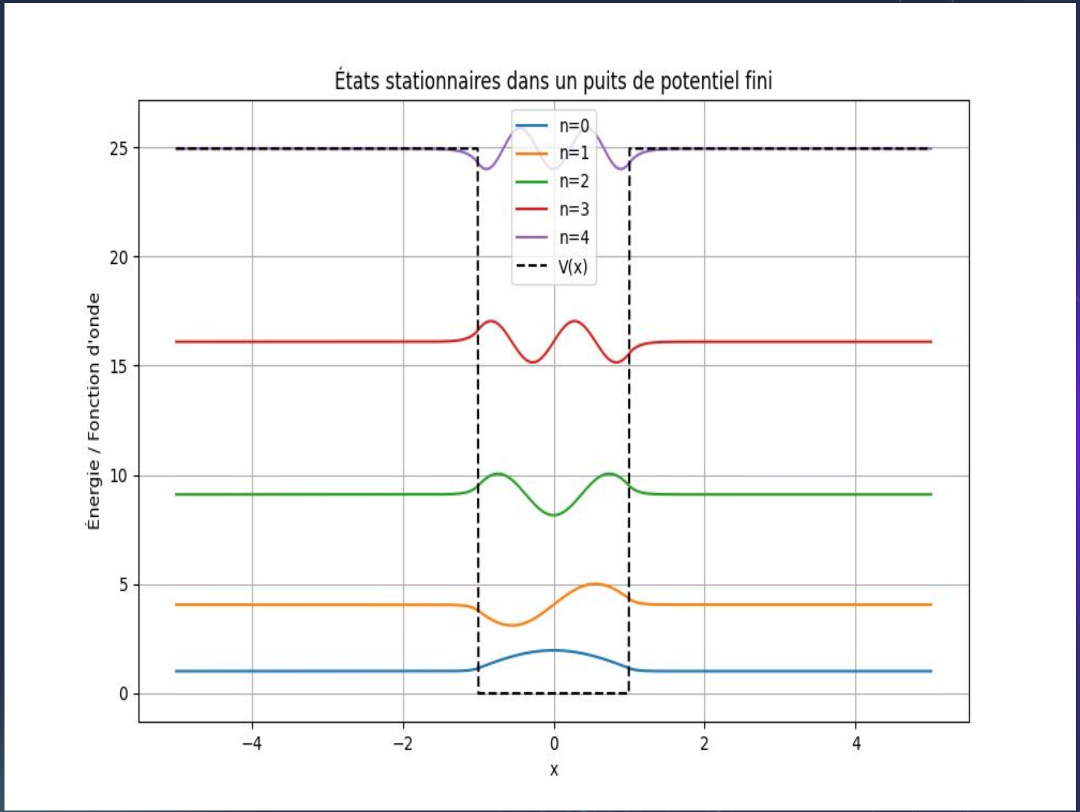
```
diag = np.ones(N) * -2
off_diag = np.ones(N - 1)
T = (np.diag(diag) + np.diag(off_diag, 1) + np.diag(off_diag, -1)) / (dx**2)

# Hamiltonien H = -1/2 * T + diag(V)
H = -0.5 * T + np.diag(V)

# Diagonalisation (on prend les 5 premiers états propres)
energies, states = eigh(H, subset_by_index=(0, 4))
```

Etats stationnaires

Résoudre numériquement à l'aide d'un algorithme l'équation de Schrödinger stationnaire Hψ=Eψ pour le puits de potentiel.



Etats stationnaires

Pourquoi 'ils ne suffisent pas pour décrire la diffusion ?

Les états stationnaires sont des **solutions temporellement invariantes**.

Les **états stationnaires** sont des solutions **localisées** dans le puits :

- Ils correspondent à une particule **emprisonnée** (liée) dans le potentiel.
- Leur énergie E est **inférieure** à la hauteur du potentiel extérieur V0
- Pas d'effet de propagation ni de transmission mesurable loin du puits.

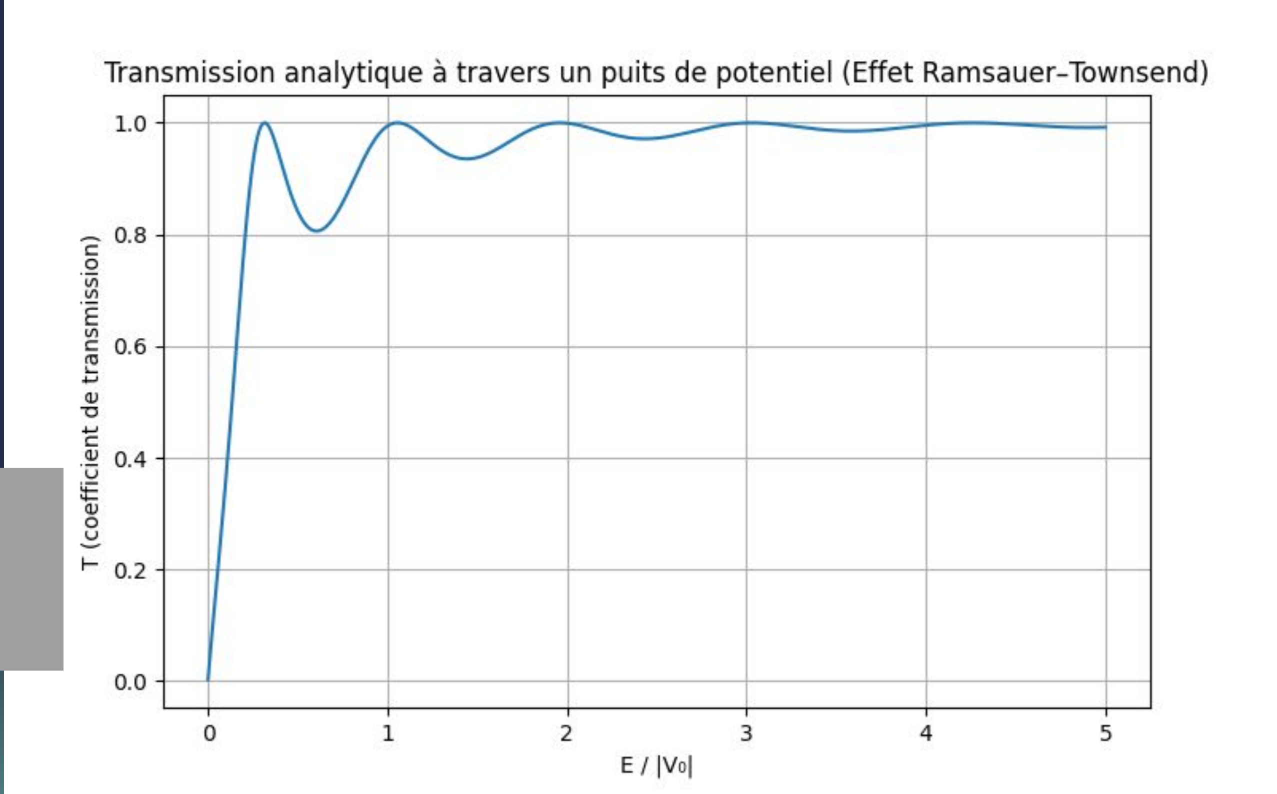
Etats stationnaires

Voici le coefficient de transmission selon les niveaux d'énergie

Méthode utilisé:

solution **analytique** de l'équation de Schrödinger pour un puits de potentiel finie :

$$T = \left|\frac{F}{A}\right|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_0^2}{4E(E+V_0)}\right)\sin^2(k'a)}$$



05

Paquets d'Ondes

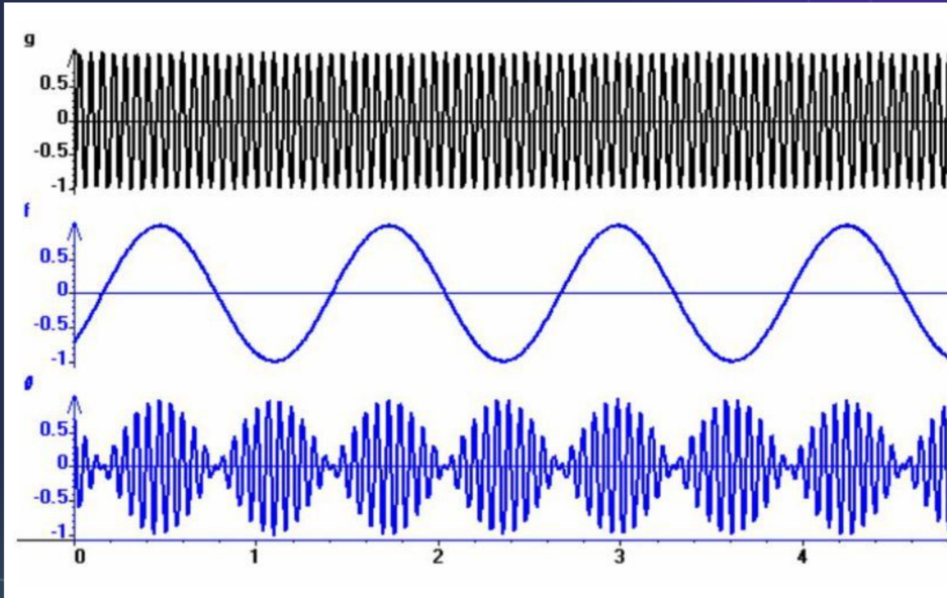
Pourquoi Paquets d'Ondes et non une Onde Stationnaire ?

Nous modélisant maintenant la particule avec un paquet d'ondes et non une onde stationnaire mais pourquoi ?

Après avoir étudié les **états stationnaires**, qui correspondent à des solutions d'énergie bien définie, nous considérons désormais une modélisation plus réaliste : la particule est représentée par un **paquet d'ondes**.

Elle est mieux décrite par une **superposition d'ondes** de différentes énergies, c'est-à-dire un **paquet d'ondes**. Cette approche permet de **simuler plus fidèlement** la propagation, la diffusion et les effets de transmission ou de réflexion.

- Un **paquet d'ondes** modélise **un électron localisé dans l'espace**, avec une **vitesse moyenne** et une **largeur finie**, se propageant dans le temps.

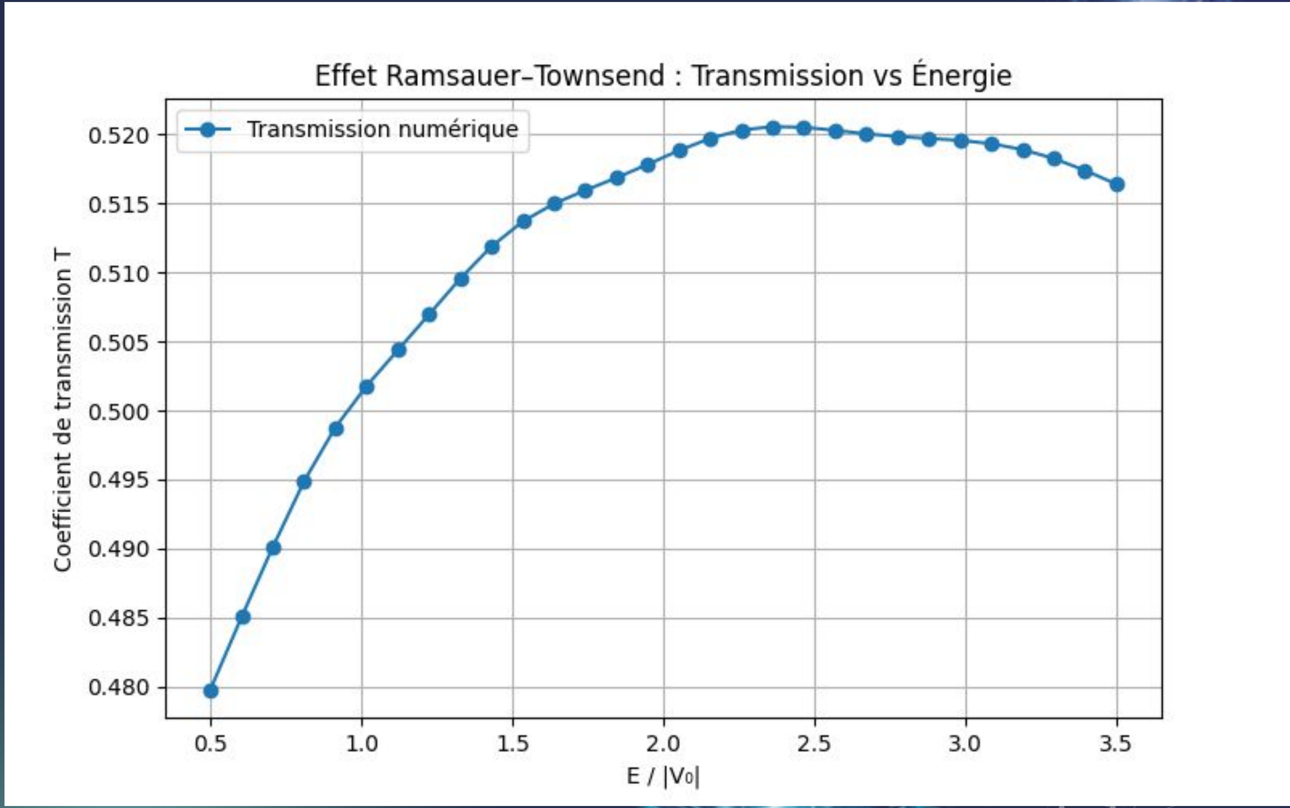


Paquets d'Ondes

Voici une animation de la fonction d'onde

Paquets d'Ondes

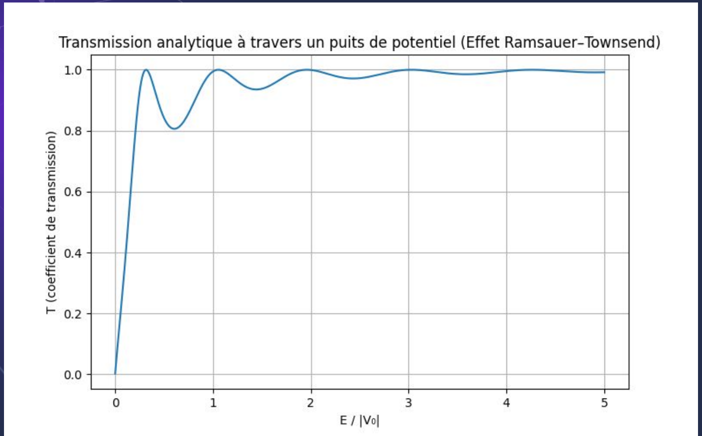
Voici le coefficient de transmission selon les niveaux d'énergie

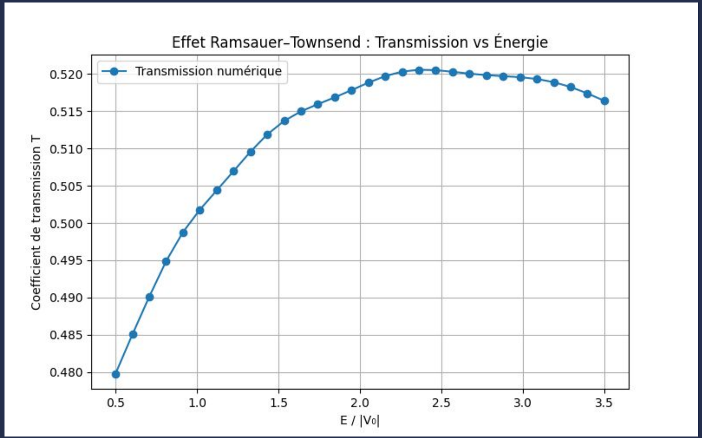


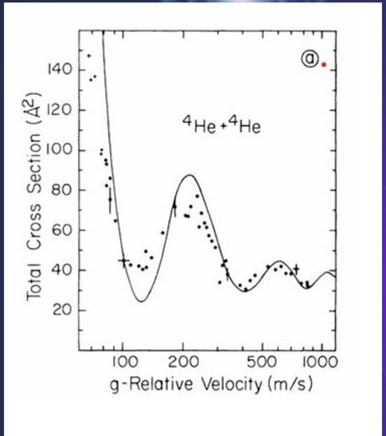
Ce comportement est similaireà l'effet Ramsauer–Townsend :

- À **basse énergie**, la particule est majoritairement réfléchie.
- À une **énergie particulière**, elle traverse avec une probabilité maximale.
- l'interférence des composantes du paquet d'ondes est constructive.

Comparaison







Stationnaire

Paquet d'onde

Résultats expérimentaux

étude de l'effet **Ramsauer–Townsend**,comparaison de trois approches différentes pour décrire la transmission d'un électron (ou d'un atome) à travers un puits de potentiel fini:

06
Limite du Modèle

Limites du modèle

Bien que le modèle du puits de potentiel est pertinent pour notre cas, on peut voir quelques limites dues à la simplicité du modèle

- 1 dimension
- Potentiel rectangulaire
- Indépendant du temps

Comment améliorer le modèle ?

3d

Avoir un modèle 3d permettrait de mieux représenter le caractère spatial de l’atome de gaz noble

temporel

Utiliser un modèle à potentiel dépendant du temps pour mieux représenter la réalité

Lisser les bords

Un potentiel gaussien ou sinus carré permettrait de supprimer les discontinuité et de mieux modéliser les champs des forces