

Table des matières

Introduction	5
--------------------	---

I Transport en milieu désordonné : phénomène de localisation

1	Phénomène de localisation d'Anderson	9
1.1	Diffusion et interférences	9
1.1.1	Phénomène de diffusion	9
1.1.2	Localisation faible	9
1.1.3	Suppression du transport : Localisation d'Anderson	9
1.2	Localisation des atomes froids	10
1.2.1	Etudes expérimentales de la localisation d'Anderson	10
1.2.2	L'approche des atomes froids	10
1.3	Vers l'étude du régime critique	10
1.3.1	Etat de l'art de l'étude de la transition d'Anderson	10
1.3.2	Nécessité d'une spectroscopie pour sonder le régime critique	10

II Transport d'atomes ultrafroids dans un speckle

2	Production d'une source cohérente d'ondes de matière	13
2.1	Condensation de Bose-Einstein	13
2.1.1	Statistique de Bose-Einstein	13
2.1.2	Propriétés d'un condensat de Bose-Einstein	13
2.2	Processus d'interaction lumière-matière	13
2.2.1	Potentiel dipolaire	13
2.2.2	Force de pression de radiation	13
2.2.3	Potentiel magnétique	13
2.2.4	Couplage radio-fréquence	13
2.3	Description d'un cycle expérimental	13
2.3.1	Première chambre	13
2.3.2	Chambre de science	13
2.3.3	Imagerie	13

3	Mises à jour de l'expérience	15
3.1	Mise à jour de l'informatique de l'expérience	15
3.1.1	Contrôle de l'expérience : passage à la suite Cicero	15
3.1.2	Développement d'une nouvelle interface d'acquisition et de traitement d'images	15
3.2	Réparation et recalibration de la lévitation magnétique	15
3.2.1	Réparation de la lévitation magnétique	15
3.2.2	Calibration par oscillations	15
3.2.3	Calibration par radio-fréquences	15
3.3	Changement du laser telecom et calibration du piège optique	15
3.3.1	Changement du laser telecom	15
3.3.2	Calibration du piège optique	15
3.4	Optimisation de l'évaporation tout-optique	15
4	Propriétés d'un désordre de type speckle	17
4.1	Propriétés statistiques d'un champ de speckle	17
4.1.1	Propriétés du diffuseur	17
4.1.2	Statistiques de l'intensité d'un speckle	17
4.2	Corrélations spatiales d'un champ de speckle	17
4.2.1	Implémentation expérimentale	17
4.2.2	Corrélation transverse	17
4.2.3	Corrélation longitudinale	18
4.3	Propriétés du potentiel de type speckle	18
4.3.1	Propriétés du potentiel	18
4.3.2	Possibilité d'un potentiel dépendant de l'état interne	18
4.4	Potentiel composé d'un speckle bichromatique	18
4.4.1	S'éloigner de résonance	18
4.4.2	Étude de la similitude de deux speckles	18

III

Temps de diffusion élastique

5	Temps de diffusion élastique	21
5.1	Approximation de Born	21
5.1.1	Règle d'or de Fermi	21
5.1.2	Régimes de diffusion	21
5.2	Mesure du temps de diffusion élastique	21
5.2.1	Procédure expérimentale	21
5.2.2	Extraction du temps de diffusion élastique	21
5.2.3	Calibration de l'amplitude du désordre	21
5.3	Comportement du temps de diffusion élastique	21
5.3.1	Régime de Born	21
5.3.2	Déviation au régime de Born	21
5.3.3	Départ quadratique	21

6	Approche spectrale	23
6.1	Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales	23
6.1.1	Généralités sur la fonction spectrale	23
6.1.2	Approximation de Born : premier ordre	23
6.1.3	Approximation de Born : second ordre	23
6.1.4	Approximation de Born auto-consistante	23
6.2	Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales mesurées pour un désordre de type speckle	23
6.2.1	Limite de l'approche auto-consistante pour un désordre de type speckle	23
6.2.2	Mesure des fonctions spectrales	23
6.2.3	Comparaison du temps de diffusion élastique avec les fonctions spectrales mesurées	23
	Conclusion et perspectives	25

IV**Annexes**

A	Calculs de champs de tavelures	29
A.1	Champ rayonné	29
A.2	Fonction de corrélation	29
B	Calcul du temps de diffusion élastique par le développement de Born	31
	Bibliographie	31

Introduction

Intro générale sur la physique, le contexte et présentation du plan.



Transport en milieu désordonné : phénomène de localisation

1	Phénomène de localisation d'Anderson . .	9
1.1	Diffusion et interférences	
1.2	Localisation des atomes froids	
1.3	Vers l'étude du régime critique	

Chapitre 1

Phénomène de localisation d'Anderson

présentation des effets d'interférences dans le désordre. scaling theory à la delande uniquement sur la conductance pour présenter la localisation 1D et 2D puis la 3D avec la transition. Terminer sur la quête du régime critique avec le graphe de delande2017, et introduction aux manip récentes et futures.

1.1. Diffusion et interférences

1.1.1 Phénomène de diffusion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

1.1.2 Localisation faible

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

1.1.3 Suppression du transport : Localisation d'Anderson

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend

at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

1.2. Localisation des atomes froids

1.2.1 Etudes expérimentales de la localisation d'Anderson

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

1.2.2 L'approche des atomes froids

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

1.3. Vers l'étude du régime critique

1.3.1 Etat de l'art de l'étude de la transition d'Anderson

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

1.3.2 Nécessité d'une spectroscopie pour sonder le régime critique

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.



Transport d'atomes ultrafroids dans un speckle

2	Production d'une source cohérente d'ondes de matière	13
2.1	Condensation de Bose-Einstein	
2.2	Processus d'interaction lumière-matière	
2.3	Description d'un cycle expérimental	
3	Mises à jour de l'expérience	15
3.1	Mise à jour de l'informatique de l'expérience	
3.2	Réparation et recalibration de la lévitation magnétique	
3.3	Changement du laser telecom et calibration du piège optique	
3.4	Optimisation de l'évaporation tout-optique	
4	Propriétés d'un désordre de type speckle	17
4.1	Propriétés statistiques d'un champ de speckle	
4.2	Corrélations spatiales d'un champ de speckle	
4.3	Propriétés du potentiel de type speckle	
4.4	Potentiel composé d'un speckle bichromatique	

Chapitre 2

Production d'une source cohérente d'ondes de matière

interaction lumière-atome, BEC, principales étapes de refroidissement.

2.1. Condensation de Bose-Einstein

2.1.1 Statistique de Bose-Einstein

2.1.2 Propriétés d'un condensat de Bose-Einstein

2.2. Processus d'interaction lumière-matière

2.2.1 Potentiel dipolaire

2.2.2 Force de pression de radiation

2.2.3 Potentiel magnétique

2.2.4 Couplage radio-fréquence

2.3. Description d'un cycle expérimental

2.3.1 Première chambre

2.3.2 Chambre de science

2.3.3 Imagerie

Chapitre 3

Mises à jour de l'expérience

parler des modifications apportées à la manip : cicero, ODT + evap, calibration levitation par oscillations + spin-flip, réparation lévitation...

3.1. Mise à jour de l'informatique de l'expérience

3.1.1 Contrôle de l'expérience : passage à la suite Cicero

3.1.2 Développement d'une nouvelle interface d'acquisition et de traitement d'images

3.2. Réparation et recalibration de la lévitation magnétique

3.2.1 Réparation de la lévitation magnétique

3.2.2 Calibration par oscillations

3.2.3 Calibration par radio-fréquences

3.3. Changement du laser telecom et calibration du piège optique

3.3.1 Changement du laser telecom

3.3.2 Calibration du piège optique

3.4. Optimisation de l'évaporation tout-optique

Chapitre 4

Propriétés d'un désordre de type speckle

Le chapitre 2 nous a renseigné quant aux propriétés de notre onde de matière ainsi que sa production. Dans ce chapitre, nous allons nous attacher à décrire le second élément clé à la localisation d'Anderson : le désordre.

La première partie se concentrera sur la statistique d'un champ de tavelures (ou *Speckle*, anglicisme communément admis), c'est à dire la distribution statistique d'intensité. Dans un second temps, nous décrirons les propriétés spatiales d'un speckle, en particulier la taille des grains de lumière dans les directions transverses et longitudinale. Dans une troisième partie nous parlerons du potentiel ressenti par les atomes ainsi que des possibilités offertes, puis dans une ultime partie nous étudierons une approche à deux longueurs d'onde pour dépasser les limitations d'une unique longueur d'onde pour l'étude de la transition d'Anderson à énergie résolue.

4.1. Propriétés statistiques d'un champ de speckle

4.1.1 Propriétés du diffuseur

Propriétés du diffuseur : variables gaussiennes sur l'épaisseur, transmittance, définition r_e et r_{diff} , phases, fonction de corrélation C_{diff} , insister sur σ_ϕ qui permettra de définir correctement un speckle pleinement développé dans la sous-section d'après

4.1.2 Statistiques de l'intensité d'un speckle

Marche aléatoire dans le plan complexe pour \vec{E} car $\sigma_{phi} \gg 2\pi$ ce qui valide l'approche de marche aléatoire (faire une figure de marche aléatoire avec beaucoup d'angles différents pour montrer que $\langle t \rangle \approx 0$, et que sinon $\langle t \rangle \neq 0$).

loi exponentielle pour l'intensité, contraste de 1 pour un speckle pleinement développé.

4.2. Corrélations spatiales d'un champ de speckle

4.2.1 Implémentation expérimentale

Présenter brièvement la méthode de mesure des corrélations et surtout la géométrie du problème.

4.2.2 Corrélation transverse

Calcul de la corrélation transverse aux alentours du plan de Fourier, forme gaussienne bien reproduite car la pupille ne coupe que quelques % de la lumière du faisceau laser

gaussien incident : la TF d'une gaussienne faiblement tronquée est une gaussienne correcte.

4.2.3 Corrélation longitudinale

Modélisation en tenant compte des effets non-paraxiaux pour vraiment reproduire la corrélation longitudinale. Calculs lourds numériquement et théoriquement, donc on met en place un modèle paraxial à ON effective.

4.3. Propriétés du potentiel de type speckle

4.3.1 Propriétés du potentiel

Traduction de $P_I(I)$ pour le potentiel dipolaire V , Taille des grains de potentiel σ , potentiel moyen V_R , possibilité de faire un potentiel attractif $\delta < 0$ ou répulsif $\delta > 0$

4.3.2 Possibilité d'un potentiel dépendant de l'état interne

4.4. Potentiel composé d'un speckle bichromatique

4.4.1 S'éloigner de résonance

Grosse limitation de l'approche précédente utilisée pour les fonctions spectrales : implique qu'on est proche de résonance pour l'état $|F=2\rangle$, donc taux d'absorption et d'émission spontanée important : grosse décohérence dans le désordre et donc impossible d'observer la localisation. Donc on s'éloigne de résonance, donc le potentiel sur $|F=1\rangle$ n'est plus négligeable, il faut le compenser : second speckle !

4.4.2 Étude de la similitude de deux speckles

Physique avec les mains de la similitude entre 2 speckles de longueurs d'onde faiblement différentes. introduction de la finesse $\lambda/\delta\lambda$ ou de la longueur de cohérence $l_{coh} = \lambda^2/\delta\lambda$. Décorrélacion initiale et globale due à la propagation dans le diffuseur, puis décorrélacion par la différence dans la taille des grains en s'éloignant de l'axe optique.



Temps de diffusion élastique

5	Temps de diffusion élastique	21
5.1	Approximation de Born	
5.2	Mesure du temps de diffusion élastique	
5.3	Comportement du temps de diffusion élastique	
6	Approche spectrale	23
6.1	Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales	
6.2	Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales mesurées pour un désordre de type speckle	

Chapitre 5

Temps de diffusion élastique

description temps de diffusion élastique, description rapide de la mesure. comparaison born ordre 1 (donné par Fermi Golden Rule), discussion kls, comparaison gaussien rouge bleu...

reprendre le PRL

5.1. Approximation de Born

5.1.1 Règle d'or de Fermi

5.1.2 Régimes de diffusion

5.2. Mesure du temps de diffusion élastique

5.2.1 Procédure expérimentale

5.2.2 Extraction du temps de diffusion élastique

5.2.3 Calibration de l'amplitude du désordre

5.3. Comportement du temps de diffusion élastique

5.3.1 Régime de Born

5.3.2 Déviations au régime de Born

5.3.3 Départ quadratique

Chapitre 6

Approche spectrale

Approche fonctions de green, ordre 1, ordre 2, SCBA... départ quadratique ? mesure fonctions spectrales ?

reprenre le NJP, et tenter une explication du départ quadratique. Faire gaffe avec les décroissances !

6.1. Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales

- 6.1.1 Généralités sur la fonction spectrale
- 6.1.2 Approximation de Born : premier ordre
- 6.1.3 Approximation de Born : second ordre
- 6.1.4 Approximation de Born auto-consistante

6.2. Temps de diffusion élastique et fonctions spectrales mesurées pour un désordre de type speckle

- 6.2.1 Limite de l'approche auto-consistante pour un désordre de type speckle
- 6.2.2 Mesure des fonctions spectrales
- 6.2.3 Comparaison du temps de diffusion élastique avec les fonctions spectrales mesurées

Conclusion et perspectives

Conclusion générique, ouverture sur la mesure du régime critique, mesures de fonctions spectrales à vitesse non nulle, CFS, localization landscape, DMD pour autres types de désordre et classes d'universalité...



Annexes

A	Calculs de champs de tavelures	29
A.1	Champ rayonné	
A.2	Fonction de corrélation	
B	Calcul du temps de diffusion élastique par le développement de Born	31

Annexe A

Calculs de champs de tavelures

1.1. Champ rayonné

Champ rayonné (Huygens-Fresnel paraxial) :

$$E(x, y, d) = \frac{e^{ik\left(d + \frac{x^2 + y^2}{2d}\right)}}{i\lambda} \int dx_0 dy_0 E_0(x_0, y_0) t(x_0, y_0) e^{ik\frac{(x_0^2 + y_0^2)}{2d_{eff}}} e^{-ik\frac{(xx_0 + yy_0)}{d}} \quad (\text{A.1})$$

avec $1/d_{eff} = 1/d - 1/f$ et $k = 2\pi/\lambda$.

1.2. Fonction de corrélation

$$\begin{aligned} C_{\delta I}(x_1, x_2, \lambda_1, \lambda_2) &= \langle (I(x_1, \lambda_1) - \langle I(x_1, \lambda_1) \rangle) (I(x_2, \lambda_2) - \langle I(x_2, \lambda_2) \rangle) \rangle \\ &= |C_E(x_1, x_2, \lambda_1, \lambda_2)|^2 \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

avec

$$C_E(x_1, x_2, y_1, y_2, d_1, d_2, \lambda_1, \lambda_2) = \langle E(x_1, y_1, d_1, \lambda_1) E^*(x_2, y_2, d_2, \lambda_2) \rangle \quad (\text{A.3})$$

donne :

$$C_E \propto \text{TF} [I_{eff}(x_0, y_0) \times G_{0eff}(x_0, y_0)] \left[\frac{x_1 k_1}{d_1} - \frac{x_2 k_2}{d_2} \right] \quad (\text{A.4})$$

avec

$$\begin{aligned} I_{eff}(x_0) &= I_0(x_0) \times e^{i\frac{x_0^2}{2} \left(\frac{k_1}{d_{eff1}} + \frac{k_2}{d_{eff2}} \right)} \\ G_{0eff}(x_0) &= \text{TF}^{-1} (C_{diff}(\Delta x)) \left[\frac{x_0}{2} \left(\frac{k_1}{d_{eff1}} + \frac{k_2}{d_{eff2}} \right) - \frac{x_1 k_1}{d_1} - \frac{x_2 k_2}{d_2} \right] \end{aligned}$$

Annexe B

Calcul du temps de diffusion élastique par le développement de Born