

Université des Sciences et Technologies de Lille



**Laboratoire de Physique des Lasers,
Atomes et Molécules**

THESE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

Par

Andrea DI STEFANO

Sujet :

**Refroidissement d'atomes par laser : de la diffusion spatiale
dans un réseau quasi-périodique aux instabilités du piège
magnéto-optique**

Soutenue le 5 décembre 2001 devant le jury composé de :

M. Ennio Arimondo	Rapporteur
M. Olivier Gorceix	Rapporteur
M. Pierre Glorieux	Examineur
M. Robin Kaiser	Examineur
M. Christophe Salomon	Examineur
M. Daniel Hennequin	Co-Directeur de thèse
M. Philippe Verkerk	Directeur de thèse

Résumé

Le travail de thèse présenté dans ce mémoire est consacré à l'étude expérimentale des propriétés d'un échantillon d'atomes froids de césium. Trois aspects différents de la physique de ces systèmes ont été abordés.

Dans la première partie, nous décrivons une étude des propriétés de diffusion spatiale dans un réseau optique à géométrie quasi-périodique. Les caractéristiques déjà très intéressantes du mouvement diffusif dans un potentiel lumineux sont enrichies par la brisure de l'invariance par translation du potentiel, qui donne lieu à des effets particuliers. On a pu notamment mettre en évidence une anisotropie de la diffusion entre les directions périodique et quasi-périodique d'un réseau à symétrie décagonale.

La deuxième partie discute les résultats d'une étude expérimentale sur les effets Hanle et Faraday non linéaires dans la transition $4 \rightarrow 5$ du césium. Les particularités des atomes froids nous ont permis de proposer un modèle simple, basé sur l'équation du pompage optique pour la matrice densité dans l'état fondamental, qui explique de façon satisfaisante les observations expérimentales.

Enfin, dans la troisième partie nous abordons le problème des instabilités d'un Piège Magnéto-Optique. Une étude expérimentale détaillée dans le cas d'un piège à trois bras indépendants et faisceaux retour rétro-réfléchis est complétée par un modèle dynamique qui prend en charge les variations spatiales de l'absorption des faisceaux lasers. Nous avons ainsi caractérisé un nouveau régime dynamique, différent du cas stochastique déjà connu, où les instabilités se présentent sous forme d'oscillations auto-entretenues de grande amplitude du nuage atomique.

Abstract

In this thesis we report the results of an experimental investigation on a cold cloud of Cesium atoms ; three different topics have been studied.

In the first part, we studied the spatial diffusion properties of a quasi-periodic optical lattice. The interesting behavior of the diffusive motion of atoms in a light potential is enriched by the lack of translational symmetry, giving rise to new effects. In particular, we have observed an anisotropy in the periodic and quasi-periodic diffusion coefficients for a five-fold symmetry lattice.

The second part deals with the experimental investigation of the Hanle and Faraday non linear effects for the $4 \rightarrow 5$ transition of Cesium. The peculiarity of cold atom systems allows us to propose a simple model, based on the rate equation for the ground state density matrix, that matches the experimental observations.

Finally, in the third part we investigate the instabilities of a magneto-optical trap. A detailed experimental study for a three arm retro-reflected beam trap is well described by a dynamical model that takes into account the spatial variations of laser beam absorption. We have identified a new instable regime, different from the stochastic one, that is characterised by large amplitude self-sustained oscillations of the atomic cloud.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	1
PARTIE I : INTRODUCTION THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE AUX ATOMES FROIDS	5
Introduction	7
Chapitre I : INTRODUCTION THÉORIQUE	9
I.1 Refroidir et piéger les atomes : refroidissement Doppler et Piège Magnéto-Optique	10
I.1.1 L'atome à deux niveaux et la force de pression de radiation	10
I.1.2 La mélasse optique	12
I.1.3 Le piège Magnéto-Optique	13
I.2 Les théories sub-Doppler	15
I.2.1 Limites du modèle à deux niveaux	15
I.2.2 Mélasse $\sigma^+ - \sigma^-$ et refroidissement Sisyphé	17
Chapitre II : LE MONTAGE EXPÉRIMENTAL	21
II.1 Quelques nombres sur l'atome de Césium	21
II.2 La mise au point des sources lasers	23
II.2.1 La diode maître	24

II.2.2	L'asservissement en fréquence par absorption saturée . . .	25
II.2.3	La diode esclave	28
II.2.4	Le repompeur	31
II.3	Réalisation du Piège	32
II.3.1	La cellule	33
II.3.2	Le champ magnétique	33
II.4	Le Temps de Vol	35

PARTIE II : DIFFUSION ATOMIQUE DANS DES RÉSEAUX QUASI-PÉRIODIQUES **39**

Introduction **41**

Chapitre III : INTRODUCTION AUX RÉSEAUX OPTIQUES **43**

III.1	Les réseaux optiques	43
III.1.1	Le refroidissement Sisyphe unidimensionnel	43
III.1.2	Localisation des atomes : le concept de réseau optique . . .	48
III.1.3	Propriétés de symétrie	50
III.2	Méthodes d'étude expérimentale	52
III.2.1	Spectroscopie pompe-sonde	52
III.2.2	Lumière de fluorescence	55
III.2.3	Diffraction de Bragg	56
III.2.4	Temps de Vol	57
III.3	Méthodes de simulation numérique	57
III.3.1	Monte-Carlo semi-classique	58
III.3.2	Méthode des bandes et Monte-Carlo quantique	58

Chapitre IV : ÉTUDE DE LA DIFFUSION ATOMIQUE DANS UN RÉSEAU QUASI-PÉRIODIQUE	61
IV.1 Au delà de l'hypothèse de périodicité : le cas quasi-périodique . .	62
IV.1.1 Fonctions quasi-périodiques et leurs propriétés	62
IV.1.2 La construction du potentiel lumineux quasi-périodique . .	66
IV.2 Le problème de la diffusion atomique	68
IV.2.1 Diffusion normale et anormale	68
IV.2.2 Rôle de la quasi-périodicité : l'exemple des quasicristaux .	71
IV.3 Le cas d'un réseau optique quasi-périodique à symétrie pentagonale	72
IV.3.1 Réalisation du réseau	74
IV.3.2 Méthode d'acquisition	76
IV.3.3 Observations expérimentales	80
i) Les signaux temporels	80
ii) Le comportement en fonction des paramètres . .	82
IV.3.4 Simulations semi-classiques a 3D	87
IV.3.5 Discussions des résultats	90
i) La diffusion atomique	90
ii) L'influence de la quasi-périodicité	94
IV.4 Vers un régime hamiltonien	97
IV.5 Conclusion	100

PARTIE III : EFFETS HANLE ET FARADAY NON LINÉAIRES 103

Introduction	105
---------------------	------------

Chapitre V : LA CONFIGURATION DE CHAMPS CROISÉS, LES RÉSONANCES NOIRES ET LE CPT	107
---	------------

V.1	La configuration de champs croisés : effets Hanle et Faraday . . .	107
V.1.1	Description classique	107
V.1.2	L'approche quantique	111
V.2	La limite des faibles saturations : résonances sub-naturelles dans le niveau fondamental	114
V.3	Le Piégeage Cohérent de Population	118
V.3.1	Interaction à deux ondes	119
V.3.2	Transparence et Opacité Induites Électro-Magnétiquement	120
Chapitre VI : EFFETS HANLE ET FARADAY NON LINÉAIRES SUR LA TRANSITION $F_g = 4 \rightarrow F_e = 5$ DU CÉSIUM		123
VI.1	Les raisons d'une expérience sur des atomes froids	123
VI.2	L'approche théorique	124
VI.3	Le dispositif expérimental	128
VI.3.1	Description du montage et de la séquence temporelle de l'expérience	128
VI.3.2	Les configurations de champs utilisées	131
VI.4	La configuration à polarisation circulaire	132
VI.4.1	Transitoire des signaux d'absorption	132
VI.4.2	Largeur et contraste de la raie à résonance	137
VI.4.3	Croisement de niveaux	141
VI.5	La configuration Faraday	143
VI.5.1	Les résonances Hanle	143
VI.5.2	Les résonances Faraday	146
VI.6	Conclusion	149

PARTIE IV : LES INSTABILITÉS DU PIÈGE MAGNÉTO - OP-

TIQUE	151
Introduction	153
Chapitre VII : INSTABILITÉS DÉTERMINISTES DANS UN PIÈGE MAGNÉTO- OPTIQUE	155
VII.1 Un regard plus complet sur le PMO	155
VII.1.1 Refroidissement Doppler et sub-Doppler	156
VII.1.2 Alignement et phase relative	156
VII.1.3 Les effets collectifs	157
VII.1.4 Séparation en régimes de fonctionnement	159
VII.1.5 D'autres géométries de faisceaux	161
VII.2 Étude expérimentale des instabilités dans un PMO	161
VII.2.1 Le choix des variables et de la géométrie du système	163
VII.2.2 Relation entre les variables théoriques et leur mesure expé- rimentale	164
VII.2.3 Description du montage expérimental et de ses performances	166
VII.2.4 Observations expérimentales	167
i) Évolution du signal temporel en fonction des pa- ramètres de contrôle	169
ii) Fréquence des oscillations et largeur de la plage instable	171
iii) L'action du bruit sur la dynamique instable	176
VII.3 La modélisation théorique	179
VII.3.1 Les équations de base	179
VII.3.2 Le modèle à absorption globale	182
VII.3.3 Le modèle à gradient d'intensité	184
VII.3.4 Solutions stationnaires et dynamique stochastique	186

VII.3.5 Analyse de la zone d'instabilité	188
VII.3.6 Le rôle du bruit	192
VII.4 Conclusion	194
CONCLUSION GÉNÉRALE	197
Appendice : MODÉLISATION DE L'ABSORPTION DANS LE MODÈLE À GRADIENT D'INTENSITÉ	199
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	203

AVANT-PROPOS

Le secteur de la Physique Atomique concernant la Physique des Atomes Froids a passé désormais sa première génération. La proposition à laquelle on fait d'habitude coïncider sa date de naissance, l'article de Hänsch et Schawlow sur le refroidissement Doppler [1], est en effet du 1975. Pendant ces 25 dernières années, les progrès dans ce domaine de la recherche ont été spectaculaires. Le contrôle des degrés de liberté externes a permis, par exemple, de refroidir les atomes à des températures bien inférieures à l'énergie de recul d'un seul photon [2, 3], de les piéger grâce à des champs magnétiques [4], de les ordonner dans un potentiel lumineux jusqu'à les accumuler dans un niveau vibrationnel déterminé [5]. Si l'on ajoute à cela les techniques de contrôle des degrés de liberté internes de l'atome, comme par exemple dans la préparation cohérente d'un état quantique, on comprend facilement combien est élevé le niveau de maîtrise que l'on peut atteindre.

Les phénomènes physiques rencontrés dans la préparation d'un échantillon d'atomes froids représentent, par eux-mêmes, des objets d'étude très intéressants. Des questions fondamentales, liées par exemple à la dynamique des atomes plongés dans un potentiel lumineux (le domaine, très vaste, des réseaux optiques) continuent d'intéresser les physiciens. Néanmoins, les performances des techniques de refroidissement ont attribuées de plus en plus aux atomes froids la tâche de phase de préparation pour d'autres expériences. L'exemple le plus évident est sans doute la condensation de Bose-Einstein [6], qui doit beaucoup aux techniques de refroidissement et de piégeage par laser (un condensat tout optique a d'ailleurs été récemment obtenu [7]). Mais on peut continuer la liste, toujours en physique fondamentale, en rappelant les progrès en métrologie [8, 9] et en interférométrie atomique [10]. On commence aussi à entrevoir des avancées significatives dans des applications pratiques comme la lithographie, en particulier grâce à l'optimisation des expériences de condensation [11]. On peut donc voir les atomes froids

dans une double optique : d'une part, comme des systèmes physiques à étudier, de l'autre, comme un outil très performant pour la préparation d'expériences de Physique Atomique.

C'est sur ce double aspect que se positionne la contribution apportée par ce mémoire. Les phénomènes auxquels nous consacrerons notre intérêt sont assez variés, mais tous reliés par l'utilisation, directe ou indirecte, des techniques de refroidissement laser.

Il nous a semblé indiqué de structurer le manuscrit en quatre parties. La première est consacrée à la discussion des points fondamentaux, tant au niveau théorique qu'expérimental, d'une expérience sur les atomes froids. On introduit ainsi les ingrédients principaux auxquels on fera allusion dans le reste du mémoire : le refroidissement Doppler et sub-Doppler, le piège magnéto-optique, mais aussi les différents schémas et montages expérimentaux utilisés.

Dans la deuxième partie notre attention se concentre sur un aspect particulier d'une structure typique de la Physique des Atomes Froids, le réseau optique. On s'intéresse à la diffusion spatiale des atomes dans un potentiel lumineux quasi-périodique : il s'agit d'un aspect qui nous portera tout naturellement à faire des digressions dans d'autres domaines, telles que la Physique du Solide ou la Physique Statistique. L'approche adoptée dans la présentation des réseaux optiques, qui souligne les propriétés générales de symétrie, aide à introduire directement le concept de potentiel quasi-périodique. On passe ensuite à la discussion des résultats expérimentaux obtenus dans le cas d'une géométrie décagonale, qui nous permet de comparer la diffusion spatiale dans les deux situations, périodique et quasi-périodique. On a pu ainsi mettre en évidence des résultats intéressants en ce qui concerne la problématique de la diffusion spatiale dans un réseau ; en même temps, nos observations soulignent les difficultés techniques qui nous séparent de la situation hamiltonienne idéale, qui est la plus adaptée pour étudier le caractère quantique des propriétés de transport.

Dans la troisième partie, nous rencontrons un exemple de la façon dont les atomes froids peuvent être utilisés pour l'investigation d'autres phénomènes physiques. On s'attache, dans notre cas, à l'étude des effets Hanle et Faraday non linéaires sur une transition du type $F_e = F_g + 1$; bien qu'il s'agisse de deux

phénomènes, même dans leur version non linéaire, connus depuis longtemps, la possibilité de les observer sur des atomes froids simplifie notablement le cadre théorique nécessaire pour l'interprétation des résultats. Les résonances étroites obtenues dans l'absorption et dans l'angle de rotation de la polarisation de la lumière laser (ou, ce qui revient au même, dans les composantes imaginaire - χ'' - et réelle - χ' - de la susceptibilité électrique) sont bien expliquées par la compétition entre pompage optique et champ magnétique transverse. Une autre approche descriptive, qui privilégie la création suivie de la destruction d'une superposition cohérente de niveaux, rapproche les effets Hanle et Faraday du Piégeage Cohérent de Population, et permet de les recadrer dans la problématique générale de la préparation cohérente d'états atomiques.

Enfin, la quatrième partie s'occupe du comportement instable du piège magnéto-optique. Il s'agit là d'un aspect assez spécialisé, mais très intéressant pour tous ceux qui travaillent expérimentalement avec des atomes froids. Le piège magnéto-optique est en effet l'outil principal pour la réalisation d'un échantillon d'atomes froids, et son utilisation est très répandue. Néanmoins, comme on essaie de le démontrer dans la partie introductive, les phénomènes physiques qui contribuent à son fonctionnement sont nombreux et de modélisation difficile. Aussi pour cette raison, les instabilités du piège ont été longtemps aussi faciles à voir que difficiles à expliquer. Le travail que l'on présente ici est une analyse détaillée des instabilités d'un piège à trois bras indépendants et faisceaux retour rétro-réfléchis, qui complète une étude déjà effectuée au sein de notre équipe; on démontre qu'une grande partie de la dynamique instable peut être expliquée avec un seul ingrédient physique principal (l'effet d'ombre) et modélisée par un système simple d'équations non linéaires. Toutefois, bien que simple, le modèle donne des résultats qui ne sont pas toujours aussi évidents, comme par exemple le comportement anormal en proximité d'une bifurcation de Hopf qui donne lieu à des oscillations auto-entretenues de grande amplitude du nuage.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la Physique des Atomes Froids, et s'articule selon trois axes principaux de recherche. Pour chacune de ces voies, on a présenté dans le manuscrit les résultats obtenus, en proposant en même temps une modélisation qui permette d'interpréter les observations expérimentales.

L'étude de la diffusion spatiale dans un réseau optique quasi-périodique nous a permis de tirer un certain nombre de conclusions à l'égard des processus diffusifs dans les potentiels lumineux. En particulier, on a pu constater que la nature tridimensionnelle du système influence la dynamique du processus, et provoque une augmentation des coefficients de diffusion par rapport aux valeurs estimées en une ou deux dimensions. La quasi-périodicité du potentiel se révèle principalement dans deux observations expérimentales : une dépendance de la diffusion du nombre d'atomes dans le réseau et, surtout, une différence entre les coefficients de diffusion dans les directions périodique et quasi-périodique. Cette anisotropie de la diffusion est bien reproduite par des simulations Monte-Carlo semi-classiques qui prennent en charge la tridimensionnalité du réseau.

L'influence de la quasi-périodicité sur les propriétés de transport atomique, un aspect très intéressant du système que l'on a étudié, est toutefois limitée par le régime dissipatif qui est propre aux réseaux brillants. On a déjà largement souligné, à la fin du chapitre IV, quelles sont les avantages que l'on obtient dans le passage au régime hamiltonien, ainsi que les difficultés principales, liées en premier lieu à la nécessité d'une source laser monomode et de grande puissance. Il s'agit d'un effort technique considérable, mais qui promet d'ouvrir des perspectives extrêmement intéressantes.

L'analyse des effets Hanle et Faraday non linéaires dans la transition $F_g = 4 \rightarrow F_e = 5$ du césium donne un exemple très "pédagogique" de la façon dont l'utilisation des atomes froids peut simplifier le cadre théorique. Dans notre cas, la

simple application de l'équation du pompage optique pour la matrice densité dans l'état fondamental suffit pour reproduire la majorité des résultats expérimentaux. Il reste quand même préférable d'étendre le calcul au cas non perturbatif, avec la prise en compte du système atomique complet, pour vérifier dans quelle mesure la valeur relativement élevée du paramètre de saturation intervient dans la détermination de la largeur des résonances.

En ce qui concerne les instabilités du piège magnéto-optique, l'étude présentée donne une vision complète du phénomène. La qualité de l'accord entre l'expérience et le modèle nous permet de conclure que les deux points fondamentaux qui caractérisent la dynamique instable sont l'effet d'ombre et le bruit sur les paramètres. De ce point de vue, on peut dire que les astuces expérimentales que l'on a toujours utilisées, comme par exemple désaligner les faisceaux ou travailler à désaccords très supérieurs, en valeur absolue, à Γ , sont maintenant justifiées, puisqu'elles réduisent l'effet d'ombre et élargissent l'espace des paramètres où la solution est stable. Un autre aspect nouveau qui sort de cette analyse est la nature déterministe des instabilités : contrairement au cas stochastique, une réduction du bruit expérimental ne suffit pas à éliminer les fluctuations du nuage atomique.

Une extension du modèle qui serait sans doute très utile concerne le piège à six faisceaux indépendants, qui est désormais la configuration de PMO la plus utilisée. Comme on l'a déjà souligné, il est probable que les mêmes ingrédients physiques restent à la base du comportement instable. Il faut, enfin, rappeler que, même si les pièges avec des atomes "standard" (comme le césium ou le rubidium) sont désormais bien maîtrisés du point de vue expérimental, un nombre croissant de groupes travaille sur la réalisation de pièges avec des nouveaux types d'atomes. Rien n'empêche que des conditions particulières sur l'espace des paramètres rendent alors beaucoup plus difficiles à éviter les comportements instables étudiés ici.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] T. W. HÄNSCH ET A. L. SCHAWLOW. « *Cooling of gases by laser radiation* ». Opt. Comm. **13**, 68 (1975).
- [2] J. LAWALL, S. KULIN, B. SAUBAMEA, N. BIGELOW, M. LEDUC, ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Three-dimensional laser cooling of helium beyond the single-photon recoil limit* ». Phys. Rev. Lett. **75**, 4195 (1995).
- [3] M. KASEVICH ET S. CHU. « *Laser cooling below a photon recoil with three level atoms* ». Phys. Rev. Lett. **69**, 1741 (1992).
- [4] E. L. RAAB, M. PRENTISS, A. CABLE, S. CHU, ET D. E. PRITCHARD. « *Trapping of neutral sodium atoms with radiation pressure* ». Phys. Rev. Lett. **59**, 2631 (1987).
- [5] S. E. HAMANN, D. L. HAYCOCK, G. KLOSE, P. H. PAX, I. H. DEUTSCH, ET P. S. JESSEN. « *Resolved-sideband Raman cooling to the ground state of an optical lattice* ». Phys. Rev. Lett. **80**, 4149 (1998).
- [6] M. H. ANDERSON, J. H. ENSHER, M. R. MATHEWS, C. E. WIEMAN, ET E. A. CORNELL. « *Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor* ». Science **269**, 198 (1995).
- [7] M. D. BARRETT, J. A. SAUER, ET M. S. CHAPMAN. « *All-optical formation of an atomic Bose-Einstein condensate* ». Phys. Rev. Lett. **87**, 010404 (2001).
- [8] G. SANTARELLI, P. LAURENT, P. LEMONDE, A. CLAIRON, A. G. MANN, S. CHANG, A. N. LUITEN, ET C. SALOMON. « *Quantum projection noise in an atomic fountain : a high stability Cesium frequency standard* ». Phys. Rev. Lett. **82**, 4619 (1999).

- [9] Y. SORTAIS, S. BIZE, C. NICOLAS, A. CLAIRON, C. SALOMON, ET C. WILLIAMS. « *Cold collision frequency shifts in a ^{87}Rb atomic fountain* ». Phys. Rev. Lett. **85**, 3117 (2000).
- [10] Edité par P. BERMAN. « *Atom Interferometry* ». Academic Press New York (1997).
- [11] W. HÄNSEL, P. HOMMELHOFF, T. W. HÄNSCH, ET J. REICHEL. « *Bose-Einstein condensation on a microelectronic chip* ». Nature **413**, 498 (2001).
- [12] O. R. FRISCH. « *Experimenteller nachweis des Einsteinschen Strahlungsrückstosses* ». Z. Phys. **86**, 42 (1933).
- [13] J. DALIBARD ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Laser cooling below the Doppler limit by polarization gradients : simple theoretical models* ». J. Opt. Soc. Am. B **6**, 2023 (1989).
- [14] C. COHEN-TANNOUJDI. « *Atomic motion in laser light* », dans « *Fundamental Systems in Quantum Optics* », Les Houches 1990, Session LIII. Edité par J. DALIBARD, J.-M. RAIMOND, ET J. ZINN-JUSTIN , p. 1. Elsevier Science, Amsterdam (1992).
- [15] C. COHEN-TANNOUJDI, J. DUPONT-ROC, ET G. GRYNBERG. « *Processus d'interaction entre photons et atomes* ». InterEdition/Edition du C.N.R.S. Paris (1988).
- [16] A. ASPECT, J. DALIBARD, A. HEIDMANN, C. SALOMON, ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Cooling atoms with stimulated emission* ». Phys. Rev. Lett. **57**, 1688 (1986).
- [17] F. DALFOVO, S. GIORGINI, L. P. PITAEVSKII, ET S. STRINGARI. « *Theory of Bose-Einstein condensate in trapped gases* ». Rev. Mod. Phys. **71**, 463 (1999).
- [18] A. ASHKIN ET J. P. GORDON. « *Stability of radiation-pressure particle traps : an optical Earnshaw theorem* ». Opt. Lett. **8**, 511 (1983).
- [19] T. BERGEMAN ET G. EREZ ANS H. J. METCALF. « *Magnetostatic trapping fields for neutral atoms* ». Phys. Rev. A **35**, 1535 (1987).
- [20] D. E. PRITCHARD, E. L. RAAB, V. BAGNATO, C. E. WEIMAN, ET R. N. WATTS. « *Light traps using spontaneous forces* ». Phys. Rev. Lett. **57**, 310 (1986).

- [21] R. GRIMM, M. WEIDEMÜLLER, ET Y. B. OVCHINNIKOV. « *Optical dipole traps for neutral atoms* ». Adv. At. Mol. Opt. Phys. **42**, 95 (2000).
- [22] P. D. LETT, R. N. WATTS, C. I. WESTBROOK, W. D. PHILLIPS, P. L. GOULD, ET H. J. METCALF. « *Observation of atoms laser cooled below the Doppler limit* ». Phys. Rev. Lett. **61**, 169 (1988).
- [23] P. J. UNGAR, D. S. WEISS, E. RIIS, ET S. CHU. « *Optical molasses and multilevel atoms : theory* ». J. Opt. Soc. Am. B **6**, 2058 (1989).
- [24] E. ARIMONDO. « *Coherent Population trapping in laser spectroscopy* », dans « *Progress in Optics XXXV* ». Edité par E. WOLF , pp. 257–354. Elsevier Science (1996).
- [25] K. I. PETSAS. « *Atomes ultrafroids dans des réseaux de lumière : étude théorique du magnétisme, de la température et des structures multidimensionnelles* ». Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris (1996).
- [26] I. H. DEUTSCH, J. GRONDALSKI, ET P. M. ALSING. « *Local dynamics of laser cooling in an optical lattice* ». Phys. Rev. A **56**, R1705 (1997).
- [27] P. VERKERK, B. LOUNIS, C. SALOMON, C. COHEN-TANNOUDJI, J.-Y. COURTOIS, ET G. GRYNBERG. « *Dynamics and spatial order of cold cesium atoms in a periodic optical potential* ». Phys. Rev. Lett. **68**, 3861 (1992).
- [28] P. S. JESSEN, C. GERZ, P. D. LETT, W. D. PHILLIPS, S. L. ROLSTON, R. J. C. SPREEUW, ET C. I. WESTBROOK. « *Observation of quantized motion of Rb atoms in an optical field* ». Phys. Rev. Lett. **69**, 49 (1992).
- [29] J.-Y. COURTOIS ET G. GRYNBERG. « *Probe transmission in one-dimensional optical molasses : Theory for linearly cross-polarized cooling beams* ». Phys. Rev. A **46**, 7060 (1992).
- [30] C. TRICHÉ. « *Refroidissement et dynamique d'atomes dans des potentiels lumineux : mélasses grises, réseaux de plots et réseaux brillants* ». Thèse de Doctorat, École Polytechnique - Palaiseau (1997).
- [31] G. GRYNBERG ET J.-Y. COURTOIS. « *Proposal for a magneto-optical lattice for trapping atoms in nearly-dark states* ». Europhys. Lett. **27**, 41–46 (1994).
- [32] A. HEMMERICH ET T. W. HÄNSCH. « *Two-dimensional atomic crystal bound by light* ». Phys. Rev. Lett. **70**, 410 (1993).

- [33] G. GRYNBERG, B. LOUNIS, P. VERKERK, J.-Y. COURTOIS, ET C. SALOMON. « *Quantized motion of cold cesium atoms in two- and three-dimensional optical potentials* ». Phys. Rev. Lett. **70**, 2249 (1993).
- [34] A. KASTBERG, W. D. PHILLIPS, S. L. ROLSTON, R. J. SPREEUW, ET P. S. JESSEN. « *Adiabatic cooling of cesium to 700 nK in an optical lattice* ». Phys. Rev. Lett. **74**, 1542 (1995).
- [35] P. S. JESSEN ET I. H. DEUTSCH. *Advances in Atomic, Molecular, and Optical Physics* **37**, 58 (1996).
- [36] D. R. MEACHER. « *Optical lattices - crystalline structure bound by light* ». Contemp. Phys. **39**, 329 (1998).
- [37] L. GUIDONI ET P. VERKERK. « *Optical lattices : cold atoms ordered by light* ». J. Opt. B : Quantum Semiclass. Opt. **1**, R23 (1999).
- [38] L. GUIDONI. « *Quasicristaux optiques : refroidissement et piégeage d'atomes de césium dans un potentiel lumineux quasi-périodique.* ». Thèse de Doctorat, Université Paris XI - Paris (1998).
- [39] J.-Y. COURTOIS. « *Spectroscopie Raman et Rayleigh stimulée d'atomes refroidis par laser. Dynamique des mélasses optiques unidimensionnelles.* ». Thèse de Doctorat, École Polytechnique - Palaiseau (1993). Publié dans Ann. Phys. Fr., **21**, pp. 1-265 (1996).
- [40] J.-Y. COURTOIS. « *Novel stimulated scattering process in optical lattices* », dans « *Coherent and collective interactions of particles and radiation beams* », Proceedings of the International School of Physics « Enrico Fermi ». Course CXXXI, Varenna 1995. Edité par A. ASPECT, W. BARLETTA, ET R. BONIFACIO , p. 341. North-Holland, Amsterdam (1996).
- [41] J.-Y. COURTOIS, S. GUIBAL, D. R. MEACHER, P. VERKERK, ET G. GRYNBERG. « *Propagating elementary excitation in a dilute optical lattice* ». Phys. Rev. Lett. **77**, 40 (1996).
- [42] S. GUIBAL. « *Dynamique d'atomes froids piégés dans un réseau lumineux : étude par spectroscopie pompe-sonde* ». Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris (1997).
- [43] J.-Y. COURTOIS, G. GRYNBERG, B. LOUNIS, ET P. VERKERK. « *Recoil-induced resonances in cesium : an atomic analog to the free-electron laser* ». Phys. Rev. Lett. **72**, 3017 (1996).

- [44] S. GUIBAL, C. TRICHÉ, L. GUIDONI, P. VERKERK, ET G. GRYNBERG. « *Recoil-induced resonances of cesium atoms in the transient domain* ». Optics Commun. **131**, 61–65 (1996).
- [45] A. HEMMERICH, C. ZIMMERMANN, ET T. W. HÄNSCH. « *Sub-kHz Rayleigh resonance in a cubic atomic crystal* ». Europhys. Lett. **22**, 89 (1993).
- [46] C. TRICHÉ, L. GUIDONI, P. VERKERK, ET G. GRYNBERG. « *Coherent transients in optical lattices* », dans « *Trends in Optics and Photonics : ultracold atoms and Bose-Einstein-Condensation* ». Edité par K. BURNETT, p. 82. Optical Society of America, Washington DC (1997).
- [47] C. I. WESTBROOK, R. N. WATTS, C. E. TANNER, S. L. ROLSTON, W. D. PHILLIPS, P. D. LETT, ET P. L. GOULD. « *Localization of atoms in a three-dimensional standing wave* ». Phys. Rev. Lett. **65**, 33 (1990).
- [48] T. W. HODAPP, C. GERZ, C. FURTHLEHNER, C. I. WESTBROOK, W. D. PHILLIPS, ET J. DALIBARD. « *Spatial diffusion in 3D optical molasses* ». Appl. Phys. B **60**, 135 (1995).
- [49] L. GUIDONI, B. DÉPRET, A. DI STEFANO, ET P. VERKERK. « *Atomic diffusion in an optical quasicrystal with fivefold symmetry* ». Phys. Rev. A **60**, R4233 (1999).
- [50] C. JURCZAK, B. DESRUELLE, K. SENGSTOCK, J.-Y. COURTOIS, C. I. WESTBROOK, ET A. ASPECT. « *Atomic transport in an optical lattice : an investigation through polarization-selective intensity correlations* ». Phys. Rev. Lett. **77**, 1727 (1996).
- [51] C. JURCZAK. « *Spectroscopie par corrélation d'intensité d'atomes refroidis par laser. Application à l'étude de la dynamique et du transport dans les réseaux atomiques* ». Thèse de Doctorat, École Polytechnique - Palaiseau (1996).
- [52] G. BIRKL, M. GATZKE, I. H. DEUTSCH, S. L. ROLSTON, ET W. D. PHILLIPS. « *Bragg scattering from atoms in optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **75**, 2823 (1995).
- [53] M. WEIDEMÜLLER, A. HEMMERICH, A. GÖRLITZ, T. ESSLINGER, ET T. W. HÄNSCH. « *Bragg diffraction in an atomic lattice bound by light* ». Phys. Rev. Lett. **75**, 4583 (1995).

- [54] L. GUIDONI, C. TRICHÉ, P. VERKERK, ET G. GRYNBERG. « *Quasiperiodic optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **79**, 3363 (1997).
- [55] G. RAITHEL, G. BIRKL, W. D. PHILLIPS, ET S. L. ROLSTON. « *Compression and parametric driving of atoms in optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **78**, 2928 (1997).
- [56] M. WALHOUT, U. STERR, C. ORZEL, M. HOOGERLAND, ET S. L. ROLSTON. « *Optical control of ultracold collisions in metastable xenon* ». Phys. Rev. Lett. **74**, 506 (1995).
- [57] A. G. TRUSCOTT, D. BALEVA, N. R. HECKENBERG, ET H. RUBINSZTEIN-DUNLOP. « *Short-term spatial diffusion in σ^+ - σ^- optical molasses* ». Opt. Comm. **145**, 81 (1998).
- [58] A. DI STEFANO, D. WILKOWSKI, J. H. MÜLLER, ET E. ARIMONDO. « *Five-Beam magneto-optical trap and optical molasses* ». Appl. Phys. B **69**, 263 (1999).
- [59] S. DE GROOT. « *La transformation de Weyl et la fonction de Wigner : une forme alternative de la mécanique quantique* ». Les Presses de l'Université de Montréal Montréal (1975).
- [60] S. GUIBAL, C. MENNERAT-ROBILLIARD, D. LAROUSSERIE, C. TRICHÉ, J.-Y. COURTOIS, ET G. GRYNBERG. « *Radiation pressure in a rubidium optical lattice : an atomic analog to the photorefractive effect* ». Phys. Rev. Lett. **78**, 4709 (1997).
- [61] Y. CASTIN ET J. DALIBARD. « *Quantization of atomic motion in optical molasses* ». Europhys. Lett. **14**, 761 (1991).
- [62] K. I. PETSAS, J.-Y. COURTOIS, ET G. GRYNBERG. « *Temperature and magnetism of gray optical lattices* ». Phys. Rev. A **53**, 2533 (1996).
- [63] J. DALIBARD, Y. CASTIN, ET K. MØLMER. « *Wave-function approach to dissipative processes in quantum optics* ». Phys. Rev. Lett. **68**, 580 (1992).
- [64] P. MARTE, R. DUM, R. TAÏEB, ET P. ZOLLER. « *Resonance fluorescence from quantized one-dimensional molasses* ». Phys. Rev. A **47**, 1378 (1993).
- [65] R. TAÏEB, P. MARTE, R. DUM, ET P. ZOLLER. « *Spectrum of resonance fluorescence and cooling dynamics in quantized one dimensional molasses : Effects of laser configuration* ». Phys. Rev. A **47**, 4986 (1993).

- [66] S. MARKSTEINER, K. ELLINGER, ET P. ZOLLER. « *Anomalous diffusion and Lévy walks in optical lattices* ». Phys. Rev. A **53**, 3409 (1996).
- [67] Y. CASTIN ET K. MØLMER. « *Monte Carlo wave-function analysis of 3D optical molasses* ». Phys. Rev. Lett. **74**, 3772 (1995).
- [68] D. LEVINE ET P. J. STEINHARDT. « *Quasicrystals : a new class of ordered structures* ». Phys. Rev. Lett. **53**, 2477 (1984).
- [69] L. GUIDONI ET P. VERKERK. « *Direct observation of atomic localisation in optical superlattices* ». Phys. Rev. A **57**, R1501 (1998).
- [70] P. HORAK, J. Y. COURTOIS, ET G. GRYNBERG. « *Atom cooling and trapping by disorder* ». Phys. Rev. A **58**, 3953 (1999).
- [71] D. BOIRON, C. MENNERAT-ROBILLIARD, J.-M. FOURNIER, L. GUIDONI, C. SALOMON, ET G. GRYNBERG. « *Trapping and cooling cesium atoms in a speckle field* ». Eur. Phys. J. D **7**, 373 (1999).
- [72] C. MENNERAT-ROBILLIARD. « *Atomes froids dans des réseaux optiques : quelques facettes surprenantes d'un système modèle* ». Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris (1999).
- [73] Edité par F. HIPPERT ET D. GRATIAS. « *Lectures on quasicrystals* ». Les Editions de Physique Paris (1994).
- [74] J. E. S. SOCOLAR, P. J. STEINHARDT, ET D. LEVINE. « *Quasicrystals with arbitrary orientational symmetry* ». Phys. Rev. B **32**, 5547 (1985).
- [75] P. LANGEVIN. C. R. Acad. Sci. Paris **146**, 530 (1908).
- [76] C. KITTEL. « *Elementary Statistical Physics* ». Wiley and Sons New York (1958).
- [77] J. P. BOUCHAUD ET A. GEORGES. « *Anomalous diffusion in disordered media : statistical mechanisms, models and physical applications* ». Phys. Rep. **195**, 127–293 (1990).
- [78] F. BARDOU, J. P. BOUCHAUD, O. EMILE, A. ASPECT, ET C. COHEN-TANNOUDJI. « *Subrecoil laser cooling and Lévy flights* ». Phys. Rev. Lett. **72**, 203 (1994).
- [79] H. KATORI, S. SCHLIPF, ET H. WALTERS. « *Anomalous diffusion of a single ion in an optical lattice* ». Phys. Rev. Lett. **79**, 2221 (1997).

- [80] S. MARTIN, A. F. HEBARD, A. R. KORTAN, ET F. A. THIEL. « *Transport properties of $Al_{65}Cu_{15}Co_{20}$ and $Al_{70}Ni_{15}Co_{15}$ decagonal quasicrystals* ». Phys. Rev. Lett. **67**, 719 (1991).
- [81] Y. CASTIN, K. BERG-SØRENSEN, J. DALIBARD, ET K. MØLMER. « *Two-dimensional Sisyphus cooling* ». Phys. Rev. A **50**, 5092 (1994).
- [82] J. P. DOWLING ET J. GEA-BANACLOCHE. Adv. At. Mol. Opt. Phys. **37**, 1 (1996).
- [83] Y. B. OVCHINNIKOV, I. MANEK, ET R. GRIMM. « *Surface traps for Cs atoms based on evanescent-wave cooling* ». Phys. Rev. Lett. **79**, 2225 (1997).
- [84] T. KUGA, Y. TORII, N. SHIOKAWA, T. HIRANO, Y. SHIMIZU, ET H. SASADA. « *Novel optical trap of atoms with a doughnut beam* ». Phys. Rev. Lett. **78**, 4713 (1997).
- [85] K. BONGS, S. BURGER, G. BIRKL, K. SENGSTOCK, W. ERTMER, K. RZAZEWSKI, A. SANPERA, ET M. LEWENSTEIN. « *Coherent evolution of bouncing Bose-Einstein condensates* ». Phys. Rev. Lett. **83**, 3577 (1999).
- [86] K. BONGS, S. BURGER, S. DETTMER, D. HELLWEG, J. ARLT, W. ERTMER, ET K. SENGSTOCK. « *Waveguides for Bose-Einstein condensates* ». Phys. Rev. A **63**, 031602(R) (2001).
- [87] T. MÜLLER-SEYDLITZ, M. HARTL, B. BREZGER, H. HÄNSEL, C. KELLER, A. SCHNETZ, R. J. C. SPREEUW, T. PFAU, ET J. MLYNEK. « *Atoms in the lowest motional band of a three-dimensional optical lattice* ». Phys. Rev. Lett. **78**, 1038 (1997).
- [88] D. BOIRON, A. MICHAUD, J.-M. FOURNIER, L. SIMARD, M. SPRENGER, G. GRYNBERG, ET C. SALOMON. « *Cold and dense cesium clouds in far-detuned dipole traps* ». Phys. Rev. A **57**, R4106 1998.
- [89] H. PERRIN, A. KUHN, I. BOUCHOULE, ET C. SALOMON. « *Sideband cooling of neutral atoms in a far detuned lattice* ». Europhys. Lett. **42**, 395 (1998).
- [90] M. T. DEPUE, C. MCCORMICK, S. L. WINOTO, S. OLIVER, ET D. S. WEISS. « *Unity occupation of sites in a 3D optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **82**, 2262 (1999).

- [91] G. K. BRENNEN, C. M. CAVES, P. S. JESSEN, ET I. H. DEUTSCH. « *Quantum logic gates in optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **82**, 1060 (1999).
- [92] M. BEN DAHAN, E. PEIK, J. REICHEL, Y. CASTIN, ET C. SALOMON. « *Bloch oscillations of atoms in an optical potential* ». Phys. Rev. Lett. **76**, 4508 (1996).
- [93] S. WILKINSON, C. BARUCHA, K. MADISON, QIAN NIU, ET M. RAIZEN. « *Observation of atomic Wannier-Stark ladders in an accelerating optical potential* ». Phys. Rev. Lett. **76**, 4512 (1996).
- [94] O. MORSCH, J. H. MÜLLER, M. CRISTIANI, D. CIAMPINI, ET E. ARIMONDO. « *Bloch oscillations and mean-field effects of Bose-Einstein condensates in 1D optical lattices* ». Phys. Rev. Lett. **87**, 140402-1 (2001).
- [95] K. GIBBLE, S. CHANG, ET R. LEGERE. « *Direct Observation of s-Wave Atomic Collision* ». Phys. Rev. Lett. **75**, 2666 (1995).
- [96] K. DRESE ET M. HOLTHAUS. « *Exploring a metal-insulator transition with ultracold atoms in standing light waves ?* ». Phys. Rev. Lett. **78**, 2932 (1997).
- [97] D. JAKSCH, H. J. BRIEGEL, J. I. CIRAC, ET C. W. GARDINER AND P. ZOLLER. « *Entanglement of atoms via cold controlled collision* ». Phys. Rev. Lett **82**, 1975 (1999).
- [98] M. FARADAY. Experimental Research **111**, 2164 (1855).
- [99] W. HANLE. Naturwissenschaften **11**, 690 (1923).
- [100] W. HANLE. Z. Phys. **30**, 93 (1924).
- [101] A. CORNEY. « *Atomic and Laser Spectroscopy* ». Oxford University Press, Oxford (1977).
- [102] R. LOUDON. « *The quantum theory of light* ». Clarendon Press Oxford (1973).
- [103] SOMMERFELD. « *Lectures on theoretical physics, vol. 4 : Optics* ». Academic Press New York (1954).
- [104] A. C. G. MITCHELL ET M. W. ZEMANSKY. « *Resonance radiation and excited atoms* ». Cambridge University Press London (1966). Voir aussi, par exemple : A. GALLAGHER, « *Oscillator strengths of Ca II, Sr II, and Ba*

- II* », Phys. Rev. **157**, 24 (1967); R. W. SCHMIEDER, A. LURIO, W. HAPPER, « *Hyperfine structure and lifetimes of the $4^2P_{3/2}$ and $5^2P_{3/2}$ of K^{39}* », Phys. Rev. **173**, 76 (1968).
- [105] J. C. LEHMANN ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Pompage optique en champ magnétique faible* ». C. R. Acad. Sc. Paris **258**, 4463 (1964).
- [106] J. DUPONT-ROC, S. HAROCHE, ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Detection of very weak magnetic fields (10^{-9} Gauss) by ^{87}Rb zero-field level crossing resonances* ». Phys. Lett. **28A**, 638 (1969).
- [107] C. COHEN-TANNOUJDI, J. DUPONT-ROC, S. HAROCHE, ET F. LALOË. « *Detection of the static magnetic field produced by the oriented nuclei of optically pumped ^3He gas* ». Phys. Rev. Lett. **22**, 758 (1969).
- [108] X. CHEN, V. L. TELEGDI, ET A. WEIS. « *Quantitative study of the nonlinear Macaluso-Corbino (resonant faraday) effect in Cs* ». Opt. Comm. **74**, 301 (1990).
- [109] A. WEIS, J. WURSTER, ET S. I. KANORSKY. « *Quantitative interpretation of the nonlinear Faraday effect as a Hanle effect of a light-induced birefringence* ». J. Opt. Soc. Am. B **10**, 716 (1993).
- [110] D. BUDKER, V. YASHCHUK, ET M. ZOLOTOREV. « *Nonlinear magneto-optic effect with ultranarrow widths* ». Phys. Rev. Lett. **81**, 5788 (1998).
- [111] D. BUDKER, D. F. KIMBALL, S. M. ROCHESTER, ET V. V. YASHCHUK. « *Nonlinear magneto-optics rotation via alignment-to-orientation conversion* ». Phys. Rev. Lett. **85**, 2088 (2000).
- [112] S. GIRAUD-COTTON, V. F. KAFTANDJIAN, ET L. KLEIN. Phys. Lett. A **88**, 453 (1982).
- [113] G. G. ADONTS, D. G. AKOPYAN, ET K. V. ARUTUNYAN. « *Modification of radiation polarisation due to propagation in a resonant medium* ». J. Phys. B **19**, 4113 (1986).
- [114] S. I. KANORSKY, A. WEIS, J. WURSTER, ET T. H. HÄNSCH. « *Quantitative investigation of the resonant nonlinear Faraday effect under conditions of optical hyperfine pumping* ». Phys. Rev. A **47**, 1220 (1993).
- [115] A. ASPECT, E. ARIMONDO, R. KAISER, N. VANSTEENKISTE, ET C. COHEN-TANNOUJDI. « *Laser cooling below the one-photon recoil energy*

- by velocity-selective coherent population trapping* ». Phys. Rev. Lett. **61**, 826 (1988). Voir aussi : A. ASPECT, E. ARIMONDO, R. KAISER, N. VANS-TEENKISTE, ET C. COHEN-TANNOUJDI, « *Laser cooling below the one-photon recoil energy by velocity-selective coherent population trapping : theoretical analysis* », J. Opt. Soc. Am. B **6**, 2112 (1989).
- [116] V. S. SMIRNOV, A. M. TUMAIKIN, ET V. I. YUDIN. « *Stationary coherent states of atoms in resonant interaction with elliptically polarized light. Coherent trapping of populations (general theory)* ». JETP **69**, 913 (1989).
- [117] U. GAUBATZ, P. RUDECKI, M. BECKER, S. SCHIEMANN, M. KÜLZ, ET K. BERGMANN. Chem. Phys. Lett. **149**, 463 (1988).
- [118] C. E. CARROLL ET F. T. HIOE. « *Coherent Population Trapping via the continuum* ». Phys. Rev. Lett. **68**, 3523 (1992).
- [119] O. A. KOCHAROVSKAYA ET YA. I. KHANIN. « *Coherent amplification of an ultrashort pulse in a three-level medium without a population inversion* ». JETP. Lett. **48**, 630 (1988).
- [120] S. E. HARRIS. « *Laser without inversion : interference of lifetime-broadened resonances* ». Phys. Rev. Lett. **62**, 1033 (1989).
- [121] M. O. SCULLY, S-Y. ZHU, ET A. GAVRIDILES. « *Degenerate quantum-beat laser : lasing without inversion and inversion without lasing* ». Phys. Rev. Lett. **62**, 2813 (1989).
- [122] L. W. HAU, S. E. HARRIS, Z. DUTTON, ET C. H. BEHROOZI. « *Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas* ». Nature **397**, 594 (1999).
- [123] D. BUDKER, D. F. KIMBALL, S. M. ROCHESTER, ET V. V. YASHCHUK. « *Nonlinear magneto-optics and reduced group velocity of light in atomic vapor with slow ground relaxation* ». Phys. Rev. Lett. **83**, 1767 (1999).
- [124] M. M. KASH, V. A. SAUTENKOV, A. S. ZIBROV, L. HOLLBERG, G. R. WELCH, M. D. LUKIN, Y. ROSTOVTSSEV, E. S. FRY, ET M. O. SCULLY. « *Ultraslow group velocity and enhanced nonlinear optical effects in a coherently driven hot atomic gas* ». Phys. Rev. Lett. **82**, 5229 (1999).
- [125] D. F. PHILLIPS, A. FLEISCHHAUER, A. MAIR, R. L. WALSWORTH, ET M. D. LUKIN. « *Storage of light in atomic vapor* ». Phys. Rev. Lett. **86**, 783 (2001).

- [126] C. LIU, Z. DUTTON, C. H. BEHROOZI, ET L. V. HAU. « *Observation of coherent optical information storage in an atomic medium using halted light pulses* ». *Nature* **409**, 490 (2001).
- [127] A. M. AKULSHIN. « *Electromagnetically induced absorption and transparency due to resonant two-field excitation of quasidegenerate levels in Rb vapor* ». *Phys. Rev. A* **57**, 2996 (1998).
- [128] A. LEZAMA, S. BARREIRO, ET A. M. AKULSHIN. « *Electromagnetically induced absorption* ». *Phys. Rev. A* **59**, 4732 (1999).
- [129] F. RENZONI, C. ZIMMERMANN, P. VERKERK, ET E. ARIMONDO. « *Enhanced absorption Hanle effect on the $F_g = F \rightarrow F_e = F + 1$ closed transition* ». *J. Opt. B* **3**, S7 (2001).
- [130] Y. DANCHEVA, G. ALZETTA, S. CARTALEVA, M. TASLAKOV, ET CH. ANDREEVA. « *Coherent effects on the Zeeman sublevels of hyperfine states in optical pumping of Rb by monomode diode laser* ». *Opt. Commun.* **178**, 103 (2000).
- [131] A. LIPSICH, S. BARREIRO, P. VALENTE, ET A. LEZAMA. « *Electromagnetically induced absorption in magneto-optically trapped atoms* ». Los Alamos e-print Archive, (2000) (soumis à *Phys. Rev. A*).
- [132] T. ISAYAMA, T. TAKAHASHI, N. TANAKA, K. TOYODA, K. ISHIKAWA, ET T. YABUKAZI. « *Observation of Larmor spin precession of laser-cooled Rb atoms via paramagnetic Faraday rotation* ». *Phys. Rev. A* **59**, 4836 (1999).
- [133] S. FRANKE-ARNOLD, M. ARNDT, ET A. A. ZEILINGER. « *Magneto-optical effects with cold lithium atoms* ». *J. Phys. B* **34**, 2527 (2001).
- [134] G. LABEYRIE, C. MINIATURA, ET R. KAISER. « *Large Faraday rotation of resonant light in a cold atomic cloud* ». *Phys. Rev. A* **64**, 033402 (2001).
- [135] F. RENZONI, W. MAICHEN, L. WINDHOLZ, ET E. ARIMONDO. « *Population-loss-induced narrowing of dark resonances* ». *Phys. Rev. A* **58**, 4717 (1997).
- [136] D. WILKOWSKI, J. RINGOT, D. HENNEQUIN, ET J. C. GARREAU. « *Instabilities in a Magneto-Optical Trap : Noise-Induced Dynamics in an Atomic System* ». *Phys. Rev. Lett.* **85**, 1839 (2000).

- [137] C. SALOMON, J. DALIBARD, W. D. PHILLIPS, A. CLAIRON, ET S. GUELLATI. « *Laser cooling of cesium atoms below $3\mu K$* ». Europhys. Lett. **12**, 683–688 (1990).
- [138] C. G. TOWNSEND, N. H. EDWARDS, C. J. COOPER, K. P. ZETIE, C. J. FOOT, A. M. STEANE, P. SZRIFTGISER, H. PERRIN, ET J. DALIBARD. « *Phase-space density in the magneto-optical trap* ». Phys. Rev. A **52**, 1423 (1995).
- [139] A. M. STEANE, M. CHOWDHURY, ET C. J. FOOT. « *Radiation force in the magneto-optical trap* ». J. Opt. Soc. Am. B **9**, 2142 (1992).
- [140] K. MØLMER. « *Friction and diffusion coefficients for cooling of atoms in laser fields with multidimensional periodicity* ». Phys. Rev. A **44**, 5820 (1991).
- [141] I. GUEDES, M. T. DE ARAUJO, D. M. B. P. MILORI, G. I. SURDUTOVICH, V. S. BAGNATO, ET S. C. ZILLO. « *Forces acting on magneto-optically trapped atoms* ». J. Opt. Soc. Am. B **11**, 1935–1940 (1994).
- [142] T. WALKER, D. SESKO, ET C. WIEMAN. « *Collective behavior of optically trapped neutral atoms* ». Phys. Rev. Lett. **408**, 64 (1990).
- [143] D. W. SESKO, T. G. WALKER, ET C. E. WIEMAN. « *Behavior of neutral atoms in a spontaneous force trap* ». J. Opt. Soc. Am. B **8**, 946 (1991).
- [144] D. GRISON. « *Atomes piégés et refroidis par laser à quelques microkelvin : un piège magnéto-optique dans une cellule de cesium et quelques applications* ». Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris (1992).
- [145] L. KHAYKOVICH ET N. DAVIDSON. « *Compression of a cold atomic cloud by on-resonance laser light* ». J. Opt. Soc. Am. B **16**, 702 (1999).
- [146] F. SHIMIZU, K. SIMIZU, ET H. TAKUMA. « *Four-beam laser trap of neutral atoms* ». Opt. Lett. **16**, 339 (1991).
- [147] J. ARLT, P. BANCE, S. HOPKINS, J. MARTIN, S. WEBSTER, A. WILSON, K. ZETIE, ET C. FOOT. « *Suppression of collisional loss from a magnétique trap* ». J. Phys. B **31**, L321 (1998).
- [148] D. WILKOWSKI. « *Dynamique du nuage d'atomes froids dans un piège magnéto-optique* ». Thèse de Doctorat, Université des Sciences et des Technologies de Lille - Lille (1997).

- [149] L. MARCASSA, V. BAGNATO, Y. WANG, C. TSAO, J. WEINER, O. DULIEU, Y. B. BAND, ET P. S. JULIENNE. « *Collisional loss rate in a magneto-optical trap for sodium atoms : light intensity dependence* ». Phys. Rev. A **47**, R4563 (1993).
- [150] L. GAMMAITONI, P. HÄNGGI, P. JUNG, ET F. MARCHESONI. « *Stochastic resonance* ». Rev. Mod. Phys. **70**, 223 (1998). Pour la résonance cohérente, voir par exemple : A. S. Pikovsky and J. Kurths, « *Coherence resonance in a noise-driven excitable system* », Phys. Rev. Lett. **78**, (1997).
- [151] E. ARIMONDO, D. HENNEQUIN, ET P. GLORIEUX. « *Noise in Nonlinear Dynamical Systems vol. III* ». Cambridge University Press, Cambridge (1989).