

*COLLÈGE DE FRANCE*

*COURS DE PHYSIQUE*

*ATOMIQUE ET MOLÉCULAIRE*

*Claude COHEN-TANNOUJJI*

*ANNÉE SCOLAIRE : 1996 - 1997*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	I-1
<b>Résumé du cours 1995-1996</b> .....	I-1
<b>Introduction au cours 1996-1997</b> .....	I-7
1 - Thème choisi et motivations de ce choix.....	I-7
2 - Evolution des recherches sur l'Hydrogène polarisé .....	I-7
3 - La situation des alcalins.....	I-9
<b>PIÉGEAGE NON DISSIPATIF D'ATOMES NEUTRES</b> .....	II-1
A - Considérations générales .....	II-1
1 - Comparaison avec les ions .....	II-1
2 - Pourquoi des pièges non dissipatifs ? .....	II-1
3 - Forces de piégeage .....	II-2
4 - Le théorème de Wing .....	II-5
5 - Les contraintes imposées par le théorème de Wing.....	II-6
6 - Revue de quelques types de pièges non dissipatifs.....	II-6
B - Piège magnétostatique quadrupolaire.....	III-1
1 - Configuration de courants.....	III-1
2 - Développement multipolaire du champ créé par des bobines d'axe Oz.....	III-1
3 - Expression du champ quadrupolaire.....	III-2
4 - Un autre exemple de configuration.....	III-3
5 - Pertes dues aux transitions de Majorana.....	III-4
6 - Le piège TOP (« Time-averaged Orbiting Potential »).....	III-6
C - Piège de Ioffé-Pritchard.....	IV-1
1 - Configuration de courants.....	IV-1
2 - Champ créé par des fils verticaux symétriquement disposés.....	IV-1
3 - Calcul du champ dans un piège de Ioffé-Pritchard.....	IV-3
4 - Discussion physique.....	IV-5
5 - Revue de quelques expériences .....	IV-8

<b>INTRODUCTION AU REFROIDISSEMENT ÉVAPORATIF .....</b>	<b>V-1</b>
1 - Buts de ce chapitre.....	V-1
2 - Rappels sur les propriétés d'un gaz d'atomes piégés en équilibre thermodynamique	V-1
2.1 - Système étudié - Approximations.....	V-1
2.2 - Etude de quelques grandeurs physiques .....	V-1
2.3 - Cas non dégénéré .....	V-3
2.4 - Potentiels décrits par une loi de puissance .....	V-5
3 - Principe du refroidissement évaporatif.....	V-7
3.1 - Description qualitative .....	V-7
3.2 - Evaluation de l'efficacité.....	V-7
3.3 - Dépendance en N des diverses grandeurs physiques au cours de l'évaporation	V-8
4 - Les problèmes qui se posent.....	V-9
Appendice A .....	V-10

**DESCRIPTION DU REFROIDISSEMENT ÉVAPORATIF PAR UNE ÉQUATION CINÉTIQUE.....** VI-1

1 - Buts de ce chapitre.....	VI-1
2 - Rappels sur l'équation cinétique de Boltzmann.....	VI-1
2.1 - Description des particules .....	VI-1
2.2 - Description d'une collision.....	VI-1
2.3 - Equation cinétique de Boltzmann.....	VI-3
3 - Hypothèse simplificatrice : mouvement suffisamment ergodique .....	VI-5
4 - Transformation de l'équation cinétique.....	VI-5
5 - Résolution numérique de l'équation cinétique décrivant le refroidissement évaporatif	VI-7
Appendice B .....	VI-9

**ATOMES EN QUASI-ÉQUILIBRE DANS UN PIÈGE DE PROFONDEUR FINIE.....** VII-1

1 - Introduction .....	VII-1
2 - Propriétés de quasi-équilibre du gaz d'atomes piégés.....	VII-2
2.1 - Fonction de partition $\zeta(T)$ .....	VII-2
2.2 - Densité spatiale.....	VII-3
2.3 - Volume de référence $V_e$ .....	VII-3
2.4 - Energie interne .....	VII-4

3 - Etude des taux de pertes par évaporation .....	VII-5
3.1 - Nombre d'atomes s'évaporant par unité de temps .....	VII-5
3.2 - Energie perdue par unité de temps à cause de l'évaporation .....	VII-6
3.3 - Discussion physique.....	VII-7
4 - Autres mécanismes de pertes.....	VII-8
4.1 - Pertes dues aux collisions inélastiques.....	VII-8
4.2 - Pertes de déversement (« spilling ») .....	VII-9
Appendice C .....	VII-10

**LE REFROIDISSEMENT ÉVAPORATIF - ÉTUDE QUANTITATIVE .....** VIII-1

1 - Introduction .....	VIII-1
2 - Les équations de base.....	VIII-2
2.1 - Equation décrivant le changement de quasi-équilibre.....	VIII-2
2.2 - Equations décrivant les pertes.....	VIII-2
3 - Evaporation à $N$ constant .....	VIII-4
3.1 - Simplification des équations.....	VIII-4
3.2 - Constantes du mouvement et lois de puissance.....	VIII-5
3.3 - Changement de variables.....	VIII-6
3.4 - Evolution du taux de collisions élastiques.....	VIII-8
3.5 - Evolution temporelle de quelques grandeurs physiques .....	IX-1
3.6 - Importance d'une compression adiabatique .....	IX-4
Appendice D .....	IX-7

**OPTIMISATION DU REFROIDISSEMENT ÉVAPORATIF .....** X-1

1 - Choix de nouvelles variables : $X = \ln N$ $Y = \ln D$ .....	X-1
2 - Equations du mouvement de $X = \ln N$ , $Y = \ln D$ .....	X-1
3 - Etude du cas $r = 0$ .....	X-2
4 - Allure de la trajectoire $\Gamma$ pour $r \neq 0$ .....	X-3
5 - Discussion physique .....	X-5
5.1 - Pente à l'origine de la courbe $\Gamma$ .....	X-5
5.2 - Vitesse initiale le long de la trajectoire $\Gamma$ .....	X-7
5.3 - Courbe des maxima en dessous du seuil d'emballement.....	X-7