

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



N d'ordre : MAG/.../2007

**MÉMOIRE
PRÉSENTÉ A**

**L'ÉCOLE NORMALE SUPERIEURE DE VIEUX-KOUBA
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE**

POUR OBTENIRE LE DIPLOME DE

MAGISTER

SPÉCIALITÉ : PHYSIQUE

OPTION : PHYSIQUE DES PARTICULES ET CHAMPS

PAR

Sakina HERBADJI

**Etude Exacte des Effets de Volume Fini, de
Scaling et Détermination des Cumulants dans le
Cadre de la Transition de Déconfinement
en QCD**

Soutenue le 04/07/2007, devant la commission d'examen

Mr A. LATEF,	Maître de conférences,	ENS-Kouba	Président
Mr A. AMGHAR,	Professeur,	Université de Boumerdes	Examineur
Mr Z.TOUKAL,	Docteur,	ENS-Kouba.....	Examineur
Mr M.LADREM,	Professeur,	ENS-Kouba.....	Rapporteur
Mme A. AIT-EL-DJOUDI,	Chargée de Cours,	ENS-Kouba.....	Examinatrice

Table des matières

Introduction	9
1 Le Plasma de Quarks et de Gluons	11
1.1 Introduction	12
1.2 Les particules élémentaires et le modèle standard.....	12
1.3 Confinement des quarks et des gluons.....	14
1.4 Déconfinement et plasma de quarks et de gluons	16
1.5 Le modèle du sac de MIT.....	17
1.6 Les collisions d'ions lourds ultra-relativistes.....	18
1.7 La chromodynamique quantique	19
▪ La densité lagrangienne de <i>QCD</i>	19
▪ La théorie de jauge sur réseau.....	20
▪ La constante de couplage de <i>QCD</i> et la liberté asymptotique	21
1.8 La création du plasma : Modèle de Bjorken.....	22
2 Transition de phase et Effets de volume fini	24
2.1 Introduction.....	25
2.2 Généralités sur les Transitions de Phase	26
2.3 Transition de phase dans la QCD	27
2.4 analyse à la finite size scaling	28
2.5 Finite size scaling pour les transitions de phase du premier ordre	39
3 Effets de volume fini dans la transition de phase d'un gaz hadronique vers un QGP avec la fonction de partition exacte de color-singlet	32
3.1 Introduction et Motivation	33
3.2 La fonction de partition exacte de color-singlet pour le QGP.....	34
3.3 Le modèle de coexistence de phases	37

3.3.1	Position du problème et méthode des intégrales $L_m(V,T)$	40
3.4	Etude des quelques grandeurs thermodynamiques en fonction des intégrales $L_m(V,T)$	41
3.4.1	Le paramètre d'ordre en fonction de la température	42
3.4.2	La densité d'énergie en fonction de la température	45
3.4.3	La densité d'entropie en fonction de la température	46
3.4.4	La pression en fonction de la température	49
3.4.5	La vitesse du son en fonction de la température	50
3.4.6	La pression en fonction de la densité d'énergie	52
3.4.7	La vitesse du son en fonction de la densité d'énergie.....	54
4	Les cumulants, effets de volume fini & exposants critiques	55
4.1		
Introduction.....		56
4.2	Définition des cumulants.....	57
4.2.1	Relation de Cumulants et moments.....	58
4.2.2	Cumulant de binder.....	60
4.3	Cumulants et effets de volume fini dans le cas de la transition dans la QCD	60
4.3.1	Détermination des Cumulants pour le paramètre d'ordre.....	60
4.3.1.1	Cumulant de binder B_4	61
4.3.1.2	Cumulant Variance V_r	63
4.3.1.3	Cumulant Skewness S_k	64
4.3.1.4	Cumulant Kurtosis K	67
4.4	Analyse à la finite size scaling	71
4.4.1	Finite size scaling et exposant critique de décalage.....	71
4.4.2	Détermination numérique d'exposants critiques pour le décalage de la température critique.....	71
5	Conclusion	77

Liste des figures

(1.1)	Potentiel entre deux quarks en fonction de la distance r qui les sépare.....	15
(1.2)	Diagramme de phase schématique de la matière nucléaire dans le plan température/densité baryonique.....	16
(1.3)	Vu schématique du modèle du sac.....	17
(2.1)	Illustration du comportement critique de $\chi(V, T)$, $c(V, T)$ et $\frac{\partial\chi(V, T)}{\partial T}$	30
(3.1)	Paramètre d'ordre pour différents volumes du système en fonction de la température...44	
(3.2)	Densité d'énergie divisée par la température à la puissance quatre (ε/T^4) en fonction de la température pour différents volumes.....	46
(3.3)	Densité d'entropie divisé par, la température à la puissance trois (S/T^3) pour différents volumes du système.....	48
(3.4)	La pression en fonction de la température pour différents volumes.....	50
(3.5)	Le comportement de p/ε en fonction de densité d'énergie ε pour différentes tailles de système.....	51
(3.6)	La vitesse du son c_s^2 en fonction de la température pour différents volumes du système.....	53
(3.7)	Vitesse du son c^2 comme une fonction de densité d'énergie ε pour des volumes différents du système.....	54
(4.1)	Le comportement de $B_4(T, V)$ en fonction de la température pour différents volumes.....	62
(4.2)	Le comportement de <i>variance</i> V_r en fonction de température pour différents volumes.....	64
(4.3)	Le comportement de <i>skewness</i> $S_k(T, V)$ en fonction de la température à différent volumes de systèmes.....	66
(4.4)a	Le comportement de <i>kurtosis</i> K en fonction de la température pour un système de différents volumes.....	69
(4.4) b	Le comportement de <i>kurtosis</i> K en fonction de la température pour le volume de $V = 500 \text{ fm}^3$	69

- (4.5) Variation de décalage de la température de transition $\tau_T(V)$, (du minimum de $B_4(T, V)$) avec l'inverse du volume.....73
- (4.6) Variation du changement de la température de transition $\tau_T(V)$, (du minimum de $V(T, V)$) avec l'inverse du volume.....74
- (4.7) Variation du changement de la température de transition $\tau_T(V)$, (du minimum de $S_k(T, V)$) avec l'inverse du volume.....75
- (4.8) Variation du changement de la température de transition $\tau_T(V)$, (du minimum de $K(T, V)$) avec l'inverse du volume.....76

Résumé

De l'existence de la structure en quarks des hadrons et de la propriété de la liberté asymptotique de la Chromodynamique Quantique (QCD) à haute température, il est alors logique de croire qu'au delà d'une certaine température T_c la dissolution de la matière hadronique en un Plasma de Quarks et de Gluons libres doit se réaliser. Une Transition de Phase de Déconfinement (DPT) relie alors la phase non-perturbative confinée à faible température (densité): Gaz Hadronique et la phase perturbative déconfinée à haute température (densité) : Quark-Gluon plasma (QGP). L'intérêt porté sur l'étude de cette (DPT) n'arrête pas de grandir pour tenter d'expliquer le phénomène de confinement et de comprendre les propriétés du (QGP).

Notre travail dans cette thèse est présenté comme suit : Dans le premier chapitre, nous donnons un bref rappel de la (QCD) et aussi de la physique du (QGP), et dans le second chapitre, nous rappelons quelques éléments de la théorie des transitions de phases et les phénomènes critiques qui lui sont liés tels que le Scaling et l'Universalité.

Le troisième chapitre est consacré au calcul exact de la Fonction de Partition tenant compte de la condition singulet de couleur pour le (QGP). Ce calcul s'est concrétisé par l'élaboration d'une méthode de calcul exact évitant toute approximation, appelée méthode des intégrales $L_{mn}(V, T)$. En effet dans le cadre de cette méthode, toute grandeur thermodynamique peut s'écrire en fonction des intégrales $L_{mn}(V, T)$.

Dans ce chapitre on s'est intéressé à l'étude des effets de volume fini sur plusieurs fonctions thermodynamiques les plus utilisées telles que : le paramètre d'ordre $\langle h(V, T) \rangle$, la densité d'énergie $\langle \varepsilon(V, T) \rangle$, la densité d'entropie $\langle S(V, T) \rangle$, la pression $\langle p(V, T) \rangle$, la vitesse du son $c_s(V, T)$,

Le quatrième chapitre c'était sur les cumulants : la *Variance* $V_r(V, T)$, le coefficient d'aplatissement connu sous le nom de *Kurtosis* $K(V, T)$, le coefficient d'asymétrie connu sous le nom de *Skweness* $S_k(V, T)$ et le cumulants de Binder $B_4(V, T)$ (l'étude de l'arrondissement de ces quantités thermodynamiques à volume fini). De l'étude des effets de volume précédente, une analyse à la Finite-Size Scaling (FSS) nous a permis de déterminer l'exposants critique de décalage, le valeur numérique obtenues pour ce exposant : 1 sont bien en accord avec les

résultats obtenus des calculs analytiques et d'autres approches théoriques telle la théorie des groupes de renormalisation. Ce résultat est caractéristique d'une transition de phase du 1^{er} - ordre.