

La physique moderne repose sur deux théories fondamentales distinctes, la relativité générale et la mécanique quantique. Toutes les deux décrivent d'une part les phénomènes macroscopiques et cosmologiques tels que les ondes gravitationnelles et les trous noirs et d'autre part les phénomènes microscopiques comme la superfluidité ou le spin des particules. L'unification de ces deux théories reste, jusqu'à présent, un problème non résolu. Il est intéressant de noter que les différentes théories de gravité quantique prédisent une violation des principes de la relativité générale à différents niveaux. Il est donc hautement intéressant de détecter les violations de ces principes et de déterminer à quel niveau elles se produisent.

De récentes propositions pour effectuer des tests du principe d'équivalence d'Einstein suggèrent une amélioration spectaculaire des performances en utilisant des capteurs atomiques à ondes de matière. Dans ce contexte, il est nécessaire de concevoir des états d'entrée de l'interferomètre avec des conditions initiales bien définies. Un test de pointe de l'universalité de la chute libre (Universality of Free Fall en anglais (UFF)) nécessiterait, par exemple, un contrôle des positions et des vitesses avec une précision de l'ordre de $1\ \mu\text{m}$ et $1\ \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivement. De plus, les systématiques liées à la taille du paquet d'ondes limitent le taux d'expansion maximum possible à $100\ \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. La création initiale des états d'entrée de l'interféromètre doit être assez rapide, de l'ordre de quelques centaines de ms au maximum, pour que le temps de cycle de l'expérience soit pertinent d'un point de vue métrologique.

Dans cette thèse, des protocoles de transports et de manipulations rapides des condensats de Bose-Einstein (CBE) avec un dispositif à puce atomique sont proposés sur la base de techniques de rétroingénierie avec des protocoles de raccourcis adiabatiques. Cette technique offre la possibilité de concevoir des rampes de transports avec des conditions initiales et finales spécifiques souhaitées. Des séquences optimisées, impliquant la caractérisation des modes excités du CBE après transport ont été proposées pour limiter la taille du CBE à quelques centaines de microns après quelques secondes avec une énergie d'expansion aussi faible que quelques dizaines de pK. De tels protocoles ont été transférés avec succès à l'expérience en microgravité Quantus-2 dans la tour de chute libre à Bremen, à la mission CBE embarqué sur missile Maius-1 et au laboratoire d'atomes froids (CAL) à bord de la Station spatiale internationale.