

ENGLISH FOLLOWS

MICHAEL BAUDOIN, PROFESSEUR
INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE,
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : MICHAEL.BAUDOIN@UNIV-LILLE.FR

BENJAMIN REICHERT, MCF
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : BENJAMIN.REICHERT@UNIV-LILLE.FR

ALEXIS DUCHESNE, MCF
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : ALEXIS.DUCHESNE@UNIV-LILLE.FR

SARAH CLEVE, CR CNRS
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : SARAH.CLEVE@UNIV-LILLE.FR

Stage de Master 2 et thèse : Les analogues quantiques acoustiques : de la théorie aux expériences

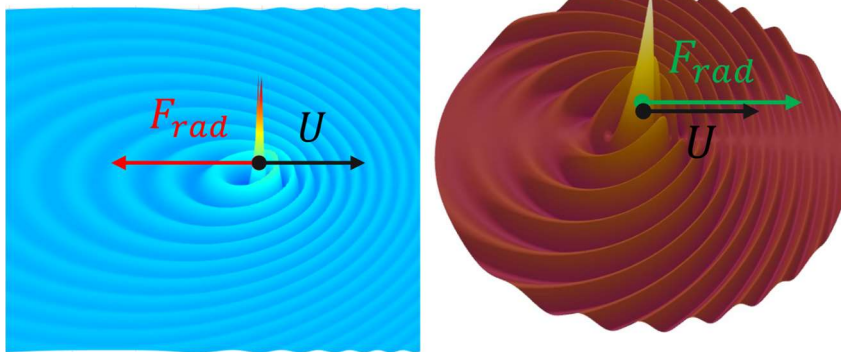


Figure illustrant le champ radié par une source acoustique translatant à une vitesse constante U . Gauche : Monopole : dans ce cas la force de radiation est opposée au mouvement [4]. Droite : dipôle : force propulsive [5].

Contexte:

Malgré plus d'un siècle de débats intenses et de développements expérimentaux et théoriques, **aucun consensus n'a encore été atteint sur l'interprétation de la mécanique quantique**. En particulier, la question de savoir si la description statistique de la mécanique quantique est complète, comme dans l'interprétation de Copenhague, ou si cette description statistique émerge d'une théorie des variables cachées, comme la théorie de l'onde pilote de De Broglie [1] ou les interprétations de la mécanique quantique de Bohm [2], reste ouverte. Dans un tel débat, le **développement d'analogues classiques de la mécanique quantique** ouvre de nombreuses perspectives. En effet, même si ces systèmes diffèrent intrinsèquement (sur de nombreux aspects) des systèmes quantiques, ils **permettent d'explorer et de clarifier ce qui est spécifique ou non aux systèmes quantiques**. Ils donnent également accès à **des tests expérimentaux qui ne pourraient pas être réalisés autrement**. Enfin, ils **peuvent inspirer de nouvelles théories**. En 2005, Couder et Fort [3] **ont découvert un système classique présentant une dualité onde-particule**. Ce système est composé d'une goutte autonome, propulsée par une interaction résonante avec son propre champ d'ondes. Ce champ d'ondes est créé par une goutte rebondissant (sans fusion) à la surface d'un bain (Fig. 1), excitée juste en dessous du seuil de Faraday, et donnant naissance à une onde localisée, intrinsèquement liée à sa particule jumelle. Avec ce système, les chercheurs ont pu **reproduire une multitude de comportements précédemment considérés comme relevant purement du domaine quantique**. Cependant, ce système présente également certaines limites importantes. Tout d'abord, il est naturellement en 2D, tandis que la mécanique quantique est intrinsèquement 3D. Deuxièmement, l'influence de l'onde pilote hydrodynamique est fortement limitée par les effets de mémoire dus à l'amortissement visqueux. Troisièmement, seules des vibrations monopolaires peuvent être créées par le rebondissement de la particule, excluant l'exploration d'autres modes. Enfin, le système nécessite une déconnexion périodique entre la particule et son onde, dans une dimension spatiale supplémentaire, qui n'existerait pas dans un système en 3D.

Objectifs :

Dans ce projet, notre objectif est de **d'étudier théoriquement, numériquement et expérimentalement** la possibilité de réaliser des **analogues quantiques acoustiques qui dépassent ces limitations** et permettraient ainsi d'explorer davantage les possibilités et limites de la théorie des ondes pilotes. Ce travail est lié à notre récente **découverte théorique selon laquelle des sources acoustiques peuvent être transportées par leur propre onde acoustique**, grâce à la force de radiation acoustique résultant d'une asymétrie créée par l'effet Doppler lorsque la particule commence à se déplacer [4,5]. En particulier, nos principaux objectifs seraient de démontrer la possibilité d'un analogue classique du spin avec une dualité onde-particule et d'étudier l'intrication pour les systèmes classiques.

Information pratiques

Le stage de Master 2 ainsi que la thèse qui peut en découler sont entièrement financée par un projet ANR obtenu par l'équipe. Ceux-ci se dérouleront au laboratoire IEMN à Lille. Le stage et la thèse pourront être orientés sur des aspects plus théoriques ou expérimentaux selon les préférences du candidat.

References:

[1] Colin S et al., Broglie's double solution program: 90 years later *Ann. Fond. Louis Broglie*, **42** 19–71 (2017)

[2] Bohm D, A suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables, *Phys. Rev.* **85** 66–193 (1952)

[3] Couder Y et al., Walking and orbiting droplets, *Nature* **437**: 208 (2005)

[4] A Roux, A. J.P. Martishang, **M. Baudoin**, Self radiation force on a moving monopolar source, *acc. J. Fluid Mech.*, arXiv: 2205.09346 (2022)

[5] J.P. Martishang, A.Roux, **M. Baudoin**, Particle surfing on its own dipolar wave: toward acoustic quantum analogues, *submitted* (2022)

MICHAEL BAUDOIN, PROFESSOR
INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE,
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : MICHAEL.BAUDOIN@UNIV-LILLE.FR

BENJAMIN REICHERT, MCF
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : BENJAMIN.REICHERT@UNIV-LILLE.FR

ALEXIS DUCHESNE, MCF
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : ALEXIS.DUCHESNE@UNIV-LILLE.FR

SARAH CLEVE, CR CNRS
UNIVERSITE DE LILLE, IEMN LABORATORY
E : SARAH.CLEVE@UNIV-LILLE.FR

Master 2 internship and PhD thesis: Acoustic quantum analogues: from theory to experiments

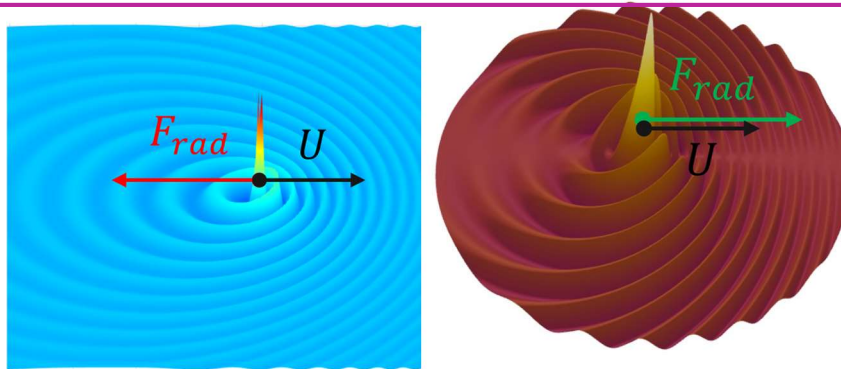


Figure illustrating the field radiated by an acoustic source translating at a constant velocity U . Left: Monopole: radiation force opposite to the motion [15]. Right: Dipole: propulsive force [16].

Context:

Despite more than one century of intense debates and experimental and theoretical developments, **no consensus** has been reached out yet on **the interpretation of quantum mechanics**. In particular, whether the **statistical description of quantum mechanics is complete**, like in the Copenhagen interpretation, or whether this statistical description **emerges from a hidden variable theory** like the De Broglie pilot-wave theory [1] or Bohm's interpretations of quantum mechanics [2], remains an open question. In such a debate, the **development of classical quantum analogues** is of the upmost interest. Indeed, if these systems inherently differ (on many aspects) from quantum systems, they enable **to explore and clarify what is and what is and what is not specific to quantum systems**. They also give access to experimental tests that could not be performed otherwise. Finally, they can inspire some new theories. In 2005, Couder and Fort [3] discovered a **classical system exhibiting wave-particle duality**. This system is made of a self-propelling drop driven by a resonant interaction with its own wavefield. This wavefield is created by a drop bouncing (without merging) at the surface of a bath (Fig. 1) excited just below the Faraday threshold and giving birth to a localized wave that is intrinsically linked to its dual particle. With this system, researchers were **able to reproduce a wealth of behaviors previously thought to belong to the quantum realm**. But this system also has **some strong limitations**. First it is only **2D** by nature, while quantum mechanics is inherently 3D. Second, the **influence of the hydrodynamic pilot wave** through memory effects is **strongly limited by viscous damping**. Third, **only monopolar vibrations** can be created by the particle bouncing, excluding the exploration of other modes. Finally, the **system requires a periodic disconnection** between the particle and its wave, in an **additional spatial dimension**, that would not exist for a 3D system.

Objectives:

In this project, our aim is to **unveil and study theoretically, numerically and experimentally some acoustic quantum analogues which overcome these limitations** and hence would **enable to further investigate the limits of pilot wave theory**. This work relates to our recent theoretical discovery that **acoustic sources can be transported by their own acoustic wave**, through the acoustic radiation force resulting from an asymmetry created by Doppler's

effect when the particle starts moving [4,5]. In particular our objectives are to unveil some classic analogue of the acoustic spin with a wave particle duality and study entanglement for classical systems.

Practical information:

The master 2 and PhD positions are fully funded by an ANR project already obtained by the team. They will take place at IEMN laboratory in Lille. The internship can be oriented on experimental or theoretical aspects depending on the preferences of the candidate.

References:

[1] Colin S et al., Broglie's double solution program: 90 years later *Ann. Fond. Louis Broglie*, **42** 19–71 (2017)

[2] Bohm D, A suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables, *Phys. Rev.* **85** 66–193 (1952)

[3] Couder Y et al., Walking and orbiting droplets, *Nature* **437**: 208 (2005)

[4] A Roux, A. J.P. Martishang, **M. Baudoin**, Self radiation force on a moving monopolar source, *acc. J. Fluid Mech.*, arXiv: 2205.09346 (2022)

[5] J.P. Martishang, A.Roux, **M. Baudoin**, Particle surfing on its own dipolar wave: toward acoustic quantum analogues, *submitted* (2022)