

# Simulating black holes with fluids of light

Rémi Truong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut d'Optique Graduate School, Paris-Saclay University, Final-year BSc student  
Presenting author e-mail : remi.truong-minh-tao@institutoptique.fr*

Studying black holes is a difficult problem because of their very nature: these massive objects have such an intense gravitational field that nothing - not even light nor matter - can escape from it. For this reason, physicists such as William Unruh [1] tried to find analog systems that could simulate black holes physics in a laboratory to observe phenomena that were yet to be experimentally verified, such as black hole evaporation theorized by Hawking [2] which releases a small (in practice, undetectable) radiation outside the black hole. In 2015, a group of experimenters of the C2N [3] successfully realized a *sonic* black hole which traps acoustic waves in the same way that a gravitational black hole traps light and matter. I describe in this paper the experiment they conducted, which I studied during my internship in this same group.

In order to create a sonic black hole it is necessary to have acoustic waves, that is to say excitations travelling through a deformable medium (usually a fluid such as air or water). Choosing the right fluid matters because it must stay under control at all times so that it can fully simulate a black hole and its phenomena, which neither air nor water can [4]. This experiment consequently uses a particular fluid named *fluid of light*.

A fluid of light is a medium composed of a large number of particles known as *polaritons* which have the striking characteristic of being half-matter and half-light simultaneously. These polaritons are obtained in a laboratory by applying a laser that excites samples of semiconductor materials cooled down to  $\sim 10K$ . The resulting fluid can then propagate along the semiconductor cavity, and all its properties (e.g., its velocity) can be deduced from energy measurements of the light released by these polaritons.

At high excitation power, sonic-like excitations that propagate similarly to acoustic waves begin to appear in the fluid, and a *speed of sound* can be defined. However there is nothing so far which traps these acoustic waves just as a black hole traps light. If we thus introduce a defect along the fluid's cavity (Figure 1) then the flow is so disrupted that the fluid will propagate faster than the excitations it carries in the downstream region of the defect (supersonic regime) while it will propagate slower upstream (subsonic regime). This speed of sound is also measured thanks to the light emitted by the polaritons.

Therefore once the fluid *passes* the defect, the acoustic waves it carries are stuck in the downstream region and cannot propagate back to the upstream region, because the fluid is moving faster (supersonic). As a result, an acoustic black hole whose *event horizon* (i.e., the boundary) is the defect is created. Using this system, the experimenters have deemed possible the observation of an analog black hole evaporation phenomenon [2].

**Keywords :** black holes, simulation, acoustic, light, polaritons

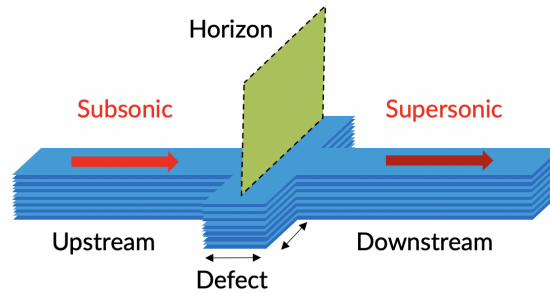


FIGURE 1 – Sketch of the experiment used to create an acoustic black hole by disrupting a polaritons fluid with a defect (based on a figure from [1])

**Supervisor :** Sylvain Ravets, Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N), CNRS - Paris-Saclay University

## References

- [1] W. G. Unruh, *Physical Review Letters*, 1981, 46, 1351-1353.
- [2] S. W. Hawking, *Nature*, 1974, 248, 30-31.
- [3] H. S. Nguyen, D. Gerace et al. *Physical Review Letters*, 2015, 114, 036402.
- [4] Carlos Barceló, *Nature Physics*, 2019, 15, 210-213.

# Simuler des trous noirs avec des fluides de lumière

Rémi Truong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut d'Optique Graduate School, Université Paris-Saclay, Étudiant en 1ère année d'école d'ingénieur  
Adresse e-mail de l'auteur qui présente : remi.truong-minh-tao@institutoptique.fr*

Étudier les trous noirs est un problème difficile du fait de leur nature : ces corps célestes absorbent tout ce qui se situe à leur proximité, matière et lumière comprises, ce qui rend leur observation très délicate. C'est pour cette raison que des chercheurs tels que William Unruh [1] ont cherché des systèmes analogues simulant la physique des trous noirs en laboratoire pour observer des phénomènes théorisés mais jamais vérifiés expérimentalement, tels que celui d'*évaporation des trous noirs* [2] de Hawking qui se manifeste par l'émission d'un rayonnement très faible (en fait, indétectable) à proximité d'un trou noir. En 2015, un groupe d'expérimentateurs du C2N [3] a obtenu un trou noir *acoustique* qui piège des ondes sonores de la même façon qu'un trou noir gravitationnel piège la lumière et la matière, et que j'ai étudié lors de mon stage d'immersion.

Pour réaliser un trou noir acoustique il est nécessaire d'avoir des ondes "sonores", c'est-à-dire des excitations se propageant au sein d'un milieu fluide (l'air ou l'eau par exemple). Le choix du fluide est en fait très important car il faut pouvoir le contrôler suffisamment pour réellement simuler un trou noir et tous ses phénomènes, ce que ne permettent ni l'air ni l'eau [4]. Cette expérience utilise donc un fluide particulier appelé *fluide de lumière*.

Un fluide de lumière est un milieu constitué d'un grand nombre de particules ayant la propriété remarquable d'être mi-lumière et mi-matière : les *polaritons*. Ces polaritons sont obtenus en laboratoire en venant exciter des couches de matériaux semi-conducteurs dans un cryostat à basse température ( $\sim 10K$ ) avec un laser. Le fluide obtenu peut alors s'écouler le long de la cavité de semi-conducteurs, et on peut connaître ses propriétés (e.g. sa vitesse) en analysant la lumière libérée par ces polaritons.

Lorsque la puissance du laser est suffisante, des excitations se propageant comme des *ondes acoustiques* apparaissent au sein du fluide de lumière et on peut définir une *vitesse du son* pour ces excitations, mais il n'y a rien qui les piège à la manière d'un trou noir si on n'ajoute rien de plus. Par contre, si l'on introduit un défaut le long de la cavité (Figure 2) alors l'écoulement est tellement perturbé que le fluide va dépasser la vitesse de ses excitations (régime supersonique) en aval du défaut, tandis qu'il restera en dessous de cette même vitesse en amont (régime subsonique). Cette vitesse du son est aussi mesurée grâce à la lumière des polaritons.

Ainsi une fois que le fluide de lumière *pass*e le défaut, les ondes acoustiques qui s'y propagent ne pourront plus remonter le courant le long de la cavité et s'échapper de la zone en aval du défaut car le fluide qui les emporte s'y propage à une vitesse supérieure (supersonique) : on a donc bien créé un trou noir acoustique dont l'*horizon des événements* (i.e. la frontière) est le défaut. Grâce à ce système, les expérimentateurs ont jugé possible l'observation d'un phénomène d'évaporation analogue à celui de Hawking [2].

**Mots-clés :** trous noirs, simulation, acoustique, lumière, polaritons

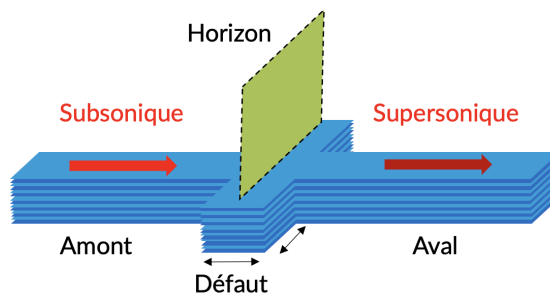


FIGURE 2 – Schéma de l'expérience permettant de créer un trou noir acoustique en perturbant un fluide de polaritons à l'aide d'un défaut (figure inspirée de l'article [2])

**Encadrant :** Sylvain Ravets, Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS - Université Paris-Saclay

## Références

- [1] W. G. Unruh, *Physical Review Letters*, 1981, 46, 1351-1353.
- [2] S. W. Hawking, *Nature*, 1974, 248, 30-31.
- [3] H. S. Nguyen, D. Gerace et al. *Physical Review Letters*, 2015, 114, 036402.
- [4] Carlos Barceló, *Nature Physics*, 2019, 15, 210-213.