

## COMMUNIQUE DE PRESSE

Press release in English below

# Un nouveau type de détecteur d'ondes gravitationnelles pour dénicher des trous noirs de la taille d'une balle de tennis, venus tout droit du Big-Bang

Une équipe de chercheurs composée de physiciens et mathématiciens de l'UNamur, de l'Université libre de Bruxelles (ULB) et de l'École Normale Supérieure (ENS) de Paris-Saclay, propose une expérience innovante qui permettrait de détecter des trous noirs primordiaux de la taille d'une balle de tennis. Une telle découverte pourrait révolutionner notre compréhension du cosmos !

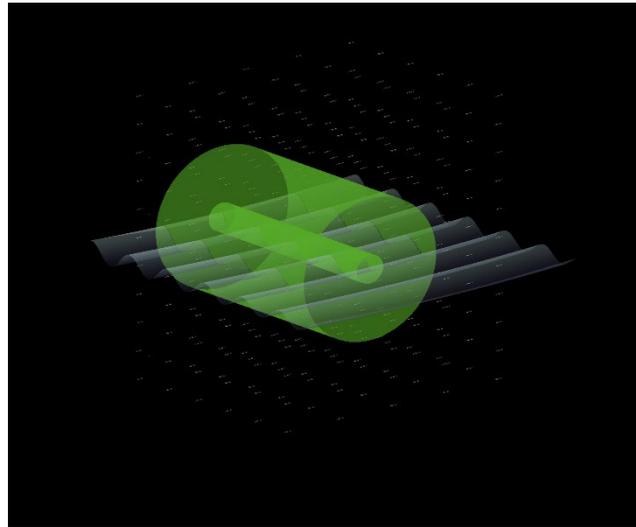
« Détecter les trous noirs primordiaux, c'est ouvrir de nouvelles perspectives pour comprendre l'origine de l'Univers, parce que ces trous noirs encore hypothétiques se seraient formés à peine quelques fractions infimes de seconde après le Big Bang. Leur étude représente un grand intérêt pour la recherche en physique théorique et en cosmologie, parce qu'ils pourraient notamment expliquer l'origine de la matière noire dans l'Univers ». En détaillant les perspectives qu'ouvre leur recherche, l'équipe emmenée par le Professeur André Fúzfa, astrophysicien à l'UNamur, a des étoiles pleines les yeux.

Ce projet est le fruit d'une collaboration inédite entre l'UNamur et l'ULB, à laquelle s'ajoute l'ENS grâce à l'implication d'un étudiant stagiaire, Léonard Lehoucq. L'idée était de combiner l'expertise de l'UNamur dans le domaine des antennes à ondes gravitationnelles, une idée brevetée par le Professeur Fúzfa en 2018 et étudiée par Nicolas Herman dans le cadre de son doctorat, à celle de l'ULB dans le domaine en plein essor des trous noirs primordiaux, dont le Professeur Classe est un des acteurs centraux. Ils viennent ainsi de développer une application de ce type de détecteur à l'observation de "petits" trous noirs primordiaux. Leurs résultats viennent d'être publiés dans la revue *Physical Review D*. « A ce jour, ces trous noirs primordiaux restent encore hypothétiques, car il est difficile de faire la différence entre un trou noir issu de l'implosion d'un cœur d'étoile et un trou noir primordial. Observer des trous noirs plus petits, de la masse d'une planète pour une taille de quelques centimètres, permettrait de faire la différence », explique l'équipe de chercheurs. « Nous proposons aux expérimentateurs un dispositif qui pourrait les détecter, en captant les ondes gravitationnelles qu'ils émettent en fusionnant et qui sont de beaucoup plus hautes fréquences que celles actuellement accessibles », poursuivent-ils.

Par quelle technique ? En utilisant une "antenne" à ondes gravitationnelles, composée d'une cavité métallique spécifique et adéquatement plongée dans un puissant champ magnétique extérieur. Lorsque l'onde gravitationnelle passe à travers le champ magnétique, elle génère des ondes électromagnétiques dans la cavité. En quelque sorte, l'onde gravitationnelle fait « siffler » (résonner) la cavité, pas avec du son mais avec des micro-ondes.

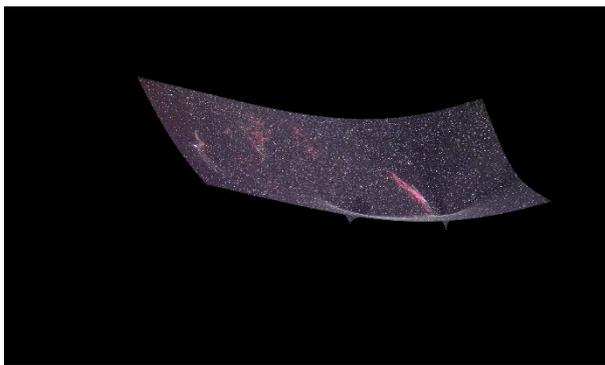
Un montage de ce type, d'une taille de seulement quelques mètres suffirait pour détecter des fusions de petits trous noirs primordiaux à des millions d'années-lumière de la Terre. L'appareil proposé est beaucoup plus compact que les détecteurs habituellement utilisés (interféromètres LIGO, Virgo et KAGRA) qui mesurent plusieurs kilomètres de long. La méthode de détection le rend sensible aux ondes gravitationnelles de très haute fréquence (de l'ordre de 100 MHz, comparé à 10-1000 Hz pour LIGO/Virgo/Kagra), qui ne sont pas produites par les sources astrophysiques ordinaires comme les fusions d'étoiles à neutrons ou de trous noirs stellaires. C'est par contre idéal pour la détection de petits trous noirs, de la masse d'une planète et dont la taille va d'une petite bille à une balle de tennis.

« Notre proposition de détecteur combine des technologies bien maîtrisées et présentes dans la vie de tous les jours comme les magnétrons des fours à micro-ondes, les aimants d'IRM et les antennes radios. Mais ne démontez pas tout de suite vos appareils ménagers pour vous lancer dans l'aventure : consultez d'abord notre article pour commander votre matériel, comprendre le dispositif et le signal qui vous attend en sortie. », plaisantent les chercheurs.



Cette technique brevetée est pour l'instant au stade de la modélisation théorique avancée, mais comporte tous les éléments nécessaires pour entrer dans un phase plus concrète, avec la construction d'un prototype. Elle ouvre en tout cas la voie à des recherches fondamentales sur l'origine de notre Univers. Outre les trous noirs primordiaux, ce type de détecteur pourrait aussi observer directement les ondes gravitationnelles émises au moment du Big-Bang, et ainsi sonder la Physique à des énergies bien plus élevées que celle qui peut être atteinte dans les accélérateurs de particules.

Découvrez l'abstract de l'article publié dans Physical Review D : <https://journals.aps.org/prd/accepted/72072Q5fM9812b2db7ef0764fc8ccb47812e4f6ce>



*Cette illustration évoque la déformation de l'espace-temps autour de la boucle du Cygne par deux trous noirs.*

Découvrez aussi deux animations créées par l'équipe de recherche. La première est une simulation qui combine trois animations, la fusion des trous noirs primordiaux, l'onde gravitationnelle traversant le détecteur et la puissance électromagnétique induite dans celui-ci. La deuxième est la traduction en son audible du signal entrant dans le détecteur et sa réponse, support visuel à l'appui.

**[Animation#1 | Simulation](#)**

**[Animation#2 | Traduction du son](#)**

## Pour mieux comprendre

**Une onde gravitationnelle** est l'équivalent pour la gravité de la lumière pour la force électromagnétique : c'est l'interaction qui se propage. Là où la lumière (ondes électromagnétiques) fait vibrer des charges électriques sur son passage, les ondes gravitationnelles, elles, font vibrer la matière et l'énergie. Autrement dit, une onde gravitationnelle est une distorsion de l'espace-temps prédite par Albert Einstein dans le cadre de la Relativité Générale. Elle se propage dans l'Univers à la vitesse de la lumière et peut être produite par des objets compacts en orbite rapprochée, comme lors de la fusion de trous noirs. Leur première détection directe remonte à septembre 2015, par l'expérience Advanced LIGO/Virgo (couronnée du Prix Nobel de Physique en 2017). Lors de son passage dans un champ magnétique intense, une onde gravitationnelle génère un très faible signal électromagnétique, qui pourrait être observé grâce à des détecteurs spécifiques.

**Un trou noir**, c'est un objet astrophysique tellement compact que même la lumière ne peut pas s'en échapper. Depuis une vingtaine d'années, les observations suggèrent que ces astres extrêmes existent bel et bien. Leur taille est directement proportionnelle à leur masse. Par exemple, un trou noir de trente masses solaires issu de l'explosion d'une étoile en supernova « mesure » environ 180 km. On a découvert également des trous noirs supermassifs au centre des galaxies (prix Nobel de physique 2020), jusqu'à plusieurs milliards de fois plus massifs que le soleil. A l'inverse, les étoiles ne peuvent former de trous noirs plus légers que 1,4 fois la masse du soleil et de la taille d'une ville. L'observation d'un "petit" trou noir serait le signe d'une origine exotique, vraisemblablement primordiale.

**Un trou noir primordial** est un type particulier de trous noirs qui pourraient se former très tôt dans l'histoire de l'Univers, à l'occasion de différents processus qui ont modelé les interactions fondamentales et la formation des particules. Ils ont pu survivre jusqu'à aujourd'hui et constituer une partie, voire la totalité de l'énigmatique matière noire. Certaines observations intrigantes, comme celles de de LIGO/Virgo (ondes gravitationnelles) ou de OGLE (microlentilles gravitationnelles), pourraient être expliquées par de tels trous noirs primordiaux.

## L'équipe de recherche

Les auteurs de l'article publié dans Physical Review sont :

**Nicolas Herman (UNamur)** : Mathématicien, doctorant au sein du Département de Mathématique et membre du [Namur Institute for Complex Systems \(naXys\)](#), UNamur.

**André Füzfa (UNamur)** : Astrophysicien, Cosmologue, Inventeur pour l'occasion et Professeur au Département de Mathématique, membre du [Namur Institute for Complex Systems \(naXys\)](#), UNamur.

**Léonard Lehoucq (UNamur, ENS Paris Saclay)** : étudiant en Master 1 de l'[Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay](#), en stage de recherche à l'UNamur

**Sébastien Clesse (ULB)** : Astrophysicien et Cosmologue, Professeur au [Service de Physique Théorique](#) de l'Université Libre de Bruxelles

---

## Articles en ligne

(FR) <https://nouvelles.unamur.be/upnews.2021-06-21.2535833548/view>

(EN) <https://www.unamur.be/recherche/actus/black-holes>

## Contacts pour la presse

**André FÚZFA :**

**Courriel :** [andre.fuzfa@unamur.be](mailto:andre.fuzfa@unamur.be)

**Téléphone(s) :** [+32 \(0\)81 72 49 32](tel:+32281724932) (GSM sur demande auprès du service presse)

**Sébastien CLESSE:**

**Courriel :** [sebastien.clesse@ulb.be](mailto:sebastien.clesse@ulb.be)

**Téléphone(s) :** [+32 \(0\)477 17 79 89](tel:+322477177989)

**Nicolas HERMAN:**

**Courriel :** [nicolas.herman@unamur.be](mailto:nicolas.herman@unamur.be)

**Téléphone(s) :** [+32 \(0\)499 19 61 55](tel:+322499196155)

**Léonard LEHOUCQ:**

**Courriel :** [leonard.lehoucq@ens-paris-saclay.fr](mailto:leonard.lehoucq@ens-paris-saclay.fr)

Press Release

## A new type of gravitational wave detector to find tennis ball-sized black holes straight out of the Big Bang.

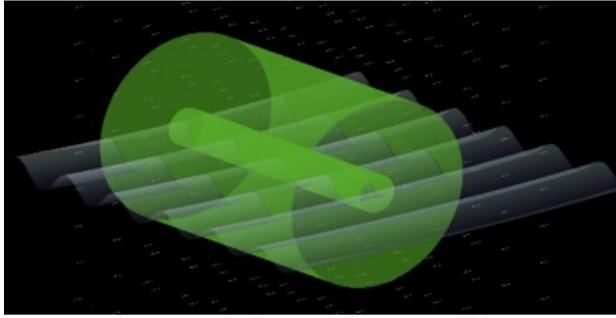
A team of researchers composed of physicists and mathematicians from the University of Namur (UNamur), the Free University of Brussels (ULB) and the Ecole Normale Supérieure (ENS) of Paris-Saclay, offers an innovative experiment to enable the detection of primordial black holes the size of a tennis ball. Such a discovery could shake up our understanding of the cosmos!

*"Detecting primordial black holes opens up new perspectives to understand the origin of the Universe, because these still hypothetical black holes are supposed to have formed just a few tiny fractions of a second after the Big Bang. Their study is of great interest for research in theoretical physics and cosmology, because they could notably explain the origin of dark matter in the Universe".* You can see stars in the eyes of the members of the team led by Professor André Füzfa, astrophysicist at UNamur, when talking about the perspectives of their research.

This project is the result of an unprecedented collaboration between the UNamur and ULB, to which the ENS added thanks to the involvement of trainee student Léonard Lehoucq. The idea was to combine the UNamur expertise in the field of gravitational wave antennas, an idea patented by Professor Füzfa in 2018 and studied by Nicolas Herman as part of his doctorate, with that of ULB in the booming field of primordial black holes, in which Professor Clesse is one of the central players. They have just developed an application of this type of detector in order to observe "small" primordial black holes. Their results have just been published in the journal Physical Review D. *"To this day, these primordial black holes are still hypothetical, because it is difficult to make the difference between a black hole resulting from the implosion of a star core and a primordial black hole. Being able to observe smaller black holes, the mass of a planet but a few centimeters in size, would make the difference,"* the team of researchers says. They carry on: *"We are offering experimenters a device that could detect them, by capturing the gravitational waves they emit when merging and which are of much higher frequencies than those currently detected".*

But what is the technique? A gravitational wave "antenna", composed of a specific metal cavity and suitably immersed in a strong external magnetic field. When the gravitational wave goes through the magnetic field, it generates electromagnetic waves in the cavity. In a way, the gravitational wave makes the cavity "hiss" (resonate), not with sound but with microwaves.

This type of device, just a few meters in size, would be enough to detect fusions of primordial small black holes millions of light years from Earth. It is much more compact than the commonly used detectors (LIGO, Virgo and KAGRA interferometers) which are several kilometers long. The detection method makes it sensitive to very high frequency gravitational waves (in the order of 100 MHz, compared to 10-1000 Hz for LIGO / Virgo / Kagra), which are not produced by ordinary astrophysical sources such as neutron stars or stellar black holes mergers. On the other hand, it is ideal for the detection of small black holes, the mass of a planet and its size goes from a small ball to a tennis ball.



*"Our detector proposal combines well mastered and everyday life technologies such as magnets in microwave ovens, MRI magnets and radio antennas. But don't take your household appliances apart right away to start the adventure: read our article first, then order your equipment, understand the device and the signal that awaits you at the output,"* the researchers say laughingly.

This patented technique is currently at the stage of advanced theoretical modeling, but has all the necessary elements to enter a more concrete phase, with the construction of a prototype. In any case, it paves the way for fundamental research into the origins of our Universe. In addition to primordial black holes, this type of detector could also directly observe the gravitational waves emitted at the time of the Big Bang, and thus probe physics at much higher energies than the ones achieved in particle accelerators.

Discover the [abstract of the article](#) published in Physical Review D.

### To better understand

Here are two animations created by the research team. The first is a simulation which combines three animations - the fusion of primordial black holes, the gravitation wave going through the detector and the induced electromagnetic power inside the detector. The second is the sound illustration, combined with visual support, of the signal coming in the detector and its response.

#### [Animation#1 | Simulation](#)

#### [Animation#2 | Sound illustration](#)

**A gravitational wave** is equivalent to the gravity of light for the electromagnetic force: it is the interaction that propagates. Where light (electromagnetic waves) makes electric charges vibrate in its path, gravitational waves cause matter and energy to vibrate. In other words, a gravitational wave is the space-time distortion predicted by Albert Einstein in the context of General Relativity. It propagates through the Universe at the speed of light and can be produced by compact objects in close orbit, such as in the merging of black holes. The first direct detections dates back to September 2015, in the Advanced LIGO / Virgo experiment (crowned with the Nobel Prize in Physics in 2017). During its passage in an intense magnetic field, a gravitational wave generates a very weak electromagnetic signal, which could be observed thanks to specific detectors.

**A black hole** is such a compact astrophysical object that not even light can escape from it. For the past twenty years, observations have suggested that these extreme objects do indeed exist. Their size is directly proportional to their mass. For example, a black hole of thirty solar masses resulting from the explosion of a supernova star "measures" about 180 km. Supermassive black holes have also been discovered in the center of galaxies (Nobel Prize in Physics 2020), up to several billion times more massive than the sun. Conversely, stars cannot form black holes lighter than 1.4 times the mass of the sun and the size of a city. The observation of a "small" black hole would be the sign of an exotic origin, probably primordial.

**A primordial black hole** is a special type of black hole that could form very early in the history of the universe, through various processes that have shaped the fundamental interactions and the formation

of particles. They may have survived to this day and formed part, if not all, of the enigmatic dark matter. Some intriguing observations, like those of LIGO / Virgo (gravitational waves) or OGLE (gravitational microlensing), could be explained by such primordial black holes.

## The research team

The authors of the article published in Physical Review are:

- Nicolas Herman (UNamur): Mathematician, PhD student in the Department of Mathematics and member of the Namur Institute for Complex Systems (naXys), UNamur.
  - André Fúzfa (UNamur): Astrophysicist, Cosmologist, Inventor for the occasion and Professor in the Department of Mathematics, member of the Namur Institute for Complex Systems (naXys), UNamur.
  - Léonard Lehoucq (UNamur, ENS Paris Saclay): Master 1 student at the Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay, on a research internship at UNamur
  - Sébastien Clesse (ULB): Astrophysicist and Cosmologist, Professor at the Theoretical Physics Department of the Free University of Brussels
-