

Danny

Ondes gravitationnelles

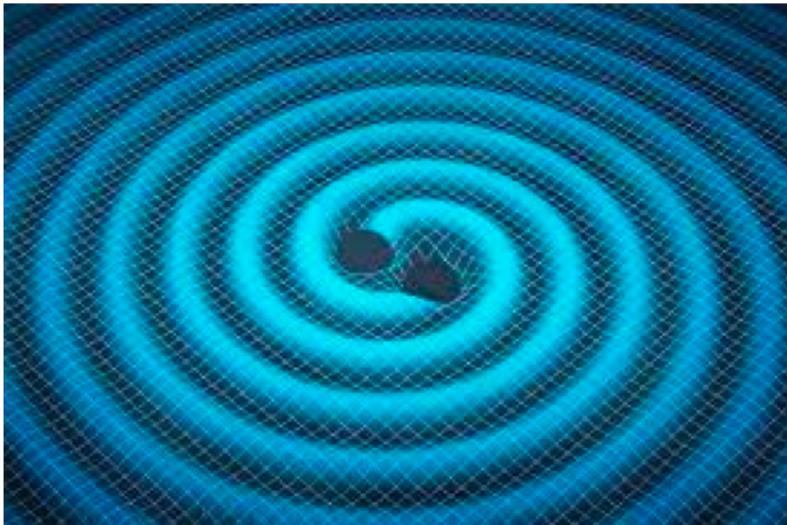
Danny Laghi @ L2IT

- PhD in Physics — University of Pisa (Italy)
 - Visiting Student Researcher — Caltech (U.S.A.)
- Research Contract — CNRS-CNES
- Member of Virgo and LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration

Gravitational wave

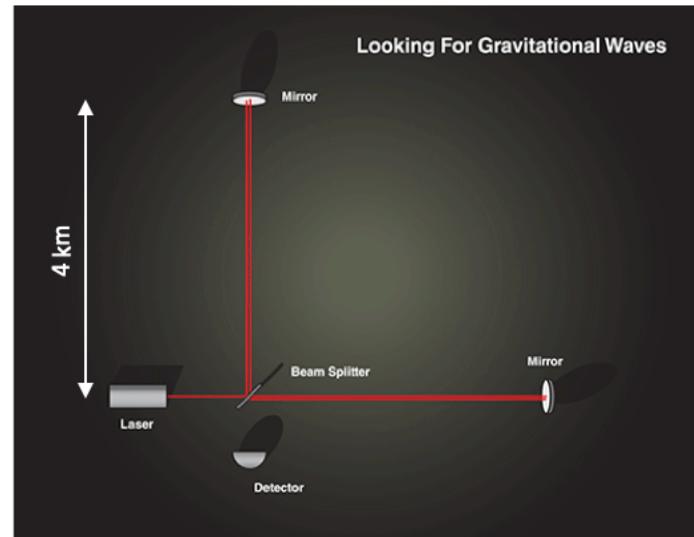
- 1915: Einstein's Theory of **General Relativity**
 - **Accelerated** masses **radiate** energy through "ripples" in space-time, aka **gravitational waves**
- 2015: **First observation** of gravitational wave signal emitted by the merger of a **black hole binary**

Source



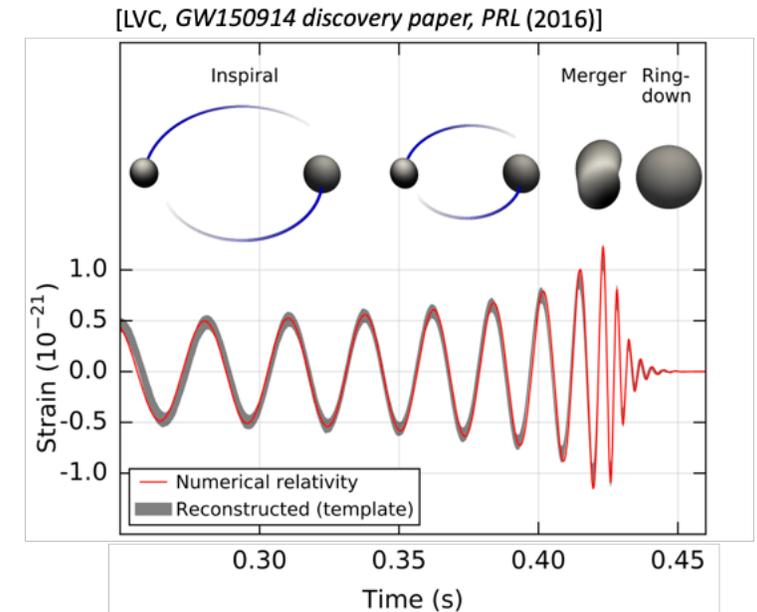
[Credits: LVC]

Instrument



[Credits: NASA]

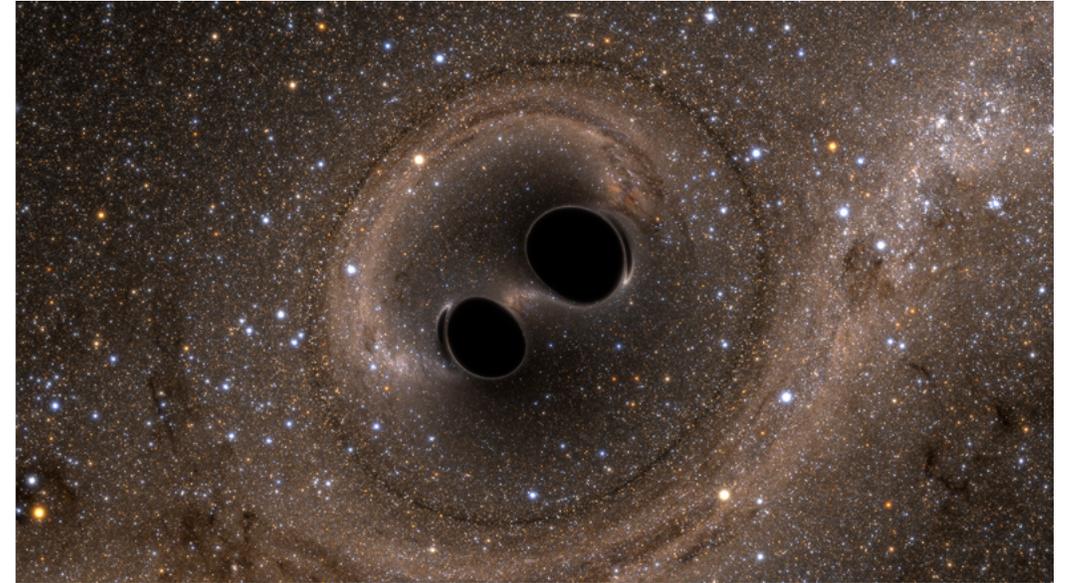
Signal



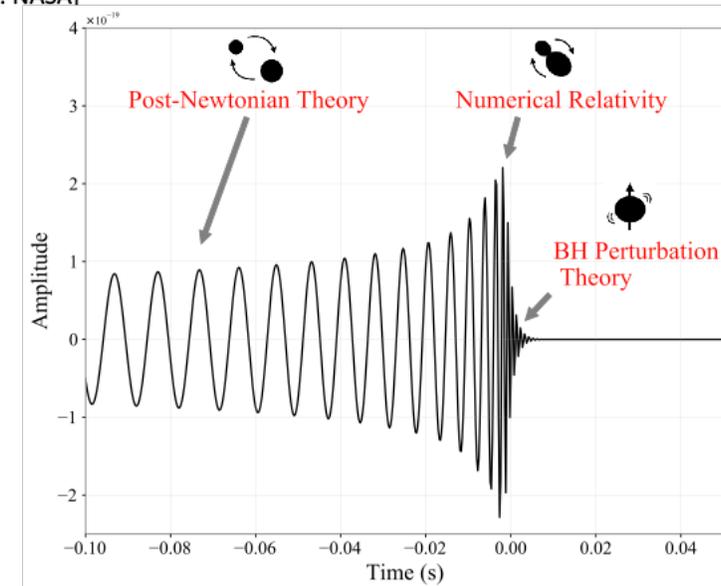
Why study gravitational waves ?

- **Astrophysics:**

- A **new** way of “**seeing**” what happens in space (mergers of black holes, neutron stars, black hole-neutron star...)
- **Test** the predictions of General Relativity in the **gravity strong-field** regime (not achievable in any laboratory!)



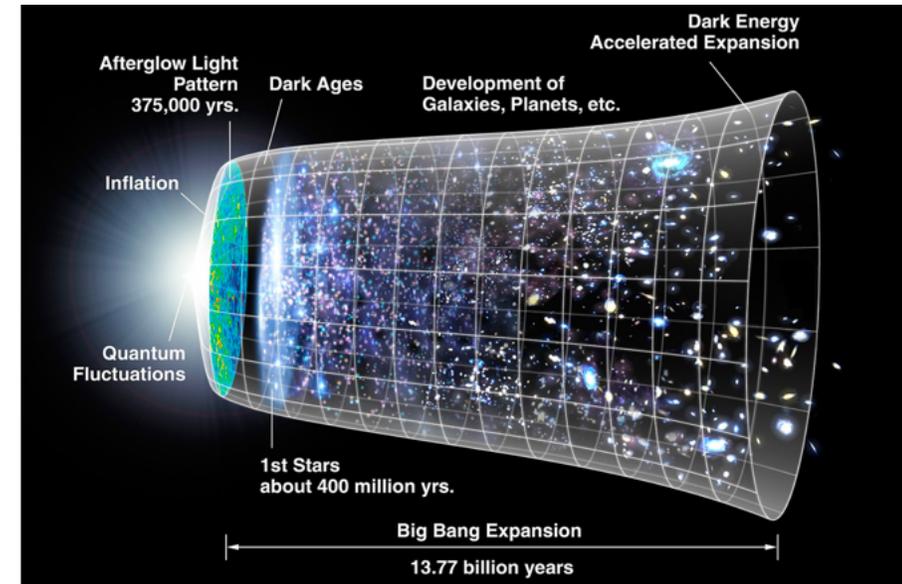
[Credits: NASA]



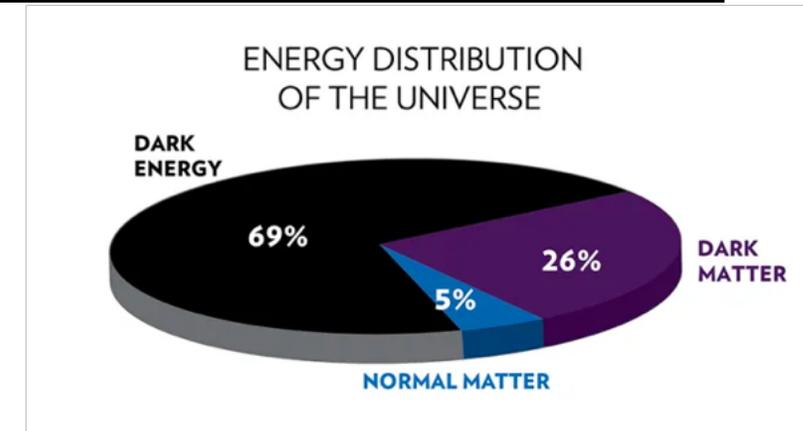
Why study gravitational waves ?

- **Cosmology:**

- Measure the **rate** at which the Universe is **expanding**
- Measure the content (**matter** and **energy**) of our Universe



Credits: NASA



Gravitational-wave astronomy is still in its infancy !

Prepare for the unexpected...

Quentin

Physique nucléaire

Les noyaux atomiques : au cœur de la matière

Tableau périodique des éléments

Hydrogène

Oxygène

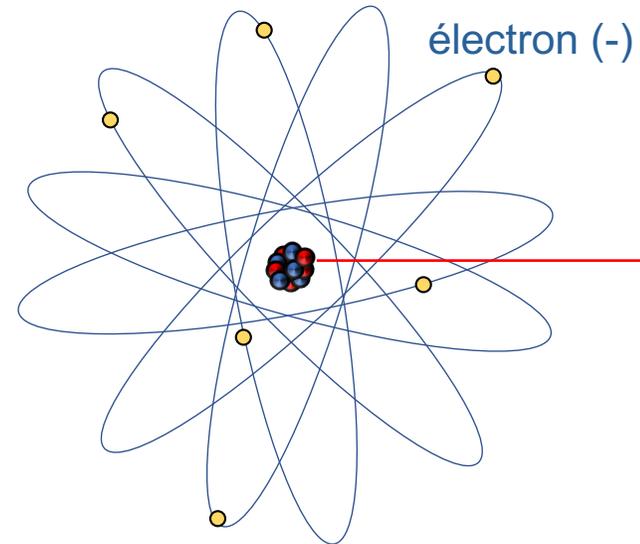
Carbone

Fer

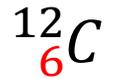
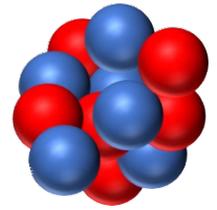
Argent Or

1 H Hydrogène																	2 He Hélium	
3 Li Lithium	4 Be Béryllium																	10 Ne Néon
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium																	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Sélénium	35 Br Brome	36 Kr Krypton	
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technétium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Étain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon	
55 Cs Césium	56 Ba Baryum	*	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine	79 Au Or	80 Hg Mercure	81 Tl Thallium	82 Pb Plomb	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon	
87 Fr Francium	88 Ra Radium	**	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Uub Ununbium	113 Uut Ununtrium	114 Uuq Ununquadium	115 Uup Ununpentium	116 Uuh Ununhexium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium	

Carbone



Noyau



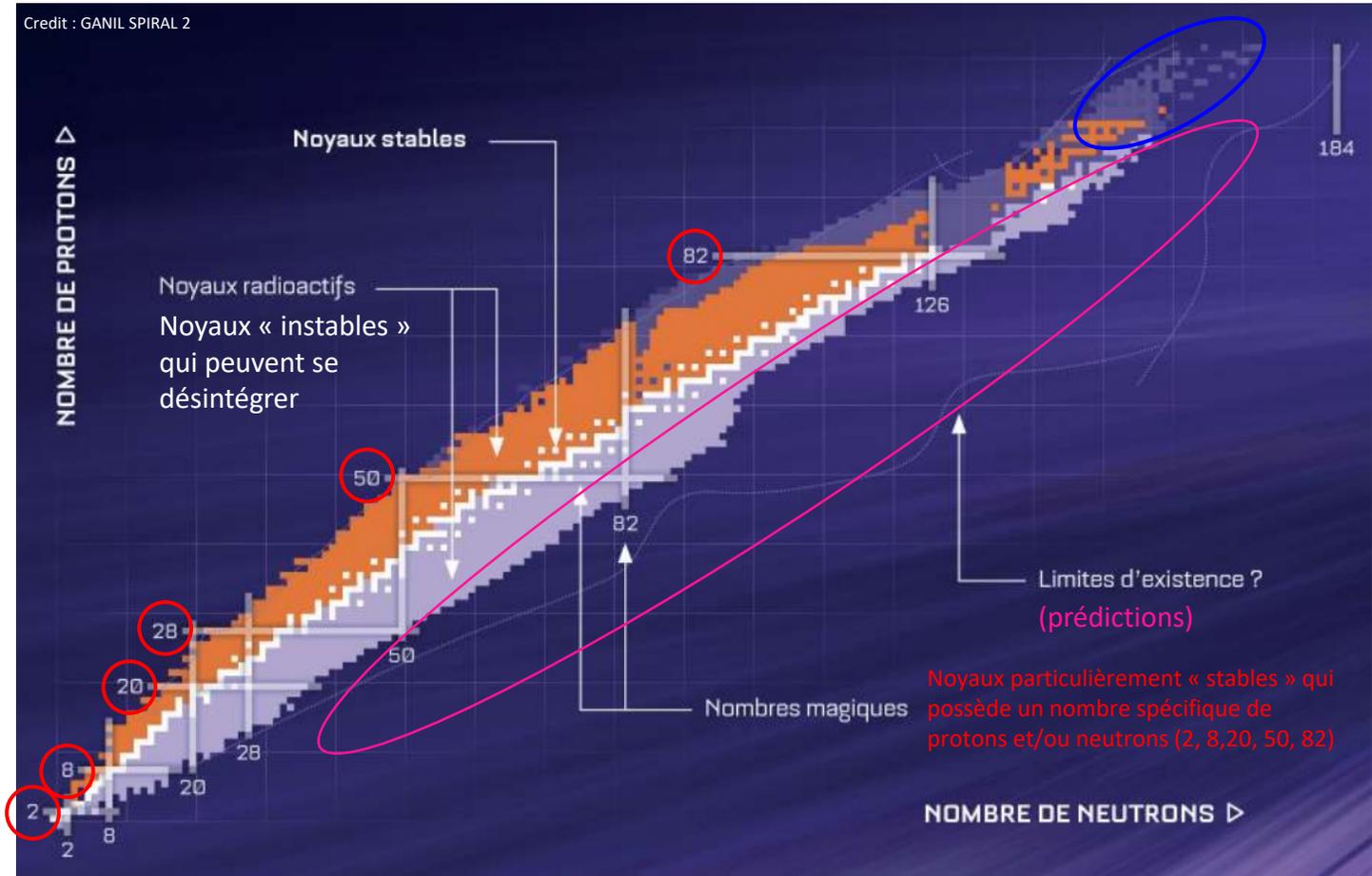
Z=6 protons (+)
N=6 neutrons
A=12

Physique nucléaire :

Comprendre la structure des noyaux, leur force de cohésion, leurs origines et leurs limites d'existence.

La carte des noyaux

- Environ 300 noyaux stables existent à l'état naturel.
- → L'Hydrogène (composé d'un proton) est le noyau stable le plus léger.
- Plus de 2800 ont été produits à ce jour en laboratoire
- → L'Uranium 238 (92 protons, 146 neutrons) est le noyau stable le plus lourd ;
- → L'élément le plus lourd jamais observé en laboratoire compte 118 protons.
- ~ 5000 restent encore à découvrir.
- Pour étudier le noyau de l'atome, il faut le ioniser et le projeter à plusieurs dizaine de milliers de km/s sur d'autres noyaux (cible de matière).



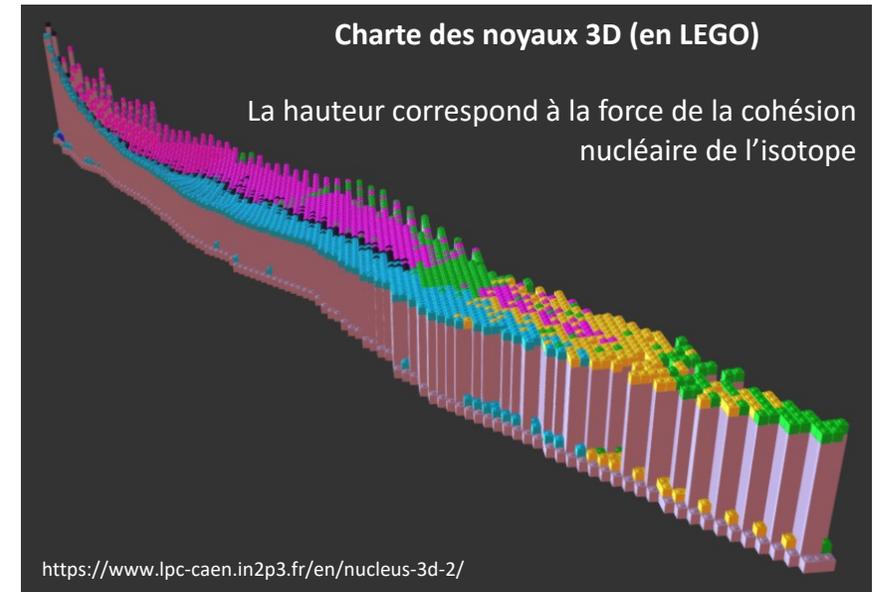
La cohésion nucléaire

La force de cohésion du noyau :

- Lie les protons et les neutrons (nucléons) ;
- Trouve son origine dans leurs sous-constituants (quarks) et l'interaction forte qui les maintient par trois ;
- Est à l'origine de 95% de la masse des nucléons.

Le “fluide” nucléaire :

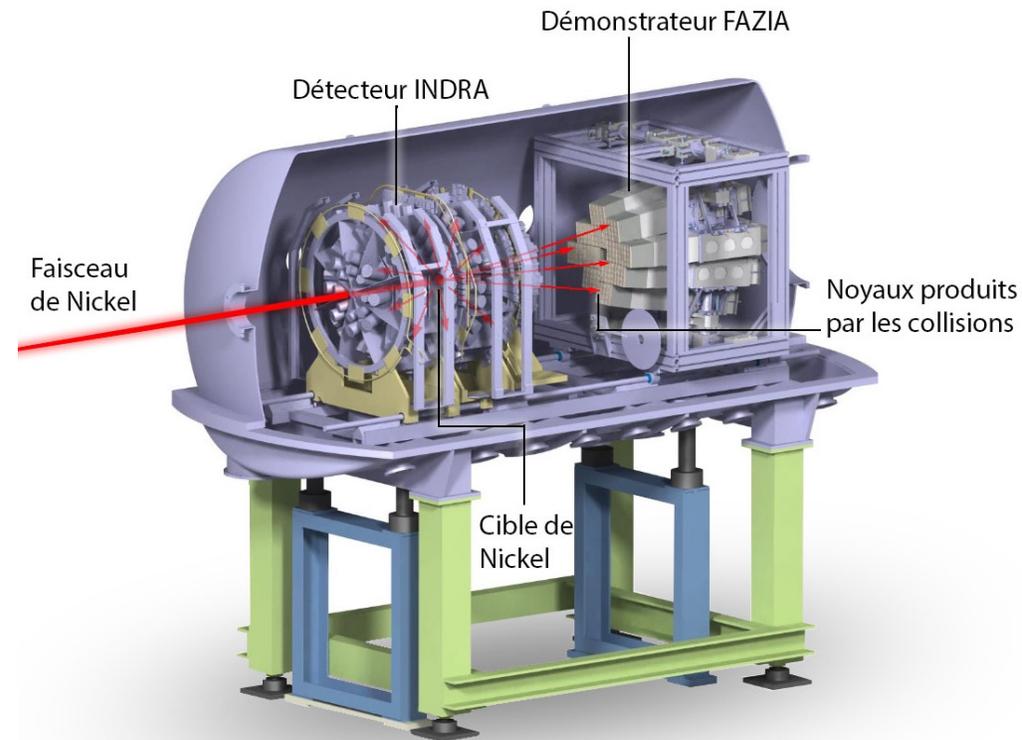
- Le noyau peut être modélisée par une gouttelette extrêmement dense (environ 10^{17} kg/m³) ;
- Les propriétés de cette goutte reflètent l'interaction entre les nucléons ;
- Cette vision simpliste est à la base des modèles qui parviennent à décrire certaines propriétés des noyaux connus sur Terre ;
- Il existe des divergences entre les modèles dès que l'on s'éloigne des conditions de pression, température, densité et/ou asymétrie entre le nombre protons et neutrons.



Les collisions nucléaires

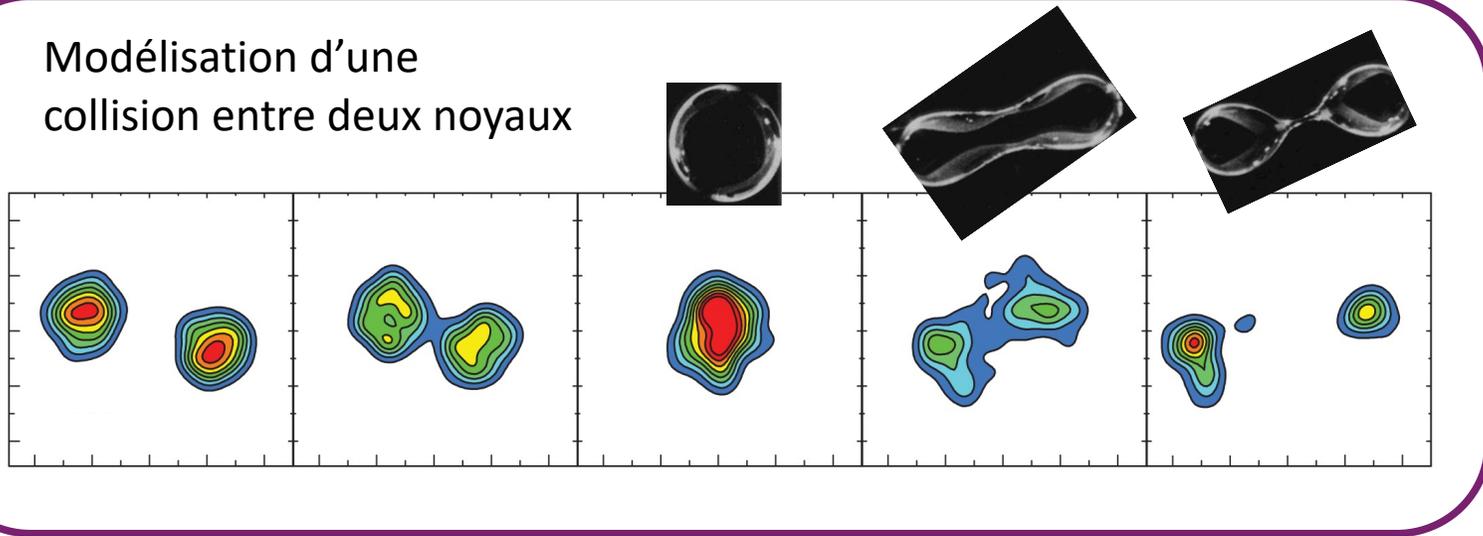
Étudier le comportement de la matière nucléaire :

- Collisions entre des isotopes (même nombre de protons mais nombre de neutrons différents) ;
- Collision à une énergie dosée pour que le choc n'entraîne pas de dislocation brutale et permet aux noyaux d'interagir l'un avec l'autre ;
- Ils échangent des nucléons entre eux jusqu'à se séparation et émission de multiples fragments ;
- L'étude de tels mécanismes nécessite la détection et l'identification de l'ensemble des fragments émis lors de chaque événement ;
- Le temps typique d'une telle collision est d'environ 10⁻²² secondes.



Les collisions se produisent au centre du détecteur INDRA. Les noyaux les plus rapides s'arrêtent dans le détecteur FAZIA, situé à 1m du point de la collision et INDRA collecte les autres noyaux en coïncidence. Credit : Y. Merrer LPC Caen - IN2P3

Modélisation d'une collision entre deux noyaux



Credit : P. Stroppa - CEA

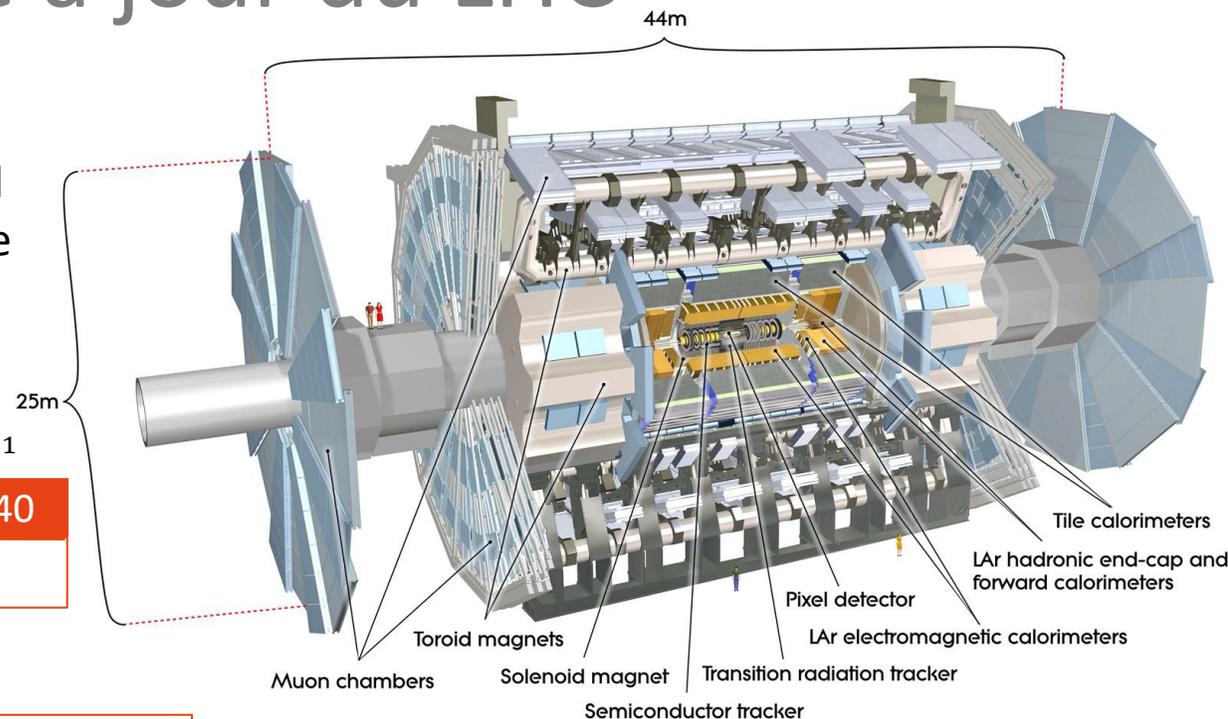
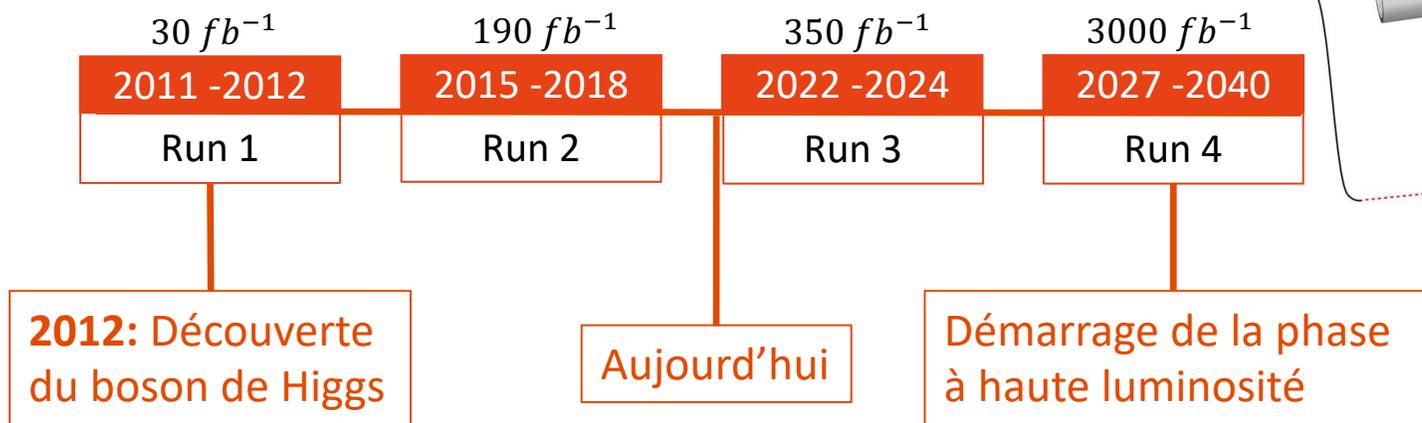
Charline

Physique des particules

HiLumi : la prochaine mise à jour du LHC

- **Le détecteur ATLAS**

ATLAS est un des deux détecteurs généralistes du CERN. Il détecte les particules issues des collisions produites par le *Large Hadron Collider*.



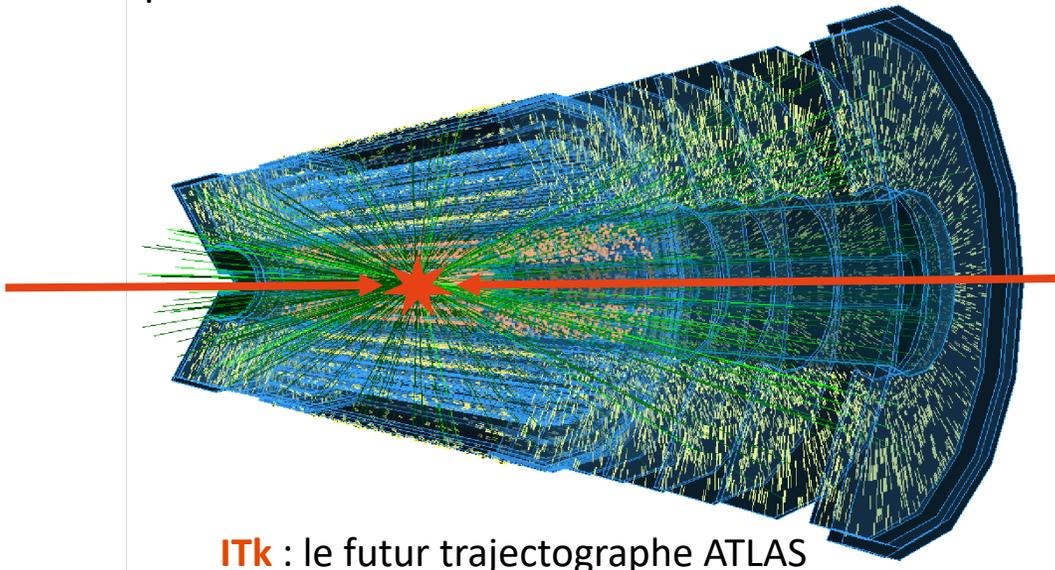
- **Etudier le boson de Higgs**

La plupart des interactions du boson de Higgs sont très **rare** ! Pour cette raison, le taux de collision du LHC sera augmenté d'un facteur cinq à partir de 2027: c'est la phase **HiLumi**. Cette augmentation du taux de collision permettra la collecte de plus de données et augmentera aussi leur complexité.

Reconstruire la trajectoire d'une particule

- **Un nouveau trajectographe**

La collaboration ATLAS construit actuellement un nouveau trajectographe (ITk) qui sera installé en prévision de la phase **HiLumi**.



ITk : le futur trajectographe ATLAS

ITk est un détecteur hermétique situé au plus près du point de collision. Il est composé de capteurs silicium dont le but est de détecter le passage d'une particule ionisante.

Une collision { ~ 10 000 particules
~ 300 000 hits

- **Un challenge pour la collaboration ATLAS**

Avec les algorithmes actuels, le traitement des données de ITk est très coûteux. Sans amélioration sensible des algorithmes, le programme de physique devra être réduit.

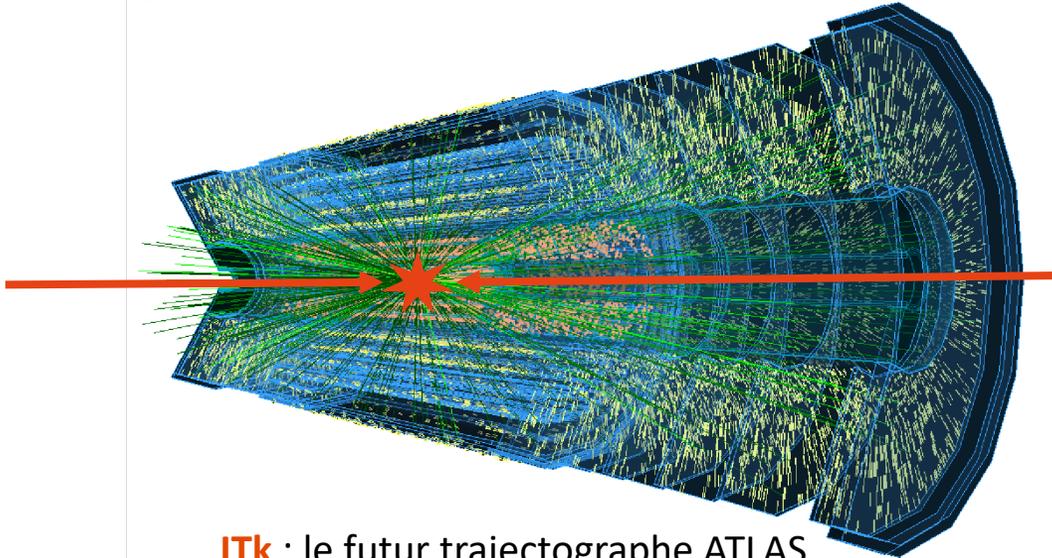


Etude d'un nouvel algorithme basé sur l'intelligence artificielle

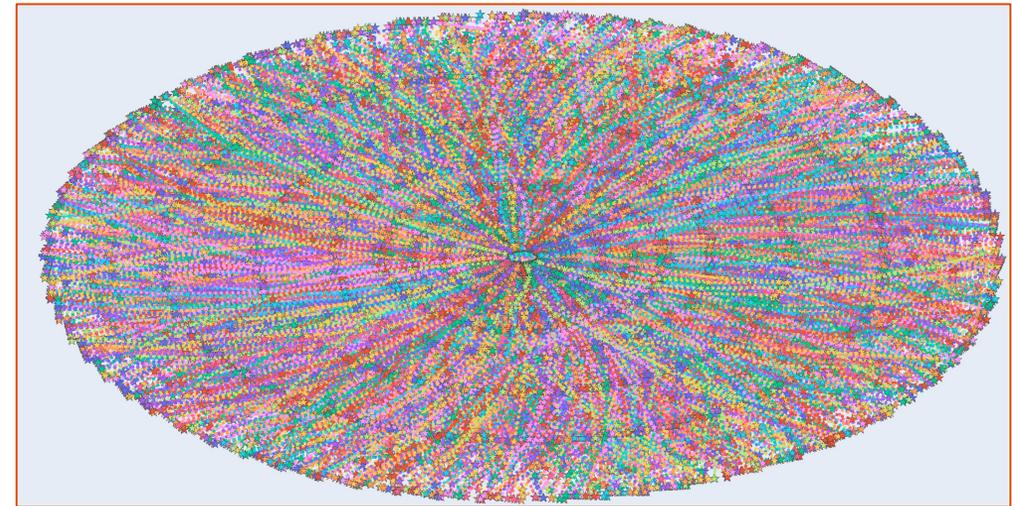
Reconstruire la trajectoire d'une particule

- **Un nouveau trajectographe**

La collaboration ATLAS construit actuellement un nouveau trajectographe (ITk) qui sera installé en prévision de la phase **HiLumi**.



ITk : le futur trajectographe ATLAS



Visualisation d'une collision dans ITk

- **Un challenge pour la collaboration ATLAS**

Avec les algorithmes actuels, le traitement des données de ITk est très coûteux. Sans amélioration sensible des algorithmes, le programme de physique devra être réduit.



Etude d'un nouvel algorithme basé sur l'intelligence artificielle

L'IA au service de la physique

- **Mon arrivée au L2IT**

Je suis arrivée au L2IT début mars 2020 pour un stage de master 2. Nous avons démarré ensemble (Catherine, Jan et moi) sans aucune connaissance préalable dans le domaine.

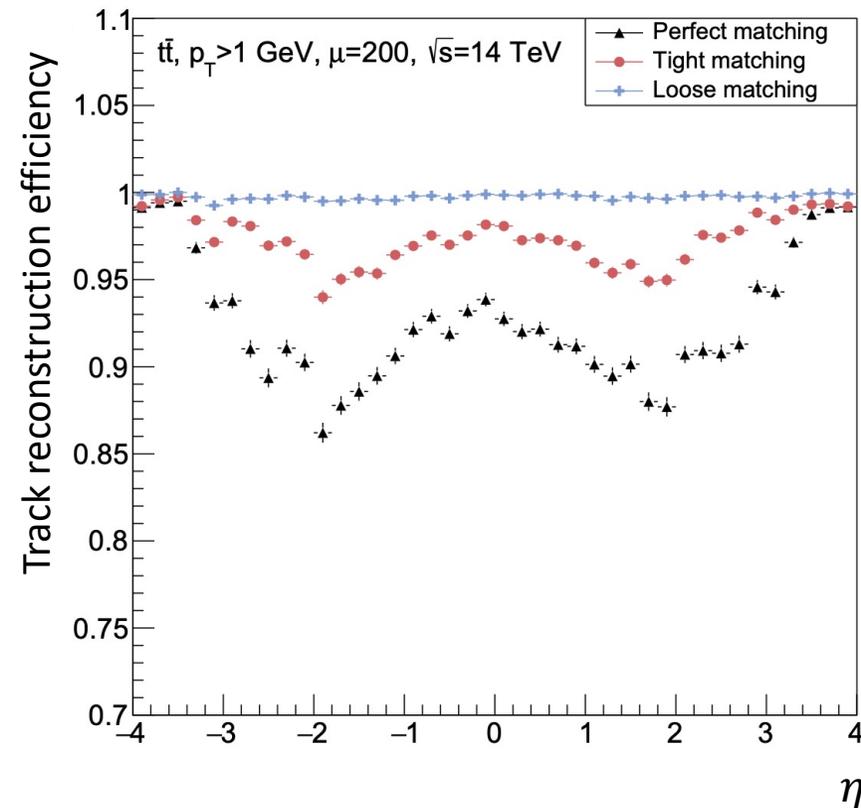
- **Etude d'un réseau de neurone graphique**



Une première étude d'un réseau de neurones graphique (**GNN**) a permis de démontrer le potentiel de cette méthode appliquée à la reconstruction des traces.

- **vCHEP: 25th International Conference on Computing in High-Energy and Nuclear Physics**

Présentation de nos premiers résultats lors de la conférence de référence dans le domaine.



Towards a realistic track reconstruction algorithm based on graph neural networks for the HL-LHC

Catherine Biscarat¹, Sylvain Caillou¹, Charline Rougier¹, Jan Stark¹, and Jad Zahreddine¹

¹Laboratoire des 2 Infinis - Toulouse (L2IT-IN2P3), Université de Toulouse, CNRS, UPS, F-31062 Toulouse Cedex 9, France

EPJ: [ici](#)