

Welcome to Toulouse and to L2IT

Jan Stark

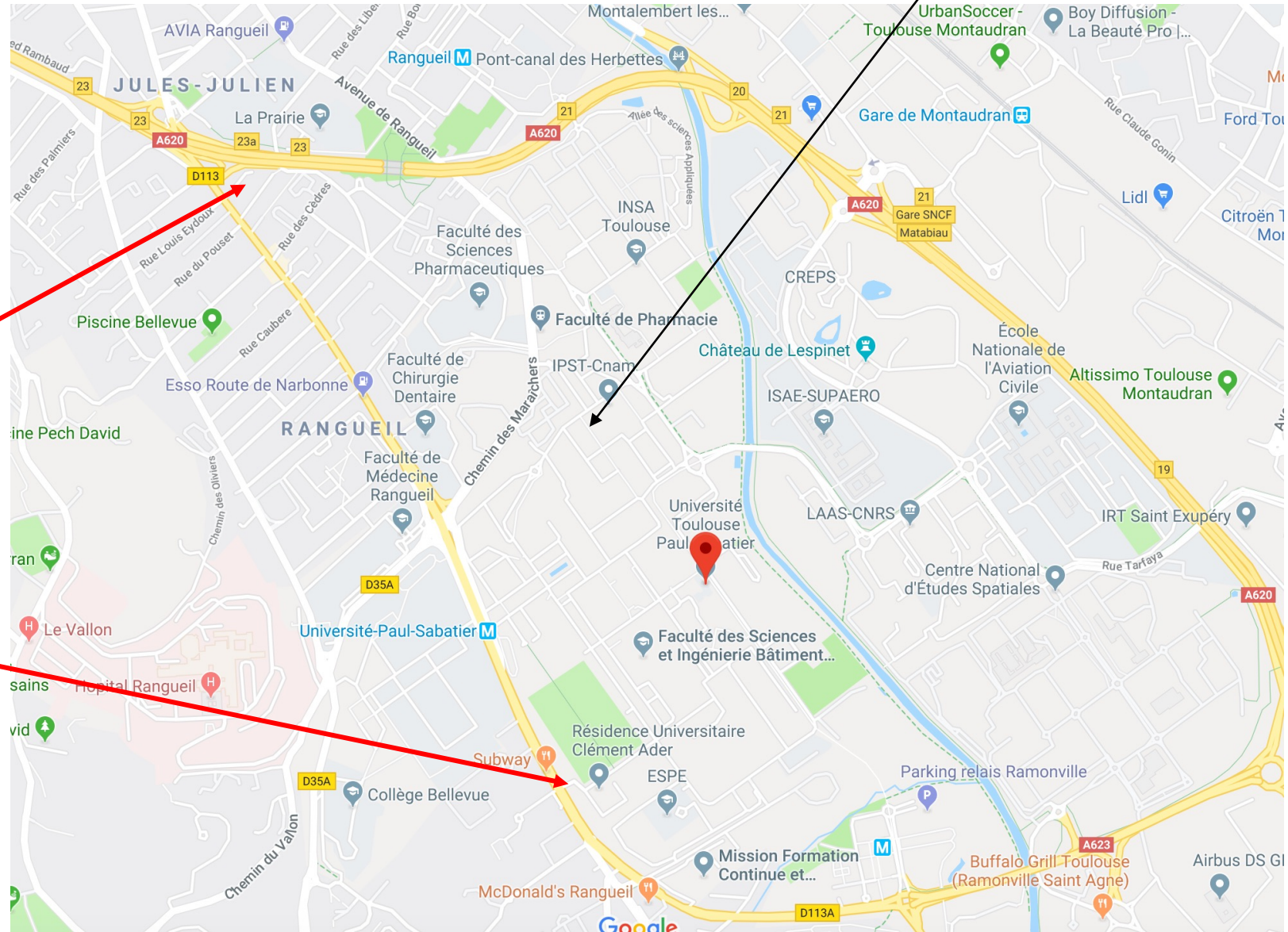
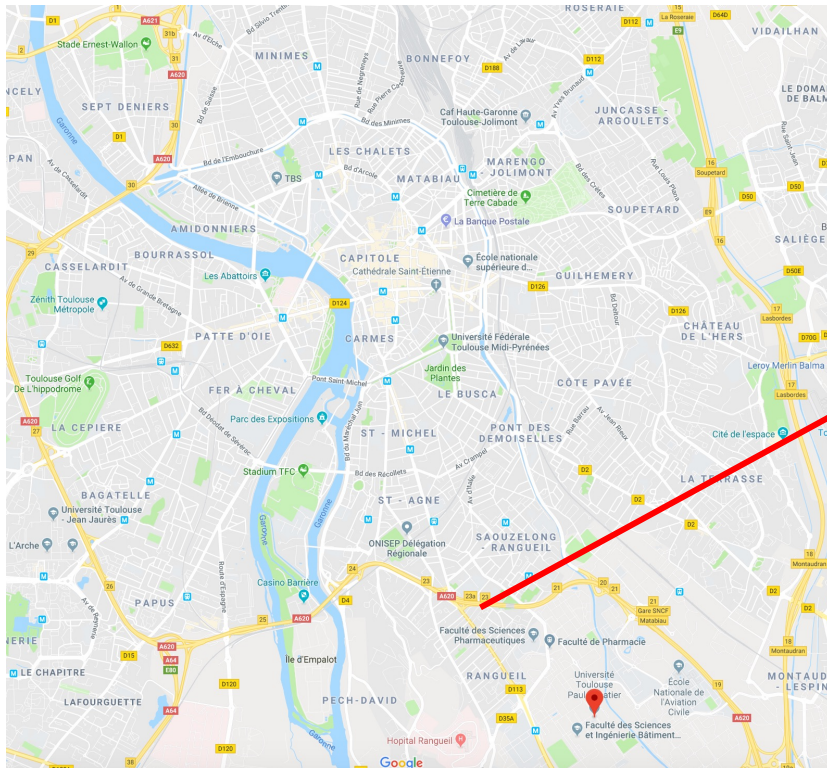
Laboratoire des 2 Infinis – Toulouse

Connecting the Dots, October 2023



Campus of *Paul Sabatier University*

L2IT

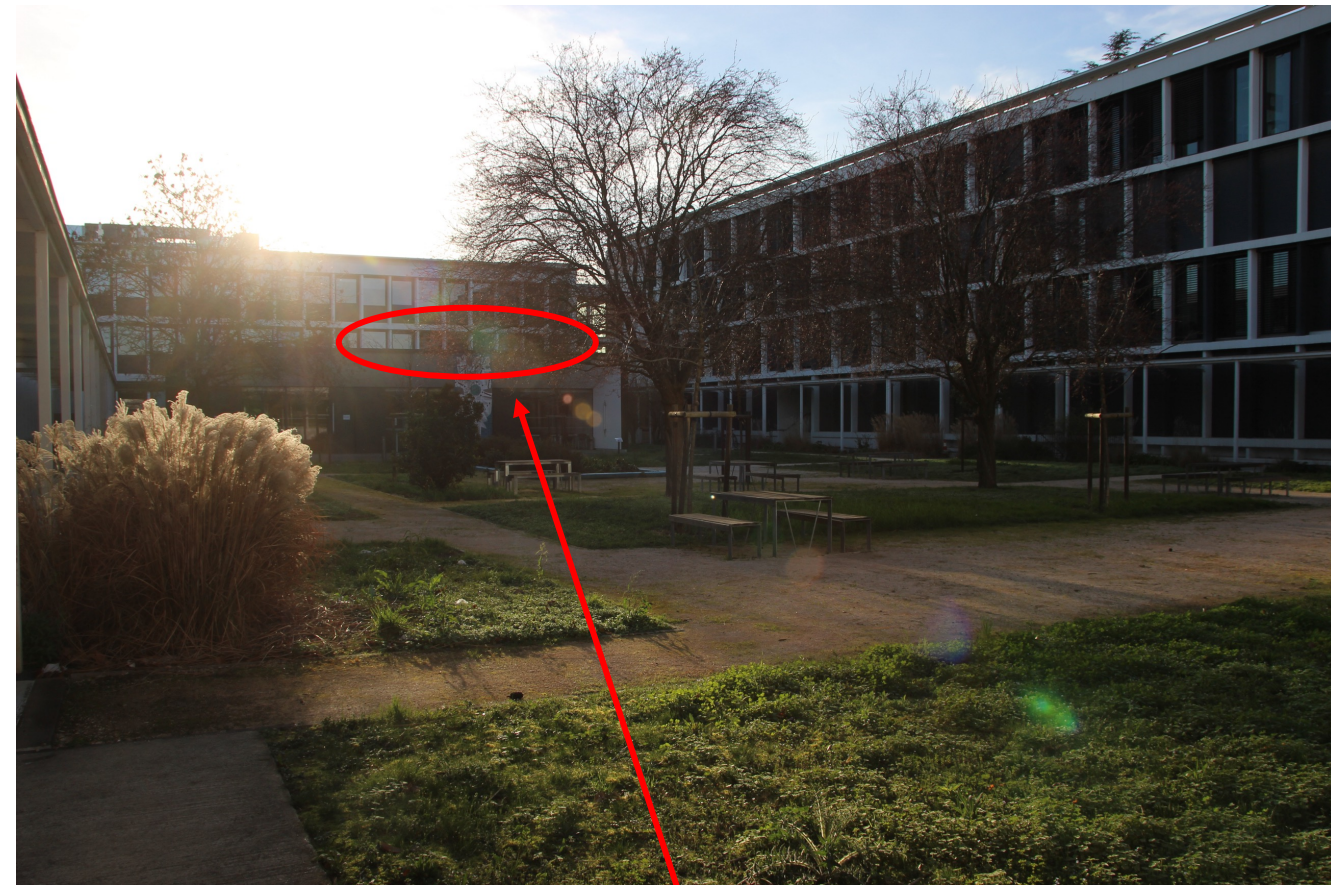


L2IT in 2020



The Lab was created by Paul Sabatier University and IN2P3 / CNRS in January 2020 with initially 4 members.

... and now



L2IT

As of today: 27 members



Research topics

Development of new methods
for simulation and data analysis

What is the shape of the
Higgs potential ?

- its origin
- its role during the first instants
of the Universe

(electroweak baryogenesis ?,
emission of gravitational waves ?)

How do gravitational waves
propagate in the Universe ?

- information on the nature of
dark energy ?
- modified gravitation ?

How does nuclear matter
behave under extreme conditions
(density, pressure) ?

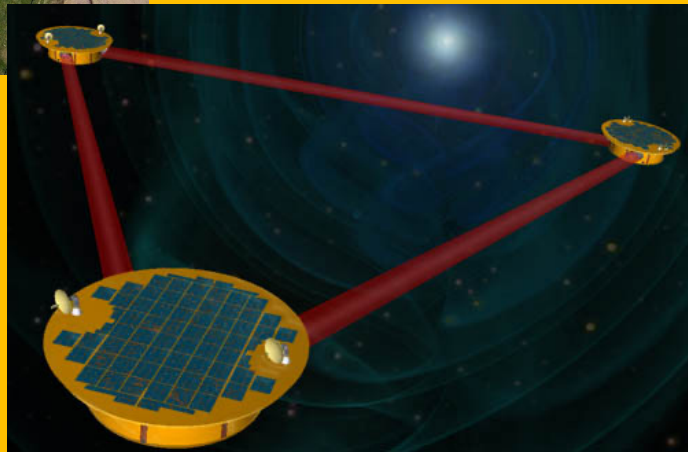
- compact stars
- impact on the emission of
gravitational waves and
neutrinos

Research topics

Gravitational waves



Virgo detector



Future LISA mission (3 satellites)

new methods
and data analysis

How do gravitational waves propagate in the Universe ?
→ information on the nature of dark energy ?
modified gravitation ?

er
the conditions
e) ?
ars
the emission of
al waves and

Research topics

Development of new methods
for simulation and data analysis

What is the shape of the
Higgs potential ?

- its origin
- its role during the first instants
of the Universe

(electroweak baryogenesis ?,
emission of gravitational waves ?)

How do gravitational waves
propagate in the Universe ?

- information on the nature of
dark energy ?
- modified gravitation ?

How does nuclear matter
behave under extreme conditions
(density, pressure) ?

- compact stars
- impact on the emission of
gravitational waves and
neutrinos

Research topics

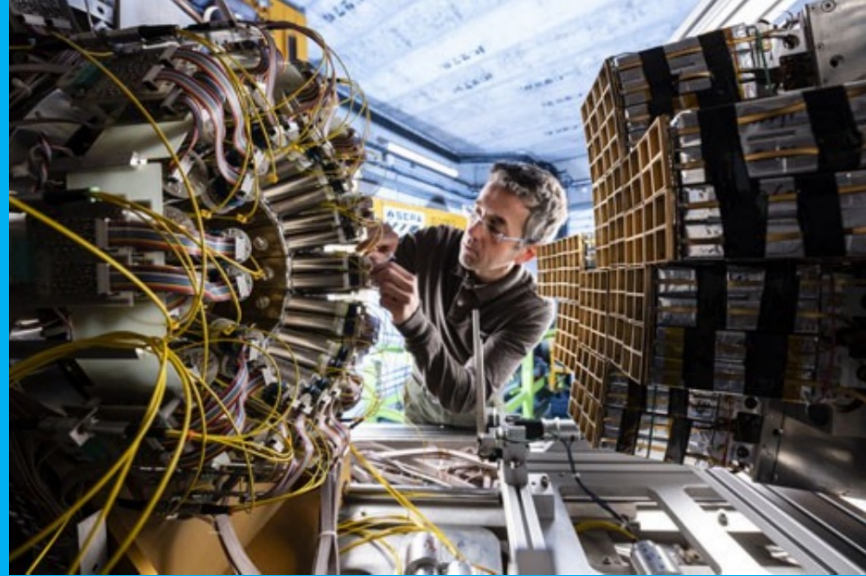
What is the shape of the Higgs potential ?

→ its origin

→ its role during the first instants of the Universe

(electroweak baryogenesis ?, emission of gravitational waves ?)

Nuclear physics



INDRA-FAZIA experiment at *Grand Accélérateur National d'Ions Lourds* (GANIL, Caen)

→ compact

→ impact of the emission of gravitational waves and neutrinos

Research topics

Development of new methods
for simulation and data analysis

What is the shape of the
Higgs potential ?

- its origin
- its role during the first instants
of the Universe

(electroweak baryogenesis ?,
emission of gravitational waves ?)

How do gravitational waves
propagate in the Universe ?

- information on the nature of
dark energy ?
- modified gravitation ?

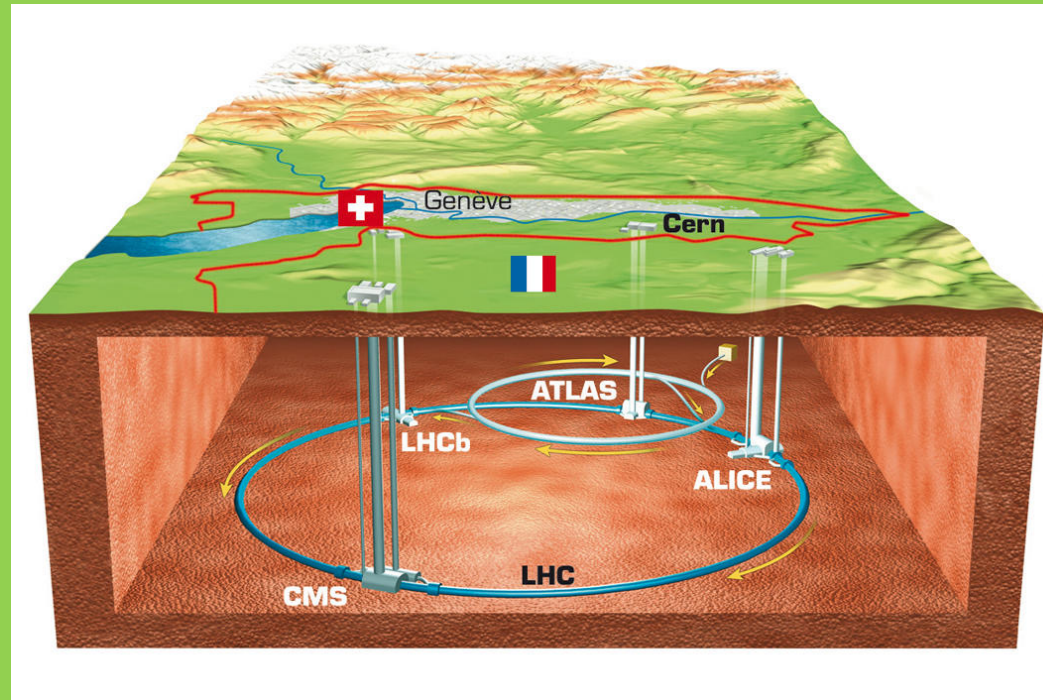
How does nuclear matter
behave under extreme conditions
(density, pressure) ?

- compact stars
- impact on the emission of
gravitational waves and
neutrinos

Research topics

What is the shape of the Higgs potential ?
→ its origin
→ its role in the first
of the Un
(electroweak baryogenesis)
emission of gravitational

Physique des particules



ATLAS experiment at CERN

gravitational waves and neutrinos

Research topics

Development of new methods
for simulation and data analysis

What is the shape of the
Higgs potential ?

- its origin
- its role during the first instants
of the Universe

(electroweak baryogenesis ?,
emission of gravitational waves ?)

How do gravitational waves
propagate in the Universe ?

- information on the nature of
dark energy ?
- modified gravitation ?

How does nuclear matter
behave under extreme conditions
(density, pressure) ?

- compact stars
- impact on the emission of
gravitational waves and
neutrinos

Research topics

Defining feature:

Focus on novel analysis methods

Modelling, simulation and modern analysis techniques are the main focus of L2IT.

We are developing these innovative aspects of research in the fields of nuclear and particle physics and cosmology, in close collaboration with experts from Toulouse's ecosystem of research in computing, artificial intelligence, physics, astronomy and astrophysics.

→ impact on the emission of
gravitational waves and
neutrinos



8th International CTD workshop Université Paul Sabatier, Toulouse, France

<https://indico.cern.ch/e/CTD2023>
ctd2023-loc@l2it.in2p3.fr

satellite event on Real time Tracking:
triggering events with tracks (October 13th)

Local Organizing Committee

Catherine Biscarat (L2IT)
Sylvain Caillou (L2IT)
Jocelyne Gauthier (L2IT)
Jan Stark (L2IT)
Jeanette Thibaut (L2IT)
Alexis Vallier (L2IT) - chair

International Advisory Committee

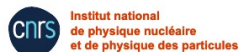
Alberto Annovi (INFN Pisa)
Paolo Calafiura (LBNL)
Giuseppe Cerati (FNAL)
Michel De Cian (EPFL)
Matthias Danninger (SFU)
Markus Elsing (CERN)

Frank Gaede (DESY)
Jose E. Garcia (IFIC Valencia)
Maurice Garcia-Sciveres (LBNL)
Vladimir Gilgorov (LPNHE)
Heather Gray (UC Berkeley/LBNL)
Phil Harris (MIT)

David Lange (Princeton)
Salvador Marti (IFIC Valencia)
Fabrizio Palla (INFN Pisa)
David Rousseau (IJCLab)
Andi Salzburger (CERN)
Louise Skinnari (Northeastern U.)



Background picture unmodified © Grem35/Wikipedia Commons/CC-BY-SA-3.0/GFDL





Additional material

Toulouse – a city of research



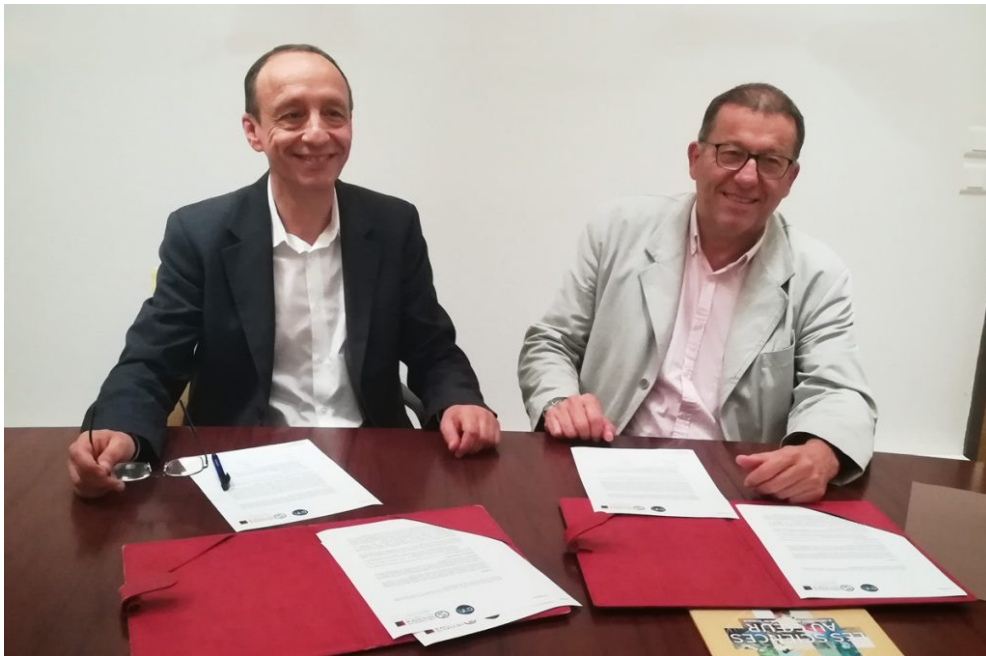
Second city in France in terms of the number of CNRS employees (after Paris)



(impossible to list all Labs)



Projet de création du L2IT



Coup d'envoi pour la création d'une UMR CNRS-Université Toulouse III Paul Sabatier

12 juillet 2019 par Super Administrateur



Reynald Pain, directeur de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS, et Alexis Valentin, vice-président recherche de l'Université Toulouse III-Paul Sabatier (UPS), ont signé le 12 juillet 2019 une lettre d'intention dans l'objectif de créer sur le site de l'université toulousaine une unité mixte de recherche (UMR) centrée sur les thématiques scientifiques de l'IN2P3.

Création du L2IT sous forme d'une FRE : 1^{er} septembre 2019

Moyens informatiques

Il n'y a pas de service informatique ni d'équipement lourd (juste PC portables et un routeur) au L2IT.

Ceci est possible grâce aux nombreux services et infrastructures que nous fournit le Centre de Calcul de l'IN2P3 :

- calcul et stockage lourd
- ferme GPU et plateforme expérimentale
- services collaboratifs (messagerie, « box », ...)
- routeur piloté par les experts au CC-IN2P3
- ...

Vu dans l'une de nos publications clé :

Acknowledgements

We thank our colleagues at the IN2P3 computing centre (CC-IN2P3) in Lyon (Villeurbanne) for the smooth operation of their GPU production platform, and for the successful deployment of a new experimental platform dedicated to machine learning developments that require large amounts of memory. Without these resources, the present studies would not have been possible. We thank Gérald Foliot (TGIR Huma-Num) for his contributions to the deployment of the new platform.


Installation physique du routeur par un membre du L2IT pendant le confinement, (avec Jérôme sur FaceTime, heureusement).



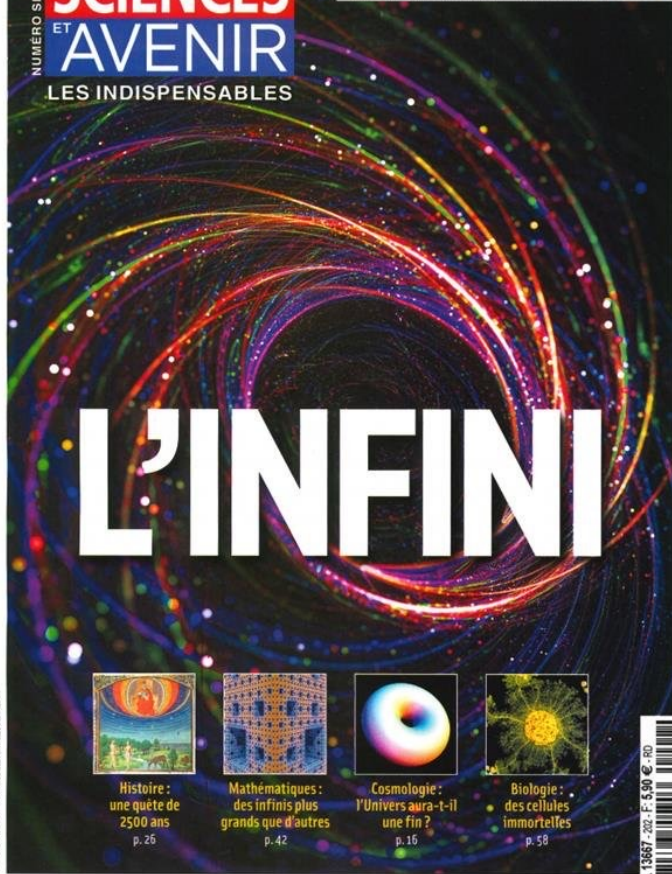
Axes stratégiques du laboratoire

NUMÉRO SPÉCIAL
SCIENCES ET AVENIR
LES INDISPENSABLES

TRINH XUAN THUAN, astrophysicien
« Mes nuits au Mont-Palomar m'ont fait basculer dans l'infiniment grand » p. 6



L'INFINI



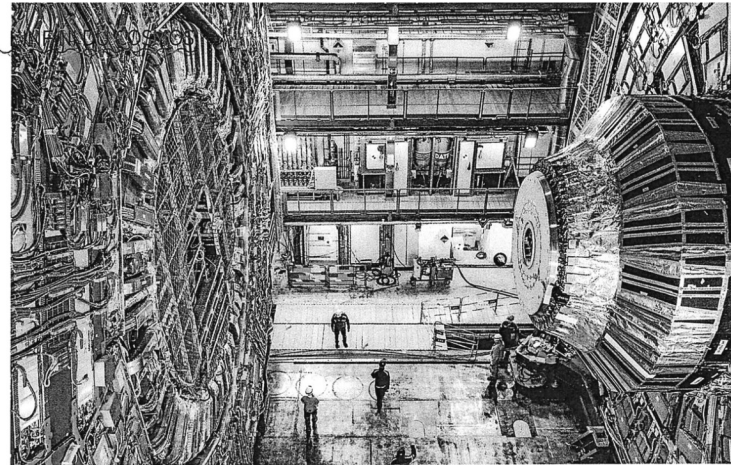
Histoire :
une quête de 2500 ans
p. 26

Mathématiques :
des infinis plus grands que d'autres
p. 42

Cosmologie :
L'Univers aura-t-il une fin ?
p. 16

Biologie :
des cellules immortelles
p. 58

L 13667 - 2021 - F. 5,90 € - RD



En physique des particules comme en cosmologie, les chercheurs doivent traiter des masses de données colossales. Une solution : l'apprentissage profond.

L'intelligence artificielle à la conquête des deux infinis

Né à Toulouse il y a un an à peine, le Laboratoire des deux infinis (L2IT) a des ambitions... sans mesure : étudier de façon « intelligente » à la fois l'infiniment petit, celui de la physique des particules, et l'infiniment grand, celui de la cosmologie ! Aujourd'hui, les gigantesques expériences mises en œuvre dans les deux domaines génèrent en effet des masses de données considérables. D'où la démarche de ce nouveau labo : faire appel à l'intelligence artificielle (IA). En particulier à l'apprentissage profond (*deep learning*), basé sur des réseaux de neurones artificiels (réseaux d'équations mathématiques qui imitent certaines propriétés des neurones humains). Cette tech-

nique permet par exemple à des algorithmes de reconnaître et de classer des images avec une fiabilité de 95 % (*lire S. et A. hors-série n° 199, octobre 2019*). Une aubaine pour les physiciens des particules. En 2012, au LHC, l'accélérateur de particules géant du Cern situé sous la frontière franco-suisse, ceux-ci ont découvert le boson de Higgs. C'est la particule qui manquait au « modèle standard », un édifice construit au long du xx^e siècle pour décrire l'infiniment petit, et qui comprend douze particules de matière (des quarks et des leptons) et trois forces (interactions forte et faible et électromagnétisme). « Depuis lors, nous cherchons à étudier les propriétés du boson de Higgs, notamment

D'ici 2027, le nombre de collisions entre particules initiées dans l'accélérateur du Cern pour étudier le boson de Higgs sera multiplié par cinq, faisant exploser le nombre de données à traiter.

certaines interactions très rares avec d'autres particules, explique Jan Stark, directeur du L2IT. Pour en provoquer quelques-unes, le taux de collisions entre particules dans l'accélérateur du Cern sera multiplié par cinq d'ici 2027. » Ces événements sont par exemple le « couplage » (interaction) du boson de Higgs avec une autre particule, ou encore sa désintégration, encore jamais observée, en une paire de muons (particules chargées négativement comme l'électron mais beaucoup plus lourdes). Enfin, les chercheurs souhaitent obtenir la preuve d'un phénomène très particulier, le « couplage trini-neaire » : un boson de Higgs donnant naissance à... deux bosons de Higgs. « Il est prédit par le modèle standard, avec des caractéristiques bien précises. La moindre déviation dans les mesures par rapport à cette prédiction serait une remise en cause majeure du modèle », explique Jan Stark. Au LHC, on enregistre déjà des milliards de collisions entre protons. Les particules générées, très fugaces, se désintègrent en d'autres particules qui traversent les détecteurs, chacune laissant une série de

signaux ponctuels. Il s'agit alors de reconstituer les trajectoires pour remonter aux particules générées. « Les temps de calcul sont déjà énormes : près d'un million de cœurs de processeurs sont mobilisés pour traiter les données du Cern », souligne Jan Stark. Comment faire face à l'augmentation prévue du nombre de collisions ? « Une piste prometteuse est d'utiliser les réseaux de neurones graphiques [ou GNN], qui prennent en compte des relations de causalité. Google en utilise pour savoir qui parle à qui sur les réseaux sociaux. Nous les adaptons pour relier entre eux les signaux ponctuels », explique le physicien.

Des ondes produites aux tout premiers instants de l'Univers

L'apprentissage automatique peut aussi être une aide précieuse pour ceux qui scrutent l'infiniment grand. Le 14 septembre 2015, l'expérience Ligo capte une déviation infime dans les faisceaux laser de deux interféromètres situés à plus de 3 000 kilomètres de distance aux États-Unis. C'est la preuve directe tant attendue de l'existence des ondes gravitationnelles, qui font osciller l'espace-temps comme des vaguelettes à la surface de l'eau. Aujourd'hui, près de 40 événements ont été détectés par les observatoires Ligo et Virgo, son équivalent en Europe. Tous sont attribués à des fusions de deux types d'astres : les étoiles à neutrons et les trous noirs. Mais les chercheurs veulent aller plus loin : trouver les ondes gravitationnelles émises par les pulsars (des étoiles

L'Univers lointain en petits cubes

Les premières étoiles se sont formées 300 millions d'années après le Big Bang. Mille fois plus grosses que le Soleil, elles rayonnent alors fortement et ionisent le gaz environnant, formant autour d'elles de gigantesques bulles. C'est la « réionisation », qui se déroule durant le premier milliard d'années de l'Univers. Cette époque n'a encore jamais été observée. « Nous avons construit un modèle numérique qui simule la réionisation, ce qui permet de déterminer les conditions physiques du gaz à la fin du processus. Ce gaz a produit la deuxième génération de galaxies, et nous sommes capables, elles, de le observer. Nous pouvons ainsi améliorer le modèle », explique Jonathan Chardin, de l'Observatoire astronomique de Strasbourg. Pour cette simulation, les chercheurs représentent l'Univers sous forme d'un cube de 100 mégaparsecs (1 parsec = 3,26 années-lumière) de côté, lui-même formé d'un milliard

de petits cubes. Dans chacun d'entre eux, les chercheurs « introduisent » de la matière noire (la matière invisible qui constituerait 27 % de l'Univers), du gaz, et reproduisent les effets de la gravité. Les étoiles se forment, et le rayonnement qu'elles émettent ionise le gaz environnant. « Simuler 700 millions d'années d'évolution, c'est énorme. Nous devons utiliser les plus grands supercalculateurs au monde », souligne Jonathan Chardin. L'étape du transfert du rayonnement est très gourmande en temps de calcul. C'est pourquoi les chercheurs ont créé Cradle (Cosmological Reionisation and Deep Learning), un réseau de neurones qui a permis de diviser par 100 sa durée. Objectif suivant : simuler l'intégralité de la réionisation. Et ce, avant que la future génération d'instruments dans l'espace (le télescope James Webb) et au sol (les radiotélescopes Lofar et SKA) ne livrent les premières observations de ces époques reculées.

en rotation rapide), les supernovae, et celles du « fond stochastique », un mélange d'ondes gravitationnelles de diverses origines célestes qui doit baigner l'Univers en permanence. Dans ce fond pourraient même se cacher des ondes gravitationnelles des tout premiers instants de l'Univers. Leur découverte aurait un impact considérable, car la prime enfance du Cosmos nous est aujourd'hui inaccessible.

« Détecter une onde gravitationnelle, c'est reconnaître un signal dans un bruit important, résume Damir Buskullic, du Laboratoire d'Annecy de physique des particules (LAPP), membre de la collaboration Virgo. Il faut d'abord éliminer les perturbations extérieures capables d'influencer les faisceaux laser des interféromètres, comme des objets passant à proximité ou l'activité sismique terrestre. Ensuite, il faut détecter dans les données les « sursauts », des perturbations du système qui

Le programme Gravity Spy : <https://www.zooniverse.org/projects/zooniverse/gravity-spy/about/research>



« Nous allons réaliser des modèles des ondes gravitationnelles attendues pour les pulsars, les supernovæ... et entraîner les algorithmes avec »
Damir Buskullic, membre de la collaboration Virgo

n'ont rien à voir avec des ondes gravitationnelles. » Identifier et classer ces sursauts se révèle difficile et gourmand en temps de calcul avec les méthodes informatiques classiques. « Une solution est l'apprentissage machine par deep learning », souligne Damir Buskullic. Mais les réseaux de neurones doivent être entraînés, grâce aux données recueillies, mais aussi via un programme de Science participative lancé par la collaboration Ligo : Gravity Spy, qui invite les internautes à classer les sursauts en fonction de leur morphologie. Il s'agit ensuite de repérer les signaux des ondes gravitationnelles. « Nous allons réaliser des modèles des ondes attendues pour les pulsars, les supernovæ... et entraîner les algorithmes avec », poursuit Damir Buskullic. Ligo et Virgo n'ont pas encore la sensibilité nécessaire pour accéder au fond stochastique. Ce sera, au mieux, pour leurs prochains cycles d'observation, ou pour des instruments encore à l'étude : le Einstein Telescope et la mission Lisa, qui partira observer les ondes gravitationnelles dans l'espace après... 2035. ■ JEAN-FRANÇOIS HAÏT

Toulouse – a student city



960 thousand inhabitants (fourth-largest city in France), including 117 thousand students

l'Étudiant

Rang 2019	Évol. /2018	Ville <i>Cochez jusqu'à 3 villes et comparez les. Pour en savoir plus sur une ville, cliquez dessus.</i>	Critères					Total
			1	2	3	4	5	
1	=	<input type="checkbox"/> Toulouse	23	23	23	20	27	116
2	↓	<input type="checkbox"/> Lyon	23	24	25	15	27	114
3	=	<input type="checkbox"/> Montpellier	23	23	22	25	20	113
4	=	<input type="checkbox"/> Rennes	23	26	21	15	25	110
5	=	<input type="checkbox"/> Grenoble	22	20	21	23	21	107
5	↑	<input type="checkbox"/> Nantes	22	22	20	16	27	107