

Bienvenue à Toulouse et au L2IT

Jan Stark

Laboratoire des 2 Infinis – Toulouse

Sixième Assemblée Générale du GdR Ondes Gravitationnelles,
10 – 12 octobre 2022, Toulouse



Toulouse – ville étudiante



960 mille habitants (quatrième ville de France),
dont 117 mille étudiants

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

Toulouse – ville de recherche



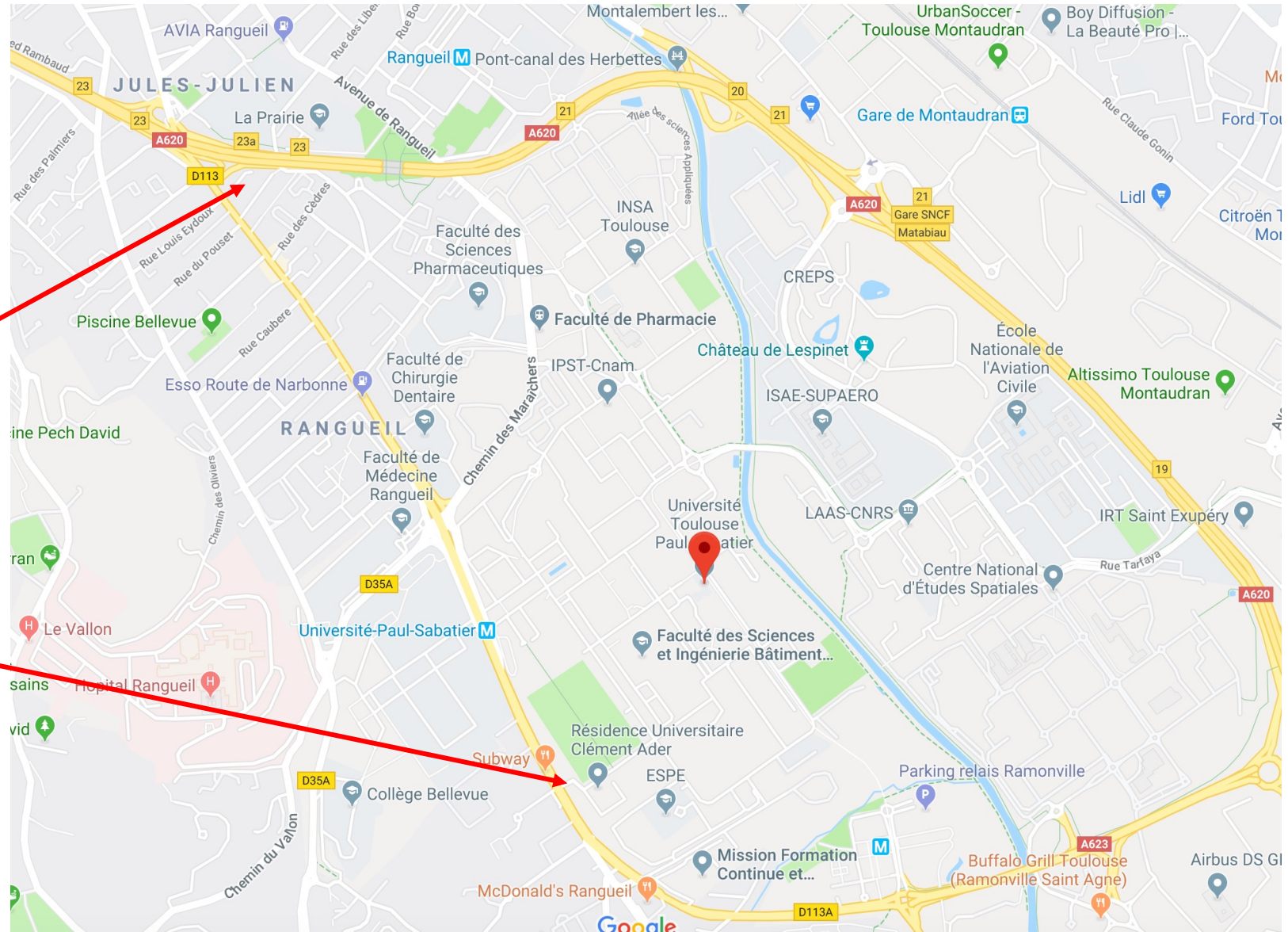
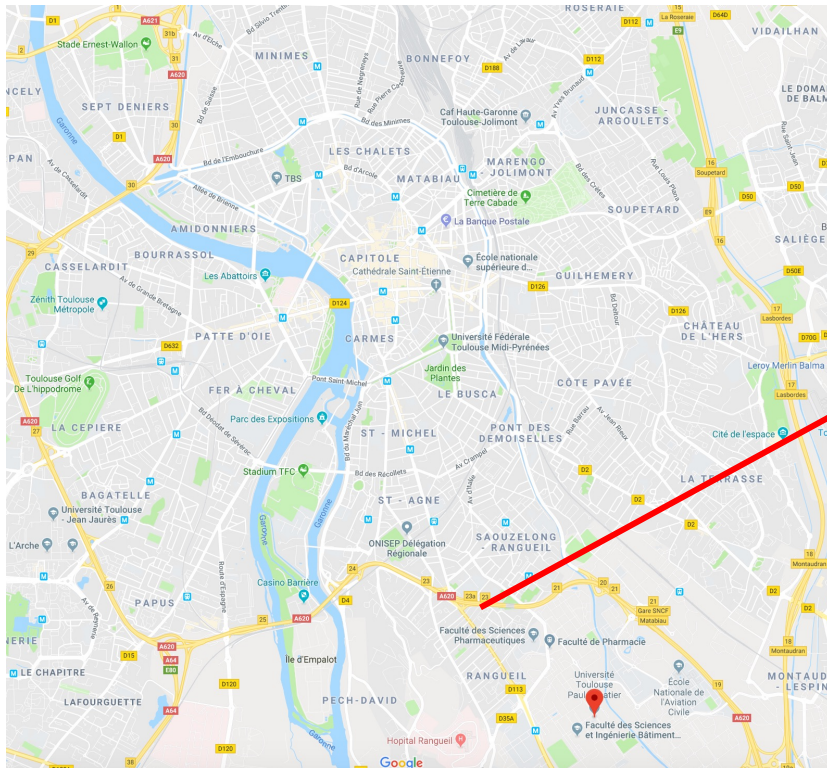
Deuxième ville de France en termes de présence d'agents du CNRS (après Paris).



(impossible de lister tous les labos)



Toulouse – ville de recherche



Le L2IT en septembre 2019

Ingénieure
en optique



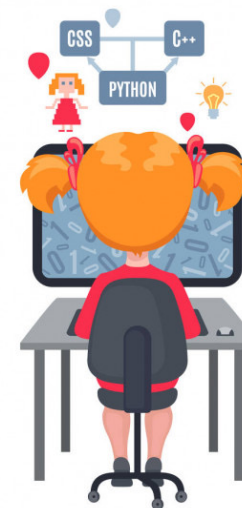
Chercheur



Ingénieur
du spatial



Ingénieure
en calcul scientifique



Axes stratégiques du laboratoire

Développement de méthodes
de simulation et
d'analyse de données
innovantes

Quelle est la forme
du potentiel de Higgs ?

- son origine
- son rôle dans les premiers instants de l'Univers

(baryogénèse électrofaible,
émission d'ondes gravitationnelles ?)

Comment les ondes gravitationnelles
se propagent-elles dans l'Univers ?

- indications sur la nature de l'énergie sombre ?
- gravitation modifiée ?

Comment se comporte la matière
nucléaire sous des conditions
extrêmes de densité et température ?

- étoiles compactes
- impact sur l'émission d'ondes gravitationnelles

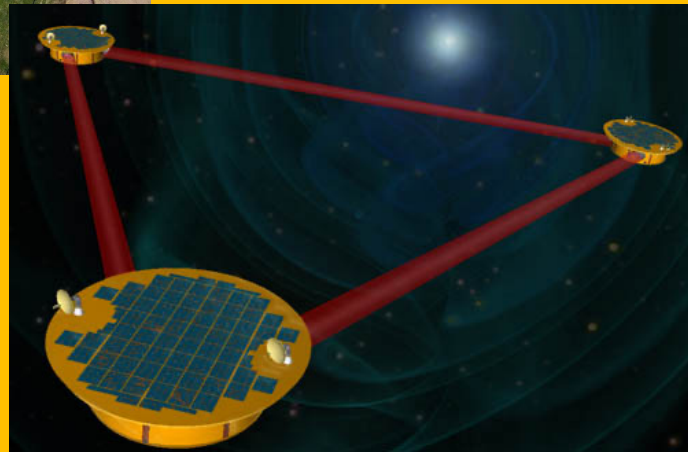
Axes stratégiques du laboratoire

Ondes gravitationnelles



Expérience Virgo
(Pise)

Future
mission LISA
(3 satellites)



...t de méthodes
...ation et
...e données
...antes

Comment les ondes gravitationnelles
se propagent-elles dans l'Univers ?
→ indications sur la
... de l'énergie sombre ?
...vitation modifiée ?

... la matière
...nditions
...e et température ?
...ctes
...nission
...ationnelles

Axes stratégiques du laboratoire

Quelle est la forme
du potentiel de Higgs ?

→ son origine

→ son rôle dans les premiers
instants de l'Univers

(baryogénèse électrofaible,
émission d'ondes gravitationnelles ?)

Physique nucléaire



Expérience INDRA-FAZIA au Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL, Caen)

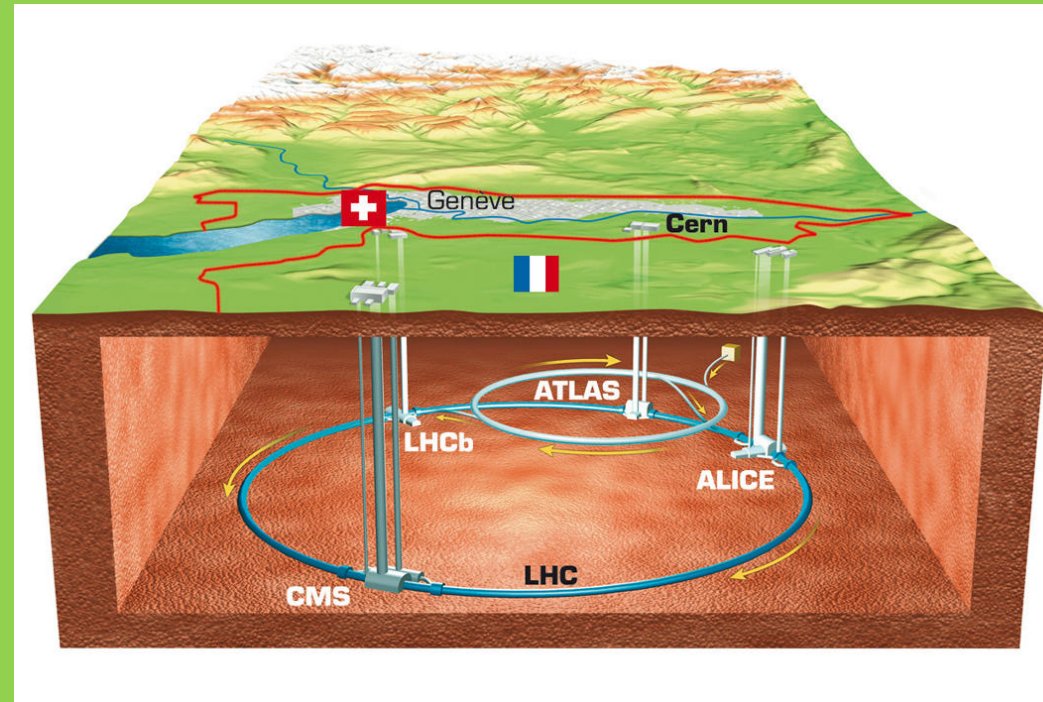
C
nu
extrêmes de température ?

→ étoiles compactes

→ impact sur l'émission
d'ondes gravitationnelles

Axes stratégiques du laboratoire

Physique des particules



Quelle est la forme
du potentiel de Higgs ?
→ son origine
→ son rôle
→ instants
(baryogénèse électro
émission d'ondes gravit

Collisionneur LHC au CERN (Genève)

→ impact sur l'émission
d'ondes gravitationnelles

Axes stratégiques du laboratoire

Développement de méthodes

Notre spécificité :

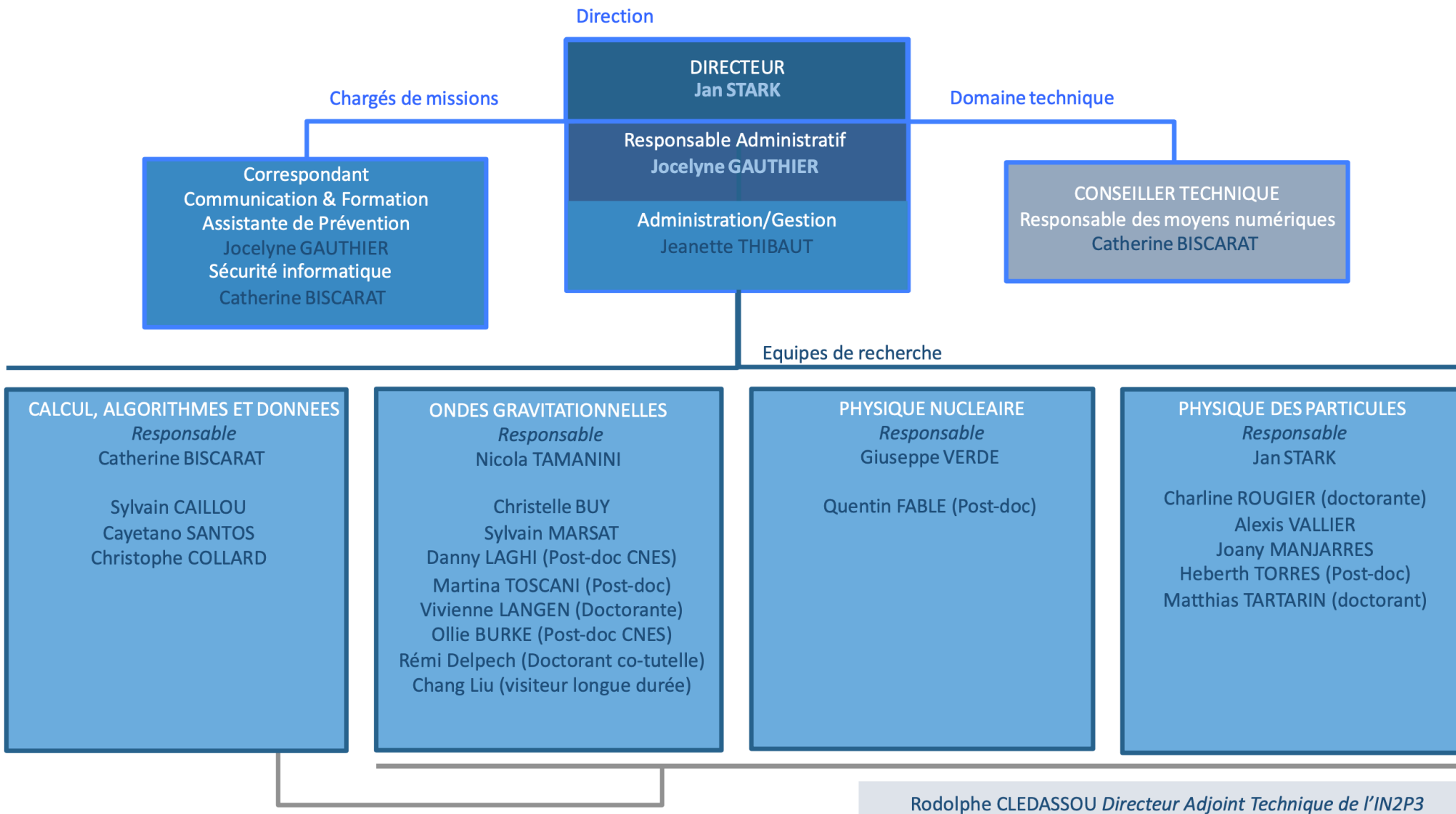
l'accent sur les méthodes d'analyse innovantes

Les aspects théoriques et numériques – modélisation, simulation, analyse des données – sont l'activité clé du L2IT.

Nous développons ces aspects innovants dans notre domaine en étroite collaboration avec les experts dans les établissements de pointe dans les domaines du numérique, de l'intelligence artificielle et de physique et des sciences de l'univers implantés à Toulouse.

→ impact sur l'émission
d'ondes gravitationnelles

Organigramme 1^{er} octobre 2022



Nos locaux définitifs



L2IT

Depuis janvier 2021

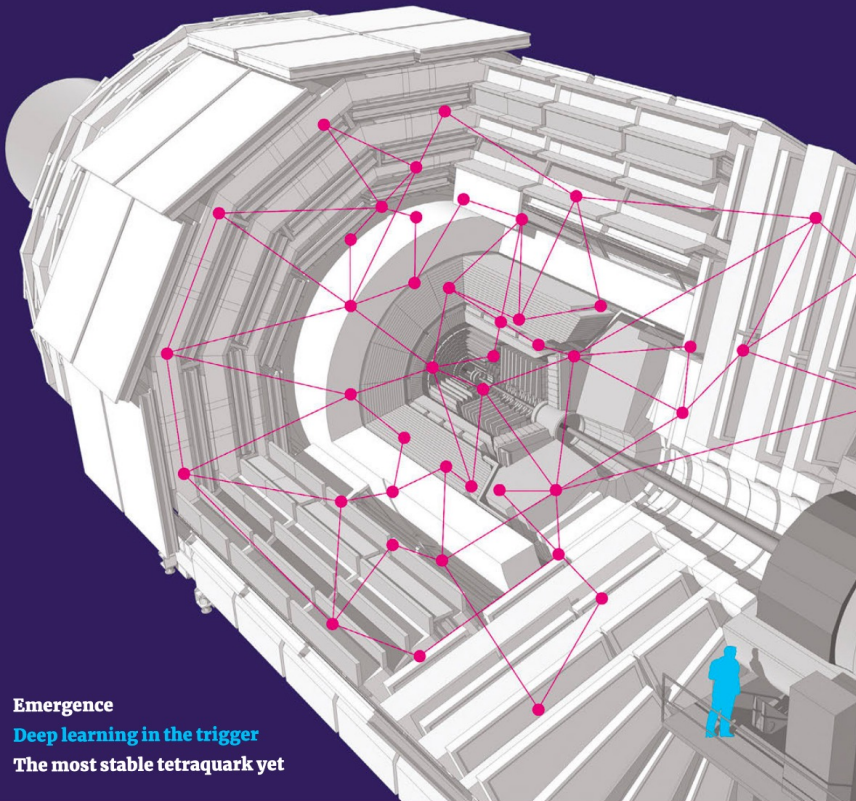


Nos premiers résultats : été 2021

CERN COURIER

September/October 2021 cerncourier.com Reporting on international high-energy physics

ARTIFICIAL INTELLIGENCE



Emergence
Deep learning in the trigger
The most stable tetraquark yet

CERN COURIER.COM

FIELD NOTES

Reports from events, conferences and meetings

COMPUTING IN HIGH-ENERGY PHYSICS

AI and GPUs take centre stage at vCHEP

The 25th International Conference on Computing in High-Energy and Nuclear Physics (CHEP) gathered more than 1000 participants online from 17 to 21 May. Dubbed "vCHEP", the event took place virtually after this year's in-person event in Norfolk, Virginia, had to be cancelled due to the COVID-19 pandemic. Participants tuned in across 20 time zones, from Brisbane to Honolulu, to live talks, recorded sessions, excellent discussions on chat apps (to replace the traditional coffee-break interactions) and special sessions that linked job seekers with recruiters.

Given vCHEP's virtual nature this year, there was a different focus on the content. Plenary speakers are usually invited, but this time the organisers invited papers of up to 10 pages to be submitted, and chose a plenary programme from the most interesting and innovative. Just 30 had to be selected from more than 200 submissions – twice as many as expected – but the outcome was a diverse programme tackling the huge issues of data rate and event complexity in future experiments in nuclear and high-energy physics (HEP).

Artificial intelligence

So what were the hot topics at vCHEP? One outstanding one was artificial intelligence and machine learning. There were more papers submitted on this theme than any other, showing that the field is continuing to innovate in this domain.

Interest in using graph neural networks for the problem of charged-particle tracking was very high, with three plenary talks. Using a graph to represent the hits in a tracker as nodes and possible connections between hits as edges is a very natural way to represent the data that we get from experiments. The network can be effectively trained to pick out the edges representing the true tracks and reject those that are just spurious connections. The time needed to get to a good solution has improved dramatically in just a few years, and the scaling of the solution to dense environments, such as at the High-Luminosity LHC (HL-LHC), is very promising for this relatively new technique.



On the simulation side, work was presented showcasing new neural-network architectures that use a "bounded information bottleneck autoencoder" to improve training stability, providing a solution that replicates important features such as how real minimum-ionising particles interact with calorimeters. ATLAS also showed off their new fast-simulation framework, which combines traditional parametric simulation with generative adversarial networks, to provide better agreement with Geant4 than ever before.

Machine learning is very well suited to new computing architectures, such as graphics processing units (GPUs), but many other experimental-physics codes are also being rewritten to take advantage of these new architectures. IceCube are simulating photon transport in the Antarctic ice on GPUs, and presented detailed work on their performance analysis that led to recent significant speed-ups. Meanwhile, LHCb will introduce GPUs to their trigger farm for Run 3, and showed how much this will improve the energy consumption per event of the high-level trigger. This will help to meet the physical constraints of power and cooling close to the detector, and is a first step towards bringing HEP's overall computing energy consumption to the table as an important parameter.

Encouraging work on porting event generation to GPUs was also presented – particularly appropriately, given the spiralling costs of higher order generators for HL-LHC physics. Looking at the long-term future of these new code bases, there were investigations of port-

vCHEP 2021
More than 1000 participants took part across 20 time zones, from Brisbane to Honolulu.

ing calorimeter simulation and liquid-nitrogen time-projection chamber software to different toolkits for heterogeneous programming, a topic that will become even more important as computing centres diversify their offerings.

Keeping up with benchmarking and valuing these heterogeneous resources is an important topic for the Worldwide LHC Computing Grid, and a report from the HEPIX Benchmarking group pointed to the future for evaluating modern CPUs and GPUs for a variety of real-world HEP applications. Staying on the facilities topic, R&D was presented on how to optimise delivering reliable and affordable storage for HEP, based on CephFS and the CERN-developed EOS storage system. This will be critical to providing the massive storage needed in the future. The network between facilities will likely become dynamically configurable in the future, and how best to take advantage of machine learning for traffic prediction is being investigated.

Quantum computing

vCHEP was also the first edition of CHEP with a dedicated parallel session on quantum computing. Meshing very well with CERN's Quantum Initiative, this showed how seriously investigations of how to use this technology in the future are being taken. Interesting results on using quantum support-vector machines to train networks for signal/background classification for B-meson decays were highlighted.

On a meta note, presentations also explored how to adapt outreach events to a virtual setup, to keep up public engagement during lockdown, and how best to use online software training to equip the future generation of physicists with the advanced software skills they will need.

Was vCHEP a success? So far, the feedback is overwhelmingly positive. It was a showcase for the excellent work going on in the field, and 11 of the best papers will be published in a special edition of *Computing and Software for Big Science* – another first for CHEP in 2021.

Graeme Stewart CERN.

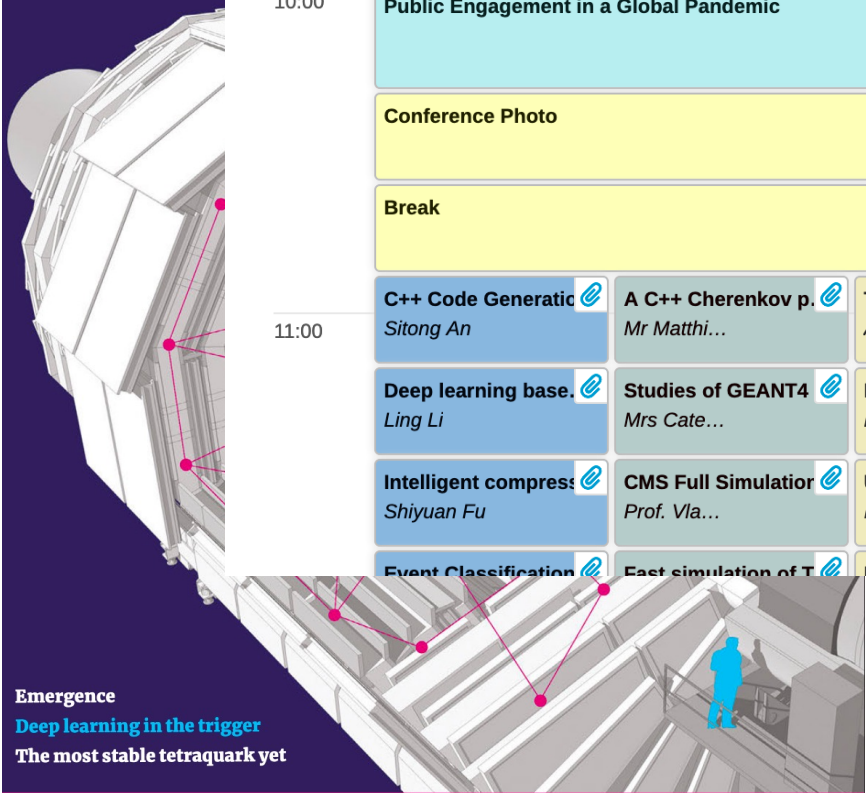
ATLAS showed off their new fast-simulation framework

CERN COURIER SEPTEMBER/OCTOBER 2021

19

Nos premiers résultats : été 2021

09:00	Towards a realistic track reconstruction algorithm based on graph neural networks for the HL-LHC Charline Rougier				
	ALICE Central Trigger System for LHC Run 3 Jakub Kvapil				
10:00	Public Engagement in a Global Pandemic Mr Greg Corbett				
	Conference Photo				
	Break				
11:00	C++ Code Generation Sitong An	A C++ Cherenkov p. Mr Matthi...	The Controls and C. Andrei K...	Daisy: Data analysis Haolai Tian	Evaluation of a hig Adam Ab...
	Deep learning base. Ling Li	Studies of GEANT4 Mrs Cate...	Development of the Patricia ...	Readable and efficie Pieter Da...	Design of a Resilie Matias Al...
	Intelligent compress Shiyuan Fu	CMS Full Simulator Prof. Vla...	Understanding ATL. Ignacio A...	Recent advances in Gokhan ...	Enabling interoper Ishank A...
	Event Classification ...	Fast simulation of T ...	Integration and Con. ...	ALICE Run 3 Analys ...	Porting the EOS, fr ...



Emergence
Deep learning in the trigger
The most stable tetraquark yet

the data that we get from experiments. The network can be effectively trained to pick out the edges representing the true tracks and reject those that are just spurious connections. The time needed to get to a good solution has improved dramatically in just a few years, and the scaling of the solution to dense environments, such as at the High-Luminosity LHC (HL-LHC), is very promising for this relatively new technique.

and cooling close to the detector, and is a first step towards bringing HEP's overall computing energy consumption to the table as an important parameter.

Encouraging work on porting event generation to GPUs was also presented – particularly appropriately given the spiralling costs of higher order generators for HL-LHC physics. Looking at the long-term future of these new code bases, there were investigations of port-

ATLAS showed off their new fast-simulation framework

Was vCHEP a success? So far, the feedback is overwhelmingly positive. It was a showcase for the excellent work going on in the field, and 11 of the best papers will be published in a special edition of *Computing and Software for Big Science* – another first for CHEP in 2021.

Graeme Stewart CERN.

HEP

ation and liquid-chamber software or heterogeneous that will become s computing centers. benchmarking and eneous resources for the Worldwide and a report from ing group pointed ting modern CPUs of real-world HEP on the facilities ed on how to opti- le and affordable d on CephFS and EOS storage sys- ical to providing ed in the future. acilities will likely onfigurable in the take advantage of affic prediction is

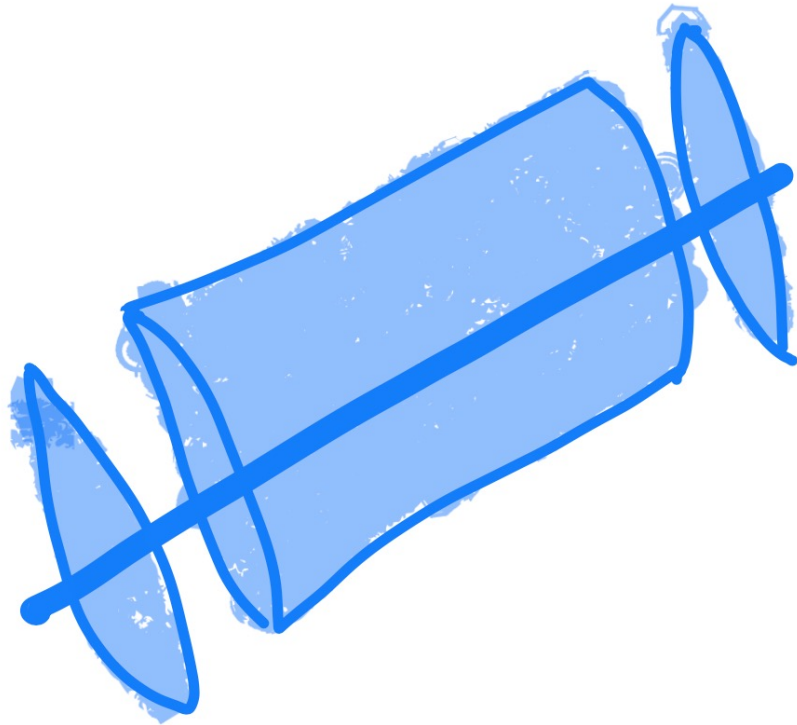
ig first edition of 1 parallel session ig. Meshing very um Initiative, this investigations of logy in the future esting results on i-vector machines gnal/background eson decays were

esentations also outreach events to up public engage i, and how best to using to equip the future generation of physicists with the advanced software skills they will need.

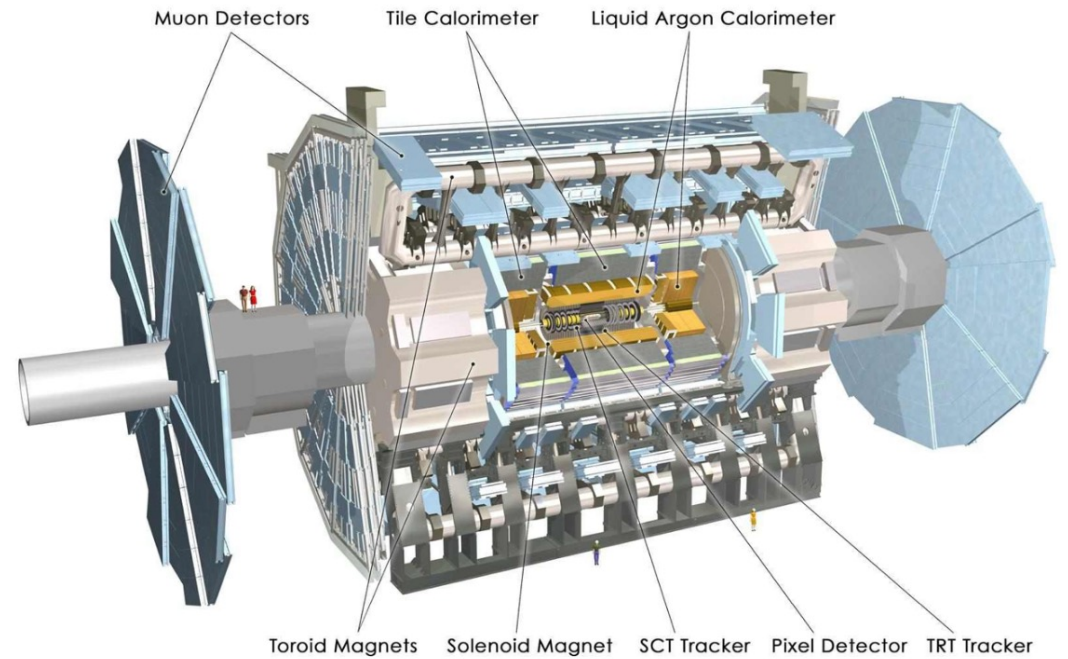
Interest in using graph neural networks for the problem of charged-particle tracking was very high, with three plenary talks. Using a graph to represent the hits in a tracker as nodes and possible connections between hits as edges is a very natural way to represent the data that we get from experiments. The network can be effectively trained to pick out the edges representing the true tracks and reject those that are just spurious connections. The time needed to get to a good solution has improved dramatically in just a few years, and the scaling of the solution to dense environments, such as at the High-Luminosity LHC (HL-LHC), is very promising for this relatively new technique.



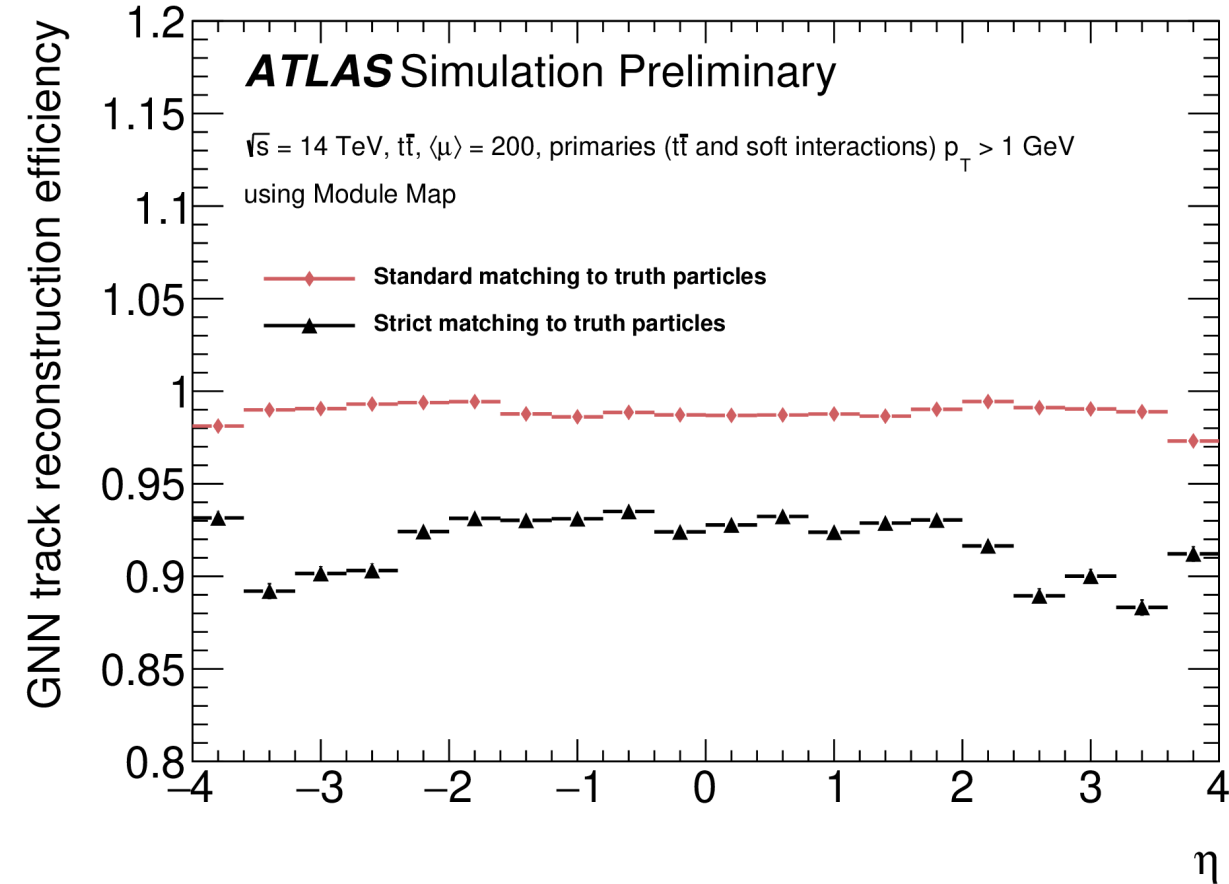
Depuis : plus de réalisme !



≠



Résultats avec le vrai détecteur ATLAS, approuvés par la collaboration ATLAS



16:00	ATLAS ITk Track Reconstruction with a GNN-based Pipeline PCTS conference room (4th floor), Jadwin Hall, Princeton University	Charline Rougier 16:00 - 16:25
	Graph Neural Networks for Pattern Recognition & Fast Track Finding PCTS conference room (4th floor), Jadwin Hall, Princeton University	Nisha Lad 16:30 - 16:55
17:00	Graph Neural Networks for Charged Particle Tracking on FPGAs PCTS conference room (4th floor), Jadwin Hall, Princeton University	Abdelrahman Elabd 17:00 - 17:25
18:00	Software Performance of the ATLAS Track Reconstruction for LHC Run 3 Princeton University	Makayla Vessella 18:00 - 18:03

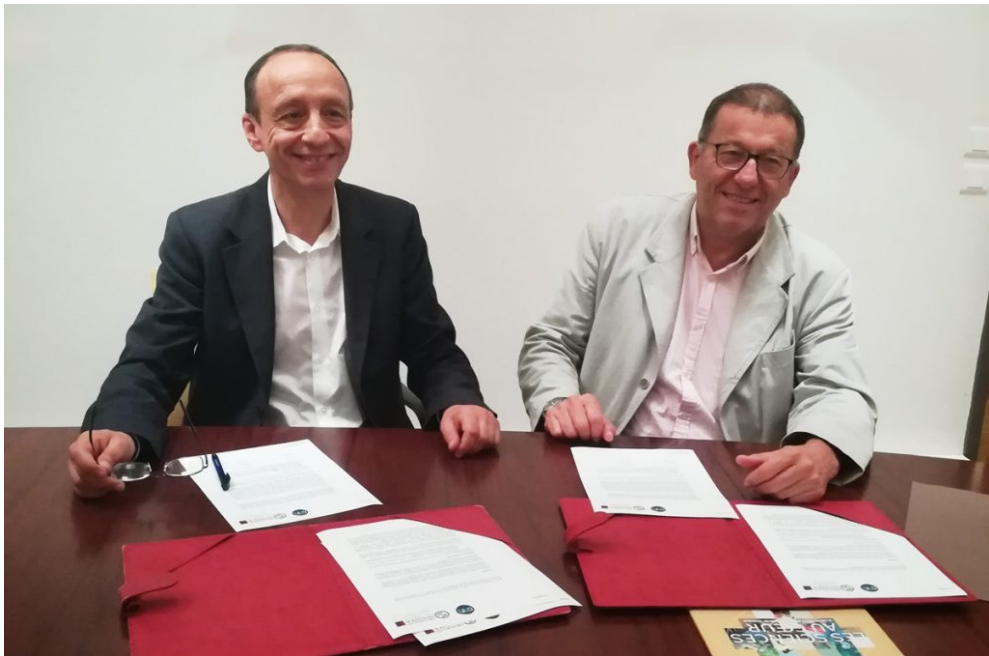
Réserve

		TOULOUSE	GRENOBLE
ATTRACTIVITÉ			
Évolution du nombre d'étudiants	<i>i</i>	10 178	4 81
Évolution brute du nombre d'étudiants sur 10 ans	<i>i</i>	24.977	6.382
Évolution relative (en %) du nombre d'étudiants sur 10 ans	<i>i</i>	27%	12%
Part d'étudiants de 3e cycle	<i>i</i>	7 4,94%	9 6,32%
Part d'étudiants Erasmus	<i>i</i>	6 15,20%	9 22,70%
FORMATION			
Densité de l'offre de formation	<i>i</i>	7 187	7 194
Offre de formation brute dans l'agglomération	<i>i</i>	1.789	989
Offre de formation "prépas et grandes écoles"	<i>i</i>	10 180	7 110
Taux de réussite en licence	<i>i</i>	6 42,20%	6 41,90%
VIE ÉTUDIANTE			
Part d'étudiants	<i>i</i>	6 12,30%	6 11,90%
Offre culturelle	<i>i</i>	7 228	6 194
Musées de plus de 10.000 visiteurs	<i>i</i>	6	7
Salles de spectacles de plus de 5.000 places	<i>i</i>	2	2
Entrées au cinéma	<i>i</i>	5.100.000	2.400.000
Fauteuils de cinéma	<i>i</i>	18.469	12.061
Initiatives locales	<i>i</i>	10 10	9 9

CADRE DE VIE				
Transport	<i>i</i>	10 215	10 226	
Voyages en transport en commun par habitant	<i>i</i>	182,5	191,5	
Prix de l'abonnement étudiant au réseau de transports	<i>i</i>	102 €	150 €	
Taux de réduction étudiant à l'abonnement au réseau de transports	<i>i</i>	80%	74%	
Kilomètres de pistes cyclables	<i>i</i>	62,6	64,8	
Nombre de vélos en libre service	<i>i</i>	4.400	600	
Ensoleillement	<i>i</i>	4 2.031	5 2.065	
Qualité de l'air	<i>i</i>	4	3	
Logement	<i>i</i>	6 154	8 188	
Loyer médian d'un studio	<i>i</i>	450 €	423 €	
Offre de studios	<i>i</i>	27,4	37,5	
Nombre de lits CROUS	<i>i</i>	12,70%	13,80%	
EMPLOI				
Emploi total dans l'agglomération	<i>i</i>	10 684.882	6 363.761	
Dynamisme de l'emploi sur 10 ans	<i>i</i>	10 14,30%	6 4,10%	
Taux de chômage	<i>i</i>	7 8,20%	9 7,00%	

L'AVIS DES LECTEURS				
Dynamisme	<i>i</i>	10 4,6	9 4,4	
Budget	<i>i</i>	8 4	9 4,2	
Qualité de vie	<i>i</i>	10 4,7	9 4,3	
Ambiance	<i>i</i>	10 4,7	9 4,6	
Logement	<i>i</i>	8 3,9	8 4	
Culture	<i>i</i>	9 4,4	9 4,2	
Transport	<i>i</i>	9 4,5	9 4,6	
Santé	<i>i</i>	8 4	8 4,2	
Sport	<i>i</i>	9 4,2	10 4,6	
Taux de recommandation	<i>i</i>	97,80%	93,70%	

Projet de création du L2IT



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

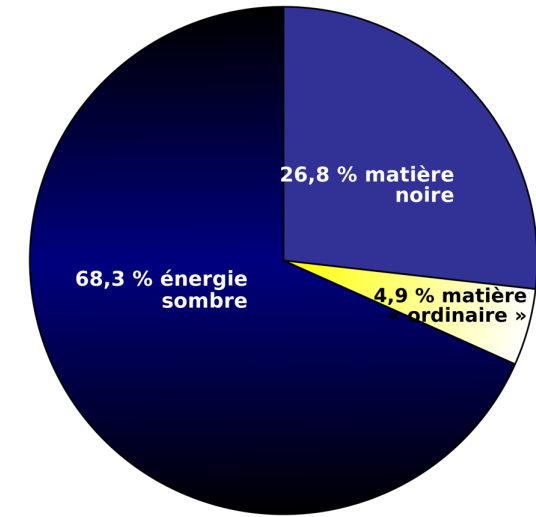
12 juillet 2019 par Super Administrateur



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

Les ondes gravitationnelles comme outil pour sonder l'univers sombre



source d'OG

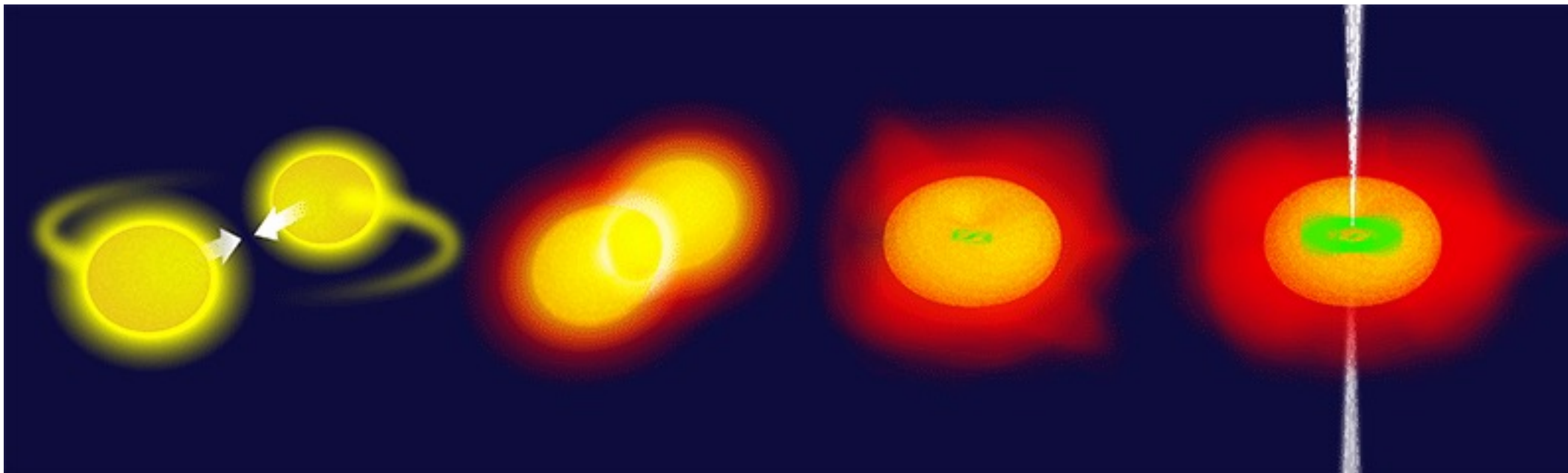
long trajet à travers l'univers (rempli d'énergie sombre)

observateur



Matière nucléaire sous conditions extrêmes

Les dernières étapes de la fusion de deux étoiles à neutrons.



De la gauche vers la droite, deux étoiles à neutrons qui se meuvent en spirale pour finalement ne former qu'une seule masse, émettant de l'énergie sous diverses formes, incluant des ondes gravitationnelles, de la matière et de la lumière.

La plupart des phénomènes de fusion d'étoiles à neutrons donnerait lieu à un trou noir (schématisé en vert). Ils sont aussi associés à une courte émission de rayons gamma (schématisés par les faisceaux blancs collimés).

LIGO et Virgo ont détecté les ondes gravitationnelles d'une telle fusion d'étoiles, corrélées avec une émission de rayons gamma et des signaux électromagnétiques détectés par d'autres télescopes.

Les locaux du L2IT en 2019 et 2020



Les locaux du L2IT en 2019 et 2020



Travaux

Création de nos bureaux,
été 2020



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).



Enseignement, stages,

- **Intégration dans l'enseignement à l'Université**

- Nouvelle option PENTE dans le Master PEnTE intégrée dans le programme pour la nouvelle accréditation
- Programme Nucléaire renforcé accordé avec le tronc commun du M1 et du M2 ; établi avec les responsables du Master et avec les enseignants-chercheurs du LPT et de l'IRAP (très actifs dans ce Master)
- HCERES, dossier d'accréditation publié le 30 septembre 2020, démarrage 2022
- Labélisation I2EN obtenue en mars 2021
- Christophe Collard enseigne dans le master Physique Fondamentale



- **Accueil de stagiaires au L2IT (printemps → été 2022)**

- Elsa Desbarats (L3, UT3) : LISA galactic binaries
- Stéphanie Hoang (M2, Lyon) : LISA data analysis
- Rémi Delpech (M2, UT3) : cosmologie (co-encadrement avec l'IRAP)
- Matthias Tartarin (M2, ENS) : auto-couplage du boson de Higgs
- Lukas Peron (L2, UT3) : physique des particules
- Alexia Muelle Da Cunha (L2, UT3) : physique des particules

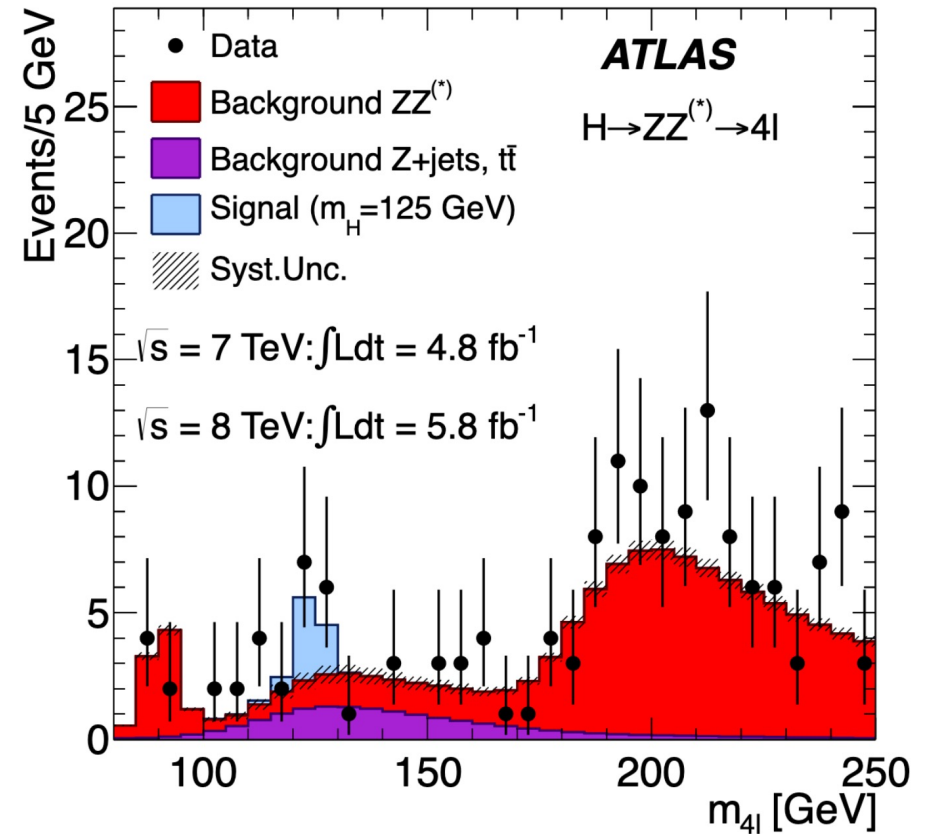
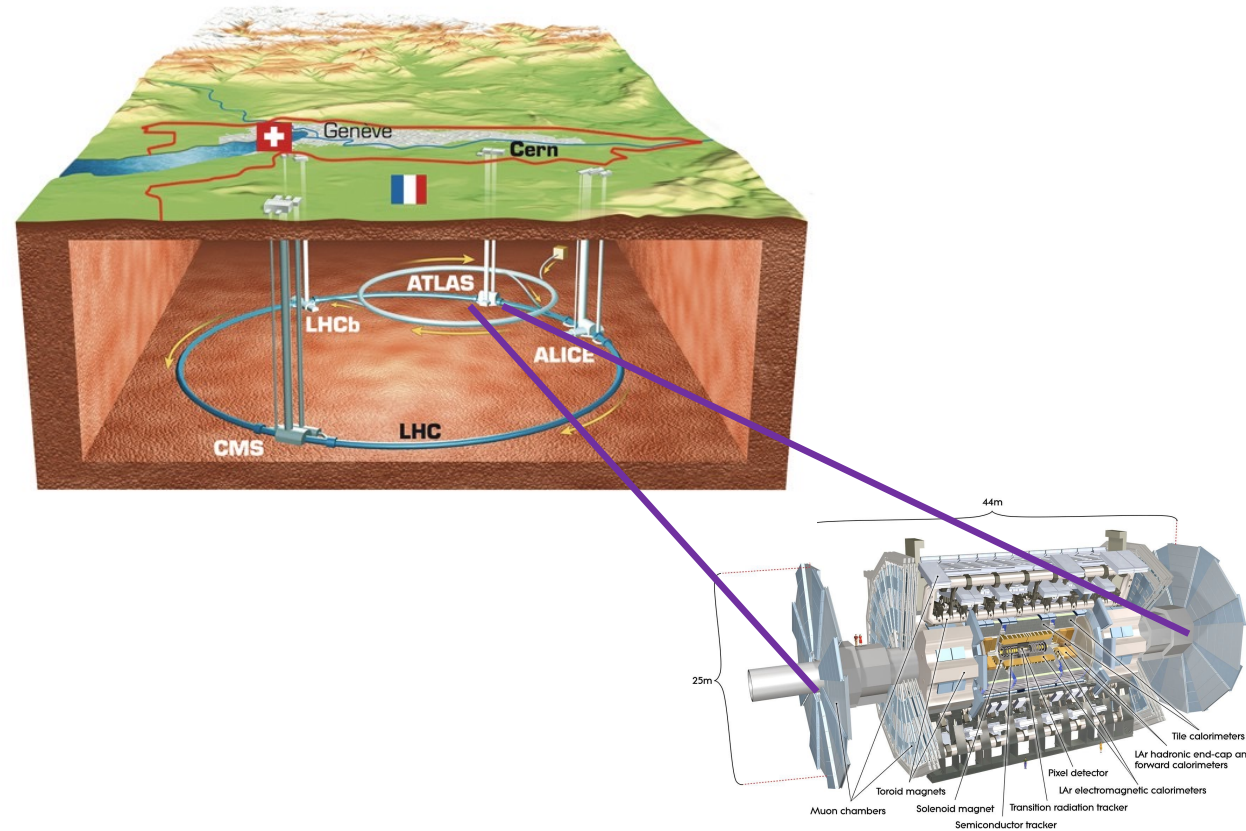
Le LHC et la découverte du boson de Higgs

Le Grand Collisionneur de Hadrons au CERN (LHC)

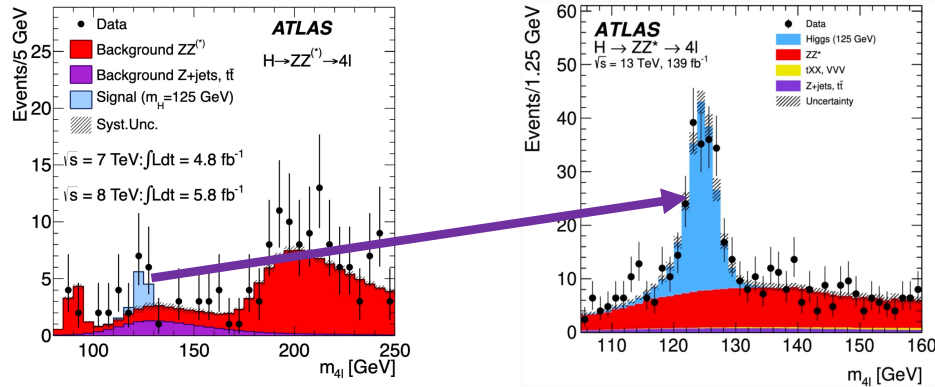
- Voir petit -> grande énergie
- Signaux rares -> haute fréquence de collisions (40 MHz)
- Equipés de deux détecteurs généralistes

Découverte du boson de Higgs (2012)

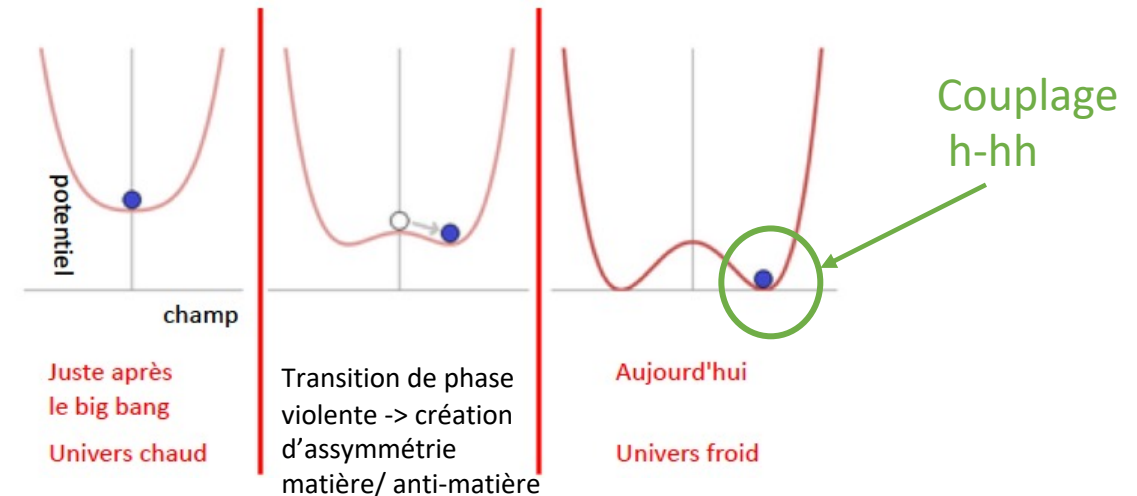
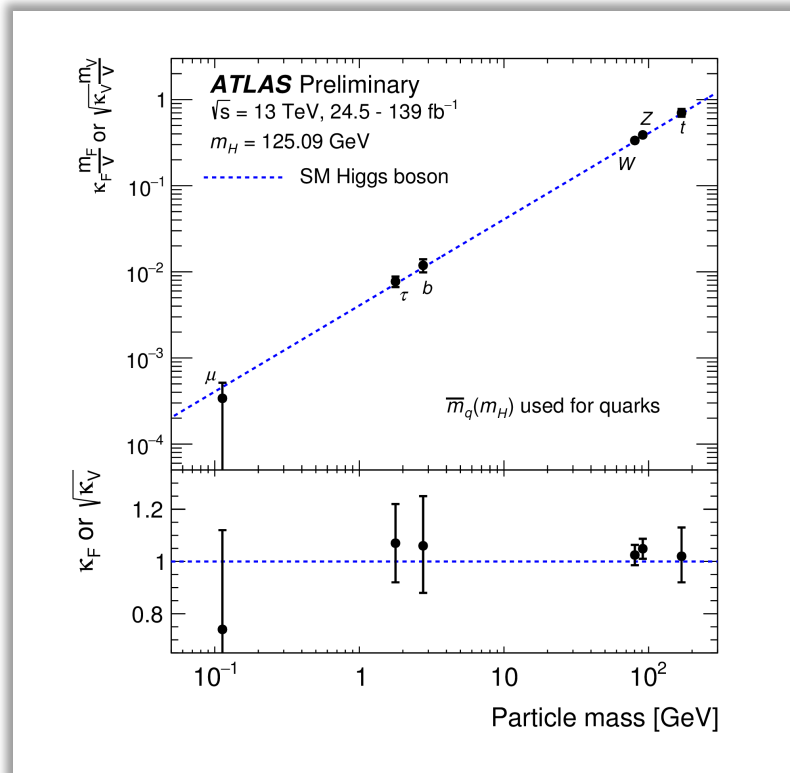
- Expérience de comptage en intervalles de masse
- Comparaison à la prédiction théorique
- $H \rightarrow 4$ leptons



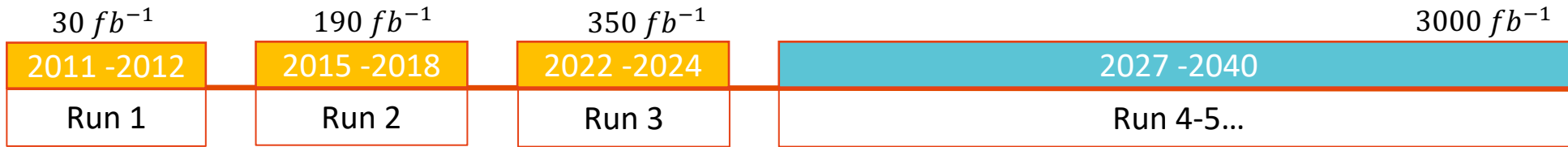
Et depuis ?



- Depuis 2012, accumulation de plus de statistique
- Etude des couplages entre le boson de Higgs et une particule donnée : montre leur relation entre leur couplage au champs de Higgs et leur masse
- But ultime : compréhension du potentiel de Higgs aujourd'hui -> indications sur les premiers instants de l'univers
 - Etude du couplage $h \rightarrow hh$
 - Extrêmement rare



Une statistique découplée



Lumi intégrée

40 millions de croisement de paquets de protons par seconde !

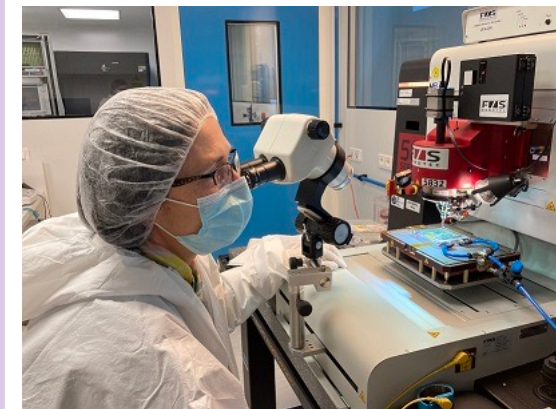
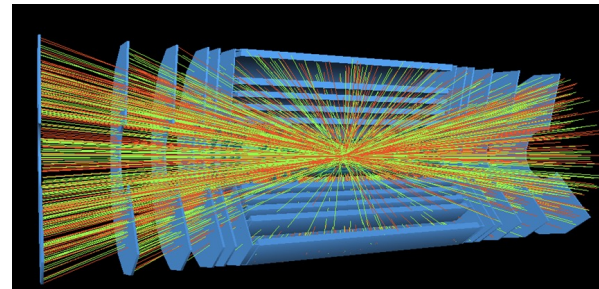
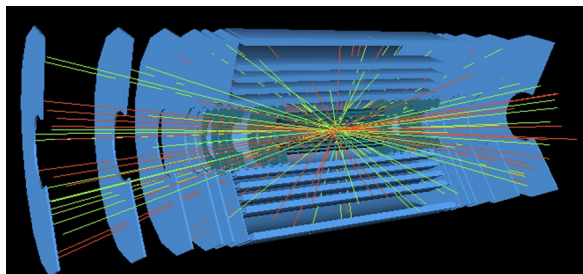
La phase de haute luminosité :

- Plus de données,
- Des faisceaux 5 fois plus intenses,
- Des collisions plus complexes ,
- Des détecteurs extrêmement sophistiqués.

Préparation du HL-LHC, aujourd'hui :

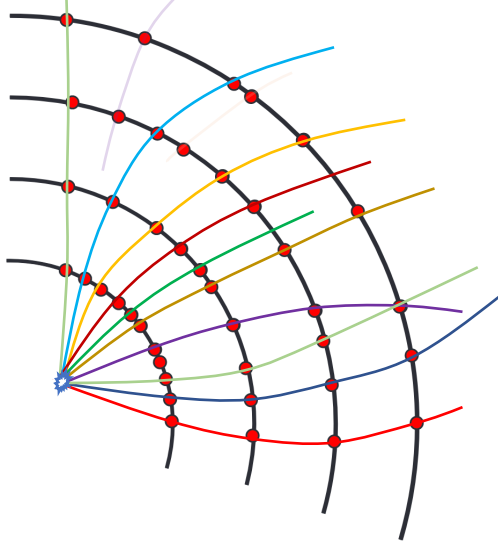
- Chaîne d'injection
- Construction des détecteurs
- Design des *computing* modèles

Haute luminosité : comment ? Croisement de paquets de protons, plus denses

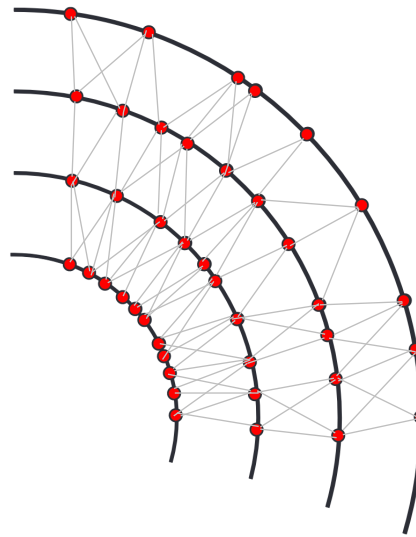


Représenter les données du détecteur sous forme d'un graphe

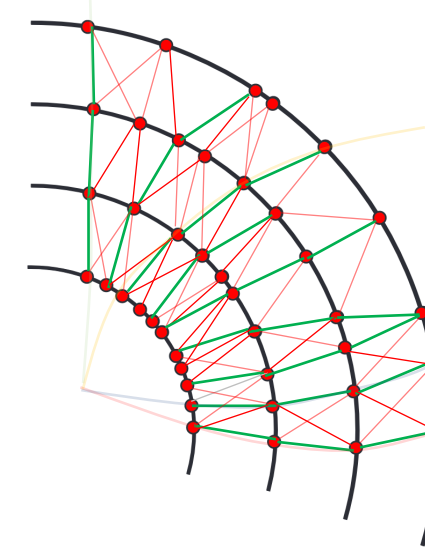
Les particules laissent des hits dans le détecteur



Construction des graphes à partir des données du tracker



Ce qu'on voudrait faire:
Classifier les arcs du graphe



Score haut = forte probabilité que l'arc appartienne à une trace

Score faible = faible probabilité que l'arc appartienne à une trace

Un nœud du graphe = Un hit du tracker

On ajoute un arc entre deux en deux nœuds si:

- **Connexion possible entre modules** (Module Map)
- **Coupure sur critères de physique** (courbe de la trace, ...)

