

# Prospectives LPC

## Pôle Particules et Univers

Le pôle Univers et Particules s'est organisé au cours des derniers mois en quatre groupes de travail autour des thématiques historiques du pôle (physique des saveurs) mais aussi d'autres présentant un intérêt stratégique évident au vu de l'actualité récente (gravitation, Machine Learning).

Ce document regroupe les résumés du travail de chacun de ces groupes.

### 1 Groupe de travail "La physique des saveurs au LPC"

La physique des saveurs est une thématique de tradition ancienne du Laboratoire de Physique de Clermont (LPC) dont on peut dater l'origine aux études du charmonium auprès du détecteur DM2 à DCI il y a trente ans<sup>1</sup>. Au cours des années 90, avec l'expérience ALEPH au LEP, le laboratoire a contribué à de nombreuses analyses impliquant les saveurs lourdes : mesures de  $R_b$  et  $R_c$ , des asymétries avant-arrière dans la production de beauté et de charme,  $A_{FB}^b$ ,  $A_{FB}^{bc}$ , des asymétries leptoniques  $A_{FB}(l^+l^-)$ , du mélange  $B - \bar{B}$  et de  $V_{ub}$ . Des contributions techniques remarquables qui ont participé à la reconnaissance du LPC ont été faites dans ce cadre, en particulier le développement d'outils multivariés basés sur les réseaux de neurones utilisés pour la première fois pour l'étiquetage des jets de  $b$  dans la mesure de  $R_b$ .

En 1997, le Laboratoire s'engage plus fortement encore dans cette thématique en rejoignant l'expérience dédiée LHCb auprès du collisionneur LHC au CERN (sept membres permanents), puis, au printemps 2005, le groupe phénoménologique CKMFitter (quatre membres permanents). Le pôle Théorie du laboratoire est lui aussi fortement engagé dans la problématique des saveurs de quarks (implication au delà du Modèle Standard, Lattice-QCD, ...) et des saveurs leptoniques (projet ITN Européen Invisibles, partenariat avec la collaboration *Comet*, ...) avec trois membres actifs dans le domaine. En 2017, le LPC s'engage auprès de la collaboration SoLi $\theta$  ouvrant la voie à la physique expérimentale des saveurs de neutrinos au laboratoire (quatre chercheurs permanents du LPC impliqués). En associant à ces activités la physique du quark *top* dans le groupe Atlas et celle des quarkonia dans le groupe ALICE, la thématique des saveurs constitue une activité transverse importante des pôles historiques du LPC. Cette cohérence thématique a été remarquée et encouragée lors de l'évaluation du laboratoire lors du Conseil Scientifique de 2014 :

"For its first overview of the research in particle physics at the LPC, the committee was further struck by the coherent interest in flavour physics weaving links between all presentations of the first day: from neutrino and BSM phenomenology, to the special role of heavy quarks in Lattice QCD developments as well as in the ALICE program for the quark-gluon plasma, or LPC-ATLAS' focus on the top quark, through of course LHCb's and CKMfitter's central interests. Such widespread coherence around flavour physics

---

<sup>1</sup> Première mention du terme saveur dans une publication du Laboratoire : "PSEUDOSCALAR STATES IN  $J/\psi \rightarrow \gamma VV$  DECAYS. RESULTS FROM DM2", Topical Seminar on Heavy Flavours 2, May 1987, San Miniato, Italy. 1

is quite unique among HEP laboratories, and could be used by the LPC, both as an identifying flagship to the outside, and as an inside source of inspiration for original collaborations between various groups."

Au total, la physique des saveurs implique actuellement treize chercheurs permanents du laboratoire, cinq CNRS et huit Universitaires. La thématique constitue le domaine de recherche principal pour onze d'entre eux parmi lesquels sept contribuent à plusieurs projets. La démographie du laboratoire liée à cette activité est relativement stable sur les vingt dernières années avec quelques mouvements internes essentiellement. Aucun recrutement n'a été fait au laboratoire sur cette thématique depuis le démarrage des prises de données de LHCb en 2011.

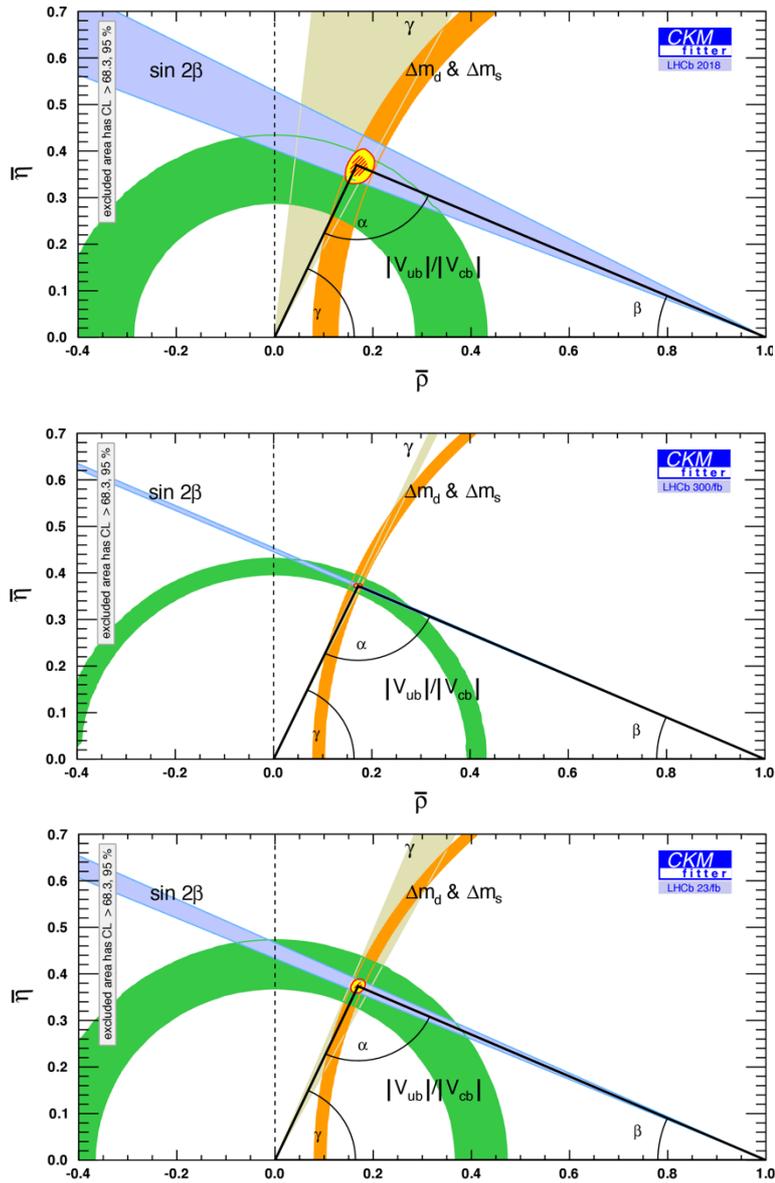
## 1.1 Etat de l'art et futur de la discipline

Le principal résultat des usines à beauté, BaBar et Belle, en fonctionnement de 2000 à 2010, a été l'établissement du mécanisme standard de Kobayashi-Maskawa (KM) comme principale source de la violation de  $CP$  dans le système des mésons  $B$  et  $K$ . Au terme de la première phase de fonctionnement du LHC, la cohérence globale du modèle KM a été confirmée avec une précision améliorée. La métrologie de la matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa ( $CKM$ ) s'est affinée avec des mesures précises de l'angle  $\gamma$  du triangle d'unitarité qui atteint aujourd'hui  $\sigma_\gamma \sim 5^\circ$ , la résolution des oscillations du  $B_s$  ou encore des mesures compétitives de  $V_{ub}$  dans les modes baryoniques, accompagnés par les progrès théoriques dans la prédiction des paramètres hadroniques via notamment la QCD sur réseau. L'invariant de Jarlskog qui quantifie l'amplitude de la violation de  $CP$  dans le modèle KM a vu sa résolution relative passer de 5% au terme du fonctionnement des usines à beauté à 2% dans les projections les plus récentes. La physique des saveurs de quarks n'est cependant pas encore entrée dans le domaine des hautes précisions et nombre d'observables sont encore limitées statistiquement, justifiant les programmes de physique des saveurs de quarks à haute statistique des prochaines années. Des mesures précises des rapports d'embranchement des désintégrations Kaoniques rares,  $K \rightarrow \pi\nu\nu$  auprès des collaboration NA62 (SPS, CERN) et Koto (KEK, JPARC) devraient de plus apporter de nouvelles contraintes indépendantes aux tests de cohérence du modèle KM.

L'apport du LHC dans le domaine des saveurs est large avec l'étude des modes de désintégration très rares (observation conjointe et compatible avec les prédictions de la désintégration leptonique  $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$  par les collaborations LHCb et CMS), des transitions pingouin électrofaibles, qui participent à la recherche indirecte de particules de Nouvelle Physique pouvant se propager virtuellement dans le boucles, ou encore la spectroscopie des hadrons beaux et la mise en évidence de nouveaux états baryoniques, ainsi que la physique du charme et du tau, ...

Une accumulation de déviations aux prédictions du modèle standard, qualifiées d'anomalies, a été reportée ces dernières années par plusieurs collaborations à la fois dans les transitions semi-leptoniques à l'arbre,  $b \rightarrow cl^-v_l$  et dans les transitions semi-leptoniques neutres changeant la saveur,  $b \rightarrow sl^+l^-$ . Ces déviations observées dans plusieurs canaux de désintégration interrogent l'universalité des couplages aux saveurs leptoniques et présentent une apparente cohérence qui pourrait indiquer une origine commune non décrite dans le cadre du Modèle Standard.

Les tests de cohérence du mécanisme KM en deçà du pourcent et la recherche de possibles violations des saveurs leptoniques dans les désintégrations des hadrons lourds motivent les programmes de physique des saveurs à haute statistique auprès du LHC, avec en particulier la première phase d'Upgrade du détecteur LHCb dont l'installation débutera l'année prochaine et permettra d'accumuler sur la période 2021-2025 une luminosité intégrée de  $50 fb^{-1}$  (prospectives illustrées par la figure 1). Ce programme s'étend aussi aux General Purpose Detectors (GPD), Atlas et CMS, qui prévoient



**FIGURE 1 :** CONTRAINTES SUR LE TRIANGLE D'UNITARITE EN UTILISANT SEULEMENT LES MESURES DE LHCb. HAUT : SITUATION ACTUELLE, MILIEU : PROJECTIONS POUR UNE LUMINOSITE DE  $50 fb^{-1}$  (UPGRADE I, 2025), BAS : PROJECTION A  $300 fb^{-1}$  (HL-LHC, UPGRADE II, 2035).

d'augmenter dès 2018 leur potentiel dans le domaine des saveurs avec la mise en place de systèmes de déclenchement dédiés. D'autre part le démarrage cette année de l'expérience Belle2 auprès de l'accélérateur superKEKB au Japon permet une exploration complémentaire sur la même période de la physique des saveurs dans le secteur des mésons  $B^0$

A plus long échéance, la seconde phase d'Upgrade de LHCb accompagnant le programme de physique à Haute Luminosité du LHC (HL-LHC, 2026-2036) est en train d'être documenté. Un Rapport Jaune du CERN détaillant ce programme pour la période HL-LHC est prévu pour la fin de l'année 2018 avec un groupe de travail dédié à la thématique de physique des saveurs. La seconde phase d'Upgrade du détecteur LHCb prévoit d'augmenter la statistique accumulée à  $300 fb^{-1}$  sur cette période. Les projets de futurs accélérateurs au CERN, notamment le Future Circular Collider propose pour la fin des années (20)30 une phase de collisions  $e^+e^-$  qui permet un riche programme de physique des saveurs dans les désintégrations en paires de quarks lourds du boson intermédiaire  $Z^0$  produit en très grande quantité. S.Monteil coordonne le groupe de travail dédié à la physique des saveurs dans le cadre du projet FCC-ee.

La physique des saveurs leptoniques embrasse un large éventail de problématiques actuelles, pour les leptons neutres : oscillations, matrice de mélange des neutrinos et violation de  $CP$ , recherche de neutrinos stériles, mesure absolue et mécanisme d'acquisition de la masse des neutrinos, comme pour les leptons chargés : violation de la saveur leptonique, moments magnétiques anomaux, moment dipolaire électrique de l'électron et du neutron ... Concernant le mécanisme d'oscillation des neutrinos, l'IN2P3 est associé à plusieurs projets en fonctionnement ou en préparation de Short Baseline auprès de réacteurs (Double-Chooz, Juno, ...), de Long Baseline couplées à des accélérateurs (T2K, Dune, Opéra, ...) ou de télescope à neutrinos (KM3Net/Orca). Les expériences Very Short Baseline auprès de réacteurs, SoLi $\theta$  dans laquelle le LPC est engagé, ou Stereo, se propose d'explorer les anomalies de mélanges et la recherche d'une quatrième famille de neutrinos stériles.

Le seconde phase de l'expérience MEG (PSI) et le démarrage prochain des expériences Mu3e (PSI), Mu2e (FNAL) ou *Comet* (JParc) vont contribuer à l'exploration de violation de saveurs dans le secteur des leptons chargés avec une sensibilité aux conversion muon-électron réduite de plusieurs ordres de grandeur. L'expérience *Comet* en particulier propose de rechercher les violations de la saveur leptonique dans les conversions " $\mu - e$ " après capture muonique dans la matière. Une première phase de fonctionnement débutera en 2019 et devrait atteindre une sensibilité de quelques  $10^{-15}$  sur l'embranchement du processus. En parallèle de la première phase sera développée et installée la deuxième section de l'appareillage pour une seconde phase d'exploitation prévue à partir de 2021 qui permettra d'améliorer la sensibilité de deux ordres de grandeur.

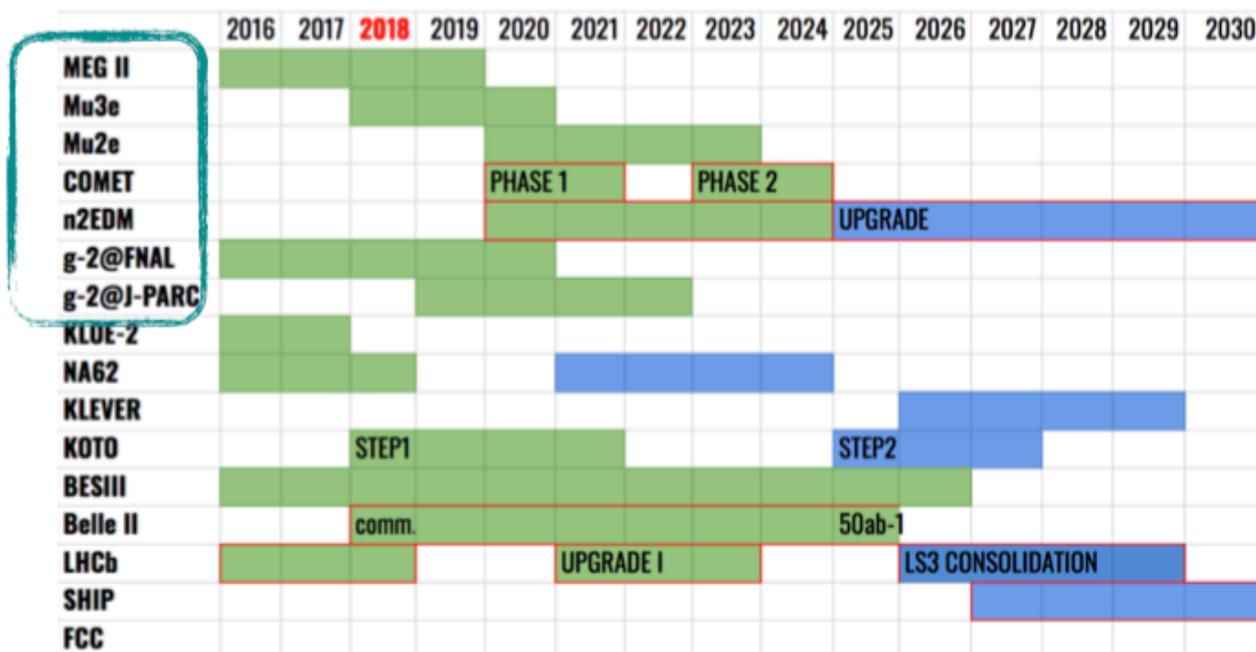


FIGURE 2 : CALENDRIER DE QUELQUES EXPÉRIENCES DE PHYSIQUE DES SAVEURS.

L'IN2P3 qui est engagé dans les programmes auprès du LHC et plus récemment de superKEKB, a validé l'année dernière la création d'un Groupement de Recherche (GRD intensity frontier) dédié à la thématique des saveurs pour accompagner l'évolution et l'importance croissante de cette thématique. Plusieurs membres du laboratoire sont impliqués dans la coordination des groupes de travail du GDR, notamment S.Monteil pour le working group 'Future Experiments' ou encore A.Teixeira pour le working group 'Interplay of quark and lepton flavour'.

## 1.2 Prospectives et expressions d'intérêt au LPC

La première phase de fonctionnement du LHC (run1, 2011-2013 et run2, 2015-2018) s'achève cette année. Une partie du groupe LHCb est impliquée dans la préparation technique à la seconde phase d'exploitation du détecteur amélioré (2021-2024) avec une participation importante à la construction et la mise en service d'un nouveau trajectographe à fibres scintillantes. Les contributions techniques liées au détecteur calorimétrique de pied-de-gerbe et au déclenchement de l'expérience cesseront avec la première phase d'exploitation de LHCb. L'analyse en cours des données du run2 assure une production scientifique importante pendant les années de mise à niveau du détecteur. Les analyses de physiques conduites pendant la première phase : études des modes de désintégrations non-charmés des mésons et baryons beaux, études des transitions pingouins radiatives, des modes charmés, des modes semi-leptoniques ou encore les tests d'universalité de la saveur leptonique conservent leur pertinence à plus haute statistique et justifient la poursuite de cette recherche au LPC. L'implication dans le programme acté à plus longue échéance, HL-LHC, conjointement avec la préparation au programme d'un projet de futur accélérateur, tel que FCC, constituerait une évolution naturelle de la thématique au Laboratoire. Pour la période intermédiaire des expressions d'intérêts pour l'expérience Belle2 ont été exprimés. L'avenir du groupe CKMFitter est plus incertain, mais il fournit un outil de prospective important pour la communauté en cette période de transition qui lui assure un certain niveau d'activité. L'émergence du groupe  $\text{Solid}$  assure l'ouverture de la thématique vers le domaine de recherche des leptons neutres encore peu exploité au laboratoire mais constitue une activité limitée dans le temps. Parmi les expressions d'intérêt, Le projet a été exprimé de créer au LPC une activité liée à collaboration *Comet* auprès de laquelle le groupe Théorie est par ailleurs engagé.

## 2 Groupe de travail “Physique hadronique”

### 2.1 ALICE

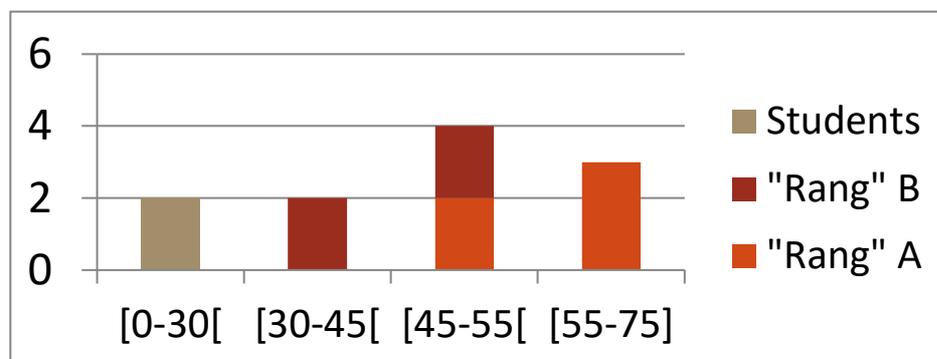
ALICE, “A Large Ion Collider Experiment”, is dedicated to the study of heavy-ion collisions at the LHC “Large Hadron Collider” (LHC, CERN). The main aim of the LHC heavy-ion physics program is to investigate the properties of strongly-interacting matter in extreme conditions of temperature and energy density where the Quark-Gluon Plasma (QGP) is expected to be formed.

The current main activities of our team are threefold:

- physics analyses: measurements of open heavy flavours and quarkonia in pp, p-Pb/Pb-p and Pb-Pb collisions;
- data taking, maintenance and operation of the muon trigger;
- participation to the ALICE upgrade for the LHC Run 3 and 4. These activities concern in particular the upgrade of the electronics of the muon trigger (the so-called Muon Identifier project, MID) and the realization of the Muon Forward Tracker (MFT) detector. The installation and commissioning will be achieved during the LHC Long Shutdown-2 (LS2, 2019-2020).

The ALICE team at LPC presently consists of 8 permanent staff members (2 “Directeur de Recherche” CNRS, 2 Professors, 4 Assistant Professors), 1 Professor “Emerite” and 2 PhD students.

A substantial decrease of the team staff (permanents, post-docs and students) was observed in the past years with no CNRS recruitment since a long time. This tendency is expected to continue with the thematic change of one professor of the team at the end of the LHC run 2. The age pyramid of the team members is reported in Fig.1 for information.



**FIGURE 3: AGE PYRAMID OF THE ALICE TEAM**

The team is currently involved in several projects at national and international levels:

- Hadron physics in Horizon 2020 ;
- International Associated Laboratory France China Particle Physics Laboratory (FCCPL) ;
- International Associated Laboratory France, Japan and Korea Particle Physics Laboratory (FJKPPL);
- Groupement de Recherche Intensity Frontier;
- Groupement De Recherche Quantum ChromoDynamics ;
- Groupement De Recherche International EUREA ;

## PROSPECTS

In the short term (i.e. until the end of the LHC LS2), the activities of the ALICE team at LPC are those described above. Apart from the participation to data taking and detector maintenance and operation, we will finalize ongoing run-1 and run-2 data physics analyses and take active responsibilities in the publications of the results. On the upgrade side, members of the team will be involved in i) tests, installation and commissioning of the new electronics of the MID, ii) production and test of modules of the MFT, and commissioning of this new detector, iii) development and implementation of the associated software in the framework of the so-called ALICE Online-Offline (O<sup>2</sup>) and iv) physics performance studies via Physics Data Challenge.

In the medium term (from the end of the LS2 to start of LS3 in 2023), the main activities will be detector maintenance and operation, data taking and physics analyses of the Run 3 (2021-2023) data. Concerning the last point, we plan first to repeat the analyses already performed in the team but exploiting the high luminosity to improve the statistics and the capabilities of the MFT to disentangle muons coming from charm- and beauty- hadron decays. Given our expertise in this field, this should allow us to quickly converge towards several publications.

Beyond 5 years, these activities will be pursued during the Run 4 (2026-2029). Once first results will be published, we foresee to get involved in more sophisticated physics analyses which were not achieved with Run 2 data because of available statistics. These include, for instance, electron-muon coincidences for an original measurement of heavy-flavour production cross section and quarkonium-hadron correlations for a deep understanding of heavy-flavour production mechanisms.

In parallel to these activities, several new projects at different time scale could be of interest, among which:

- LHC experiments for the LHC Run 5 and 6;
- Fixed target program at the LHC (115 GeV);
- Hadron physics at FAIR-GSI;
- Electron-ion collider program at RHIC or Jlab (EIC);
- High-Energy LHC (HE LHC pp @ 27 TeV)
- Future Circular Collider at CERN (FCC pp @ 100 TeV).

The team keeps regularly informed of the progress of these projects and of their physics opportunities by attending dedicated meetings. We pay a particular attention to the LHC upgrades for Run 5 and 6, the High-Energy LHC and the hadronic mode of the FCC for which physics cases are of particular interest for the group members.

It could be considered to include these new projects prospective in the LPC working group “futurs collisionneurs”.

A prospective work is under progress towards the QGP-France community with 5 working groups<sup>2</sup> preparing deliverables for the QGP-France annual meeting in July 2018. The LPC-ALICE team is actively participating. The outcome of this national prospective (2-5 July 2018) will give inputs for the LPC-ALICE long-range prospective. This work will also be a baseline for the IN2P3 contribution to ESPP for heavy ion physics.

---

<sup>2</sup> QGP sondes molles; QGP sondes dures saveurs lourdes et quarkonia; QGP sondes dures jets et photons, QGP petits systèmes, QCD froide petit x / saturation/ nPDF / EIC

## 2.2 II- Electromagnetic probe

Hadron physics with the electromagnetic probe has a long tradition at LPC. The team has realized electron scattering experiments on nuclear targets at the most performing accelerators in the world, and presently at the Mainz Microtron (MAMI) in Germany, within the A1 Collaboration.

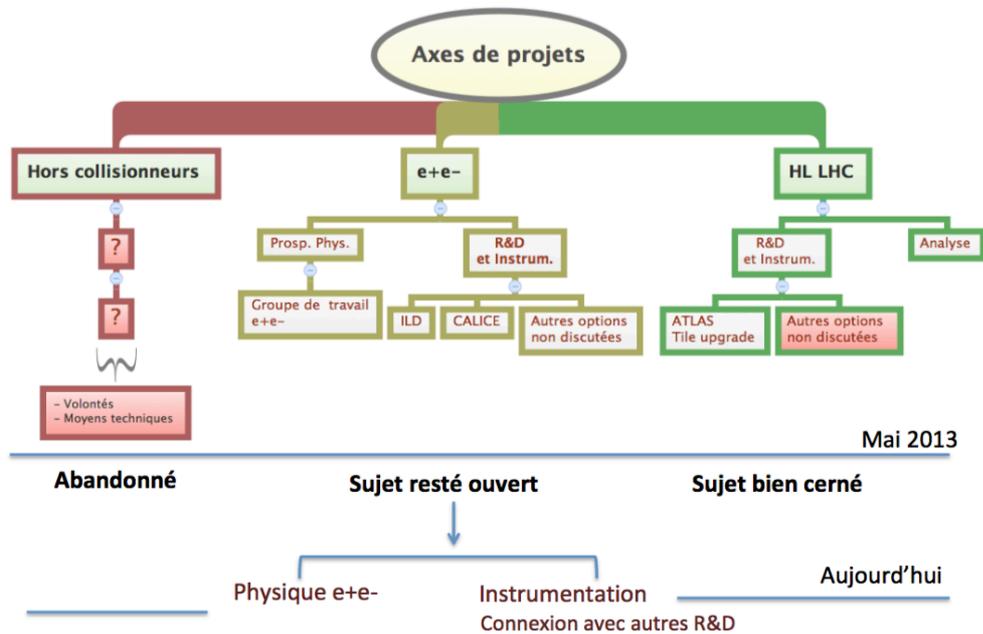
In 2011 a new experiment has been undertaken at MAMI on Virtual Compton Scattering, or VCS, (with H. Fonvieille as co-spokesperson) in order to measure the electric and magnetic Generalized Polarizabilities of the proton at three new values of the four-momentum transfer  $Q^2$ . The goal is to improve our understanding of the  $Q^2$ -behavior of these fundamental observables of the nucleon. Two PhD theses have been defended at LPC on the subject, and the preliminary results have been already presented at international workshops and conferences. **The short-term perspectives are in the first place to complete the analysis of this experiment and publish the results. The Clermont team is entirely in charge of this task, which will take 1-2 years for 1 FTE.**

Before the closure of this activity at the lab, there are longer-term perspectives in which the team wishes to be involved, depending on the available time. The first one consists in participating to the design of a future VCS experiment at Mainz, aiming at measuring a new structure function that would yield information of the still unknown spin-flip generalized polarizabilities of the proton. The second topic consists in re-analyzing previous Mainz VCS data in the framework of "dark photon" searches.

### 3 Groupe de travail « Futurs collisionneurs »

#### 3.1 Introduction:

Les prospectives du laboratoire menées en 2013 se sont terminées sur une note ouverte en ce qui concerne les futurs collisionneurs et ce en raison de l'évolution du contexte international : *status quo* vis-à-vis de l'ILC, une annonce récente du TLEP (qui deviendra FCC-ee) ainsi que de la difficulté à connecter les R&D du LPC associées aux  $e^+e^-$ , à d'autres projets.



A la suite des prospectives, un suivi régulier du développement du contexte a été effectué. L'étude des expériences hors collisionneurs (décrite comme *Abandonné* dans le résumé de mai 2013) est aujourd'hui couverte par le groupe « Gravitation ».

#### 3.2 Enjeux de physique :

A moyen terme, le paysage de la physique des hautes énergies est dominé par le HL-LHC. On distingue deux approches complémentaires dans la physique du HL-LHC :

- L'étude approfondie de la brisure de symétrie électrofaible. On peut citer les recherches autour du boson de Higgs (nombres quantiques, masse, couplages, etc) ou encore les interactions des bosons vecteurs à haute énergie ;
- La recherche directe de nouveaux phénomènes visant, entre autre, à résoudre le problème de hiérarchie.

Le HL-LHC étant acté avec un engagement sur l'expérience ATLAS, l'enjeu de physique a été considéré dans le cadre des collisionneurs futurs et non au LHC.

Avec l'absence de nouvelle physique au LHC, les études de précision des caractéristiques du boson de Higgs sont devenues cruciales. Les collisionneurs  $e^+e^-$  sont particulièrement adaptés à ce type de mesures. Ils offrent une approche complémentaire vis-à-vis des collisionneurs hadroniques auxquels ils opposent un état initial contrôlé, des effets de seuils en section efficace permettant d'ajuster le programme de physique par le choix de l'énergie des collisions, mais avec des sections efficaces plus faibles (voir Figure 1).

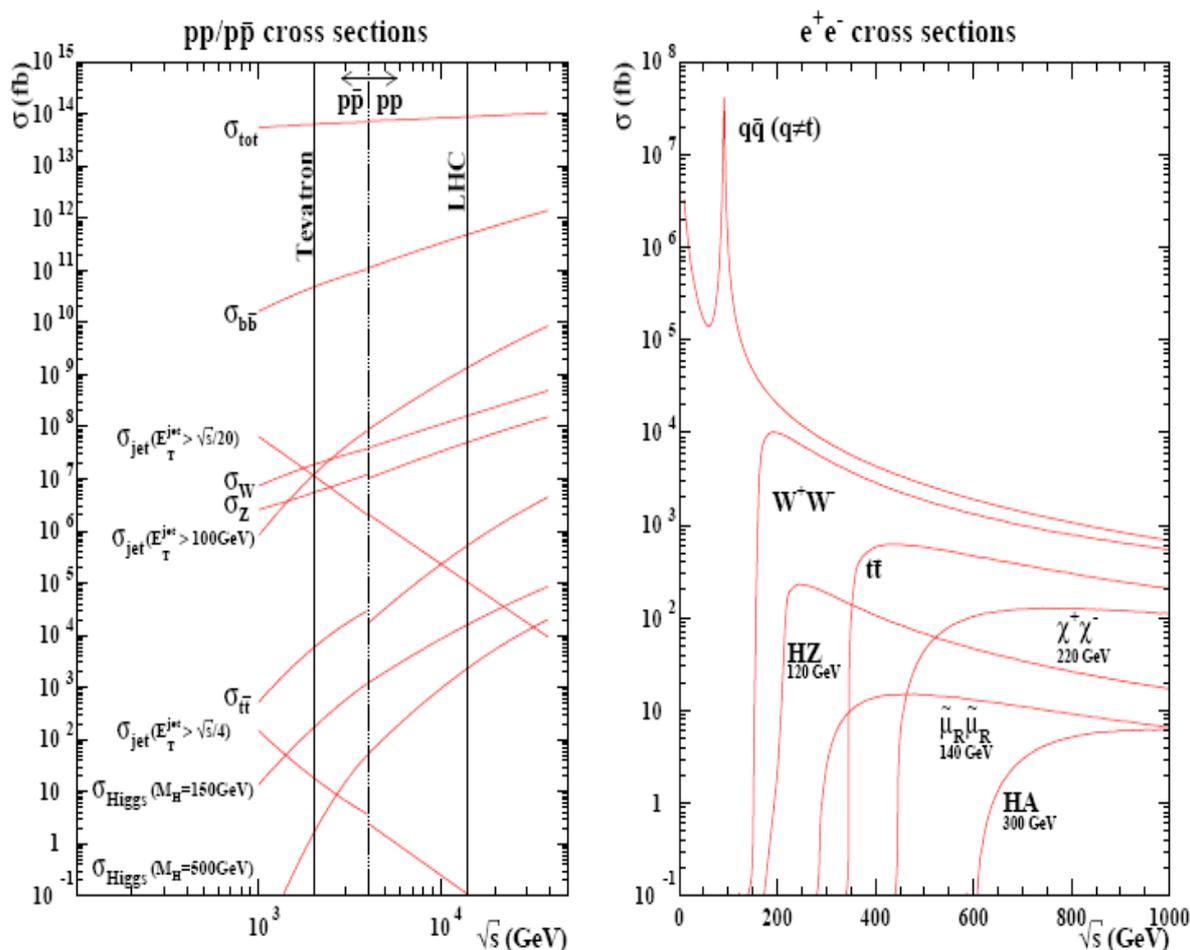


FIGURE 4 : SECTIONS EFFICACES DES PRINCIPAUX PROCESSUS AUPRES DE COLLISIONNEURS HADRONIQUE (GAUCHE) ET LEPTONIQUES (DROITE)

### 3.3 Liste des projets discutés :

- International Linear Collider (ILC) : collisionneur linéaire à électrons-positrons basé au Japon
- Futur Circular Collider (FCC-ee) : collisionneur circulaire à électrons-positrons basé au CERN
- Chinese electron-positron Collider (CepC) : collisionneur circulaire à électrons-positrons basé en Chine

Le projet de collisionneur FCC-pp n'a pas été débattu en raison de l'échelle de temps. L'extension du LHC à haute énergie, HE-LHC, n'a pas été discutée. Bien que cette option soit réelle, elle semble défavorisée par rapport à FCC-pp.

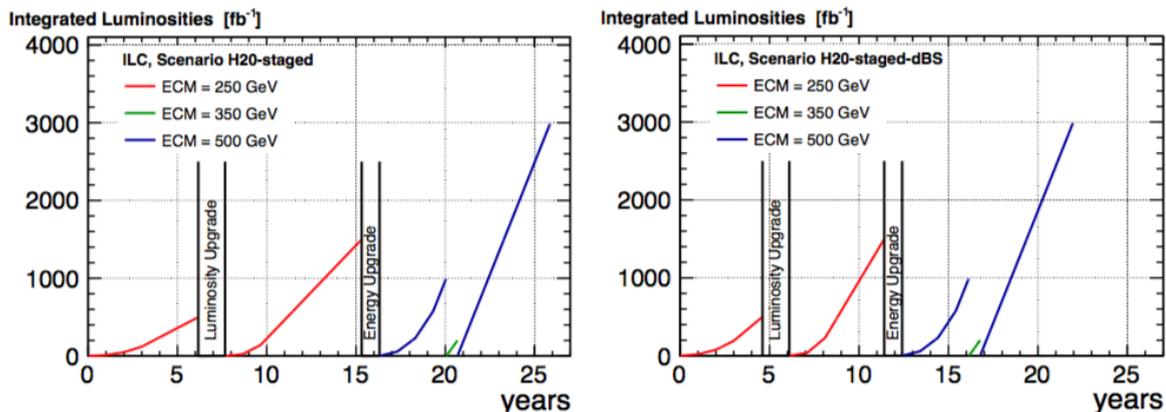
Les éléments suivants ont été relevés pour chacun de ces projets de collisionneurs.

### 3.3.1 ILC :

L'utilisation d'un collisionneur linéaire préserve la possibilité d'augmenter l'énergie dans le centre de masse dans le futur. Un investissement graduel en phases est possible avec une augmentation linéaire du coût là où l'augmentation de l'énergie, sur collisionneur circulaire, aurait un coût de fonctionnement divergeant (perte d'énergie par rayonnement synchrotron).

Ainsi, le démarrage d'un programme de physique à une énergie dans le centre de masse de 250 GeV (soit au maximum de production du boson de Higgs) pourra être suivi par une phase à une énergie deux fois plus haute (seuils de production de paires de quarks top, tests au-delà du Modèle Standard, couplage tri-linéaire de Higgs, ...).

Dans le design actuel, seule la phase à 250 GeV serait consolidée. Le programme de physique mis en avant aujourd'hui se base exclusivement sur la physique du Higgs, au pôle du Z ou au seuil de production de bosons W.



**FIGURE 5 : DEUX SCENARIOS TYPES, UTILISES POUR LE *PHYSICS CASE* D'UN ILC DEMARRANT A 250 GeV [1]**

En supposant un fonctionnement par phase décrit par les Figures 2, le potentiel de physique d'un ILC, en particulier en termes d'étude des couplages du bosons de Higgs avec une approche type EFT est décrite dans [1], et est illustré par la Figure 3. La précision sur les couplages du boson de Higgs est drastiquement améliorée par rapport aux mesures du HL-LHC dès la phase à 250 GeV. Cela confirme l'importance de l'apport de cette phase à elle seule. La Figure 4 montre que l'apport d'un collisionneur leptonique ne se limite pas aux mesures de précision mais qu'il permet également de tester des modèles de nouvelle physique.

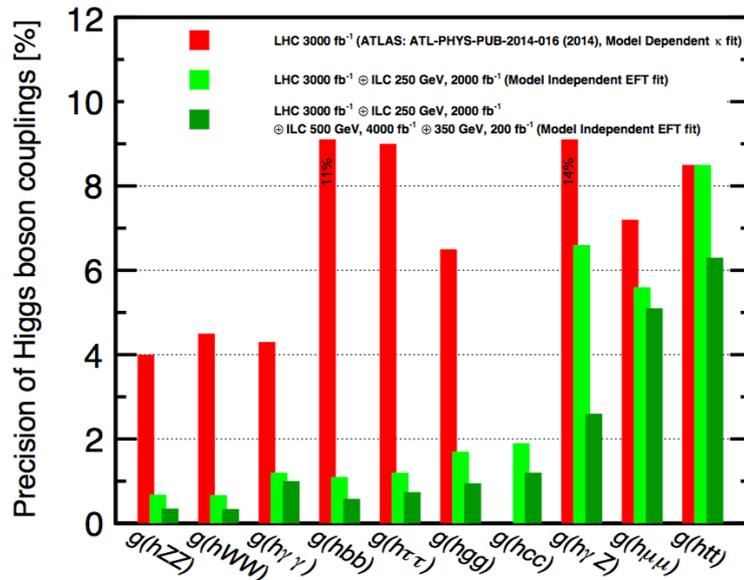


FIGURE 6 : PRECISIONS ATTENDUES SUR LES COUPLAGES DU BOSON DE HIGGS AU LHC, COMBINÉES A UN ILC 250 GEV PUIS A UN ILC 500 GEV

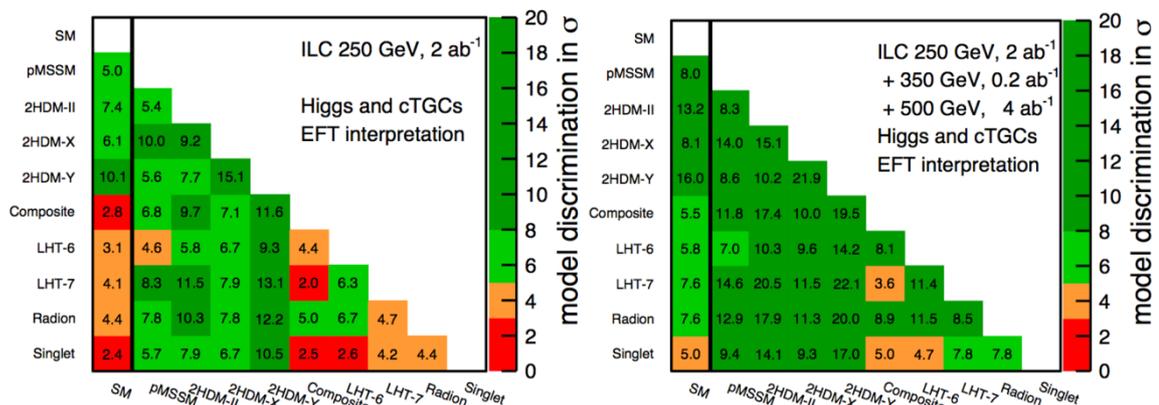


FIGURE 7 : POTENTIEL D'OBSERVATION D'UNE NOUVELLE PHYSIQUE AVEC INTERPRETATION EFT, EN NOMBRE DE DEVIATIONS STANDARDS ET CAPACITE A DISTINGUER LES DIFFERENTS MODELES DE NOUVELLE PHYSIQUE

Les arguments pour un ILC qui ont émergés sont :

- La maturité du projet d'un point de vue technologique (TDR machine et détecteur réalisés en 2013)
- La faisabilité de l'accélérateur validée à une échelle industrielle (production européenne des cavités pour le projet XFEL à Desy)
- R&D détecteur active en lien avec les performances de physique, en particulier en France et dans une moindre mesure au LPC ;
- L'apport des mesures de précision sur le secteur du Higgs par rapport aux mesures qui auront été réalisées à HL-LHC ;
- La possibilité d'augmenter ultérieurement l'énergie dans le centre de masse et de réaliser des mesures spécifiques telles que le couplage de Yukawa du top ;
- La possibilité d'utiliser la polarisation des faisceaux augmente la sensibilité à certains processus ;
- Réaliser des mesures modèle-indépendantes ;

- Le temps (environ 10 ans entre l'acceptation et les premières données) met ce projet à portée des physiciens actifs au LHC aujourd'hui dans l'ensemble de ses phases (construction, commissioning, analyse de données) ;

Les arguments contre un ILC qui ont émergé sont :

- Le risque que le collisionneur ne soit jamais upgradé et n'aille pas au-delà de la production et l'étude de bosons de Higgs ;
- Le fait que le collisionneur ne soit pas basé au CERN.

### 3.3.2 FCC-ee :

L'utilisation d'un collisionneur circulaire permet une utilisation optimale des faisceaux en produisant une luminosité élevée en plusieurs points d'interaction. Ce collisionneur nécessite une nouvelle infrastructure avec un tunnel de 100 km de circonférence. FCC-ee permettrait de repousser les limites de luminosité tout en atteignant des énergies dans le centre de masse de 350 GeV, soit le seuil de production de paires de quarks top (voir Figure 5).

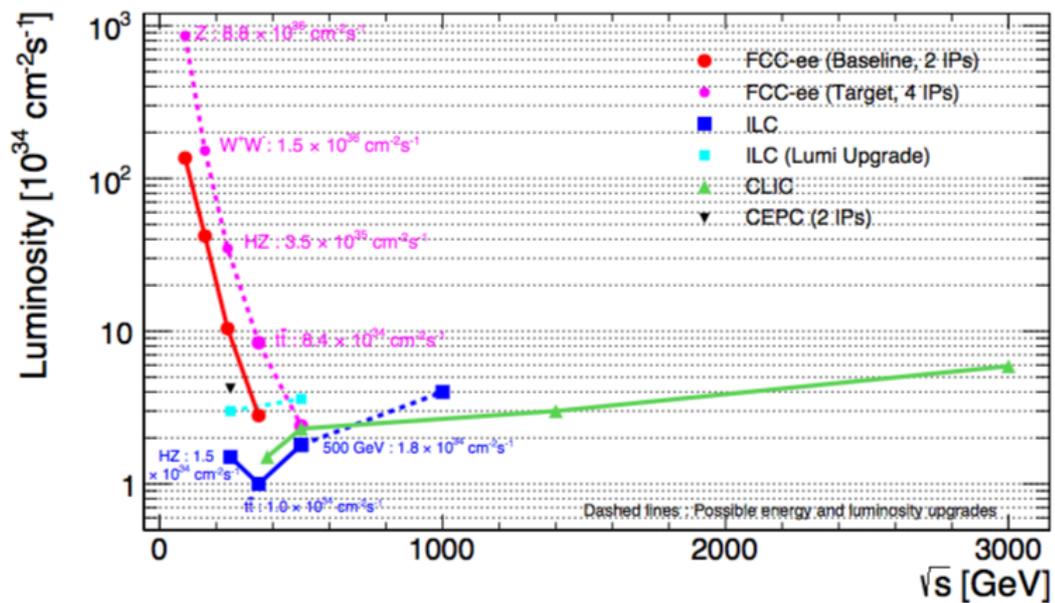


FIGURE 8 : LUMINOSITE ATTENDUES EN FONCTION DE L'ENERGIE DANS LE CENTRE DE MASSE

Ces intensités sont le point fort d'un FCC-ee, elles permettraient de produire un grand nombre de particules d'intérêt dans le modèle standard comme le montre la Table 1. Ce volume de données colossal servirait à effectuer des mesures inaccessibles au LHC et de cibler des processus extrêmement rares.

$\sqrt{s}$ (GeV):	90 (Z)	125 (eeH)	160 (WW)	240 (HZ)	350 ( $t\bar{t}$ )	350 (WW $\rightarrow$ H)
$\mathcal{L}/\text{IP}$ ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$2.2 \cdot 10^{36}$	$1.1 \cdot 10^{36}$	$3.8 \cdot 10^{35}$	$8.7 \cdot 10^{34}$	$2.1 \cdot 10^{34}$	$2.1 \cdot 10^{34}$
$\mathcal{L}_{\text{int}}$ ( $\text{ab}^{-1}/\text{yr}/\text{IP}$ )	22	11	3.8	0.87	0.21	0.21
Events/year (4 IPs)	$3.7 \cdot 10^{12}$	$1.2 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10^7$	$7.0 \cdot 10^5$	$4.2 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^4$
Years needed (4 IPs)	2.5	1.5	1	3	0.5	3

**TABLE 1 : LUMINOSITES ET NOMBRE D'ÉVENEMENTS ATTENDUS A DIFFÉRENTES ENERGIES DANS LE CENTRE DE MASSE [2].**

Une phase active de R&D machine et d'étude du *Physics Case* est en cours. La R&D détecteur est néanmoins peu couverte.

Les arguments qui ont émergés pour un FCC-ee sont :

- C'est le collisionneur avec le meilleur programme de physique, pour des énergies inférieures à 350 GeV en particulier pour cibler des processus rares ;
- L'apport des mesures de précision sur le secteur du Higgs par rapport aux mesures qui auront été réalisés à HL-LHC ;
- Réalisation de mesures modèle-indépendantes ;
- Large opportunité de participer à un design study et de réaliser des études de prospectives de physique ;
- L'implémentation au CERN ;
- Précéderait une machine de type FCC-pp.

Les arguments contre un FCC-ee :

- Pas d'upgrade en énergie : la limite en énergie imposée par la dimension de l'accélérateur et son coût de fonctionnement interdisant des mesures directes du couplage de Yukawa du top, certaines recherches de nouvelle physique ;
- L'échelle de temps. FCC-ee démarrerait, dans le scénario le plus optimiste, dans la foulée de HL-LHC. Cette perspective rend peu probable la participation à l'analyse de données même pour les physiciens les plus jeunes. L'activité discutée relève du design study, de prospectives de physiques ou de R&D détecteur uniquement.

### 3.3.3 CepC :

Le collisionneur electrons-positrons proposé par la Chine (CepC) a des caractéristiques très proches de celles du FCC-ee. Les développements machine et détecteur s'inspirent fortement des études réalisées pour le FCC-ee et pour le détecteur ILD (ILC). Malgré l'approche peu originale, l'utilisation directe des développements d'ILD et l'implication d'un grand nombre de physiciens chinois, le projet CepC se développe très rapidement.

Il entre dans une phase de recherche de coopération et de soutiens internationaux. Le premier workshop réalisé hors de la Chine a eu lieu à Rome (mai 2018). Les dates de démarrage proposées sont agressives car sa réalisation ne dépend que de l'acceptation du projet par la Chine et de l'accrétion d'expertises via des collaborations internationales.

Le projet CepC a été peu considéré car la communauté FCC-ee considère ce projet comme un doublon tandis que la communauté ILC attend la position du Japon, fin 2018. Seules certains développements détecteurs ont été adaptés à un éventuel collisionneur circulaire à électrons.

Les arguments qui ont émergés pour un CepC sont :

- Il offre un programme de physique identique à celui de FCC-ee ;
- Il permettrait un démarrage avant la fin de HL-LHC ;
- Il offre un domaine d'application aux développements détecteurs réalisés pour l'ILC dans l'éventualité où l'ILC ne se ferait pas.

Les arguments qui ont émergés contre un CepC sont :

- La maîtrise de ce projet est incertaine ;
- La participation à une grande collaboration internationale initiée par la Chine peut s'avérer complexe ;
- Le projet pourrait mettre en difficulté le CERN par une concurrence directe et une copie de ses projets, en particulier si CepC est suivi par un collisionneur hadronique.

### 3.4 Activités et expertises du LPC :

Le LPC porte un intérêt historique aux collisionneurs. La participation au LEP puis au LHC a joué un rôle structurant majeur dans la vie scientifique du laboratoire.

La participation au design study de l'ILC est ancienne (15 ans). Le LPC Clermont a directement participé à la rédaction du TDR de l'ILC via des études de performances et via des développements instrumentaux. Une activité sur les détecteurs a été menée dans la collaboration CALICE (calorimétrie).

Les contributions du LPC relatifs à l'ILC sont synthétisées ici :

- Optimisation du design de calorimètre électromagnétique Si-W (2001-2002) ;
- Perspectives de physique sur les couplages du Higgs (2006-2008) ;
- Reconstruction Particle Flow (2005-2008) ;
- Tests du prototype physique de calorimètre électromagnétique Si-W en faisceau test et analyse des performances (2006-2012) ;
- Etudes d'effets de cross-talks dans le calorimètre électromagnétique Si-W sur banc de test (électronique, 2006-2010) ;
- Design d'un ADC pour le calorimètre Si-W et VFE (microélectronique, 2006-2010) ;
- Tests du prototype physique et technologique de calorimètre hadronique sDHCAL en faisceau test (2014-2017) ;
- Simulation de la réponse du calorimètre hadronique sDHCAL (2015-2018).

Ces activités ont impliqué au total 6 physiciens, 3 post doctorants, 2 doctorants, des ingénieurs du laboratoire et des stagiaires. Un grand nombre de communications en conférences et workshops ont été produites (CALOR, LCWS, IAS, workshops CepC, etc) ainsi qu'une 10 aine de publications avec contribution directe, essentiellement sur la calorimétrie. Les deux derniers items sont actifs aujourd'hui.

Plus récemment, le laboratoire a fourni un effort direct sur le design study de FCC-ee. Cette contribution se fait par la coordination du groupe saveur pour le design study et par deux études. La première porte sur la possibilité d'observer et de reconstruire la désintégration du  $B^0$  en  $K^0 \tau \tau$ . La seconde est une estimation de la sensibilité à la violation de saveur au pic du Z. Ce travail a pu se faire en collaboration avec l'équipe de théorie du laboratoire et avec des stagiaires. Ces études ont donné lieu à deux publications. Les développements de détecteurs pour FCC-ee ne sont pas considérés comme prioritaire aujourd'hui.

### 3.5 Conclusion :

Compte tenu du rôle central que joue la physique sur collisionneur dans l'activité du laboratoire, l'émergence d'un nouveau collisionneur suscitera l'intérêt de la communauté. La nature exacte de cette future machine dépend du contexte international.

La rapidité ainsi que la nature de l'implication de membres du laboratoire dépendra fortement de l'évolution de ce contexte et du type de collisionneur. Un sondage réalisé lors des perspectives du LPC de 2013 a révélé qu'environ un quart des physiciens (liés à la physique des particules sur collisionneurs) pourraient travailler sur un futur collisionneur de type  $e^+e^-$  dans les 5 à 10 ans mais que cette implication se ferait sous condition.

Compte tenu des prises de données en cours au LHC, cette fraction est raisonnable et conforte l'idée qu'un nouveau projet bénéficiera d'un intérêt de la communauté et qu'il pourra voir le jour sans mettre à mal les grandes expériences en cours.

Dans ce contexte, un texte synthétisant la position que le laboratoire pourrait adopter auprès de l'European Strategy Committee a été proposé à la direction du laboratoire.

### 3.6 Texte pour l'European Strategy :

LPC (Laboratoire de Physique de Clermont) has a longstanding involvement in the detector designs for  $e^+ e^-$  colliders at high energy. The detector developments are conducted in the framework of the International Linear Collider (ILC) collaborations but can be generalised to other leptonic colliders. On a similar note, LPC participated to the Future Circular Collider (FCC) Design Study hosted by CERN since the beginning, and singularly on the Physics case definition of the  $e^+e^-$  machine. There is a strong support of the LPC towards the next generations of leptonic colliders at large.

#### Sources d'information :

La discussion a pris pour sources les éléments collectés ces dernières années dans les réunions de l'ECFA (European Committee for Future Accelerators), via le Comité Collisionneur Linéaire (CCL) ou via les collaborations FCC-ee, ILC et CALICE

#### Références :

[1] Physics Case of the 250 GeV Stage of the International Linear Collider, arXiv:1710.07621v3 [hep-ex] 23 Jan 2018

[2] PHYSICS AT THE FCC-ee, David d'Enterria, arXiv:1602.05043

#### Résumé du sondage réalisé en 2013 :

Réalisé auprès des physiciens permanents associés au thème « secteur de jauge » soit ~15 physiciens, en réponse à la question « *Comment envisagez-vous votre activité future en physique fondamentale ? (5-10 ans) » (réponses multiples possibles)*

Expérience	Réponse	Nombre	Fraction
sur HL-LHC	Oui	5	45%
	Oui sous condition	2	18%
	Non	4	36%
Sur $e^+e^-$	Oui	1	11%
	Oui sous condition	3	33%
	Non	5	56%
Hors collisionneurs	Oui	2	17%
	Oui sous condition	4	33%
	Non	6	50%

## 4 Groupe de travail “Gravitation”

PARTICIPANTS AU GROUPE : Z. AIALTOUNI, F. BADAUD, D. BOUMEDIENE, P. CROCHET, E. COGNERAS, J. DONINI, E. GANGLER, J-F. MATHIOT, V. NIESS, P. ROSNET ET L-P. SAYS

La thématique « Gravitation » a été identifiée comme l’ensemble des activités de recherche en connexion avec la théorie de la Relativité Générale. Une subdivision possible en trois grandes sous thématiques permet de distinguer :

- i. les fondements de la Relativité Générale,
- ii. les effets locaux de la Relativité Générale en astrophysique et astroparticules
- iii. et les effets globaux en cosmologie.

Le dernier rapport de l’APPEC (*European Astroparticle Physics Strategy, 2017-2026*<sup>3</sup>) a constitué une base pour la réflexion du groupe. Comme précisé dans l’annexe A, le groupe de travail s’est réuni à trois reprises et les réflexions ont été accompagnées sur les six derniers mois par six séminaires de laboratoire.

Les discussions ont porté essentiellement sur les programmes expérimentaux en essayant d’analyser les intérêts scientifiques, ainsi que les opportunités associées à la faisabilité en terme de forces. Etant donné le vaste domaine que recouvre la thématique « Gravitation », un focus a été mis sur les programmes qui sont (ou susceptibles d’être) intégrés à la politique scientifique de l’IN2P3, et encore sans être exhaustif. Une sélection de programmes expérimentaux ou observationnels est donnée en annexe B avec leurs principales caractéristiques, et un planning (approximatif) de ces programmes complète la vue d’ensemble.

### 4.1 Fondement de la Relativité Générale

Les fondements de la Relativité Générale peuvent être testés à travers des expériences pionnières comme les expériences de détection des ondes gravitationnelles (LIGO/Virgo) ou avec des expériences de précision, par exemple du principe d’équivalence (Microscope ou Laser Lune).

Au-delà de leur découverte et de la mise en évidence de nouveaux phénomènes astrophysiques (fusion de trous noirs ou d’étoiles à neutrons), les ondes gravitationnelles ont permis de confirmer que leur vitesse de propagation est la même que celle de la lumière, comme prédit par de la Relativité Générale, mais pas par certaines théories alternatives. Ces découvertes ont dynamisé la communauté qui est très active pour l’élaboration des programmes futurs. Il y a en premier lieu un programme d’upgrade des détecteurs existants, comme AdvancedVirgo+ (AdV+), ainsi qu’une réflexion pour des programmes plus futurs, aussi bien au sol avec le Einstein Telescope (ET) que dans l’espace avec la mission LISA. Ces programmes sont complémentaires en terme de domaine en fréquence de détection des ondes gravitationnelles. De plus, le développement d’un détecteur au Japon, mais également en Inde, permettra d’affiner le pointage des sources des ondes gravitationnelles à l’horizon de AdV+.

Des expériences en laboratoire de test de la gravitation sur l’antimatière constituent une approche alternative pour sonder la physique au-delà des théories standard. L’expertise acquise par le CERN pour

---

<sup>3</sup> <http://www.appec.org/roadmap>

produire des atomes d'antihydrogène et donc développer un programme de recherche autour de cette question est un atout indéniable pour un laboratoire IN2P3.

## 4.2 Astrophysique et astroparticules

Historiquement, l'astrophysique est un domaine de recherche adressé par l'INSU, mais depuis une bonne vingtaine d'année, le développement des astroparticules à l'IN2P3 a rendu les frontières moins étanches. Les grandes questions scientifiques sont multiples : origine des rayons cosmiques de ultra-haute énergie, nature de la matière noire dans l'Univers ...

Ce domaine au sens large met en œuvre des instruments pour détecter tous les types de signaux envoyés par l'Univers : signaux électromagnétiques sur toute la plage de longueurs d'ondes, de la radio (SKA) aux gammas (Fermi, HESS et CTA), étude du rayonnement cosmique chargé (AMS et Observatoire Auger) et des neutrinos d'origine cosmiques (KM3NeT et GRAND). Cette thématique inclut également les recherches de détection directe de matière noire (EDELWEISS, XENON et DAMIC).

## 4.3 Cosmologie

D'un point de vue observationnelle, les programmes de cosmologie sont de deux grands types : les programmes de mesure du fond cosmologique micro-onde (CMB) et les grands relevés.

L'étude fine du CMB par la mission Planck a permis de confirmer la cohérence du modèle standard de la cosmologie ( $\Lambda$ CDM), i.e. un Univers plat dominé dans la phase actuelle par l'énergie noire et la matière noire. La prochaine génération des programmes (QUBIC et NIKA2) doit essayer de mesurer les modes dits B du CMB qui sont censés encoder l'emprunte des ondes gravitationnelles supposées avoir été produites pendant la période d'inflation. Ces projets permettraient ainsi de sonder indirectement l'Univers très primordial.

Les grands relevés ont pour but de caractériser l'Univers à grande échelle pour en déterminer son contenu et ainsi affiner le scénario de son histoire au regard des modèles cosmologiques. La méthodologie consiste à étudier le taux d'expansion de l'Univers à l'aide de règles standardisées ou standardisables, supernovae de type Ia (SNIa) et oscillations acoustiques de baryons (BAO), mais aussi le taux de croissance des structures via le lentillage gravitationnel faible et le comptage des clusters. Les projets qui mettent en œuvre ses méthodes sont soit focalisés sur une seule sonde, par exemple les SNIa (SNFactory et ZTF) ou les BAO (DESY), ou ont une approche multi-sondes, comme les relevés LSST (Chili) et Euclid (ESA), ou le projet futur WFIRST (NASA). Avec leur approche plus globale, les relevés de 4<sup>ème</sup> génération devraient permettre de gagner pratiquement un ordre de grandeur sur les contraintes cosmologiques liées à l'énergie noire.

## 4.4 Perspectives au LPC

La plus part des projets mentionnés ci-dessus s'appuient sur des grandes collaborations (plusieurs centaines de personnes) qui souvent ont acquis une grande expertise expérimentale autour de leur instrumentation ou du traitement des données associées. Dans ce contexte, rejoindre un tel projet constitue un challenge fort qui nécessite certainement une masse critique de physiciens (typiquement 3 FTE) pour pouvoir compter avoir un impact.

Parmi les projets mentionnés certains méritent quelques précisions.

- Le LPC possède une expérience dans le domaine des astroparticules à travers sa participation au projet ANTARES (prédécesseur de KM3NeT) et de façon individuel au projet TREND (prédécesseur de GRAND). La participation individuelle à GRAND est toujours d'actualité, entre autre pour la rédaction d'un *White Paper* qui doit être publié à l'automne. Le futur de cette activité au LPC est incertain, étant donné que GRAND est un projet qui pour l'instant n'entre pas dans la politique scientifique de l'IN2P3.
- Le LPC est engagé dans les projets de cosmologie observationnelle LSST (futur à plus de 10 ans) et ZTF (pour les 5 ans à venir) avec une cohérence scientifique autour de la sonde SNIa. Le groupe LSST est constitué de 5 permanents avec des responsabilités grandissantes dans LSST, sachant que ZTF constitue un environnement de préparation à la science de LSST avec une complémentarité en terme de redshift. À terme, le groupe envisage d'investiguer une sonde autre que les SNIa et reste ouvert aux opportunités possibles autour du projet WFIRST.
- La collaboration Virgo pour son projet d'upgrade Adv+ essayent d'intégrer de nouveaux groupes, en particulier pour développer les aspects software liés à l'analyse de données, i.e. dont l'expertise est certainement moins particulière que celle liée à l'instrument. La science des ondes gravitationnelles étant sans aucun doute un domaine phare du futur, une attention particulière doit être donnée à cette opportunité. Par ailleurs, une des grandes thématiques mise en avant pour le futur est l'astronomie multi-messagers qui pourra mettre en corrélation tous les types d'observations de l'Univers (astronomie visible, radioastronomie, astronomie neutrinos, ondes gravitationnelles ...) pour une compréhension approfondie des événements astrophysiques violents dans l'Univers, comme l'a montré l'événement de fusion d'étoiles à neutrons en août 2017. Dans cette perspective, le couplage entre détecteurs d'ondes gravitationnelles (comme Adv+) et les télescopes des grands relevés (comme LSST) pourrait constituer une opportunité avec un impact scientifique fort.
- Les expériences de gravitation en laboratoire se distinguent des grands projets : petites collaborations (quelques dizaines de personnes) et durée limitée (quelques années initialement). Elles constituent ainsi une bonne opportunité pour une petite équipe, mais le timing nécessite une décision extrêmement rapide.

Pour conclure, le domaine de la « Gravitation » est en pleine ébullition et promet dans un futur proche et plus lointain des résultats scientifiques marquants. Le groupe de travail « Gravitation » souhaite ainsi poursuivre son activité de veille scientifique et des séminaires sont programmés pour l'automne 2018 (projets DAMIC-M et SKA).

## Annexe A

### Réunions du groupe de travail « Gravitation » (<https://indico.in2p3.fr/category/805/>)

- 23/03/2018
  - Définition des contours scientifiques du groupe de travail
  - Elaboration de la liste des thématiques que le groupe souhaite approfondir
  - Programmation de séminaires pour alimenter les réflexions
- 06/04/2018
  - Présentation du projet GRAND (Valentin)
  - Tour d'horizon de projets phares soutenus par l'IN2P3 et de projets à plus long terme en gestation dans la communauté
- 27/04/2018
  - Présentation des activités du groupe LSST (Emmanuel)
  - Discussion de séminaires envisagés sur la durée

### Séminaires du LPC sur la thématique « Gravitation »

- 17/01/2018 – Nicolas ARNAUD  
Gravitational waves don't go on holiday! The week of the 15th of August seen from the perspective of the Virgo experiment
- 16/02/2018 – Cyril TRICHARD  
Résultats récents sur l'origine des rayons cosmiques galactiques avec H.E.S.S.
- 16/03/2018 – Anais Möller  
The Dark Energy Survey Supernova Program and the Australian OzDES Survey
- 27/04/2018 – Olivier Minazzoli  
Test of the equivalence principle with Lunar laser ranging
- 18/05/2018 – Charling TAO

## Détection directe de matière noire

- 06/07/2018 – Benoit Clément

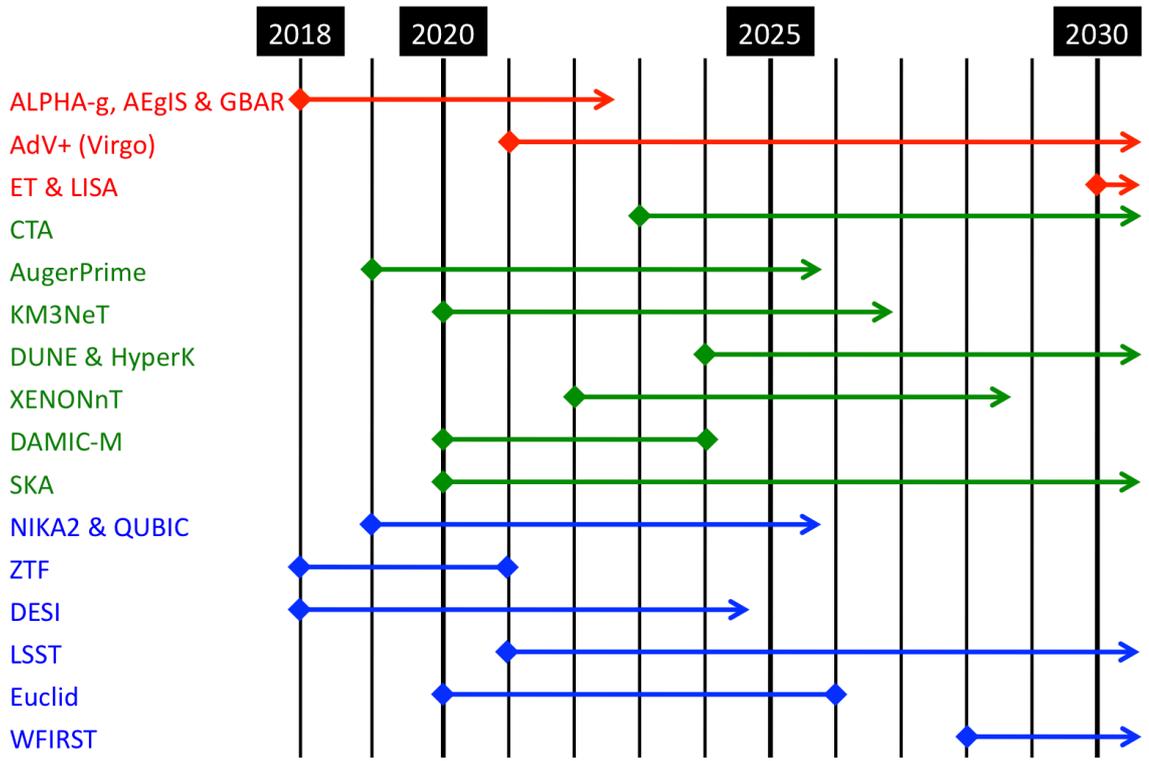
Expériences de gravitation en laboratoire

## Annexe B

Présentation succincte de programmes expérimentaux ou observationnels sur les **fondements de la Relativité Générale** (en rouge), d'**astrophysique et astroparticules** (en vert) et de **cosmologie** (en bleu). Un planning approximatif résume l'ensemble de ces projets.

- **Laboratory experiments** (CERN) measuring **gravitational effect on antihydrogen** atoms using different techniques
  - **ALPA-g**: release H-bar from a vertical magnetic atom trap and record their positions when they annihilate on the walls of the experiment
  - **AEgIS** (Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy): vertical deviation of a pulsed horizontal beam of cold H-bar
  - **GBAR** (Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest): free fall of ultra-slow H-bar
- **Gravitational-wave astronomy** based on interferometer
  - **Adv+** (Advanced-Virgo+, Italy, Pisa): **high-frequency** (50 – 500 Hz) upgraded advanced-Virgo (two arms of 3 km)
  - **ET** (Einstein Telescope, European Gravitational Observatory, location ?): **high-frequency** (10 – 2000 Hz) underground-interferometer with three arms of 10 km
  - **LISA** (Laser Interferometer Space Antenna, ESA, L1 position): **low-frequency** ( $2 \times 10^{-5}$  – 0.1 Hz) space-interferometer with three arms of  $2.5 \times 10^6$  km
- **CTA** (Cherenkov Telescope Array, Chile and Spain): **high-energy  $\gamma$ -ray** (20 GeV – 300 TeV) to probe WIMPS from annihilation processes at TeV masses
- **AugerPrime** (Argentina): upgrade of Auger with additional detector to measure air shower content (e &  $\mu$ ) to determine the nature of primary **ultra-high-energy cosmic ray** (proton or nuclei)
- **KM3NeT** (Mediterranean Sea):  **$\nu$ -telescope** with two instruments
  - ARCA (Greece) for high-energy (PeV scale) astrophysics neutrino
  - ORCA (Toulon) for low-energy (GeV scale) to determine mass hierarchy
- **DUNE** (US, FermiLab) & **HyperK** (Japan):  $\nu$  long-baseline accelerator experiment with giant detector useful for **astrophysics  $\nu$ 's** with complementary technologies (40 k-ton liq-Ar for DUNE and 1 M-ton water for HyperK)
- **XENONnT** (8 ton of Xe, Gran Sasso, Italy), **EURECA** (European Underground Rare Event Calorimeter Array, 1 ton cryogenic EDELWEISS-like, Modane) and **DAMIC-M** (Dark Matter in CCDs with 1 kg, SNOLAB, Canada): search for **dark matter (WIMPS) detection** via scattering by nuclei giving light-flashes, ionization and/or heat signal

- **SKA** (Square Kilometre Array, South-Africa & Australia): radio telescope (0.1 – 25 GHz) of thousands of antenna covering the size of a continent
- **QUBIC** (Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology, Argentina) and **NIKA2** (New Iram Kid Array-2, Spain): measurement of **B-mode in CMB** with high-angular resolution ground-based telescopes (150 – 260 GHz) giving access to **gravitational waves produced during inflation period**; but require subtraction of B-mode due to E-mode lensing by wide-frequency range space telescopes (or balloon flights)
- **ZTF** (Zwicky Transient Facility, US, Mont Palomar): Supernovae Ia (SNe Ia) low-redshift ( $z < 0.05$ ) survey to measure local expansion rate, i.e. **Hubble constant**, prerequisite for cosmic scale studies
- **DESI** (Dark Energy Spectroscopic Instrument, US, Kitt Peak National Observatory): measurement of Baryon Acoustic Oscillations (BAO) to map the **expansion rate of the Universe** over large redshift range  $0.5 < z < 3$
- **LSST** (Large Synoptic Survey Telescope, Chile) and **Euclid** (ESA): **multi-probe surveys** to map the Universe expansion (SN Ia and BAO) and structure growth rate (weak lensing and cluster counting and weighting) to constrain **dark energy** and measure dark matter over a large redshift interval  $z < 3$
- **WFIRST** (Wilde Field Infrared Survey Telescope, NASA): like Euclid, but with a mirror of 2.4 m (instead of 1.2 m) and more dedicated to infrared domain



## 5 Groupe de travail « Machine Learning »

In the last two months we had two meetings where we discussed the current status and interest of the local community in the field of Machine Learning.

In our first meeting, where 9 people were present, we identified that there is an increasing interest from different groups in the lab (specifically, in this meeting we had people from LSST, ATLAS and ALICE) in using and/or advancing their current knowledge in machine learning. Although we also agree despite the potential in machine learning techniques for the science cases being investigated, the local community is very diverse when it comes to expectations and experience in implementation.

As a consequence we concluded that, in order to enable any real interdisciplinary collaboration within the local community, we should first provide the resources to level the plainfield. We put together a year-long plan where we will discuss the motivations, provide introductory training and identify a data case which is interesting enough to engage the local community. The plan culminates in the realization of a local data challenge event - where different individuals will have the opportunity to apply a large variety of machine learning algorithms to the same data set.

### 0: Know your neighbor

- From April to July/2018 we shall have 1 meeting per month with the local core group. The goal of these meetings is to clarify what are the problems faced by each of us, which techniques are applied to the current problems and what are the challenges we aimed to surpass. In each meeting, two of us present our science cases.

### 1: Building a common ground

- This step consists in inviting external speakers to present the case of more broad science questions than the ones discussed in stage 0. This activities already began in the first semester and will continue through autumn/2018. The goal is to construct in the local community a global picture of data science applications.
- This stage will be finalized with a 1-day workshop (to be held in the end of 2018) to sediment the theoretical background necessary to efficiently use machine learning applications. This would include discussions on pre-processing, visualization, scalability and the complete data science workflow.

### 2: Gather data and tools

- At the end of stage 1 we intend to have identified the data scenarios which are of most interest for the local community. From January-April 2019, we shall choose one or two public data sets as a case study and through 1 meetings per month to provide tutorials on most common tools used by each community (codes, algorithms, platforms) as well as showing how to translate between them.
- This stage will also end with a 1 day workshop in order to summarize the science case and engage the local community for stage 3.

### 3: The challenge

- Between May-June 2019 we will prepare, as a community and in collaboration with the developers of the RAMP platform, a data challenge based in the results from the previous stages. This would be a competition between different individuals and/or small groups to achieve optimal performance in a public data set of choice.
- The challenge event last for 1 entire day (ideally before summer vacations 2019). The leader board can stay open for a little longer in order to allow individuals to re-think the issue outside the workshop. Symbolic prizes can be given to the ones achieving higher performance.

In summary, there is a great will in the local community of be more engaged in machine learning activities - but the group needs a push. The plan briefly described above is our proposal - not only to provide the pedagogical resources needed for further machine learning research, but also to build a sense of community between those interested in this subject.

The challenge itself is not important due to its final result, but due to the bond created between those who participate in its planning and conception. This sense of community allied with the scientific resources shared in this year long plan will certainly help the productive collaboration between local researchers.

A detailed summary of all the meetings is available at:

<https://docs.google.com/document/d/1GZoTxkd4-iniqVxGrjVCTM5Stt7SujPkfFarlHljKhl/edit?usp=sharing>