

Groupe physique théorique :

**Théorie et phénoménologie des particules**

---

# Raison d'être

Les **progrès en physique** requièrent d'une part des **tests expérimentaux** et d'autre part des **interprétations théoriques**.

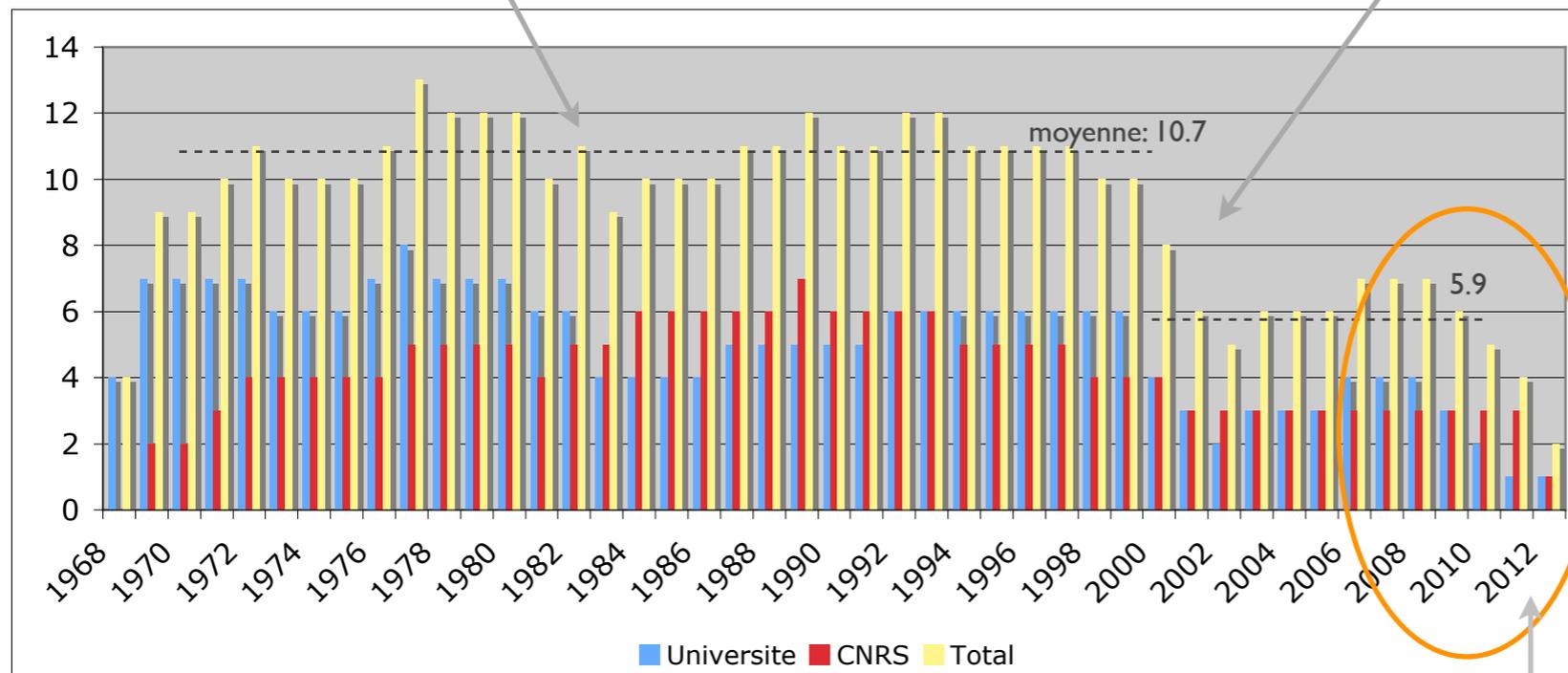
- Le boson de Higgs était prédit il y a 40+ ans, mais c'était sa découverte au LHC qui a mené au prix Nobel.
- Par ailleurs, la découverte d'une nouvelle particule sans comprendre son rôle dans la brisure de la symétrie électrofaible ne nous apprendra pas grande chose ....

# Historique du groupe

Les progrès en physique requièrent d'une part des tests expérimentaux et d'autre part des interprétations théoriques → longue tradition d'un groupe de physique théorique au LPSC

Jusqu'à ~2000 autour de 10-12 membres permanents  
thématiques principaux: physique nucléaire et hadronique

Une vague des départs en retraite motive  
une reconstitution autour de thématiques  
modernes



**Jaume Carbonell monte une  
activité QCD sur réseaux**

**Embauches de M. Klasen (PR),  
puis I. Schienbein (MCF) et  
S. Kraml (CNRS) pour lancer  
une activité particules / LHC**

**En 2009 :**  
**groupe solide avec 6 permanents**  
**- physique nucl./hadronique et**  
**- physique des particules**

Départs catastrophiques en 2010-2011:  
le groupe est réduit à 2 membres permanents,  
il faut reconstruire ...

## Physique nucléaire et few-body

*J. Carbonell, J.M. Richard, B. Silvestre-Brac*

- **Auxiliary field method** : méthode originale développée au LPSC, permet d'obtenir des équations analytiques pour des systèmes quantiques
- Problèmes à deux corps ou à N corps non-relativiste ou semi-relativiste
- **Revue** sur la spectroscopie des baryons  
Rev.Mod.Phys. 82 (2010) 1095  
**TopCite100+**
- Etudes de la **spectroscopie des systèmes multi-quarks** : possibilité d'avoir des systèmes liés à quatre ou cinq quarks stables.

Nouvelle importance avec la découverte toute récente par le CERN du Z(4430), potentiel état tétra-quark.

## QCD sur réseaux

*J. Carbonell, J.C. Angles-d'Auriac, 2 postdocs, 2 thésards*

- Spectre des baryons, fonctions de structure du nucléon avec **quatre saveurs de quarks dynamiques**
- Facteurs de forme électromagnétiques, premiers moments des distributions de partons généralisées
- European Twisted Mass Collaboration (ETMC) : **constantes de renormalisation**
- Calcul de la **constante de couplage fort  $\alpha_s$**  avec quatre saveurs de quarks dynamiques  
**Phys.Rev.Lett. 108 (2012)**

## Phénoménologie des particules

*M. Klasen, S. Kraml, I. Schienbein, 3 postdocs, 3 thésards*

- **QCD** perturbative, **calculs de précision** (à 1-2 boucles, resommation) pour la physique du LHC
- Distributions partoniques (**PDFs**)
- Théorie et phénoménologie de la **supersymétrie**, allant des théories unifiées aux signatures expérimentales
- **Matière noire** supersymétrique

## Phénoménologie des particules

*M. Klasen, S. Kraml, I. Schienbein, 3 postdocs, 3 thésards*

- Calculs de précision pour la physique du LHC

- Production de paires de top @ NNLO
- Corr. QCD-électrofaibles à la production de W et Z
- Production des saveurs lourds (mésons D et B)
- Production diffractive des jets
- Production de  $tH^-$  dans MC@NLO et POWHEG

- Théorie et phénoménologie de la supersymétrie

- Resommation  $p_T$  pour la production es jauginos
- Série d'études de l'unification des couplages de Yukawa dans modèles SO(10): signatures caractéristiques aux collisionneurs, conséquences cosmologiques
- SUSY en dimensions supplémentaires, unification jauge-Higgs possible en SUSY
- Signatures difficiles pour le LHC

- Matière noire supersymétrique

- Corrections QCD pour (co-)annihilation des neutralinos
- Candidats alternatifs: mélange axion/axino, sneutrino droit

- Distributions partoniques (PDFs)

- Analyse globale de PDF nucléaires nCTEQ
- Comparaison des effets nucléaires en DIS electron-noyau avec neutrino-noyau
- Analyse des incertitudes dues au quark étrange

Phys.Rev. D80 (2009)

83 citations

Phys.Rev.Lett. 106 (2011)

62 citations

JCAP 0902 (2009) 002

55 citations

# 5 départs en 2010-2011

1 départ en retraite, 4 mutations

## Physique nucléaire et few-body

*J. Carbonell, J.M. Richard, B. Silvestre-Brac*

- **Auxiliary field method** originale développée d'obtenir des équations des systèmes quantiques

- Problèmes à deux corps ou à N corps non-relativiste ou semi-relativiste

- **Revue** sur la spectroscopie des baryons  
Rev.Mod.Phys. 82 (2010) 1095  
**TopCite100+**

- Etudes de la **spectroscopie des systèmes multi-quarks** : possibilité d'avoir des systèmes liés à quatre ou cinq quarks stables.

Nouvelle importance avec la découverte toute récente par le CERN du Z(4430), potentiel état tétra-quark.

## QCD sur réseaux

*J. Carbonell, J.C. Angles-d'Auriac, 2 postdocs, 2 thésards*

- Spectre des baryons, fonctions de structure du nucléon

Mi-2011 le groupe se trouve avec 2 membres permanents, 3 CDDs et 3 étudiants.

### What now ?

#### constantes de renormalisation

- Calcul de la **constante de couplage fort  $\alpha_s$**  avec quatre saveurs de quarks dynamiques

**Phys.Rev.Lett. 108 (2012)**

## Phénoménologie des particules

*M. Klasen, S. Kraml, I. Schienbein, 3 postdocs, 3 thésards*

- **QCD perturbative, calculs de précision** (à 1-2 boucles, resommation) pour la physique du LHC
- Distributions partoniques (**PDFs**)
- Théorie et phénoménologie de la **supersymétrie**, allant des théories unifiées aux signatures expérimentales
- **Matière noire** supersymétrique

# Reconstitution du groupe

2011: Après délibération avec le directeur du laboratoire la direction de l'IN2P3, il fut décidé de reconstruire le groupe autour de **deux activités centrales**

- **Chromodynamique quantique : QCD perturbative**

- Distributions partoniques (PDFs)
- Calculs de précision ( = calculs au-delà de l'ordre dominant )
- Production des quarks lourds

- **Physique au-delà du Modèle Standard (BSM)**

- Physique du Higgs (Higgs non-standard, secteur de Higgs élargi, etc.)
- Théorie et phénoménologie de la supersymétrie
- Théories de grande unification
- Matière noire

Support de l'IN2P3 par un poste CR1 fleché (02/03)  
→ embouche de Christopher Smith en 2012

La phénoménologie : l'utilisation des théories de la physique des particules pour prédire ou comprendre les résultats expérimentaux

# Le groupe actuel

- 4 membres permanents

- Sabine Kraml : DR2, Sect. 02
- Ingo Schienbein : MC UJF
- Christopher Smith : CR1, Sect. 02 (embauché 2012)
- Mariane Mangin-Brinet : CR1, Sect. 01 (ancien membre du groupe AMS)  
en congé maladie/maternité depuis juin 2014

- 3 postdocs

- Guillaume Chalons : CDD Théorie-LHC-France (2013-2016)
- Dipan Sengupta : postdoc ANR (2014-2015)
- Aleksander Kusina : CDD Théorie-LHC-France (2014-2017)

- 4 thésards

- Josselin Proudom : bourse Enigmass, soutenance prévu 2015
- Jeremy Bernon : bourse Enigmass, soutenance prévu 2016
- Ursula Laa : bourse Enigmass, soutenance prévu 2017
- Gabin Gbedo : bourse Jean-Pierre Aguilar, soutenance prévu 2017

Groupe jeune et dynamique, très actif, assez bien équilibré entre QCD et BSM.

# Thèses soutenues

- [Pierre-Antoine Harraud](#) (2010) : *Etude de la structure du nucléon par des calculs de QCD sur réseau avec des fermions de masse twistée.*
- [Vincent Drach](#) (2010) : *Dynamical twisted mass fermions and baryon spectroscopy.*

---

- [Carole Weydert](#) (2011) : *Search for a charged Higgs boson with the ATLAS detector : from theory to experiment* These à cheval entre théorie et ATLAS
- [Sylvain Fichet](#) (2011) : *Aspects of extra dimensional supersymmetric unified theories.*

---

- [Quentin Le Boul'ch](#) (2013) : *Neutralino-stop coannihilation in the MSSM: flavor violation, radiative corrections and their impact on the dark matter relic density.*
- [Tomas Jezo](#) (2013) :  *$Z'$  and  $W'$  gauge bosons in  $SU(2) \times SU(2) \times U(1)$  gauge models: collider phenomenology at LO and NLO QCD.*
- [Zhaoting Pan](#) (2013) : *NNLO mixed QCD-EW corrections to the Drell-Yan production of Z and W bosons.*

---

- [Florian Lyonnet](#) (2014) : *New heavy resonances: From the Electroweak to the Planck scale.*
- [Beranger Dumont](#) (2014) : *Higgs, Supersymmetry and Dark Matter after Run I of the LHC.*

## Activité QCD

- **Inclusive Charmed-Meson Production at the CERN LHC**

B. A. Kniehl, G. Kramer, [I. Schienbein](#), H. Spiesberger

arXiv:1202.0439, Eur.Phys.J. C72 (2012) 2082 **TopCite50+**

### Open heavy-flavor production

- Important for cosmic ray physics as well as for heavy ion physics
- Theoretically interesting because it's a multi-scale problem

- **Update on nCTEQ PDFs: nuclear PDF uncertainties and LHC applications**

[A. Kusina](#), [K. Kovarik](#), [T. Jezo](#), D.B. Clark, F.I. Olness, [I. Schienbein](#), J.Y. Yu

arXiv:1408.1114, PoS (DIS2014) 047

### Parton Distribution Functions

- Crucial for understanding the structure of the nucleus
- Important tool for LHC physics; determine theoretical uncertainties

- **NLO+NLL limits on  $W'$  and  $Z'$  gauge boson masses in general extensions of the SM**

[T. Jezo](#), [M. Klasen](#), D.R. Lamprea, [F. Lyonnet](#), [I. Schienbein](#)

arXiv:1410.4692, JHEP 1412 (2014) 092

### Precision calculations

- Important for accurate predictions of signal and BG cross sections
- New NLO+NLL limits on  $W'$  and  $Z'$  boson masses by reinterpreting the latest ATLAS and CMS results in general extensions of the SM

- **Characterizing New Physics with Polarized Beams at High-Energy Hadron Colliders**

B. Fuks, [J. Proudom](#), J. Rojo, [I. Schienbein](#)

arXiv:1403.2383, JHEP 1405 (2014) 045

### Prospective study for 100 TeV

## Activité Higgs/BSM

- **Global fit to Higgs signal strengths and couplings and implications for extended Higgs sectors**

G. Belanger, [B. Dumont](#), U. Ellwanger, J. F. Gunion, [S. Kraml](#)  
 arXiv:1306.2941, Phys. Rev. D 88, 075008 (2013) **TopCite100+**

- **Constraints on and future prospects for Two-Higgs-Doublet models in light of the LHC Higgs signal**

[B. Dumont](#), J.F. Gunion, Y. Jiang, [S. Kraml](#)  
 arXiv:1405.3584, Phys. Rev. D 90, 035021 (2014) **editors' pick**

- **Interpreting LHC SUSY searches in the phenomenological MSSM**

S. Sekmen, [S. Kraml](#), et al., arXiv:1109.5119, JHEP 1202 (2012) 075 **TopCite50+**

- **SModelS: a tool for interpreting simplified-model results from the LHC and its application to supersymmetry**

[S. Kraml](#), [S. Kulkarni](#), [U. Laa](#), A. Lessa, W. Magerl, D. Proschofsky-Spindler, W. Waltenberger  
 arXiv:1312.4175, Eur.Phys.J. C74 (2014) 2868

- **Towards a public analysis database for LHC new physics searches using MadAnalysis5**

[B. Dumont](#), B. Fuks, [S. Kraml](#), S. Bein, [G. Chalons](#), E. Conte, [S. Kulkarni](#), [D. Sengupta](#), C. Wymant  
 arXiv:1407.3278, to appear in EPJC

### Implications of the 125 GeV Higgs boson

- With the discovery of the Higgs boson we focused an important part of our activities on the **theoretical implications** of this new particle
- **Global coupling fits** for testing the Higgs coupling structure and thus the SM
- **Constraints for new physics:** 2HDM, (p)MSSM, NMSSM, HDO, invisible or undetected decays
- New method for **diagnosing degenerate Higgs bosons** ([PRL article](#))
- Several **highly-cited papers:** 2 TopCite100+, 5 TopCite50+

### Interpretation of LHC new physics searches

- The ATLAS and CMS collaborations carry out an extensive program searching for new physics in many different channels.
- Results presented in terms of constrained or simplified models
- Challenge for theorists: to work out the **implications of the LHC results in the contexts of all kinds of possible BSM models**, to derive the relevant limits, point out **existing loopholes** in the current searches, and **help design new analyses** to cover them.
- Also contributes to data/analysis preservation efforts.

## Activité BSM -cont-

- **Mixed sneutrino dark matter in light of the 2011 XENON and LHC results**

[B. Dumont](#), G. Belanger, [S. Fichet](#), [S. Kraml](#), T. Schwetz  
arXiv:1206.1521, JCAP 1209 (2012) 013

- **LHC constraints on light neutralino dark matter in the MSSM**

G. Belanger, G. Drieu La Rochelle, [B. Dumont](#), R.M. Godbole, [S. Kraml](#), [S. Kulkarni](#)  
arXiv:1308.3735, Phys. Lett. B 726 (2013)

- **Constraining Higgs mediated dark matter interactions**

A. Greljo, J. Julio, J.F. Kamenik, [C. Smith](#), J. Zupan  
arXiv:1309.3561, JHEP 1311 (2013) 190

### LHC - dark matter interplay

- Remains an important activity of the group, always at the pulse of time
- Quick reaction to experimental findings

---

- **Three-generation baryon and lepton number violation at the LHC**

G. Durieux, J.-M. Gerard, F. Maltoni, [C. Smith](#)  
arXiv:1210.6598, Phys.Lett. B721 (2013) 82

- **Baryonic R-parity violation and its running**

[J. Bernon](#), [C. Smith](#)  
arXiv:1404.5496, JHEP 1407 (2014) 038

### Baryon number violation

- Baryon asymmetry of the Universe connected to TeV scale physics?
- From limits on proton decay: possible in 3rd generation only
- At LHC: same-sign top signatures
- Joint PhD project with ATLAS group

Total 89 publications de 2012 à mi-2014,  
dont 48 dans des journaux à comité de lecture

(sans PoS/proc.suppl.)

# Développement des outils

- **PyR@TE** : Python Renormalization group equations At Two-loop for Everyone

... Python code that generates the two-loop RGEs for non-supersymmetric models. Once the user specifies the gauge group and the particle content of the model, the routines automatically generate the full two-loop renormalization group equations for all parameters. ...

<http://pyrate.hepforge.org>

- **Lilith** : Light Likelihood Fit for the Higgs

... Python tool to determine the likelihood of a generic 125 GeV Higgs boson from the latest experimental data. The experimental results used are the the signal strenghts in the pure Higgs production modes as published by the ATLAS and CMS experiments ...

<http://lpsc.in2p3.fr/projects-th/lilith>

- **SModels** : a tool for interpreting simplified-model results from the LHC

... general procedure to decompose BSM collider signatures [...] into Simplified Model Spectrum (SMS) topologies. Provides a way to cast BSM predictions for the LHC in a model-independent framework, which can be directly confronted with the relevant experimental constraints. ....

<http://smodels.hephy.at>

- **MadAnalysis 5 PAD (public analysis database)**

... implementation, in the MadAnalysis 5 framework, of ATLAS and CMS searches for new physics for the purpose of recasting these analyses in any model, based on fast simulation. Can also be used for developing efficiency maps for new simplified models.

<http://madanalysis.irmp.ucl.ac.be/wiki/PhysicsAnalysisDatabase>

# Responsabilités, etc.

- **Niveau local** : conseil d'unité, conseil scientifique, organisation des colloques, séminaires théoriques, séminaires des doctorants.
- **Niveau université** : responsable des relations internationales (UJF), co-directeur du Centre de Physique Théorique de Grenoble-Alpes (CPTGA), vice-président de la section Alpes de la SFP.
- **Niveau national** : convener GDR PH-QCD, GDR Terascale, responsable Théorie-LHC-France, comité bourses CERN, expertise AERES, membres CNU section 29 et CoNRS section 02.
- **Niveau international** : nous avons mené différents groupes de travail, par exemple à DIS, aux ateliers d'été d'Aspen, ainsi qu'à différents ateliers au CERN, aux Houches, etc..
  - Responsabilité éditoriale dans le rapport "Implications of LHC Results for TeV Scale Physics" remis au "European Strategy Group" (2012).
  - Depuis 2012, workshop annuel sur "Implications of the 125 GeV Higgs boson" au LPSC.

Les membres de notre groupe sont **très sollicités pour des talks** aux workshops et conférences internationales, au point qu'il nous est impossible de répondre à toutes les demandes.

(n.b. ca concerne même nos étudiants)

# Conclusions & perspectives

- Nos travaux couvrent un **large spectre d'approches et de thématiques**, qui sont **étroitement liées aux activités expérimentales** du LPSC et de l'IN2P3 :
  - ▶ l'étude du boson de Higgs
  - ▶ la recherche de la nouvelle physique (supersymétrie et autre)
  - ▶ le contrôle des effets de l'interaction forte
  - ▶ la question de la nature de la matière noire
- Notre groupe contribue donc aux avancées dans les domaines les plus actifs et compétitifs de la physique des particules d'aujourd'hui.
  - ▶ **grande visibilité et impact international**

## **Nous poursuivrons nos activités dans le futur,**

- ▶ prenant en compte les avancées expérimentales en physique des particules, astroparticules et cosmologie,
- ▶ en réagissant promptement à toute nouvelle découverte.

# A noter

- Notre culture et fonctionnement sont **différents d'un groupe expérimental**
- Nous n'avons pas **besoin** de grands équipements mais
  - d'échanges avec nos collègues
  - des séminaires théoriques
  - des conférences et workshops (avec flexibilité)
  - matériel et support informatique
- La **taille** du groupe est toujours **sous-critique**, il faudrait 5-6 membres permanents pour un groupe stable (niveau 2009-2010).
- La charge bureaucratique ne cesse à augmenter.

# S.W.O.T.

- **Strengths:** young and dynamic team, working on the forefront of hot topics, very productive and visible, high impact
- **Weaknesses:** small number of permanent members
  - bureaucratic burdens can't be shared out much
  - limits spectrum of scientific discussions as well as our ability to respond to demands of students
  - Ratio 1:1:1 of permanent:postdoc:student gives a highly volatile situation, particularly difficult to maintain in France (no recurring postdoc funding)
- **Opportunities:** theory group in an experimental lab
  - closeness to experimentalists (ALICE, ATLAS, emerging neutrino program) can give interesting interactions
  - new discoveries in Run 2 of the LHC and/or dark matter searches ?
  - CNRS/IN2P3 position in QCD this year ??
- **Threats:**
  - **Number of permanent members:** if one person leaves, we are again at the verge of extinction.
  - **Financial situation:** a large part of our budget used to come from the Theory-LHC-France initiative; source: CFT IN2P3, funding constantly decreasing, -40% in 2015. (Note also situation with ANR.) International collaborations (PICS-US) despite excellent evaluation not renewed.
  - **2nd law of thermo-bureaucracy**