

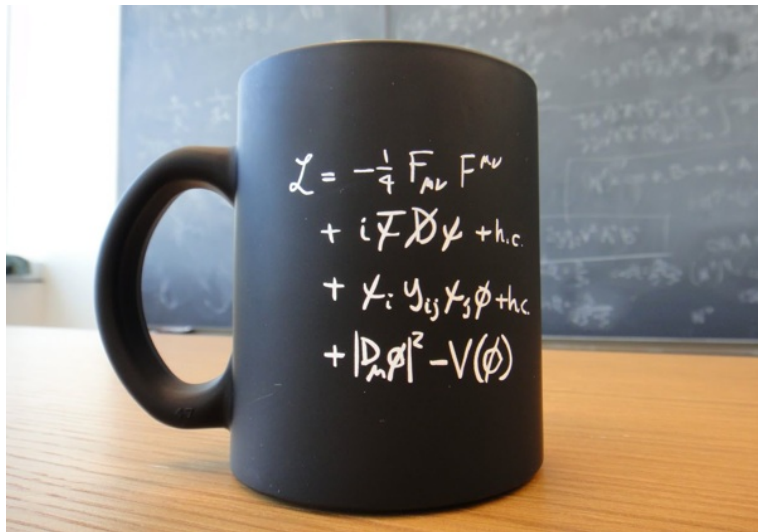
# L'apport de la Physique Théorique

Sébastien Descotes-Genon

Laboratoire de Physique Théorique (UMR 8627)  
CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay, France

60ème Anniversaire IPN et LAL,  
10 Octobre 2016







- Premiers physiciens modernes, théoriciens et expérimentateurs

# La physique théorique



- Premiers physiciens modernes, théoriciens et expérimentateurs
- Physique théorique se dégage au fil des 19ème-20ème siècles

# La physique théorique



- Premiers physiciens modernes, théoriciens et expérimentateurs
- Physique théorique se dégage au fil des 19ème-20ème siècles
- Liée à une spécialisation croissante de la recherche
  - concepts mathématiques de plus en plus raffinés
  - outils expérimentaux de plus en plus complexes

# Les physiciens théoriciens

- Une espèce “à part”
- Rares, petites collaborations, pas d'équipes techniques
- Des sentiments ambivalents auprès des autres physiciens

# Les physiciens théoriciens

- Une espèce “à part”
- Rares, petites collaborations, pas d'équipes techniques
- Des sentiments ambivalents auprès des autres physiciens



# Les physiciens théoriciens

- Une espèce “à part”
- Rares, petites collaborations, pas d'équipes techniques
- Des sentiments ambivalents auprès des autres physiciens



- Peu conventionnels ? Brillants ? Asociaux ? Irritants ?
- Des fulgurances ? Accès à des “mondes” incompréhensibles ?



# Une cible mouvante

# Une cible mouvante

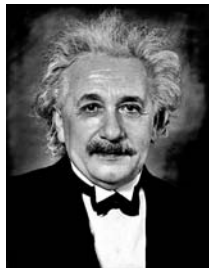
- Plutôt de la physique

?



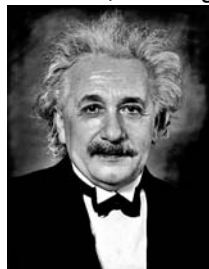
# Une cible mouvante

- Plutôt de la physique ou des mathématiques ?



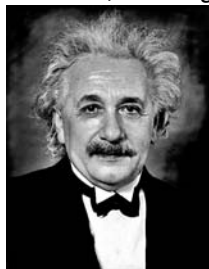
# Une cible mouvante

- Plutôt de la physique ou des mathématiques ?
  - Concepts mathématiques empruntés ou développés  
(*algèbre linéaire, symétries, groupes, statistique...*)
  - Mais comme outils et non comme fin en soi  
(*pas d'existence/unicité de solutions, convergence de séries...*)



# Une cible mouvante

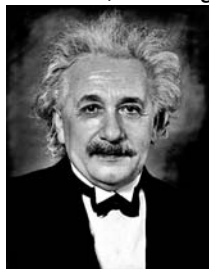
- Plutôt de la physique ou des mathématiques ?
  - Concepts mathématiques empruntés ou développés  
(*algèbre linéaire, symétries, groupes, statistique...*)
  - Mais comme outils et non comme fin en soi  
(*pas d'existence/unicité de solutions, convergence de séries...*)



- Plutôt analytique, ou plutôt synthétique ?

# Une cible mouvante

- Plutôt de la physique ou des mathématiques ?
  - Concepts mathématiques empruntés ou développés  
(*algèbre linéaire, symétries, groupes, statistique...*)
  - Mais comme outils et non comme fin en soi  
(*pas d'existence/unicité de solutions, convergence de séries...*)



- Plutôt analytique, ou plutôt synthétique ?
  - découpage en niveaux d'énergie et en objets différents  
(*physique nucléaire, physique des particules, cosmologie...*)
  - mais avec une volonté d'unification  
(*force unique, univers primordial, états quant. intermédiaires...*)

## Physique Théorique

# La physique théorique, en interaction

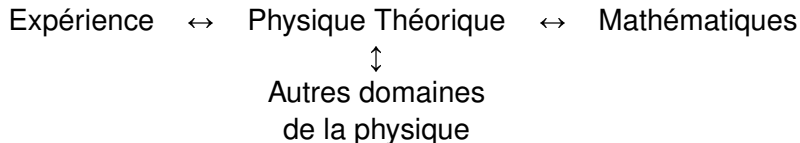
Expérience ↔ Physique Théorique



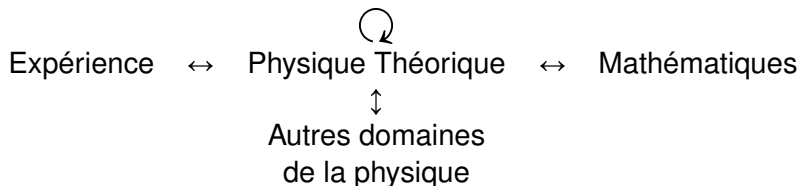
# La physique théorique, en double interaction

Expérience ↔ Physique Théorique ↔ Mathématiques

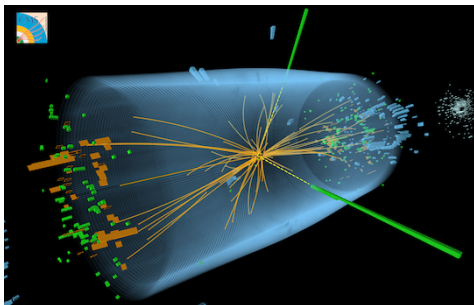
# La physique théorique, en triple interaction



# La physique théorique, en quadruple interaction



# Ça vous dit peut-être quelque chose ?

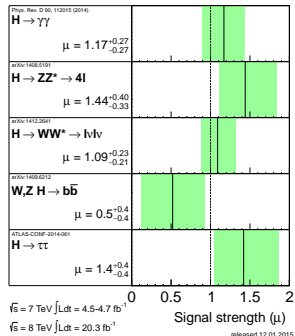


ATLAS Preliminary

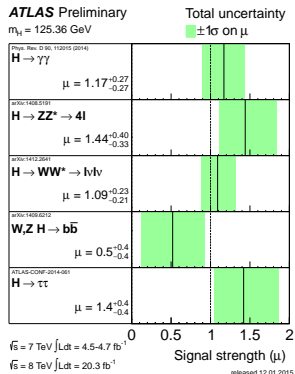
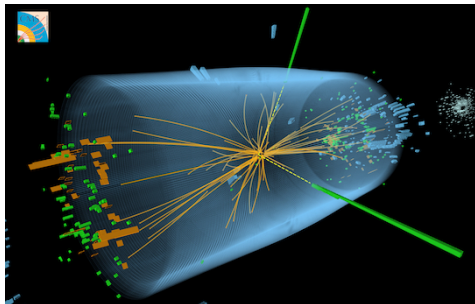
$m_H = 125.36 \text{ GeV}$

Total uncertainty

$\pm 1\sigma$  on  $\mu$



# Ça vous dit peut-être quelque chose ?



En 2012, le CERN découvre le boson H témoin du mécanisme donnant une masse aux particules du Modèle Standard, mais aboutissement de tout un parcours de physique théorique. . .

## Physique Théorique

1950's: Yang et Mills avec symétries de jauge pour 3 interactions fondamentales, si symétriques qu'interaction faible de portée infinie

# Boson H, une belle histoire de physique théorique

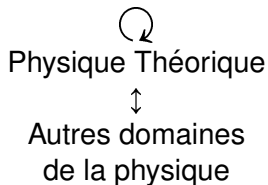
Physique Théorique



Autres domaines  
de la physique

1962: Par analogie avec supraconductivité, Anderson suggère que brisure de symétrie pourrait rendre interaction faible de portée finie

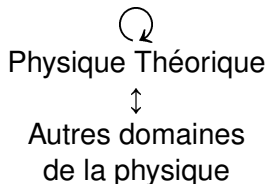
# Boson H, une belle histoire de physique théorique



1964: Modèle pleinement relativiste étudié sous divers aspects par Brout-Englert, Higgs, Guralnik-Hagen-Kibble

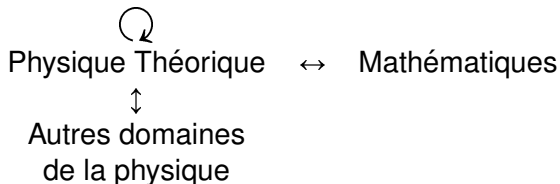


# Boson H, une belle histoire de physique théorique



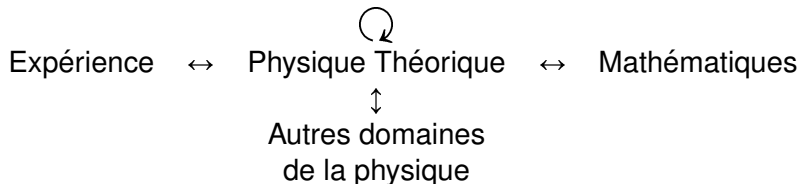
1967: Glashow, Weinberg et Salam implémentent le mécanisme pour l'interaction faible (Modèle Standard)

# Boson H, une belle histoire de physique théorique



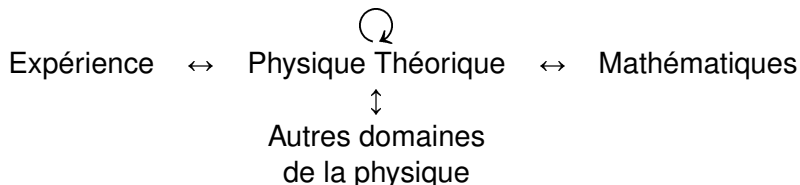
1971-72: Veltman et 't Hooft donnent la cohérence mathématique et la prédictivité (renormalisation)

# Boson H, une belle histoire de physique théorique



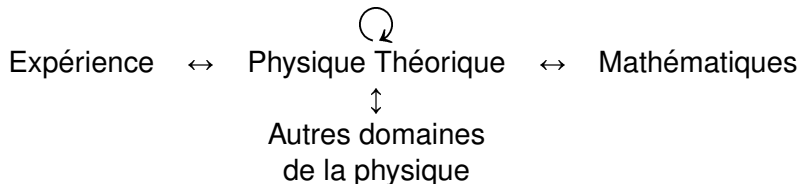
1973-2000: Confirmations expérimentales progressives de l'interaction électrofaible (Gargamelle, UA1 et UA2, LEP)

# Boson H, une belle histoire de physique théorique



Depuis 1994, l'aventure du LHC,  
avec la découverte du boson H en 2012

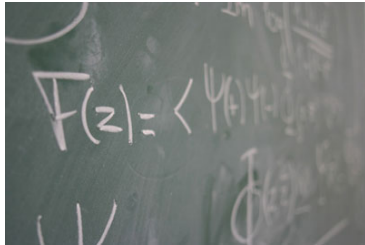
# Boson H, une belle histoire de physique théorique



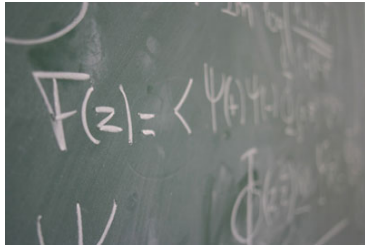
60 ans après les premières intuitions, une très belle confirmation des concepts, méthodes, outils de la physique théorique

# Des outils propres

# Des outils propres

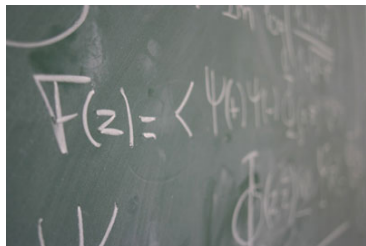

$$F(z) = \langle \psi | \psi \rangle$$

# Des outils propres





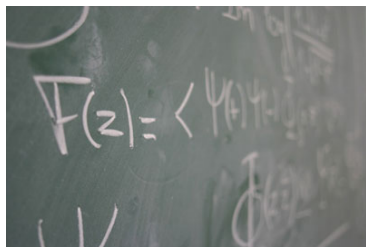
# Des outils propres



- Symétries (th. des groupes, géométrie différentielle)
- Méca quantique + Relativité = Théo Quantique des Champs
- Théories Effectives (TQC pour un domaine d'énergie limité)



# Des outils propres



- Symétries (th. des groupes, géométrie différentielle)
- Méca quantique + Relativité = Théo Quantique des Champs
- Théories Effectives (TQC pour un domaine d'énergie limité)

- Pbs à  $N$  corps (astro, grandes struct. de l'Univers, physique nucl.)
- Phénomènes hadroniques (jets aux collisionneurs, rayons cosmiques. . .)
- Théories de jauge sur réseau (violation de CP, structure des hadrons et des noyaux, plasma quark gluon. . .)



# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)

# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience

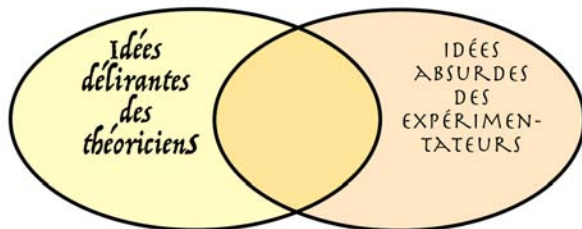
# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience



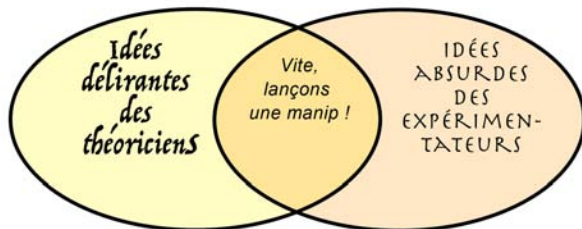
# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience



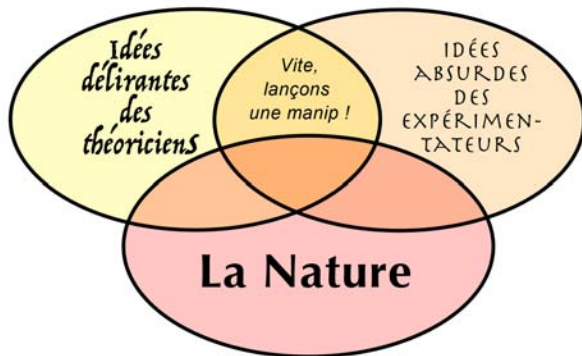
# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience



# La théorie face à l'expérience

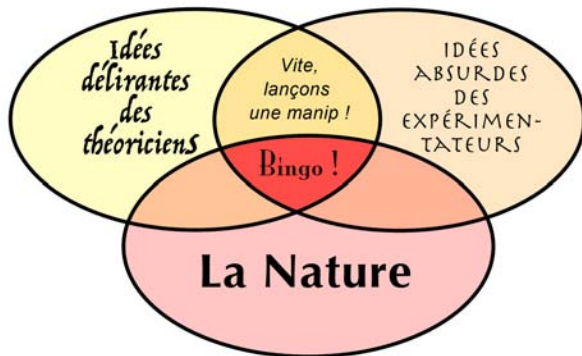
- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience





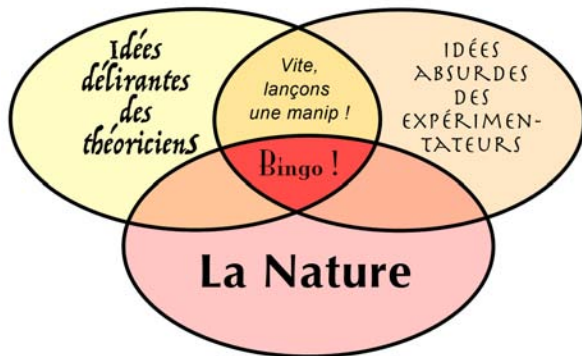
# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience



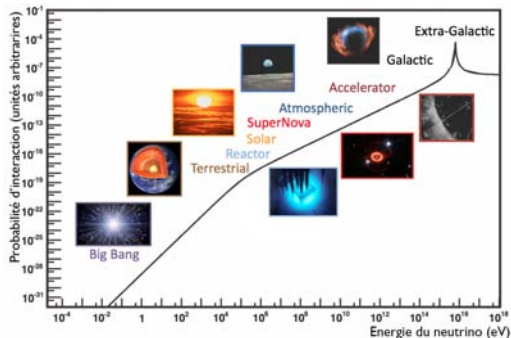
# La théorie face à l'expérience

- Approche unificatrice (objectifs d'unification des phénomènes, langage commun de la théorie quantique des champs)
- Et transverse (énergies variées, infiniment petit et infinim. grand)
- Avec ses limites (énergies, processus) et ses questionnements (simplicité, predictivité), différents de l'expérience



Dialogue et autonomie essentiels pour interactions fructueuses

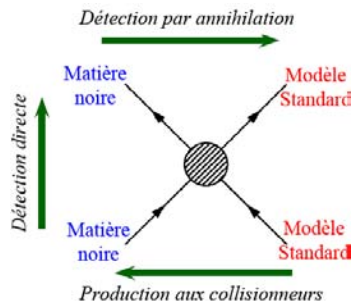
# Des terrains de jeux actuels (1)



## Neutrinos

- Vaste palette d'origines et énergies
- Modèles: masse, mélange, asymétrie CP (see-saws, stériles...)
- Désintégrations nucléaires (Dirac/Majorana, masses absolues...)
- Messenger astrophysique (supernovae, étoiles à neutrons...)
- Influence sur les premiers temps de l'Univers (CMB)

## Des terrains de jeux actuels (2)



### Matière noire

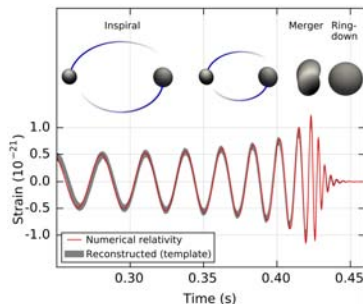
- Production sous forme de résonances (collisionneurs)
- Détection directe (bolomètres, interactions avec noyaux)
- Observations astrophysiques (raies  $\gamma$ , lentille gravitationnelle)
- Conséquences cosmologiques (grandes structures, CMB)

## Des terrains de jeux actuels (3)

Et bien des sujets offrant de nombreuses convergences

- Extensions du Modèle Standard
- Désintégrations rares (quarks, leptons)
- Asymétrie matière-antimatière
- Nucléosynthèse (primordiale, astrophysique stellaire...)
- Plasma quark gluon
- Rayons cosmiques
- Interface physique/biologie (membranes, transport...)
- < Please insert your favorite topic here >

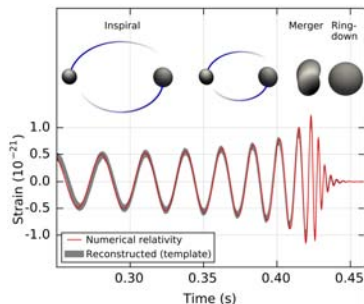
# De nouveaux domaines devant nos yeux (1)



## Premières ondes gravitationnelles détectées en 2015

- Encore une attente de longue haleine (relativité générale 1915 !)
- ... avec des confirmations intermédiaires (pulsar binaire 1974)
- Liées à phénomènes astro violents (coalescence de trous noirs)
- Visiblement un phénomène fréquent quand on sait le regarder
- ... et qui ouvre la porte à une “astronomie” nouvelle

## De nouveaux domaines devant nos yeux (2)



Nouveau terrain de jeu pour les physiciens théoriciens

- Tests de la relativité générale (y compris simulations numériques)
- Trous noirs (aspects classiques et quantiques, donc au-delà RG)
- Cosmologie (ondes grav. primordiales, polarisation du CMB)
- Développement parallèle de la gravité analogue (“rayonnement de Hawking” dans des fluides, des condensats de Bose-Einstein. . . )

# L'IPN, le LAL et la physique théorique



La physique théorique joue un rôle quotidien (apparemment) modeste

- Etude conjointe de la littérature et des résultats déjà connus
- Analyse de certains résultats expérimentaux
- Formation des étudiants, doctorants, post-doctorants. . .



# L'IPN, le LAL et la physique théorique



La physique théorique joue un rôle quotidien (apparemment) modeste

- Etude conjointe de la littérature et des résultats déjà connus
- Analyse de certains résultats expérimentaux
- Formation des étudiants, doctorants, post-doctorants. . .

Mais elle a en fait un rôle plus vaste et plus important sur le long terme

- Mise en relation de mesures venant de domaines très variés
- Proposition de voies nouvelles et de phénomènes originaux
- Définition d'objectifs sur la durée (parfois très longue)

De fructueuses interactions,  
passées et à venir,  
pour le LAL et de l'IPN  
avec la physique théorique  
et les physiciens théoriciens



Bon anniversaire !