

La magnéto-optique du vide quantique

Carlo RIZZO

Laboratoire Collision Agrégats Réactivité

Université de Toulouse, UPS

et

CNRS

UNIVERSITÉ
PAUL
SABATIER



TOULOUSE III



Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusion

L'histoire du concept de vide remonte à l'époque d'Aristote

(A. Le Noxaïc, les métamorphoses du vide, Belin - Pour la Science)

(IV siècle avant J.C.)



**« Un transport n'est possible que par un véhicule ...
Dans le vide le repos est inévitable ...
D'autre part, le vide étant un milieu de densité nulle,
un corps se déplacerait avec une vitesse infinie »**

Physique, Aristote

Aristote

VS

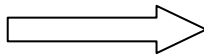
Atomistes

**« La sève se répand dans les arbres parce qu'il y a
des vides qui le permettent » De rerum natura**

Lucrece

(I siècle avant J.C.)

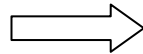
~~Atomes~~



Horror Vacui

« Je suis fort tenté de croire aux vibrations d'un fluide particulier pour la transmission de la lumière et de la chaleur. On expliquerait l'uniformité de la vitesse de la lumière comme on explique celle du son; et l'on verrait peut être dans les dérangements d'équilibre de ce fluide la cause des phénomènes électriques. » A. Fresnel (1814)

L'éther



Les ondes électromagnétiques ne peuvent pas exister sans l'éther

Maxwell J.C. (1831-1879)

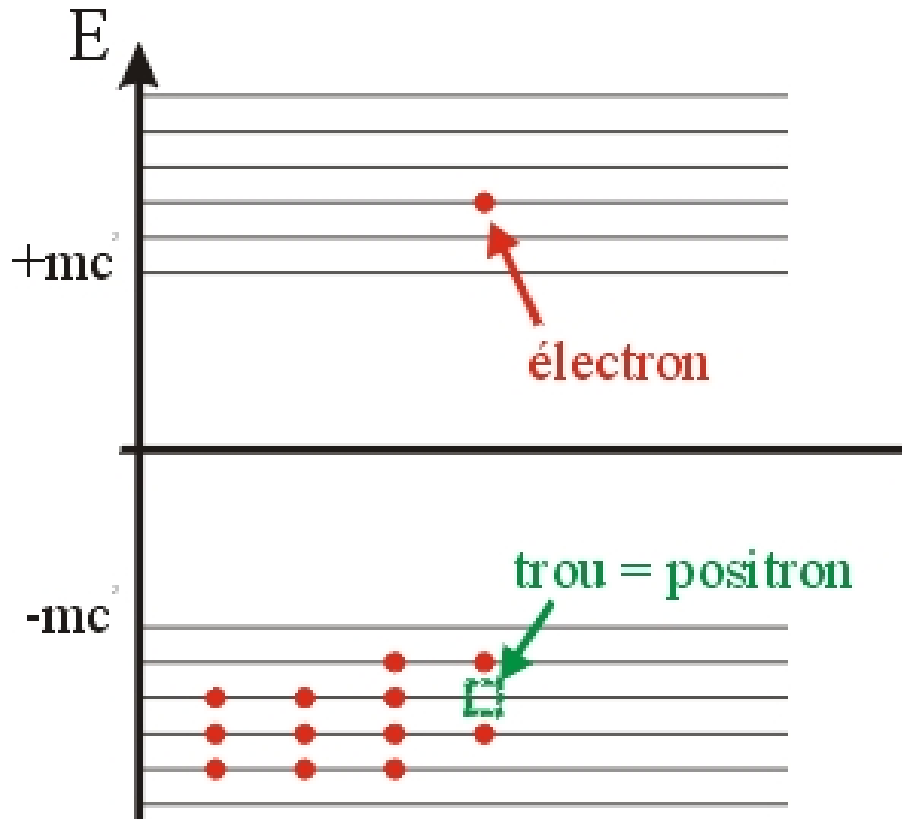
VS

Einstein A. (1879 -1955)

« l'éther, l'enfant terrible des substances physiques, n'existe tout simplement pas »

... mais est-ce vrai ?

Le modèle de Dirac du vide quantique



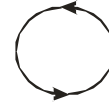
« Un électron dans un état d'énergie négative est un objet tout à fait étranger à notre expérience, mais que nous pouvons cependant étudier au point de vue théorique; ...
Admettons que dans l'univers tel que nous le connaissons, les états d'énergie négative soient presque tous occupés par des électrons, et que la distribution ainsi obtenue ne soit pas accessible à notre observation à cause de son uniformité dans toute l'étendue de l'espace. Dans ces conditions, tout état d'énergie négative non occupé représentant une rupture de cette uniformité, doit se révéler à l'observation comme une sorte de lacune. Il est possible d'admettre que ces lacunes constituent les positrons ».

P.A.M. Dirac (1902-1984)

(rapport au 7ème conseil Solvay de Physique, 1934)

Énergie = masse

Relation de Heisenberg : $\Delta t \Delta E \leq h$

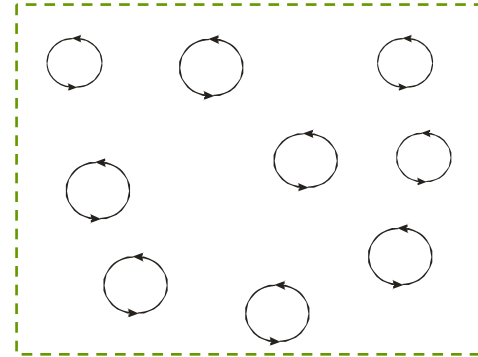


**Paire virtuelle
Électron-positron**

Vision plus moderne

**Polarisation
du vide**

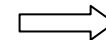
**Fluctuations du vide
quantique**



Pouvons-nous négliger cette densité d'énergie du vide quantique ? Non !

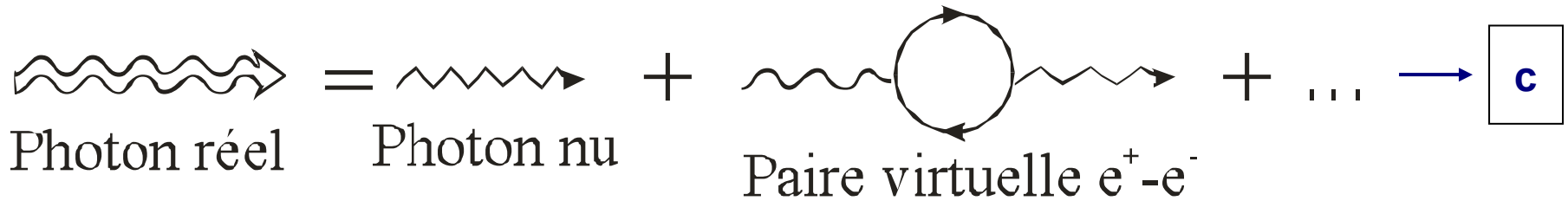
Pourquoi ne voyons-nous pas cette densité d'énergie dans le cosmos ? ?

Relativité vs Mécanique Quantique



Le photon

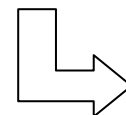
Propagation du photon dans le vide quantique :



Un photon nu a-t-il le droit d'exister ? Non ! Sa vitesse serait ∞ ou 0

On retrouve Aristote !?

Les photons ne peuvent pas exister sans le vide quantique !



Éther quantique !?

Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusion

Densité d'énergie électromagnétique du vide quantique

Le vide est invariant par Lorentz et CPT, donc

$$L = \frac{1}{2} F + aF^2 + bG^2 + \dots \quad \text{où} \quad F = \left(\varepsilon_0 E^2 - \frac{B^2}{\mu_0} \right); \quad G = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} (\mathbf{E} \cdot \mathbf{B})$$

↑
Maxwell

1935-1936 Kochel, Euler, Heisenberg

$$\frac{b}{a} = 7$$

H.Euler et K.Kochel, *Naturwiss.* **23** (1935); W.Heisenberg et H.Euler, *Z. Phys.* **38** (1936) 714

... en présence de **B** : $n_{\text{par}} \neq n_{\text{per}}$

$$\Delta n = n_{\text{par}} - n_{\text{per}} = (b - 4a) \frac{B^2}{\mu_0}$$

Z.Bialynicka-Birula et I.Bialynicki-Birula, *Phys. Rev. D* **2** (1970) 2341

Le vide quantique est un milieu optique non linéaire

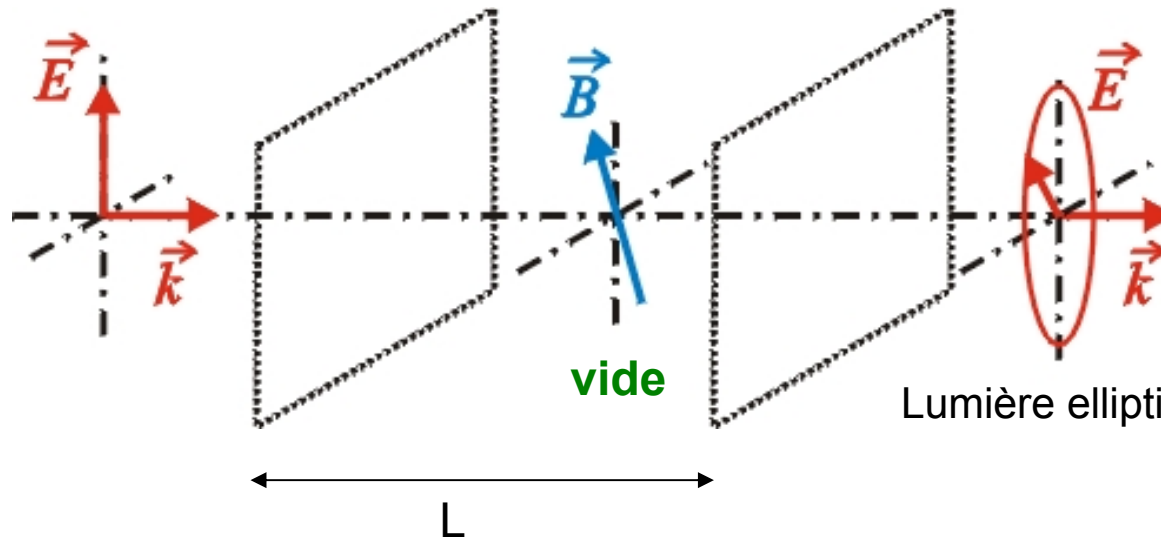
Effet Cotton-Mouton : biréfringence magnétique

Découvert par J. Kerr (1901) et Q. Majorana (1902),
caractérisé par A. Cotton et H. Mouton (1904-1914)

C.Rizzo, A.Rizzo, D.M.Bishop, *Int. Rev. Phys. Chem.* **16** (1997) 81

$$\Delta n (\text{vide}) = 4 \cdot 10^{-24} B^2 \text{ (B en Tesla)}$$

Lumière linéairement polarisée



Ψ = ellipticité

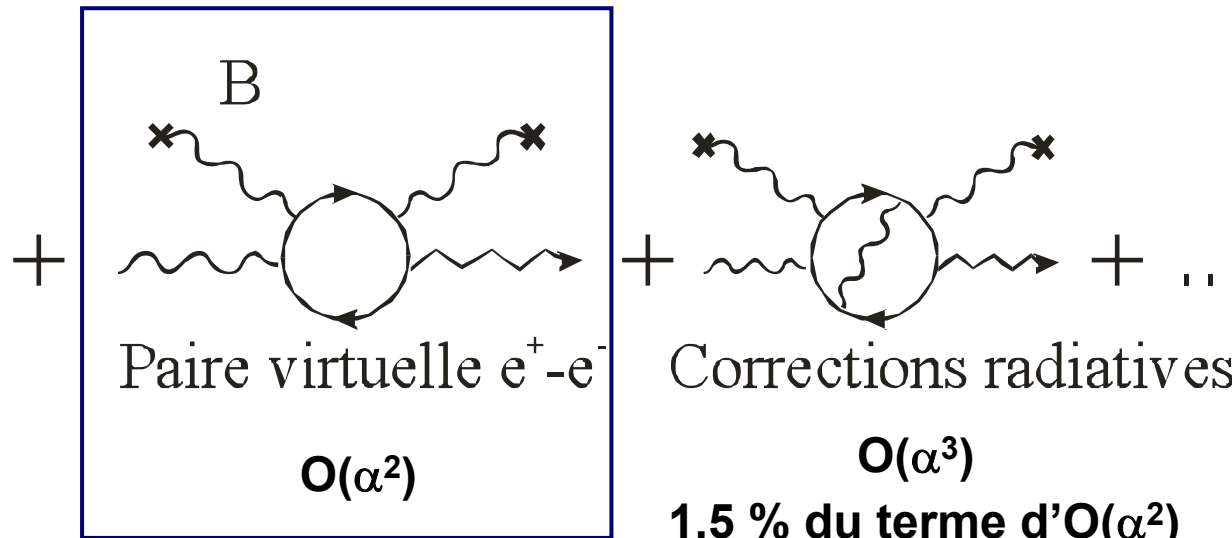
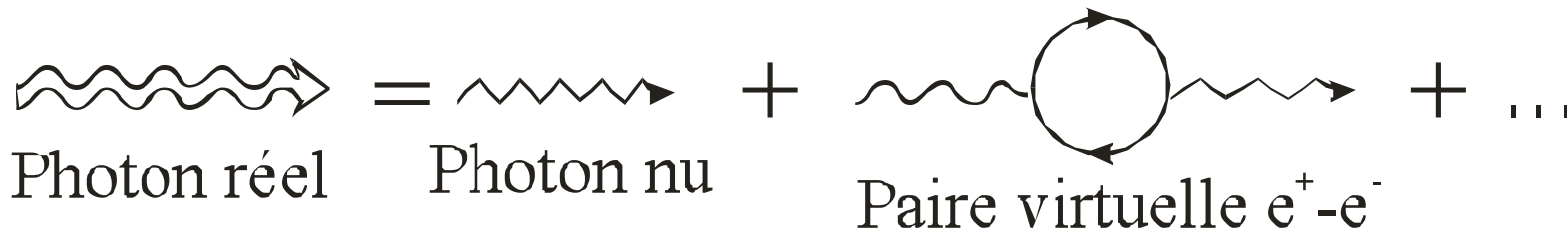
$$\Psi = \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \left(\frac{B}{1T} \right)^2 L$$

Lumière elliptiquement polarisée

$$\Delta n (\text{vide}) \approx 10^{-8} \Delta n (\text{hélium CNTP})$$

**2,4. 10¹¹ atomes d'hélium par cm³
donnent le même effet que le vide**

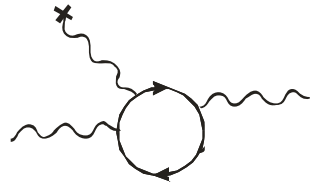
Propagation d'un photon dans le vide quantique en présence d'un champ



$c - \delta c$

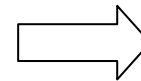
V.I.Ritus, *Sov. Phys. JETP* **42**, 774 (1975)

$O(\alpha^?)$



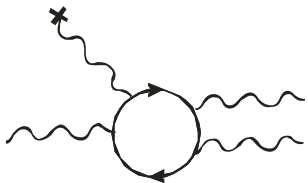
Effet Faraday

$= 0 !$



Théorème de Furry :
Il faut un nombre pair de « pattes »

$O(\alpha^2)$



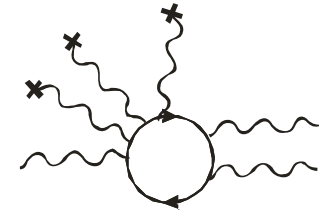
Photon splitting

Génération de subharmoniques

$= 0 !$



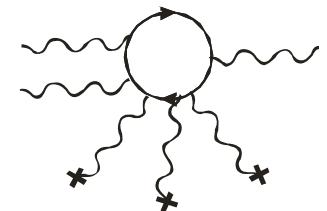
$O(\alpha^3)$



S.L.Adler et al., *Phys. Rev. Lett.* **25** (1970) 1061

Génération d'harmoniques

$= 0 !$



Y.I.Ding et A.E.Kaplan, *Int. J. Nonlin. Opt. Phys.* **1** (1992) 51

Collisions photon-photon

A.L.Hughes et G.E.M.Jauncey, *Phys. Rev.* **36** (1930) 773

R.Karplus et M.Neuman, *Phys. Rev.* **83** (1951) 776

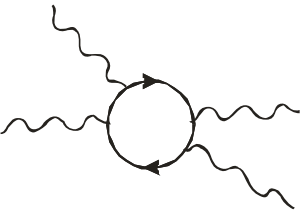
Mélange à quatre ondes

D.Bernard *et al*, *Eur. Phys. J. D* **10** (2000) 141 => Expérience au LULI, École Polytechnique

$$\sigma_{\gamma\gamma} \sim 10^{-69} \text{ m}^2$$

Pas de signal !

$O(\alpha^2)$



Using high-power lasers for detection of elastic photon-photon scattering

E. Lundström*, G. Brodin, J. Lundin, M. Marklund
 Department of Physics, Umeå University, SE-901 87 Umeå, Sweden

R. Bingham, J. Collier, J.T. Mendonça, P. Norreys
 Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot OX11 0QX, Oxfordshire, UK
 (Dated: October 7, 2005)

arXiv:hep-ph/0510076 v1 6 Oct 2005

Nouvelles propositions

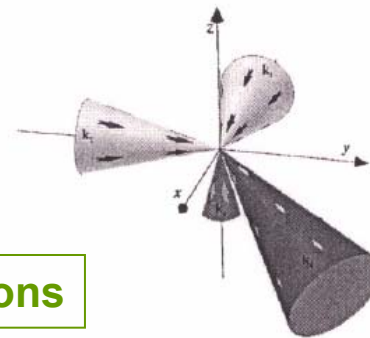


FIG. 1: Configuration of the incoming laser beams and the direction of the scattered wave for the suggested three-dimensional configuration of wave vectors, which satisfies the matching conditions (5).

Light diffraction by a strong standing electromagnetic wave

arXiv:hep-ph/0602039v1 3 Feb 2006

A.Di Piazza, K.Z.Hatsagortsyan, et C.H.Keitel

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany

Extreme Light Infrastructure Campus École Polytechnique

2010 ?!

<http://www.extreme-light-infrastructure.eu/>

Les tests de l'ÉlectroDynamique Quantique

S.S. Schweber, *QED and the men who made it*, Princeton;
 T.Kinoshita, *Quantum Electrodynamics*, World Scientific

États liés : Hydrogène, Muonium, Positronium

$\mu^+ - \mu^-$ $e^+ - e^-$

Mesure du déplacement de Lamb

Mesure de la constante de structure fine

Particule seule : Moment magnétique anormal de e^- et μ^-

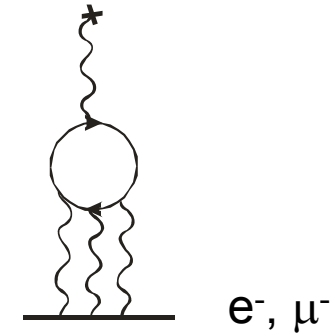
g-2

Photon : ?

Propagation du photon en champ externe (BMV)

Collisions photon-photon

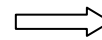
Qu'apprenons-nous sur les « Collisions Photon-Photon » grâce aux tests de l'EDQ ?



Exemple de diagramme

États liés :

Muonium, Positronium



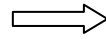
Pas testées !

$\mu^+ - \mu^-$

$e^+ - e^-$

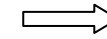
Particule seule :

$(g-2)_e$



Testées à 10^{-3}

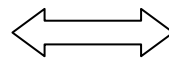
$(g-2)_\mu$



Testées à 10^{-2}

Photon : ?

Photon réel



Photon virtuel

Quel est le lien ?

?

Diffusion Delbrück

Longueur d'onde trop grande

Longueur d'onde trop petite

$$\lambda = 4,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

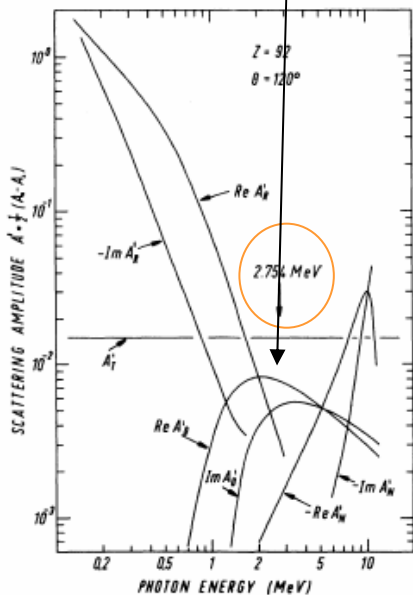


FIG. 1. Spin-flip scattering amplitudes $A^{\pm} = \frac{1}{2}(A_{\parallel} - A_{\perp})$ versus photon energy. R: Rayleigh scattering, T: nuclear Thomson scattering, D: Delbrück scattering, N: nuclear resonance scattering from the GDR. The amplitudes $\text{Im}A_R^+$, $\text{Re}A_N^+$, and $\text{Im}A_D^+$ are negative.

Diffusion élastique par le champ électrique du noyau

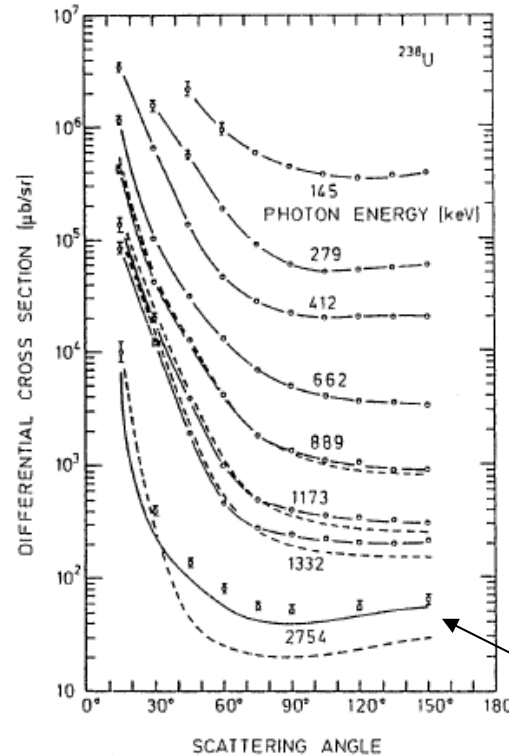
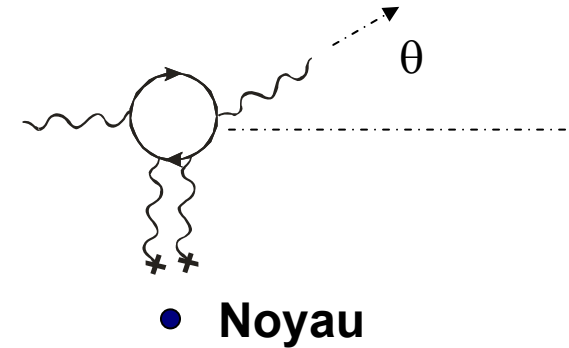
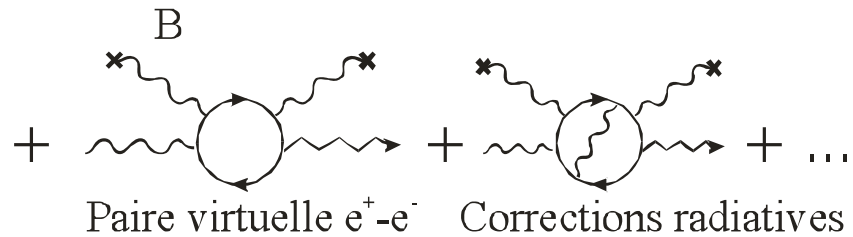


Fig. 4. Elastic differential cross sections versus scattering angle with the photon energy as a parameter. The scattering target was uranium ($Z = 92$). The solid lines contain the contributions from atomic Rayleigh scattering, nuclear Compton scattering and Delbrück scattering, the latter calculated in lowest-order Born approximation. For the dashed curves Delbrück scattering was omitted. At 2.754 MeV the discrepancy between the experimental data and the prediction (solid line) demonstrates the importance of the Coulomb correction effect.



Pas d'accord entre théorie et expérience sans des « corrections semi-empiriques au champ coulombien ».

Défi expérimental :



$$\Delta n = \frac{2}{15} \frac{\alpha^2 \hbar^3}{m_e^4 c^5} \left(1 + \frac{4050}{648 \pi} \alpha \right) \frac{B^2}{\mu_0}$$

Constantes fondamentales : 2006 codata

$$\Delta n = \left[(4,031699 \pm 0,000005) 10^{-24} \right] \left(\frac{B}{1\text{T}} \right)^2$$

V.I.Ritus, *Sov. Phys. JETP* **42**, 774 (1975)

O(α³)

O(α⁴)

O(α⁵)

?

?

Défi théorique !

Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusions

(G. G. Raffelt, arXiv:hep-ph/0611118)

Axion : Particule pseudoscalaire, neutre, bosonique, de faible masse, sans spin

■ Équation d'onde

$$i \frac{\partial}{\partial z} |\psi(z)\rangle = C |\psi(z)\rangle \quad \text{with} \quad |\psi(z)\rangle = \underbrace{c_{\perp}(z) |\perp\rangle + c_{\parallel}(z) |\parallel\rangle}_{\text{photon}} + \underbrace{c_a(z) |a\rangle}_{\text{axion}}$$

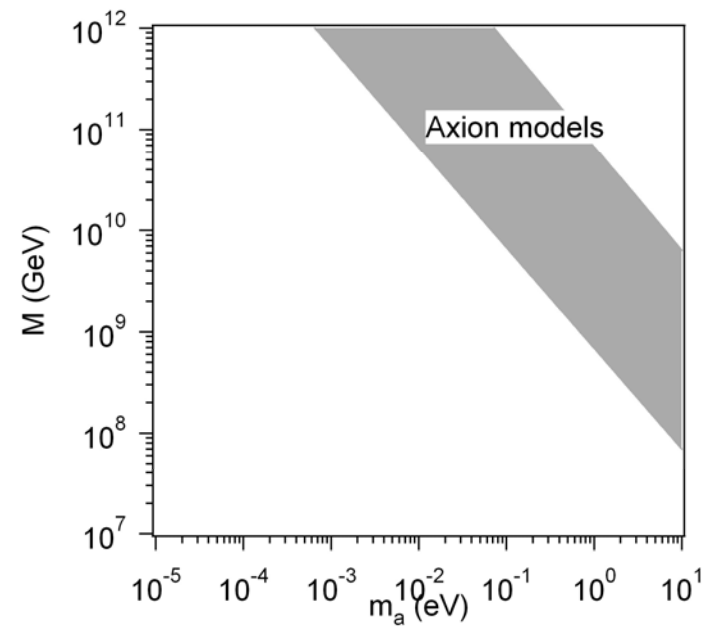
$$C = \begin{pmatrix} \omega & 0 & 0 \\ 0 & \omega & B/2M \\ 0 & B/2M & \omega - m_a/2\omega \end{pmatrix}$$

Oscillation entre deux états :

- photon (polarisation // B)
- axion

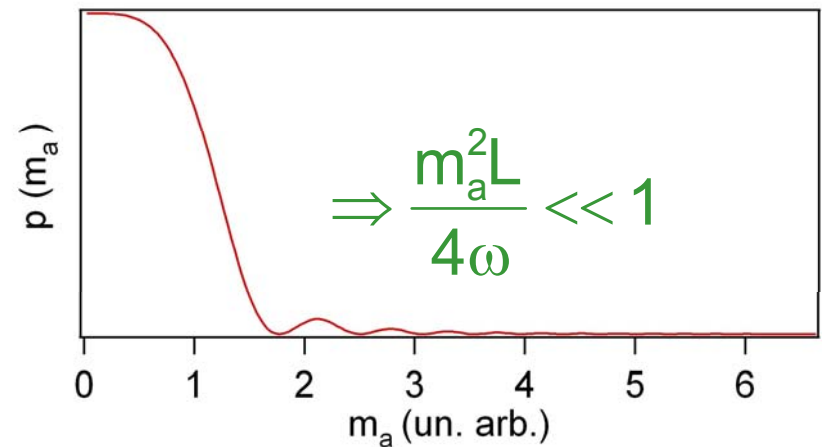
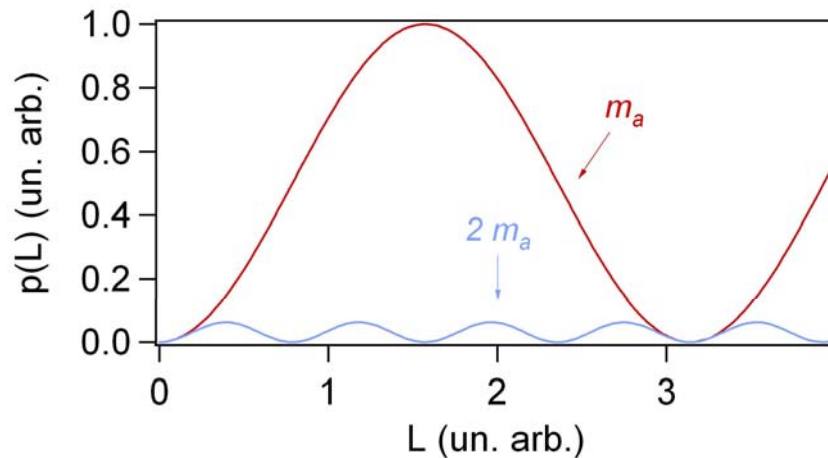
■ Paramètres

- m_a masse de l'axion
- $g_{a\gamma} = 1/M$ constante de couplage
- ω énergie du photon



- Probabilité de conversion dans un champ magnétique constant sur une longueur L :

$$p(L) = \left(\frac{2B\omega}{Mm_a^2} \right)^2 \sin^2 \left(\frac{m_a^2 L}{4\omega} \right)$$



D'où vient l'axion ?

- Théorie interactions fortes viole la symétrie CP
 - phase θ arbitraire, de l'ordre de 1.
 - Mesures moment dipolaire électrique du neutron → $|\theta| < 10^{-10}$

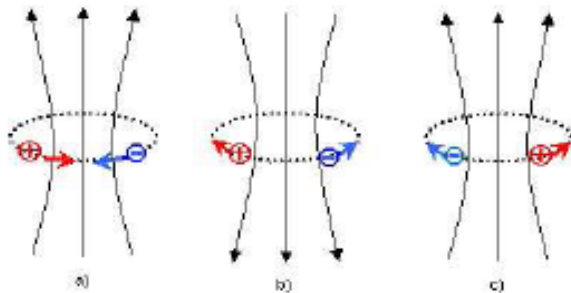


Figure 4.3: A CP conserving model of a neutron.

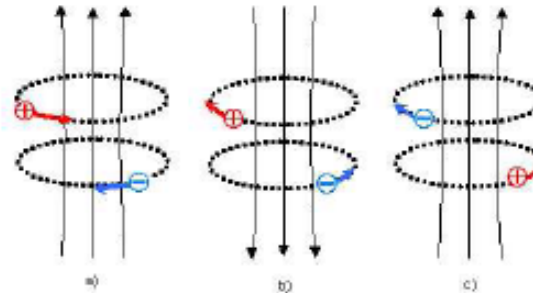


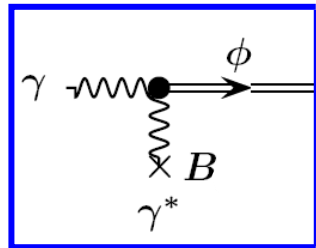
Figure 4.4: A CP violating model of a neutron.

Agnès Kim, B.S.; M.S.
 Probing exotic Physics with Pulsating White Dwarfs
 Doctor of Philosophy Dissertation
 The University of Texas at Austin
 May 2007

N.B. : Difficulté du même ordre que spectre continu de la désintégration β → hypothèse du neutrino en 1930-33 pour "sauver" conservation de l'énergie.

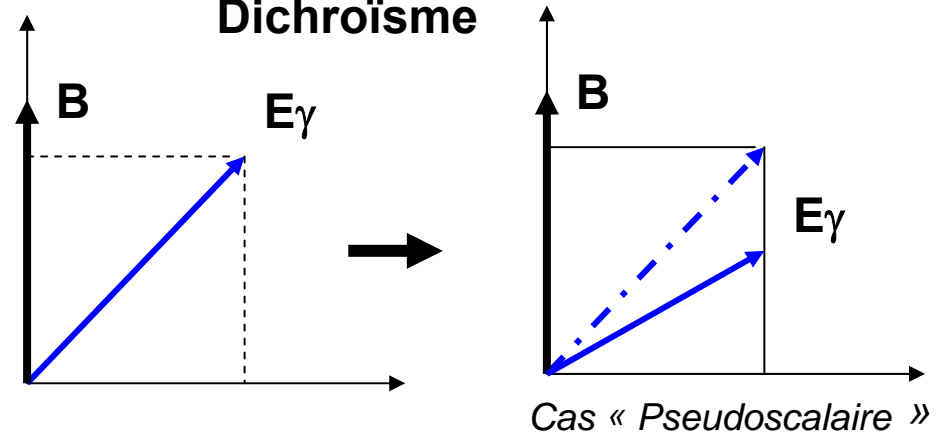
Problème théorique fondamental, hypothèse d'une particule pseudoscalaire appelée **axion** pour rétablir cohérence.

Particule réelle



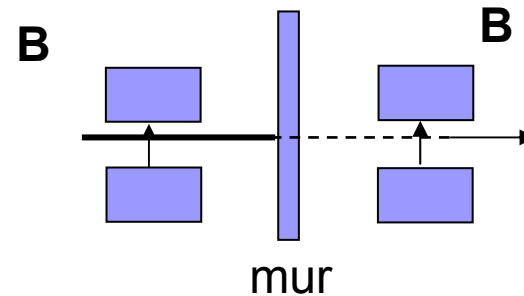
Effets « BL »

Dichroïsme

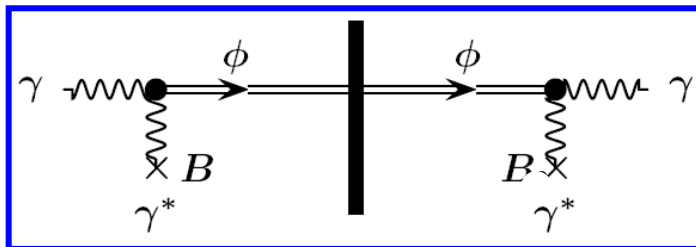


L.Maiani, R.Petronzio et E.Zavattini, *Phys. Lett. B* **175** (1986) 359

Photorégénération

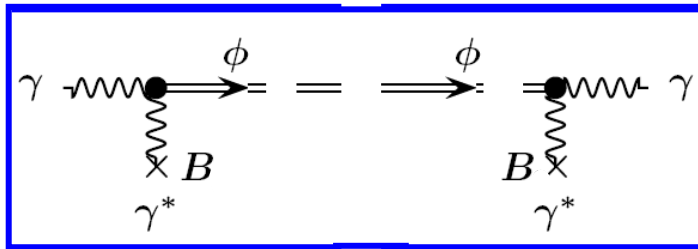


K. Van Bibber *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **59** (1987) 759



mur

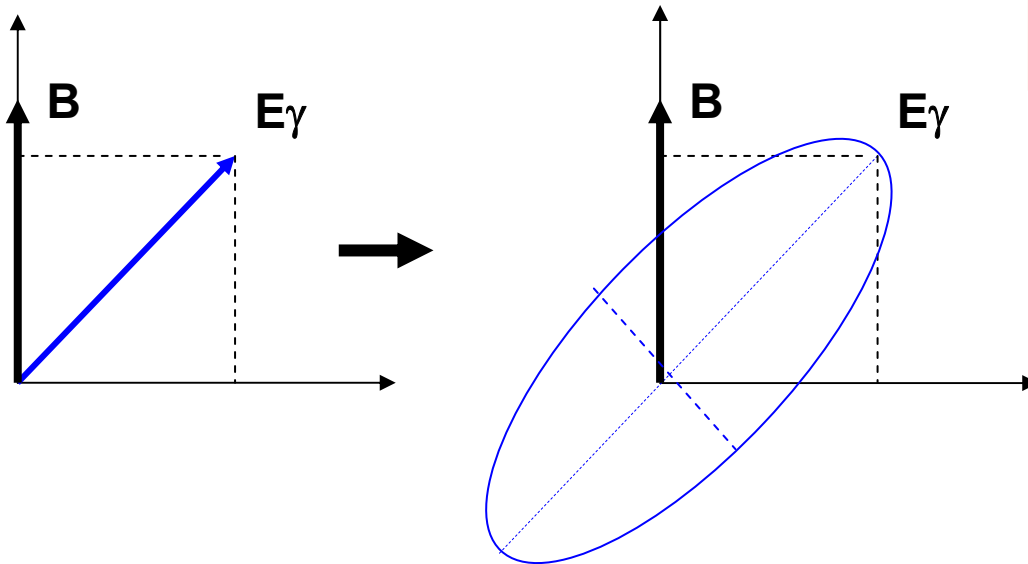
Particule virtuelle



$\Delta n > 0 \Rightarrow$ Pseudoscalaire

$\Delta n < 0 \Rightarrow$ Scalaire

Ellipticité



Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusions

In modern physics there have been developed two complementary – and apparently mutually contradictory – modes of description of radiation processes and of the motion of molecules, atoms, electrons and protons. How far can the parallelism in description of photons (light quanta) and members of the second group of entities be carried ?

W.H. Watson,
 Roy. Soc. Proc. London A **125**, 345 (1929)

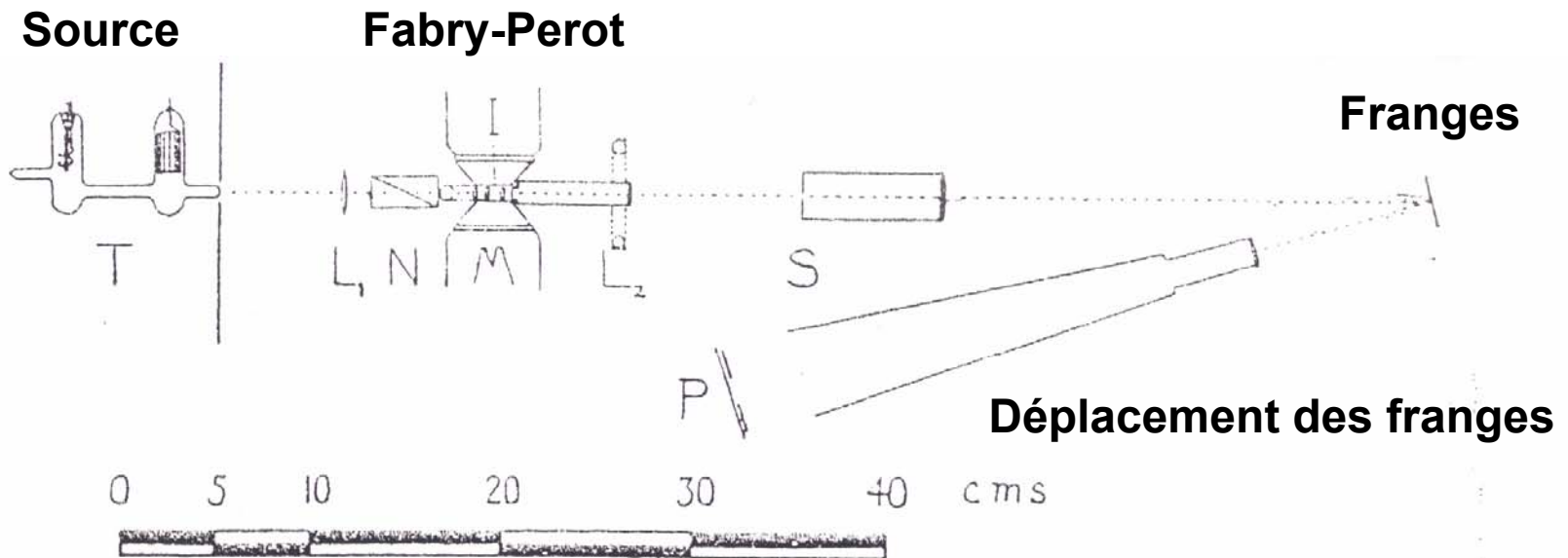


FIG. 1.

Expériences avec un interféromètre de Michelson-Morley

• 1889 – 1898 : Morley, Boston, USA,
 $B_0 = 0,165 \text{ T}$ en configuration Faraday

• 1930-1940 : Farr et Banwell,
 Nouvelle-Zélande,

$B_0 = 2 \text{ T}$, $\Delta n < 10^{-9}$

E.Morley, H.Eddy et D.C.Miller, *Bul. Western Reserve U.*
1 (1898) 50

C.C.Farr et C.J.Banwell, *Proc. Roy. Soc. London A*.137
 (1932) 275

C.J.Banwell et C.C.Farr, *Proc. Roy. Soc. London A*.175
 (1940) 1

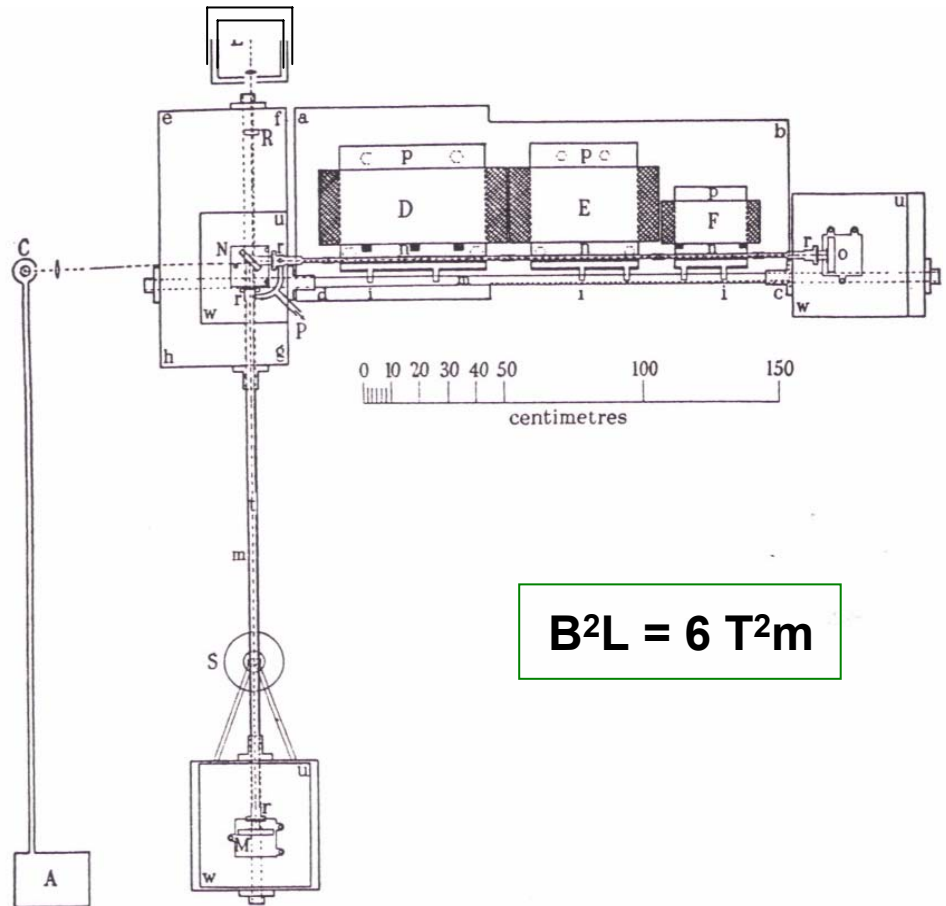


FIGURE 1

Lumière

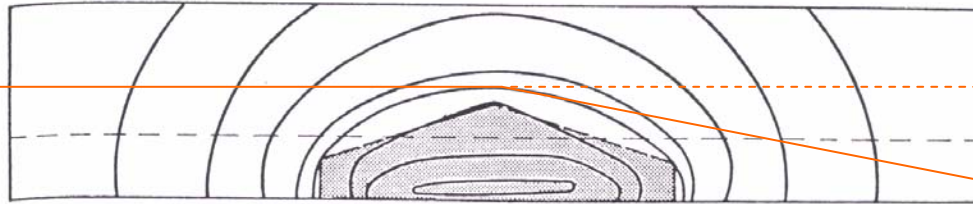


FIGURE 5. Plot of magnetic field in central vertical plane of 30 mm gap; lines of force normal to plane of diagram. Contours of constant strength (in succession, starting with outermost) at 900, 2000, 3700, 5700, 6500, 7500, 8500 and 9000 Oe. Shaded area indicates to scale the shape of the pole-faces, which are 10 cm long. Broken line indicates mean light path.

Angle de déviation

$$< 5 \cdot 10^{-13} \text{ rad}$$

R.V. Jones
Proc. Roy. Soc. London A **260**, 47 (1961)

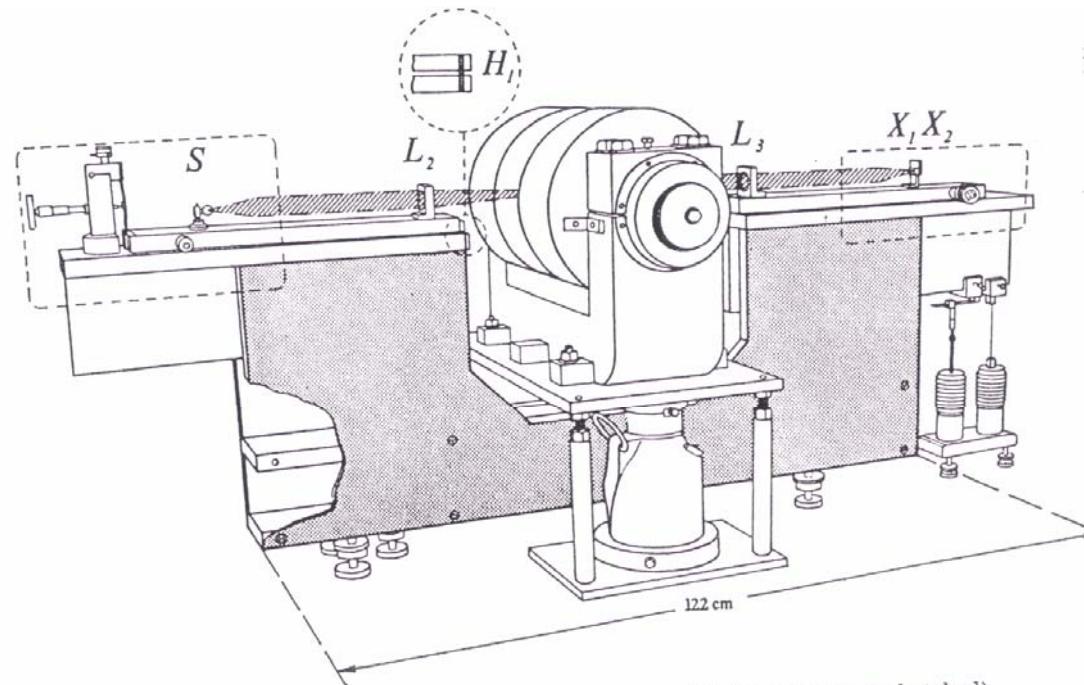


FIGURE 2. General disposition of base, magnet, and light path (shown hatched). Details in cartouches shown in figures 3 and 4.

EXPERIMENTAL METHOD TO DETECT THE VACUUM BIREFRINGENCE INDUCED BY A MAGNETIC FIELD

E. IACOPINI and E. ZAVATTINI (1927-2007)

CERN, Geneva, Switzerland

Volume 85B, number 1

PHYSICS LETTERS

30 July 1979

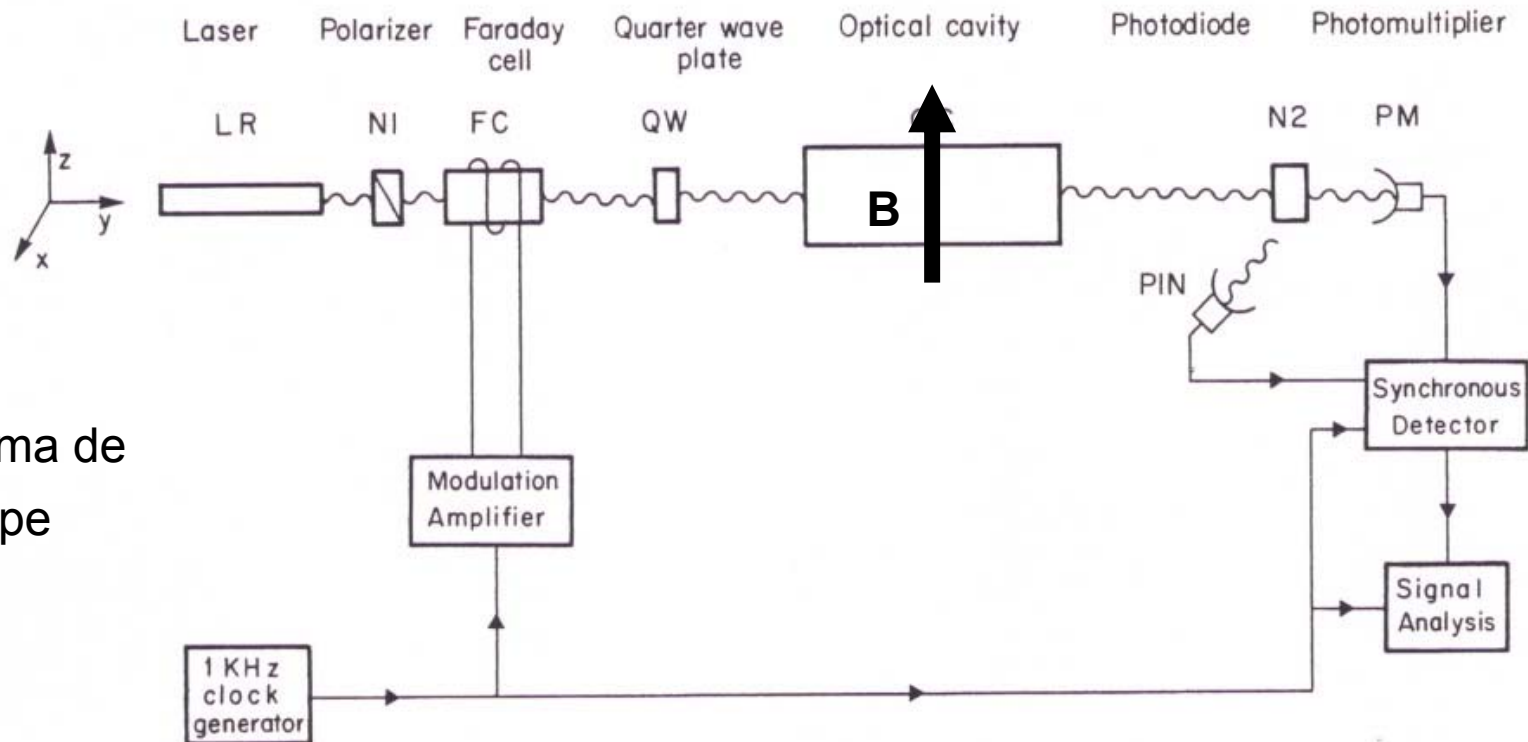


Schéma de principe

Fig. 3. Principle elements of the experimental apparatus.

Brookhaven National Laboratories, EU

Collaboration **B**rookhaven **F**ermiLab **R**ochester **T**rieste
(1988-1993)

A. Melissinos,
E. Zavattini et al.

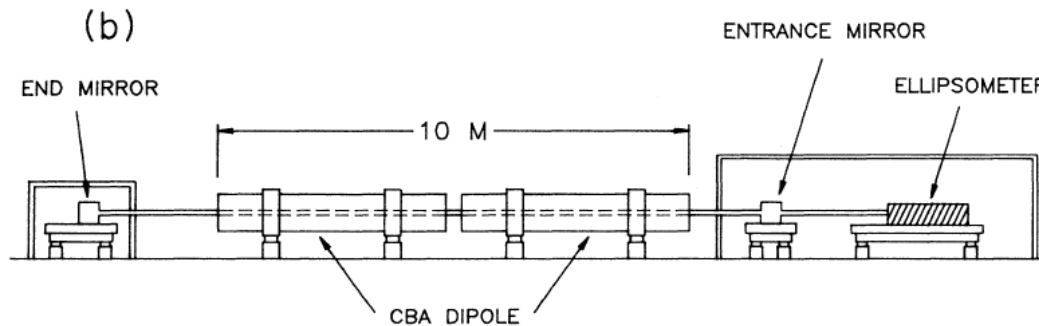


FIG. 4. (a) Schematic view of the ellipsometer; the volume inside the hatched area is evacuated. (b) Layout of the experiment and of the superconducting magnets.

$$B^2L = 32 \text{ T}^2\text{m}$$

$$\Delta n (\text{hélium CNTP}) = (1,80 \pm 0,36) 10^{-16} B^2$$

avec B en Tesla

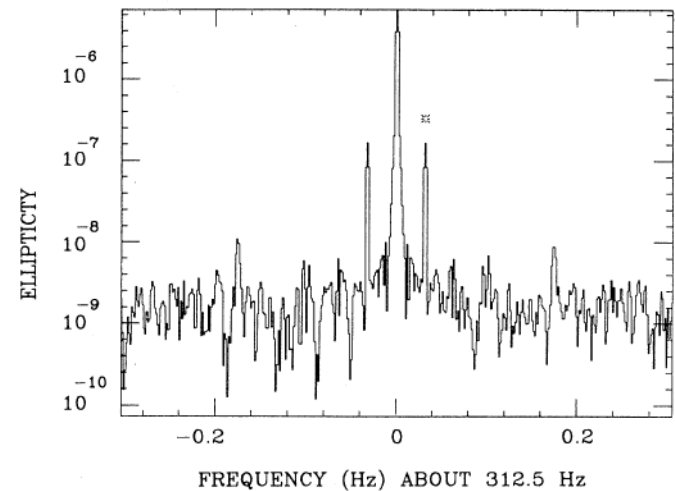


FIG. 11. The Cotton-Mouton effect for 100 Torr of helium.

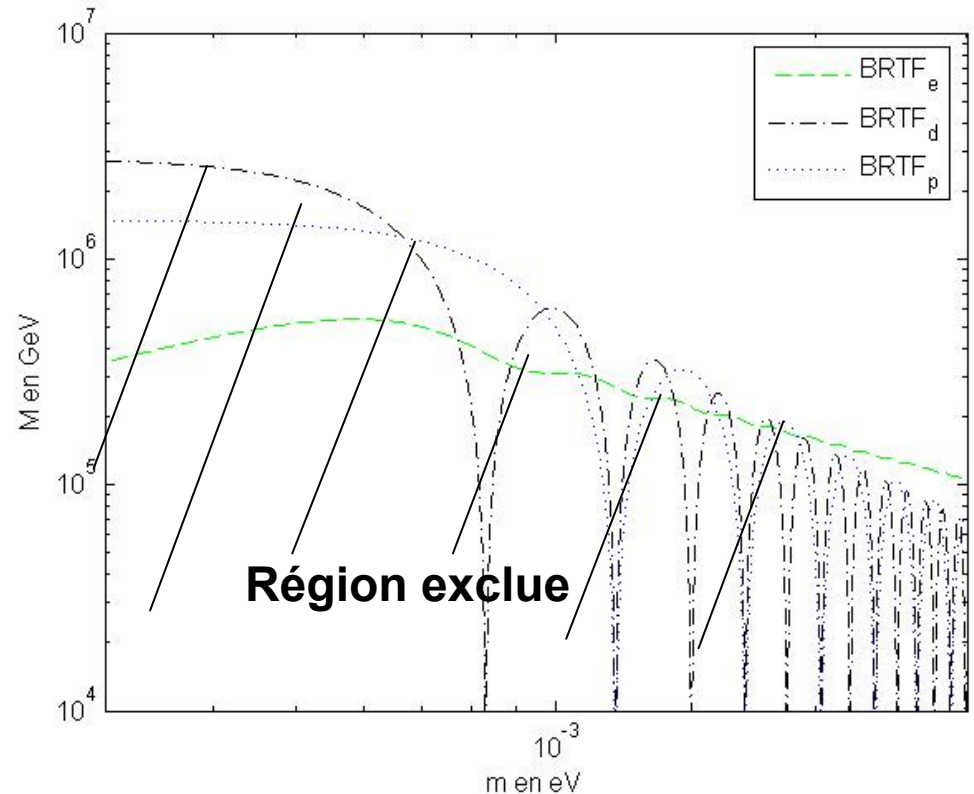
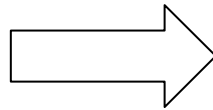
TABLE II. Best sensitivities achieved with the feedback system operating.

| Number of reflections | Rotation or ellipticity | Number of averages | Measured rms noise level (rad) | Achieved sensitivity (rad/ $\sqrt{\text{Hz}}$) |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| Shunt | Rotation | 48 | 4.3×10^{-11} | 7.6×10^{-9} |
| Shunt | Ellipticity | 25 | 2.0×10^{-10} | 2.6×10^{-8} |
| 34 | Rotation | 66 | 1.6×10^{-10} | 3.3×10^{-8} |
| 34 | Ellipticity | 25 | 2.0×10^{-9} | 6.7×10^{-8} |
| 254 | Rotation | 40 | 4.2×10^{-10} | 1.5×10^{-6} |
| 578 | Ellipticity | 13 | 5.1×10^{-8} | |

Ellipticité < 2.0×10^{-9}

$\Delta M < 28 \cdot 10^{-19} \text{ T}^{-2}$

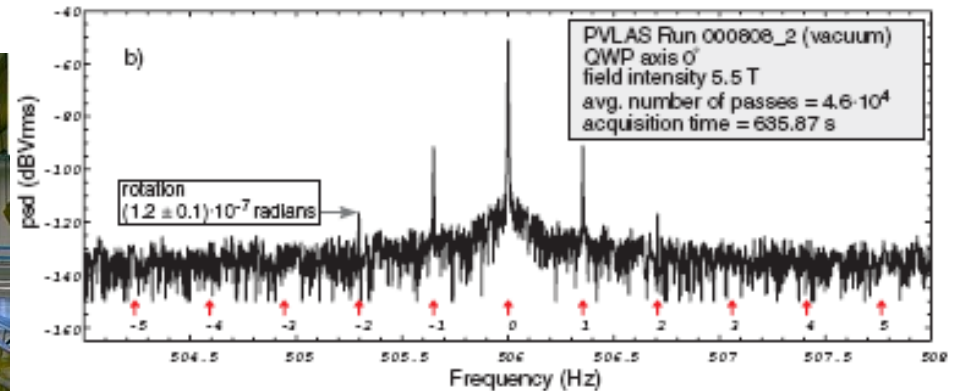
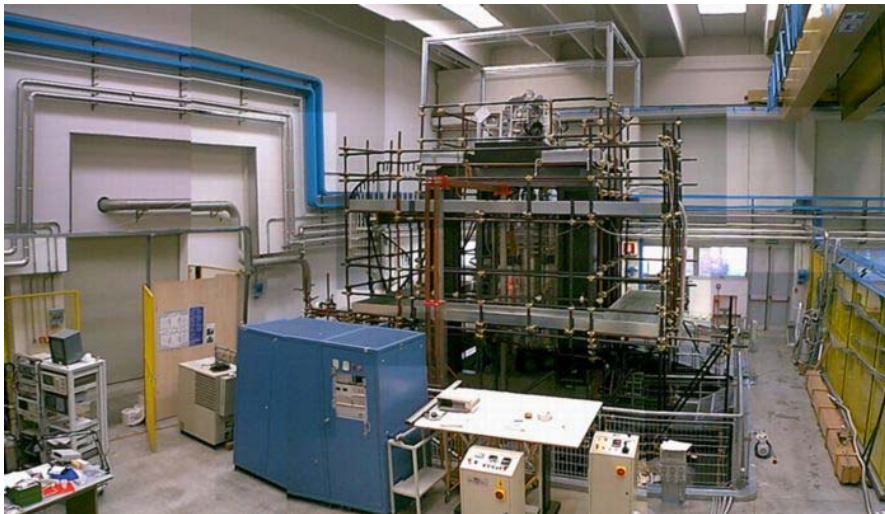
Mesures de :
 Ellipticité
 Dichroïsme
 Photorégénération



Expérience PVLAS (Polarizzazione del Vuoto con LASer)

1992 - en cours

- Aimant supraconducteur : 5 T sur 1 m.
- Laser continu $\lambda = 1064$ ou 532 nm.
- Cavité résonnante $\mathcal{F} \sim 10^5$, $L = 6$ m.



Mesure d'un dichroïsme ?!

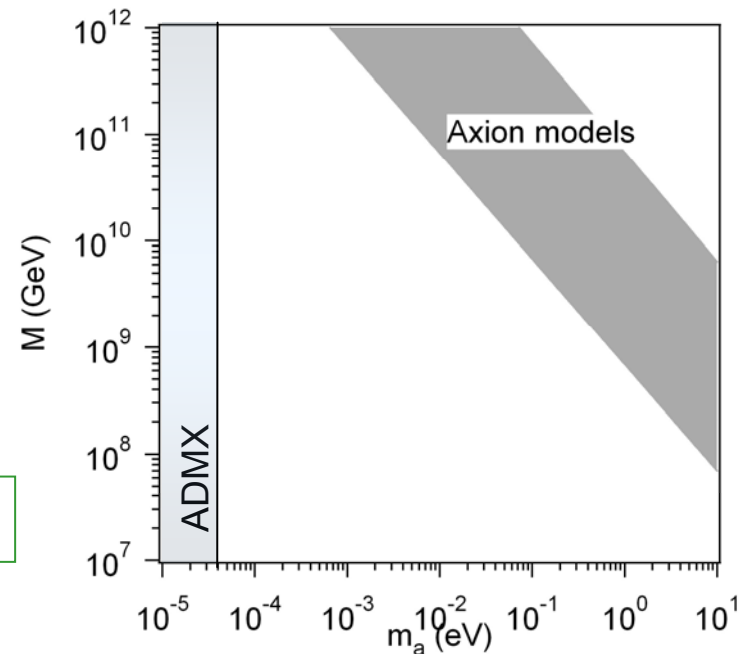
Axions « terrestres » ?!

ADMX (Axion Dark Matter eXperiment)

Les axions constituant
l'auréole de matière noire de
notre galaxie

- **Cavité micro-onde** accordable 450-800 MHz, facteur de qualité 10^5 .
- **Aimant supraconducteur** : 8 T sur 60 cm
- **Détecteur RF** ultra-bas bruit : 1 photon / mn.

Pas de signal !

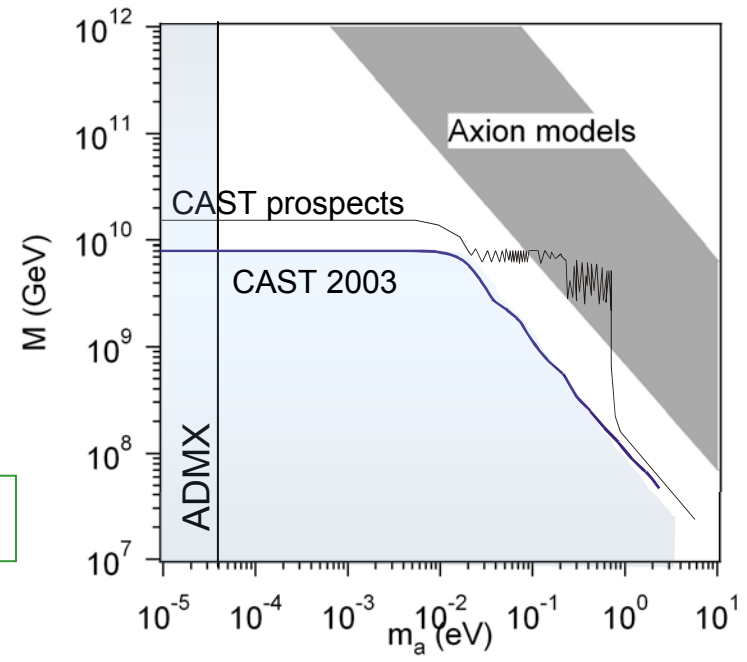


CAST (CERN Axion Solar Telescope)

Les axions du soleil

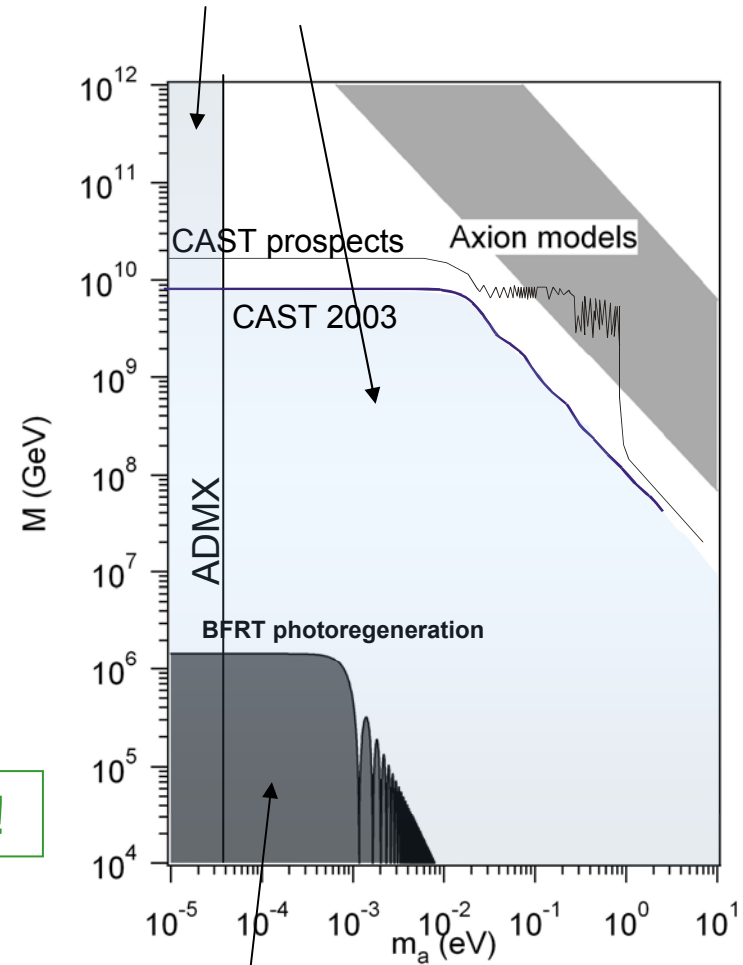
- Aimant supraconducteur :
9 T sur 10 m.
- Asservi sur la course du soleil
matin et soir 365 j/an.
- Détecteurs de rayons X aux 2 bouts →
lever et coucher du soleil.

Pas de signal !



Résumé des limites sur les axions avant PVLAS

Limites dépendant de modèles



Pas de signal !

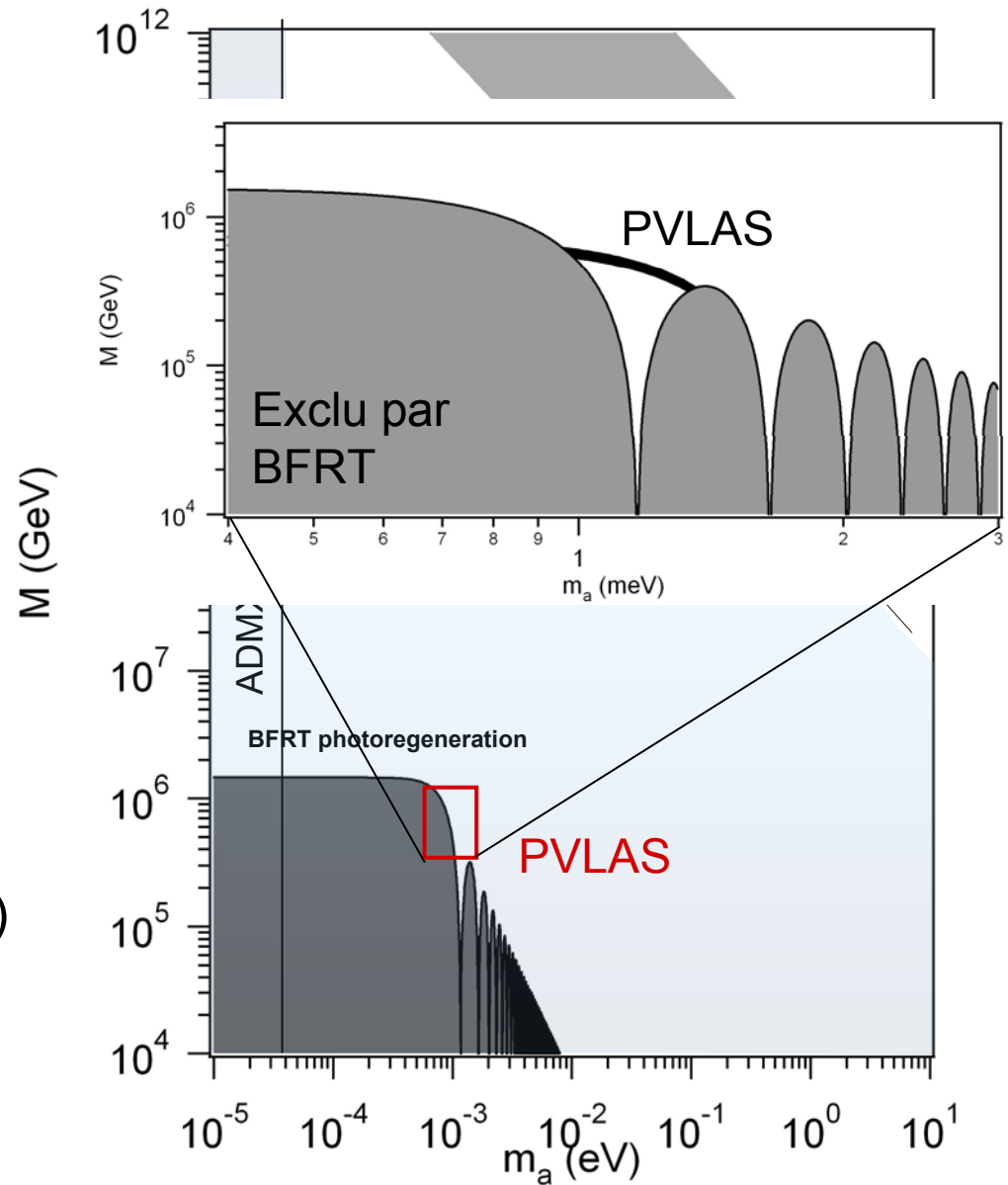
Limites indépendantes de modèles

Axion de PVLAS (2006)

- Plusieurs ordres de grandeur de désaccord !!
- Travaux théoriques pour rétablir la cohérence.
- Projets expérimentaux :
ALPS au DESY (All.),
OSQAR au CERN (Suisse),
LIPSS au Jefferson Laboratory (E-U)
GammeV au Fermilab (E-U)

et

Projet BMV en France



Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusions

Le projet *Biréfringence Magnétique du Vide*

Laboratoire **C**ollisions **A**grégats **R**éactivité, Toulouse, France :

B.Pinto Da Souza, M.Fouché, C.Robilliard, G.Bailly, S.Faure,
G.Tréneq, J.Vigué, C.Rizzo ...

Laboratoire **N**ational **C**hamps **M**agnétiques **P**ulsés, Toulouse, France :

F.Bielsa, J.Mauchain, S.Batut, M.Nardone, P.Frings, O. Portugall,
G.Rikken, R.Battesti ...

En collaboration avec

Laboratoire **M**atériaux **A**vancés-VIRGO, IN2P3, Lyon, France :

C.Michel, L.Pinard, J-M.Mackowski ...

Laboratoire pour l'**U**tilisation des **L**asers **I**ntenses, École Polytechnique,
Palaiseau, France :

A-M.Sautivet, J-L Paillard, F.Amiranoff ...

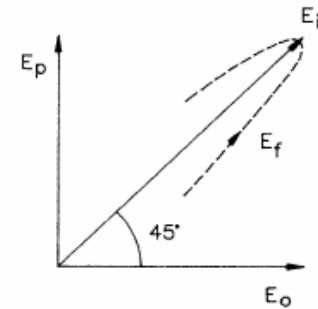
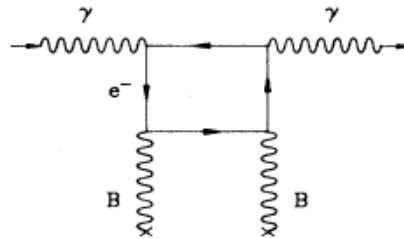


Programme
National
Astroparticule



Expérience BMV au LNCMP

Motivée par l'effet C-M du vide quantique



R.Battesti, et al., *Eur. Phys. J. D* (2007), sous presse
 « On line first » : DOI: 10.1140/epjd/e2007-00306-3

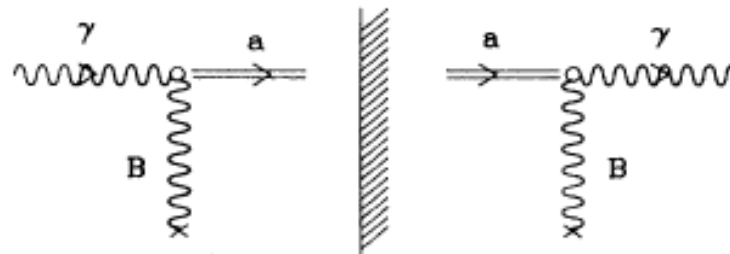
Projet BMV :

Expérience BOSON

Motivée par les résultats de PVLAS

Régénération de photons au LULI

Premiers résultats !

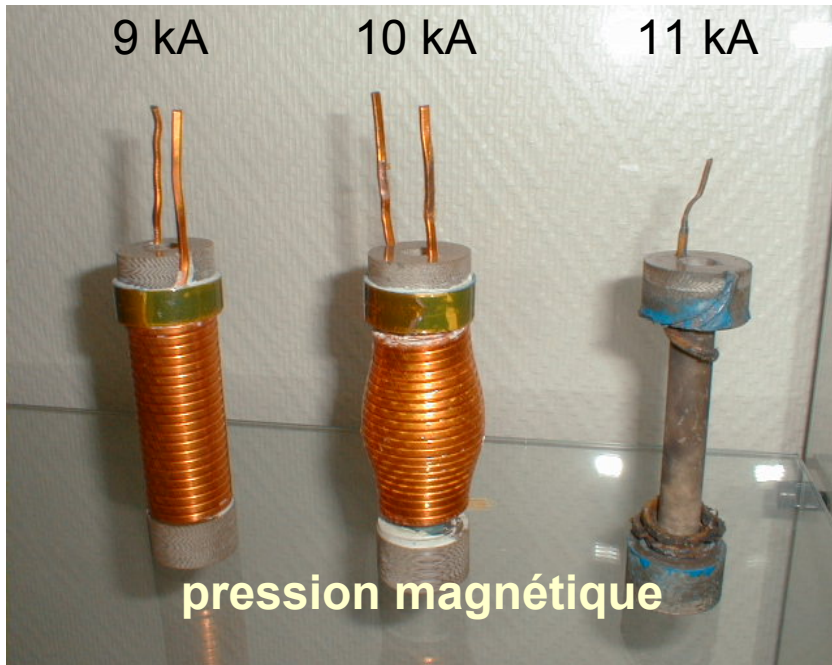
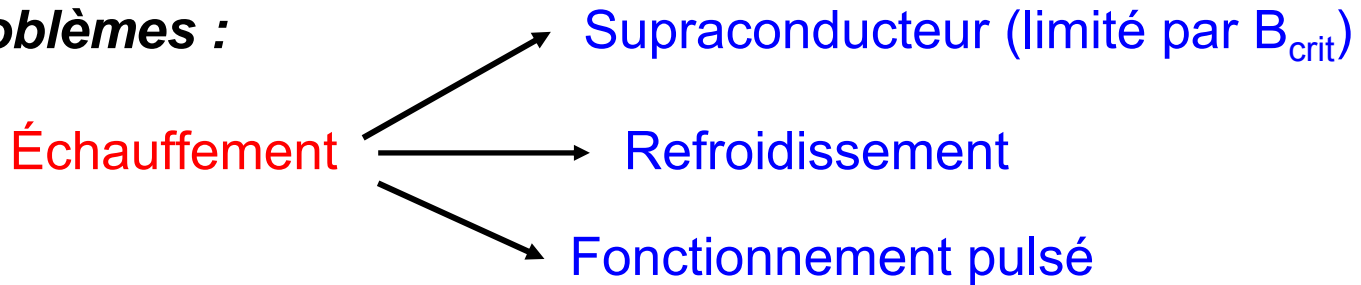


C. Robilliard et al., *Phys. Rev. Lett.* **99**, (2007) 190403

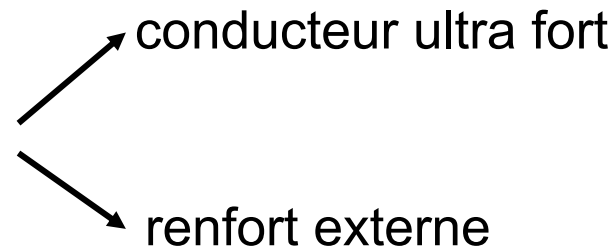
Génération de champs magnétiques intenses

Seule méthode : Faire circuler un courant électrique fort

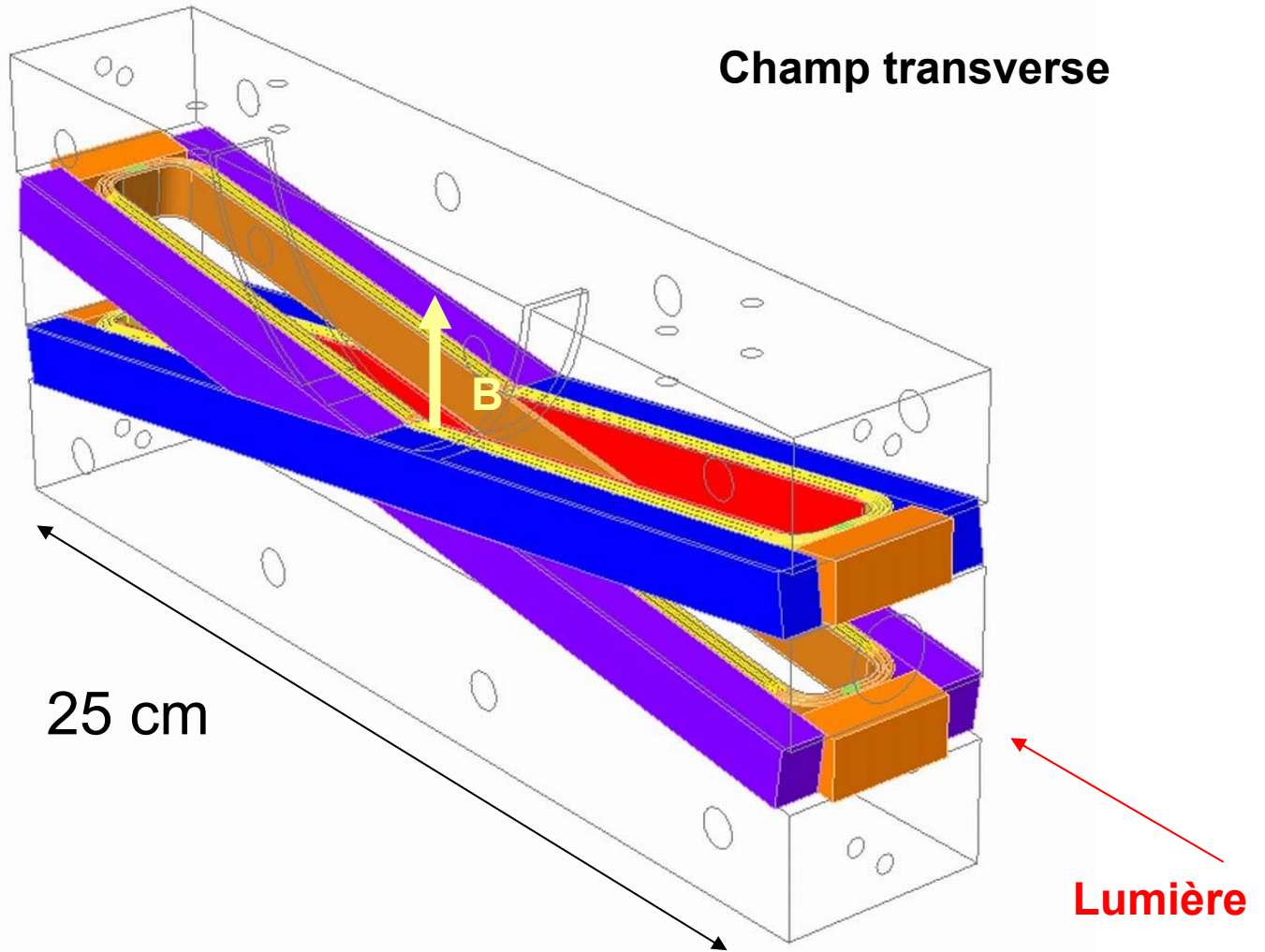
Deux problèmes :

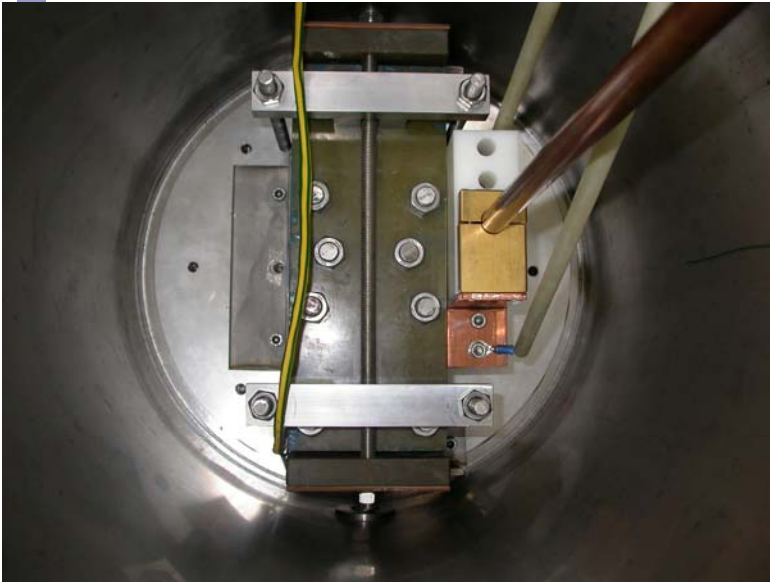


Force de Lorentz : pression magnétique



Xcoil





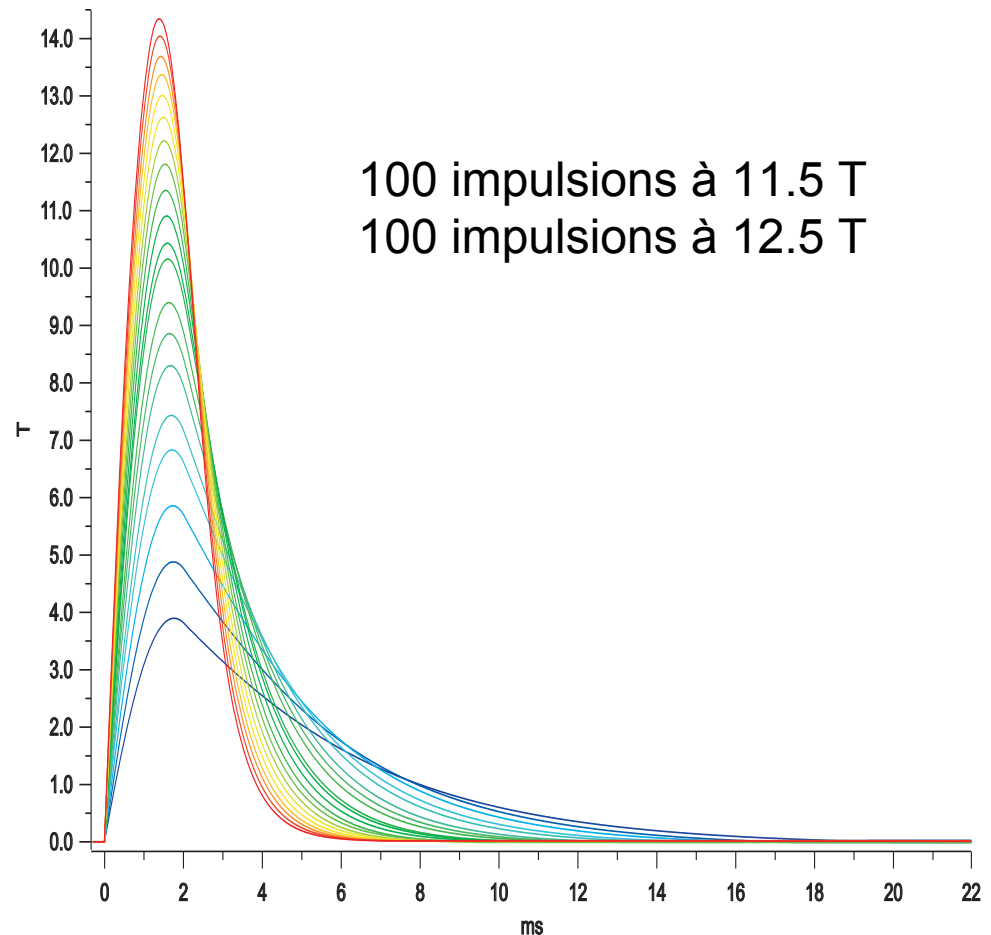
La bobine dans son cryostat à l'azote liquide

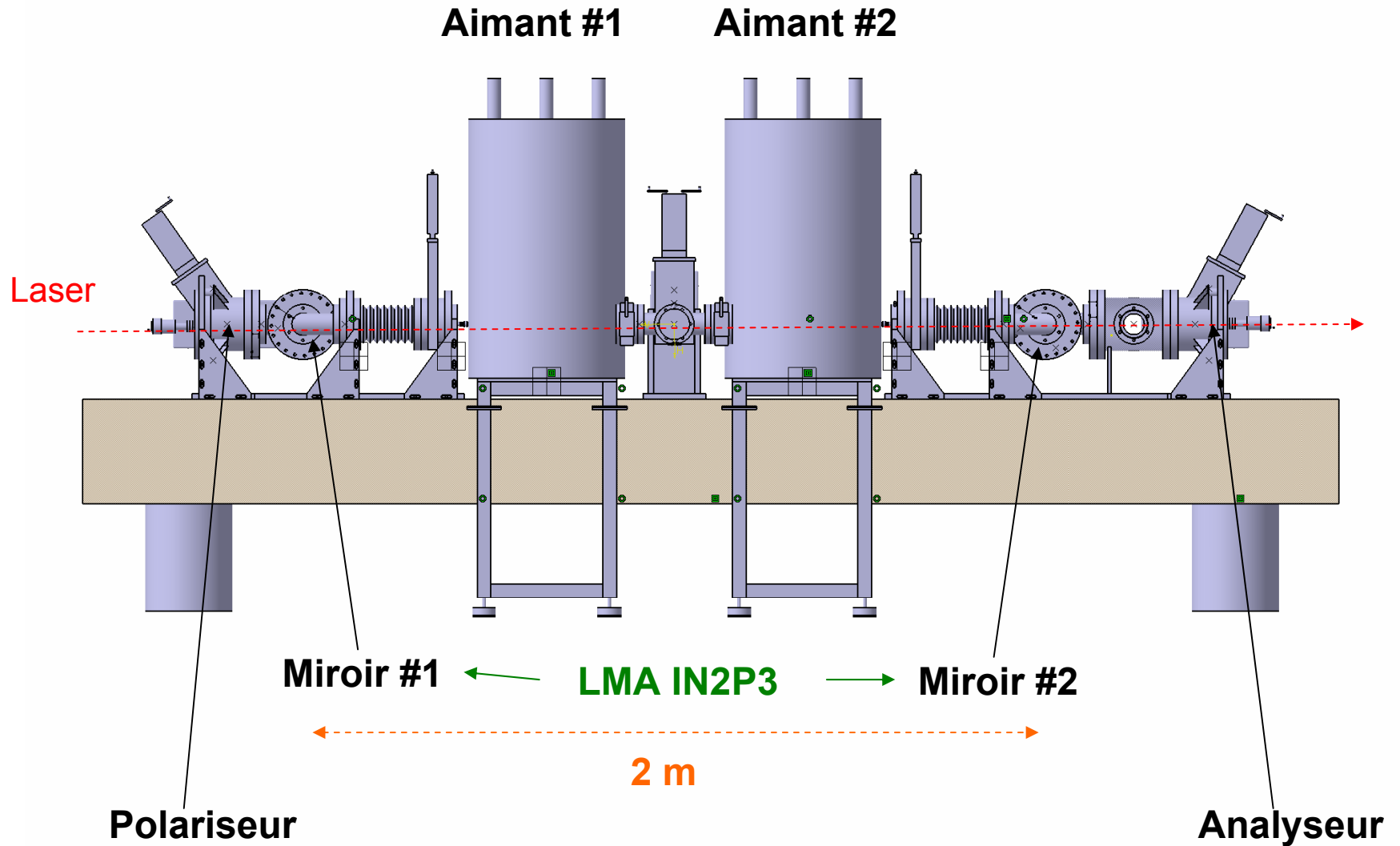
$$B = 14,3 \text{ T} \quad 8300 \text{ A}$$

$$B^2L = 28 \text{ T}^2\text{m}$$

Taux de répétition :
5 impulsions par heure

100 impulsions à 11.5 T
100 impulsions à 12.5 T



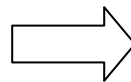


Montage expérimental



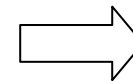
2007

Mesures de sensibilité



2008

R&D Bobines
R&D Optique



2009

BMV

Régénération de photons au LULI

(*Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses*)

Campus de l'école
Polytechnique,
Palaiseau



Expérience BOSON

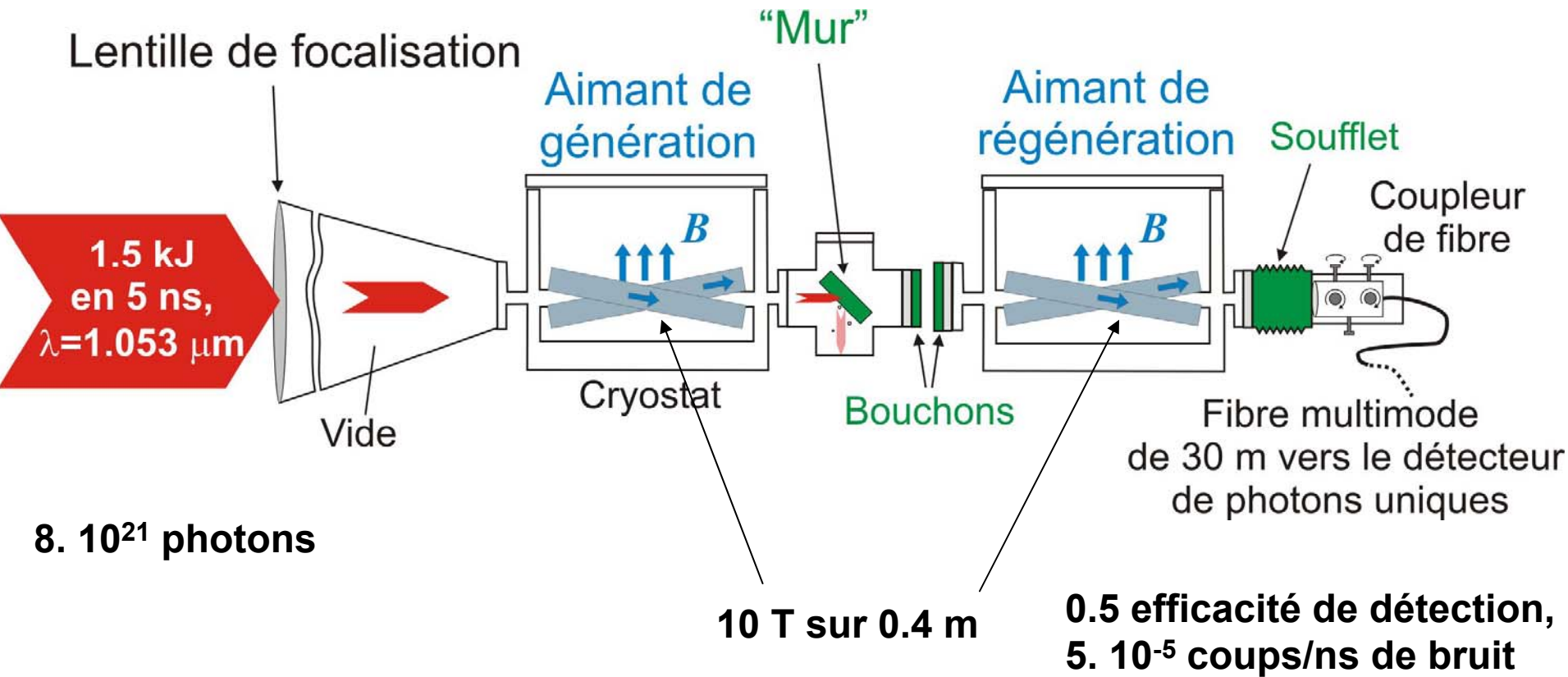
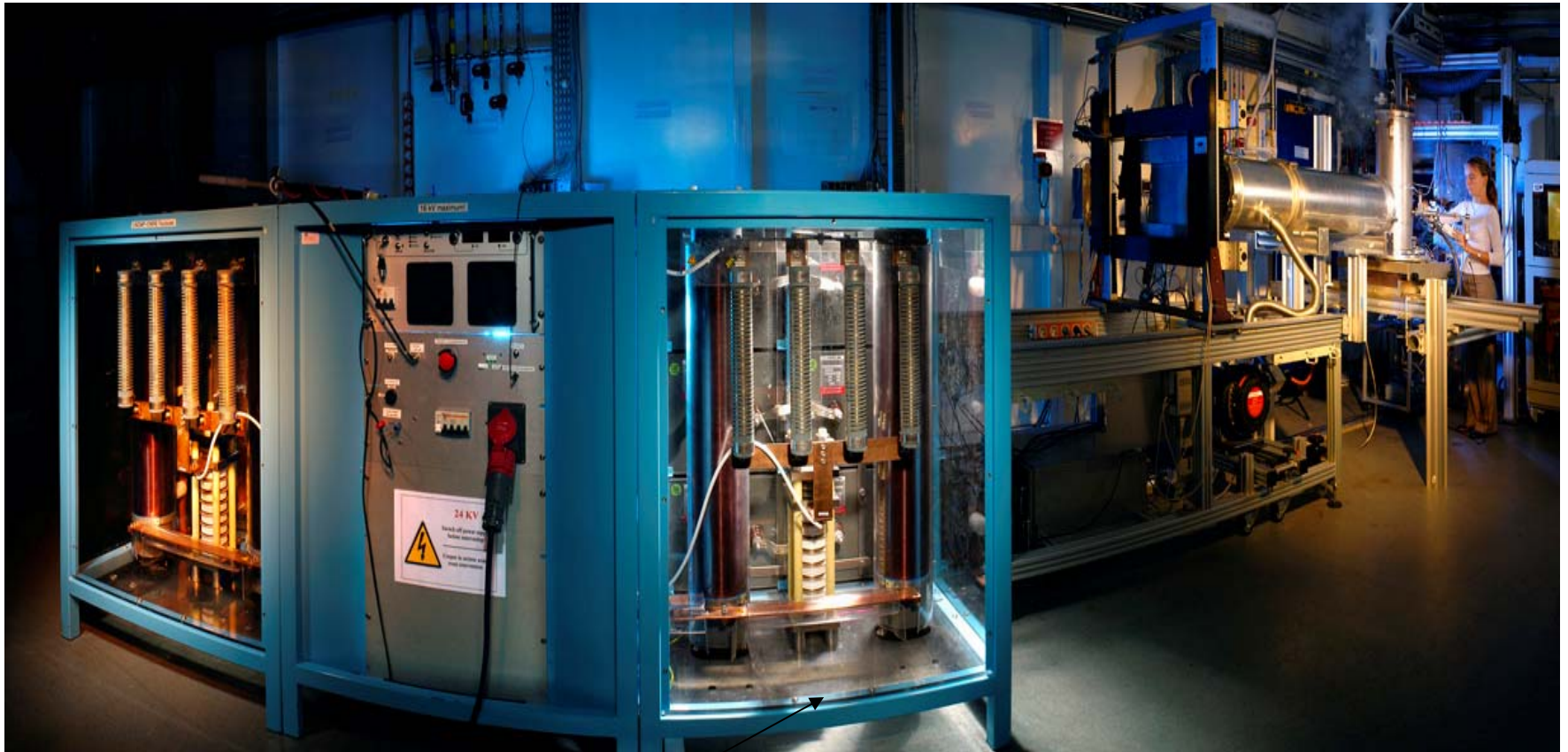
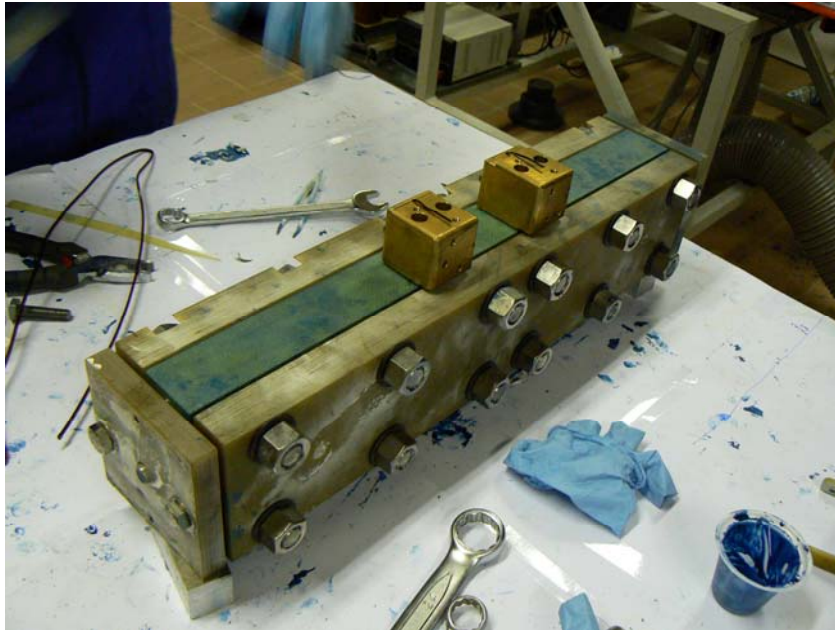


Schéma expérimental



1 MJ, 24 kV, $3 \times (1,2)^3 \text{ m}^3$

Générateur transportable (ici au ESRF, Grenoble)



- ◆ Deux bobines pulsées

Validées jusqu'à **58 T²m**



- ◆ **Compteur de photons uniques**
- ◆ efficacité de détection = 0,5
- ◆ bas bruit ($5 \cdot 10^{-5}$ coups par ns)
- ◆ injecté par fibre

Montage en salle laser LULI mars-avril 2007



Lumière Laser

Prise de données, 2 semaines juillet et septembre 2007



$\approx 50 \text{ kJ}$ ($\approx 2,5 \cdot 10^{23}$ photons)
« sur cible »

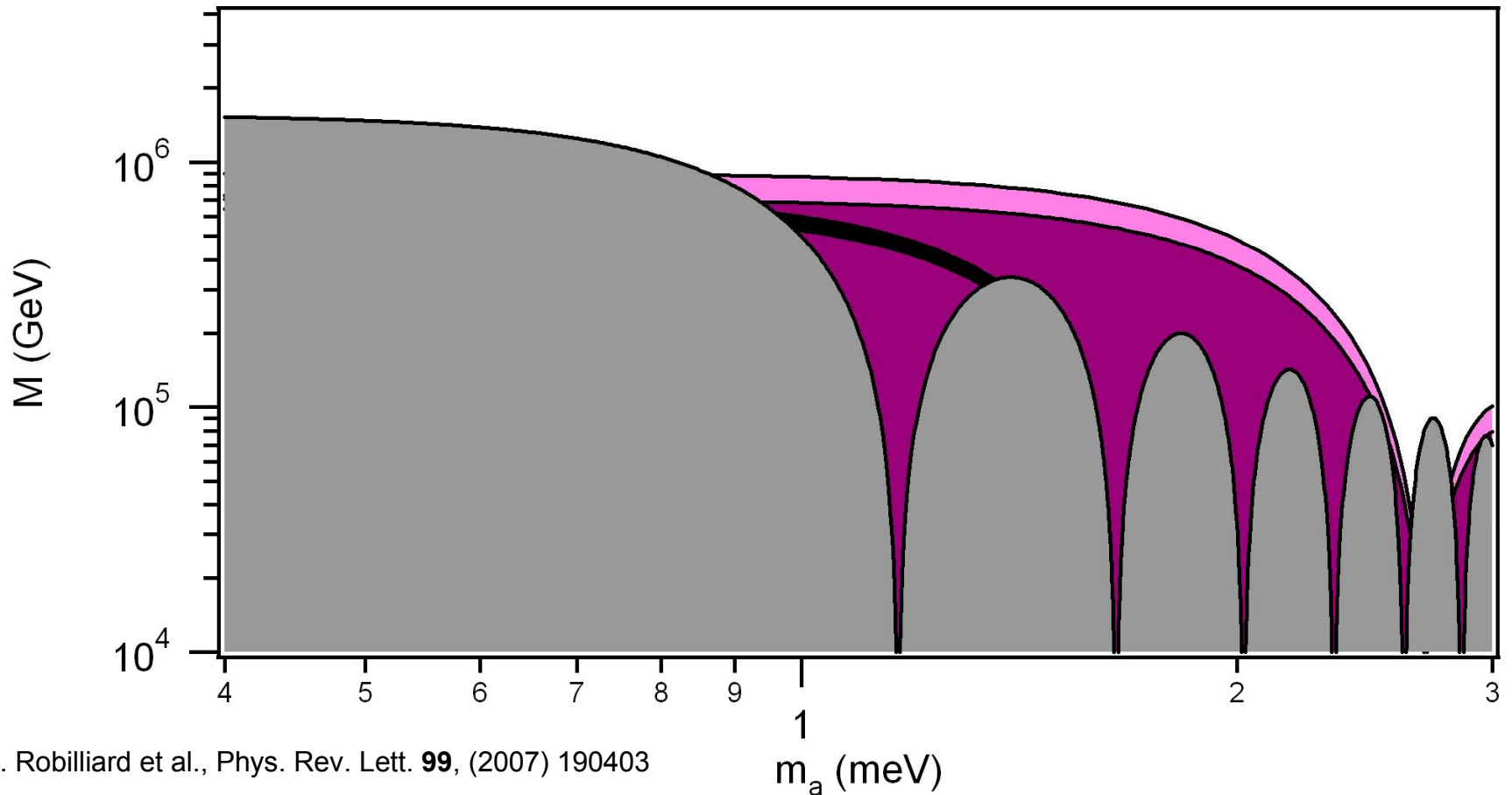
Signal compatible avec 0

Nous avons invalidé les
résultats de PVLAS !

Niveau de confiance :
plus de 99,9 %

- BFRT 3σ
- Nos limites 3σ
- PVLAS 3σ 2006
- Nos limites 99,9% N.C.

PVLAS exclu !



Depuis :

PVLAS s'est rétracté !

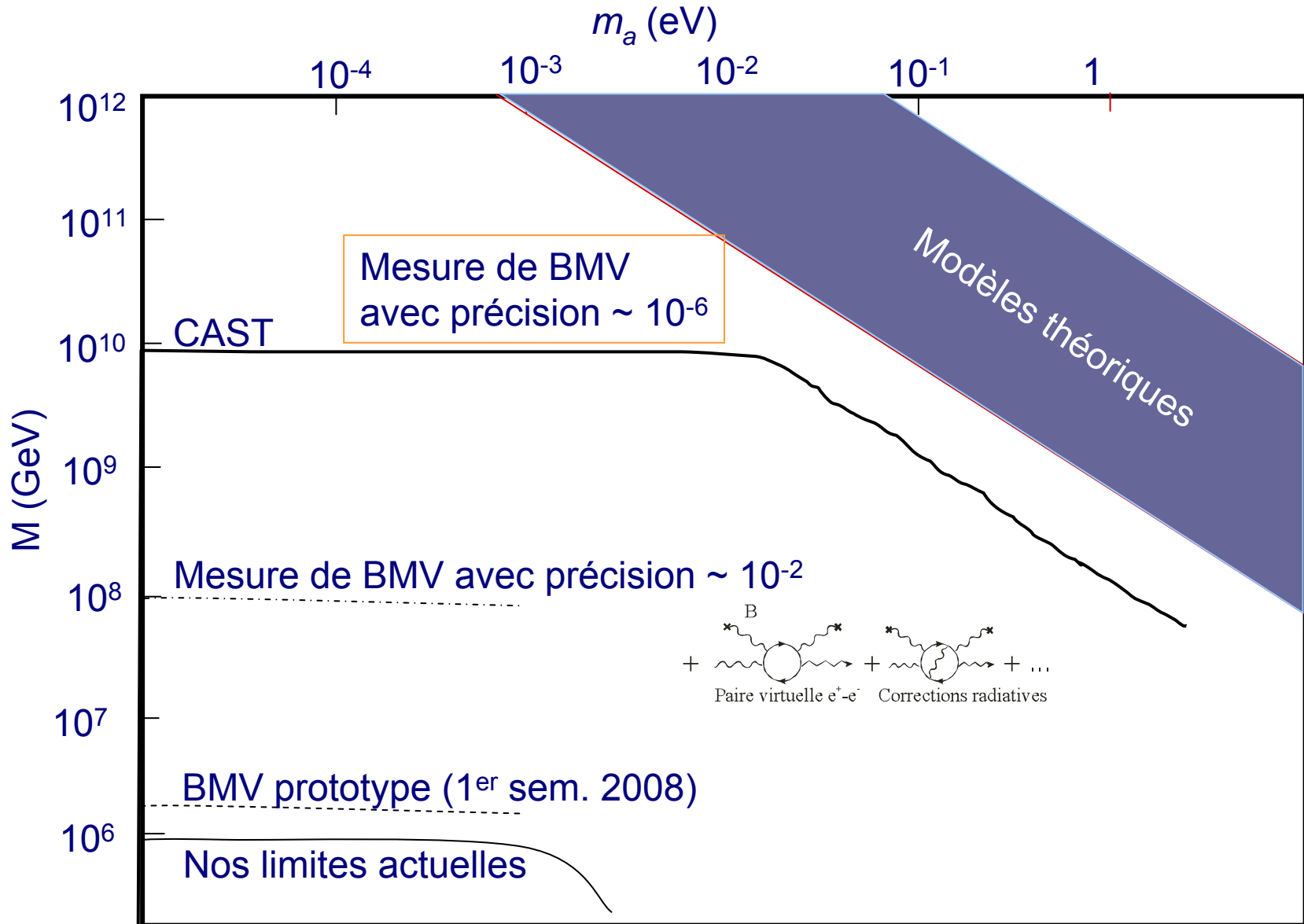
[Editorial note](#), PRL **99**, (2007) 129901

GammeV au FERMILAB confirme nos limites !

arXiv: 0710.3783 [hep-ex]

L'axion court toujours !

Expérience BOSON : 2 semaines de prise de données en janvier 2008



Plan de l'exposé

- Le concept de vide en physique
- Propagation de la lumière en présence d'un champ magnétique
 - en électrodynamique quantique
 - oscillations du photon
- Historique des expériences effectuées
- Le projet BMV
- Conclusions

Notre but : La mise en évidence de la BMV

$$\Delta n = \left[(4,031699 \pm 0,000005) 10^{-24} \right] \left(\frac{B}{1T} \right)^2$$

On s'en approche lentement mais sûrement !

2009 !?

Cela est important ...

So far, a direct verification of QED vacuum magnetic birefringence has not been achieved; if measured it would be the first experimental proof that the superposition principle in vacuum is ultimately violated for macroscopic electromagnetic fields. H. Gies arXiv:0711.1337[hep-ph]

... mais aussi difficile

Il n'est pas vrai que nous n'osons pas car les choses sont difficiles, les choses sont difficiles car nous n'osons pas.

Sénèque (I siècle après J.C.)

La magnéto-optique du vide quantique

Carlo RIZZO

Laboratoire Collision Agrégats Réactivité

Université de Toulouse, UPS

et

CNRS

carlo.rizzo@irsamc.ups-tlse.fr

UNIVERSITÉ
PAUL
SABATIER



TOULOUSE III

