

1 INSTITUT D'OPTIQUE

Optiques multicouches pour le transport et la compression d'impulsions ultracourtes

Sébastien de Rossi & Franck Delmotte

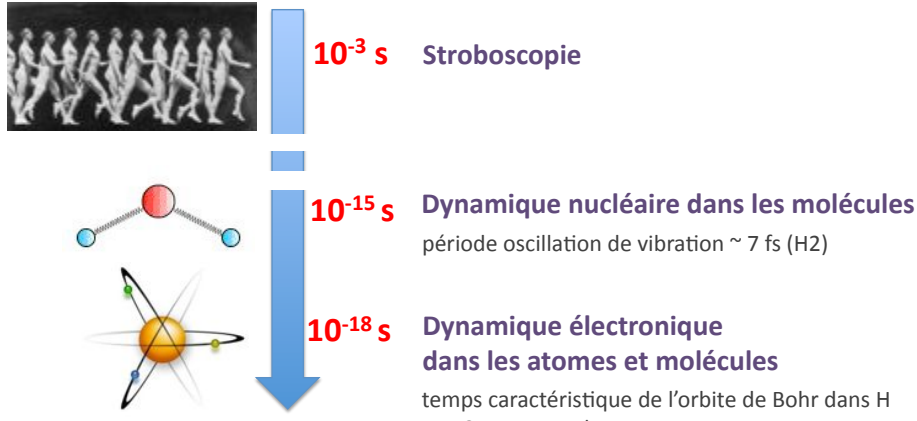


Laboratoire Charles Fabry

2 INSTITUT D'OPTIQUE

★ Pourquoi faire des impulsions courtes

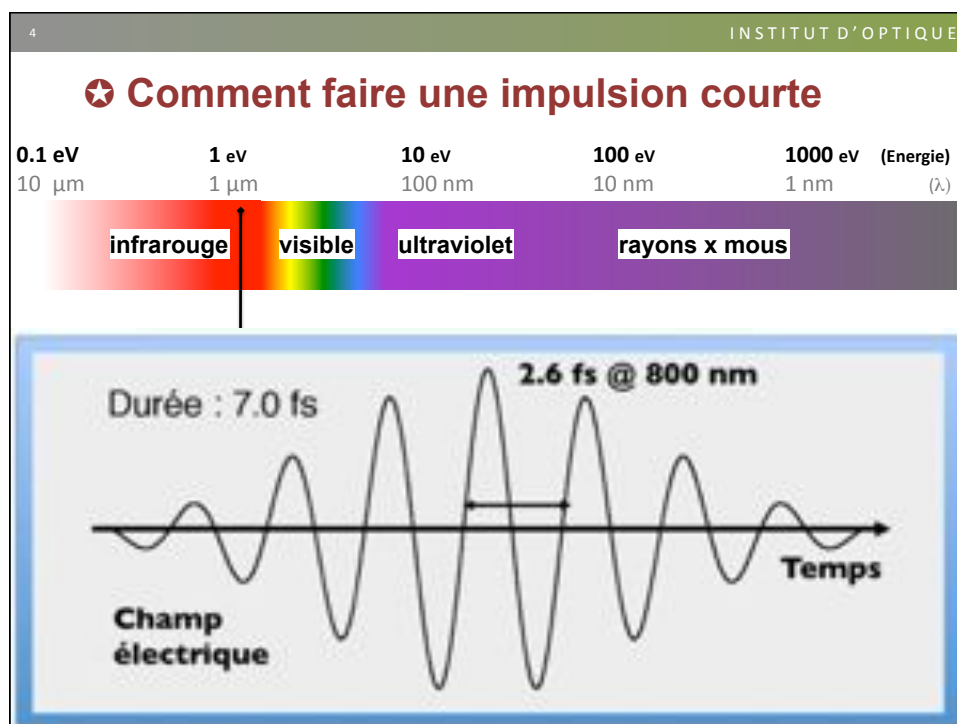
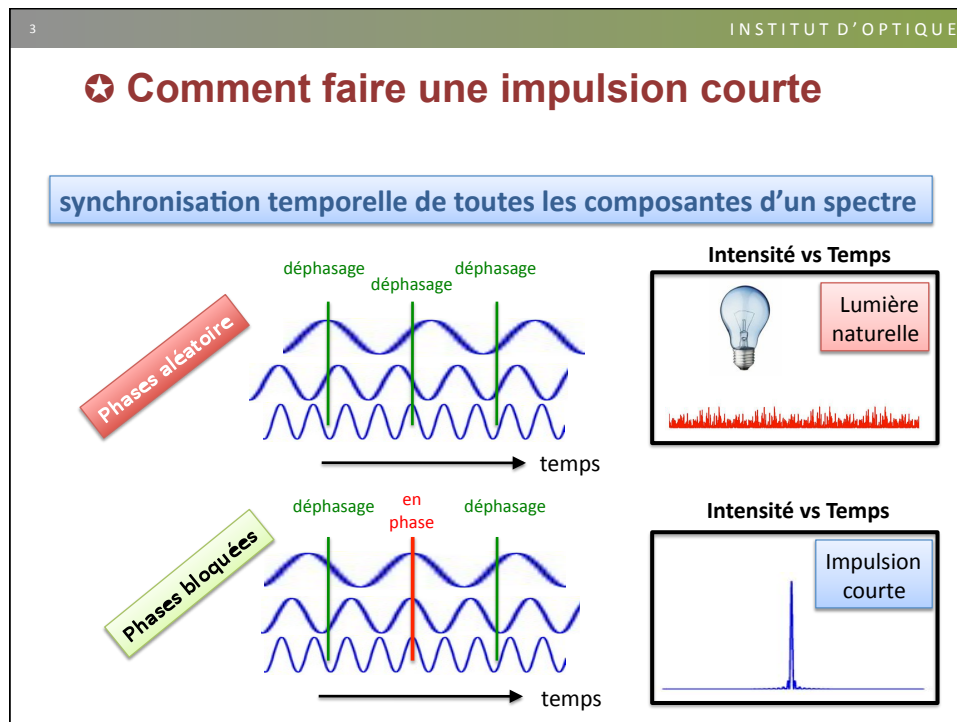
Un flash optique est un outil pour sonder un système avec une résolution temporelle (pompe-sonde)

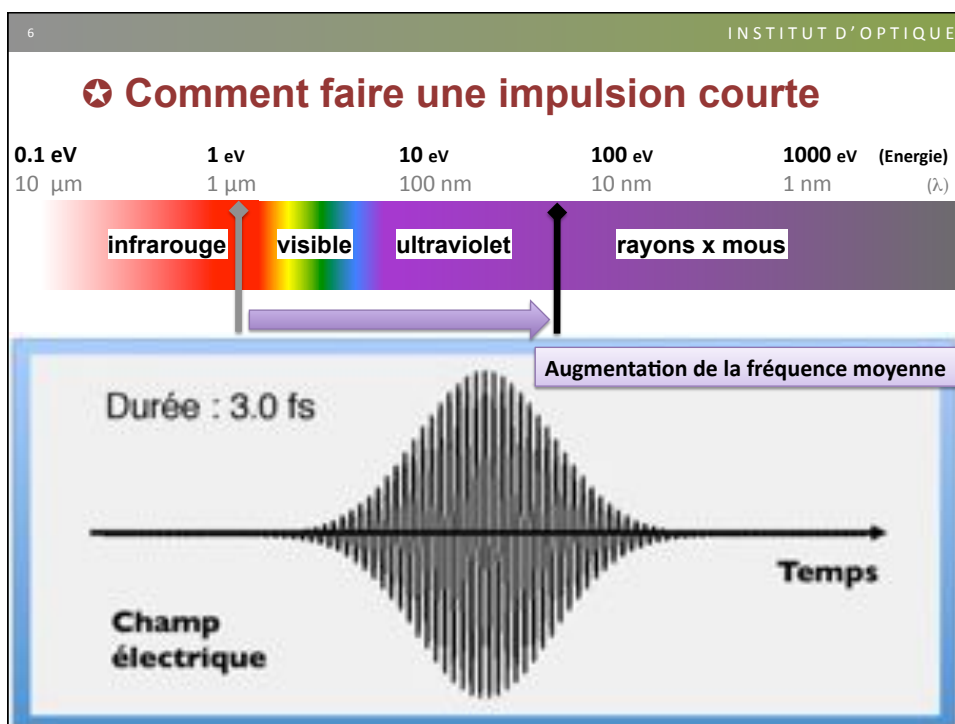
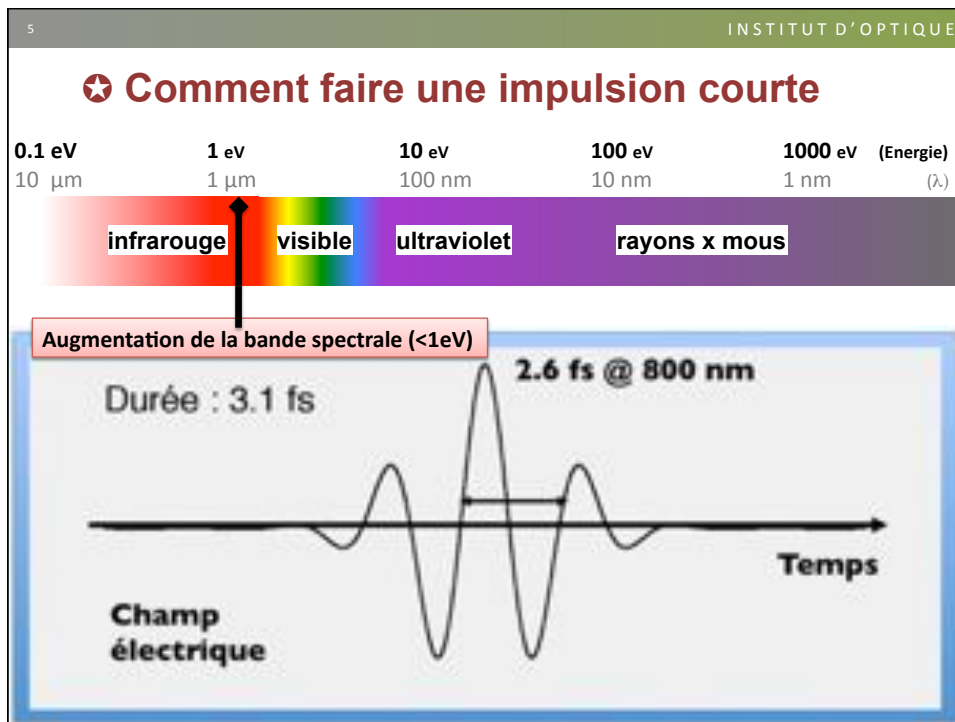


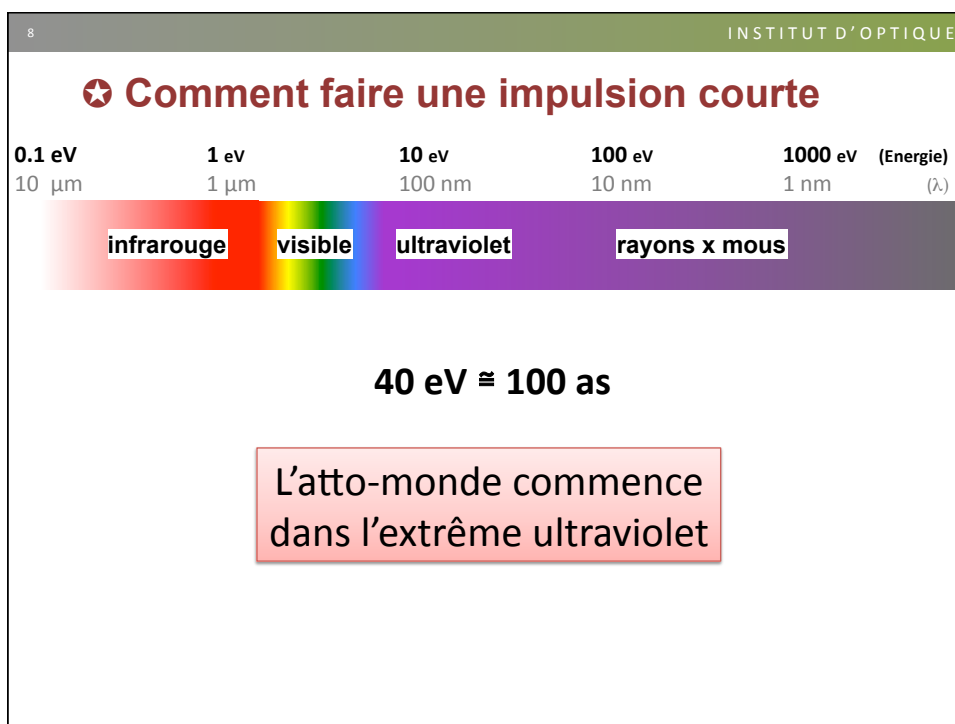
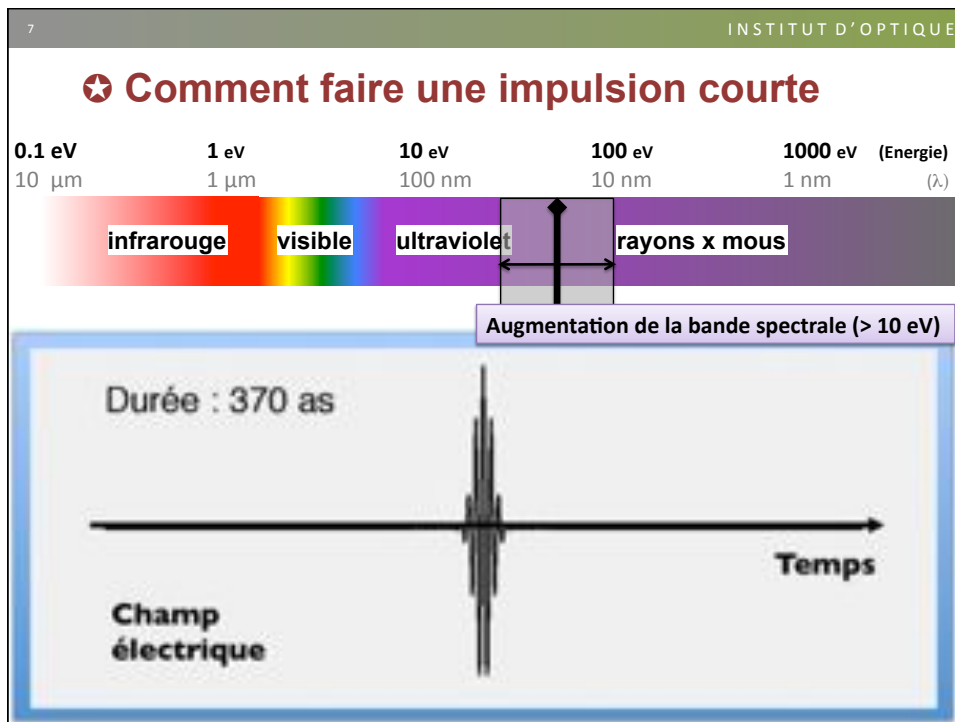
10^{-3} s Stroboscopie

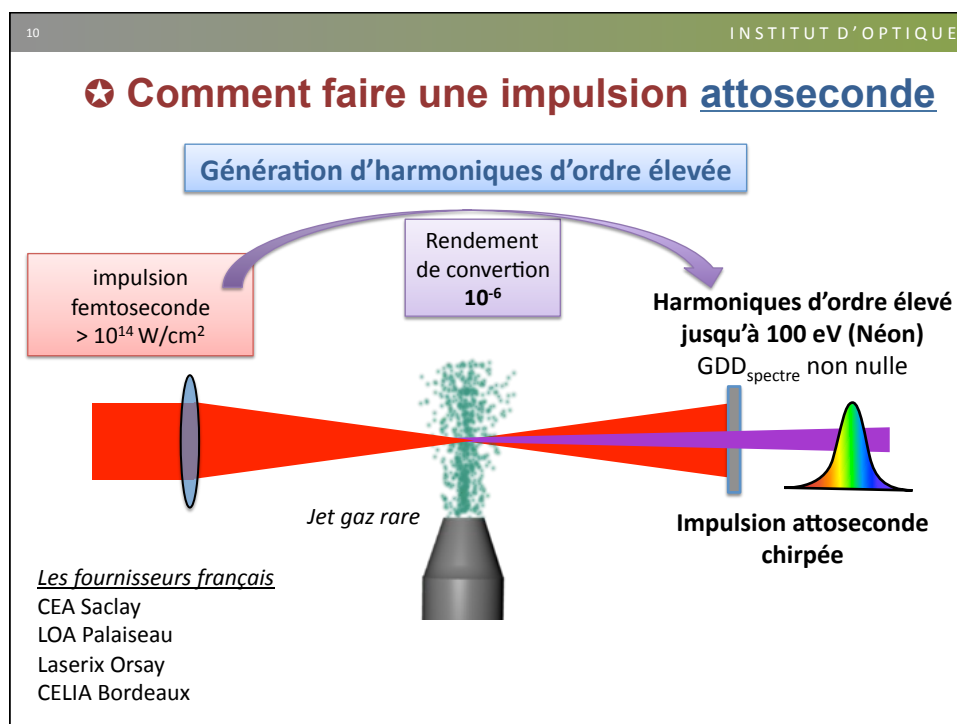
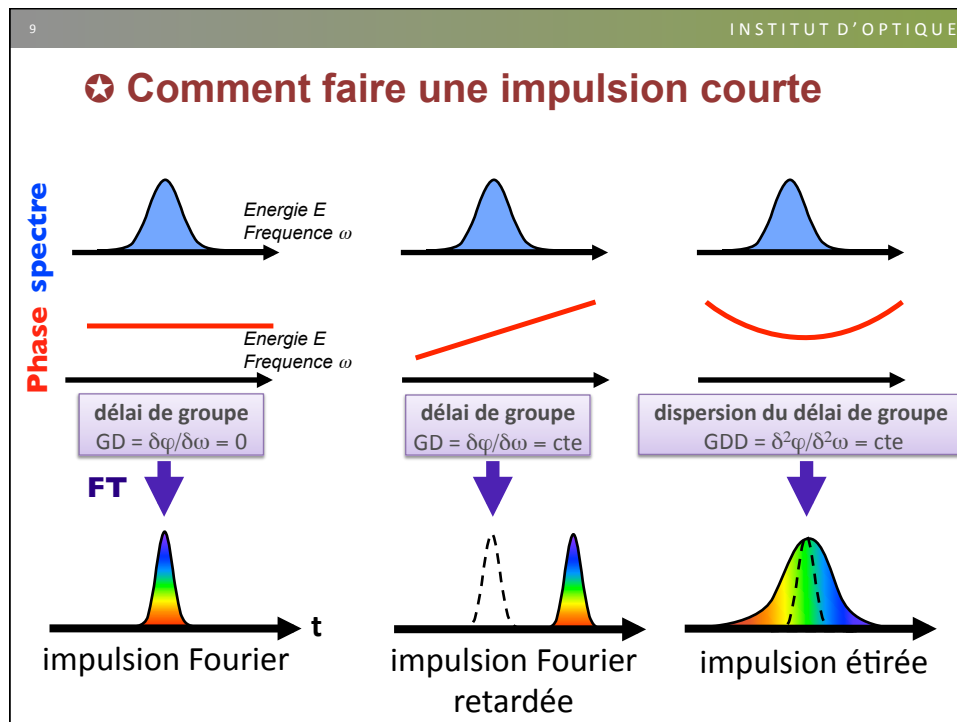
10^{-15} s Dynamique nucléaire dans les molécules
période oscillation de vibration ~ 7 fs (H_2)

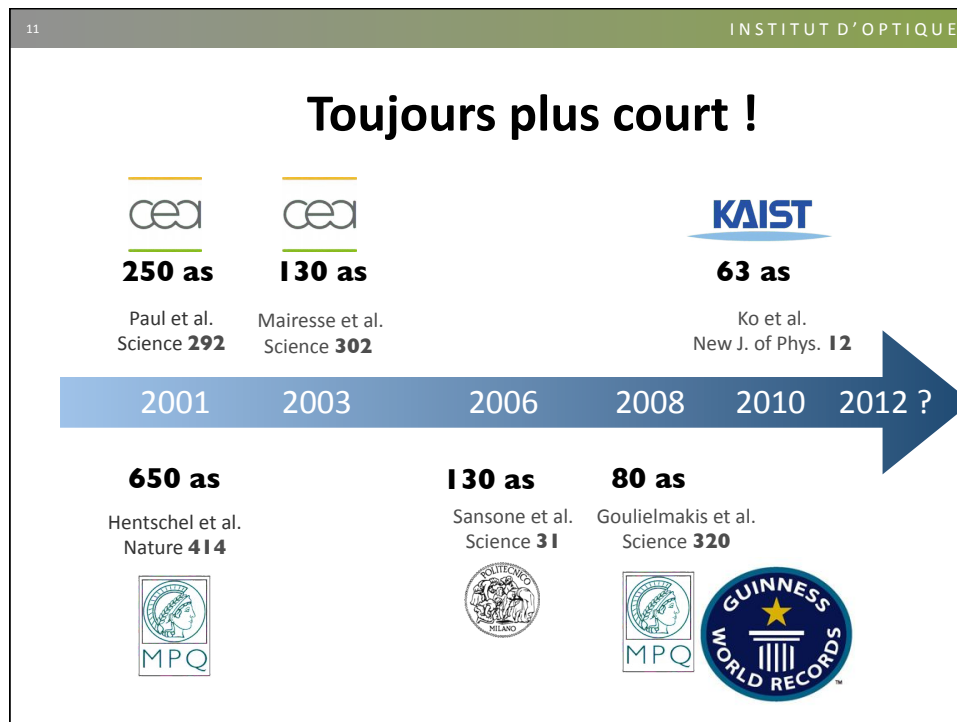
10^{-18} s Dynamique électronique dans les atomes et molécules
temps caractéristique de l'orbite de Bohr dans H
 ~ 152 attosecondes











12 INSTITUT D'OPTIQUE

★ Optiques pour les impulsions ultracourtes

✖ Optiques de transport

Optiques large bande sans dispersion spectrale

$GDD_{optique} = 0$

✖ Optiques de compression

Optiques large bande avec dispersion spectrale contrôlée

$GDD_{optique} = - GDD_{impulsion}$

The diagram illustrates two optical processes. The top part, 'Optiques de transport', shows a broad spectrum pulse (rainbow) being transported without change. The bottom part, 'Optiques de compression', shows a broad spectrum pulse being compressed into a narrower, taller pulse.

✖ Bonne transmission requise

13 INSTITUT D'OPTIQUE

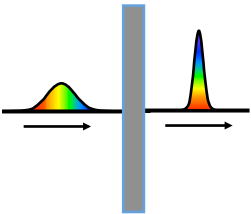
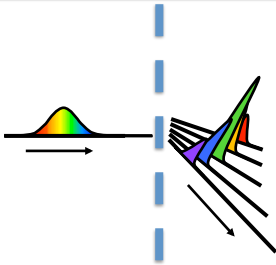
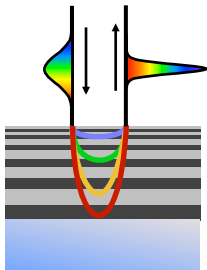
★ Optiques pour les impulsions attosecondes

domaine Extrême Ultraviolet

<p>★ Forte absorption</p> <p>500nm SiO₂ Transmission @30 eV $\ll 10^{-4}$ Transmission @100 eV $\approx 10^{-3}$</p> <p>→ Lentille épaisse interdite</p> <p>→ Lentille diffractive ok ... mais chromatique</p>	<p>★ Réfraction ≈ 1</p> <p>SiO₂ refractive index @30 eV = 0.995 refractive index @100 eV = 0.999</p> <p>→ faible réflectivité en incidence normale</p> <p>→ haute réflectivité en incidence rasante ... sans contrôle possible de la phase</p>
--	---

14 INSTITUT D'OPTIQUE

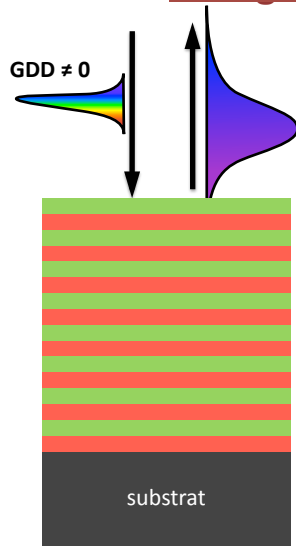
★ Optiques pour les impulsions ultracourtes

<p><i>Dispersion réfractive</i></p>  <p>Filtre en transmission Cellule de gaz</p>	<p><i>Dispersion diffractive</i></p>  <p>Réseau</p>	<p><i>Dispersion interférentielle</i></p>  <p>Milieu structuré</p>
--	--	---

Optiques multicouches pour le transport et la compression d'impulsions ultracourtes

1. Design
2. Fabrication
3. Caractérisation

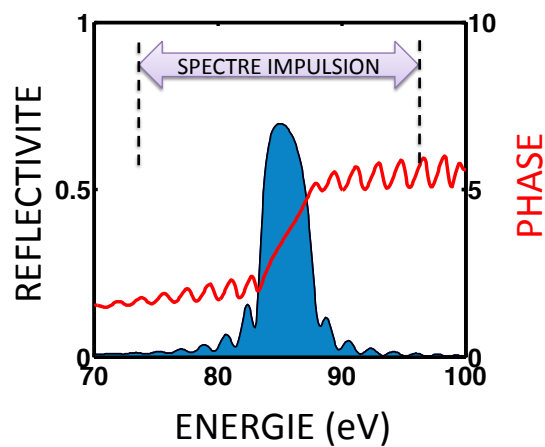
1. Design

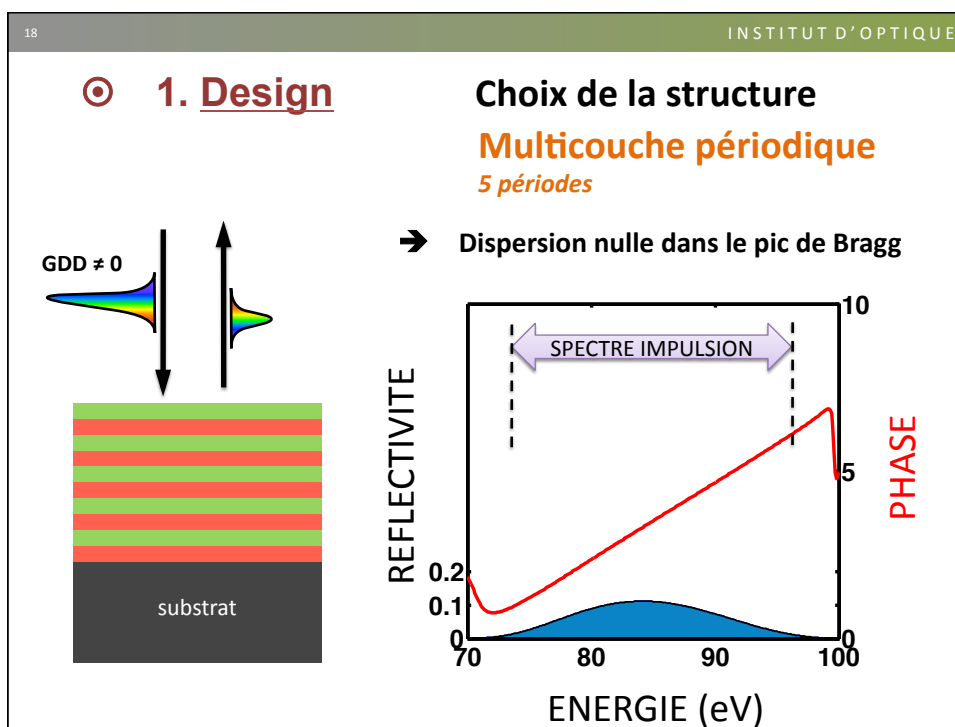
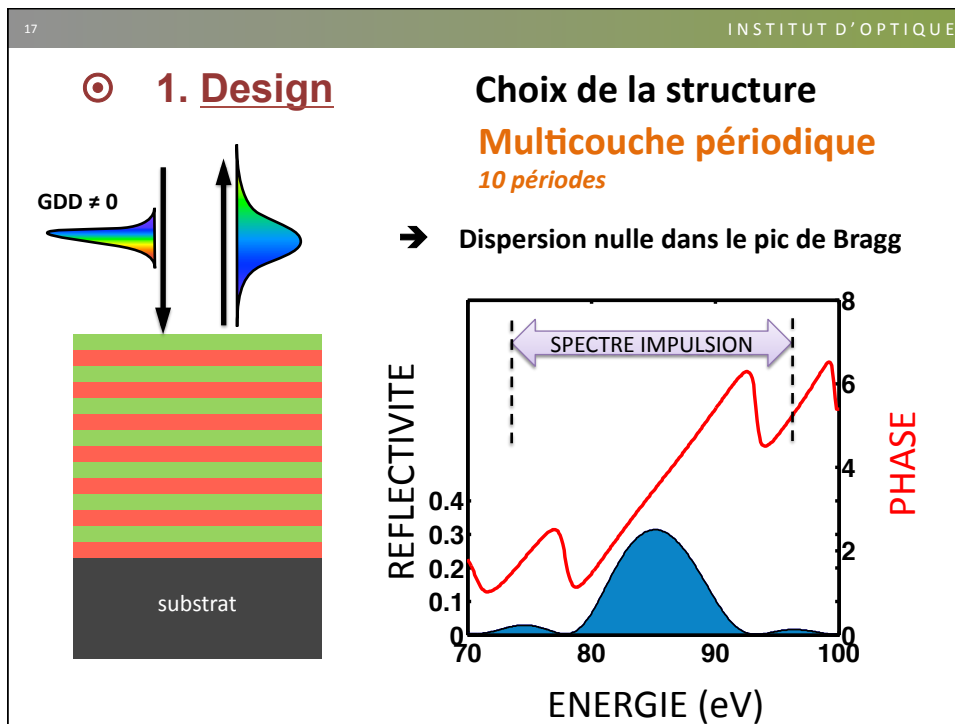


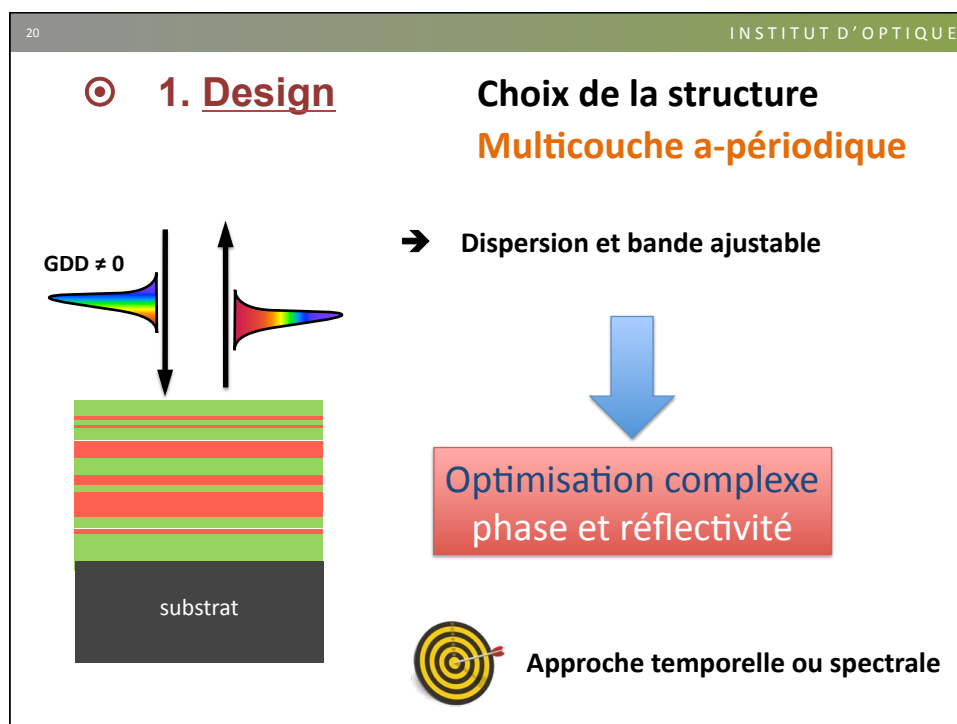
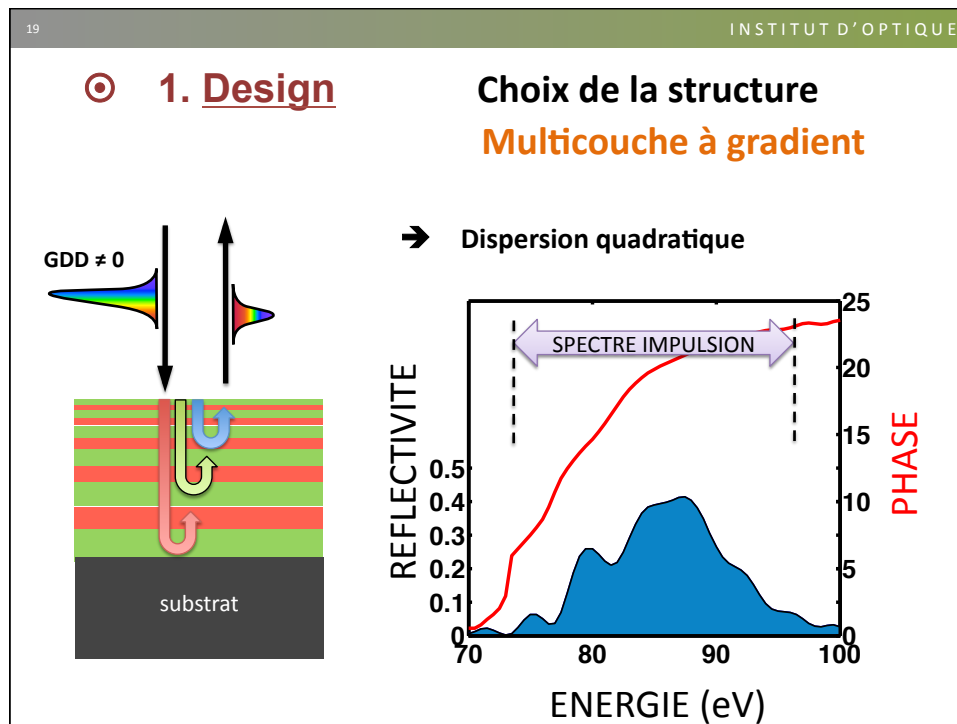
Choix de la structure

Multicouche périodique
40 périodes

→ Dispersion nulle dans le pic de Bragg







1. Design

Choix des matériaux

- Epaisseurs nanométriques précise à l'angström
- Rugosité à l'angström
- Eviter la cristallisation au cours du dépôt
- Connaissance/Mesure des constantes optiques

Multicouche Haute Réflectivité

$R > 50 \%$

Mo/Si (1985, Barbee et al.)
 Mo/Be (1995, Skulina et al.)
 Sc/Si (1998, Uspenskii et al.)
 Mg/Sc/SiC (2009, Aquila et al.)
 Al/Mo/SiC (2010, Meltchakov et al.)

Multicouches Atto

Les débuts

Beigman et al. J. Opt. A (2002)
 Wonisch et al. Thin Solid Film (2004)
 Morlens et al. Opt. Lett. (2005)
 Aquila et al. Opt. Exp. (2006)

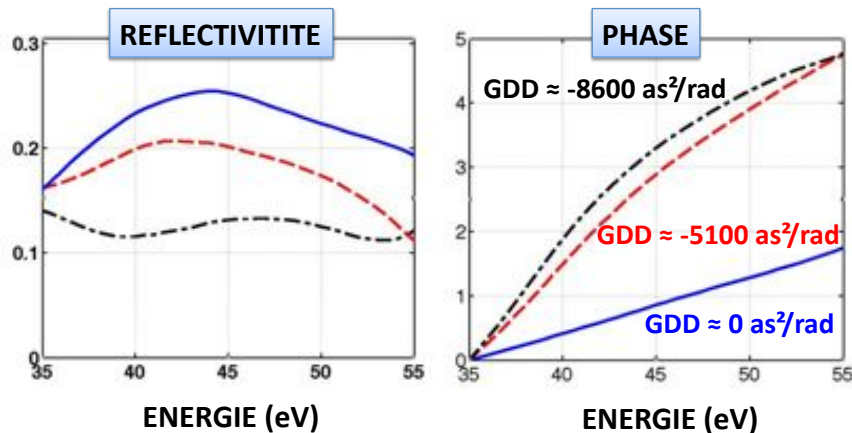
1. Design

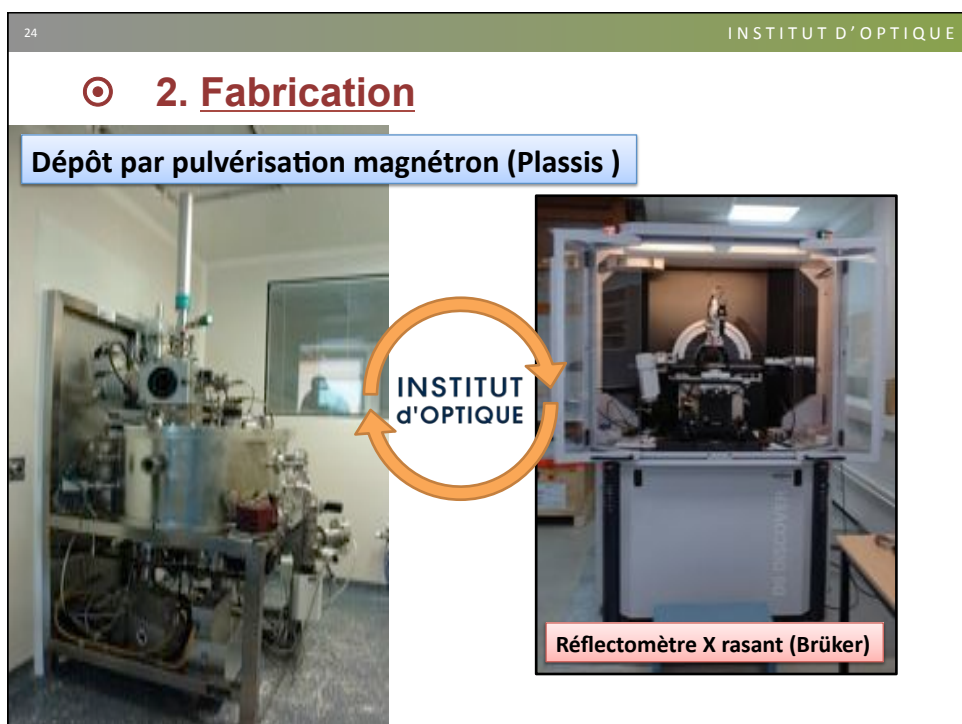
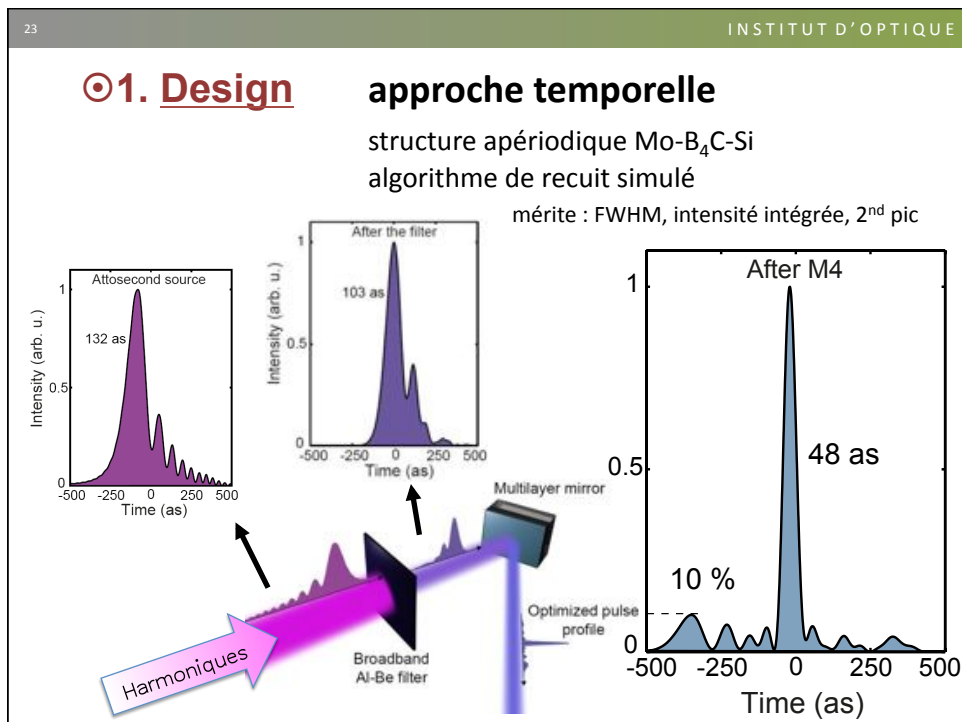
approche spectrale

structure aperiodique Mo-B₄C-Si

algorithme de recuit simulé

mérite : réflectivité et GDD sur 35-55 eV





25 INSTITUT D'OPTIQUE

2. Fabrication

Dépôt par pulvérisation magnétron (Plassis)


4 cibles rectangulaires
200×80mm²

Matériaux
B4C, Mo, Si, SiC, W, Sc, Al...

2 générateurs RF
1000 W max, 300 W max

2 générateurs DC
500 W max

Dépôt en mode dynamique
Gaz : Ar, N₂, O₂



INSTITUT
d'OPTIQUE

Mesure épaisseur
Mesure rugosité

Source K α 0.154 nm

Plage angulaire
0-20°

Résolution angulaire
0.04°

Réflectomètre X rasant (Brüker)

26 INSTITUT D'OPTIQUE

2. Fabrication

Microscopie électronique à transmission
Sections transverses de quelques multicouches



Mo-B4C



Mo-Si

Al/Mo/SiC



27 INSTITUT D'OPTIQUE



◎ **3. Caractérisation** réflectivité et phase

Source de Lumière Attoseconde

elettra

cea

Source de Lumière Synchrotron

28 INSTITUT D'OPTIQUE

◎ **3. Caractérisation sur synchrotron**

elettra

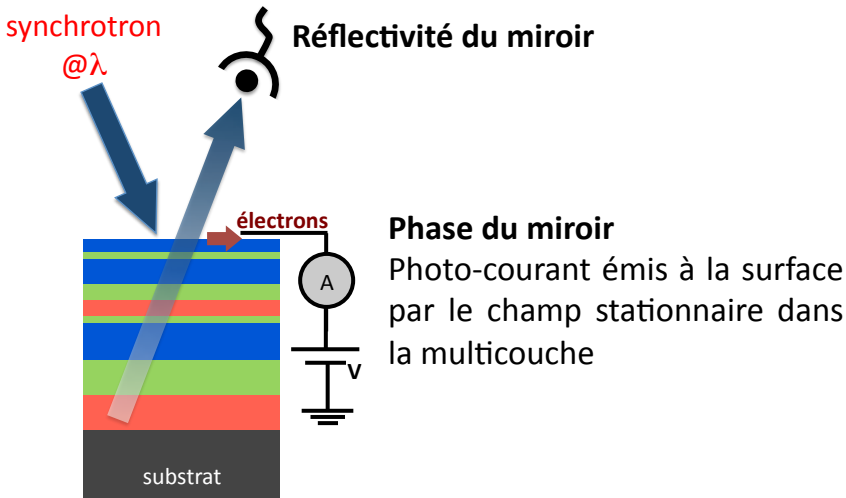
synchrotron @ λ

Réfectivité du miroir

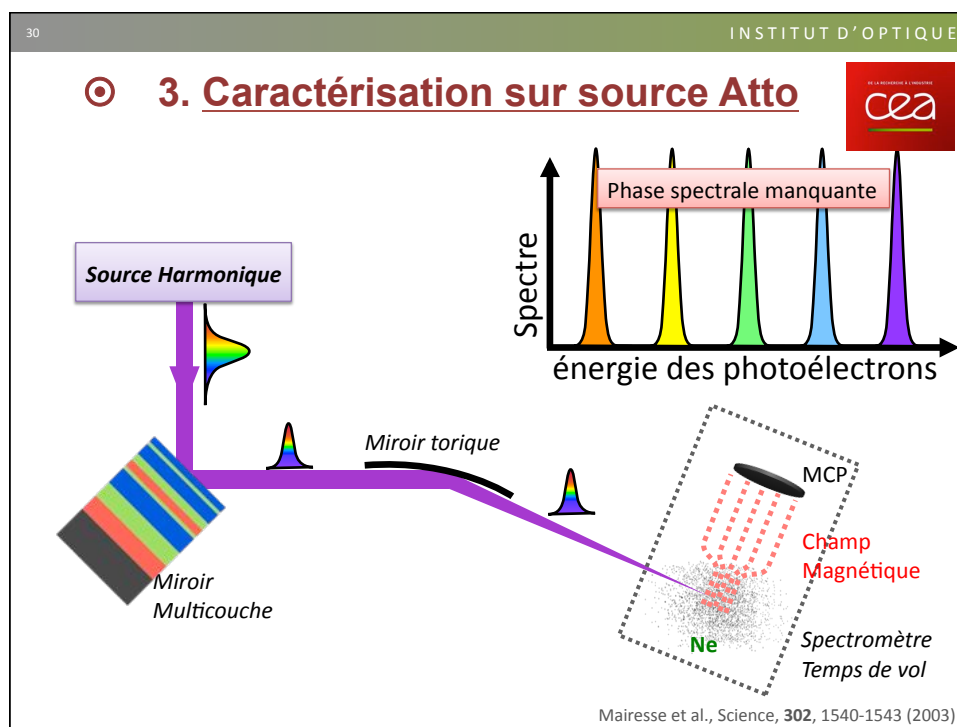
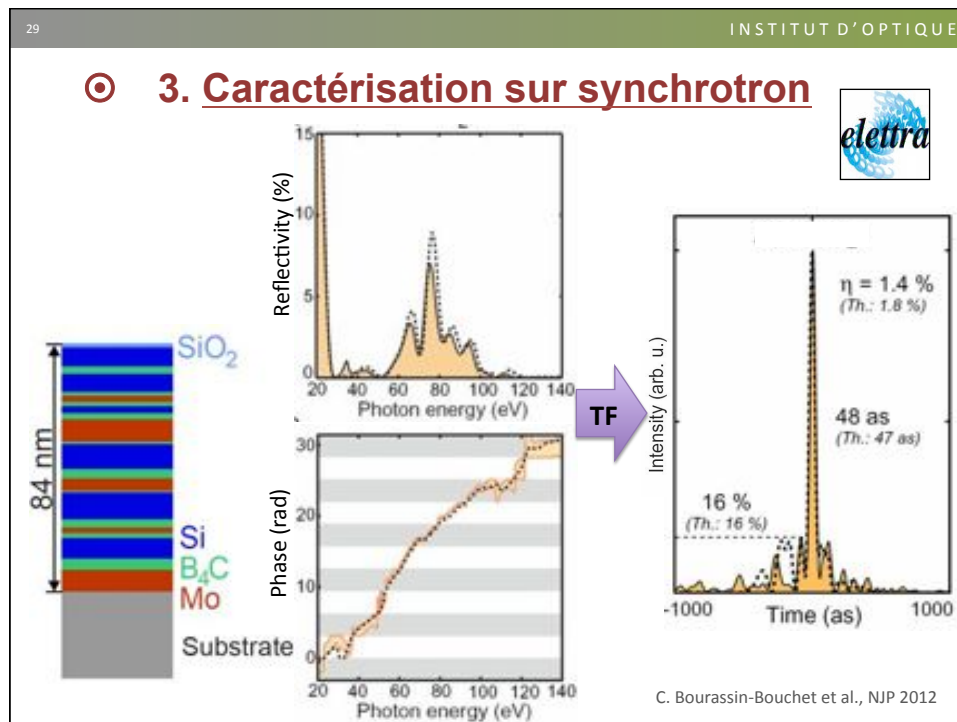
électrons

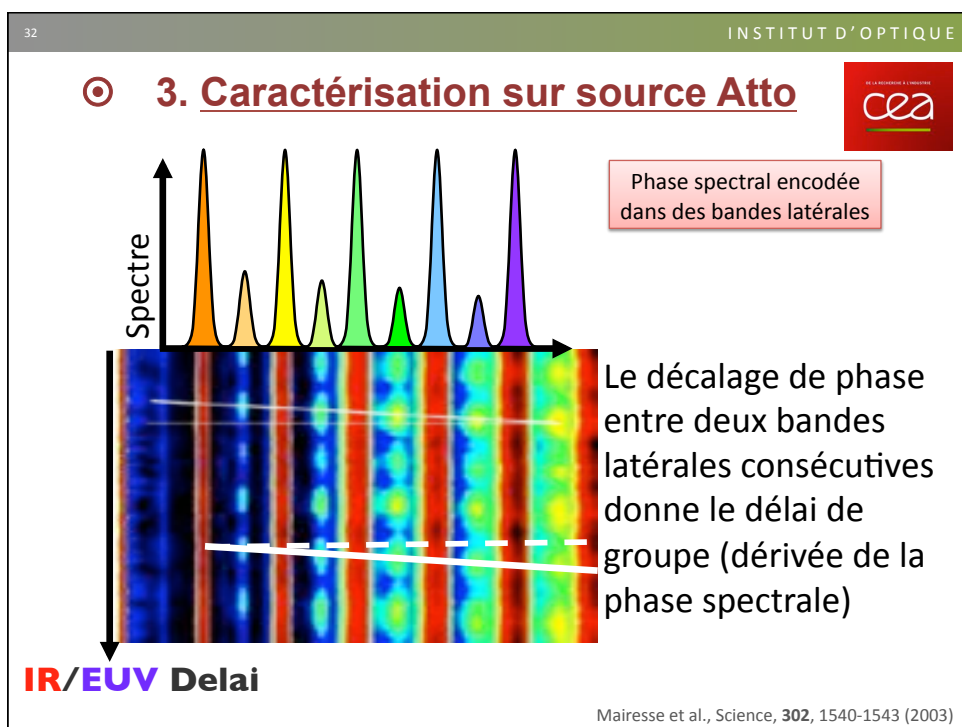
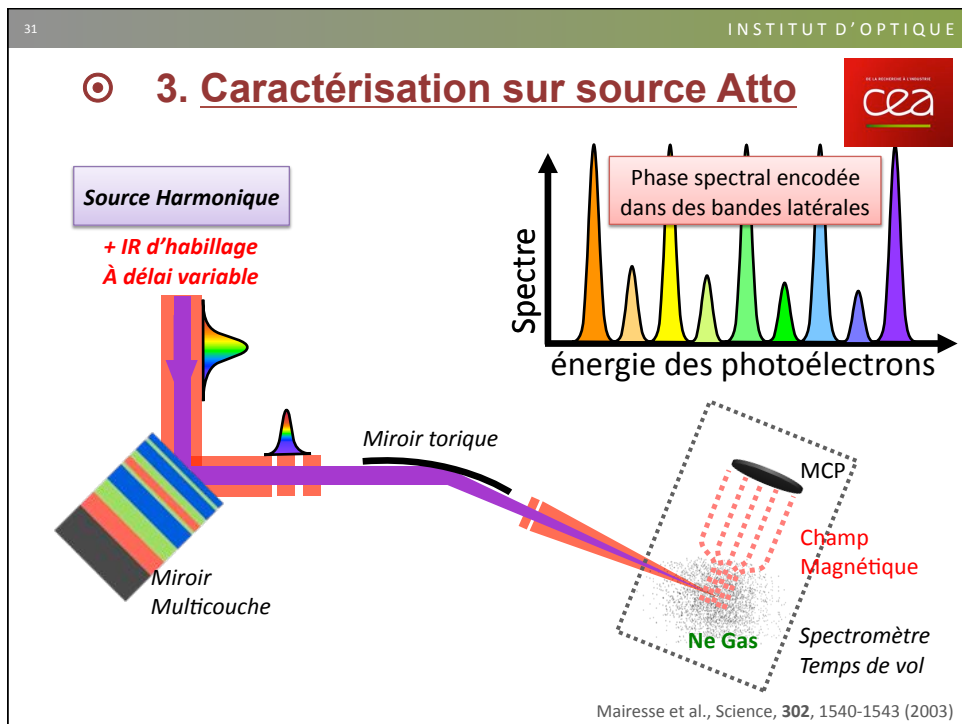
Phase du miroir
Photo-courant émis à la surface par le champ stationnaire dans la multicouche

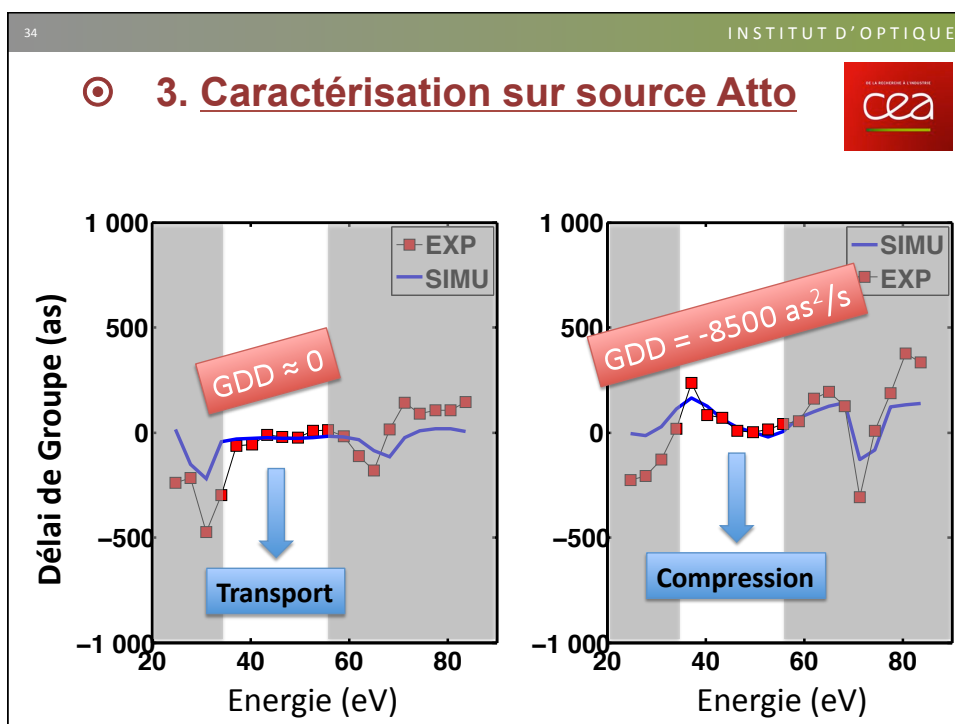
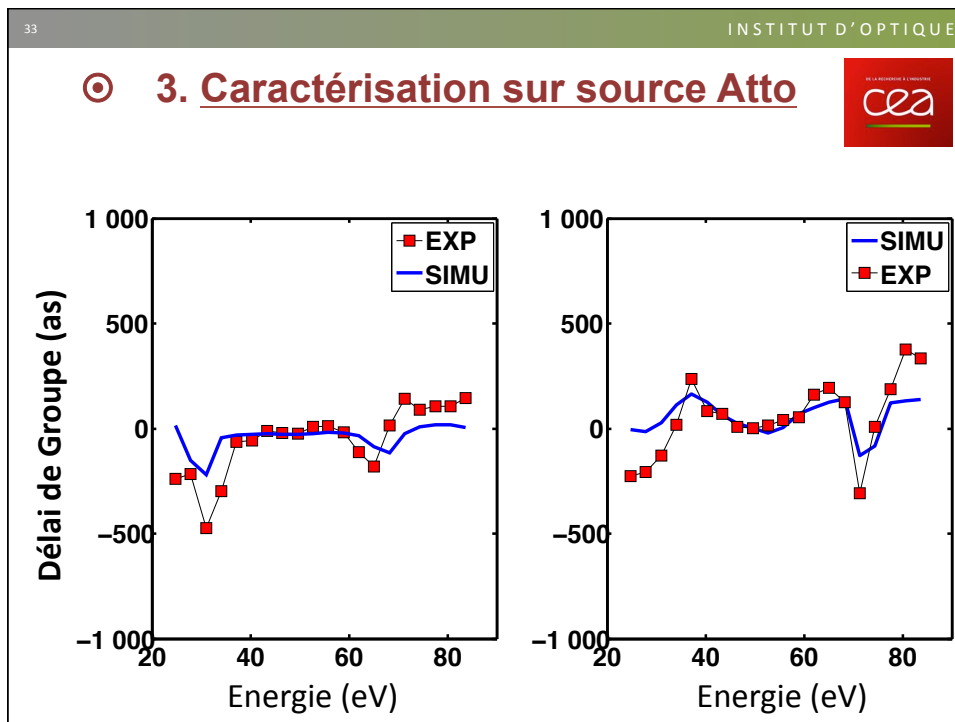
substrat



Aquila et al., Opt. Lett. 33, 455 (2008)







Conclusion

**Les structures multicouches
sont adaptées
à la manipulation des impulsions attosecondes**

Améliorations et challenges

- ★ Métrologie de la phase spectrale
- ★ Augmenter la bande spectrale
- ★ Utiliser des nouveaux matériaux
- ★ Structuration 2D
- ★ Vers le façonnage d'impulsion



Remerciements

Les collègues du 503

Charles Bourassin-Bouchet
Evgeni Meltchakov
Arnaud Jérôme
Françoise Varnière
Françoise Bridou

Anne-Lise Coutrot
Benoît Emprin
Daniel Moncada
Marc Roulliay (ISMO)
Blandine Capitanio (SOLEIL)



Ligne de lumière synchrotron BEAR

Angelo Giglia
Nicolas Mahne
Stephano Nannarone



Service des Photons, Atomes et Molécules

Zsolt Diveki
Thierry Ruchon
Pascal Salières
Bertrand Carré

