

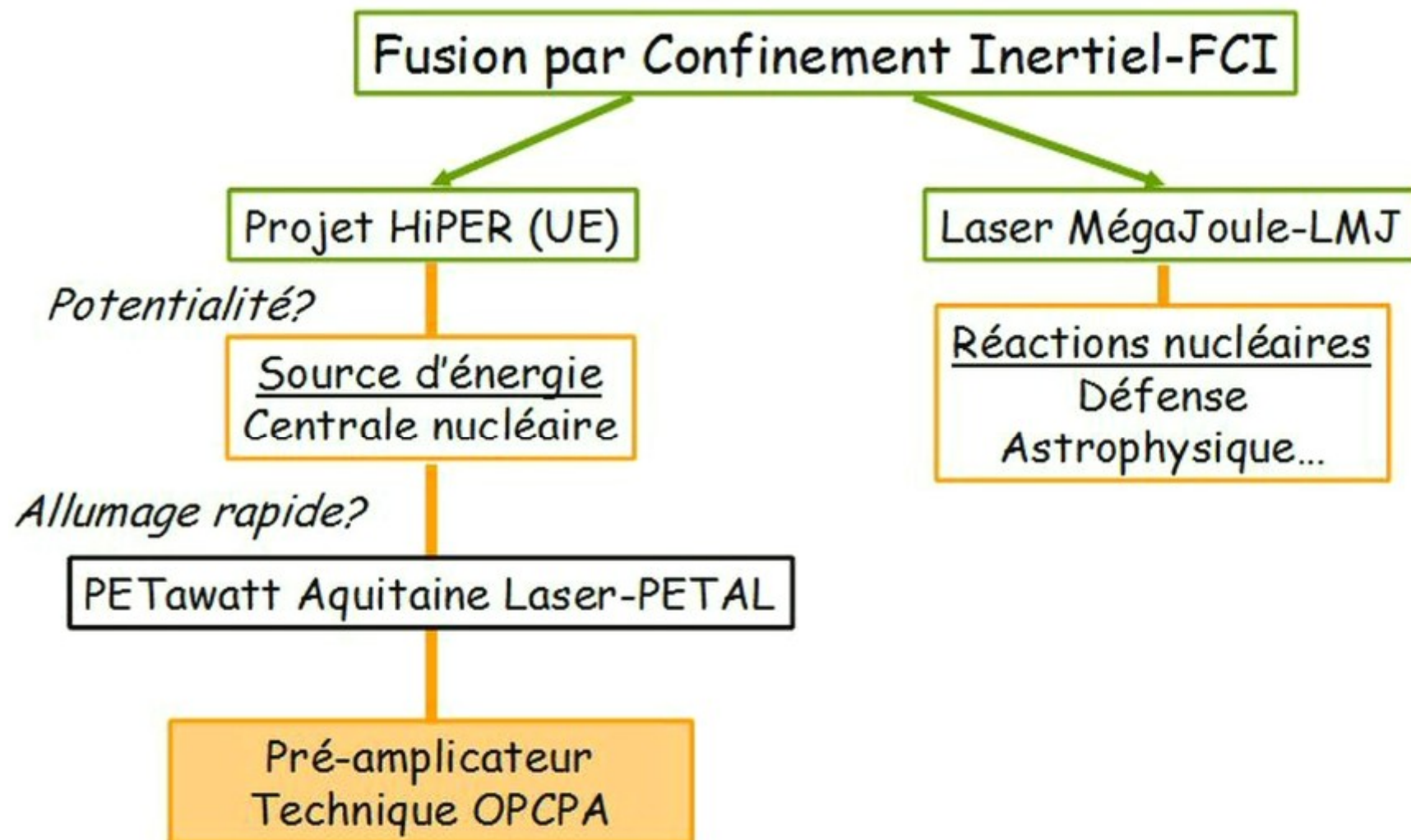


Le façonnage d'impulsions ultracourtes par amplification paramétrique optique à dérive de fréquence

Ambre NELET



Introduction générale



Introduction

*«Le façonnage d'impulsions ultracourtes
par amplification paramétrique optique à dérive de fréquence»*

Accroître la puissance d'un laser

$$\text{Puissance} = \frac{\text{Énergie}}{\text{Temps}}$$

➤ Énergie

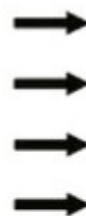
Système régénératif
Système multipassage
Milieu laser

➤ Temps

Technique **OPCPA**
Cristal non-linéaire

Contraintes

Gain simple passage faible
Stockage d'énergie
Charge thermique critique
Émission parasite (ASE)



Réponse

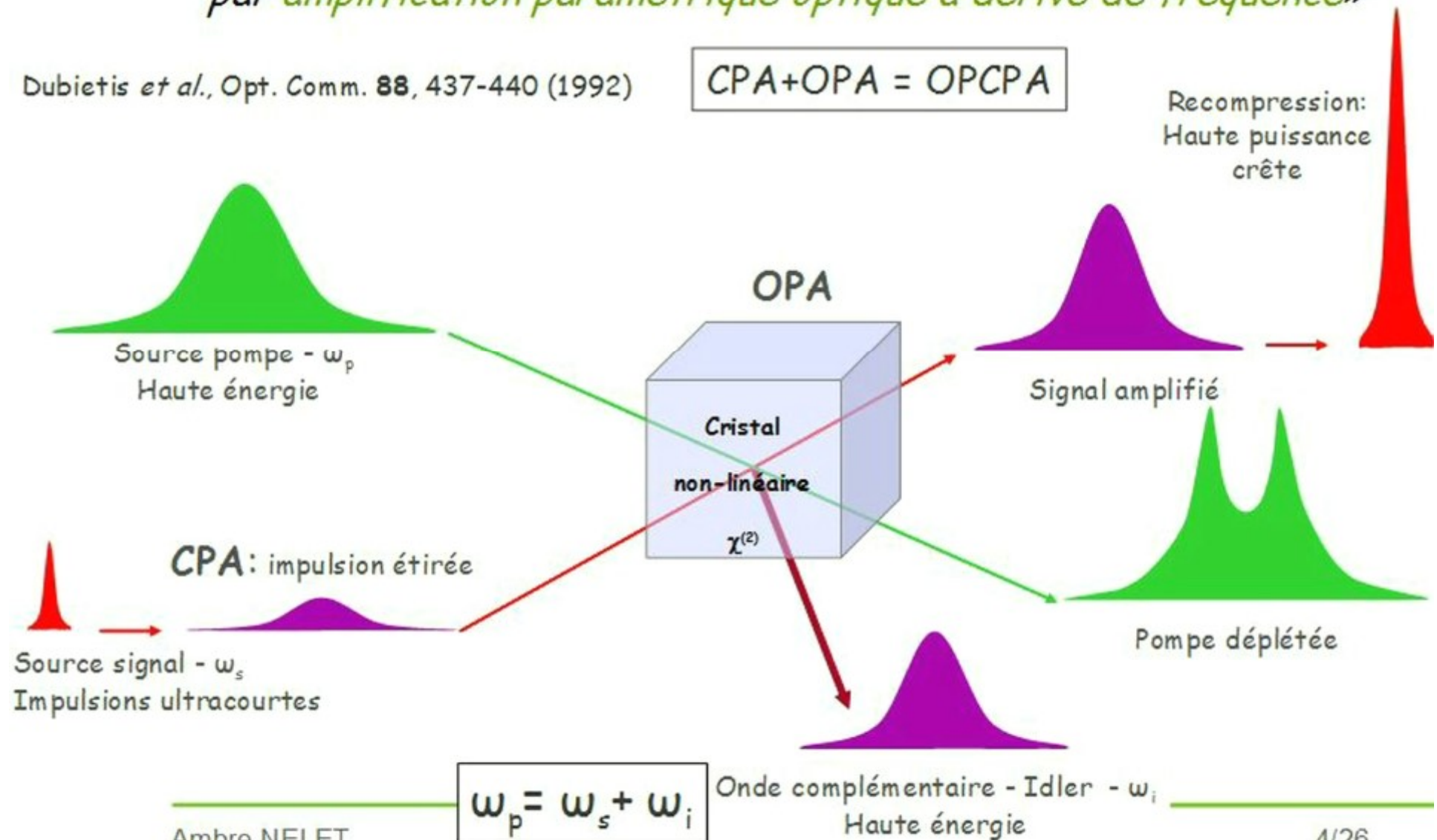
Élevé
Transfert d'énergie
Négligeable
Fluorescence paramétrique

Introduction

«Le façonnage d'impulsions ultracourtes
par *amplification paramétrique optique à dérive de fréquence*»

Dubietis *et al.*, Opt. Comm. **88**, 437-440 (1992)

$$\text{CPA+OPA} = \text{OPCPA}$$



Introduction

«Le façonnage d'impulsions ultracourtes
par *amplification paramétrique optique à dérive de fréquence*»

Gain OPA

Module du gain OPA

$$G_{OPA}(L) = 1 + \left(\frac{\Gamma}{\gamma} \right)^2 \sinh^2(\gamma L)$$

Phase du gain OPA

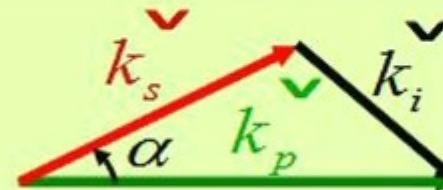
$$\Phi_{OPA}(L) = \frac{\Delta k}{2} L + \arctan \left[\frac{\Delta k}{2\gamma} \tanh(\gamma L) \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma^2 = \frac{8\pi^2 d_{eff}^2 I_p}{n_s n_i n_p \lambda_s \lambda_i \varepsilon_0 c} \\ \gamma = \sqrt{\Gamma^2 - \left(\frac{\Delta k}{2} \right)^2} \\ \Delta k = k_p - k_s - k_i \end{array} \right.$$

$$I_p(t), I_p(x)$$

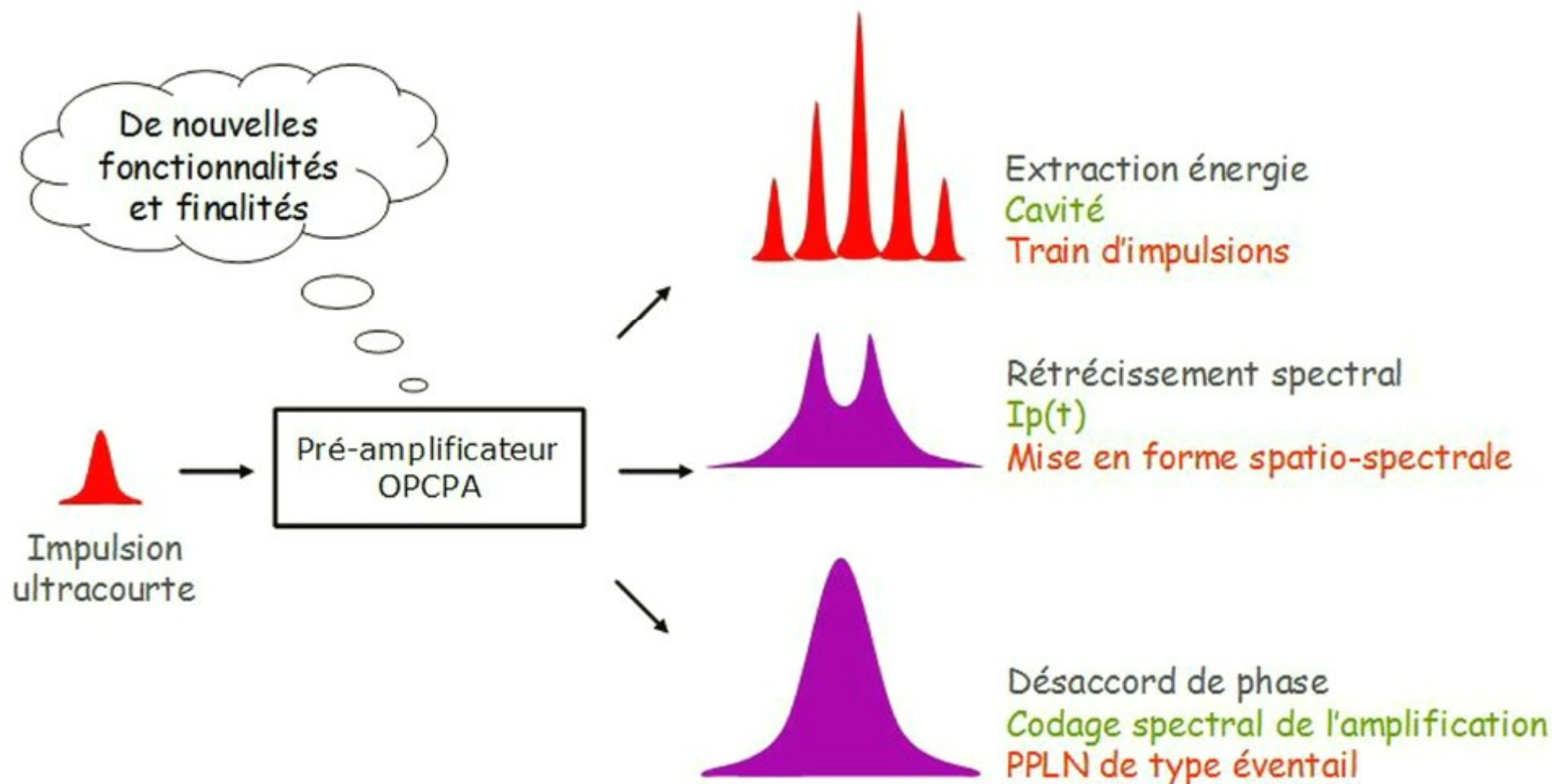
$$\Delta k \neq 0 \quad \text{lorsque} \quad \omega_s \neq \omega_{s0}$$

Configuration
dégénérée / non-dégénérée



Introduction

«Le *façonnage d'impulsions ultracourtes*
par amplification paramétrique optique à dérive de fréquence»





Amplification et duplication d'impulsions ultracourtes par OPCPA

Motivations

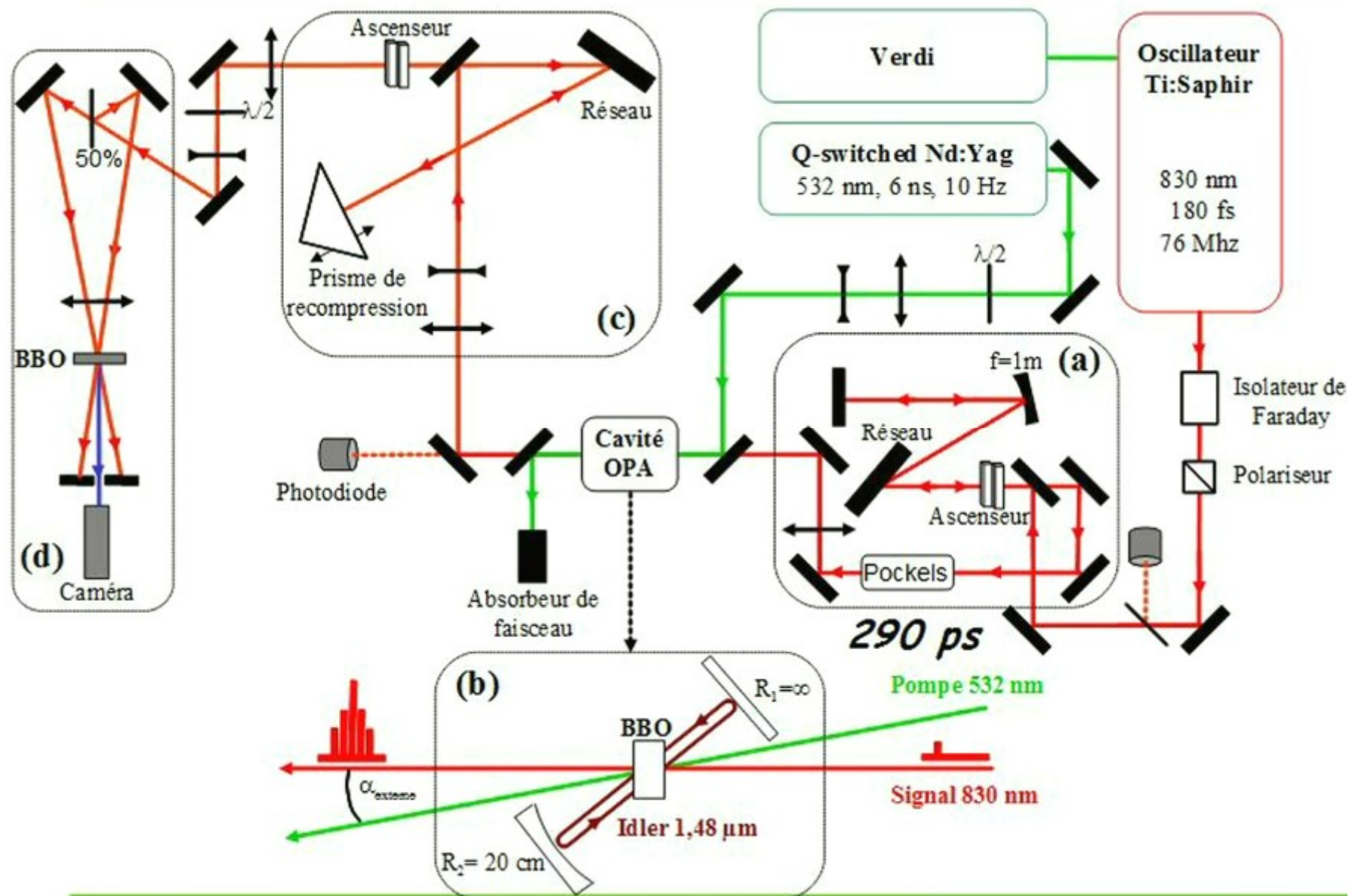
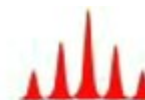
Extraction d'énergie et duplication



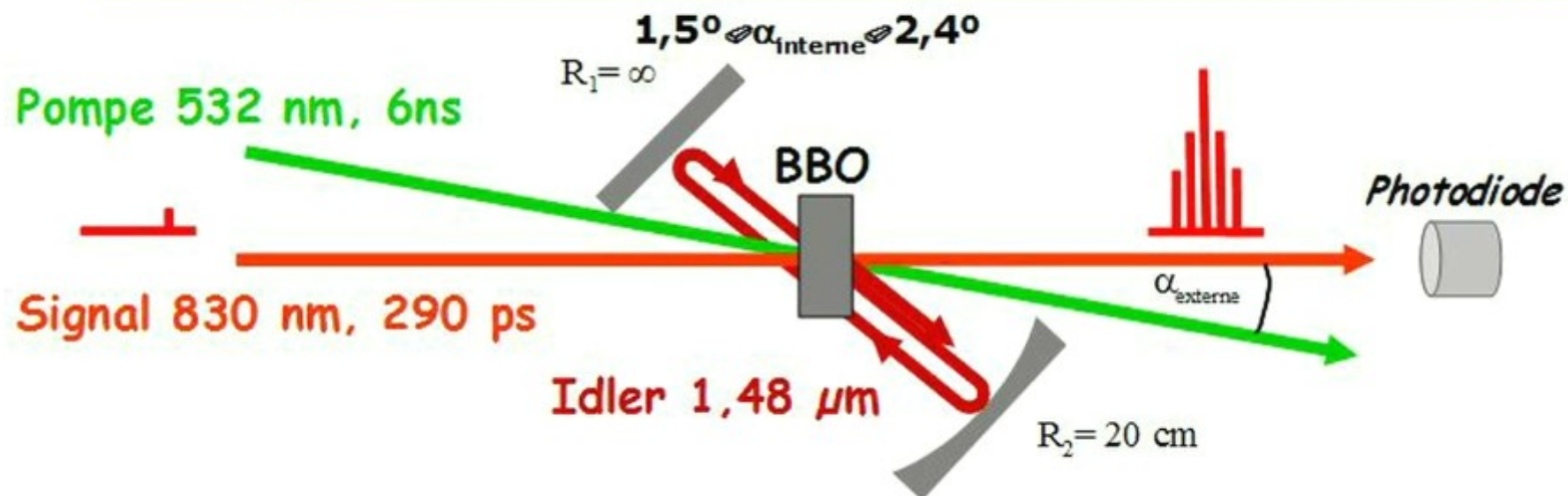
Cavité

Onde idler

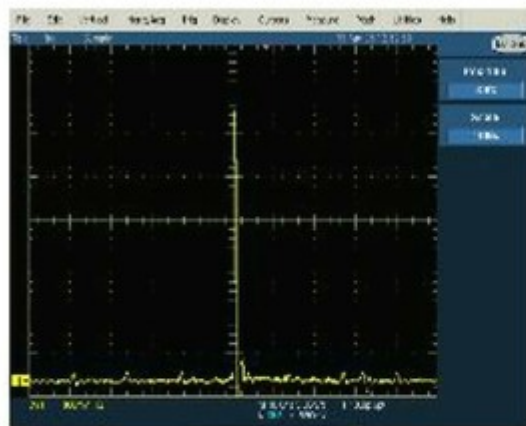
Montage



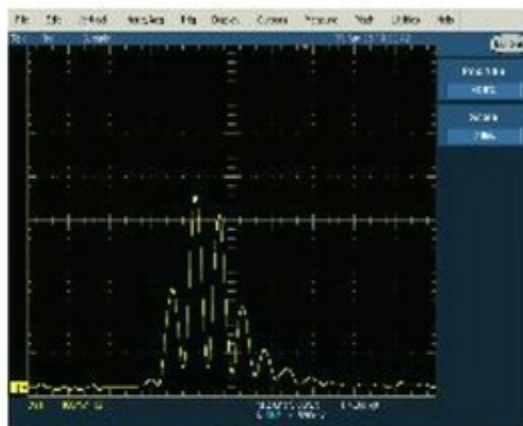
Principe



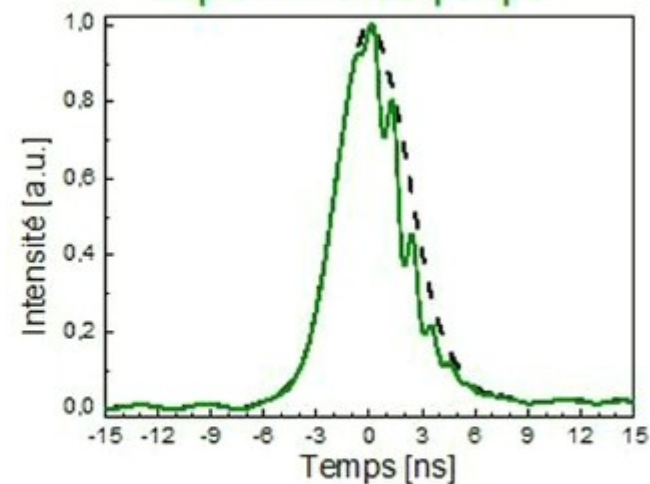
Simple-passage



Multi-passage



Déplétion onde pompe



Résultats expérimentaux



Gain en énergie

Signal étiré: 1,3 nJ / impulsion

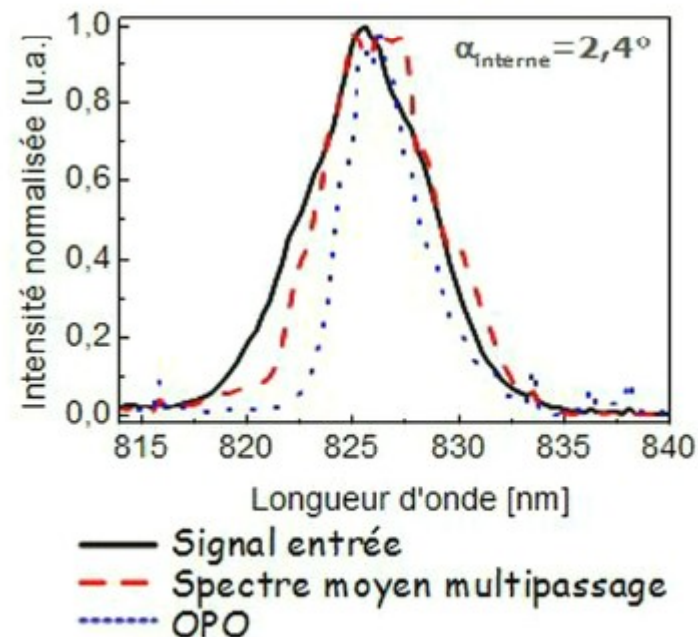
Multipassage: 3.10^5 nJ / train

➡ Gain en énergie:

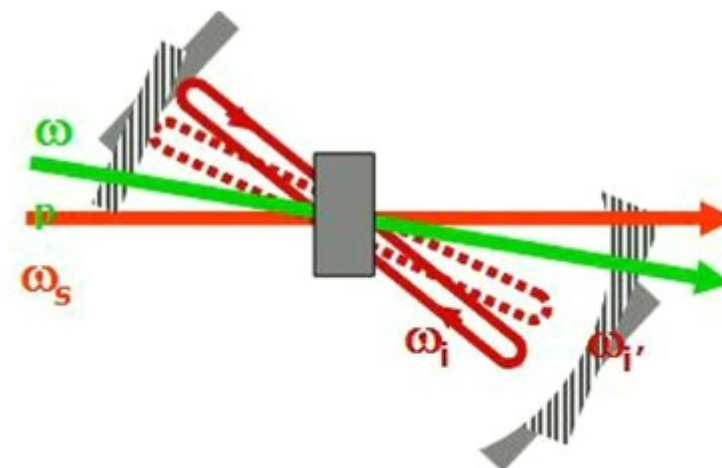
Simple passage
 ~ 250

Multi-passage
 $> 2.10^5$

Spectre typique



Accordabilité



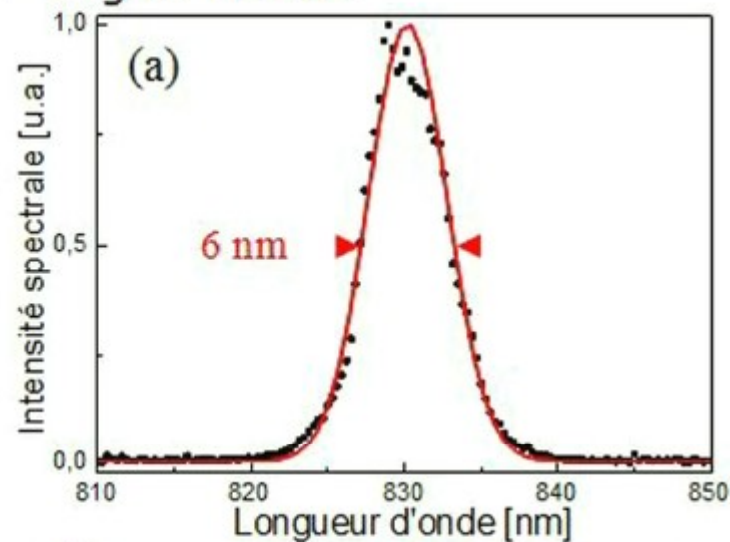
- ✓ 6 nm sans rétrécissement spectral
- ✓ 15 nm avec gain constant

Résultats expérimentaux

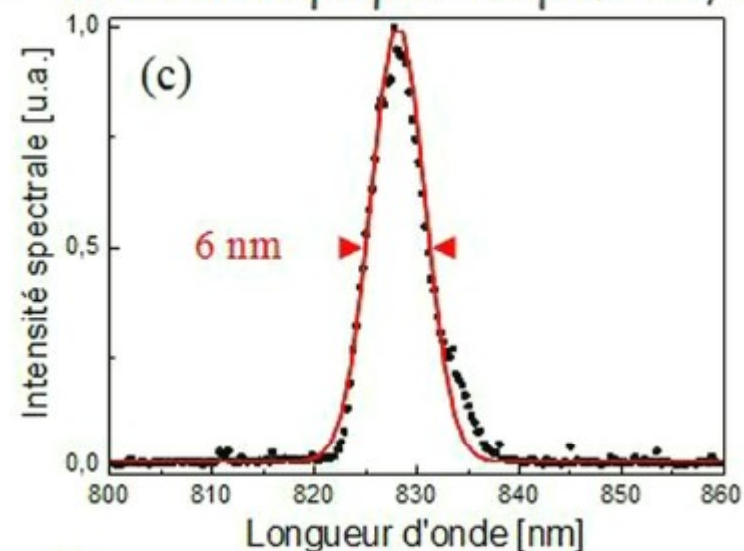


Durée d'impulsion typique

➤ Signal entrée

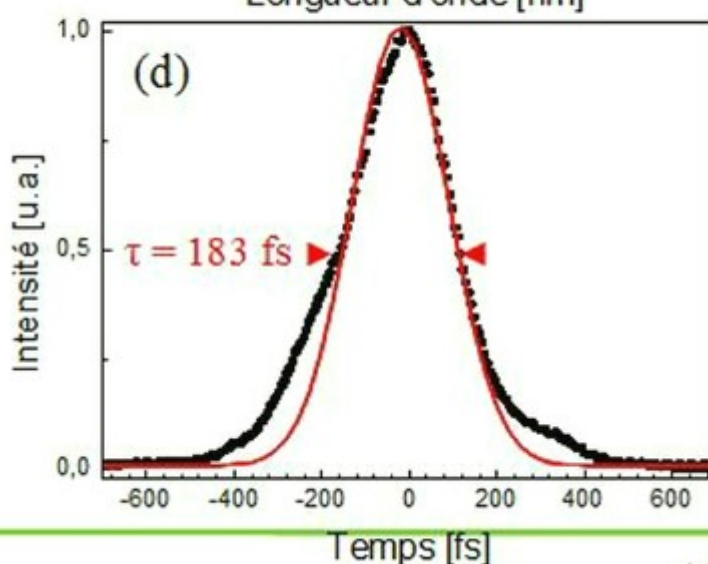
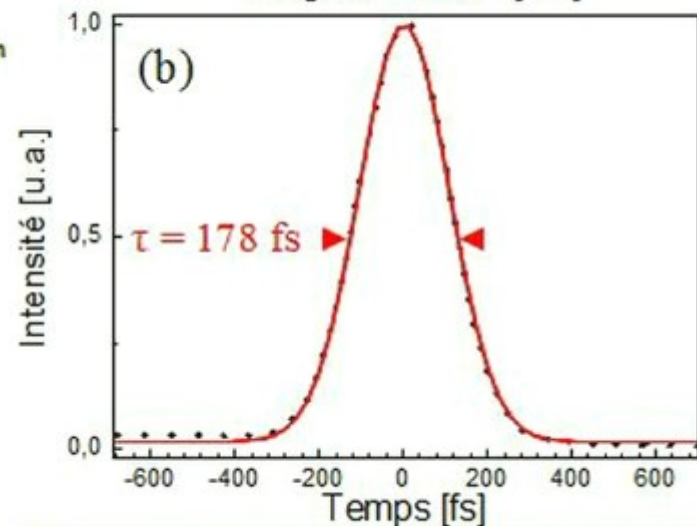


➤ Train de répliques amplifiées, $\alpha=2^\circ$



— Mesure

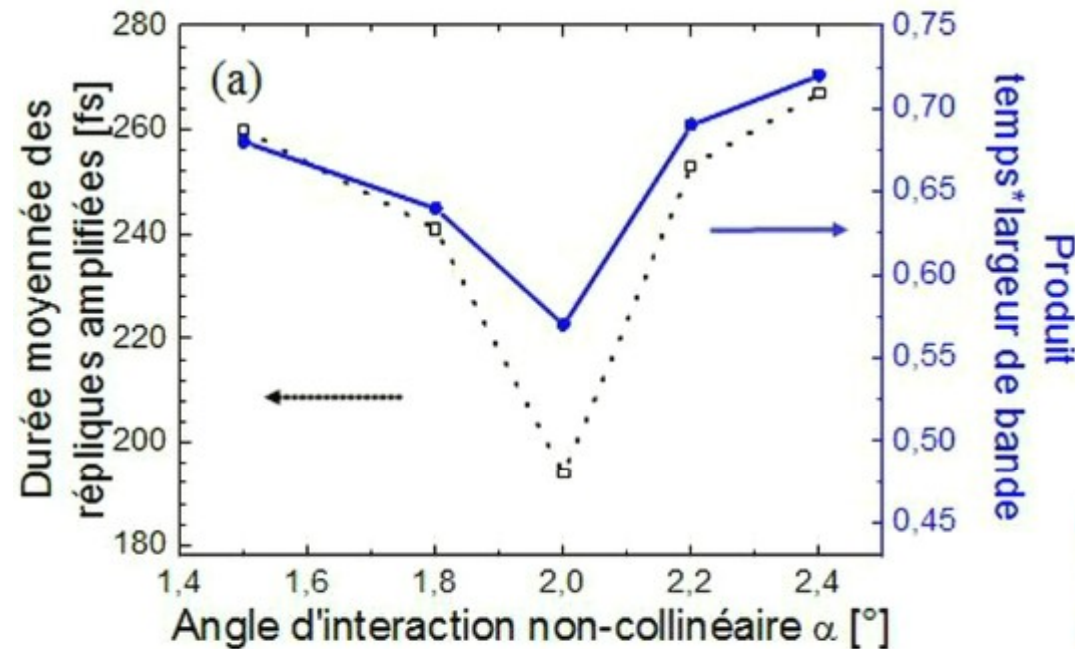
— Fit gaussien



Résultats expérimentaux

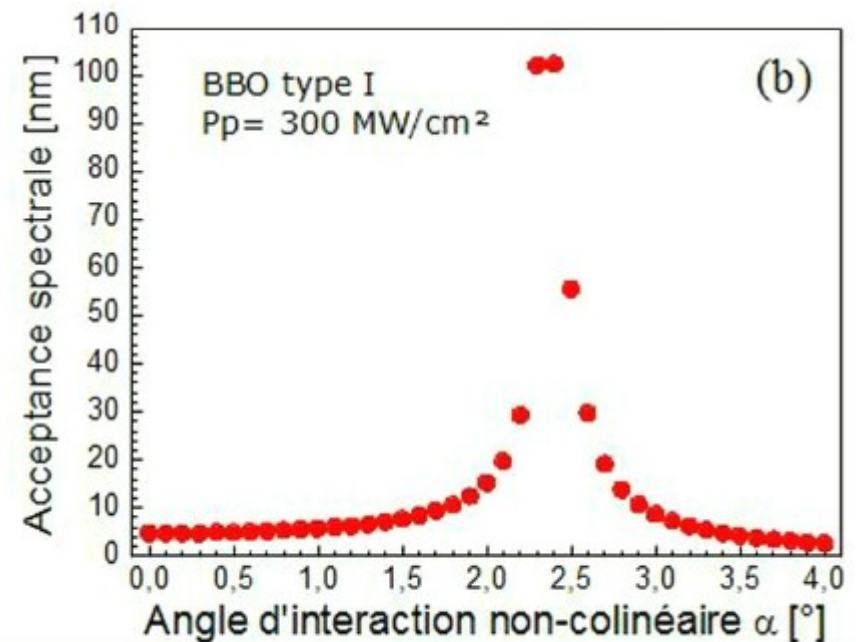


Influence de l'angle d'interaction



Angle d'interaction
↕
Acceptance spectrale

Plage spectrale: $G_{OPA} \geq \frac{G_{\max}}{2}$



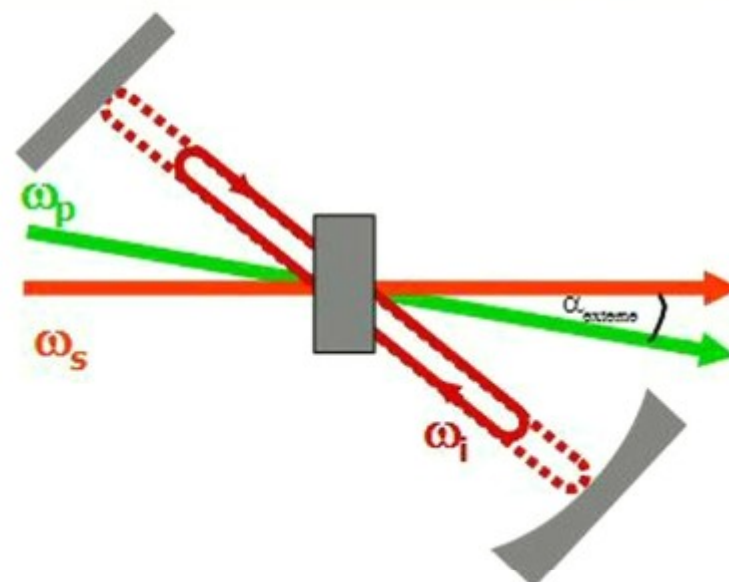
Résultats expérimentaux



Taux de répétition

➡ Longueur de cavité: 15 cm
Cadence: 1 GHz

➡ Ajustable
 $160 \text{ MHz} < \text{Cadence} < 3 \text{ GHz}$



Conclusion

Extraction d'énergie et duplication

- ➡ **Cavité** Onde idler haute énergie
Train de répliques amplifiées du signal
- ✓ Haute énergie
 - ✓ Haute cadence
 - ✓ Accordable



Mise en forme spatio-spectrale du signal par mise en forme temporelle du faisceau pompe et OPCPA

Motivations

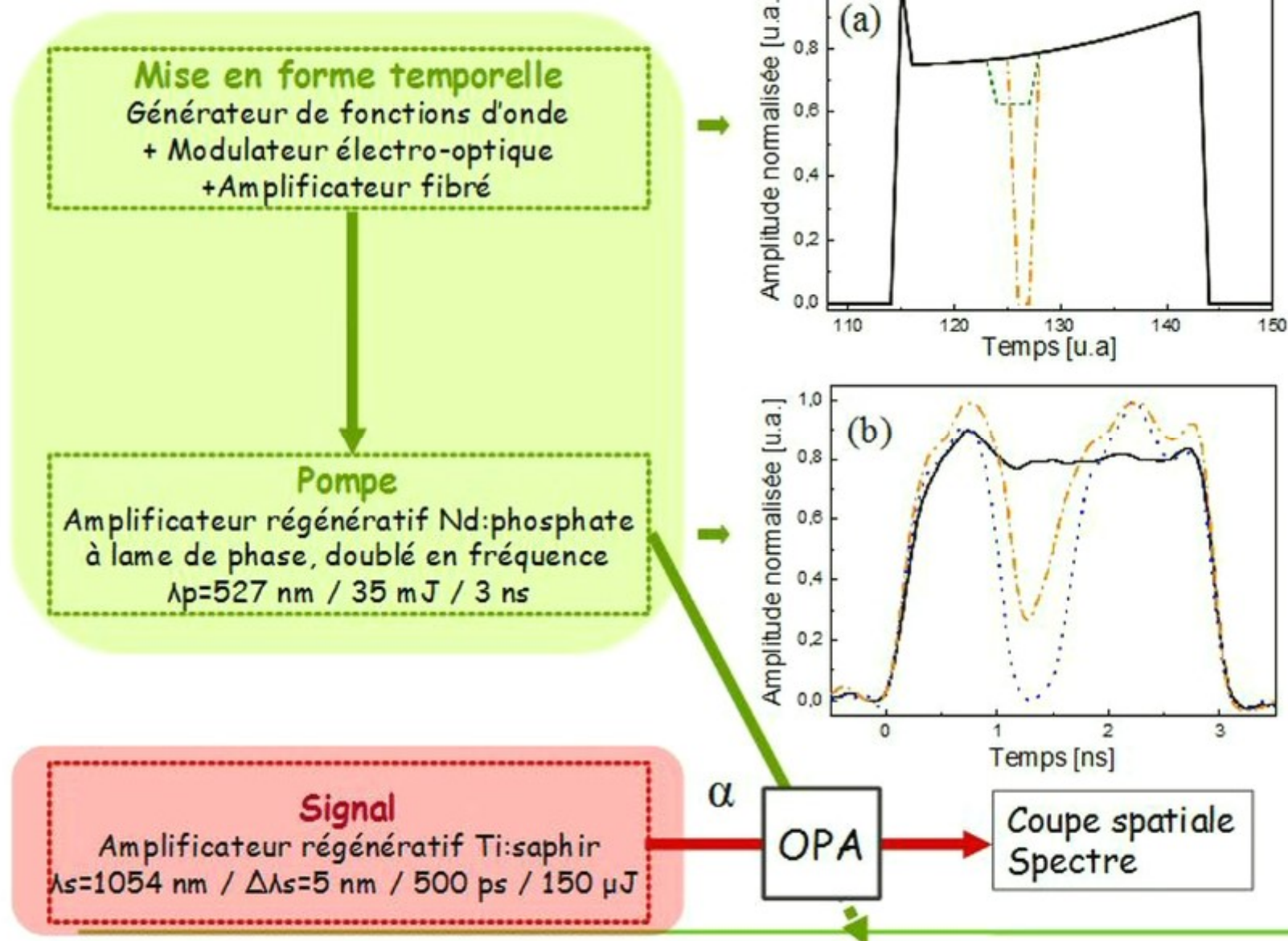
Rétrécissement spectral par le gain



Mise en forme spectrale

Pré-amplificateur
Pompe $I_p(t)$

Montage: maquette de Petal

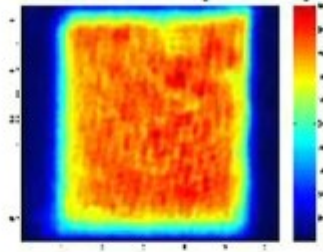


Mise en forme du signal

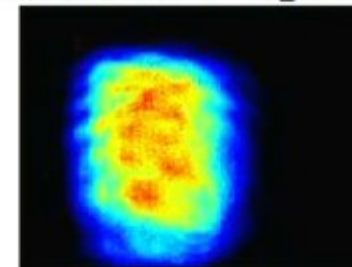


Domaine spatial

Faisceau pompe

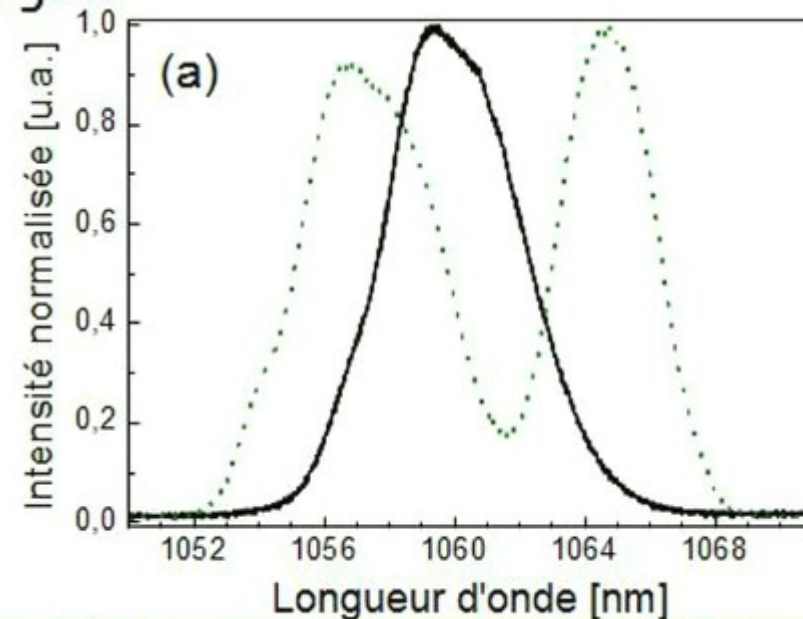
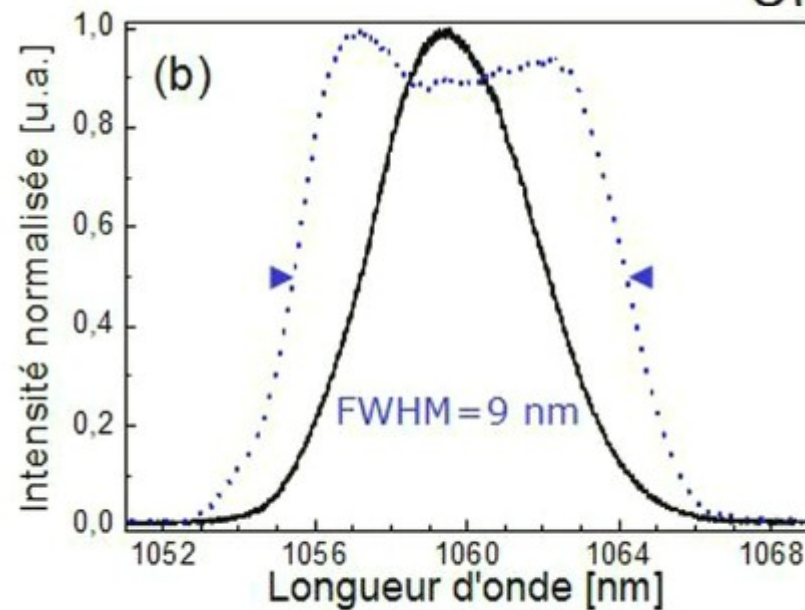


Faisceau signal



Domaine spectral

Onde signal



Validation: phase spectrale OPA?



Phase du gain OPA

$$\Phi_{OPA}(L) = \frac{\Delta k}{2} L + \arctan \left[\frac{\Delta k}{2\gamma} \tanh(\gamma L) \right]$$

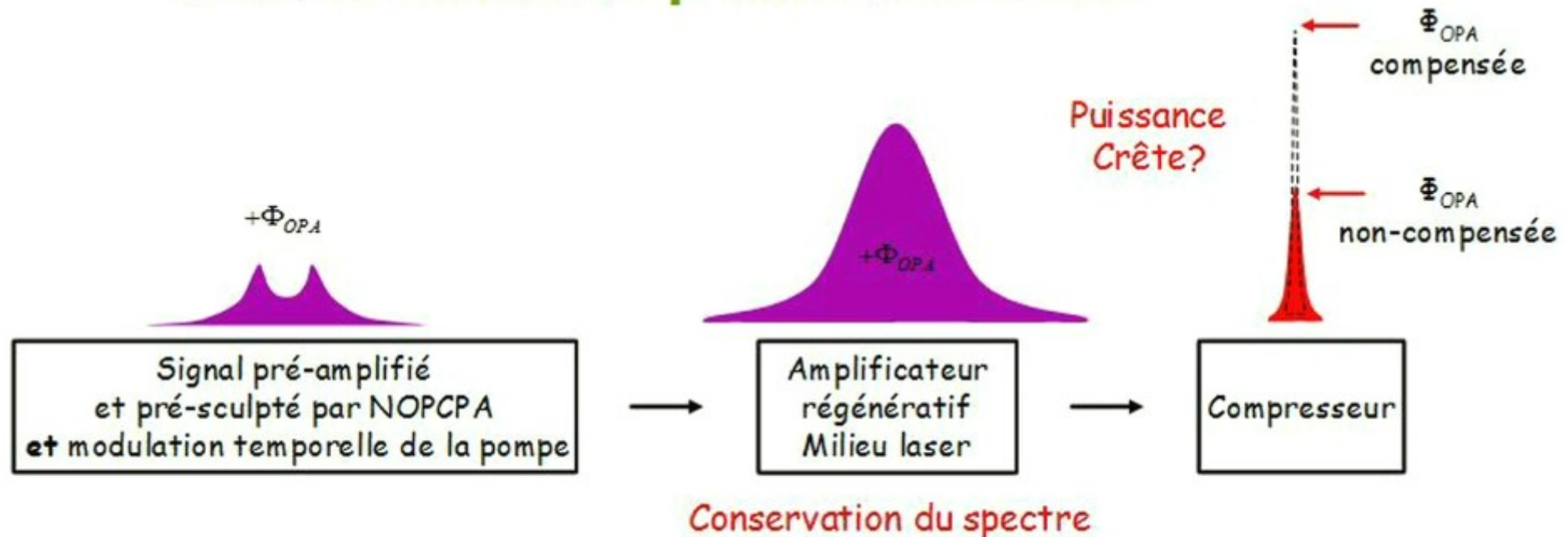
$$\omega_s(t) = \frac{2\pi c}{\omega_0 + \frac{t}{\phi^{(2)}}} \rightarrow I_p(t)$$

$$\Delta k \neq 0 \quad \text{lorsque} \quad \omega_s \neq \omega_{s0}$$

Sur maquette

$$\omega_p = 2\omega_s \quad \text{or} \quad \alpha \neq 0$$

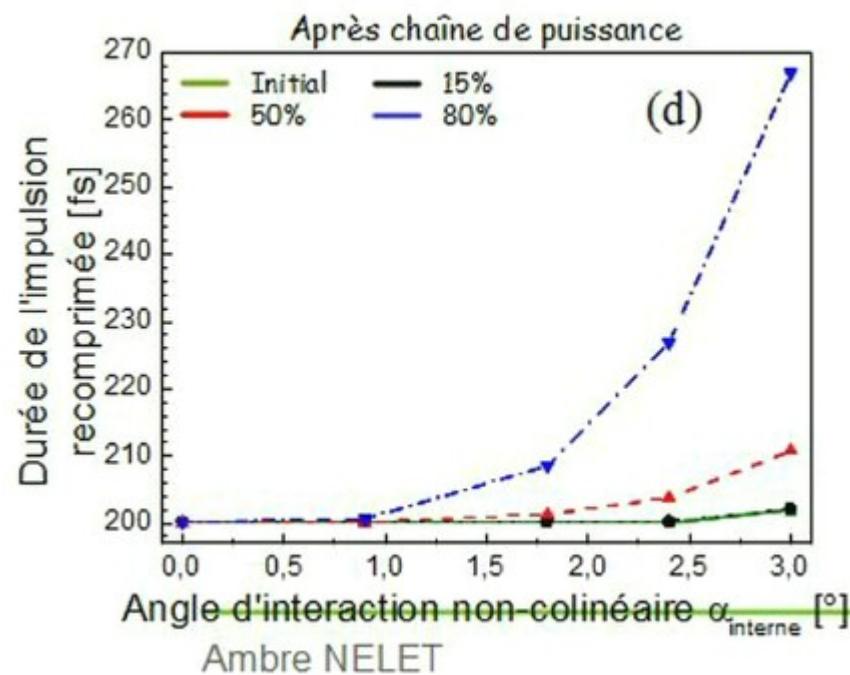
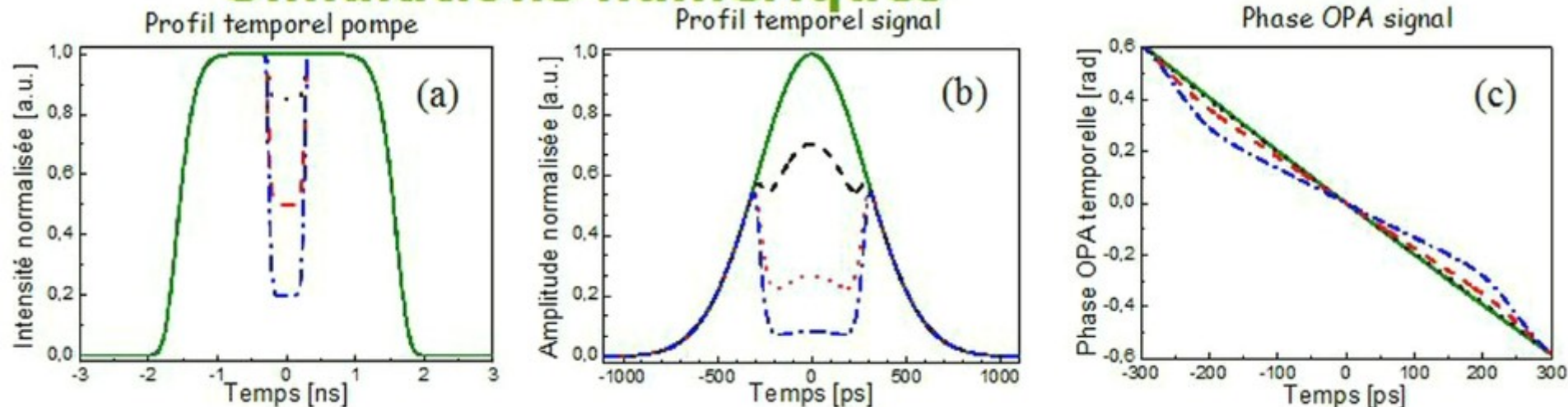
Influence sur la puissance crête



Validation: phase spectrale OPA?



Simulations numériques



Conclusion

OPCPA - $I_p(t)$

Mise en forme
spatio-spectrale
+ Φ_{OPA}



Chaîne de puissance

Conservation
du spectre



Contrôle Φ_{OPA}



OPCPA et codage spectral de l'amplification

Motivations

Phase OPA additionnelle

Gain supérieur



Cristal à polarisation périodique

Cristal de type éventail

Codage spectral de l'amplification

Motivations



Cristal non-linéaire classique

Grande acceptation spectrale
Mais gain OPA limité par

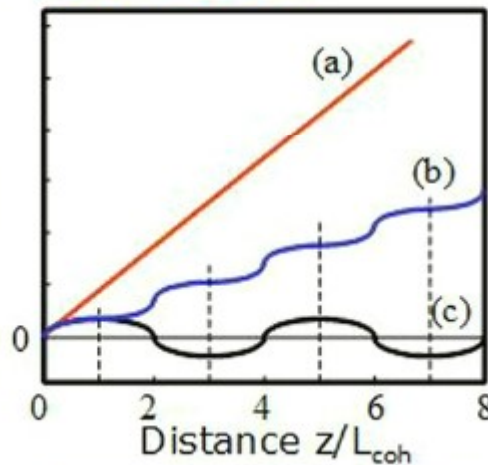
$$\begin{array}{l} d_{\text{eff}} \\ L \\ \Delta k \neq 0 \text{ sauf à } \omega_{s0} \end{array}$$

Cristal à polarisation périodique

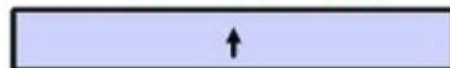


d_{eff} élevé

Amplitude du champ
amplifié [u.a.]



Monodomaine

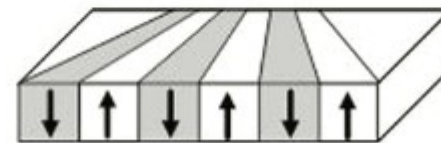


Polarisations
périodiques



Mais faible tolérance spectrale

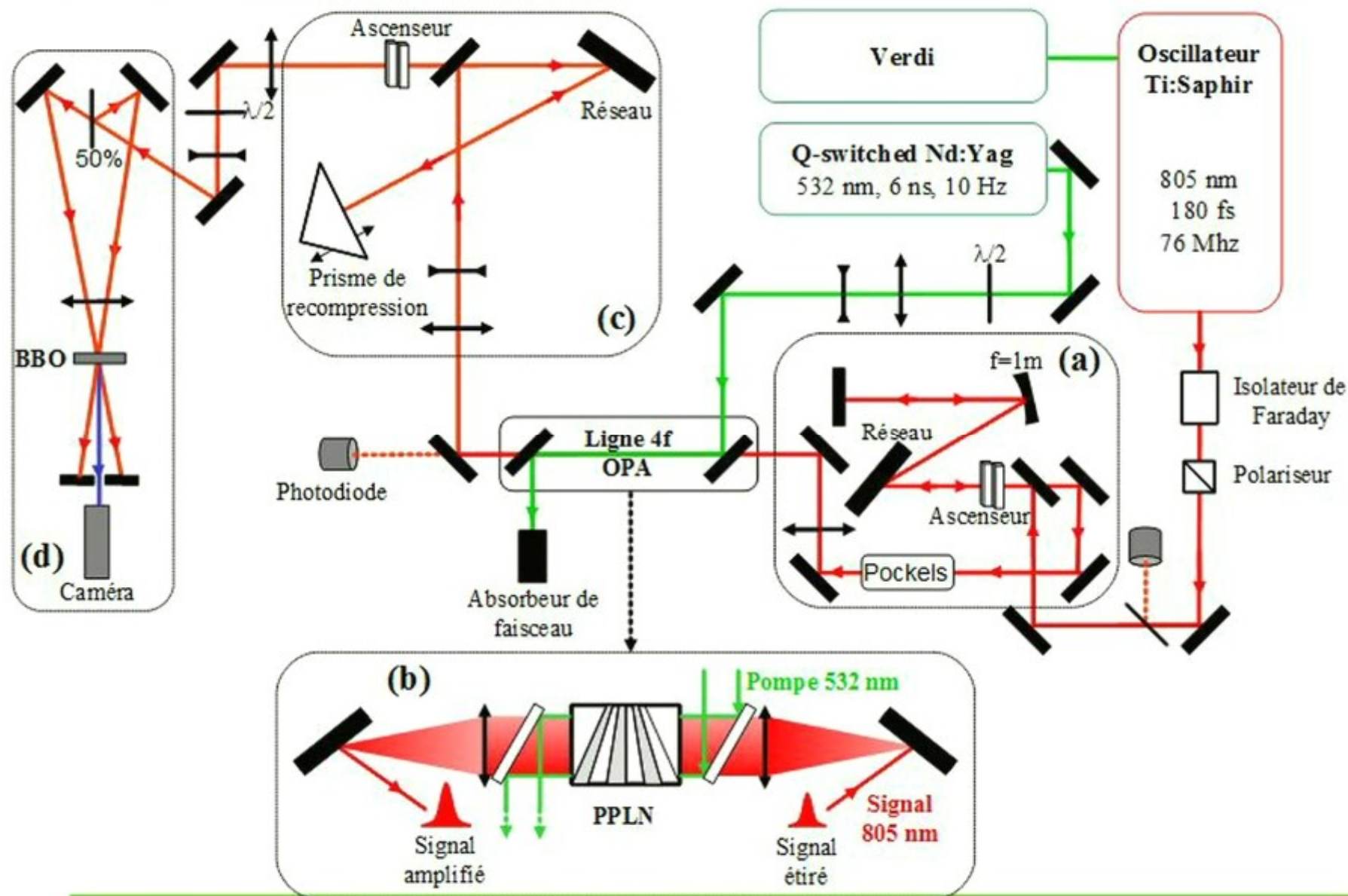
De type éventail



**Amplification homogène
de toutes les composantes
spectrales**

Adressage spectral
Ligne à dispersion nulle

Montage

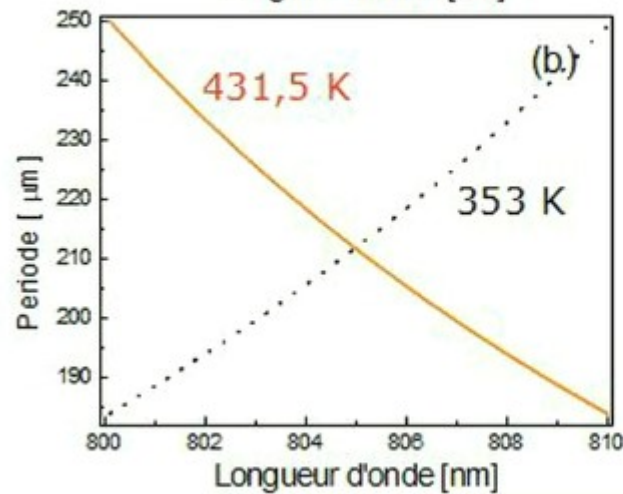
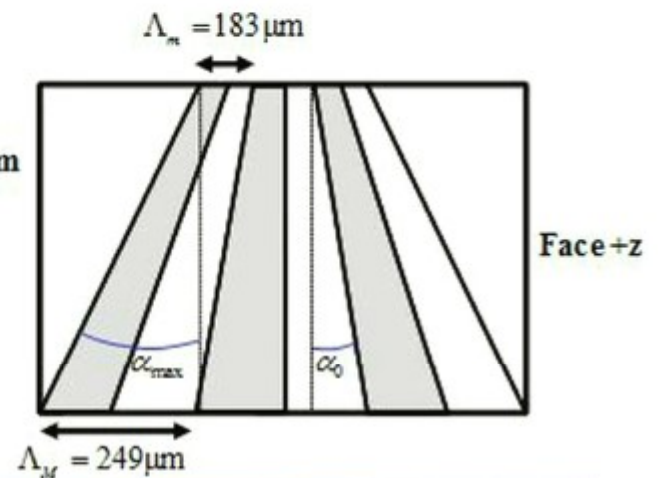
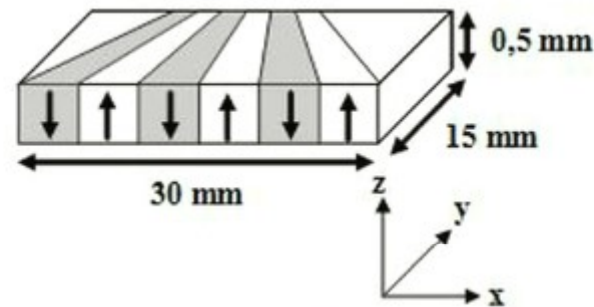
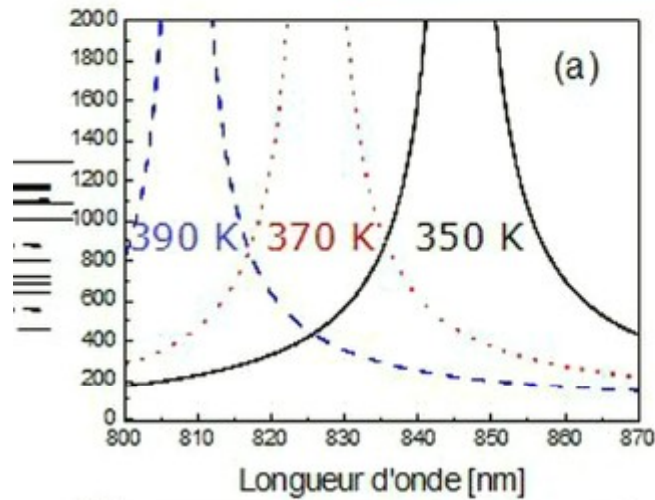


Choix du cristal

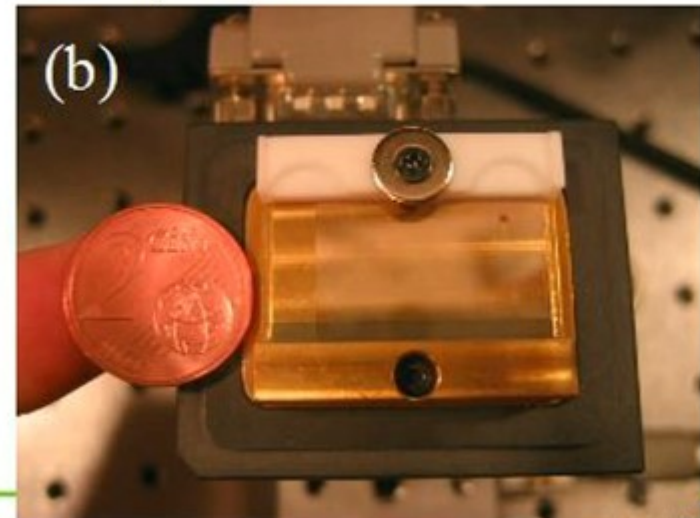
Type I ooe
Taille des périodes
Coût



LiNbO_3 congruent - PPLN
 $\text{sip}=\text{yyz}$
 $T > 350 \text{ K}$



Ambre NELET

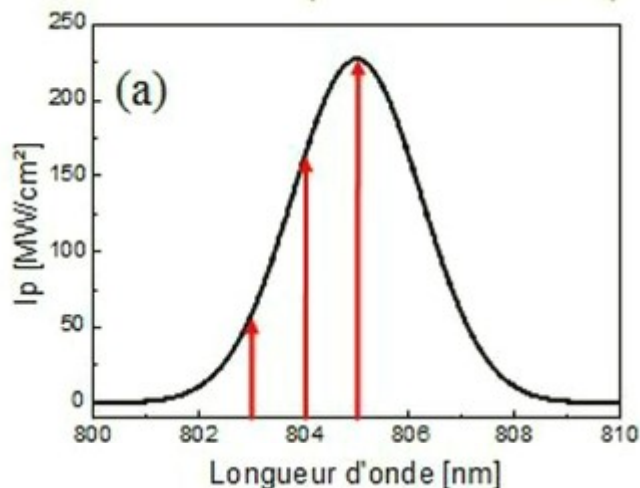


Simulations

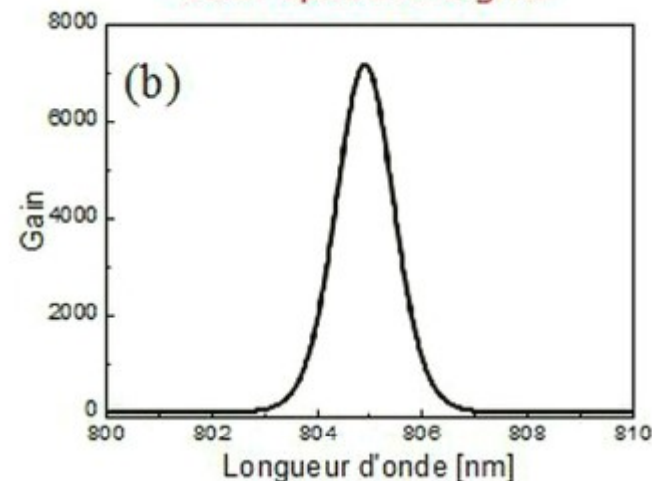


Influence de la répartition gaussienne de la puissance surfacique

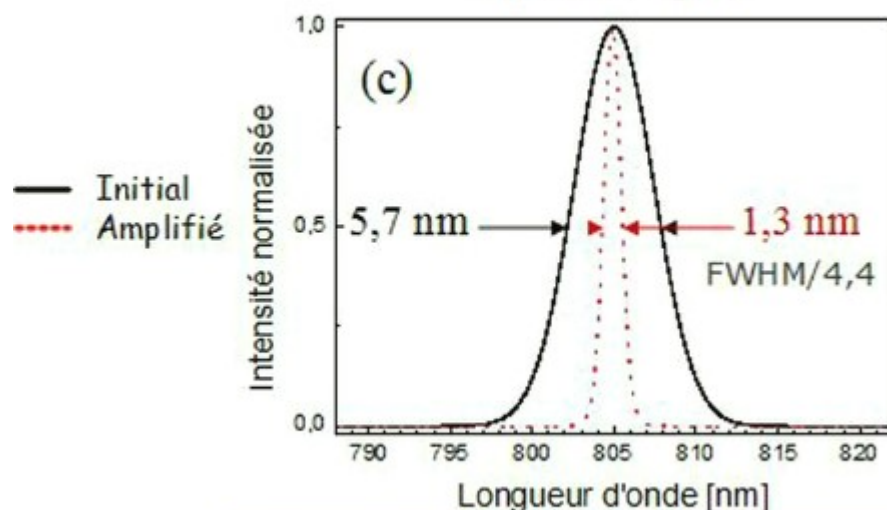
Puissance surfacique du faisceau pompe



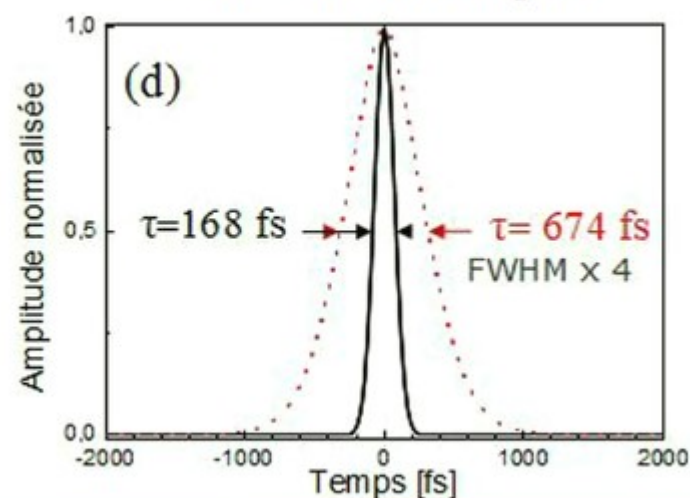
Gain spectral signal



Spectre signal



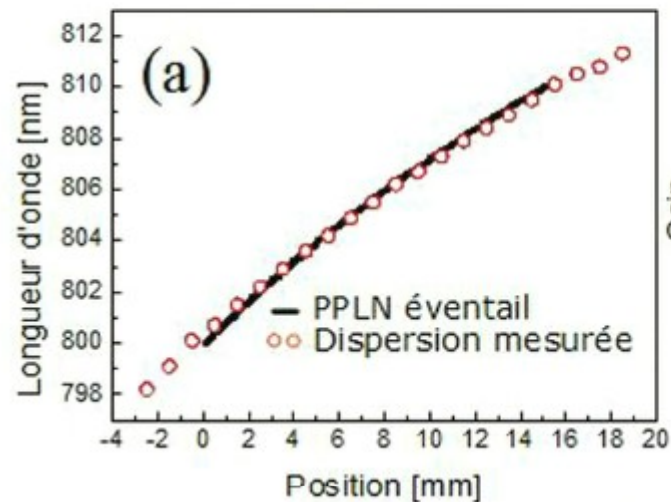
Autocorrélation signal



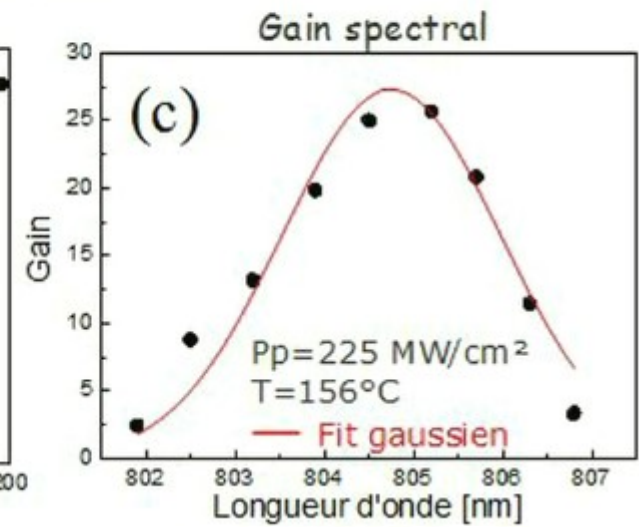
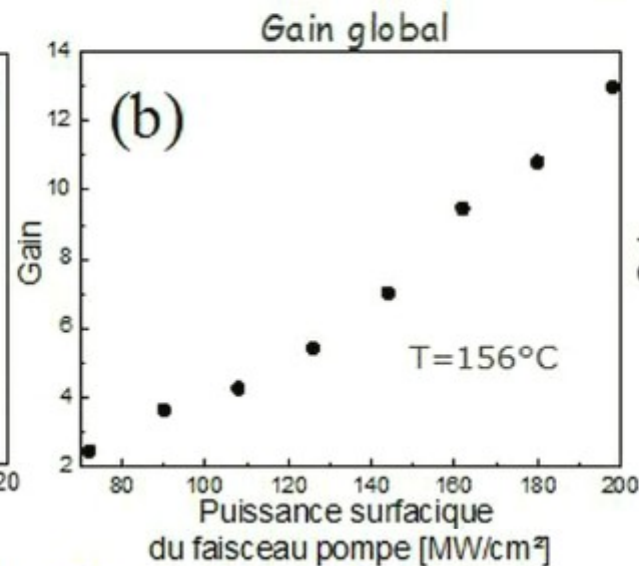
Résultats expérimentaux



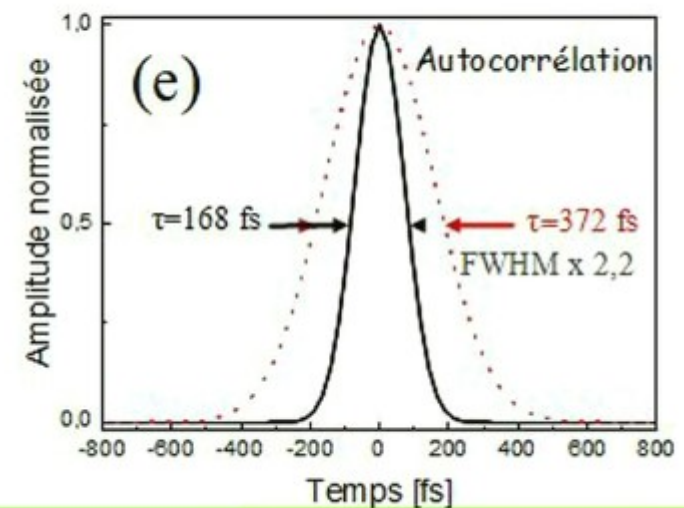
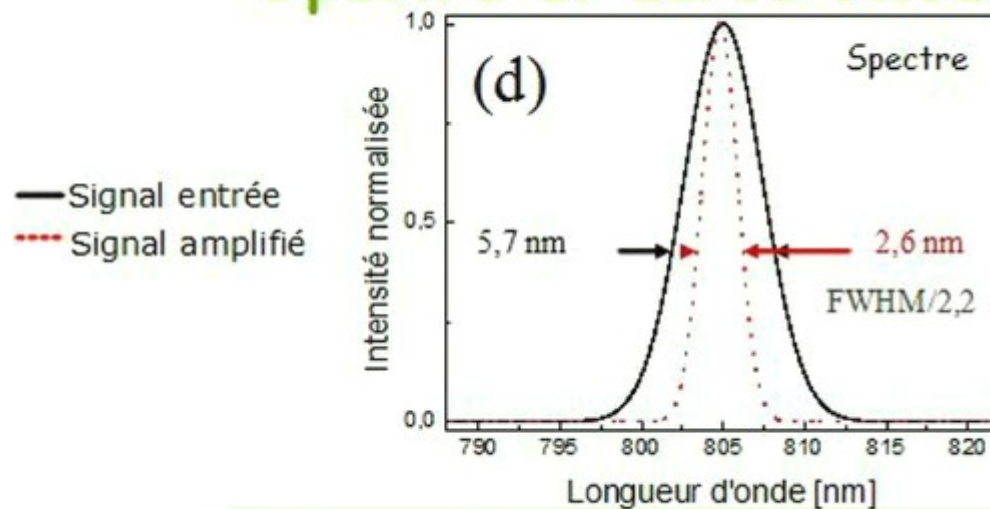
Dispersion



Gain



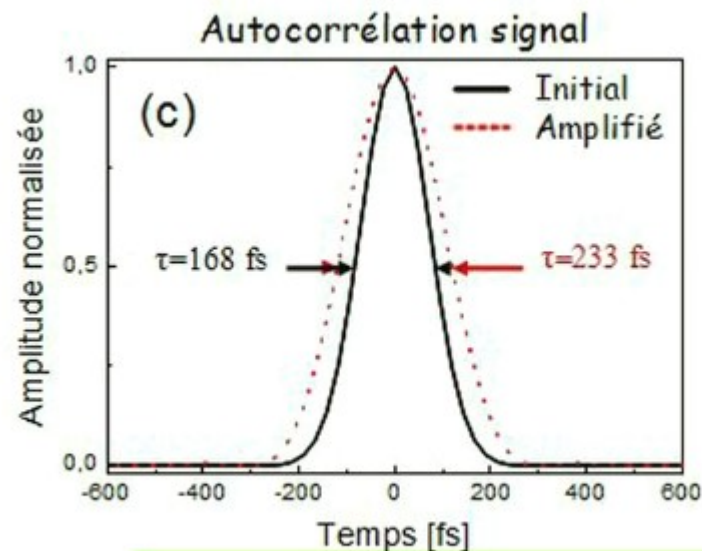
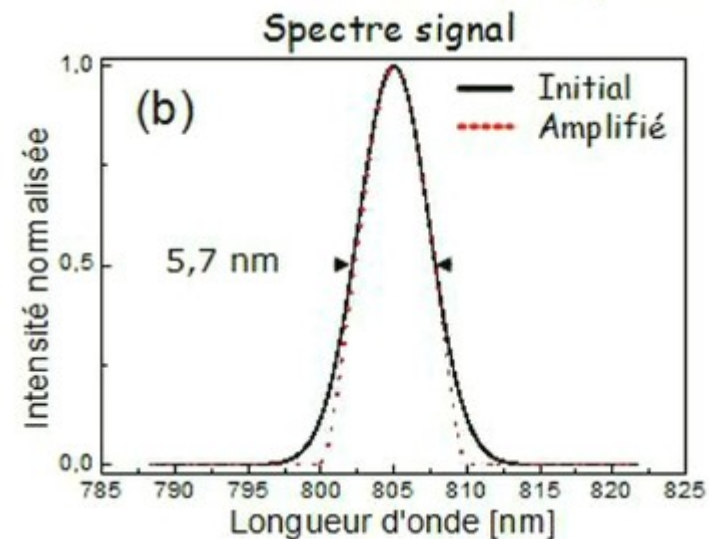
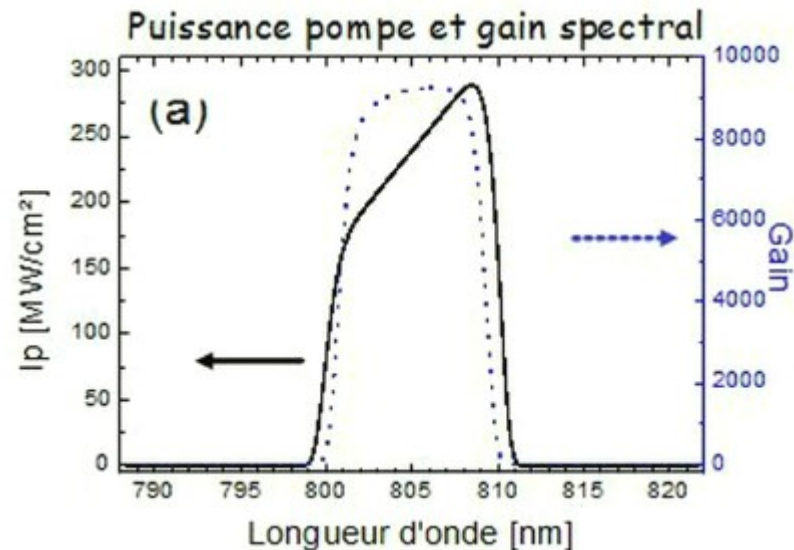
Spectre et durée calculés



Optimisation



Simulations: répartition puissance surfacique adaptée



Conclusion

Démonstration

Adressage spectral du gain
Rétrécissement spectral par le gain
de l'OPA

Conclusion générale

Pré-amplificateur
OPCPA

Réalisation



- Train de répliques amplifiées (Hautes intensité & cadence, Accordable)
- Modèle acceptance spectrale fonction de l'angle α

Amélioration

- Robustesse
- Précision angle α

Perspective

Chaîne FCI



- Mise en forme spatio-spectrale
- Simulations phase spectrale OPA

- Amplificateur de puissance
- Recompression
- Mesure de la phase spectrale

Chaîne type Petal



- Amplification par codage spectral
- PPLN en éventail+ligne 4f
- Rétrécissement spectral par le gain OPA

- Montage
- Cristal
- Recompression
- Mesure de la phase OPA

Chaîne moyenne puissance

Application: «ultrafast picket fence»



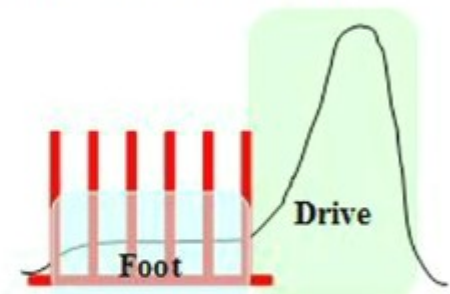
Fusion par confinement inertiel



➡ Efficacité globale restreinte

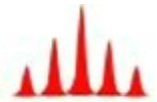
Solution: maintenir une illumination quasi-constante

➡ Train d'impulsions ultra-rapide et haute cadence





Ref.: J. E. Rothenberg, Appl. Opt. 39, 6931-6938 (2000)

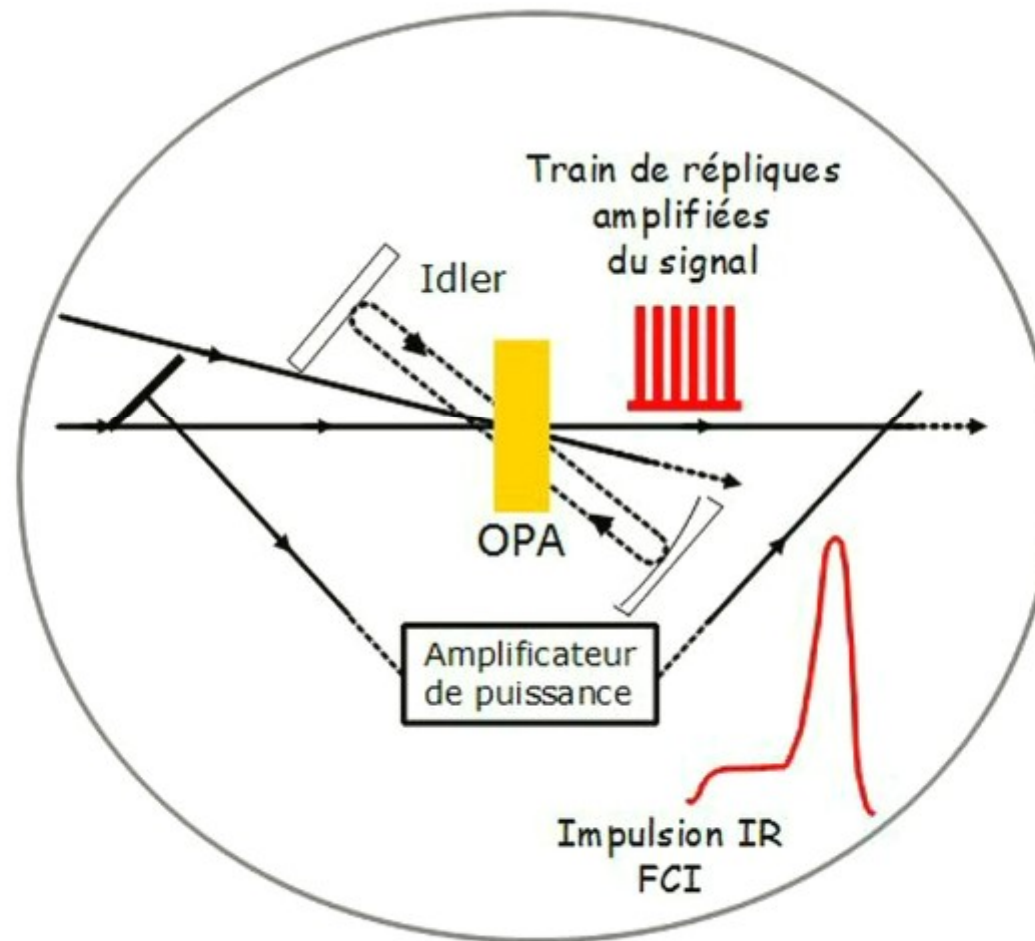
Application: «ultrafast picket fence»

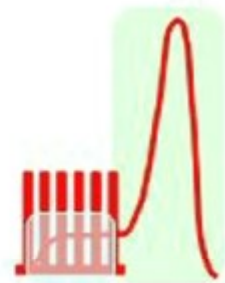


Technique: OPCPA régénératif

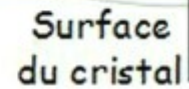
 Pompe
 $\lambda_p = 527\text{nm}$

 Signal
 $\lambda_s = 1054\text{nm}$



 Impulsion IR +
Train d'impulsions
ultrarapide
 $\lambda_s = 1054\text{nm}$

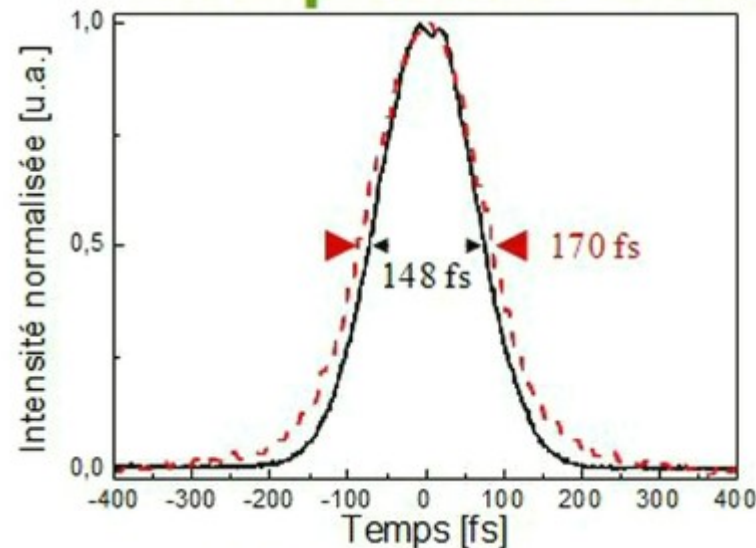
Acceptance spectrale



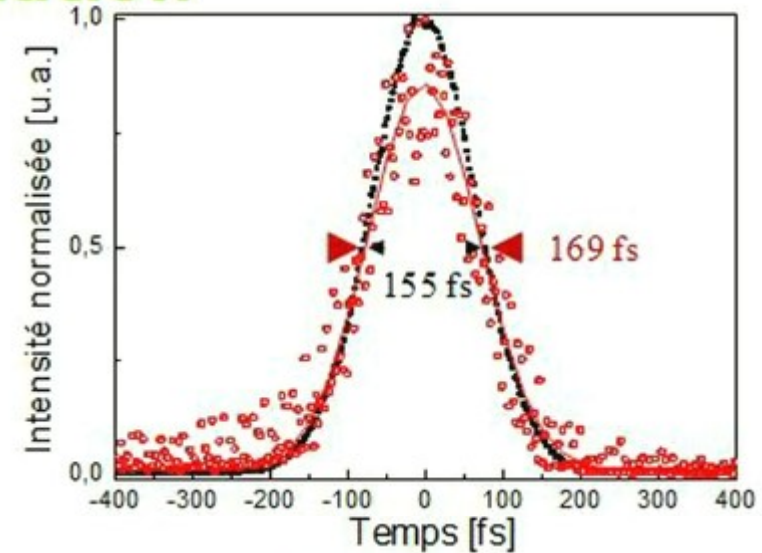
Ligne à dispersion nulle



Temporelle: autocorrélation



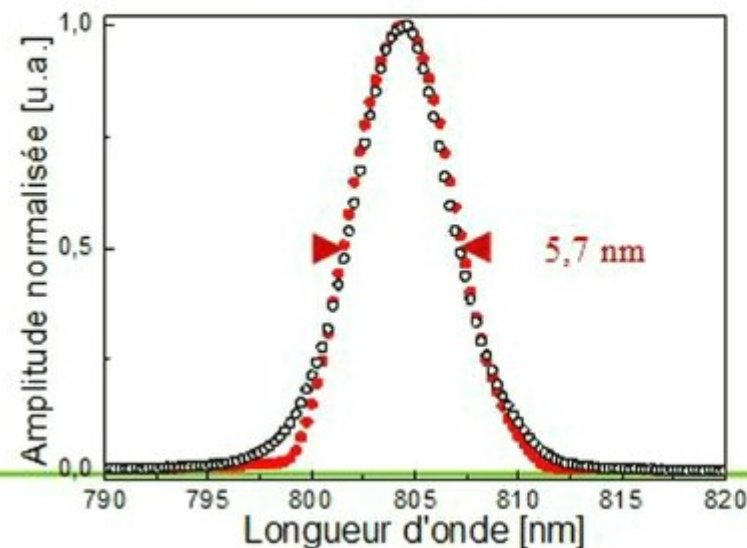
— Sortie Mira
- - Signal après LDN



— Sortie Mira
- - Signal après LDN+PPLN

Spectrale

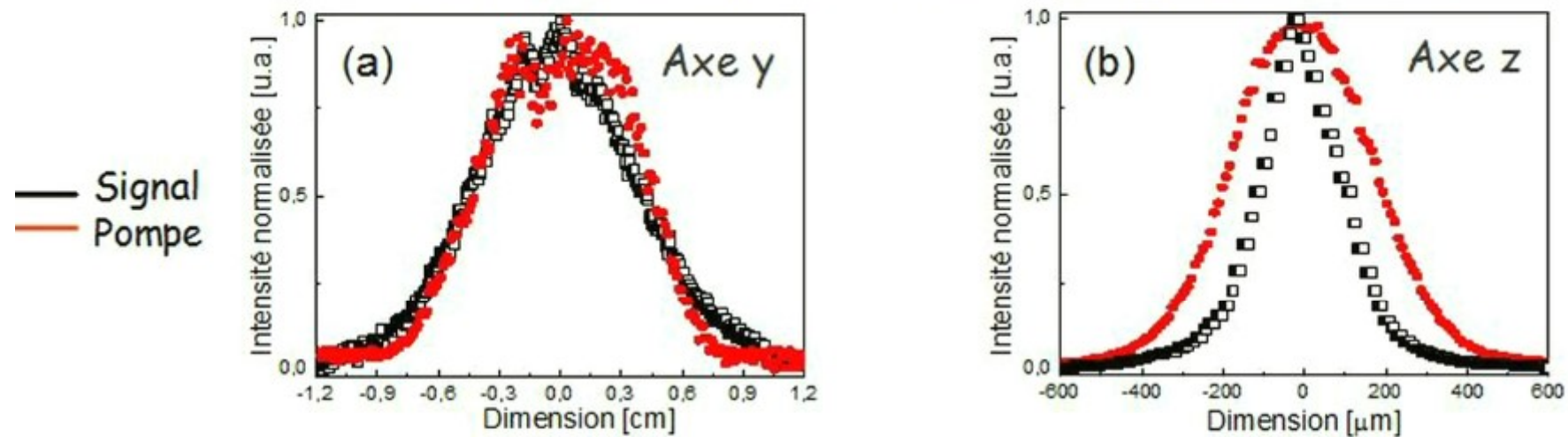
..... Sortie Mira
..... Signal après LDN+PPLN



Ligne à dispersion nulle



Superposition spatiale des faisceaux (entrée PPLN)



Caractéristiques



Spatiale: coupes transverses des faisceaux

