



Combinaison cohérente de fibres amplificatrices

C. Bellanger, A. Brignon, J. Colineau, JP. Huignard

Thales Research & Technology – Laboratoire Photonique Avancée



Sources laser fibrées de haute puissance:

- ▶ Pour des applications CW et pulsées: Optronique, Industrie, Lidar, Communications en espace libre, Physique fondamentale
- ▶ Avantages: Robustesse, Gestion de la thermique, Compacité, Qualité de faisceau, Efficacité et Rendement
- ▶ Limitations: Effets non linéaires parasites (Brillouin ou Raman Stimulé), Problèmes de tenue au flux

Solutions:

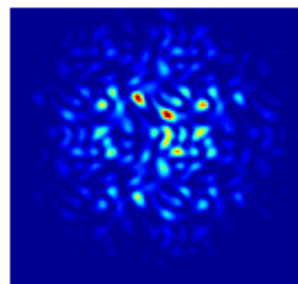
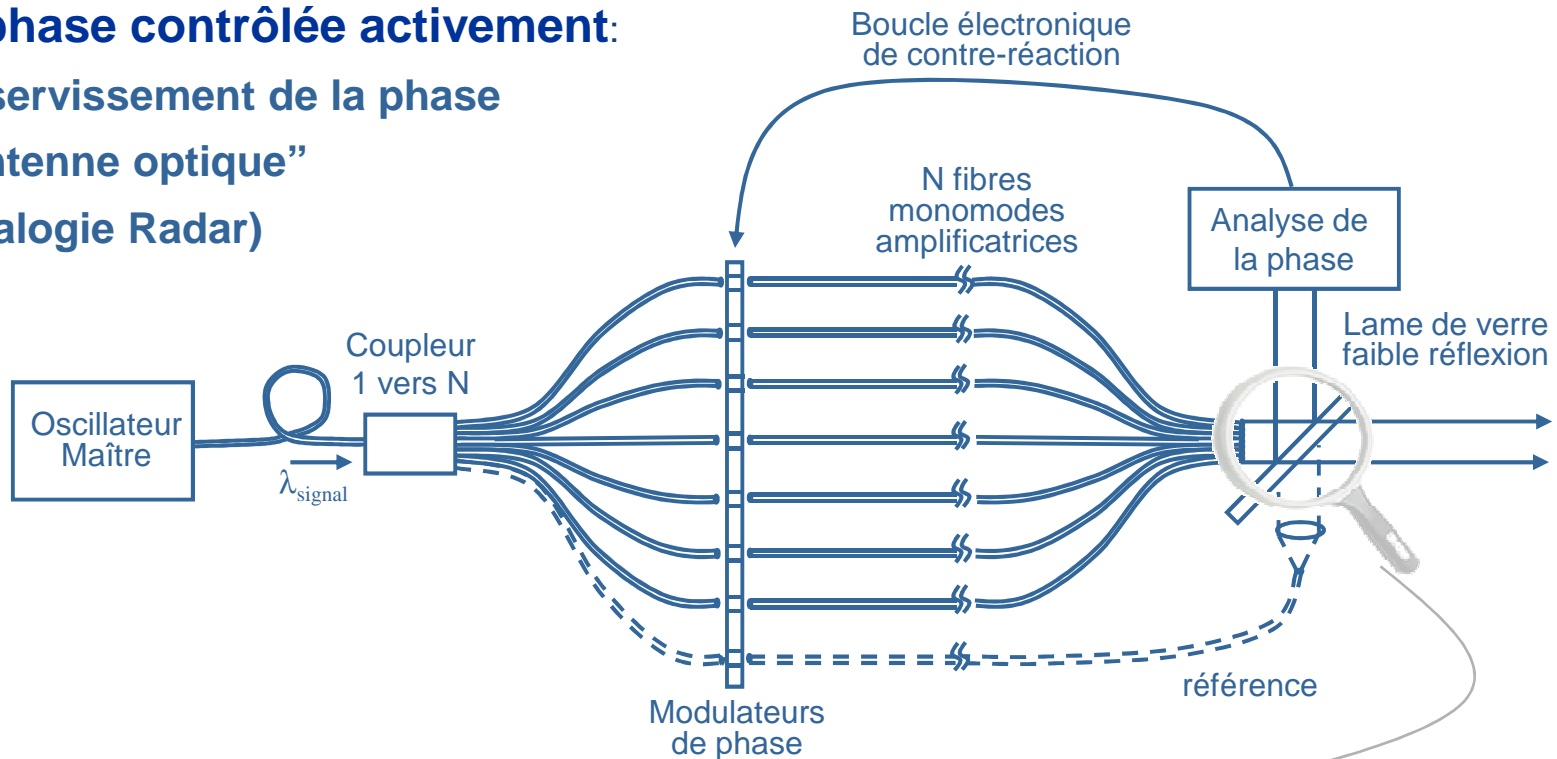
- ▶ Fibres quasi-monomodes à larges coeurs (LMA)
- ▶ Fibres multimodes suivi d'un système de 'nettoyage' de faisceau
- ▶ Recombinaison de faisceau:
 - Recombinaison incohérente (WDM)
 - Recombinaison cohérente
 - Contrôle actif de la phase
 - Nouvelle technique auto-adaptative par holographie numérique

Recombinaison par contrôle actif de la phase

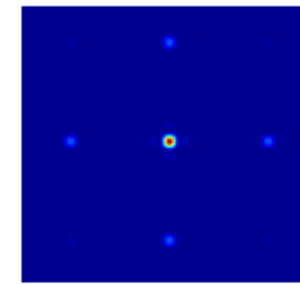
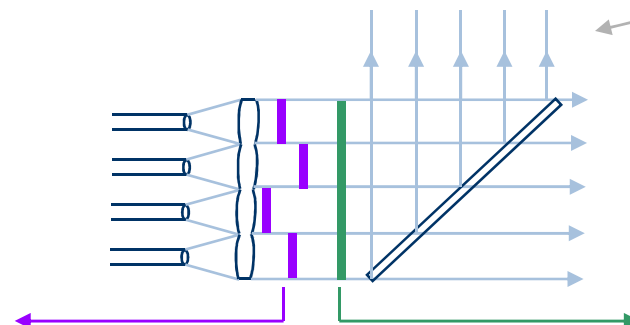


Mise en phase contrôlée activement:

- ▶ Asservissement de la phase
- ▶ “Antenne optique”
(analogie Radar)



Boucle ouverte

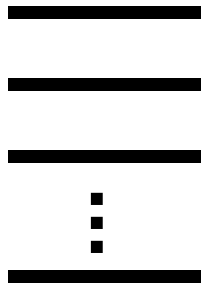


Boucle fermée

Fonctionnalités supplémentaires



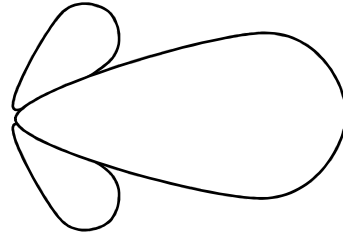
N fibres monomodes



Pistons égaux

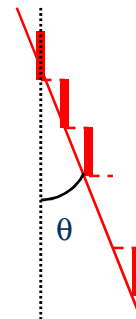
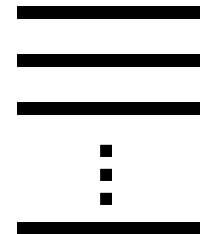


Diagramme de rayonnement

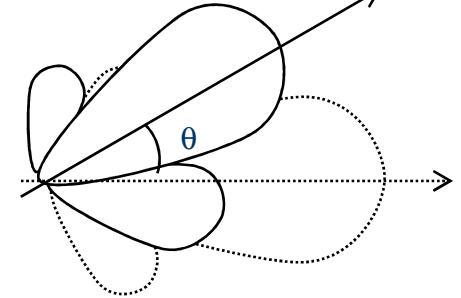


Mise en phase

Rampe de phase

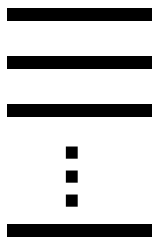


Lobe principal défléchi



Déflexion de faisceau

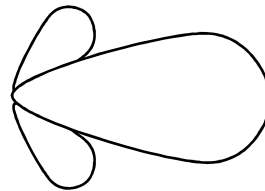
Pré-correction Φ^*



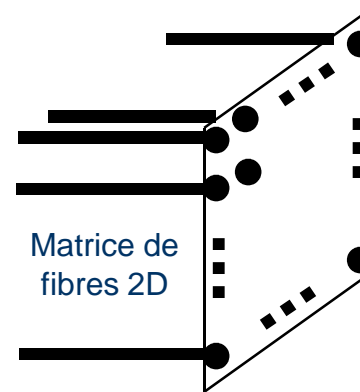
Perturbations Φ



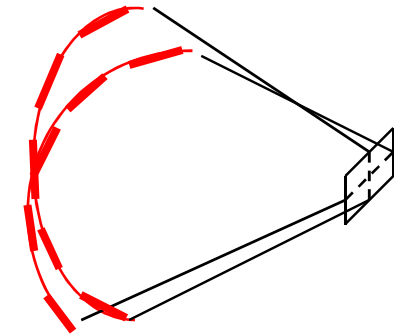
$\Phi \cdot \Phi^* = 1$



Compensation de perturbations atmosphériques

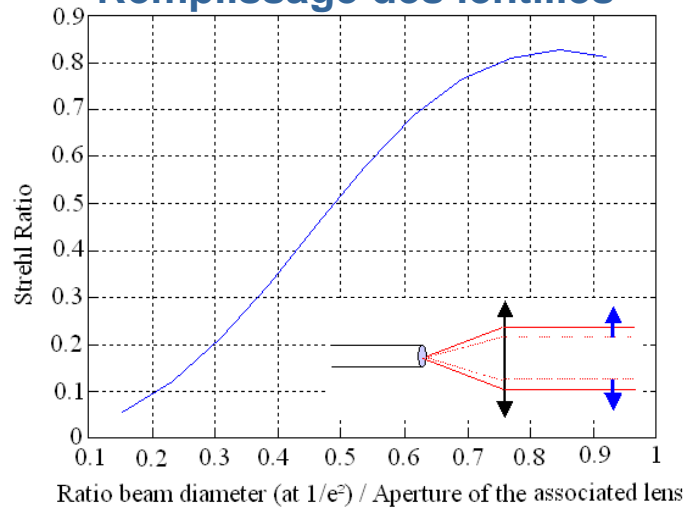


Matrice de fibres 2D

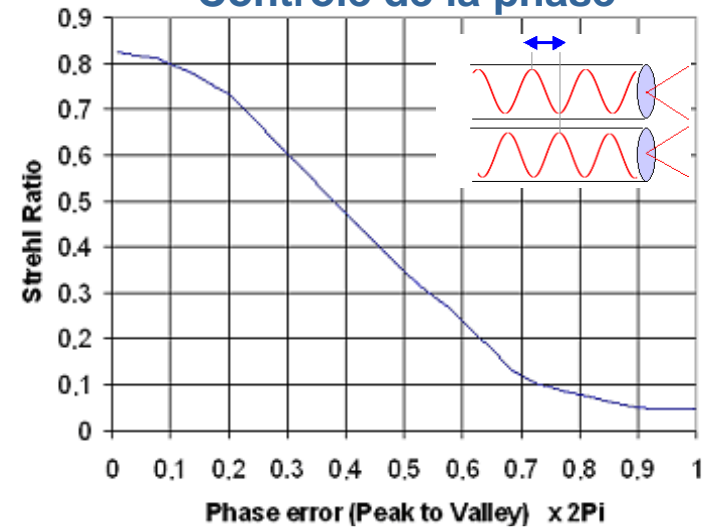


Mise en forme de faisceau

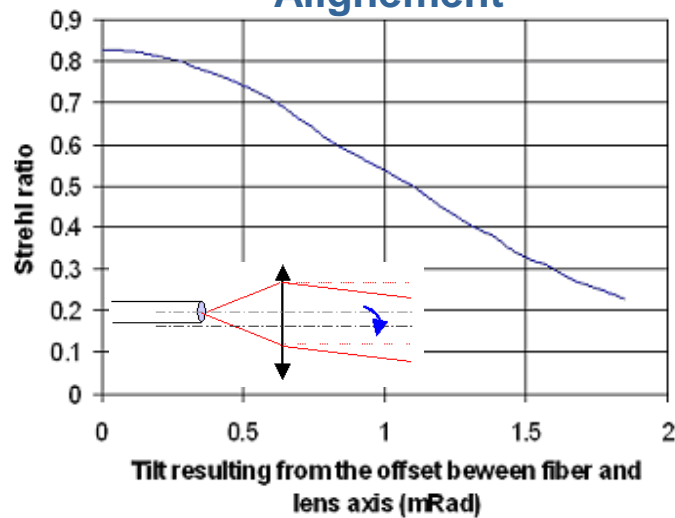
Remplissage des lentilles



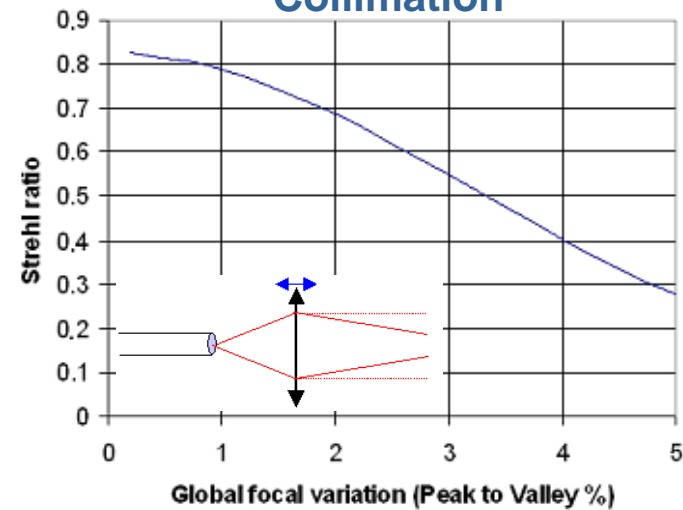
Contrôle de la phase



Alignement



Collimation

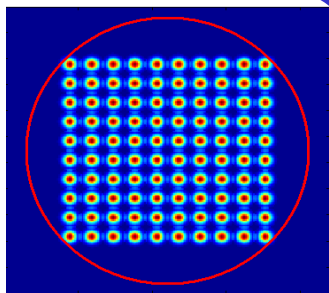


Influence de l'arrangement spatial des fibres



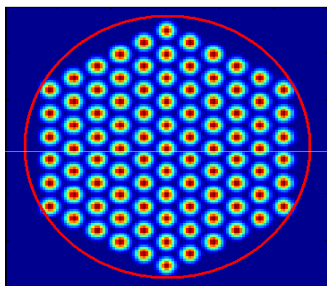
100 Fibres

54%
Remplissage



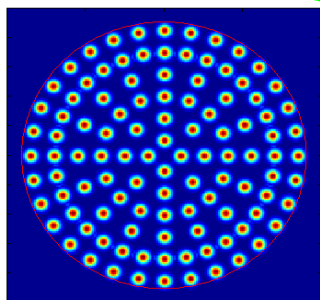
91 Fibres

77%
Remplissage



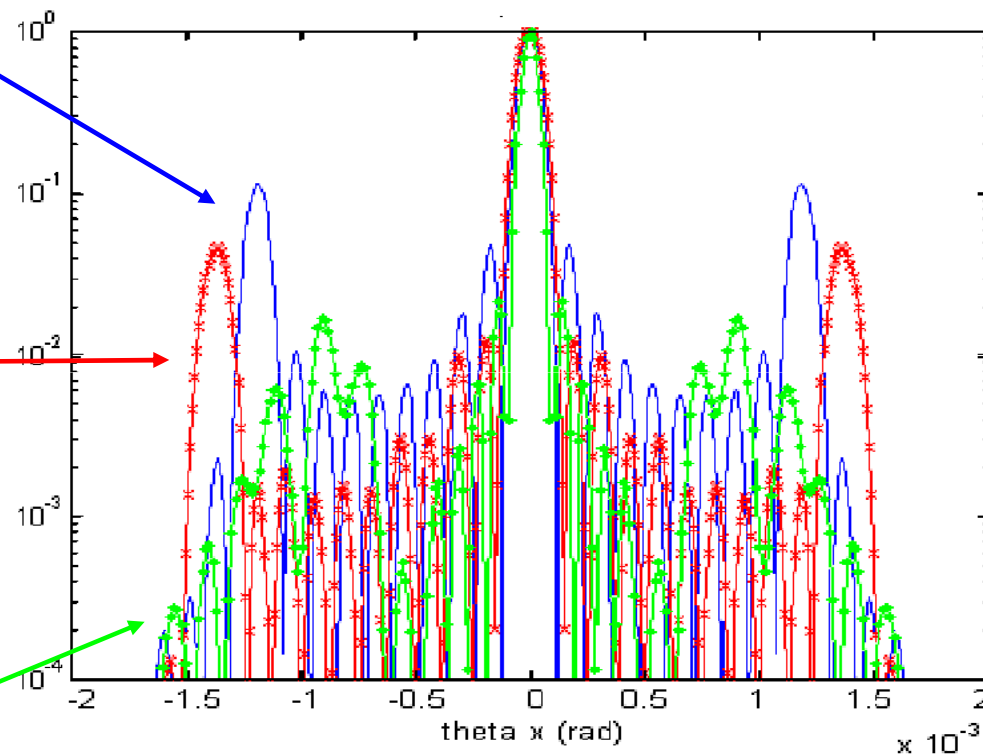
108 Fibres

61%
Remplissage



Strehl* :

0.57 0.83 0.72



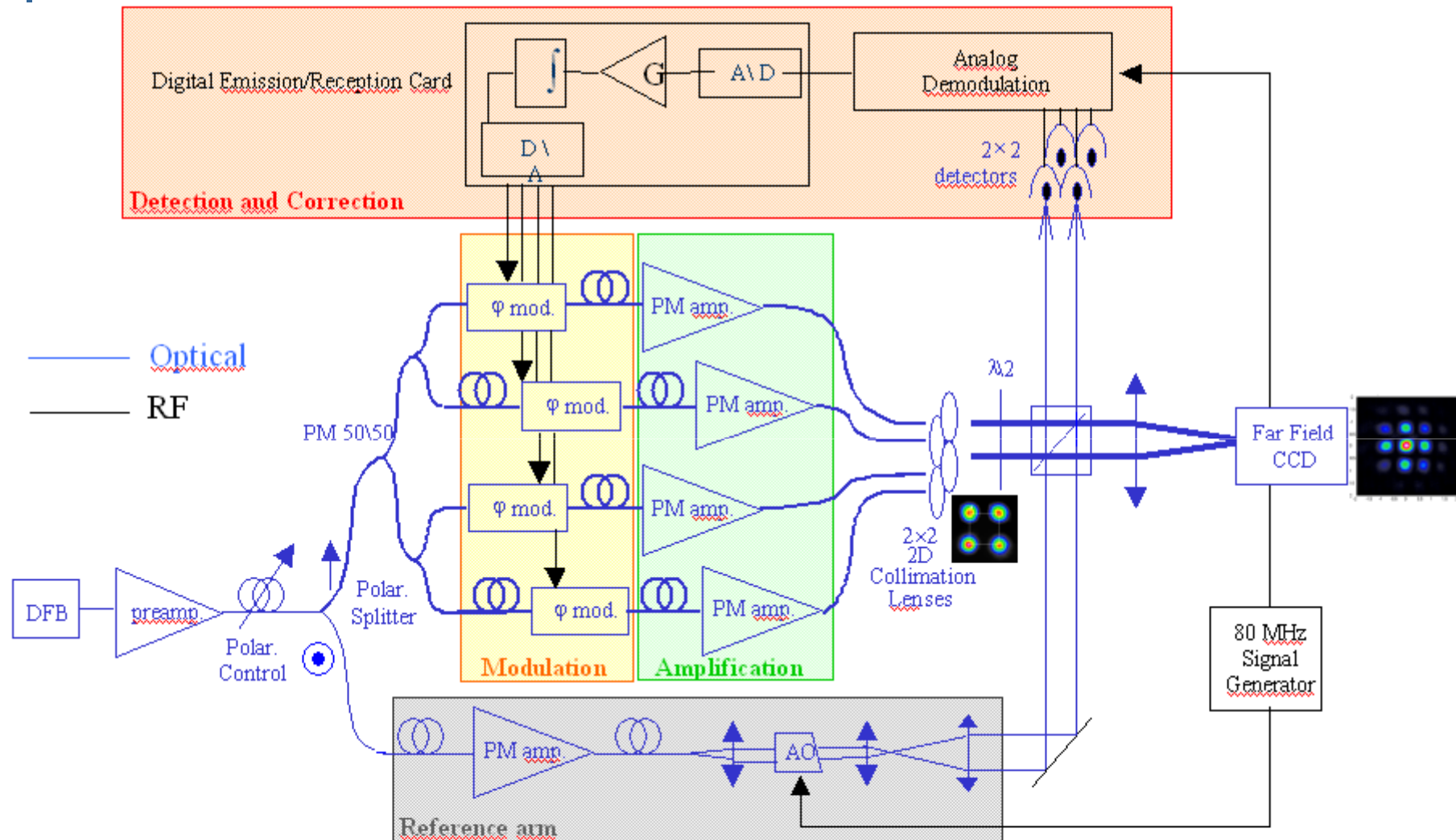
Profil d'intensité en Champ Lointain

(Echelle log normalisée)

Champ proche

*: Strehl calculé sur la référence d'une onde gaussienne qui couvre la totalité de la pupille

Réalisation pratique sur 4 fibres

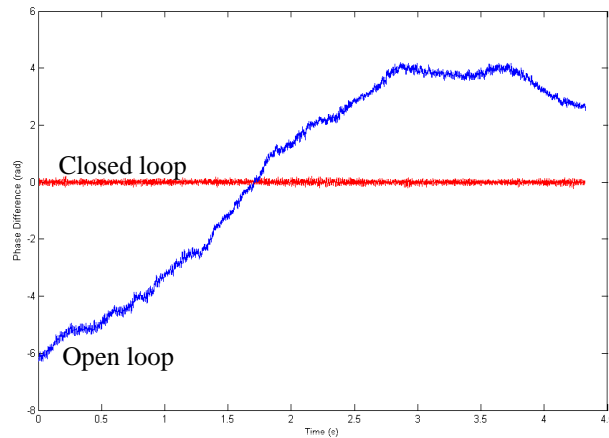


Expérimental setup of beam combining by active phase control with 4 PM fibers delivering 1W continuous output power at 1.5μm.

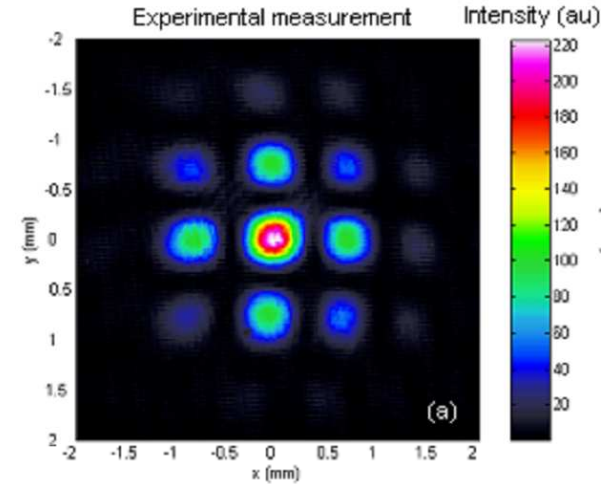
The phases are measured by heterodyne detection and corrected via 4 LiNbO₃ modulators



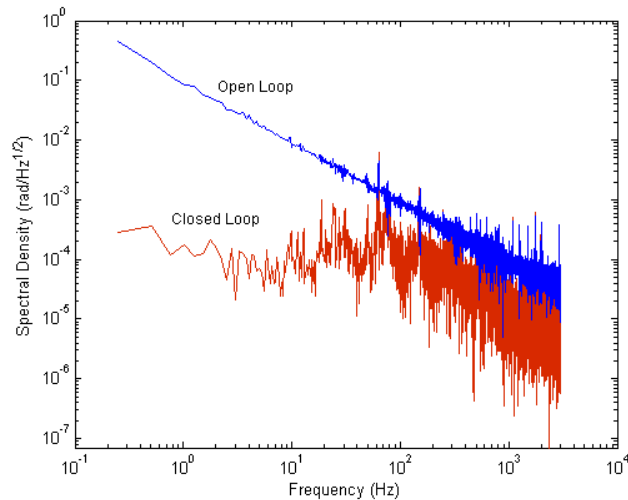
Evolution de la phase dans le temps



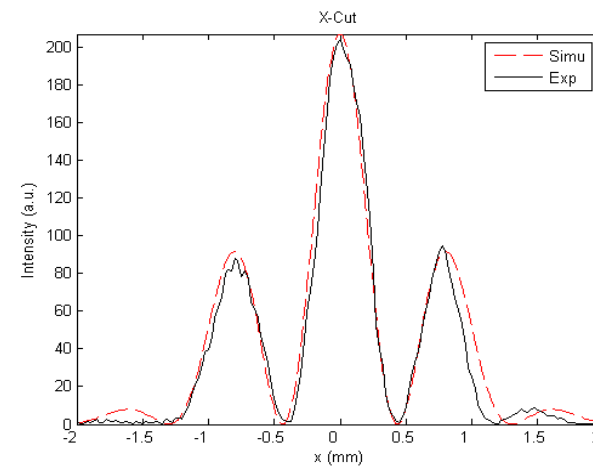
Champ lointain en boucle fermée



Densité spectrale de la phase



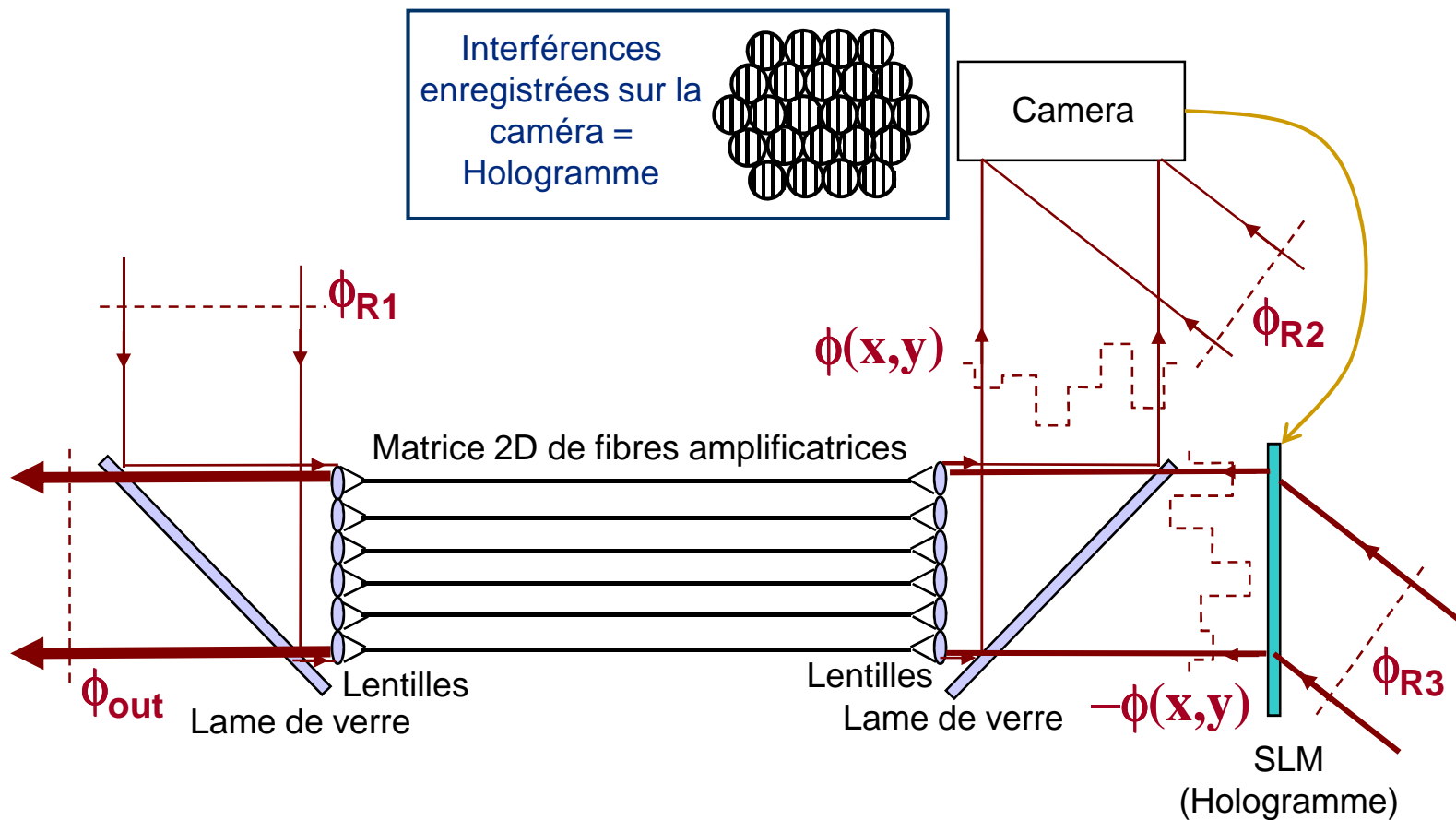
Experience Vs Simulation



Mise en phase par holographie numérique

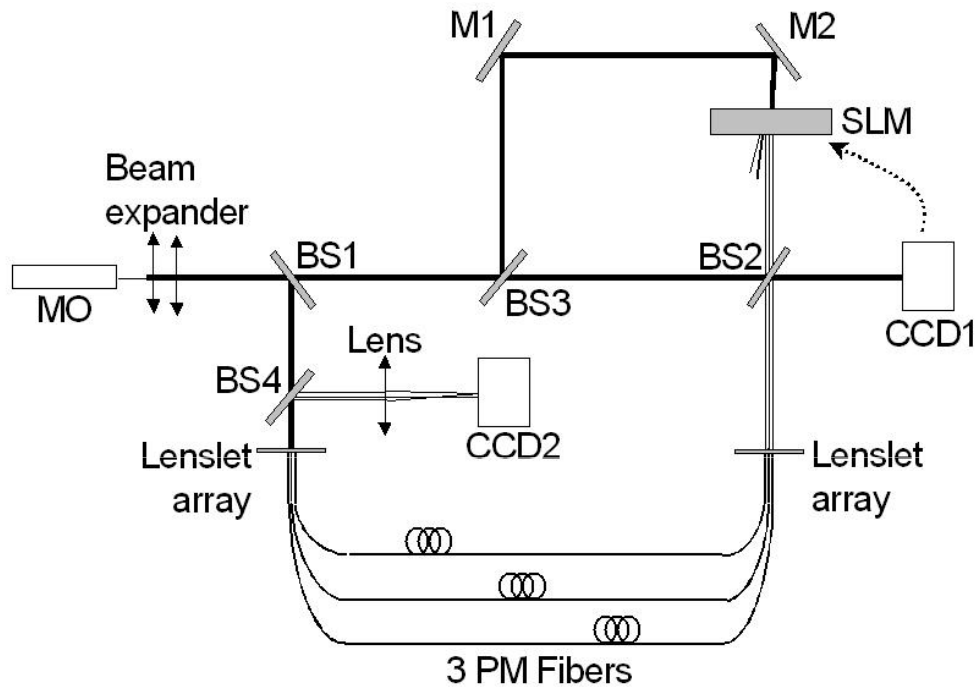


Schéma de principe



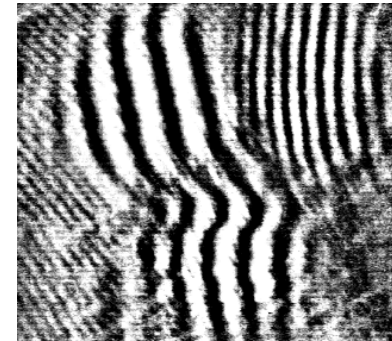
Brevet TRT

Démonstration du concept avec 3 fibres passives



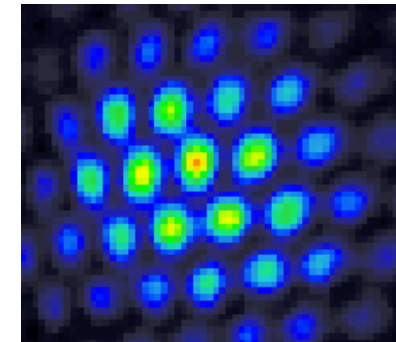
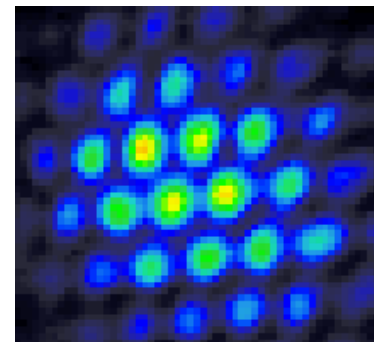
Interférences sur CCD2

Hologramme enregistré



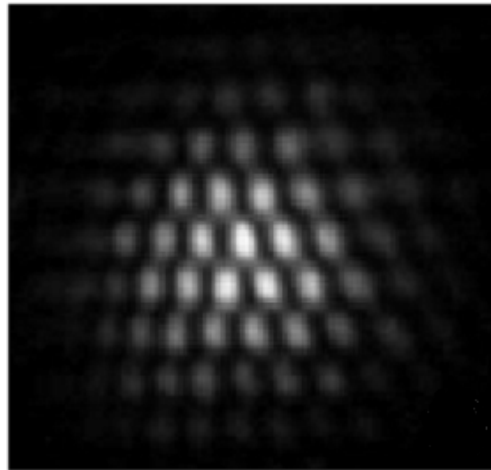
Avec correction

Sans correction

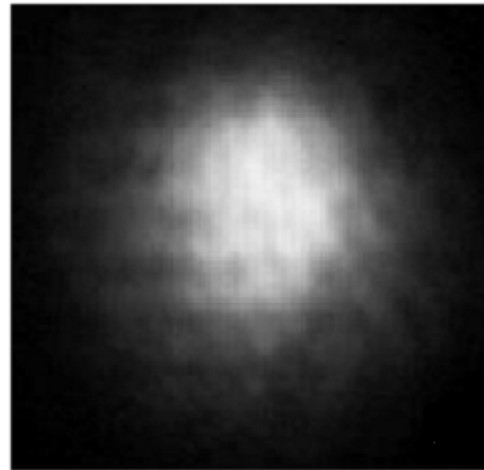
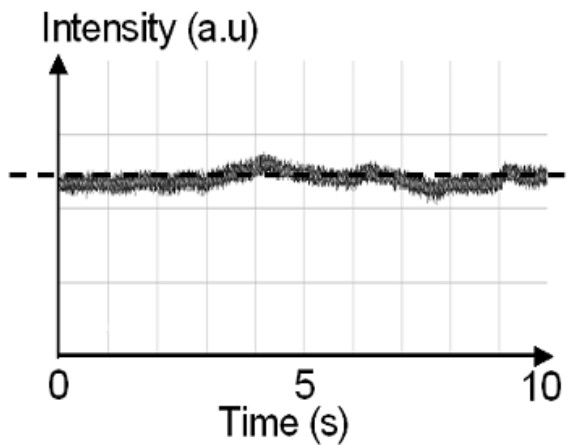


C.C. Bellanger & al. "Coherent fiber combining by digital holography",
Opt Lett , Vol 33 n° 24 (à paraître dans le numéro du 15 décembre 2008).

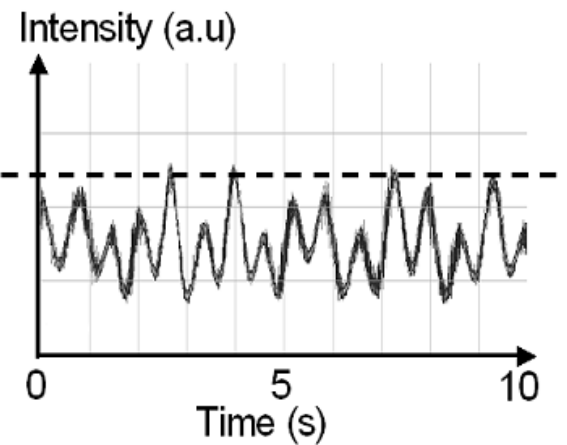
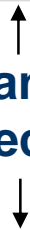
Démonstration du concept avec 3 fibres passives



Avec
correction



Sans
correction



Interférences sur CCD2,
intégrées sur 15
secondes

Intensité du lobe
central mesuré à la
photodiode



Précision de la correction de phase:

- Au moins 30 pixels par franges dans notre démonstration expérimentale
- Précision requise de $\lambda/10$ atteinte

Efficacité de diffraction:

- Test d'un LCOS SLM en phase uniquement
 - 30% d'efficacité de diffraction dans l'ordre -1

Temps de réponse:

- Dans notre démonstration expérimentale : Cadence vidéo
- Perspectives:
 - SLMs rapides (1 - 10kHz) : MEMS, Ferro LCD...
 - Camera CMOS rapide
 - Obtention d'un temps de réponse compatible avec les fluctuations de phase des amplificateurs

Démonstration d'une technique originale de mise en phase collective de fibres optiques

Avantages de cette méthode

- 2D Collective
- Auto adaptative: pas de boucle de contre réaction
- Précision de la correction de phase directement liée au nombre de pixels par frange.
- Compatible avec un grand nombre de fibres optiques
- Possibilité d'adaptation à des fibres multicoeur ou faiblement multimodes

Perspectives

- Démonstration à plus grand nombre de fibres
- Implémentation de composants kilohertz
- Validation du concept avec des fibres amplificatrices

Merci de votre attention