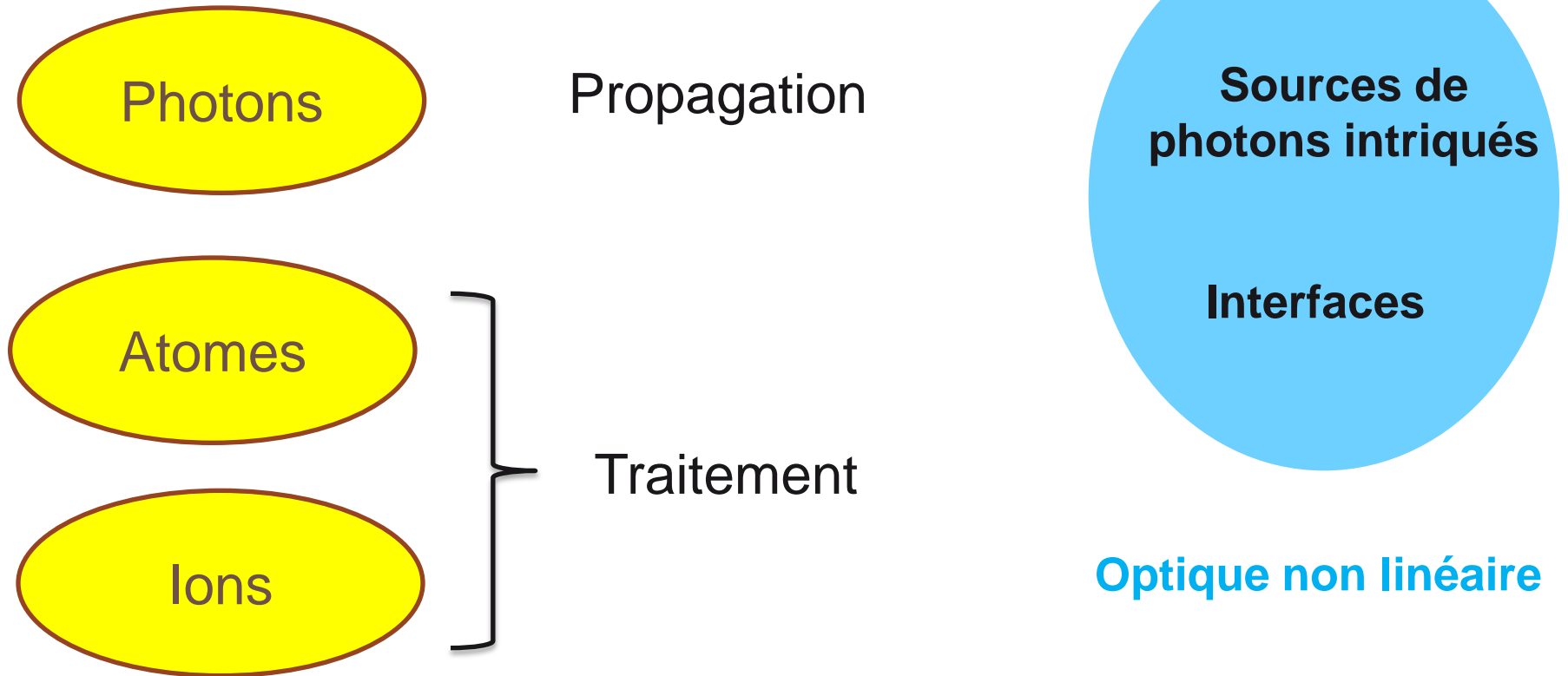


# Problématique

**Qubit = système à deux états**



# Optique non linéaire pour les communications quantiques

## L'équipe :

Jean-Loup Smirr : doctorant

Romain Alléaume

Eleni Diamanti

Robert Frey

Gérard Mouret

Isabelle Zaquine

permanents

# Premiers financements



Acronyme	Sujet	Organisme	Budget / budget total
Kantik 2005	Source de photons intriqués en polarisation à 810nm	CNRS	50/100 k€
J-L. Smirr 2007-2010	Eléments des futurs réseaux de communications quantiques	EDOM Institut TELECOM	Bourse MESR + 3 mois
Y. Menesguen (2007)	Interface de changement de longueur d'onde	Département TSI	Postdoc 8 mois
FRIQ 2007	Fonctions Réseaux pour l'Information Quantique	Institut TELECOM	40/40 k€
IMPROC 2007-2009	Interface Mémoire-PROpagation pour les Communications quantiques Partenaire : LCFIO	Région Il de France C'Nano	35/50 k€
2008	Amplificateur Erbium	Fonds Carnot	30 k€
2008	Fabry-Perot d'analyse spectrale et analyseur de spectre optique	CNRS	25 k€
2008	Détecteur de photons uniques	Département TSI	30 k€



# Communications quantiques : premier bilan

- **Mise au point d'une source de photons intriqués en polarisation à 810 nm**
  - Pour l'enseignement (Bulletin de l'Union des Physiciens)
  - Applications à des tests de cryptographie (INFRES)
- **Etudes de faisabilité de l'interface de changement de longueur d'onde**
  - Théorique
  - expérimental
- **Source de photons jumeaux à 1550 nm basée sur la fluorescence paramétrique**  
étude du filtrage  $\Delta\lambda=100 \text{ nm} \longrightarrow \Delta\lambda=100 \text{ fm}$
- **Obtention du contrat ANR eQUANET avec partenaires prestigieux.**



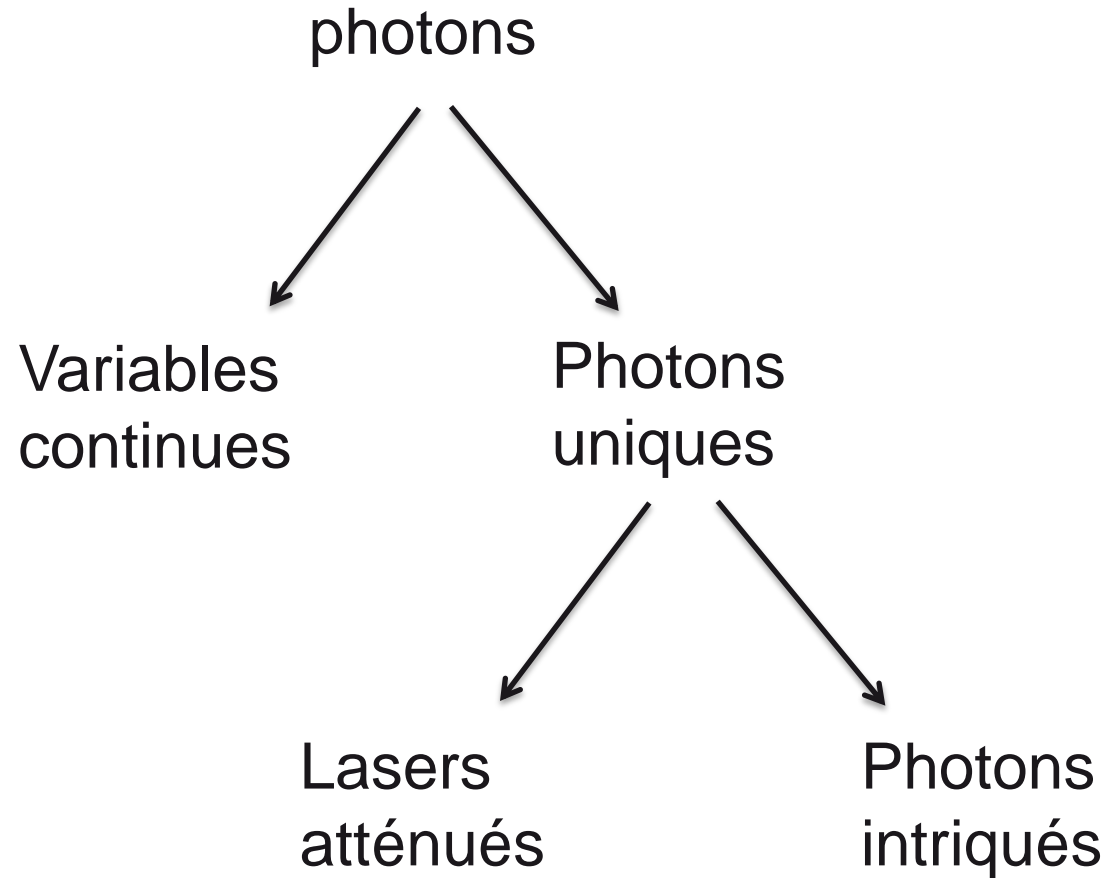
# Optique non linéaire pour les communications quantiques

Jean-Loup Smirr  
Romain Alléaume  
Eleni Diamanti  
Robert Frey  
Gérard Mouret  
Isabelle Zaquine

9 Juin 2010



# « Flying qubits »



# Exemple de l'intrication en polarisation

Pour un photon : 2 états de polarisation H, V

Pour une paire de photons :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1 H_2 \\ H_1 V_2 \\ V_1 H_2 \\ V_1 V_2 \end{array} \right.$$

Mais aussi :  $H_1 H_2 + V_1 V_2$

Polarisation du photon 1 aléatoire

Polarisation du photon 2 aléatoire

Polarisations de 1 et 2 totalement corrélées



# Communications quantiques : la problématique des longues distances

## Propagation du qubit

Limitations de la fidélité : pertes, bruit

Amplification impossible

purification d'intrication

subdiviser le canal

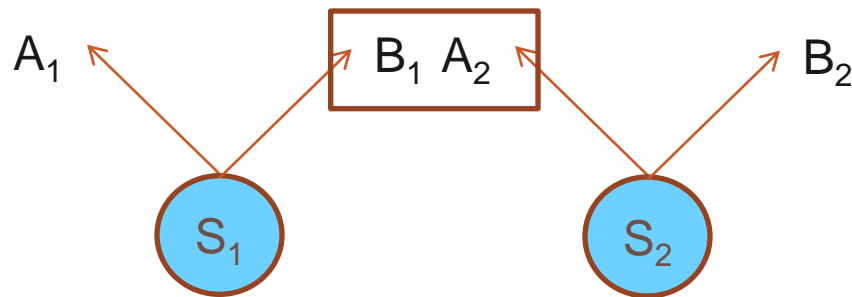
connecter les tronçons par un **Répéteur quantique**

# Répéteur quantique

## ■ Purification d'intrication

augmenter la **fidélité**

## ■ Transfert d'intrication



augmenter les **distances**

## ■ Mémoires quantiques

**synchroniser**

## ■ Interface

**compatibilité**

# Communications quantiques : la problématique des longues distances

## ■ Contraintes introduites par la mémoire quantique :

- Longueur d'onde  $\lambda = 800 \text{ nm}$
- Très faible largeur spectrale  $\Delta\lambda = 100 \text{ fm}$



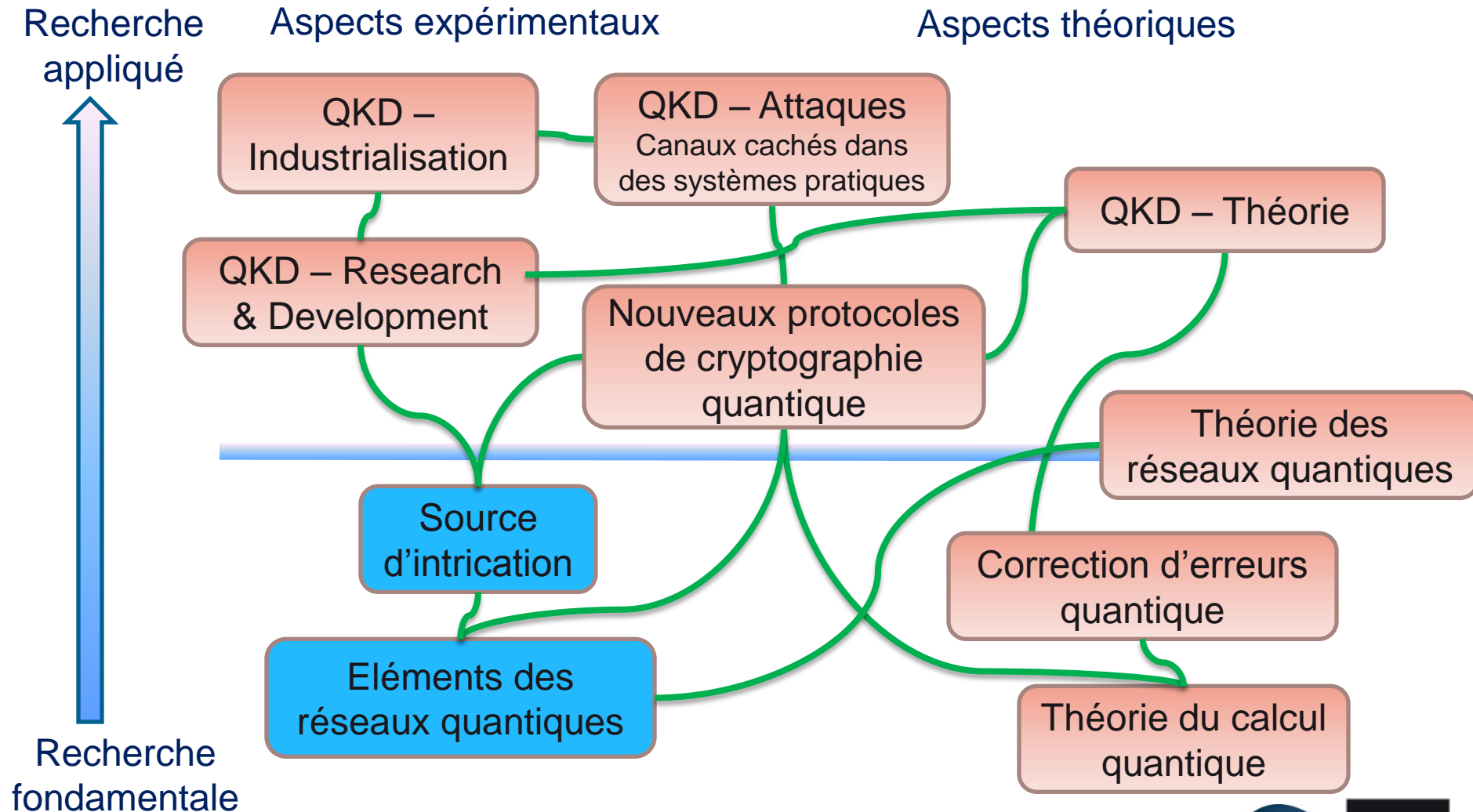
## ■ Interface de changement de longueur d'onde

$\lambda = 1550 \text{ nm}$   $\longrightarrow$   $\lambda = 800 \text{ nm}$

## ■ Source de photons intriqués en polarisation à 1550 nm,

$\Delta\lambda = 100 \text{ nm}$   $\longrightarrow$   $\Delta\lambda = 100 \text{ fm}$

# Vue d'ensemble de notre recherche



# En cours

Acronyme	Sujet	Partenaires	Organisme	Budget / budget total
eQUANET Sept 2009 – sept 2012	Embryonic QUAntum NETwork	<b>LPMC Nice</b> <b>LAC Orsay</b>	<b>ANR</b> Projet blanc	180/488 k€
Sécurité Quantique 2009- 2011	Plate-forme expérimentale de Télécom ParisTech	Équipe Information Quantique INFRES	<b>Région Ile de France</b> SESAME	Entre 500 k€ et 1000 k€
Généphy 2010-2012	Génération de paires de photons corrélés dans des fibres hybrides	<b>Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique</b>	<b>Région Ile de France</b> C'Nano	20 / 60 k€

# eQUANET : la répartition des tâches

- **Source de photons intriqués : LTCI**
- **Interface de changement de longueur d'onde**

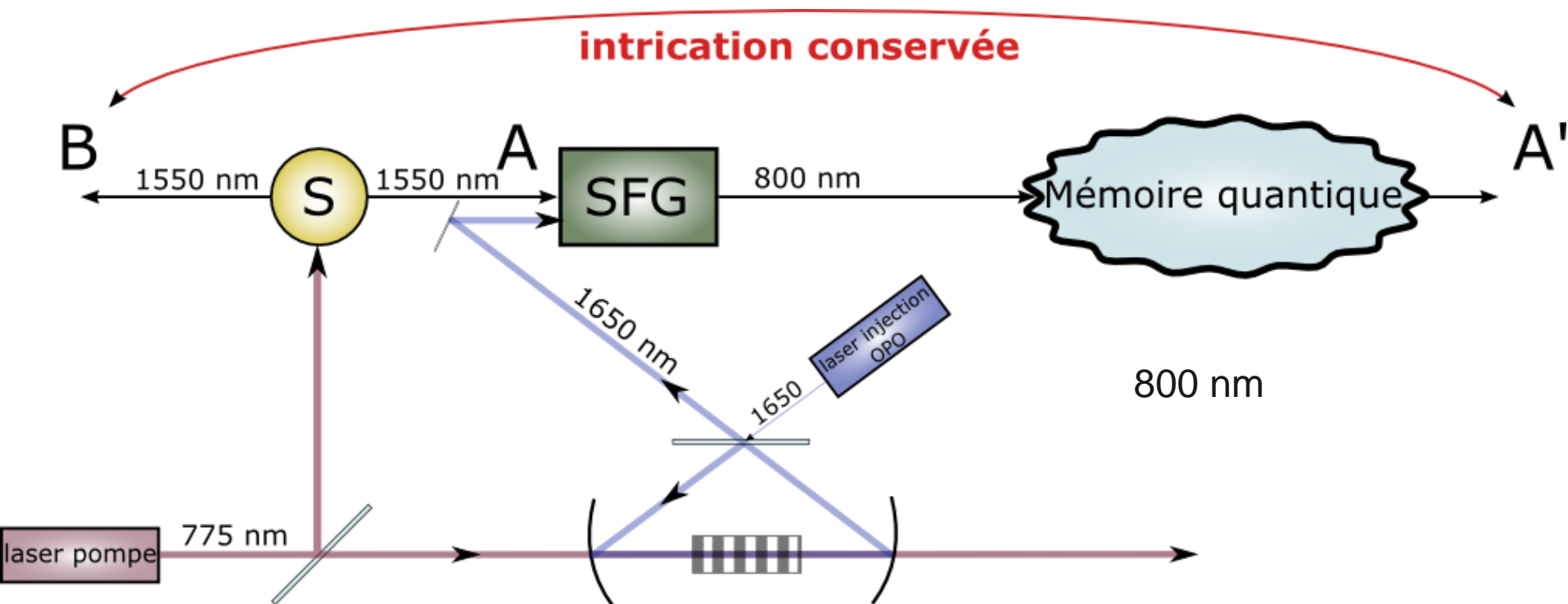
E. Diamanti, C. Langrock, M. M. Fejer, Y. Yamamoto, H. Takesue, *Opt. Lett.* **31**, 727 (2006)

S. Tanzilli, W. Tittel, M. Halder, O. Alibart, P. Baldi, N. Gisin & H. Zbinden, *Nature*, **437**, 116-120 (2005)

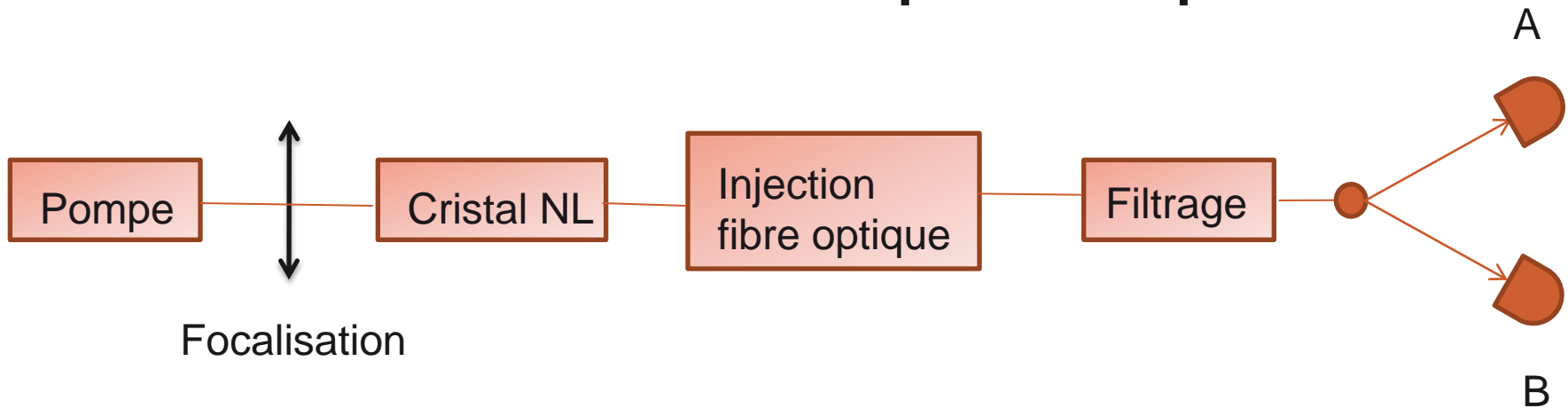
- Technologie guidée : **LPMC**
- Technologie massive : **LTCI**

- **Mémoire : LAC**
- **Mise en réseau des 3 éléments : LTCI et LPMC**

# eQUANET : le réseau embryonnaire

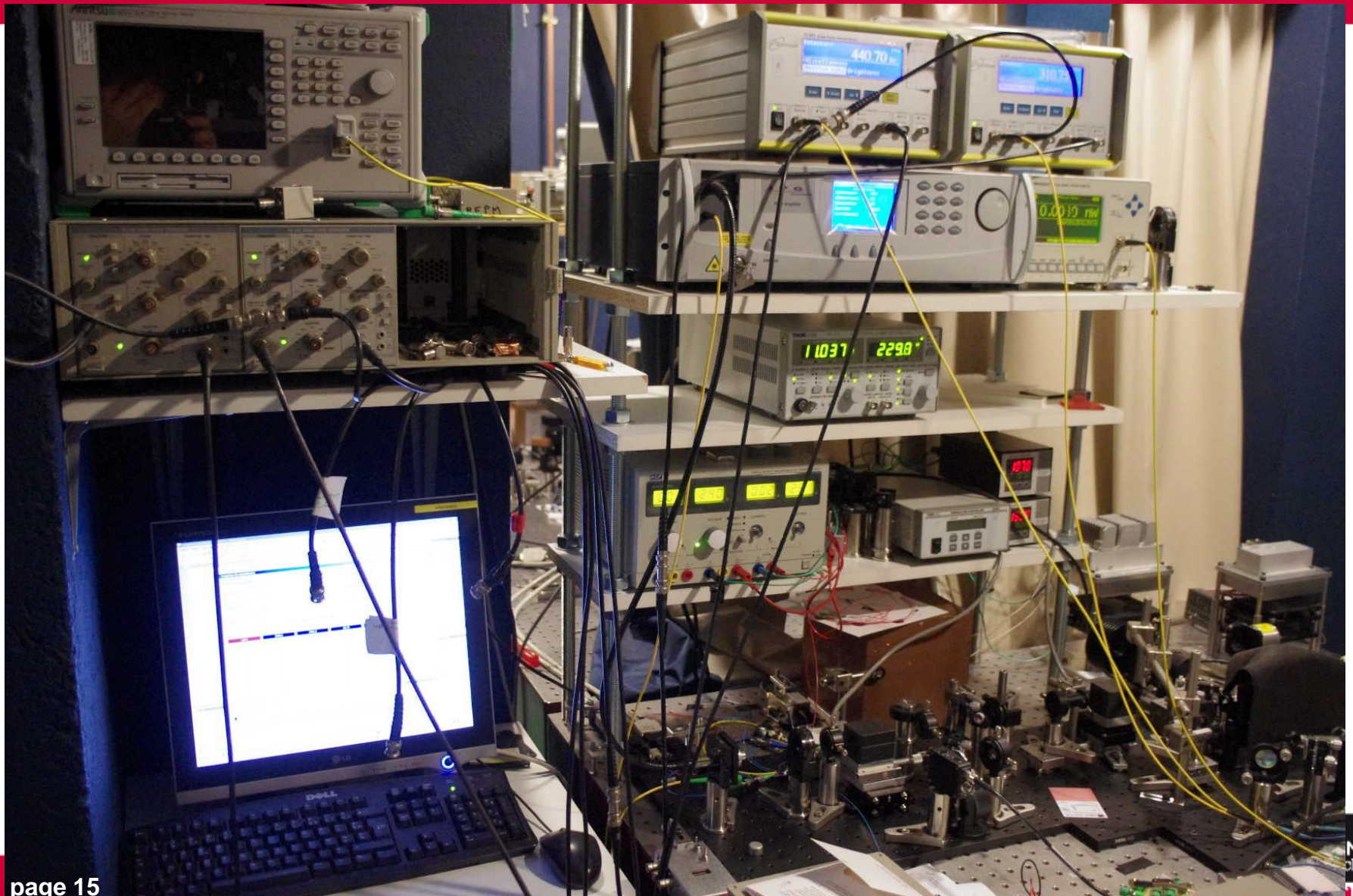


## 1. Réalisation expérimentale : fluorescence paramétrique

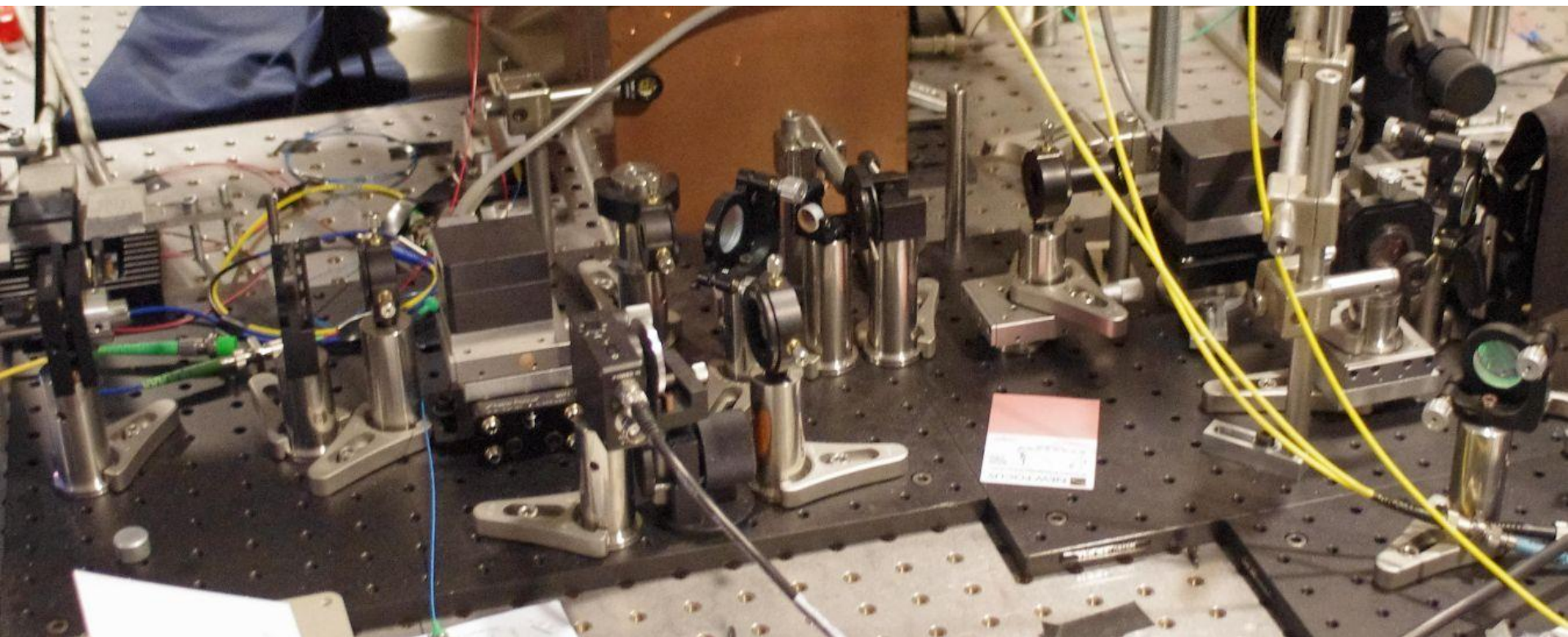


$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_p = \omega_A + \omega_B \\ k_p = k_A + k_B \end{array} \right.$$

# Montage expérimental : vue d'ensemble



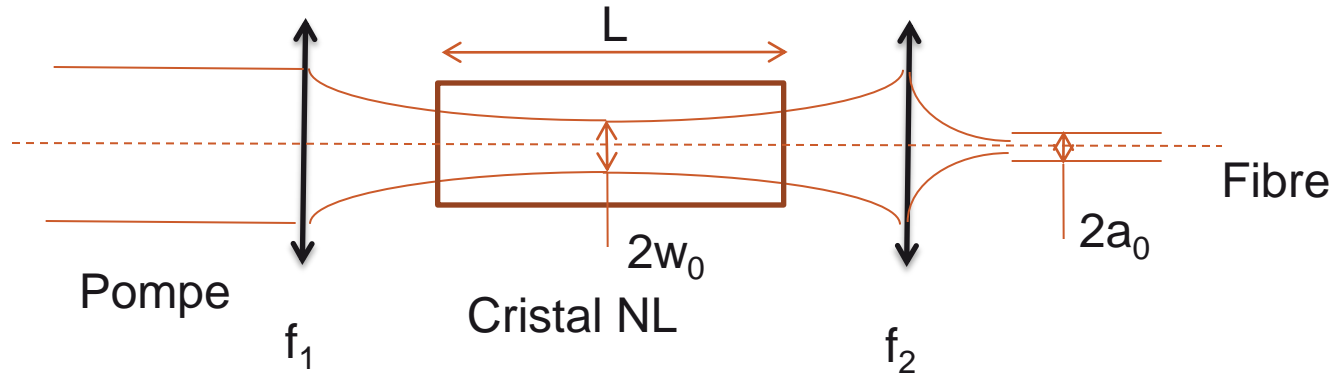
# Montage expérimental : partie espace libre





## 2. Etudes théoriques systématiques pour levée de verrous :

# Les défis à relever : Optimisation de la qualité des paires couplées



Non linéarité  $\chi_{\text{eff}}^2$

Energie d'une impulsion de pompe  $\mathcal{E}_p$

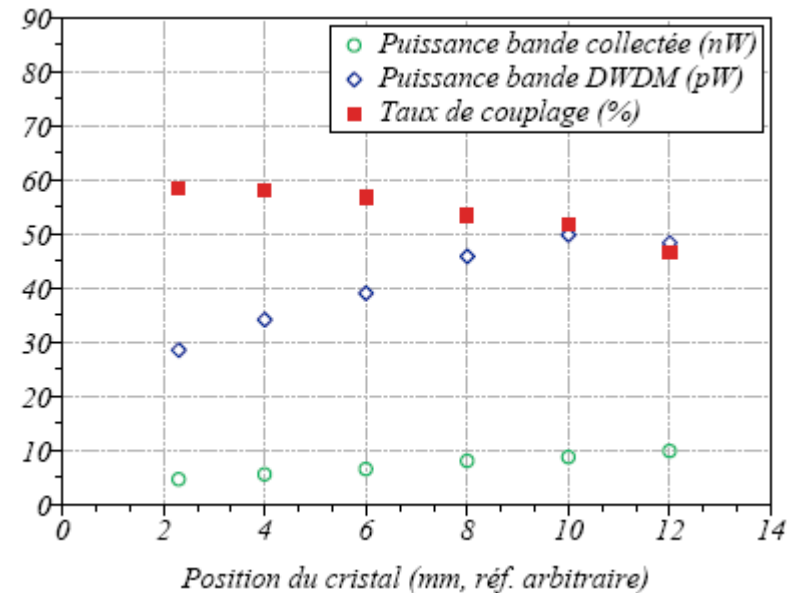
Longueur du cristal  $L$

Conditions de focalisation  $L\lambda/w_0^2$

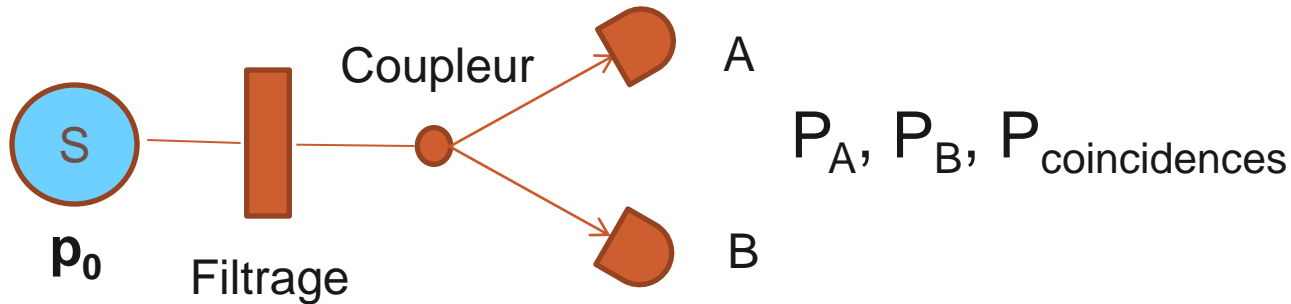
Conditions de collection dans la fibre  $a/w_0$

$P_{12}$  prop.  $\chi_{\text{eff}}^2 \mathcal{E}_p L G (L\lambda/w_0^2, a/w_0)$

*Publication en préparation*



# Les défis à relever : Evaluation des performances de la source



Pertes :

- transmission du filtre
- séparation des paires
- efficacité des détecteurs

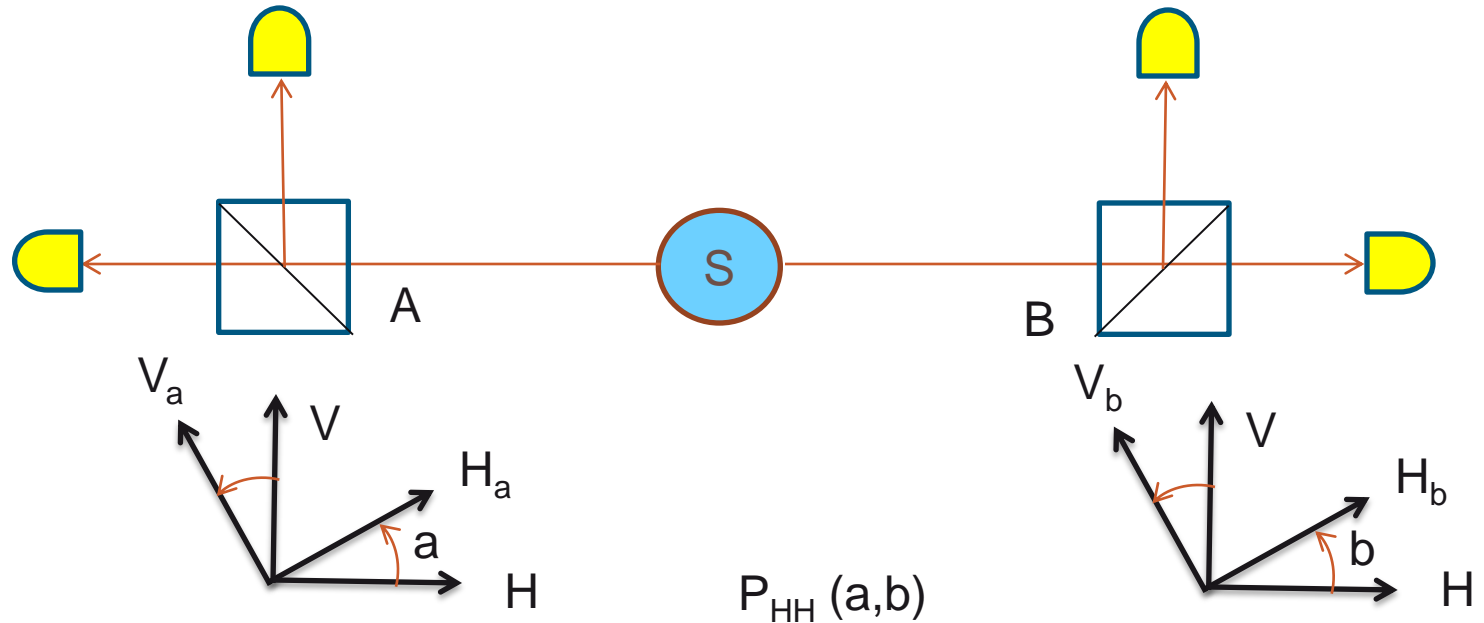
Coïncidences accidentelles :

- Doubles paires
- Bruit optique
- Bruit des détecteurs

**prévision des performances  
optimales (filtrage idéal)**  
*Publication soumise*  
**méthode de mesure des pertes**  
*Publication en préparation*

➔ limiter la production de paires de photons pour une qualité souhaitée

# Les défis à relever : analyse d'un état de Bell quelconque



$$\Phi_+ = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ |H_A H_B\rangle + |V_A V_B\rangle \right]$$

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ |H_A H_B\rangle + e^{i\varphi} |V_A V_B\rangle \right]$$

Analyseurs classiques

**Dispositifs de mesure adaptés**  
*Publication en préparation*



# Perspectives

- **Optimisation de la source actuelle, réalisation de l'intrication en polarisation**
  
- **Réalisation de l'interface en technologie massive**
  
- **Etude d'une nouvelle génération de sources**
  - Matériau non linéaire structuré
  - Filtrage intelligent



# Mouvements de personnel

## ■ Permanent

Départ à la retraite de Robert Frey en novembre 2010

## ■ Non permanent :

- Thèse de Jean-Loup Smirr : soutenance prévue en septembre
- 2 stages master en cours : recrutement en thèse à partir d'octobre 2010
- Recrutement d'un postdoc pour deux ans à partir d'octobre 2010