

Stage de fin de L3 : Caractérisation d'une source de photons uniques.

Claire Teulon

sous la direction de Lionel Jacobowicz, Institut d'Optique *Graduate School*

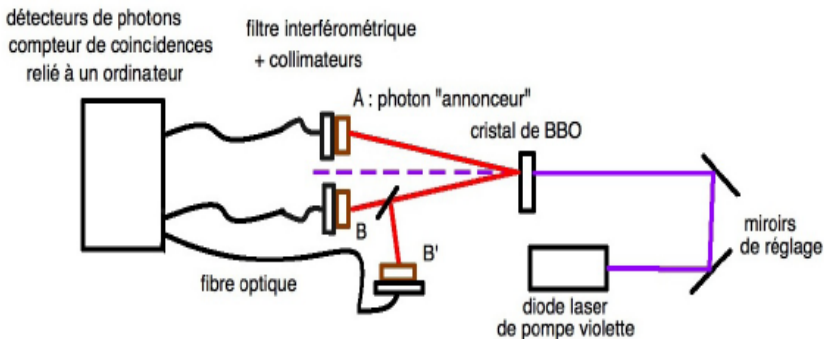
Juin 2010

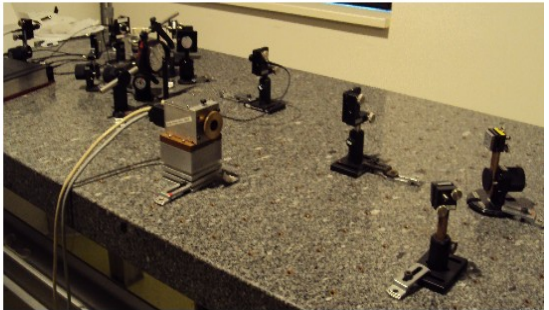


Plan de l'exposé

- 1 Présentation de l'expérience
- 2 Mesures effectuées
 - La carte d'acquisition
 - A-t-on bien des photons uniques ?
- 3 Introduction d'un interféromètre

Schéma du montage



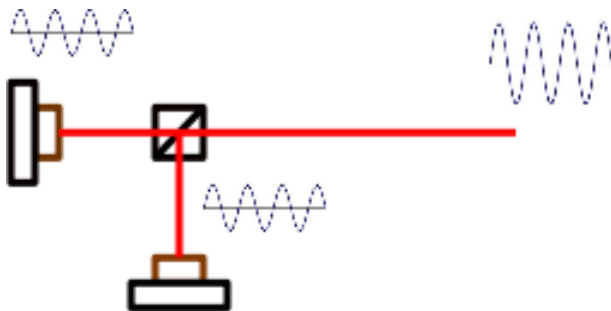


Ordres de grandeurs

- Puissance max. de la diode laser : 50 mW soit 10^{17} photons par seconde.
- $N_A = 10^6 \text{ s}^{-1}$
- $N_B = N_{B'} = 500\,000 \text{ s}^{-1}$
- $N_{AB} = N_{AB'} = 50\,000 \text{ s}^{-1}$

Fonction de corrélation

Cas classique



$$\text{On a : } I_B(t) = I_{B'}(t) = \frac{I(t)}{2}$$

Fonction de corrélation

Cas classique

On définit pour deux détecteurs :

$$g_2(0) = \frac{\langle I_B(t) I_{B'}(t) \rangle}{\langle I_B(t) \rangle \langle I_{B'}(t) \rangle}$$

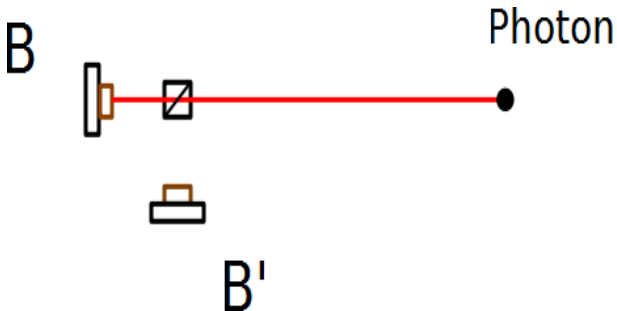
$$g_2(0) = \frac{\langle I(t)^2 \rangle}{\langle I(t) \rangle^2}$$

soit

$$g_2(0) \geq 1$$

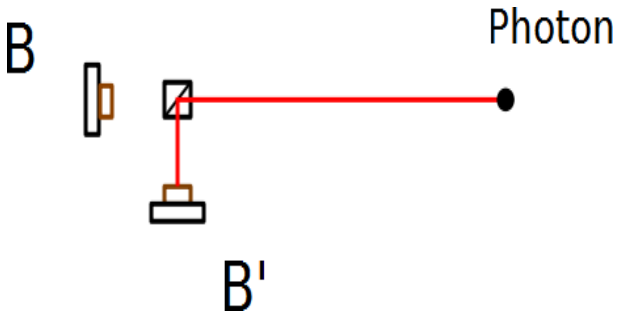
Fonction de corrélation

Photon unique



Fonction de corrélation

Photon unique



Fonction de corrélation

A deux détecteurs (B et B')

Pour deux détecteurs :

$$g_2(0) = \frac{\langle I_B(t) I_{B'}(t) \rangle}{\langle I_B(t) \rangle \langle I_{B'}(t) \rangle}$$

Soit

$$g_2(0) = \frac{P_{BB'}}{P_B P_{B'}}$$

On mesure $g_2(0) = 1$!

Fonction de corrélation

Photons annoncés

A trois détecteurs

$$g_2(0) = \frac{P_{ABB'}}{P_{AB}P_{AB'}}$$

avec $P_{ABB'} = \frac{N_{ABB'}}{N_A}$, $P_{AB} = \frac{N_{AB}}{N_A}$, $P_{AB'} = \frac{N_{AB'}}{N_A}$:

$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}}$$

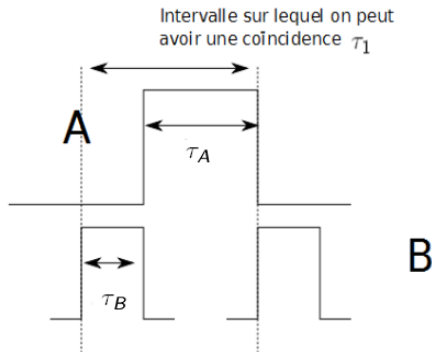
$$g_2(0) = 0$$

Plan

- 1 Présentation de l'expérience
- 2 Mesures effectuées
 - La carte d'acquisition
 - A-t-on bien des photons uniques ?
- 3 Introduction d'un interféromètre

La carte d'acquisition

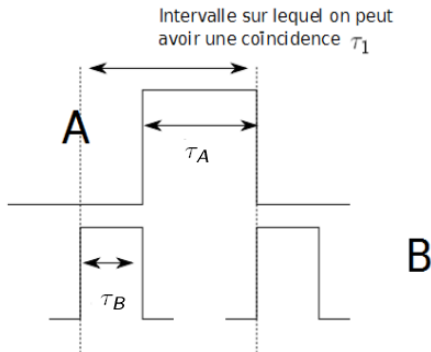
Coïncidences entre A et B ou A et B'



Coïncidences fortuites : $N_{AB} = N_A N_B (\tau_A + \tau_B) = N_A N_B \tau_1$

La carte d'acquisition

Coïncidences entre A et B ou A et B'



Coïncidences fortuites : $N_{AB} = N_A N_B (\tau_A + \tau_B) = N_A N_B \tau_1$

La carte d'acquisition

Coïncidences fortuites entre A et B ou A et B'

Coïncidences fortuites :

$$N_{AB} = N_A N_B \tau_1 \quad N_{AB'} = N_A N_{B'} \tau_2$$

On trouve donc pour les différents choix de fenêtres de la carte :

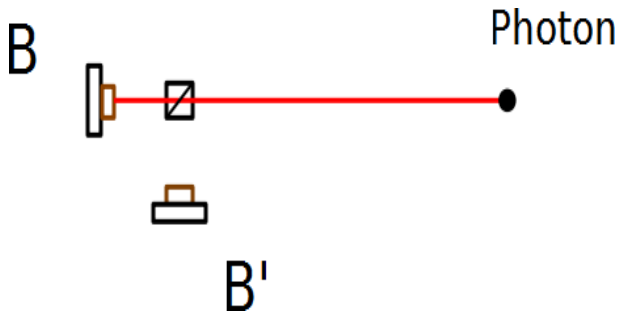
Durée de pulse choisie	Fenêtre τ_1 (ns)	Fenêtre τ_2 (ns)
25ns	$43,2 \pm 1,6$	$44,2 \pm 2$
10ns	$19,3 \pm 0,5$	$18,2 \pm 1$
7ns	$12,2 \pm 0,4$	$11,2 \pm 1,5$
5ns	$7,4 \pm 0,3$	$6,9 \pm 0,2$

Plan

- 1 Présentation de l'expérience
- 2 Mesures effectuées
 - La carte d'acquisition
 - A-t-on bien des photons uniques ?
- 3 Introduction d'un interféromètre

A-t-on bien des photons uniques ?

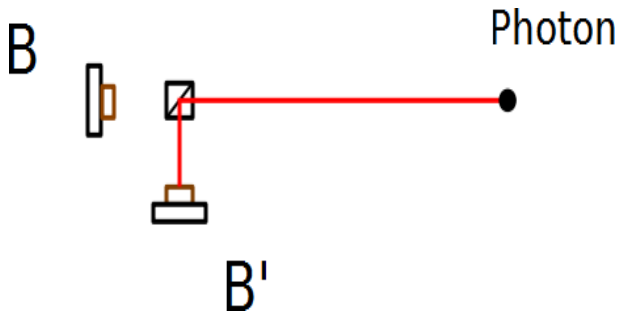
Fonction de corrélation pour des photons uniques



$$N_{ABB'} = 0$$
$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}} = 0$$

A-t-on bien des photons uniques ?

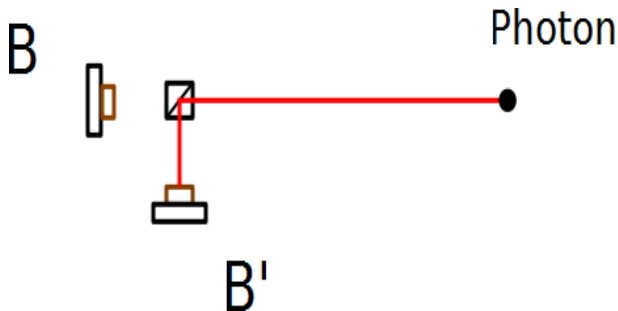
Fonction de corrélation pour des photons uniques



$$N_{ABB'} = 0$$
$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}} = 0$$

A-t-on bien des photons uniques ?

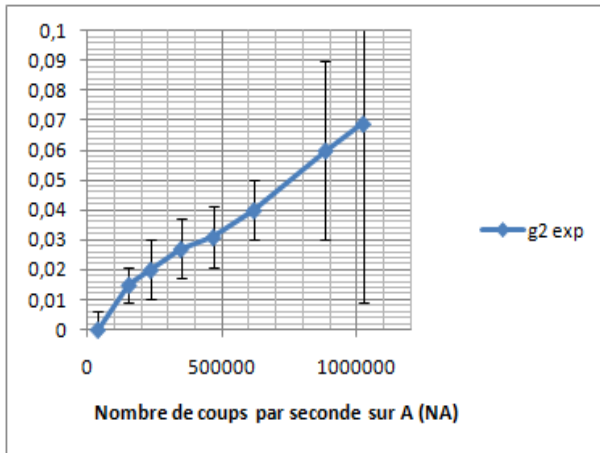
Fonction de corrélation pour des photons uniques



$$N_{ABB'} = 0$$
$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}} = 0$$

Avec la source de photons uniques

Variation avec l'intensité



A-t-on bien des photons uniques ?

Coïncidences fortuites entre A, B et B'

Il y a trois cas possibles :

- Soit les photons arrivant sur les trois détecteurs sont tous décorrélés,
- Soit une paire de photons AB arrive en coïncidence fortuite avec un photon venant sur B' : cela fait $N_{AB}N_{B'}\tau_4$ coïncidences.
- Symétriquement, $N_{AB'}N_B\tau_5$ coïncidences fortuites.

Donc

$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'}N_A}{N_{AB}N_{AB'}} = N_A \left(\frac{\tau_4 N_{B'}N_{AB} + \tau_5 N_B N_{AB'}}{N_{AB'}N_{AB}} \right)$$

A-t-on bien des photons uniques ?

Coïncidences fortuites entre A, B et B'

Il y a trois cas possibles :

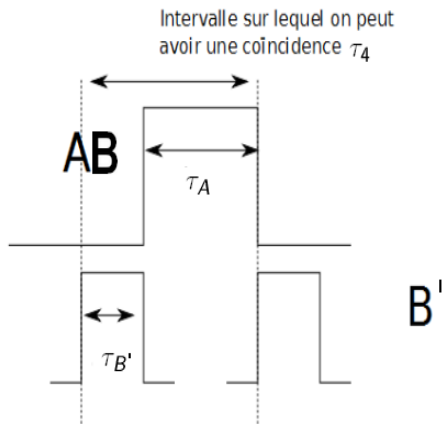
- Soit les photons arrivant sur les trois détecteurs sont tous décorrélés,
- Soit une paire de photons AB arrive en coïncidence fortuite avec un photon venant sur B' : cela fait $N_{AB}N_{B'}\tau_4$ coïncidences.
- Symétriquement, $N_{AB'}N_B\tau_5$ coïncidences fortuites.

Donc

$$g_2(0) = \frac{N_{ABB'}N_A}{N_{AB}N_{AB'}} = N_A \left(\frac{\tau_4 N_{B'}N_{AB} + \tau_5 N_B N_{AB'}}{N_{AB'}N_{AB}} \right)$$

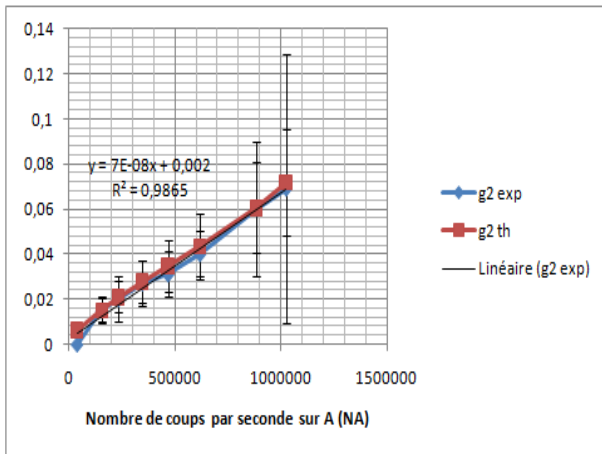
A-t-on bien des photons uniques ?

Coïncidences fortuites entre A, B et B'

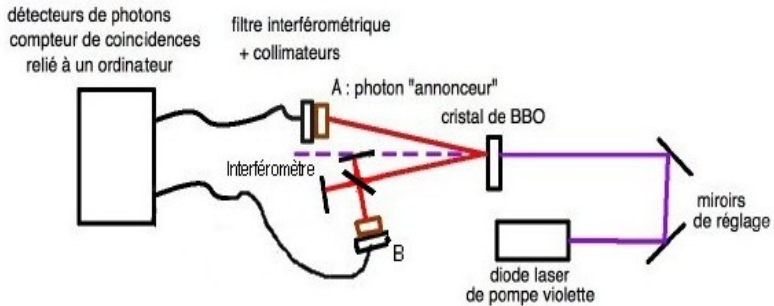


Avec la source de photons uniques

Variation avec l'intensité

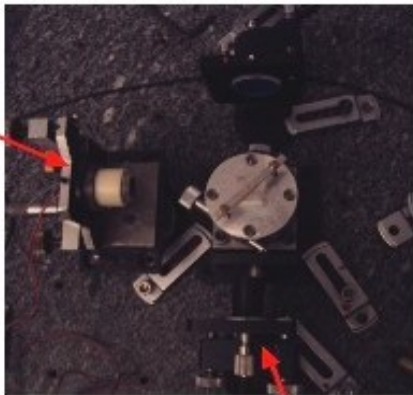


Ajout d'un interféromètre



Ajout d'un interféromètre

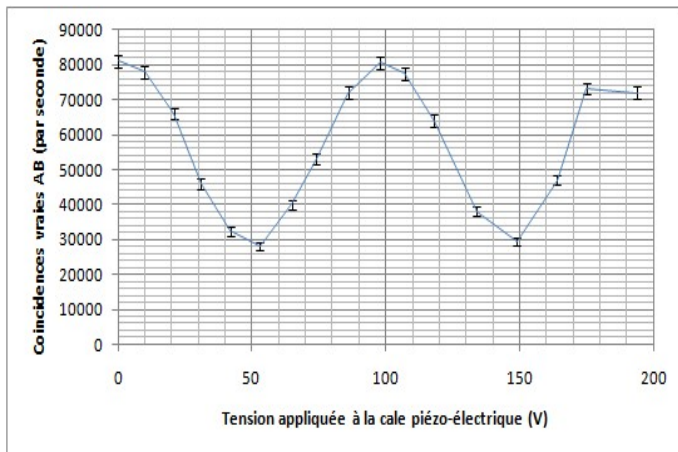
Miroir équipée d'une
cale piézo-électrique



Interféromètre

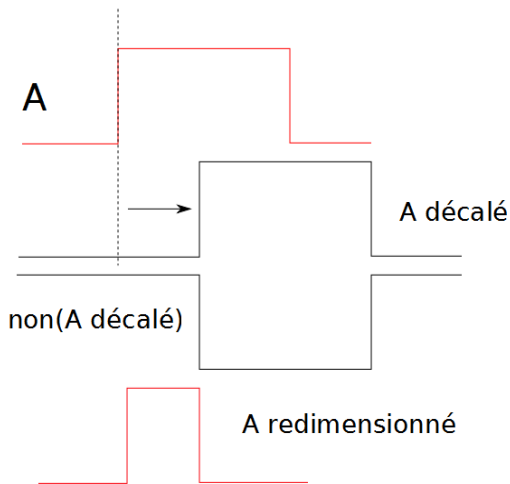
Collimateur

Ajout d'un interféromètre



Conclusion

Redimensionnement d'une impulsion



Fonction de corrélation

Pour deux détecteurs :

$$g_2(0) = \frac{\langle I_B(t) I_{B'}(t) \rangle}{\langle I_B(t) \rangle \langle I_{B'}(t) \rangle}$$

Or on a :

- $P_B = \eta_B \langle I_B(t) \rangle$ et $P_{B'} = \eta_{B'} \langle I_{B'}(t) \rangle$
- $P_{BB'} = \eta_B \eta_{B'} \langle I_B(t) I_{B'}(t) \rangle$

Soit

$$g_2(0) = \frac{P_{BB'}}{P_B P_{B'}}$$

Fonction de corrélation

Pour deux détecteurs :

$$g_2(0) = \frac{P_{BB'}}{P_B P_{B'}}$$

Avec :

- $P_B = N_B \tau$
- $P_{B'} = N_{B'} \tau$
- $P_{BB'} = N_{BB'} \frac{\tau}{2}$
- $N_{BB'} = N_B N_{B'} 2\tau$ (uniquement coïncidences fortuites)

Donc

$$g_2(0) = \frac{2\tau \frac{\tau}{2}}{\tau^2} = 1$$

Fonction de corrélation

Pour deux détecteurs :

$$g_2(0) = \frac{P_{BB'}}{P_B P_{B'}}$$

Avec :

- $P_B = N_B \tau$
- $P_{B'} = N_{B'} \tau$
- $P_{BB'} = N_{BB'} \frac{\tau}{2}$
- $N_{BB'} = N_B N_{B'} 2\tau$ (uniquement coïncidences fortuites)

Donc

$$g_2(0) = \frac{2\tau \frac{\tau}{2}}{\tau^2} = 1$$

Introduction d'un retard

Fonction de corrélation

A deux détecteurs :

$$g_2(\tau) = \frac{\langle I_B(t) I_{B'}(t + \tau) \rangle}{\langle I_B(t) \rangle \langle I_{B'}(t + \tau) \rangle}$$

Soit

$$g_2(\tau) = \frac{P_{BB'}(\tau)}{P_B(t) P_{B'}(t + \tau)}$$

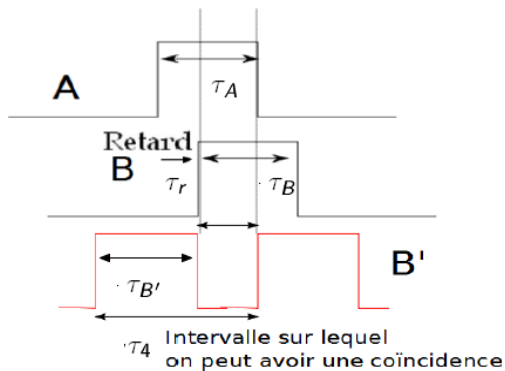
Donc, avec les photons annoncés,

$$g_2(\tau) = \frac{N_{ABB'}(\tau) N_A}{N_{AB}(\tau) N_{AB'}(\tau)}$$

Introduction d'un retard

Coïncidences fortuites entre A, B et B'

Présence d'une coïncidence AB ou AB'

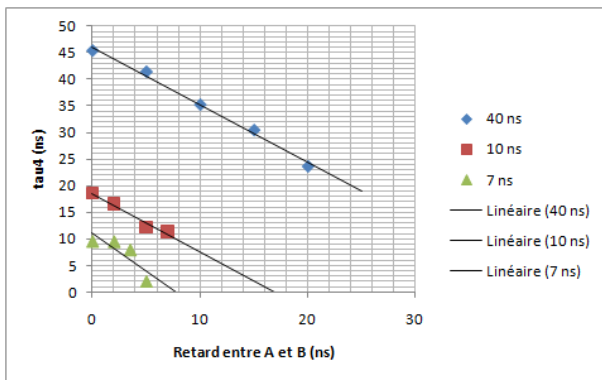


$$N_{ABB'} = N_{AB} N_{B'} (\tau_A + \tau_{B'} - \tau_r) = N_{AB} N_{B'} \tau_4$$

Introduction d'un retard

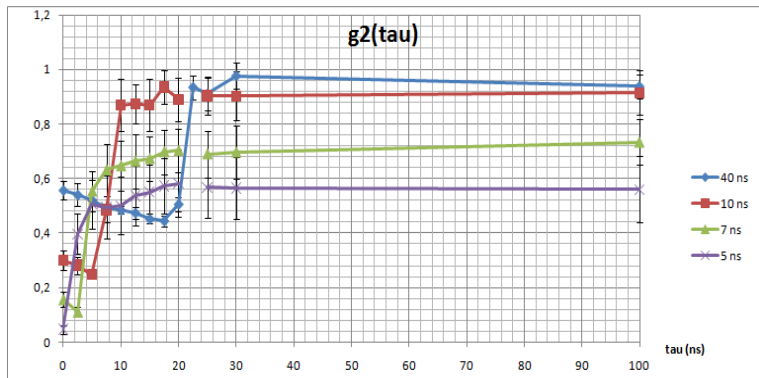
Coïncidences fortuites entre A, B et B'

Présence d'une coïncidence AB ou AB'



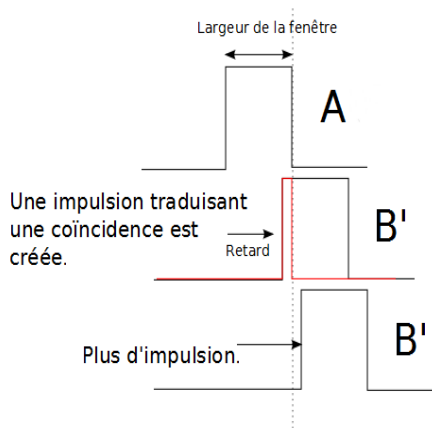
Avec la source de photons uniques

Introduction d'un retard



Avec la source de photons uniques

Introduction d'un retard



Avec la source de photons uniques

Introduction d'un retard

- On peut avoir une paire de photons AB en coïncidence fortuite avec un photon venant sur B' : cela fait $N_{ABB'} = N_{AB}N_{B'}\tau_4(0)$ coïncidences.
- On peut avoir B' arrivant au hasard en même temps que A : $N_{AB'} = N_A N_{B'}\tau_2$ coïncidences.

Donc

$$g_2^{max}(\tau) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}} = \frac{\tau_4}{\tau_2}$$

Avec la source de photons uniques

Introduction d'un retard

- On peut avoir une paire de photons AB en coïncidence fortuite avec un photon venant sur B' : cela fait $N_{ABB'} = N_{AB}N_{B'}\tau_4(0)$ coïncidences.
- On peut avoir B' arrivant au hasard en même temps que A : $N_{AB'} = N_A N_{B'}\tau_2$ coïncidences.

Donc

$$g_2^{max}(\tau) = \frac{N_{ABB'} N_A}{N_{AB} N_{AB'}} = \frac{\tau_4}{\tau_2}$$