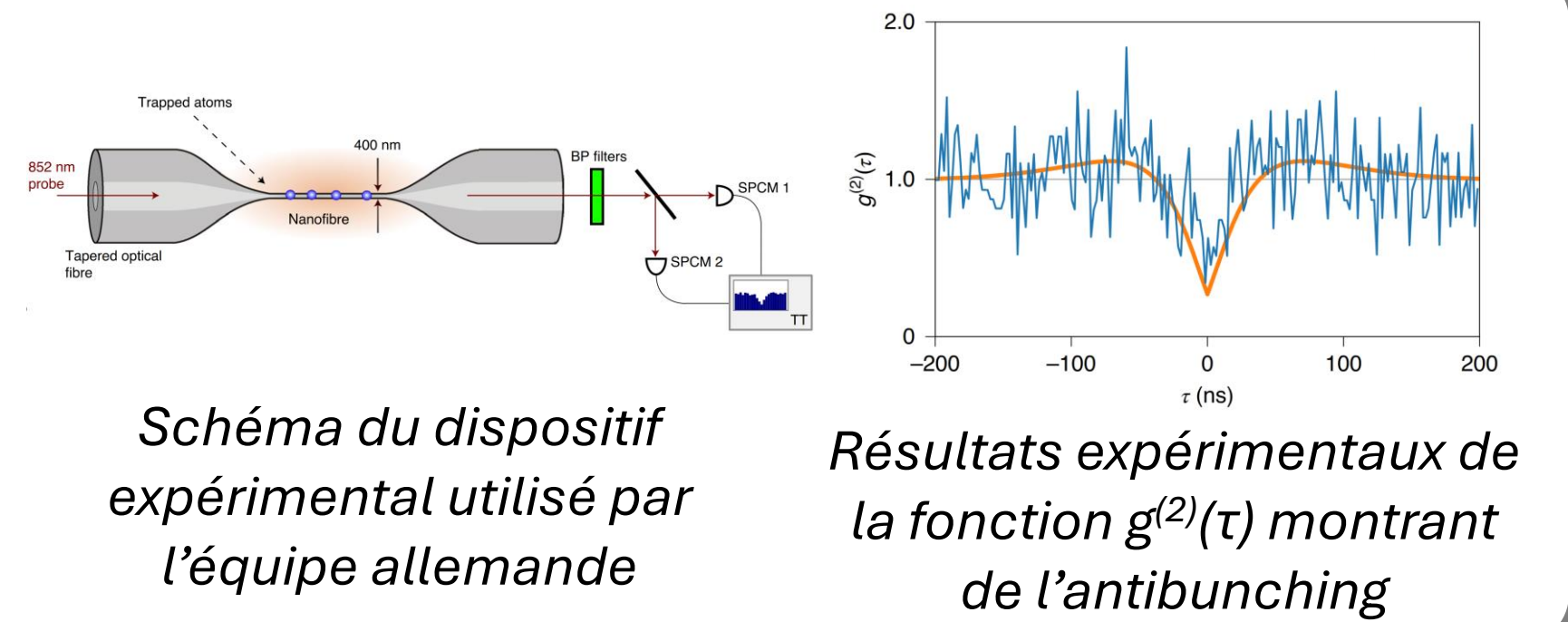


Corrélation d'intensité de la lumière diffusée par un nuage d'atomes froids

Résumé

L'effet d'antibunching, caractéristique des sources de photons uniques, a été observé par une équipe de chercheurs allemands dans la lumière transmise par un grand nombre d'atomes piégés dans une nano-fibre^[1]. L'objectif de l'équipe « Atomes froids » de l'INPHYNI est d'à nouveau observer cet effet, mais cette fois dans la **lumière transmise par un nuage d'atomes froids**. Dans cette nouvelle géométrie, le processus de **diffusion multiple** risque de tuer l'antibunching. Il est donc crucial de pouvoir mesurer et contrôler ce processus. Nous réalisons alors des mesures de **fonction de corrélation d'intensité** pour de la lumière diffusée avec un **petit angle**. Les fonctions obtenues présentent une structure avec deux temps caractéristiques qui permet d'extraire la **proportion de diffusion simple et multiple**. Ensuite, nous montrons avec un modèle numérique qu'un **nuage atomique en forme de cigare** permet de réduire considérablement cette diffusion multiple et serait donc un bon candidat pour l'observation expérimentale de l'effet d'antibunching.

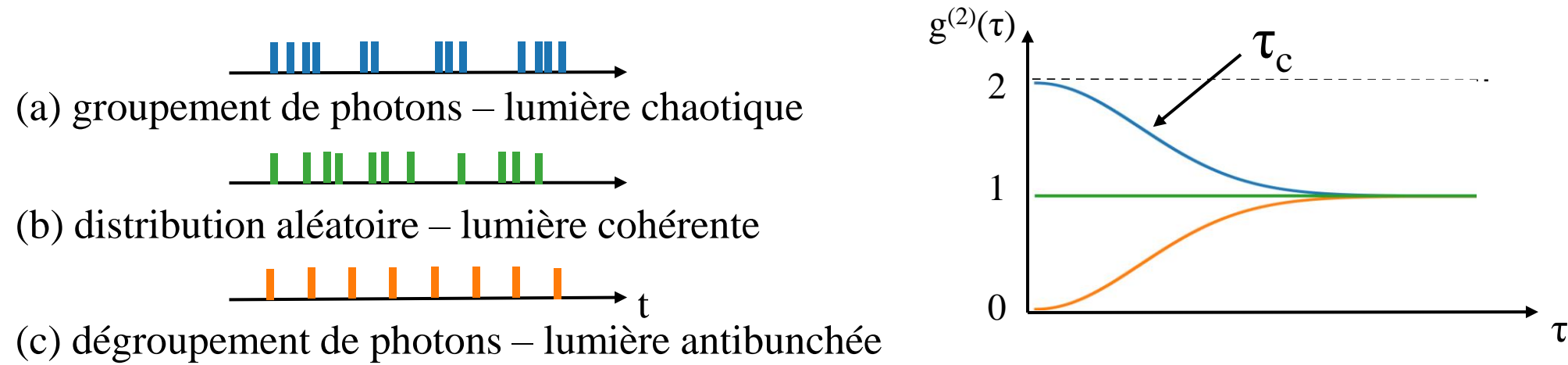


1. Fonctions de corrélation temporelles de la lumière

• **Fonction de corrélation du champ électrique :** $g^{(1)}(\tau) = \frac{\langle E(t)E^*(t+\tau) \rangle}{\langle E(t)E^*(t) \rangle}$

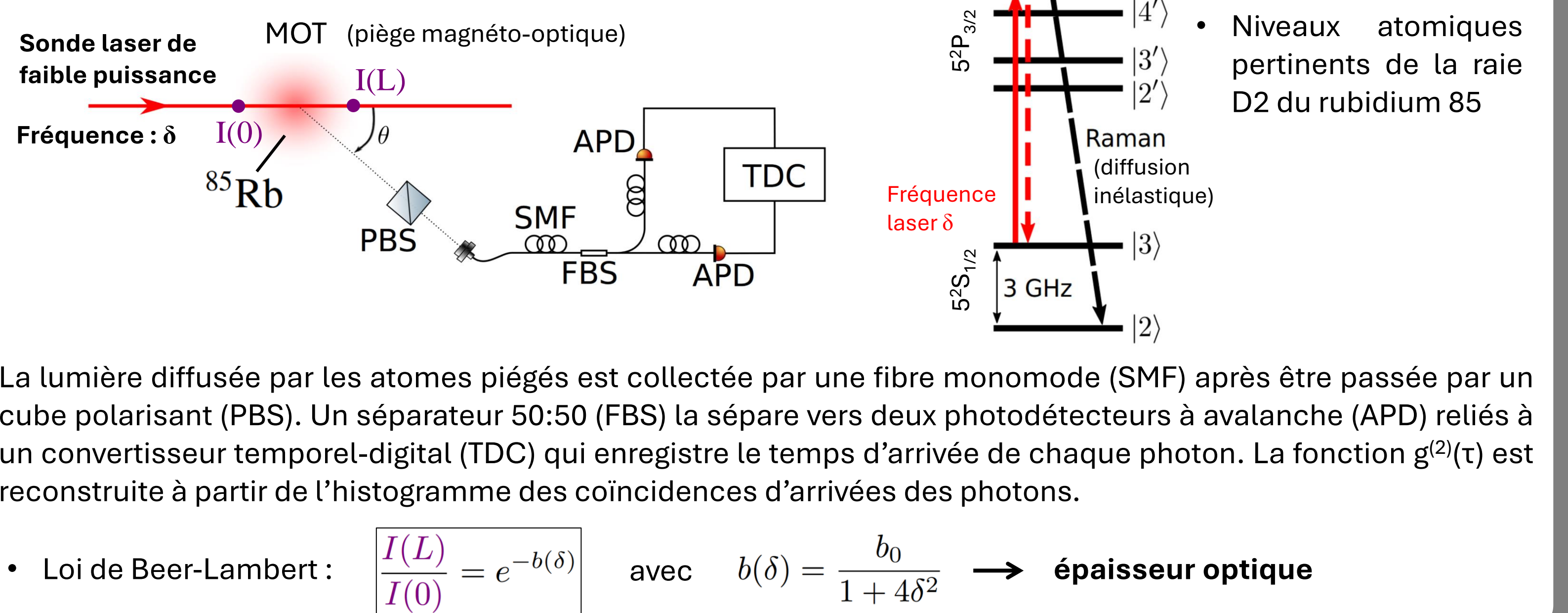
• **Fonction de corrélation de l'intensité :** $g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle I(t)I(t+\tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle^2}$

• La fonction $g^{(2)}(\tau)$ nous renseigne sur la **statistique des photons** d'une source de lumière. On distingue plusieurs effets qui déterminent le type de source :



• τ_c : **temps de cohérence** → temps au-delà duquel les intensités ne seront plus corrélées

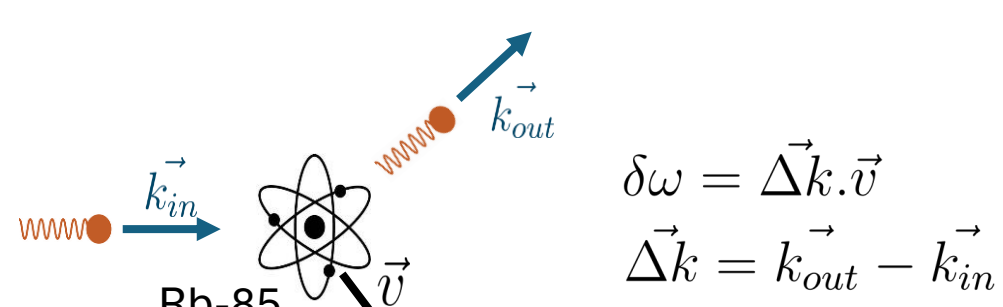
2. Corrélation d'intensité de la lumière diffusée par un nuage d'atomes froids^[2]



3. Modèle numérique Random Walk simulant la diffusion d'un photon par un nuage d'atomes froids

3.1. Principe de la simulation

- Algorithme de Monte-Carlo qui calcule pour chaque photon la probabilité de diffusion en fonction de $b(\delta)$.
- À chaque diffusion : **nouvelle direction aléatoire + décalage en fréquence $\delta\omega$ par effet Doppler :**

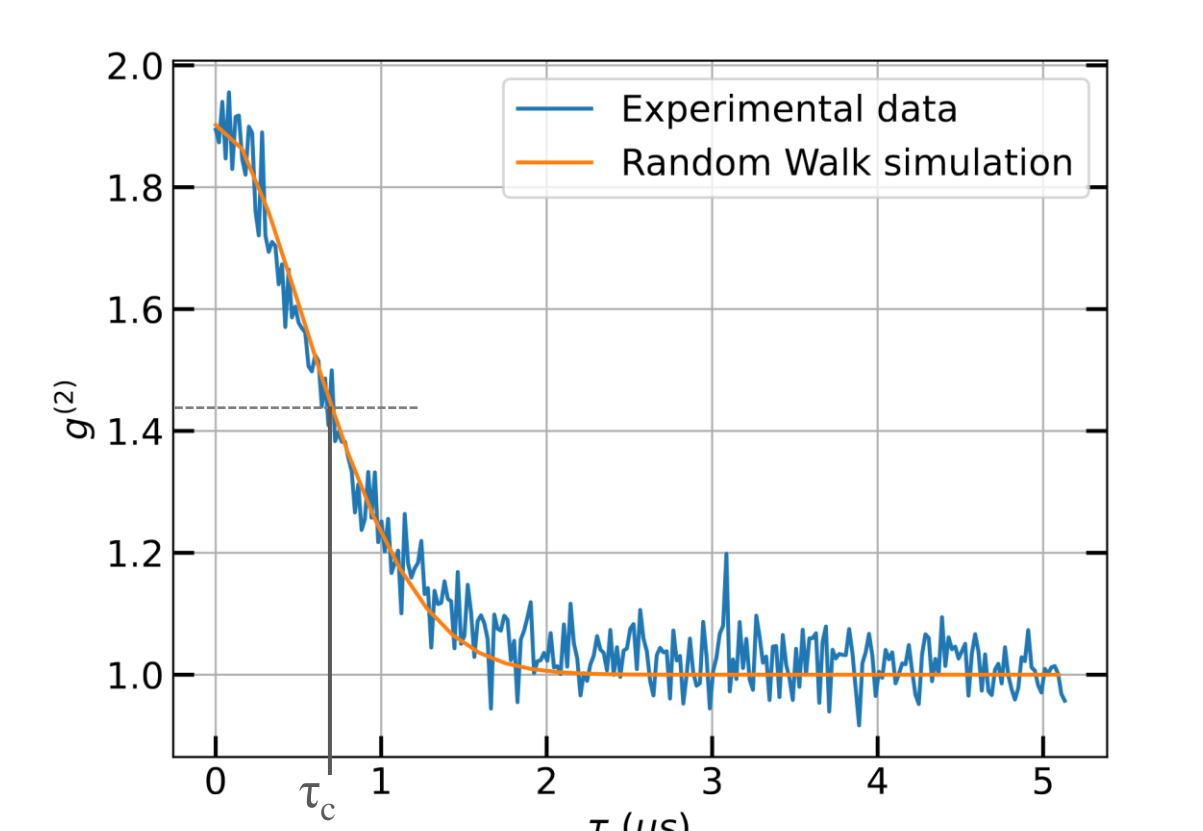


- **Spectre de la lumière diffusée dans la direction θ :** $S(\delta, \theta)$

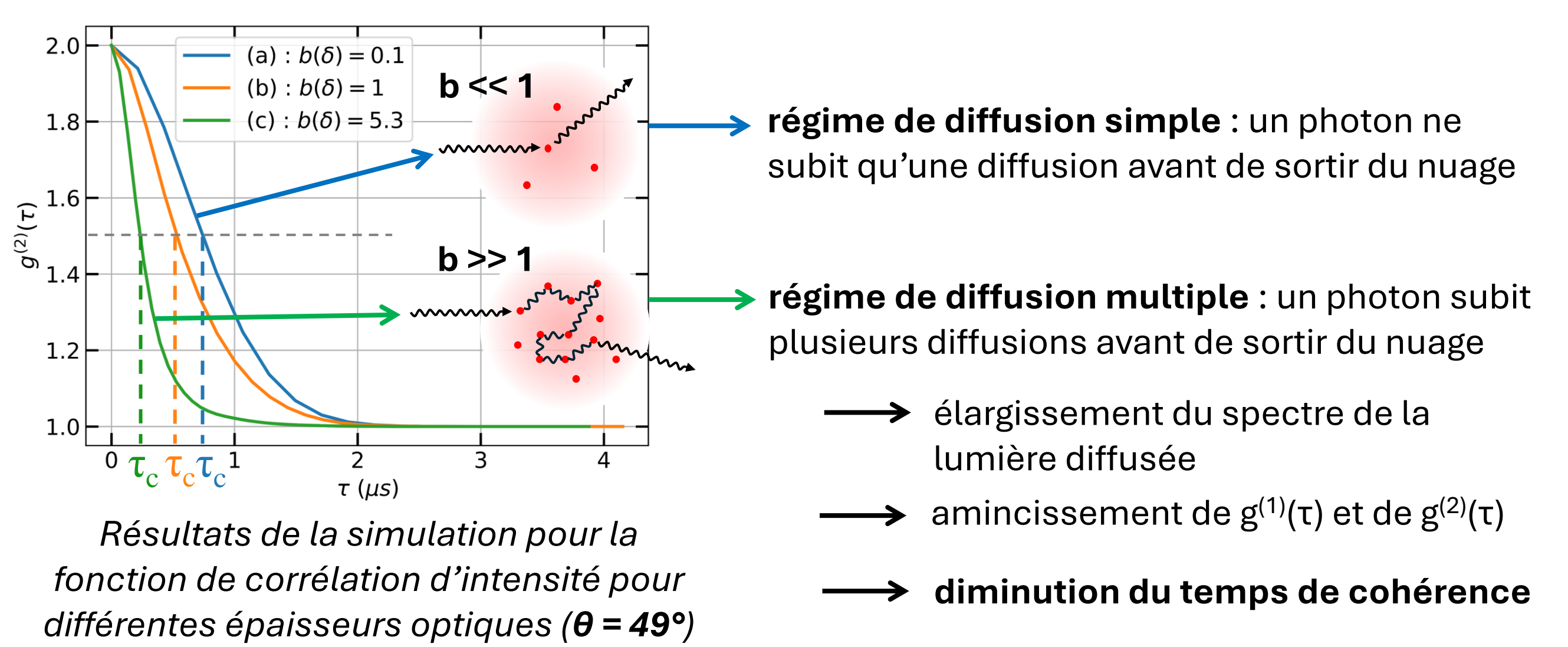
$S(\delta, \theta) \xrightarrow{TF} g^{(1)}(\tau) \xrightarrow{TF} g^{(2)}(\tau)$

$g^{(2)}(\tau) = 1 + |g^{(1)}(\tau)|^2$
(Relation de Siegert)

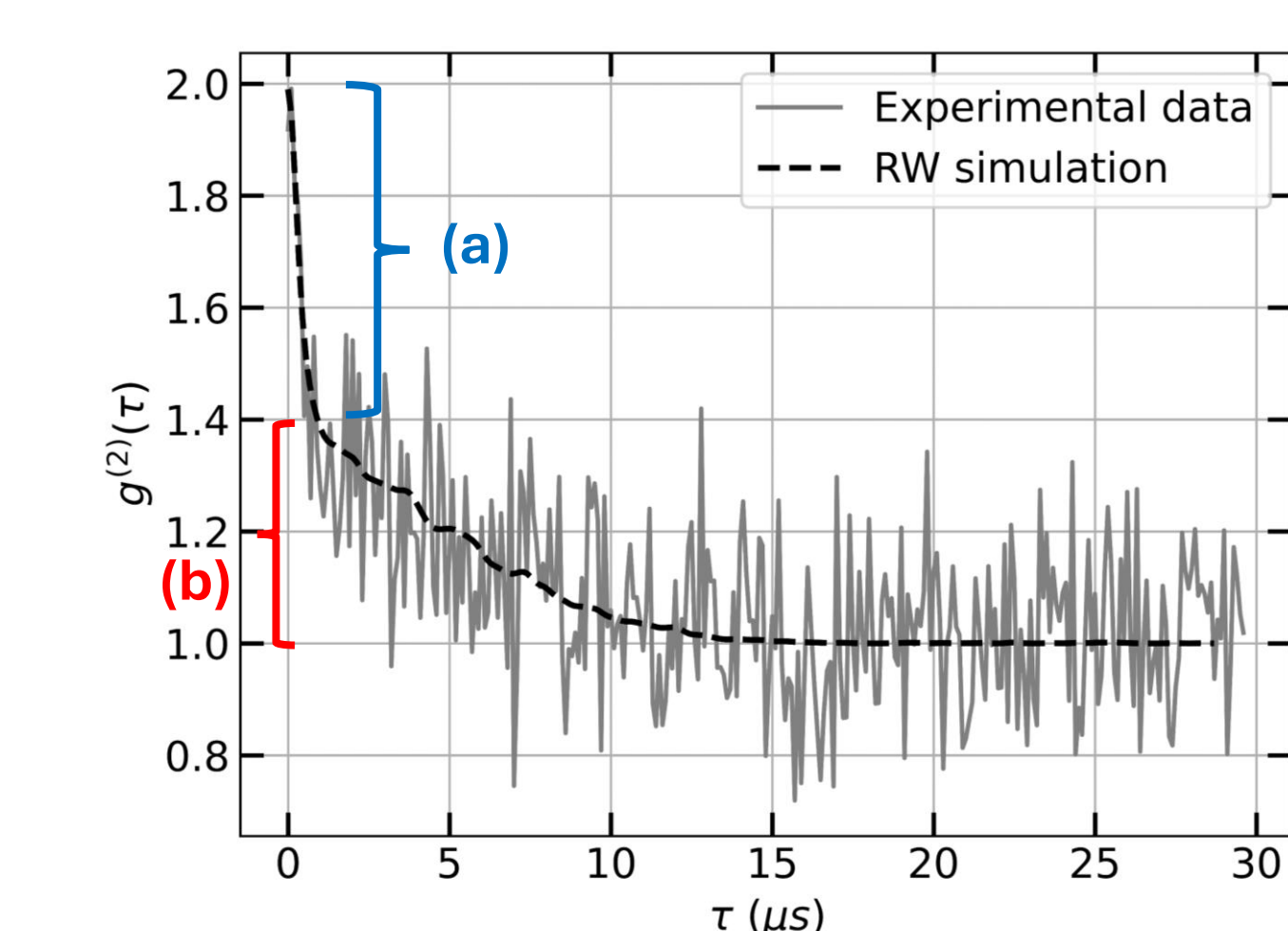
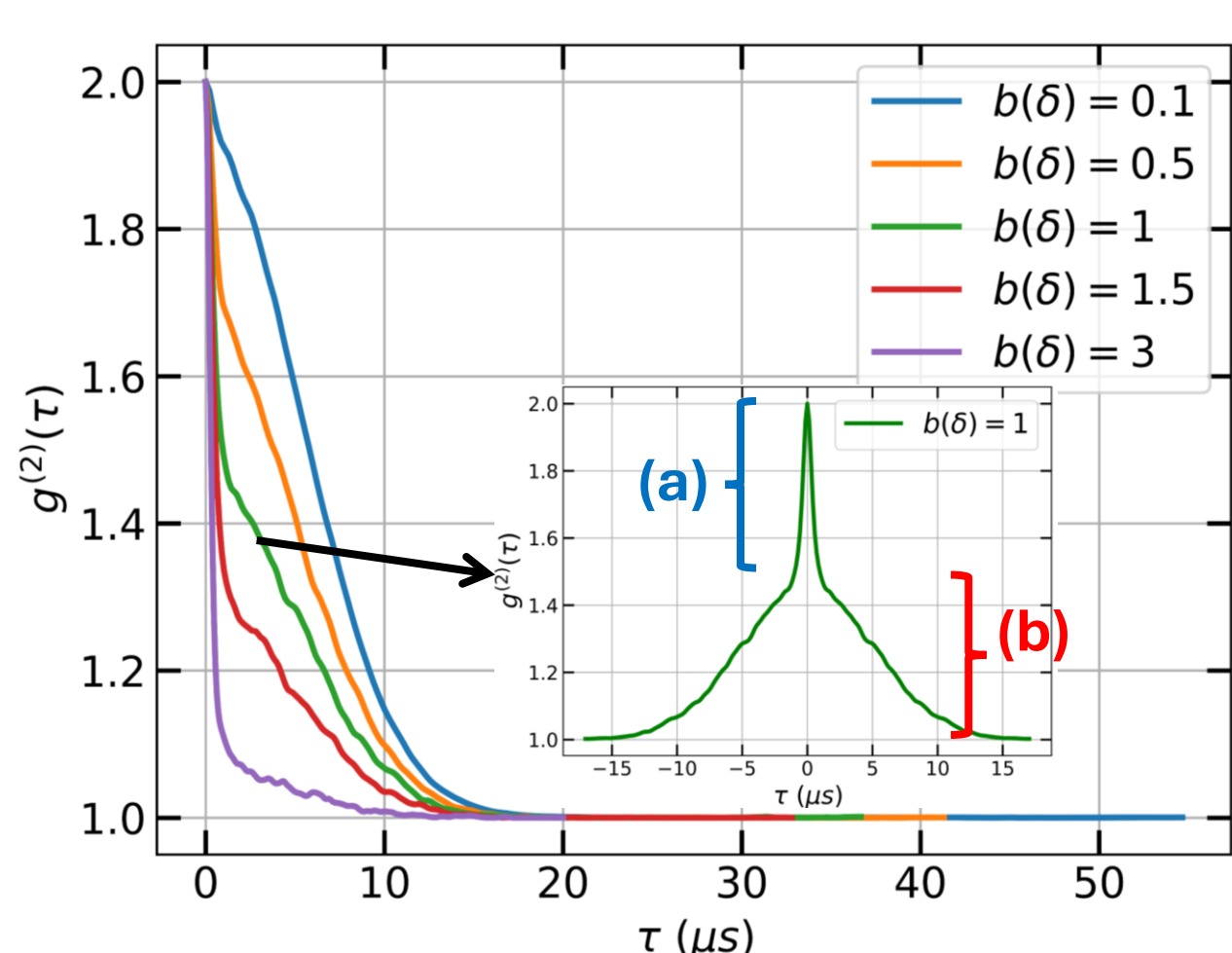
3.2. Vérification du code



3.3. Diminution du temps de cohérence lors du passage du régime de diffusion simple à diffusion multiple



5. Fonction de corrélation d'intensité vers l'avant du nuage d'atomes froids ($\theta=6^\circ$) : apparition d'une double structure



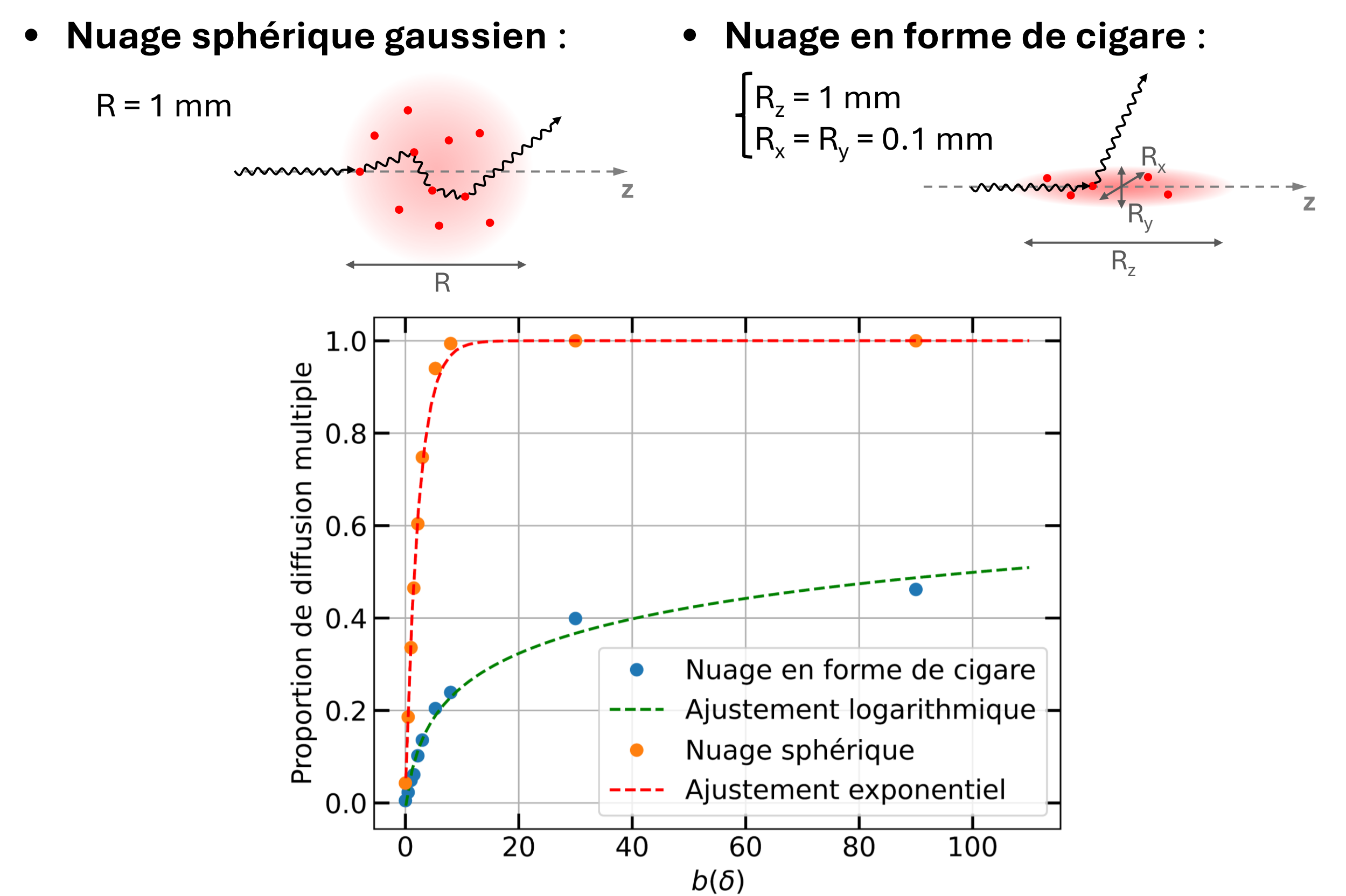
- Apparition de deux dynamiques sur des échelles de temps différentes :

- (a) **diffusion multiple** → élargissement du spectre diffusé → **temps de cohérence τ_m court**
- (b) **diffusion simple** → angle de diffusion faible ($\theta = 6^\circ$) donc $\delta\omega \ll 1$ → **temps de cohérence τ_s long**

• expression théorique^[3] : $g^{(2)}(\tau) = 1 + R_s^2 e^{-\tau^2/2\tau_s^2} + R_m^2 e^{-\tau^2/2\tau_m^2} + 2R_s R_m e^{-\tau^2/4\tau_s\tau_m}$

→ Un ajustement des courbes obtenues par cette équation permet d'extraire la **proportion de diffusion simple R_s et multiple R_m** .

6. Forme du nuage comme paramètre d'ajustement de la proportion de diffusion multiple



Résultats numériques de la proportion de diffusion multiple en fonction de l'épaisseur optique dans la direction z pour deux géométries de nuage différentes

Perspectives

- Mesurer expérimentalement la **fonction de corrélation d'intensité** pour un **nuage atomique en forme de cigare** et pour $\theta = 6^\circ$ et en extraire la **proportion de diffusion multiple**.
- Comparer la valeur obtenue avec celle d'un **nuage sphérique** pour une **même épaisseur optique**.
- Mesurer la fonction $g^{(2)}(\tau)$ pour de la lumière **transmise par un nuage en forme de cigare** et essayer d'observer l'**effet d'antibunching**.

Références

- [1] A. S. Prasad, J. Hinney, S. Mahmoodian, K. Hammerer, S. Rind, P. Schneeweiss, A. S. Sørensen, J. Volz and A. Rauschenbeutel. *Correlating photons using the collective nonlinear response of atoms weakly coupled to an optical mode*. Nature Photonics. (2020)
- [2] A. Eloy, Z. Yao, R. Bachelard, W. Guerin, M. Fouché and R. Kaiser. *Diffusing-wave spectroscopy of cold atoms in ballistic motion*. Physical Review A. **97**. (2018)
- [3] A. Dussaux, T. Passerat de Silans, W. Guerin, O. Alibard, S. Tanzilli, F. Vakili and R. Kaiser. *Temporal intensity correlation of light scattered by a hot atomic vapor*. Physical Review A. **93**. (2016)