

Étude des propriétés de cohérence de nanoparticules de $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$

A. Fossati¹, D. Serrano¹, A. Ferrier^{1,2}, S. Liu¹ et Ph. Goldner¹

¹PSL Research University, Chimie ParisTech-CNRS, Institut de Recherche de Chimie Paris, 75005 Paris, France

²Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 06, 75005, Paris, France

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet européen NanoQTech dont l'objectif est de construire des systèmes quantiques hybrides à l'échelle nanométrique fortement couplés à la lumière. Pour y parvenir, nous étudions des nanostructures à l'état solide exploitant les transitions optiques très étroites des terres rares.

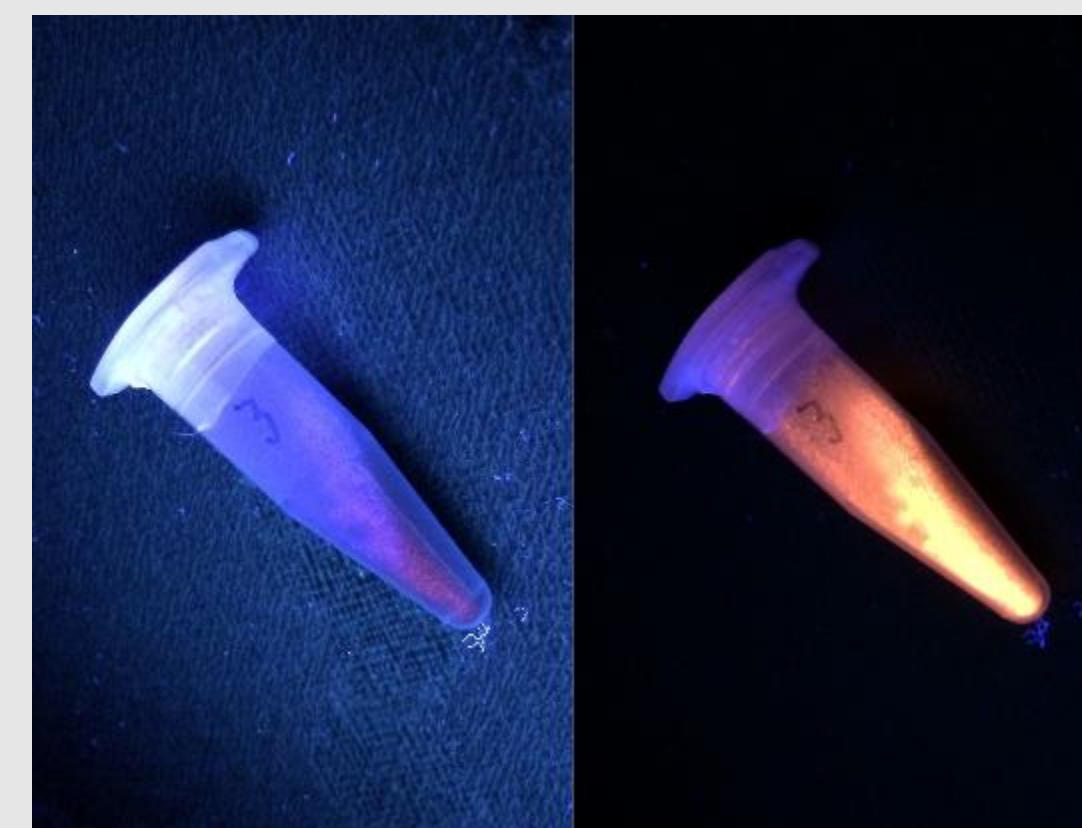
Une partie de cette étude porte sur le développement de nanoparticules d'oxyde d'yttrium dopés à l'euporium pour obtenir des temps de cohérence optique et de spin suffisamment long pour être couplés efficacement à d'autres systèmes quantiques. En travaillant sur la synthèse du matériau, ses traitements et à l'aide de techniques de spectroscopie cohérente, nous étudions les phénomènes physico-chimique responsable de la perte de cohérence quantique de l'euporium dans le matériau.



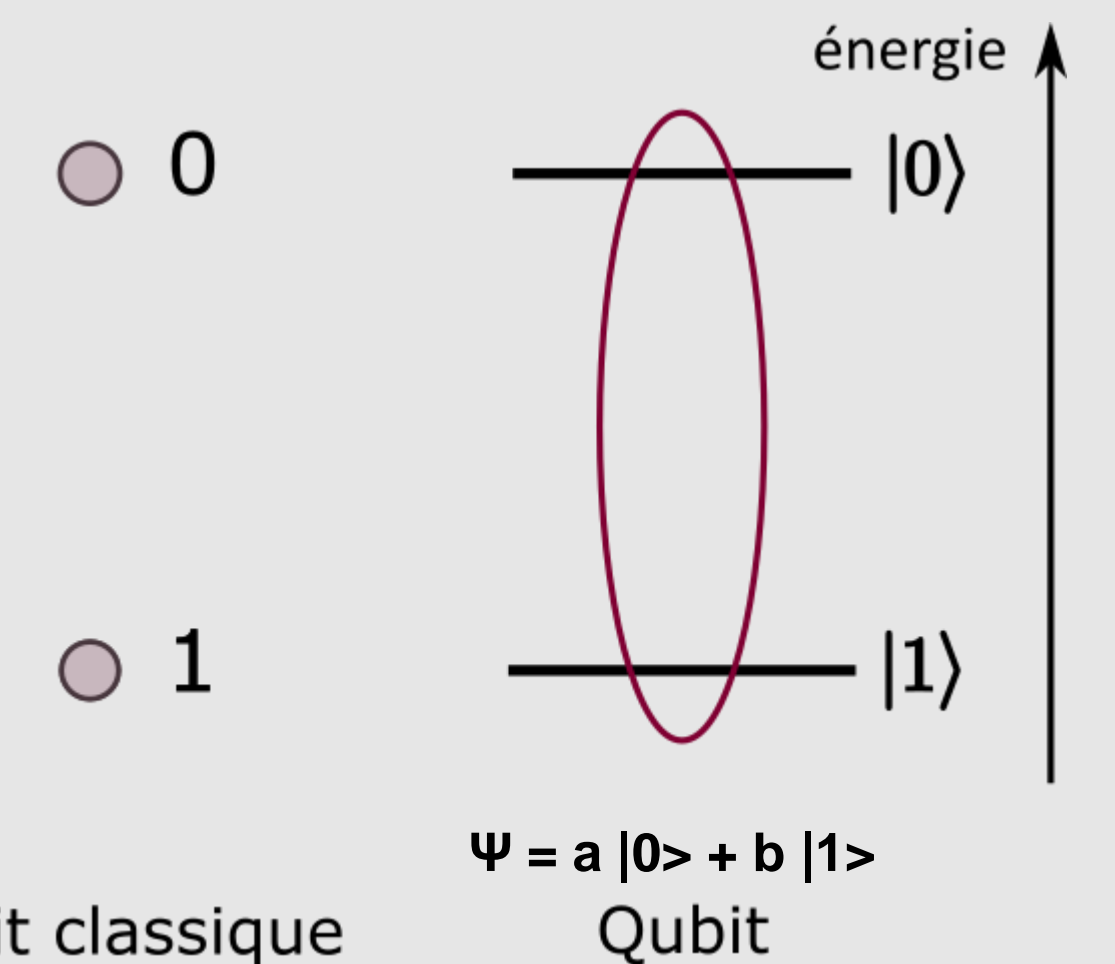
Introduction

L'euporium dans les cristaux

- Terre rare : centre optique photostable, transitions f-f protégées par les couches extérieures 5s, 5p
- Bonnes propriétés de luminescence, nombreuses applications des phosphores à base d'euporium
- Émission rouge $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ transition hypersensible, très intense
- Faible largeur de raie homogène à basse température = temps de cohérence élevé



$\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ sous différentes excitations UV



Bit classique

Qubit

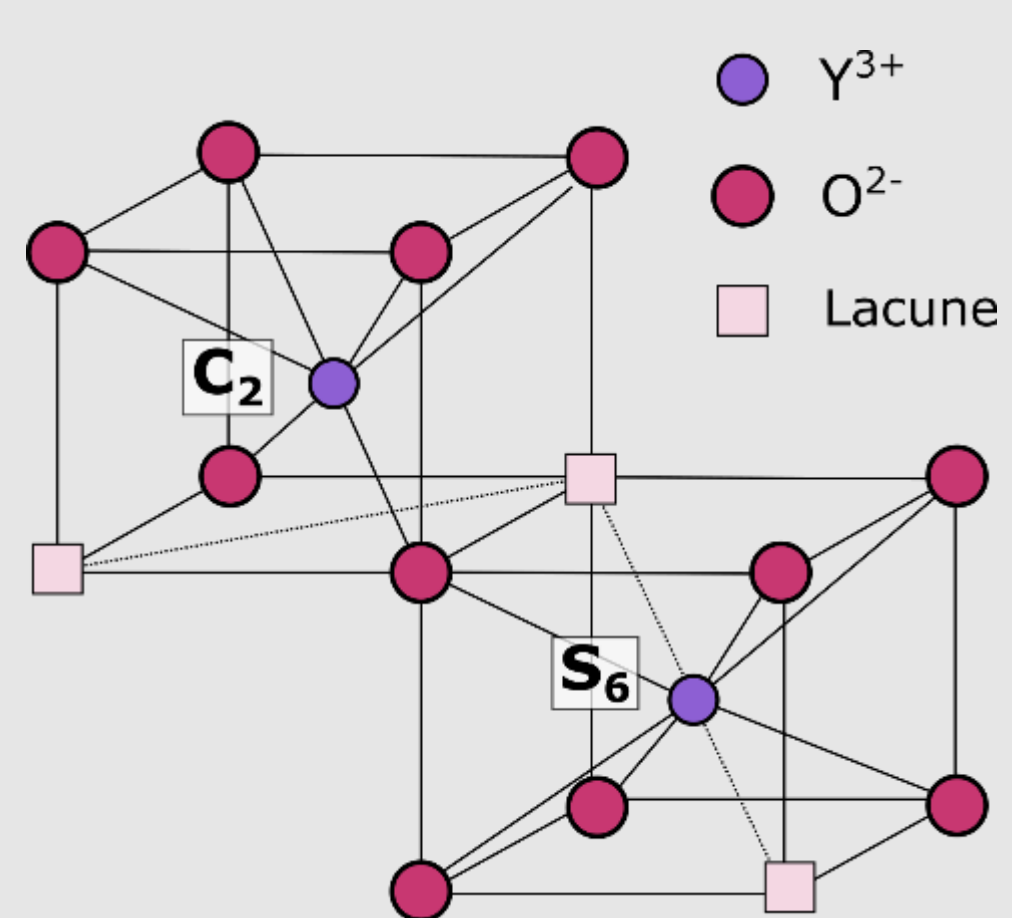
Travailler à l'échelle nanométrique :

- Propriétés de cohérence des états quantiques de l'euporium moins bonne expérimentalement que dans le massif...
- ... mais grande flexibilité dans le couplage avec d'autres systèmes quantiques ou non : résonateurs, cavités nanométriques, détection d'ion unique...
- Application pour le traitement quantique de l'information

Traitement quantique de l'information

- Utilisation d'un état de superposition
- Avantage du calcul en parallèle
- Intéressant pour la cryptographie et la simulation informatique
- Existence d'algorithmes quantiques

De la chimie à la physique : une étude complète

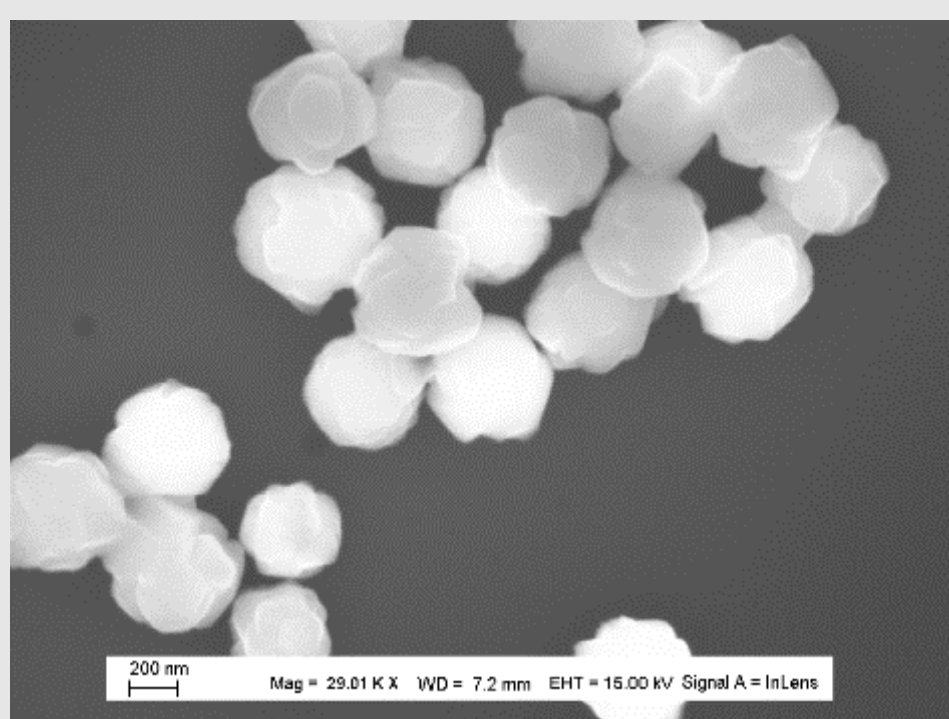
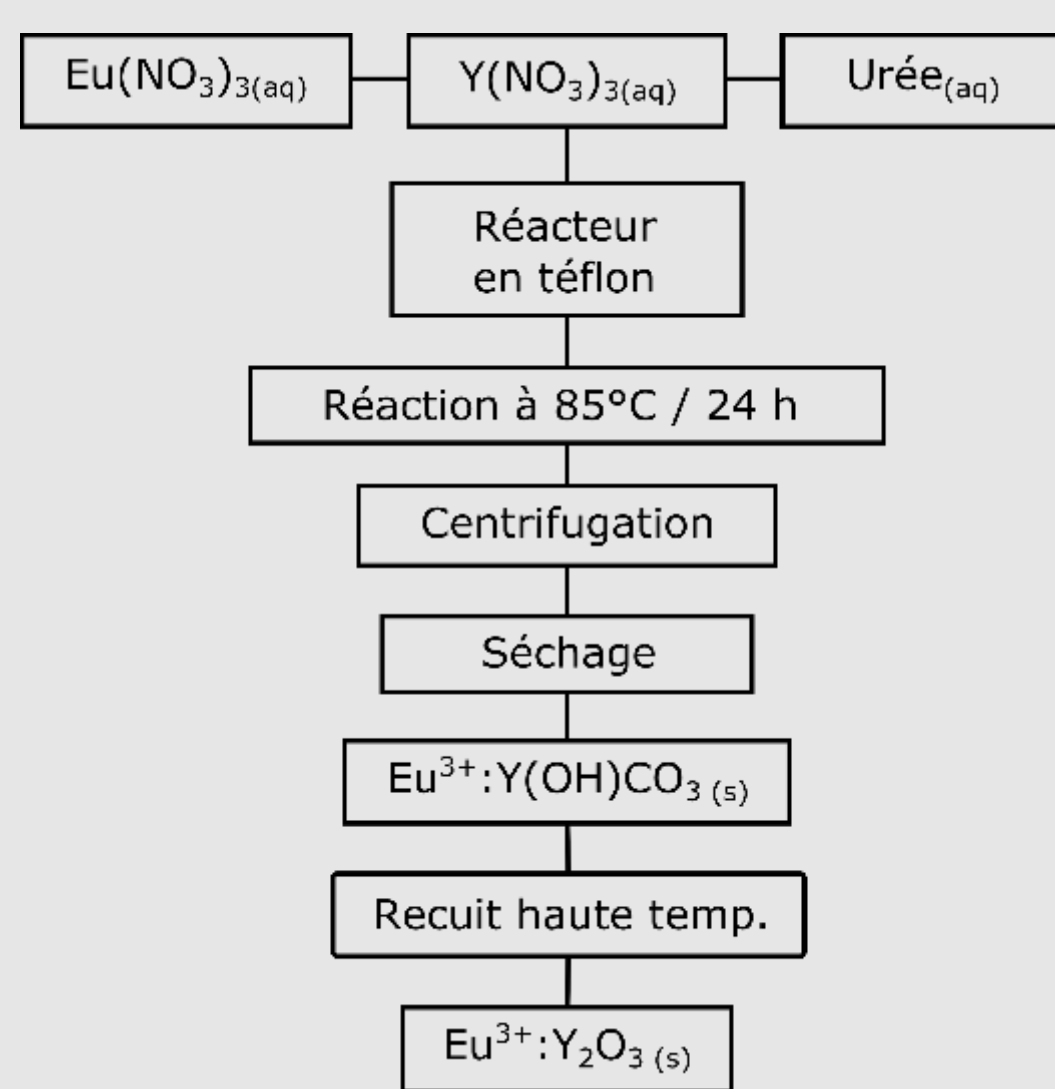


$\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$

- Maille cubique = isotropie
- Deux sites de symétrie C_2 et S_6 d'insertion pour l'euporium
- Faible moment magnétique de l'yttrium qui diminue les perturbations magnétiques
- Procédés de synthèse à l'échelle nanométrique nombreux et variés

Synthèse par précipitation homogène

- Contrôle efficace en taille et en distribution
- Accès à une échelle de taille de 80 nm à 500 nm de diamètre
- Recuit haute température de 600 °C à 1200 °C pour former l'oxyde cristallin



Images MEB des nanoparticules

Traitements post-synthèse

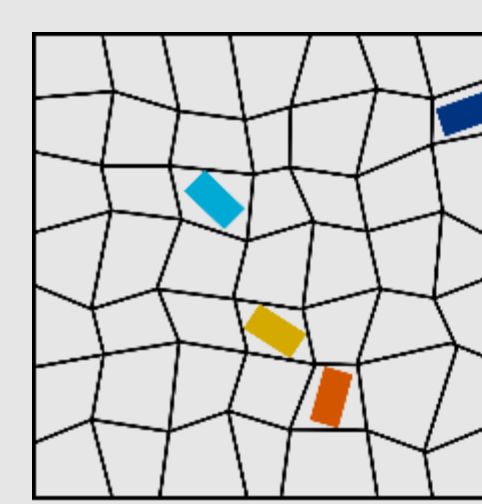
- Encapsulation dans une matrice plastique de PMMA : meilleur contrôle de la surface des nanoparticules ?
- Recuits sous différentes atmosphères : air, oxygène, argon



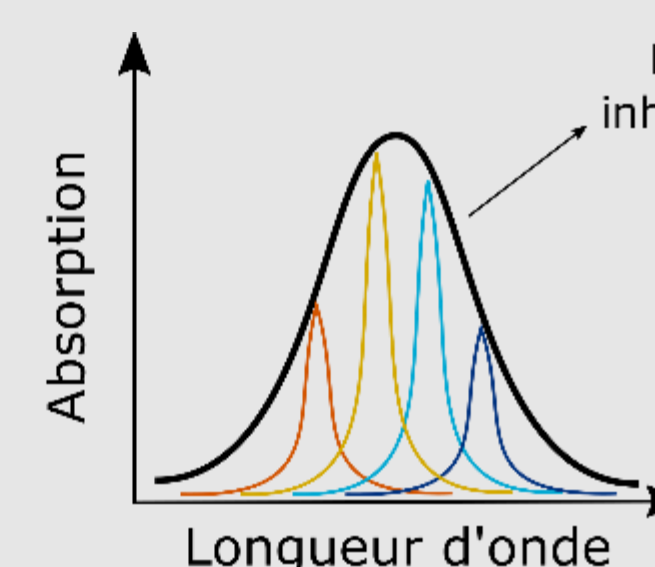
Nanoparticules encapsulées – diffusion d'un faisceau laser

Largeur inhomogène Γ

Théorie

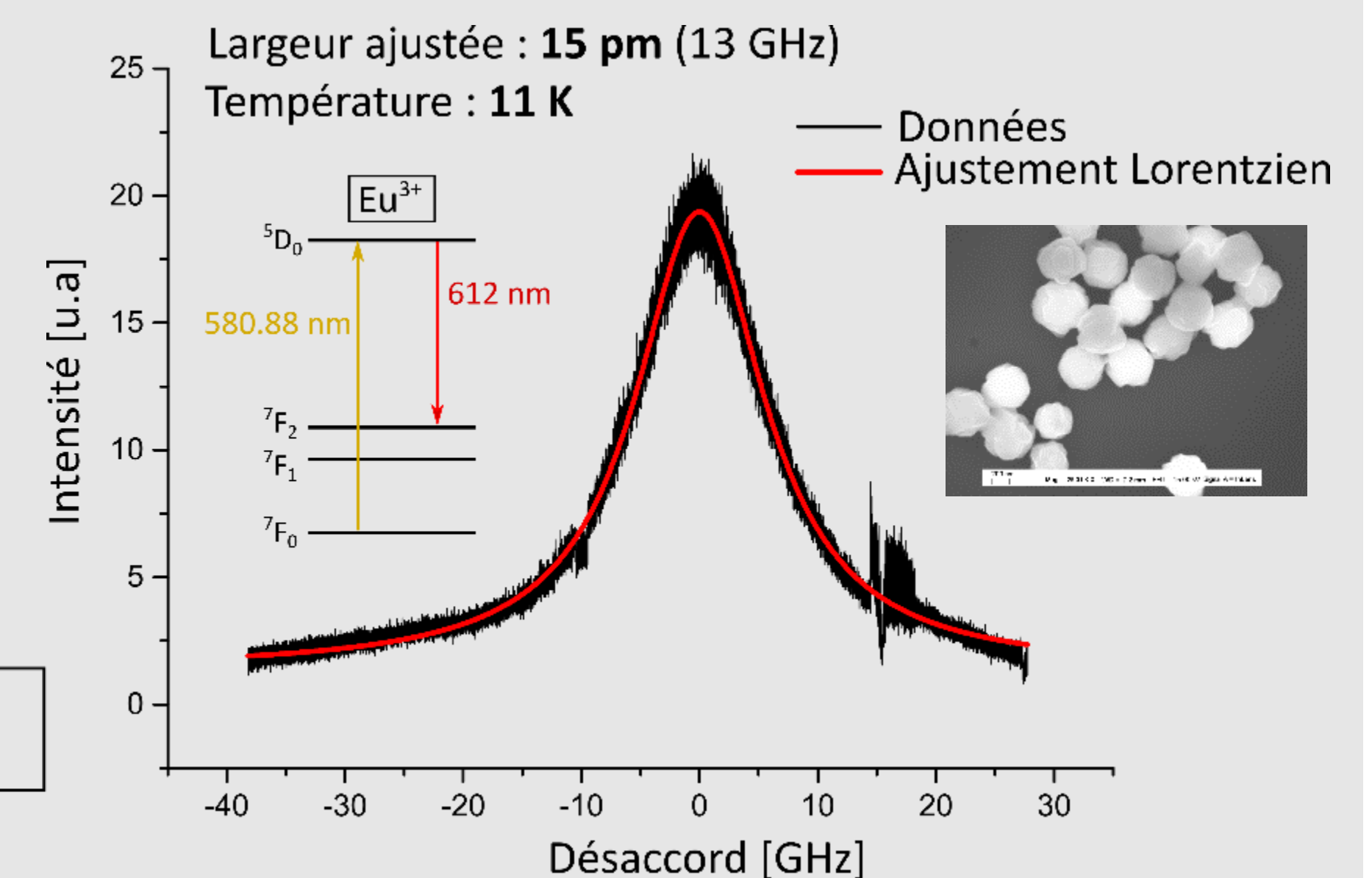
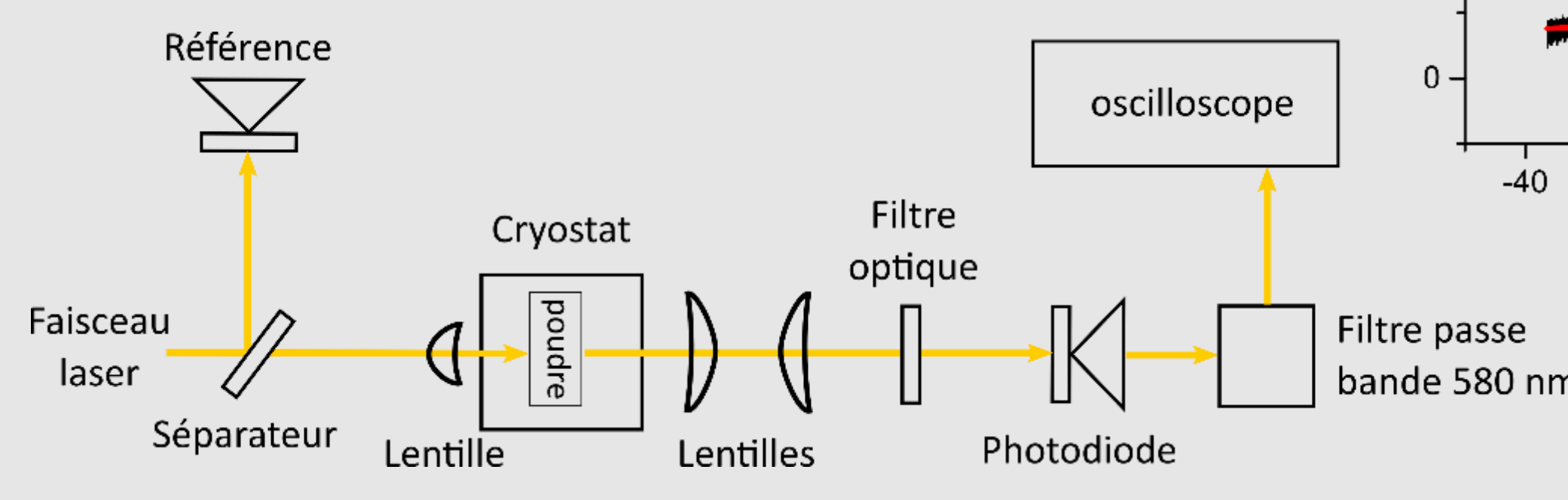


Cristal



Largeur inhomogène

Mesure

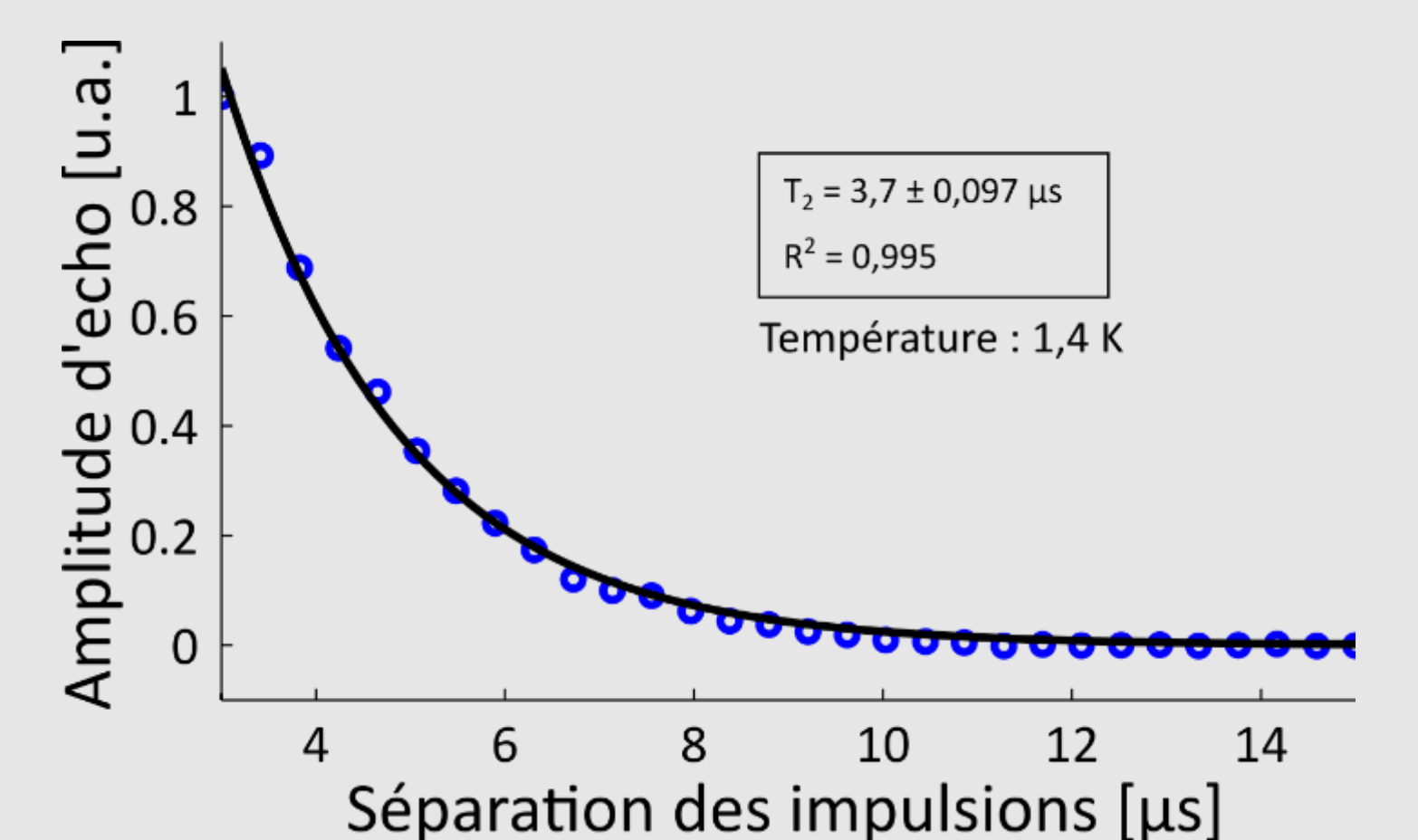
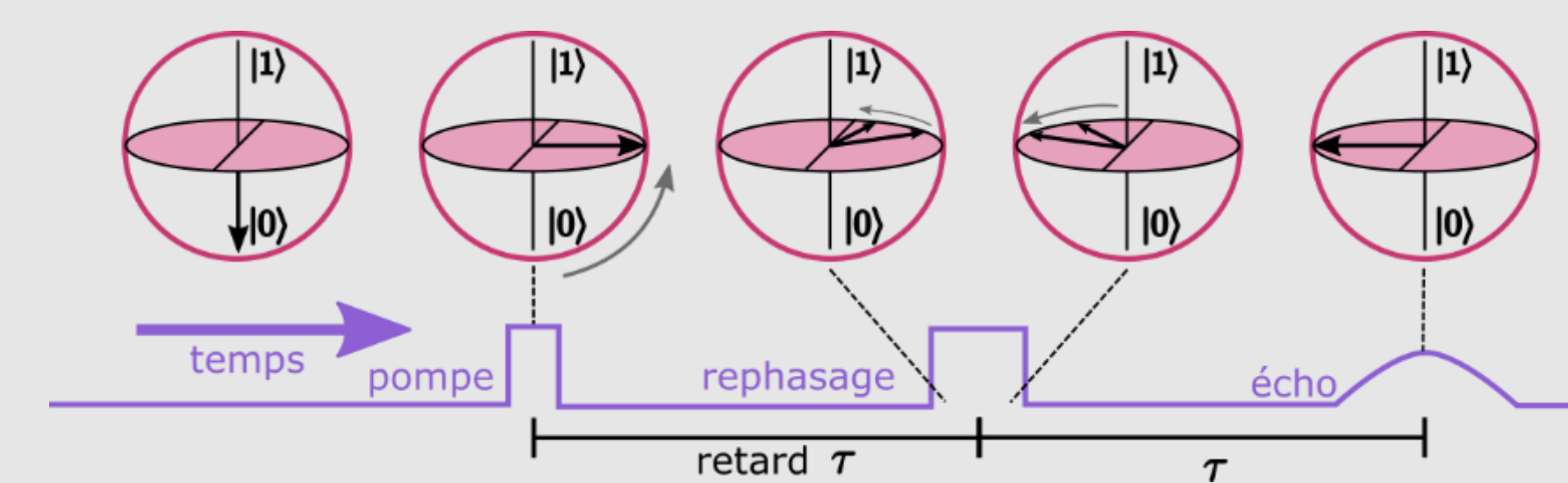


$$I \propto \frac{\Gamma}{4(x - x_c)^2 + \Gamma^2}$$

Ajustement Lorentzien = défauts ponctuels

- Largeur inhomogène étroite due à l'environnement des ions euporium
- Reflète la présence de défauts structuraux, impuretés magnétiques et perturbations qui élargissent la raie

Temps de cohérence T_2



- Technique similaire à l'écho de Hahn
- Sonde de la cohérence des états quantiques de l'euporium : combien de temps l'information est-elle préservée ?
- T_2 jusqu'à 7 μs pour $\text{Eu}:\text{Y}_2\text{O}_3$

Exemple de déclin donnant accès au temps de cohérence

Perspectives

- Augmenter le temps de cohérence T_2
- Comprendre les différents phénomènes intervenants dans la valeur du T_2 à l'échelle nanométrique
- Quantifier les effets de surface du matériau à l'échelle nanométrique : quel impact sur les propriétés de cohérence des états quantiques ?
- Existence de techniques expérimentales permettant d'allonger le temps de cohérence T_2 (champ magnétique, découplage dynamique...)

Sélection d'articles

- R. S. Meltzer *et al.*, « Evidence for long-range interactions between rare-earth impurity ions in nanocrystals embedded in amorphous matrices with the two-level systems of the matrix », *Phys. Rev. B*, **64** (2001), 100201
- A. Perrot *et al.*, « Narrow Optical Homogeneous Linewidths in Rare Earth Doped Nanocrystals », *Phys. Rev. Lett.*, **111** (2013), 203601
- K. de Oliveira Lima *et al.*, « Influence of defects on sub-Å optical linewidths in $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ particles », *Journal of Luminescence*, **168** (2015), 276 – 282
- J. G. Bartholomew *et al.*, « Optical Line Width Broadening Mechanisms at the 10 kHz Level in $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ Nanoparticles », *Nano Lett.*, **17** (2017), 778 – 787

Financement



Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation de l'union européenne Horizon 2020, sous l'accord de fonds No. 712721.

