

CARRON Marie-Hélène, CAVADORE Eline
MINNAERT Etienne, NURWUBUSA Maxime

PIMS 2021-2022

OPTIQUE QUANTIQUE: CENTRES NV DU DIAMANT

OBJECTIF: RÉALISER ET VÉRIFIER EXPÉRIMENTALEMENT UN MONTAGE DE SOURCE DE PHOTONS UNIQUES POUR EN FAIRE UN TP DE 3^{ÈME} ANNÉE

Sources de photons uniques

3 types de sources:

- molécules de synthèse
- semiconducteurs
- centres colorés

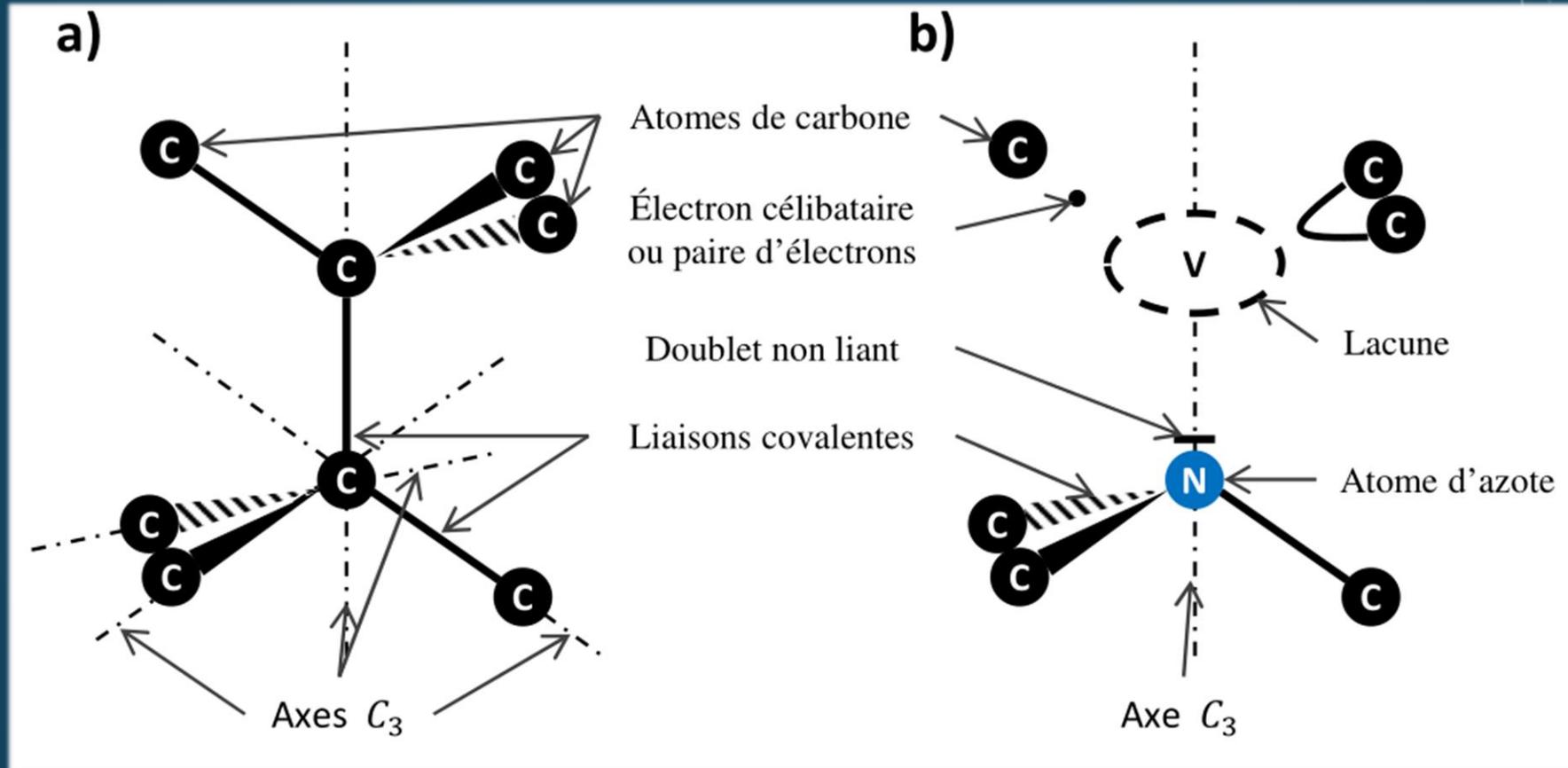
Utiles pour:

- la recherche fondamentale
- la cryptographie quantique
- le calcul quantique

Centres NV: caractéristiques et spécificités

a) Structure cristalline du diamant

b) Centre NV



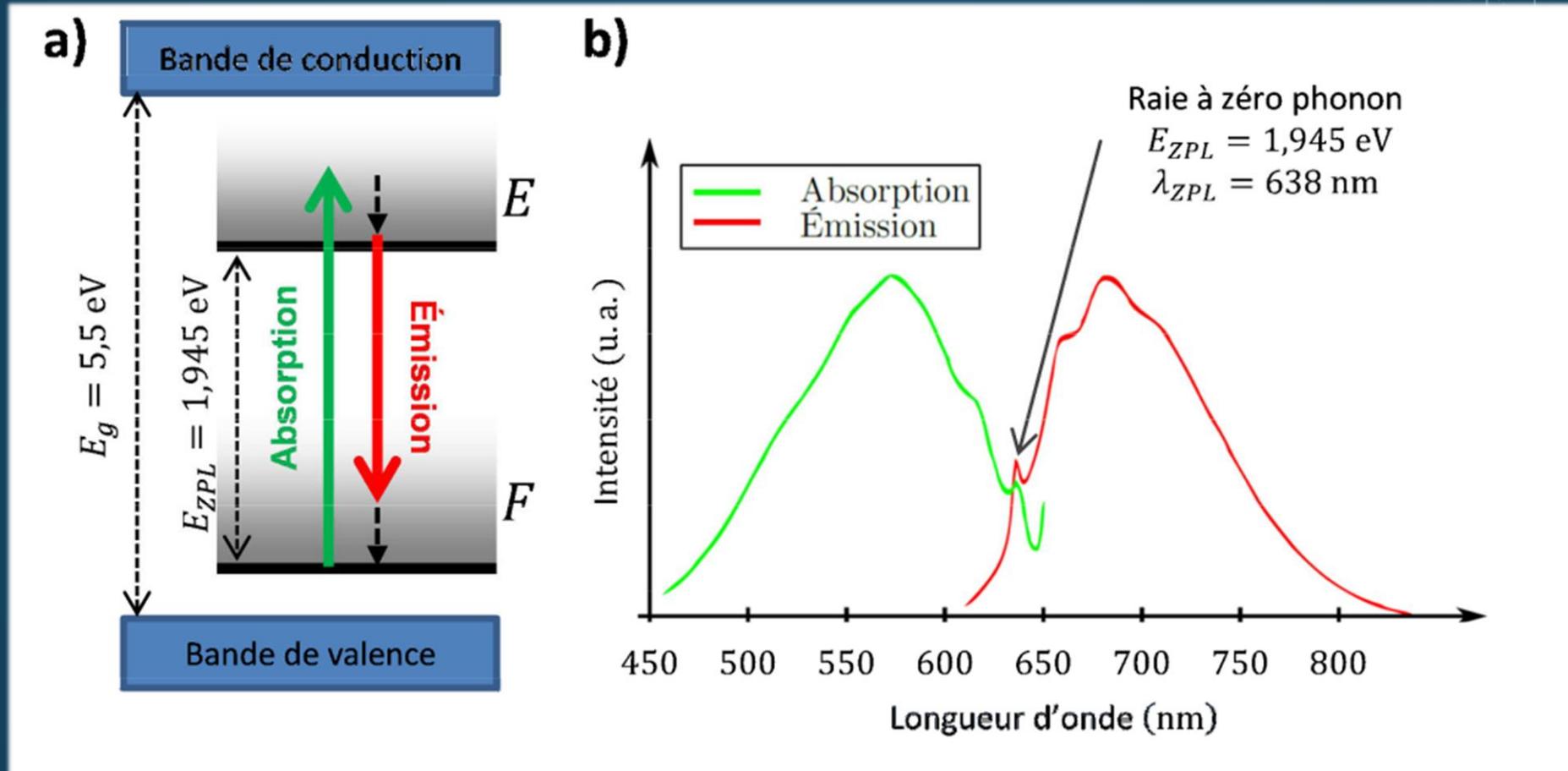
Définition du centre NV du diamant

(Source: thèse de M. Chipaux : *Ensembles de centres azote-lacune du diamant pour la cartographie de champs magnétiques à l'échelle microscopique et l'analyse de spectres de signaux dans le domaine hyperfréquence*)

Centres NV: caractéristiques et spécificités

a) Diagramme électronique simplifié

b) Spectre d'absorption et d'émission



Photoluminescence du centre NV

(Source: thèse de M.Chipaux : *Ensembles de centres azote-lacune du diamant pour la cartographie de champs magnétiques à l'échelle microscopique et l'analyse de spectres de signaux dans le domaine hyperfréquence*)

Présentation du montage

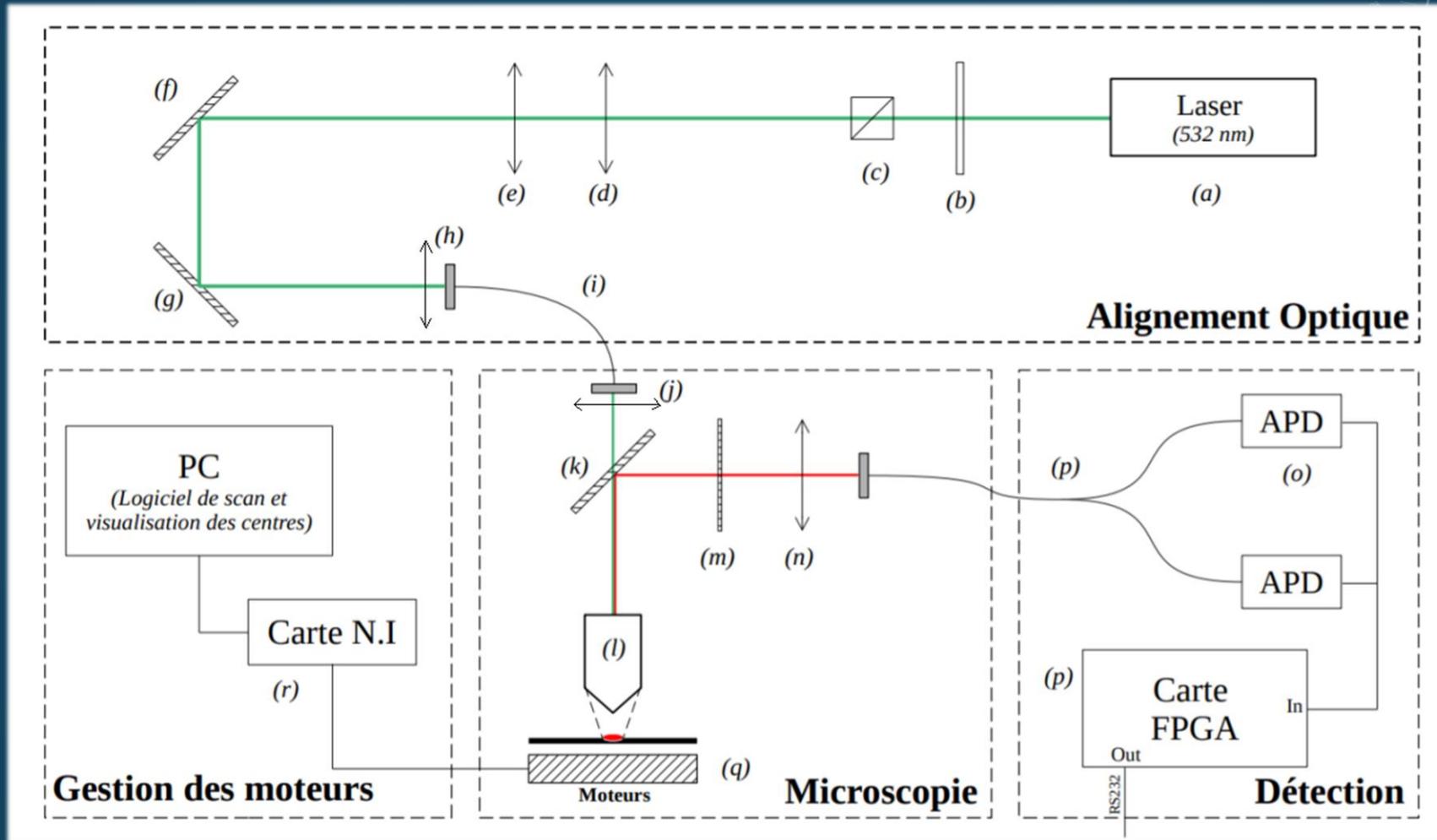


Schéma du montage complet

Sauf contre indication, toutes les figures du schéma viennent du rapport final du PIMS de l'année précédente

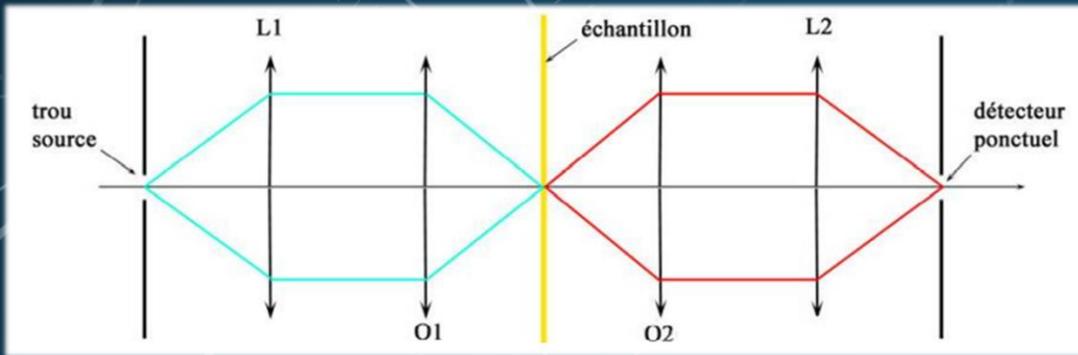


Schéma de principe de la microscopie confocale

(Source: thèse de Cédric Mancini, *Mise en place d'un microscope confocal achromatique*)

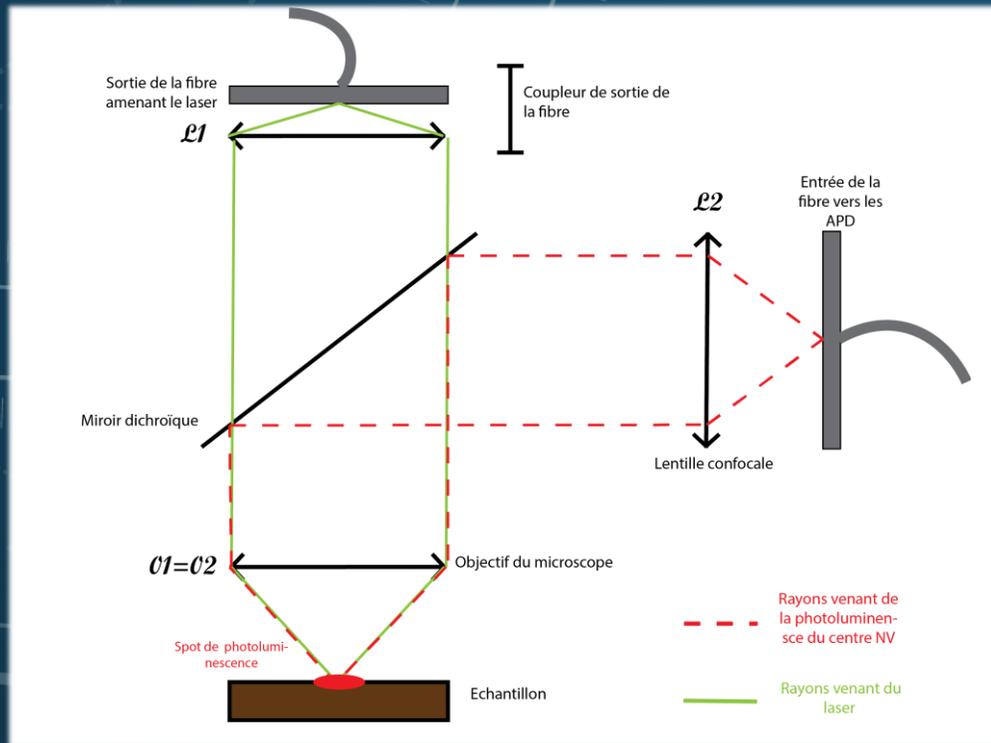


Schéma de principe de la microscopie confocale pour notre montage

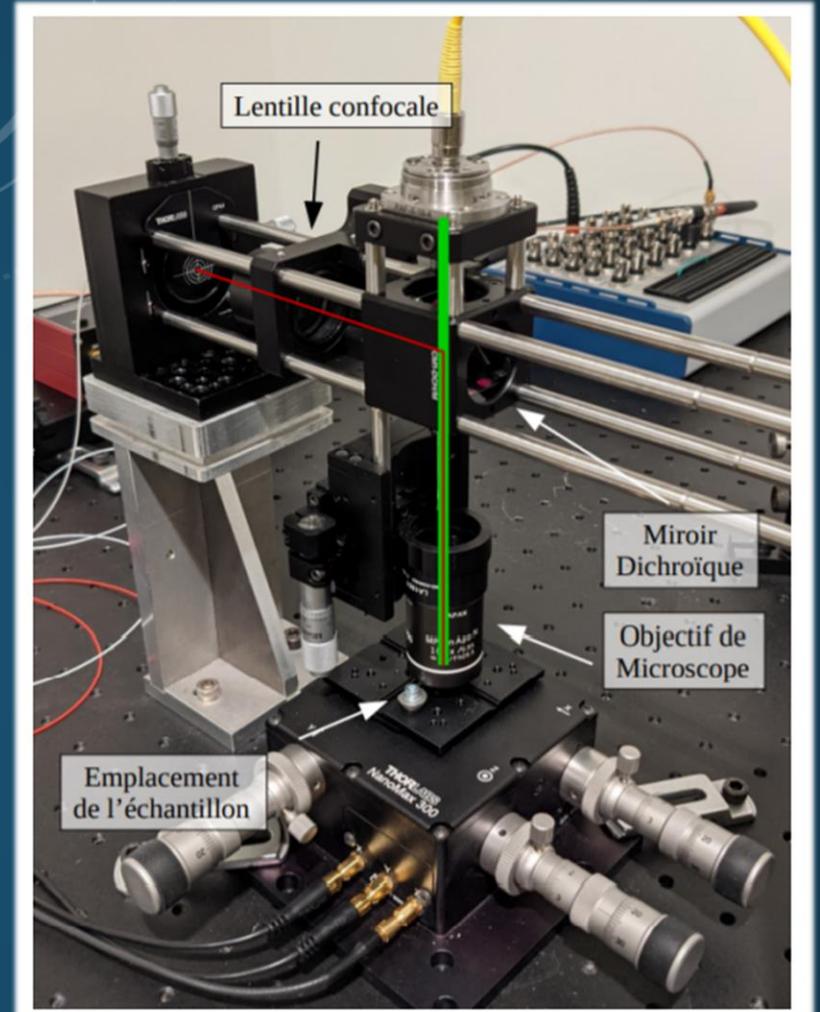
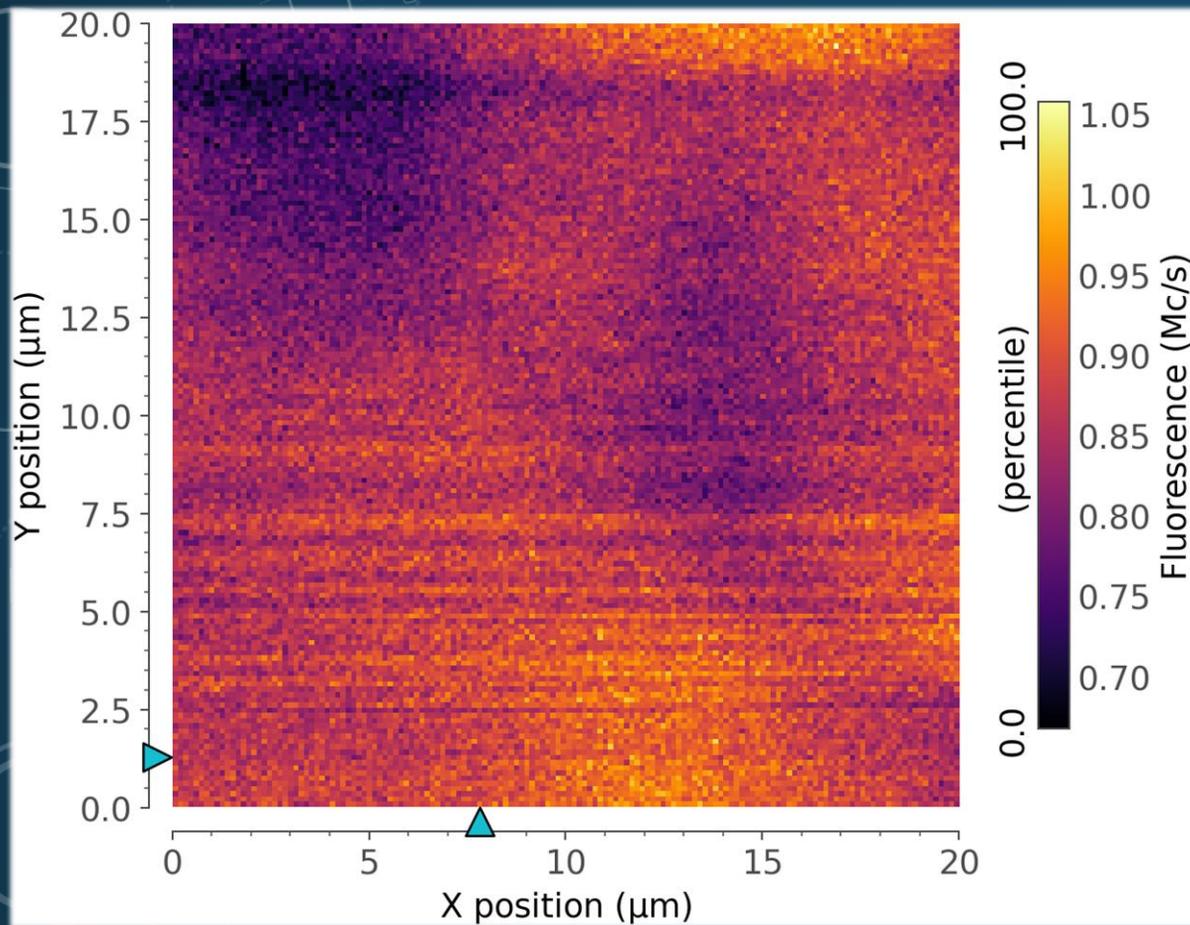
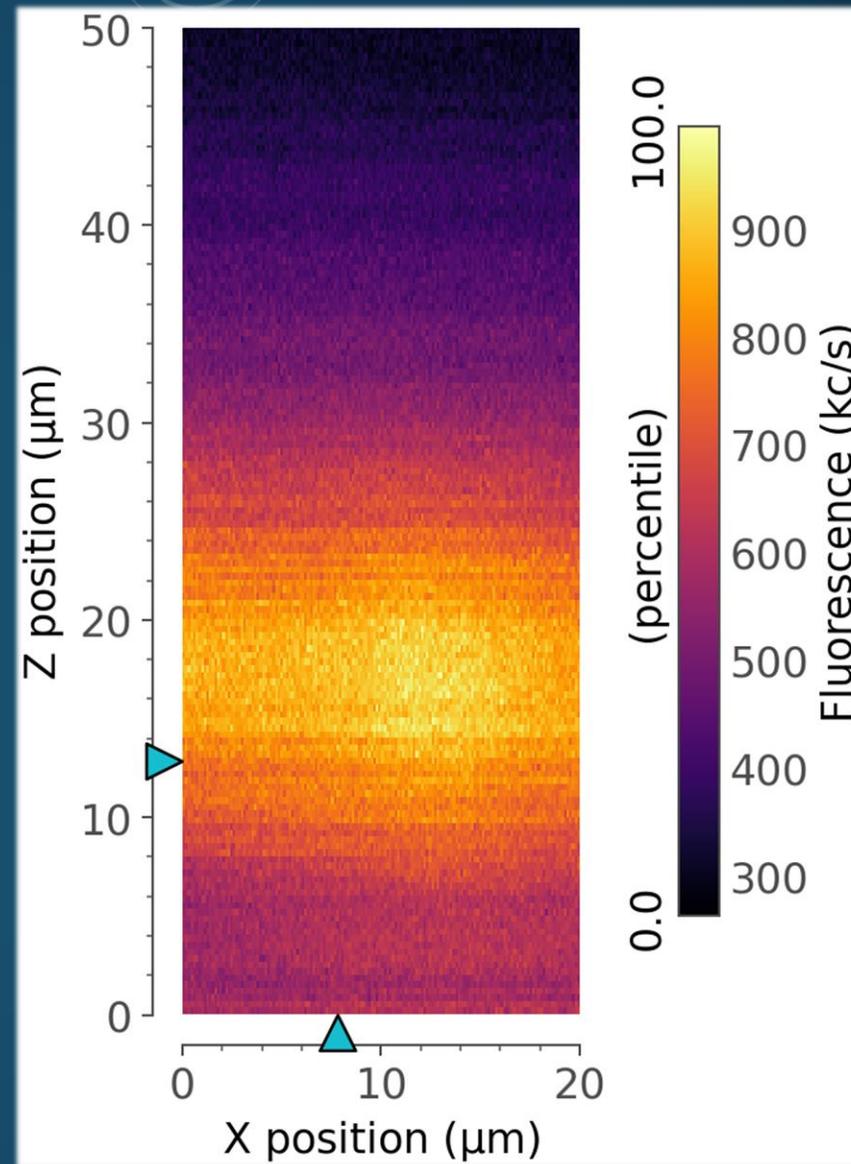


Photo du montage de microscopie
(tous les éléments n'ont pas été fléchés)



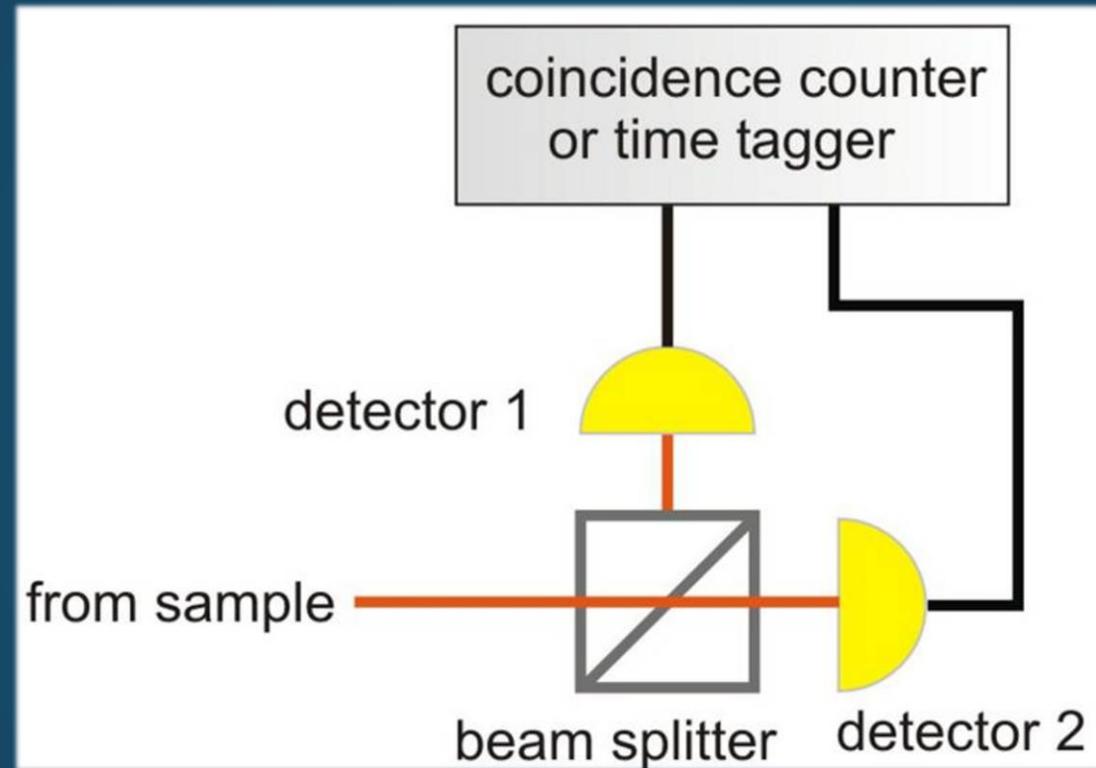
Scan de la surface XY d'un échantillon de diamant très concentré en centres NV



Scan de la profondeur XZ d'un échantillon de diamant très concentré en centres NV

Analyse de la détection

Qu'est-ce qu'un photon unique?



Principe de l'interféromètre de Hanbury Brown et Twiss

(Source: Jalabert, Amoura, Robin: *Caractérisation des centres colorés NV du diamant comme sources de photons uniques par corrélations d'intensité et interféromètre de Hanbury-Brown et Twiss*)

Analyse de la détection

Comment prouver expérimentalement que la source est unique?

Coefficient de corrélation en intensité

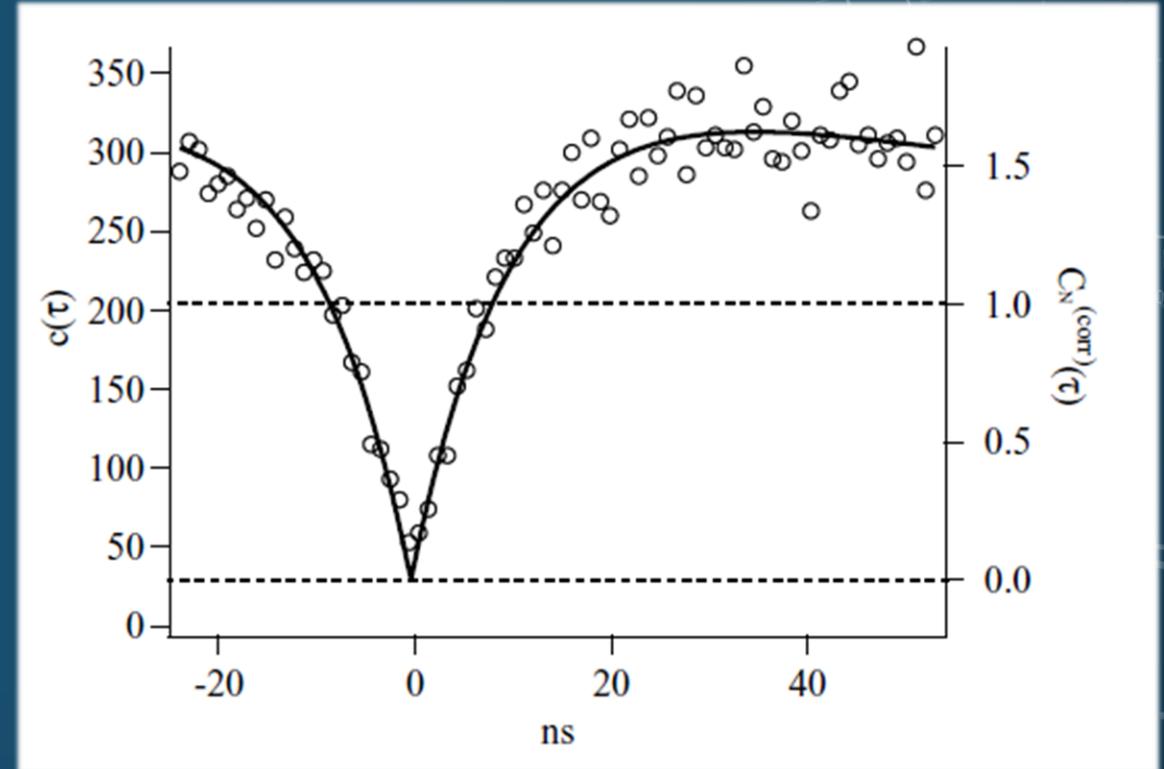
$$g_2(\tau) = \frac{\langle \hat{N}_1(t) \hat{N}_2(t+\tau) \rangle}{(\langle \hat{N}_1(t) \rangle \langle \hat{N}_2(t+\tau) \rangle)}$$

où $\hat{N}_i(t)$ nombre de photons détecté à t sur le détecteur i

Théoriquement,

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} g_2(\tau) = 0$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} g_2(\tau) = 1$$



Histogramme des délais donnant la courbe de $g_2(\tau)$ en ordonnée (à gauche)

(Source: thèse d'Alexios Beveratos: *Réalisation expérimentale d'une source de photons uniques par fluorescence de centres colorés individuels dans le diamant ; application à la cryptographie quantique*)

Objectifs pédagogiques du TP

- ✓ Aligner le laser et le microscope confocal
- ✓ Repérer/Exciter un unique centre NV
- ✓ Tracer la courbe du coefficient de corrélation
- ✓ Exploiter la mesure du coefficient de corrélation
- ✓ Caractériser spectralement un centre NV

Aligner le laser et le microscope confocal

Faire varier les caractéristiques de la pompe et étudier leur impact sur le montage pour choisir la meilleure configuration

- **Recherches bibliographiques:**
 - saturation des centres NV
 - courbes théoriques du RSB
- **Expérimentation:**
 - étudier l'influence de la puissance de pompe sur le centre NV
 - optimiser le RSB

Repérer/Exciter un unique centre NV

S'assurer que les photons collectés proviennent d'un unique centre NV

- **Recherches bibliographiques et théoriques:**

- dimensionnement théorique des éléments optiques
- choix d'un objectif grand champ
- distance typique entre deux centres NV pour différents types de cristaux
- dimensionnement théorique de la taille du spot

- **Expérimentation:**

- mise en place d'un objectif grand champ
- vérification du dimensionnement
- optimisation de la taille du spot
- optimisation de l'asservissement en position

Tracer la courbe du coefficient de corrélation

Mettre en place un système de détection (détecteurs, traitement de données, algorithme) pour l'histogramme donnant $g_2(\tau)$

- **Recherches bibliographiques et théoriques:**

- étudier les caractéristiques des photodiodes à avalanches
- trouver l'électronique adaptée pour récupérer les données (temps de réponse, conditions d'utilisation)
- chercher un algorithme déjà existant et adapté

- **Algorithme de traitement de données:**

- histogramme des délais
- environnement de travail: logiciel, langage de programmation

Exploiter les mesures du coefficient de corrélation

Faire varier certains paramètres du montage et observer un changement sur l'allure de $g_2(\tau)$

- **Recherches bibliographiques et théoriques:**
 - durée de l'état excité pour différentes structures de cristaux
 - effet de la polarisation sur la fluorescence
- **Expérimentation:** modifier l'allure de $g_2(\tau)$ en faisant varier:
 - le type de cristal
 - le centre NV d'un même échantillon
 - l'intensité de pompe
 - la polarisation de la source

Caractériser spectralement un centre NV

Obtenir le spectre de la source de photons et comparer le spectre de plusieurs sources

- **Recherches bibliographiques:**
 - comparaison des spectres de différents types de cristaux
- **Expérimentation:**
 - intégration du spectromètre au montage

Planning/ répartition des tâches

Tâches	Semaine 2				Semaine 3			
	EC	EM	MHC	MN	EC	EM	MHC	MN
Etudier l'effet des caractéristiques de la pompe			MHC		EC		MHC	
Etudier, dimensionner et intégrer l'objectif grand champ	EC		MHC					
Dimensionner le spot de façon optimale	EC							
Vérifier et optimiser l'asservissement en position				MN				
Trouver l'électronique adaptée pour la mesure		EM	MHC					
Rechercher et/ou écrire d'un algorithme de traitement de données		EM		MN		EM		MN
Travailler sur l'effet d'une variation des paramètres sur l'allure de g_2					EC		MHC	

EC: Eline CAVADORE

EM: Etienne MINNAERT

MHC: Marie-Hélène CARRON

MN: Maxime Nurwubusa

Planning/ répartition des tâches

➤ Avant la Semaine 2:

- recherches bibliographiques pour préparer l'expérimentation
- mise en commun du travail et synthèse le jeudi matin une semaine sur deux

➤ Entre la Semaine 2 et la Semaine 3:

- selon l'avancée du projet, possibilité de travailler sur le montage le jeudi matin
- fréquence selon disponibilité du LEnsE et de l'évolution du projet

Conclusion de la semaine

Après avoir découvert le sujet et le montage:

- Travail bibliographique pour s'approprier le sujet
- Discussions avec nos encadrants et prédécesseurs
- Test du montage déjà existant avec un échantillon

Pour répondre à la problématique posée:

- Définition d'objectifs pédagogiques
- Plan d'action pour la mise en œuvre pratique