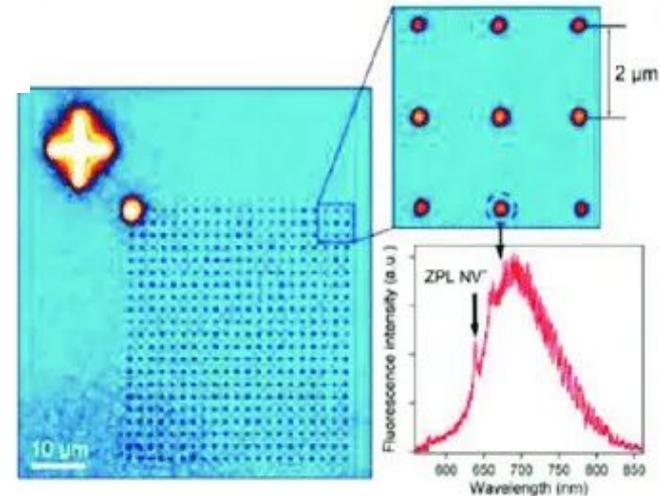
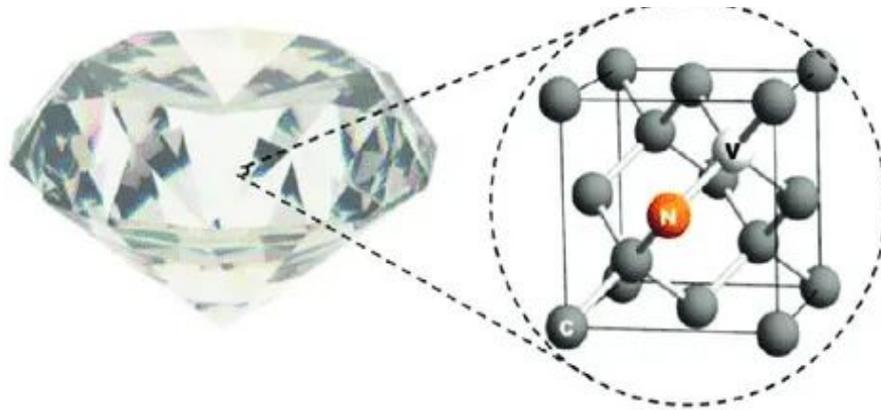


# Source de photons uniques à l'état solide

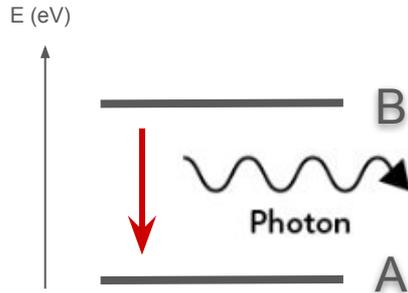
## Microscopie confocale des centres NV du diamant



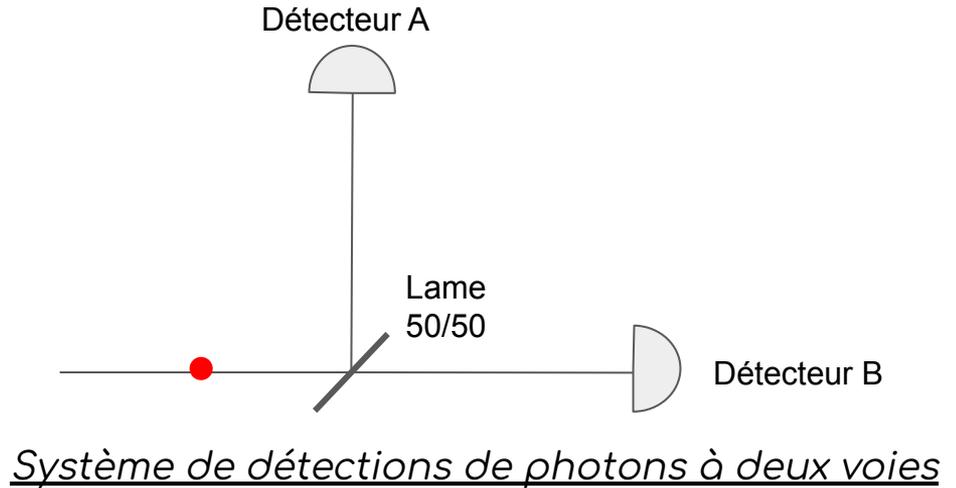
Étudiants : Clara B., Étienne C.-L., Darius F., Arthur G., Nathan L.

Encadrants : Thierry AVIGNON; Lionel JACUBOWIEZ;  
Benjamin VEST; Julien VILLEMEJANE.

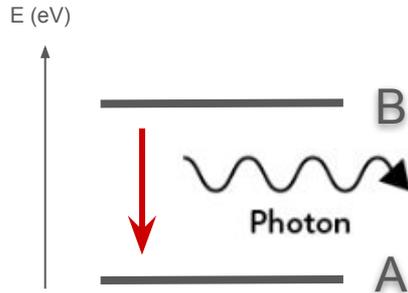
# Qu'est-ce qu'une source de photons uniques ?



Émission d'un photon unique = Transition optique entre deux niveaux d'énergie

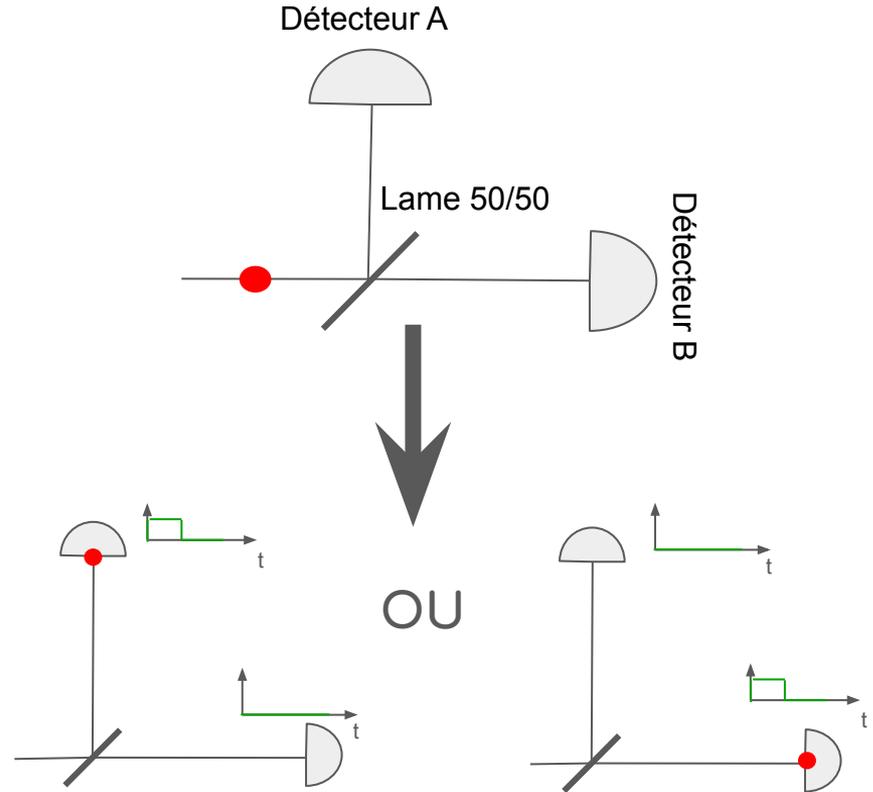


# Qu'est-ce qu'une source de photons uniques ?



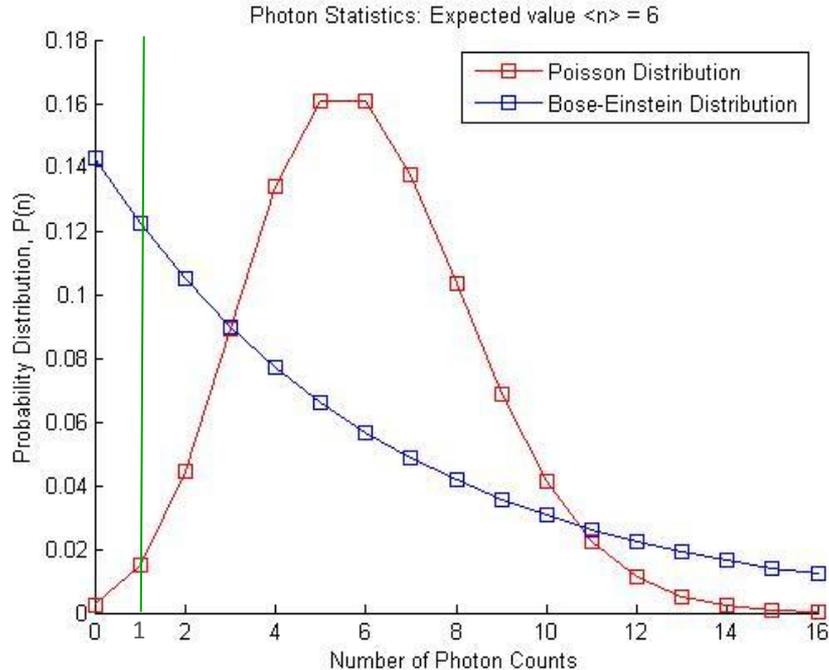
Émission d'un photon unique =  
Transition optique entre deux niveaux

- Pas de détection simultanée de photons
- En cryptographie quantique, chaque photon encode un qubit



Comment mettre en évidence expérimentalement les caractéristiques d'une source de photons uniques ?

# Quels sont les statistiques des sources de photons ?

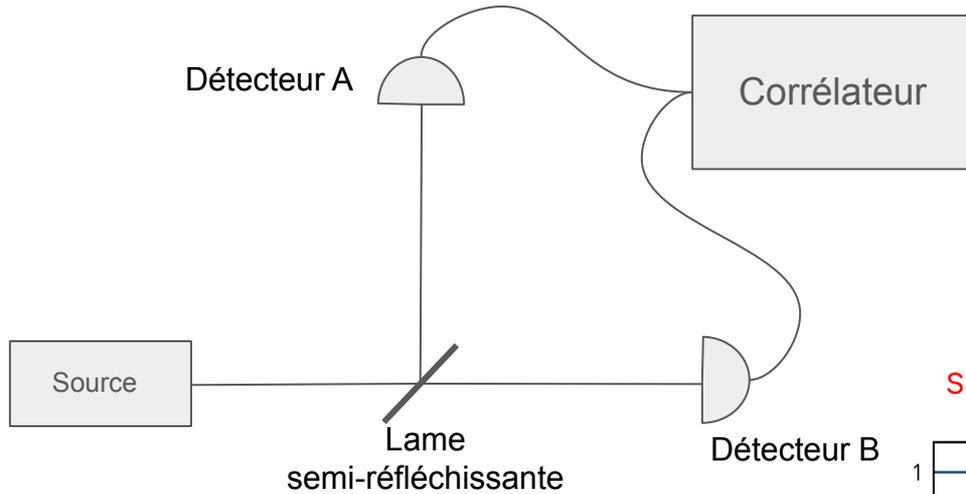


## Existence d'états à n photons

- **photon unique** : état  $|1\rangle$  du champ électromagnétique
- **laser** et **source thermique** : combinaisons linéaires bien précises d'états  $|n\rangle$

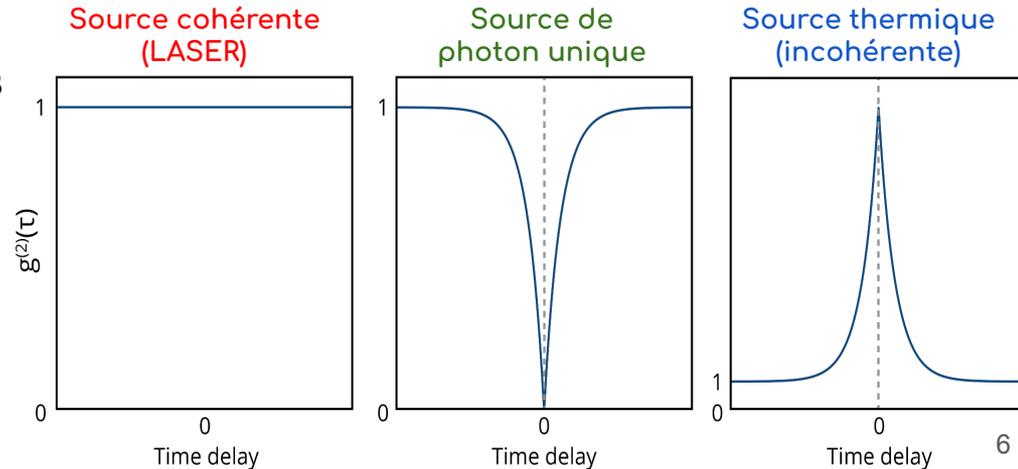
Statistique de photons pour une **source cohérente classique** (en rouge), **thermique** (en bleu), **de photon unique** (en vert)

# Mesurer la fonction $g^{(2)}$ : interféromètre HBT

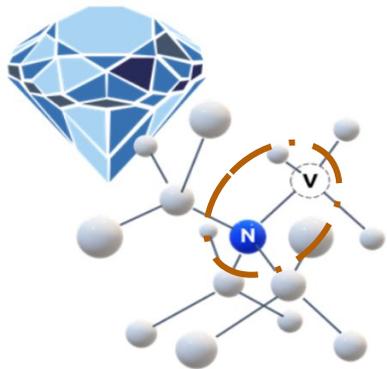


*Schéma de la mesure de corrélation*

$$g^{(2)} = \frac{\langle E^*_{1}(0)E^*_{2}(\tau)E_{1}(0)E_{2}(\tau) \rangle}{\langle |E_{1}(0)|^2 \rangle \langle |E_{2}(0)|^2 \rangle}$$



# Qu'est ce qu'un centre NV ?



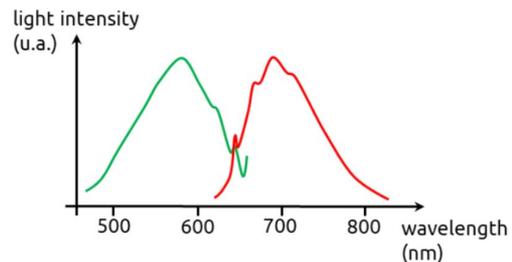
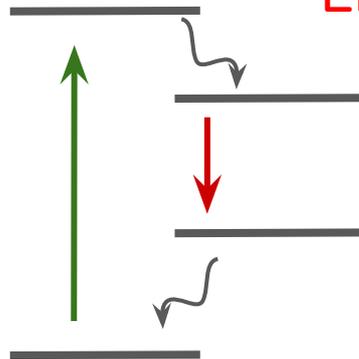
Centre NV = Défaut  
(figure du TP QLMN)

Poche d'électrons/  
Atome artificiel

**Potentielle source de photon unique !**

- ★ État solide
- ★ Fonctionne à température ambiante

Absorption  
Émission



Spectres caractéristiques  
(figure du TP QLMN)

Un système à deux niveaux dans une  
maille cristalline (ici diamant)

Source de fluorescence pérenne (pas de bleaching)

Pour cela il faudra arriver à isoler un seul centre NV :

- ★ Problème de dopage
- ★ Microscopie confocale

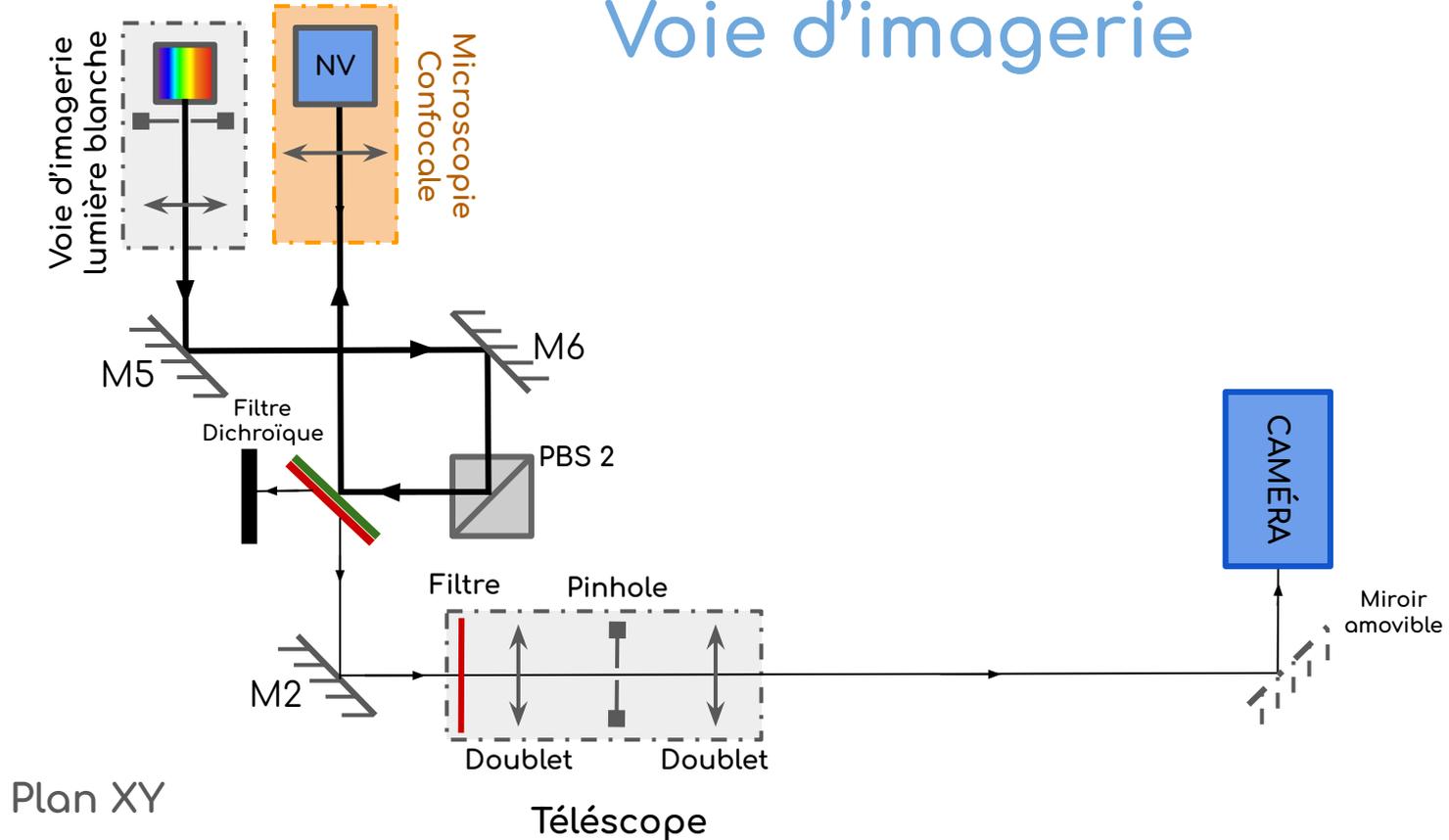
Détecteur de champs magnétique très  
sensibles spatialement (TP QMLN)

# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

Voie d'imagerie		
<p data-bbox="179 445 558 547">Source : lumière blanche.</p> <p data-bbox="98 667 639 929">But : Scanner l'échantillon sur un champ assez large pour repérer un centre NV.</p>		

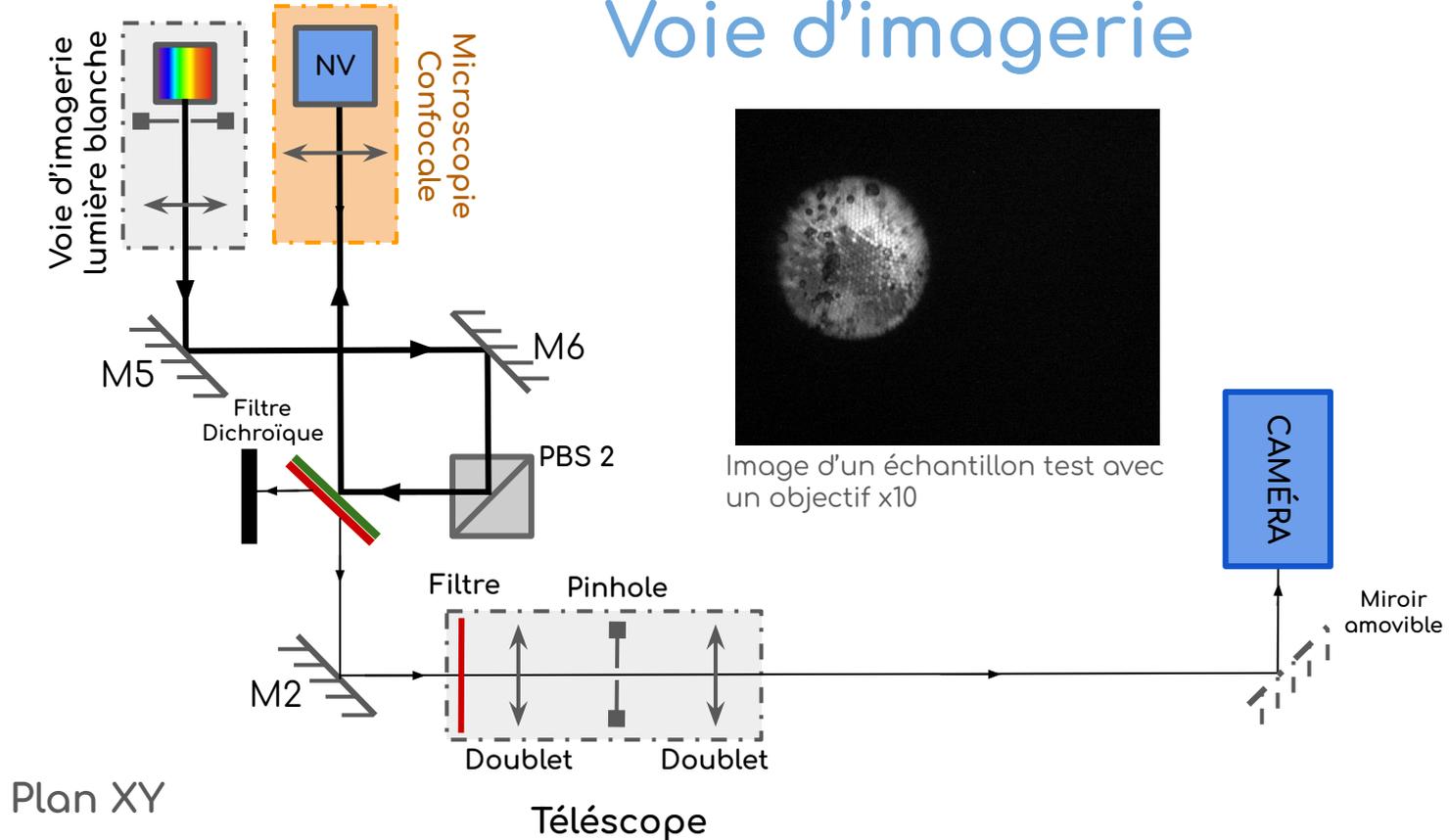
# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

## Voie d'imagerie



# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

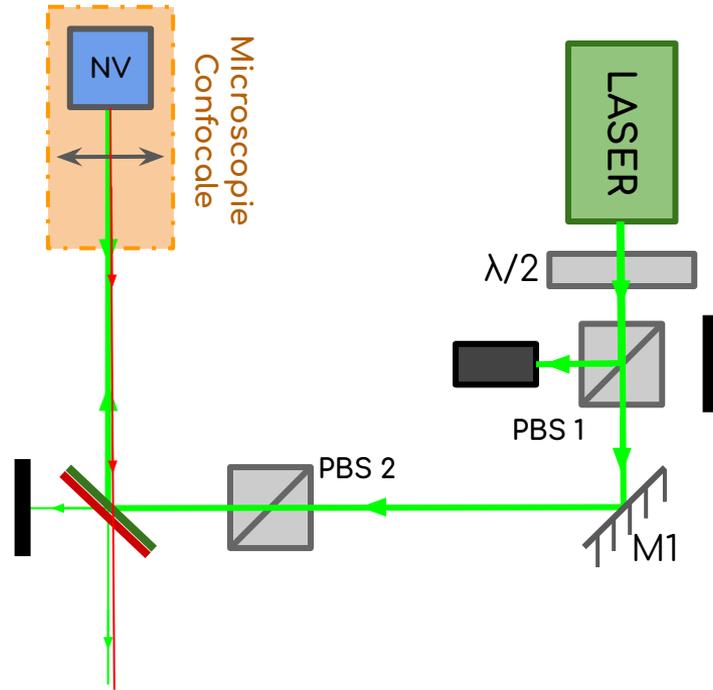
## Voie d'imagerie



# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

Voie d'imagerie	Voie de microscopie confocale	
<p data-bbox="179 445 558 543">Source : lumière blanche.</p> <p data-bbox="98 663 641 929">But : Scanner l'échantillon sur un champ assez large pour repérer un centre NV.</p>	<p data-bbox="749 500 1180 543">Source : laser vert.</p> <p data-bbox="716 718 1213 874">But : Exciter le centre NV et collecter sa fluorescence.</p>	

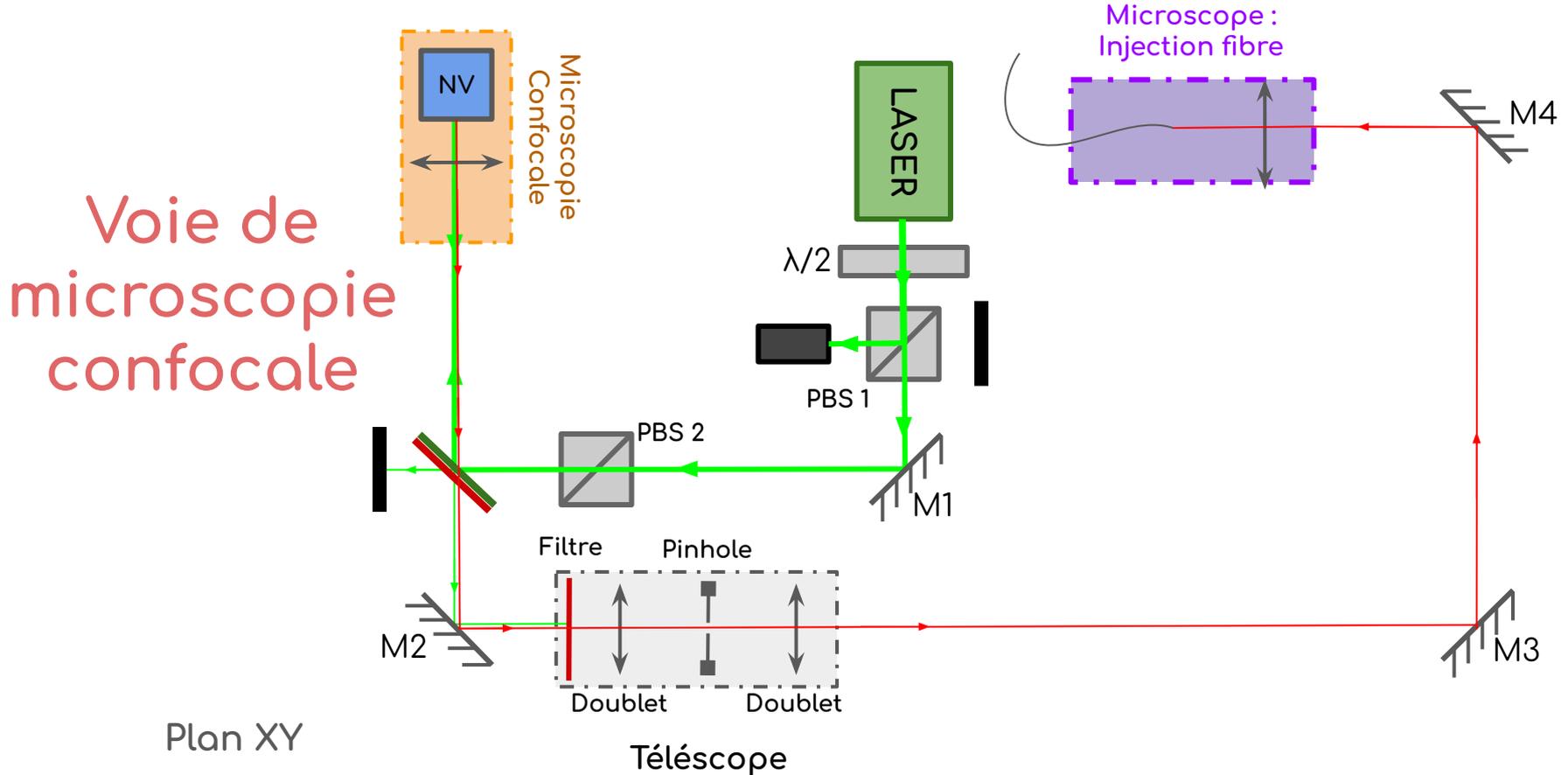
# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence



Voie de  
microscopie  
confocale

Plan XY

# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence



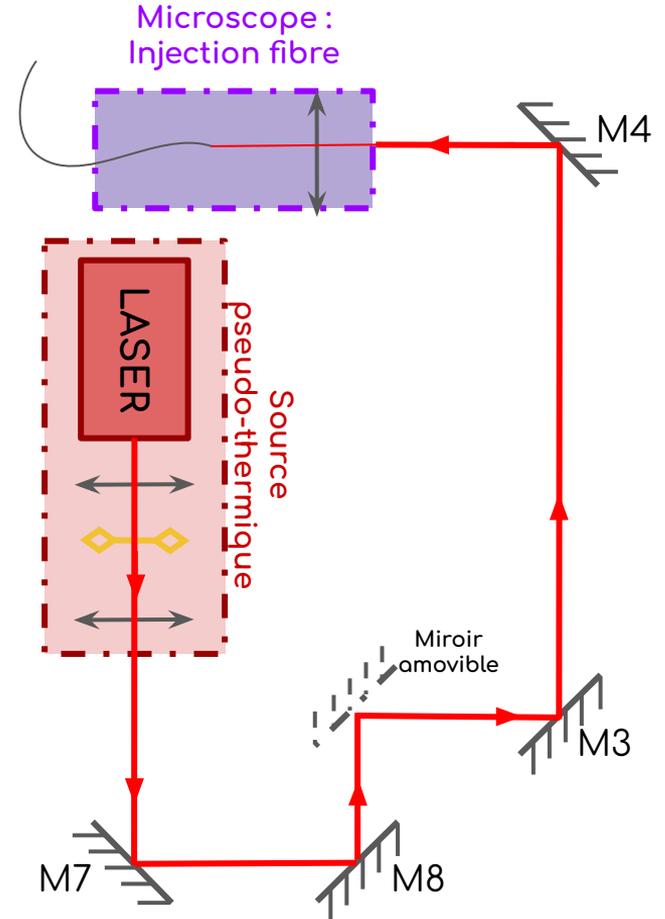
# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

Voie d'imagerie	Voie de microscopie confocale	Voie de test pour la corrélation
<p data-bbox="179 445 558 547">Source : lumière blanche.</p> <p data-bbox="98 663 641 929">But : Scanner l'échantillon sur un champ assez large pour repérer un centre NV.</p>	<p data-bbox="749 500 1180 547">Source : laser vert.</p> <p data-bbox="716 718 1213 874">But : Exciter le centre NV et collecter sa fluorescence.</p>	<p data-bbox="1325 472 1802 628">Source : laser rouge avec verre dépoli en mouvement.</p> <p data-bbox="1282 745 1843 907">But : Effectuer une mesure de <math>g^{(2)}</math> pour une lumière thermique.</p>

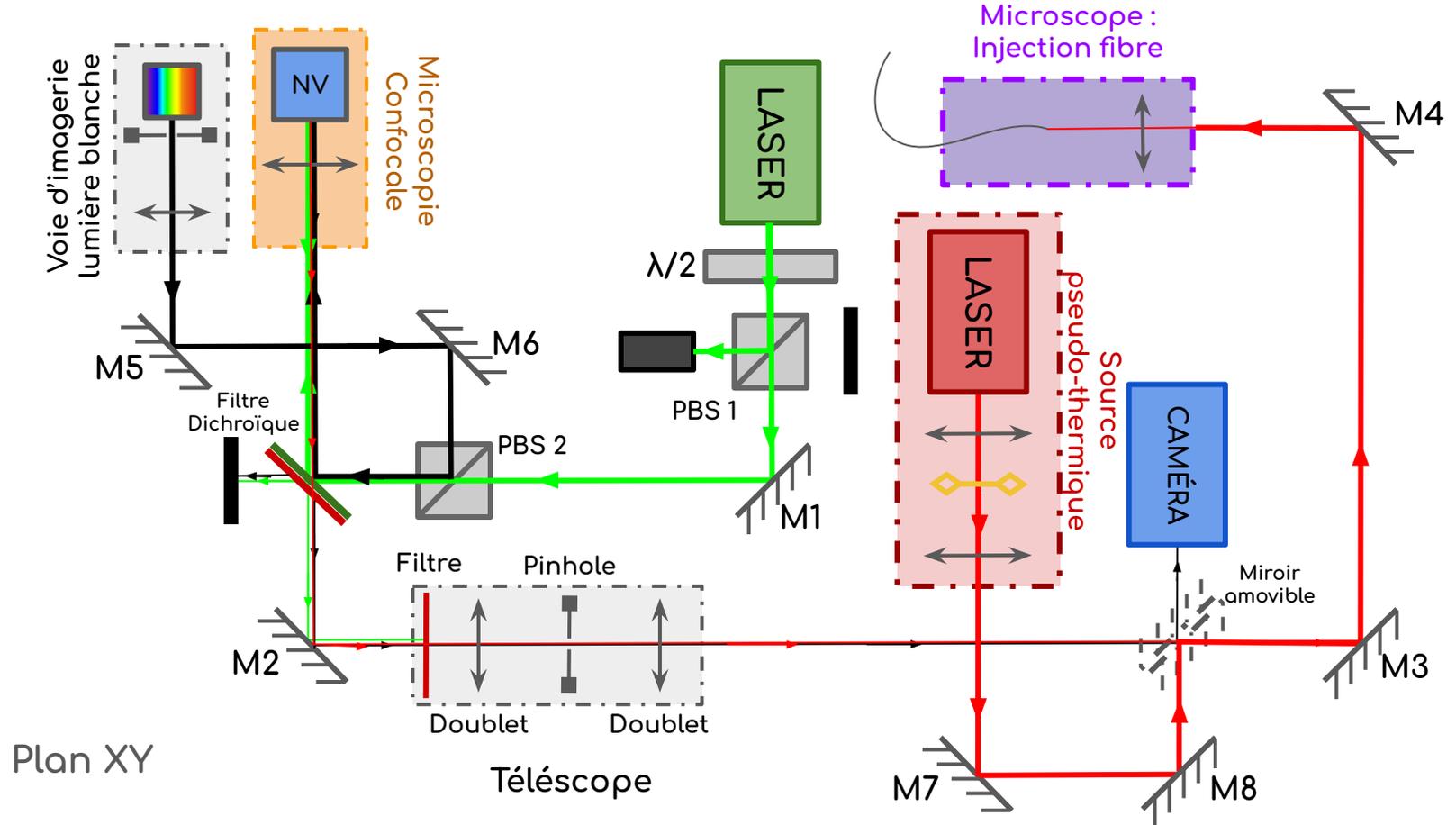
# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

Voie de test pour la corrélation

Plan XY



# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

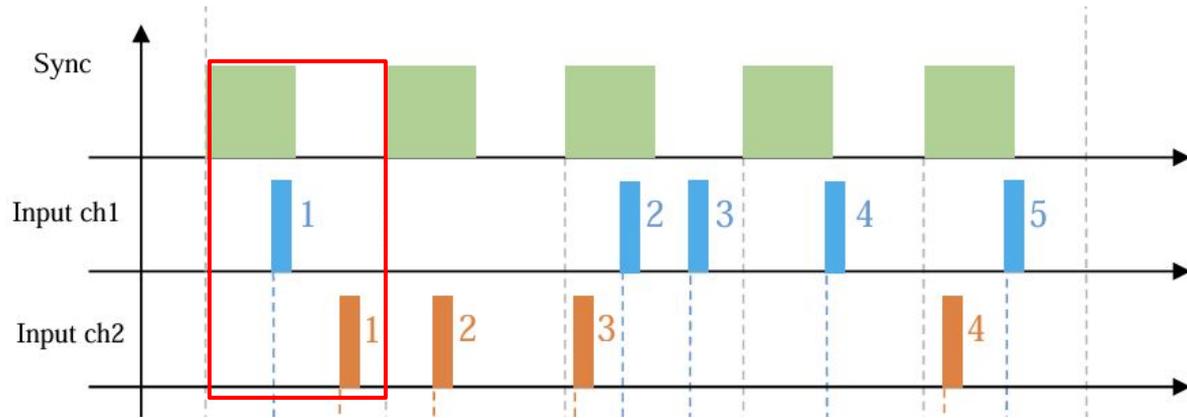


# Montage optique : du centre NV à la collection de fluorescence

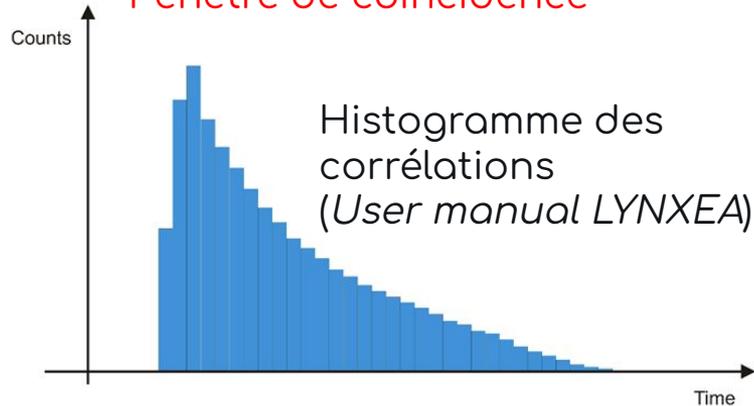


Photo du montage réel

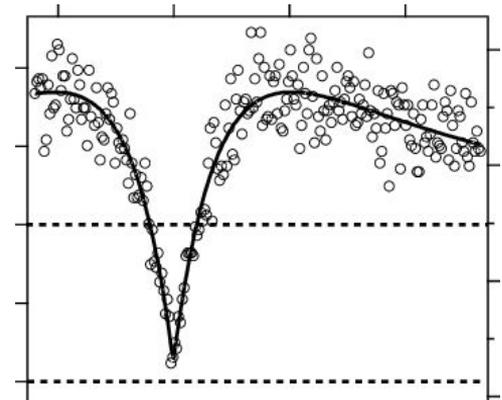
# Point technique : effectuer une mesure de $g^{(2)}$



Processus de time-tagging  
(documentation LYNXEA)



Fonction  
d'autocorrélation  $g^{(2)}$   
(Brouri Phys.Rev. 2001)



# Point technique : collection de la lumière de fluorescence

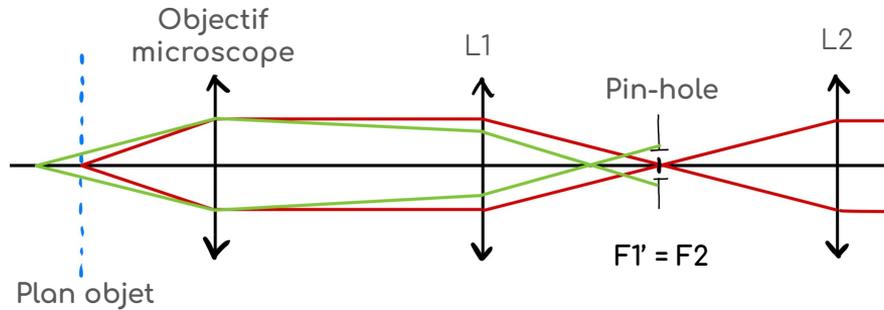
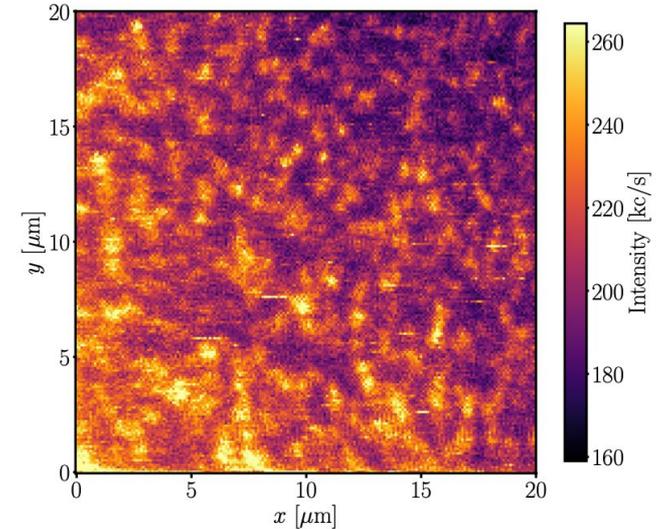


Schéma de principe de microscopie confocale



Scan confocal d'un échantillon fluorescent. Les points intenses correspondent à des centres NV. Image issue du document [1].

# Répartition des tâches et organisation

DEPhI Centres NV / Liste du matériel / Matériel de la manip



## DEPhI Centres NV

**Général**

**Membres**

- Arthur
- Clara
- Darius
- Etienne
- Nathan

+ Nouvelle page

Questions

+ Tâche

**Cadre du projet**

- Description du DEPhI (LEnsE)
- Bibliographie initiale (Benjamin Vest)
- Soutenance (Évaluation)
- Critères d'évaluation (Google Drive)

**Organisation Semaine 1**

**But :**

Tout préparer et anticiper pour que la deuxième semaine de projet soit d'une efficacité maximale.

Brainstorming : pistes de travail

+ Déjà présent

**À commander**

**Pas sûr**

Éléments qui doivent être accessible (pour TP 3A)

- Schéma de la manip
  - Construction du schéma sur Google Slide.
- Liste
  - ▶ [Source excitation centre NV](#)
  - ▶ [Miroir 1 : data sheet](#)
  - ▶ [Cube séparateur \(PBS\) 2 : data sheet](#)
  - ▼ [Filtre dichroïque : data sheet](#)
    - Modèle : SEMROCK
    - Référence : F535-SDI01-25x36
    - Angle d'incidence nominal :  $45^\circ \pm 1.5^\circ$
    - Puissance maximum : 6.0 W
    - Transversal Dimensions : 25.2 mm x 35.6 mm
      - ▶ Spectre ci dessous
  - ▶ Microscopie de l'échantillon
  - ▶ **Miroir 2 data sheet (diélectrique)**

Page Notion du groupe

- Documents et références
- Planning des tâches
- Rapport des expériences et avancement

# Planification pour les prochaines semaines de projet

Voie d'imagerie Étienne, Darius, Nathan	Voie de microscopie confocale Étienne, Darius	Voie de test pour la corrélation Clara, Arthur, Nathan
<ul style="list-style-type: none"><li>- Alignements optiques</li><li>- Maîtriser les piézos pour balayer un échantillon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Avoir trouvé un échantillon correct</li><li>- Fabriquer une monture pour maintenir la lame d'échantillon de microscope à la verticale (SolidWorks)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Montage source pseudo-thermique</li><li>- Traitement : prendre en main l'interface du corrélateur pour obtenir un <math>g^{(2)}</math></li></ul>

# Compétences à acquérir au cours du projet

Clara	Étienne	Darius	Arthur	Nathan
Extraire et interpréter (C5)	Concevoir et dimensionner (C2)	Concevoir et dimensionner (C2)	Analyser / Modéliser (C6)	Réaliser et développer (C3)
Analyser / Modéliser (C6)	Valider une solution technologique (C4)	Réaliser et développer (C3)	Réaliser et développer (C3)	Valider une solution technologique (C4)
Travailler en équipe (C7)	Travailler en équipe (C7)	Travailler en équipe (C7)	Travailler en équipe (C7)	Travailler en équipe (C7)

# Merci pour votre attention !

## Documentation :

- ❖ [1] Harnessing individual nitrogen-vacancy centers with a compact and portable confocal microscope, I. Panadero , J.C. Guerra , E. Caravaca , F. J. Hidalgo , P. Acedo , C. de Dios and E. Torrontegui.
- ❖ [2] Photon antibunching in the fluorescence of individual colored centers in diamond, Rosa Brouri, Alexios Beveratos, Jean-Philippe Poizat, and Philippe Grangier
- ❖ [3] Photon Counting Statistics - Undergraduate Experiment, P. Koczyk, P. Wiewior, and C. Radzewicz.
- ❖ [4] Undergraduate experiments on statistical optics, Ruediger Scholz, Gunnar Friege and Kim-Alessandro Weber.