

# Filtres spectraux nanostructurés et application à l'imagerie multispectrale infrarouge

*Plasmonique, des nouveaux concepts aux applications pratiques*

-  
*5 février - LAAS Toulouse*

Contributeurs:

## **Nanostructures**

*G. Vincent<sup>1</sup>, C. Tardieu<sup>1,2</sup>, S. Collin<sup>2</sup>, T. Estruch<sup>1</sup>, F. Pardo<sup>2</sup>, J.-L. Pelouard<sup>2</sup>, R. Haïdar<sup>1</sup>*

## **Système optique**

*S. Rommeluère<sup>1</sup>, J. Jaeck<sup>1</sup>, C. Eradès<sup>1</sup>, S. Lefebvre<sup>1</sup>, F. Cauty<sup>1</sup>, G. Druart<sup>1</sup>*

1.

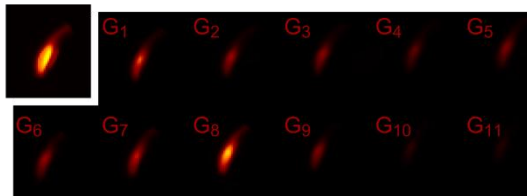


2.



LABORATOIRE  
DE PHOTONIQUE  
ET DE NANOSTRUCTURES

- Laboratoire « Détecteurs infrarouges » de l'ONERA :
  - Expertise sur les détecteurs IR (caractérisations opto-électroniques)
  - Participation à l'orientation de nouvelles filières de détecteurs
  - Conception de systèmes optiques (optiques conventionnelles, micro-optiques, nanotechnologies)
    - *Caméras aéroportées*
    - *Caméras grand-champ*
    - *Caméras multispectrales*



*multispectral images of a lighter flame*



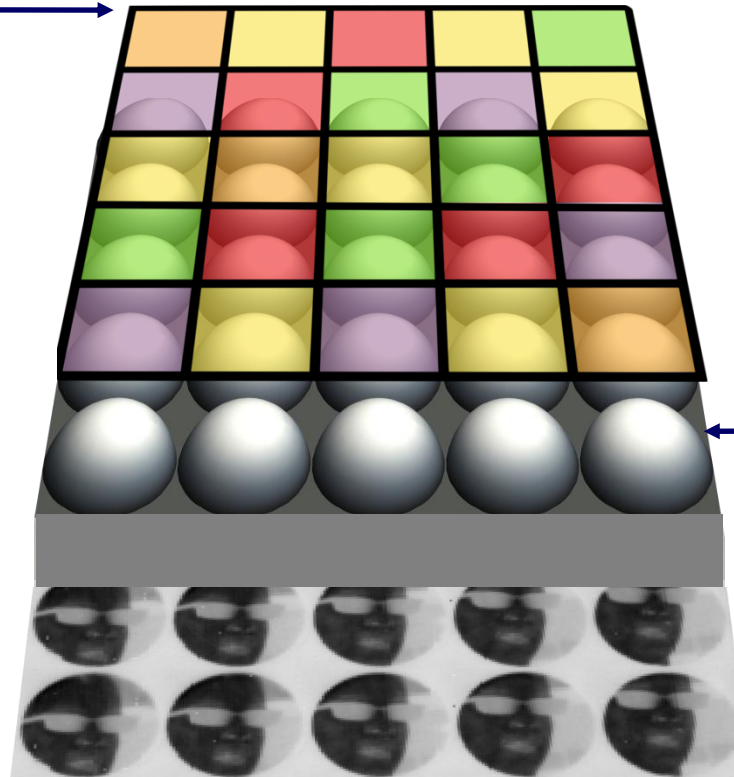
*Banc de caractérisation de réponse angulaire de détecteurs*

# Imagerie multispectrale IR

## Architecture « multicanaux »

### ■ « Compact compound optics »

Matrice de filtres



Matrice de microlentilles

$\varnothing \approx 1,5\text{mm}$

Visible: R. Shogenji *et al*, Opt. Express 12 (2004)

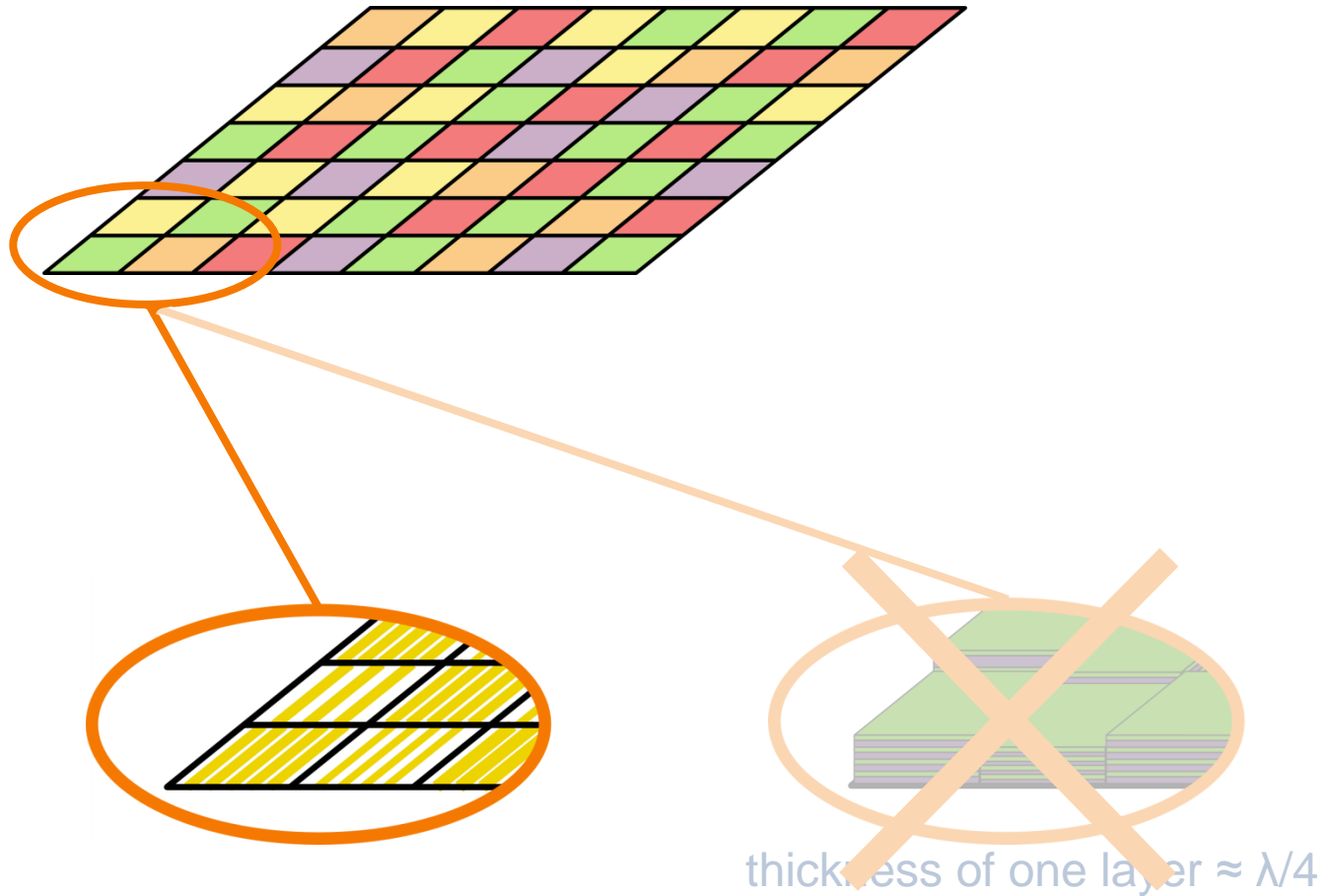
Infrared: G. Druart *et al.*, SPIE 69920G (2008)

## Un filtre par microlentille

# Imagerie multispectrale IR

## Apport des réseaux sub- $\lambda$

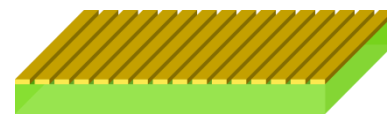
Matrice de filtres pour l'IR ?



Plus de réseaux à épaisseur constante; fabrication difficile.

# Filtres spectraux Technologies

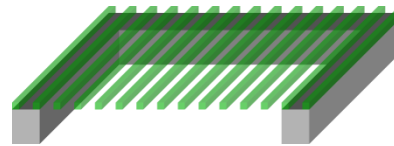
■ Résonance de mode guidé



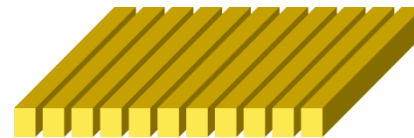
■ « Dual metallic gratings »



■ Résonances dipôlaires



■ Résonances plasmoniques



■ Imagerie multispectrale

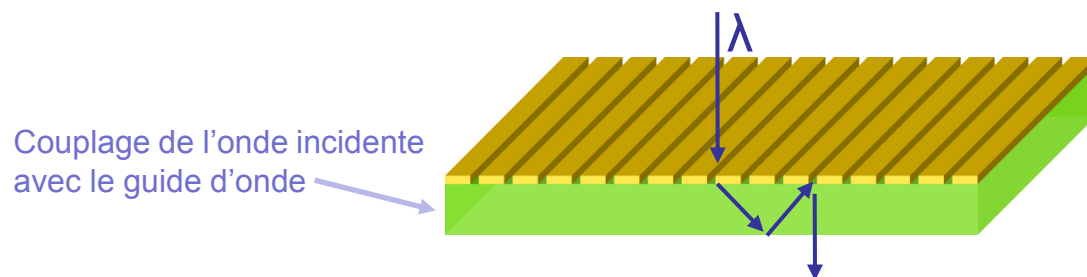
composants

système

# Filtres spectraux

## Résonance de mode guidé

### ■ Réseau métallique sur guide d'onde diélectrique



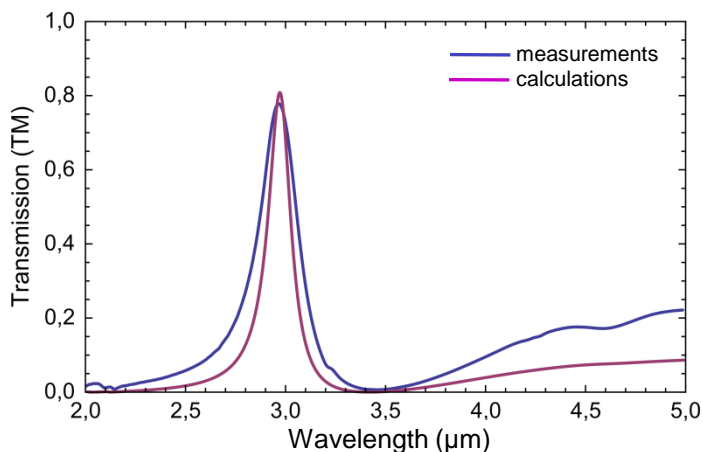
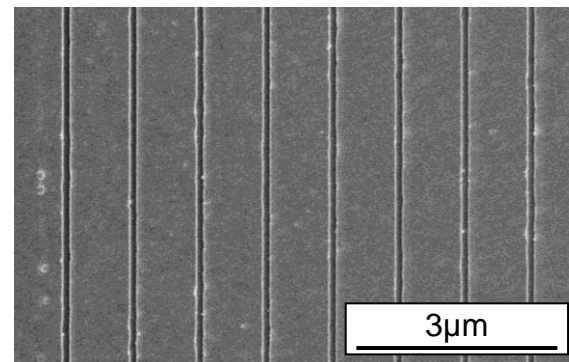
■ *Matériau: or sur nitrure de silicium (épaisseur 650nm)*

■ *Géométrie du réseau:*

□ *période: 2.11  $\mu\text{m}$*

□ *largeur des fentes: 0.2  $\mu\text{m}$*

□ *épaisseur: 0.1  $\mu\text{m}$*



Filtre passe-bande, polarisant ou non

E. Sakat *et al.*, *Opt. Lett.* 38, 425 (2013)

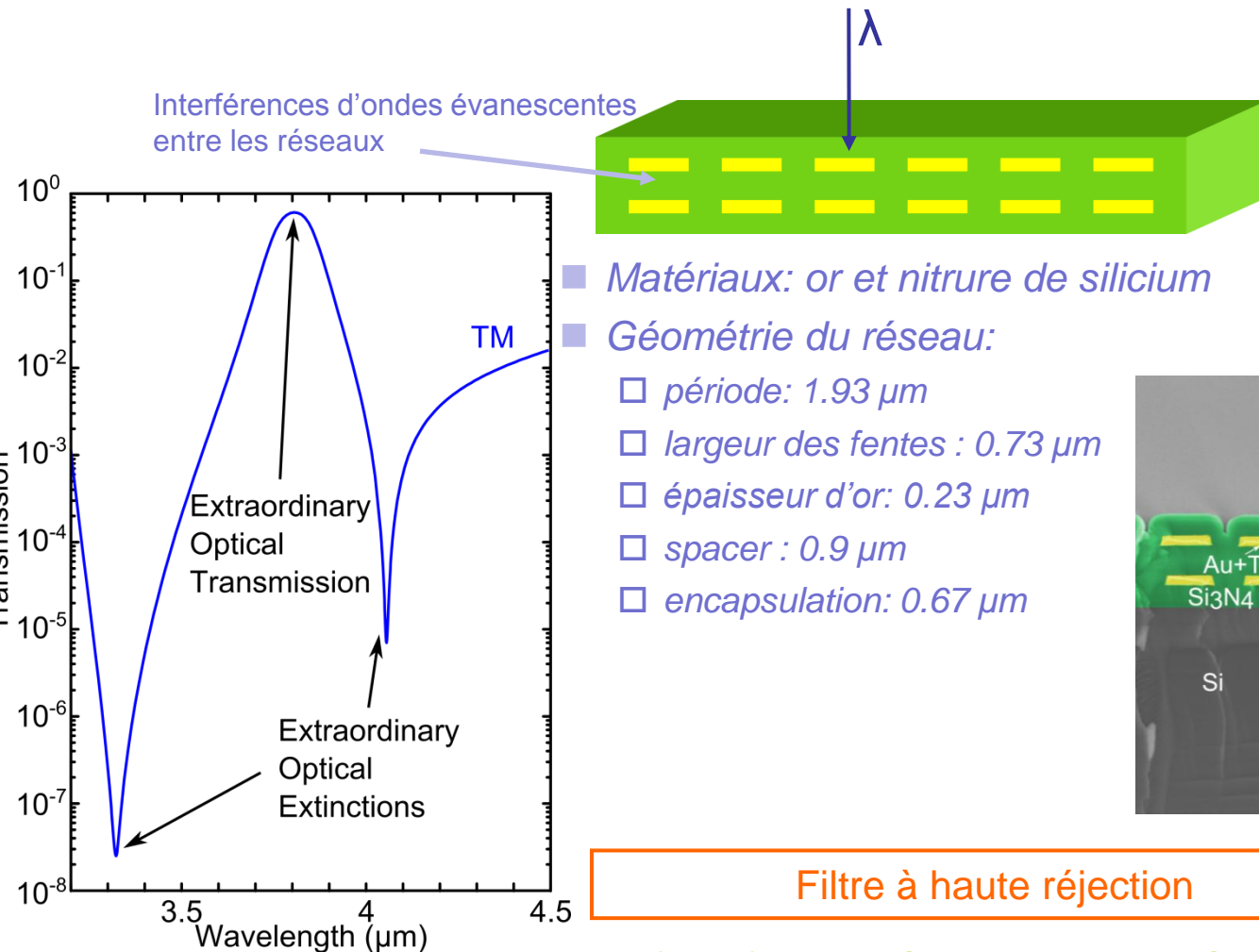
E. Sakat *et al.*, *Opt. Exp.* 20, 13082 (2012)

E. Sakat *et al.*, *Opt. Lett.* 36, 3054 (2011)

# Filtres spectraux

## Dual metallic gratings

### ■ Réseaux métalliques dans un milieu diélectrique



T. Estruch *et al.*, *Opt. Lett.* 36, 3160 (2011)

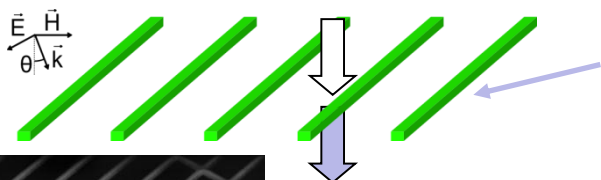
C. Tardieu *et al.*, *Opt. Lett.*, à paraître (2015)

# Filtres spectraux

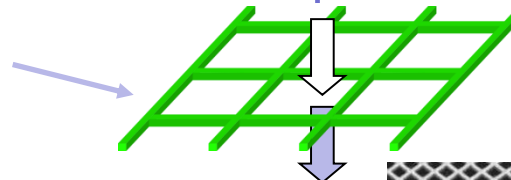
## Réseaux à résonances dipôlares

### ■ Réseaux suspendus en diélectrique

#### ■ Polarisant



#### ■ Non-polarisant

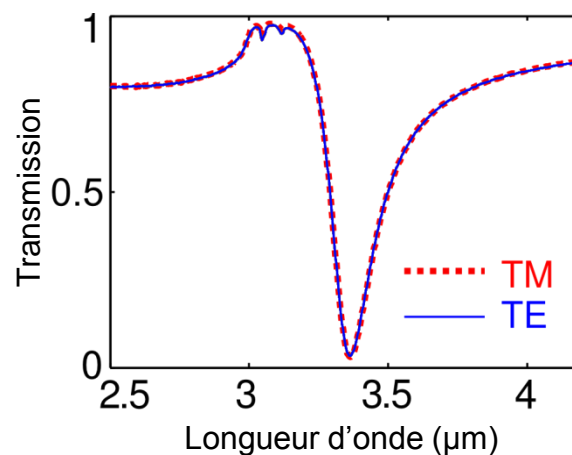
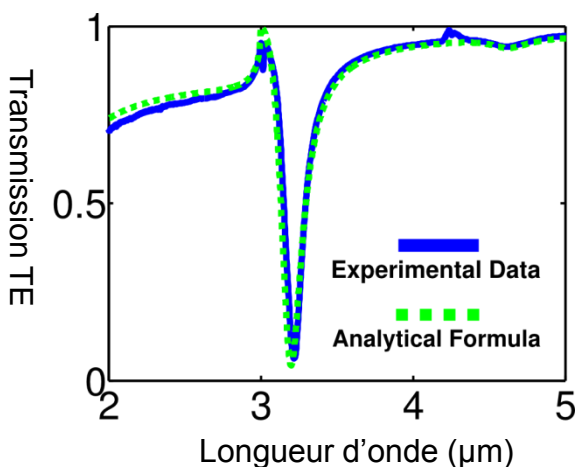
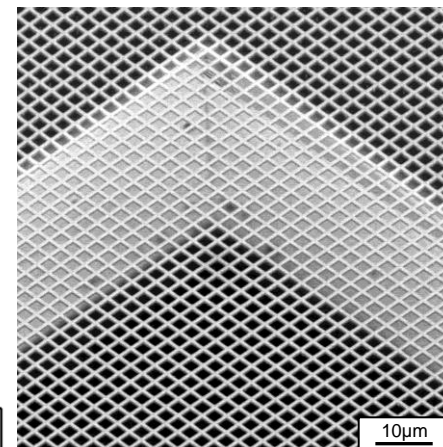
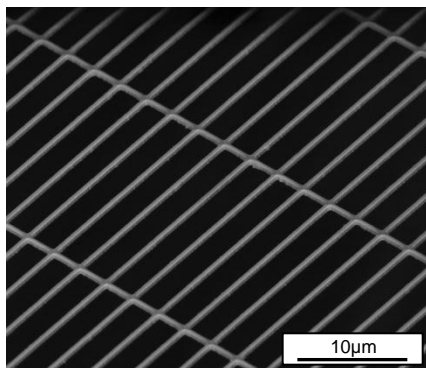


dielectric

- *Matériau : nitrure de silicium*
- *Période : 3 μm*
- *Barreaux : 0.5 μm x 0.5 μm*

**Facteur de remplissage 15%... pourtant:**

P. Ghenuche *et al.*, Phys. Rev. Lett. 109, 143903, (2012)

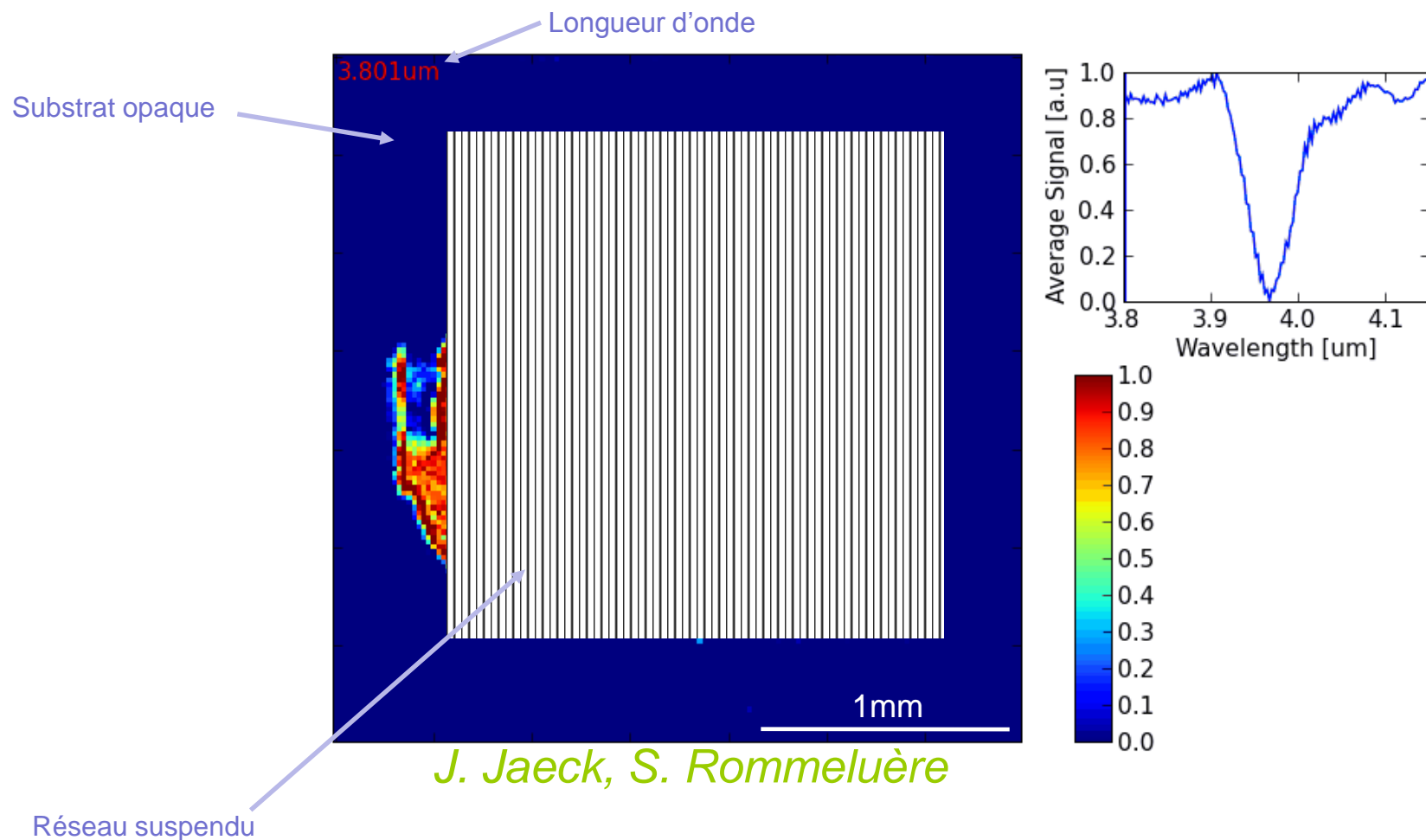




# Filtres spectraux

## Réseaux à résonances dipôlares

Transmission through a dielectric free-standing grating.

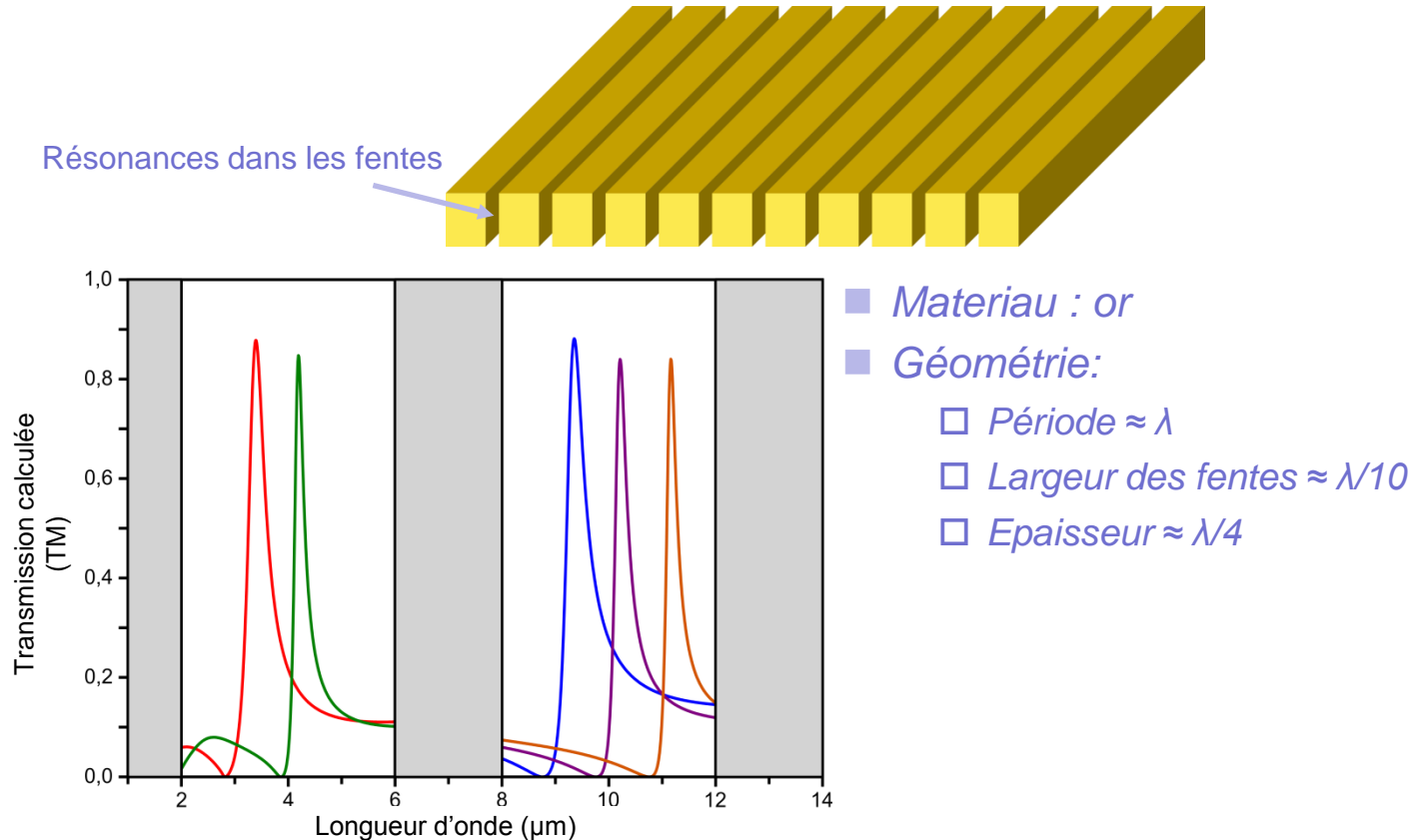


*J. Jaeck, S. Rommeluère*

# Filtres spectraux

## Réseaux métalliques suspendus

### ■ Réseaux métalliques « épais »

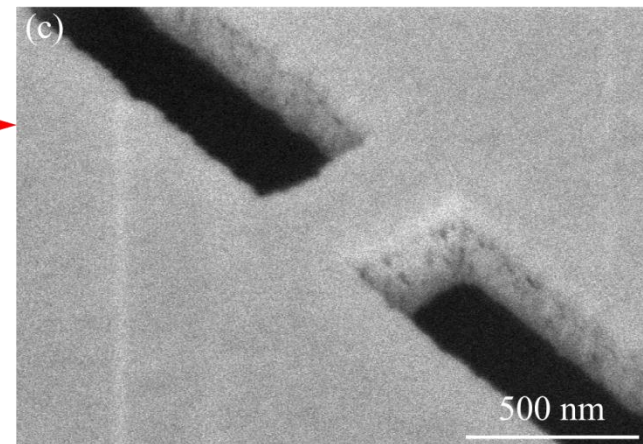
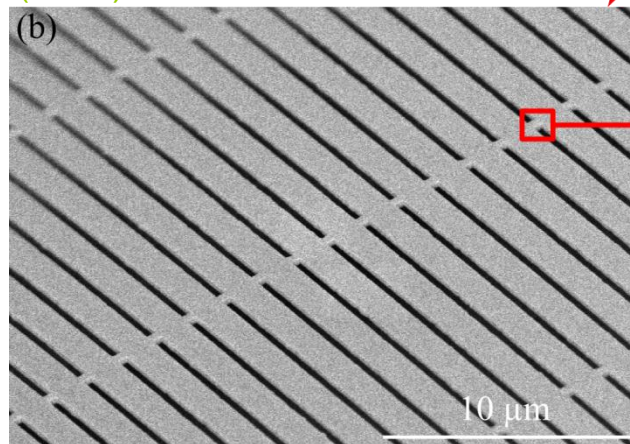
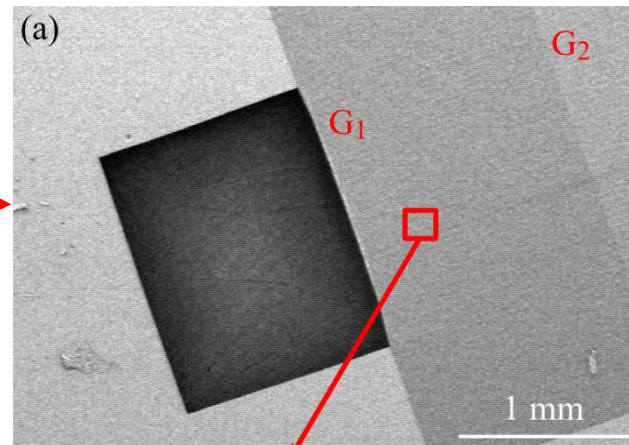
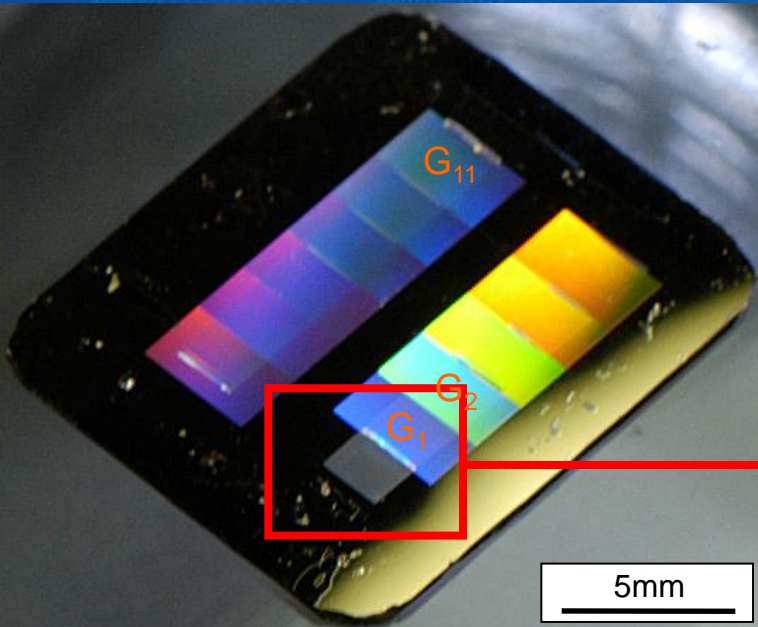


Filtre passe-bande polarisant

Inspired by Porto et al., Phys. Rev. Lett. (1999)

# Filtres spectraux

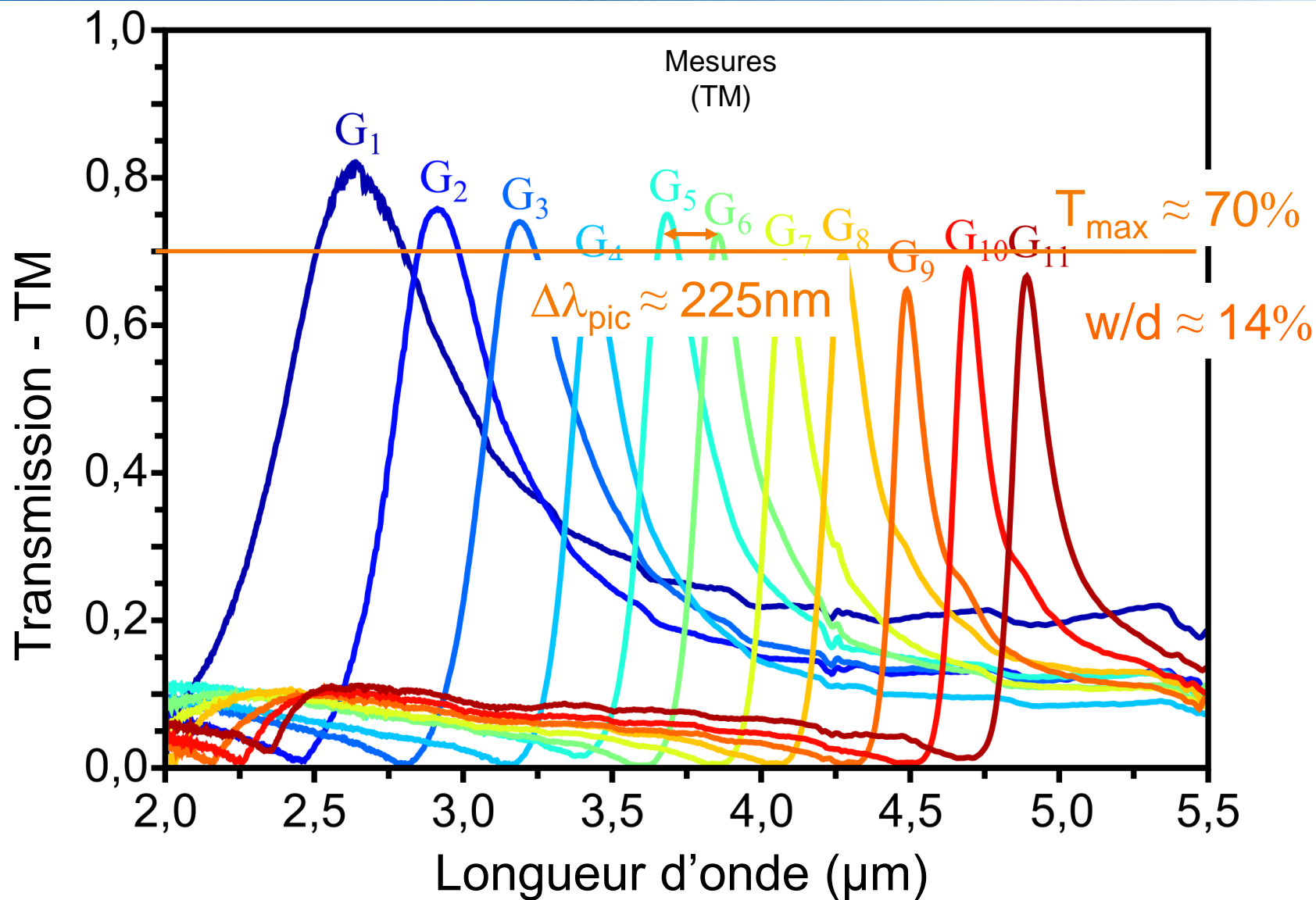
## Matrice de onze filtres (2.5-5 $\mu\text{m}$ )



S. Collin *et al.*, Phys. Rev. Lett. 104 (2010)  
R. Haïdar *et al.*, Appl. Phys. Lett. 96 (2010)

# Filtres spectraux

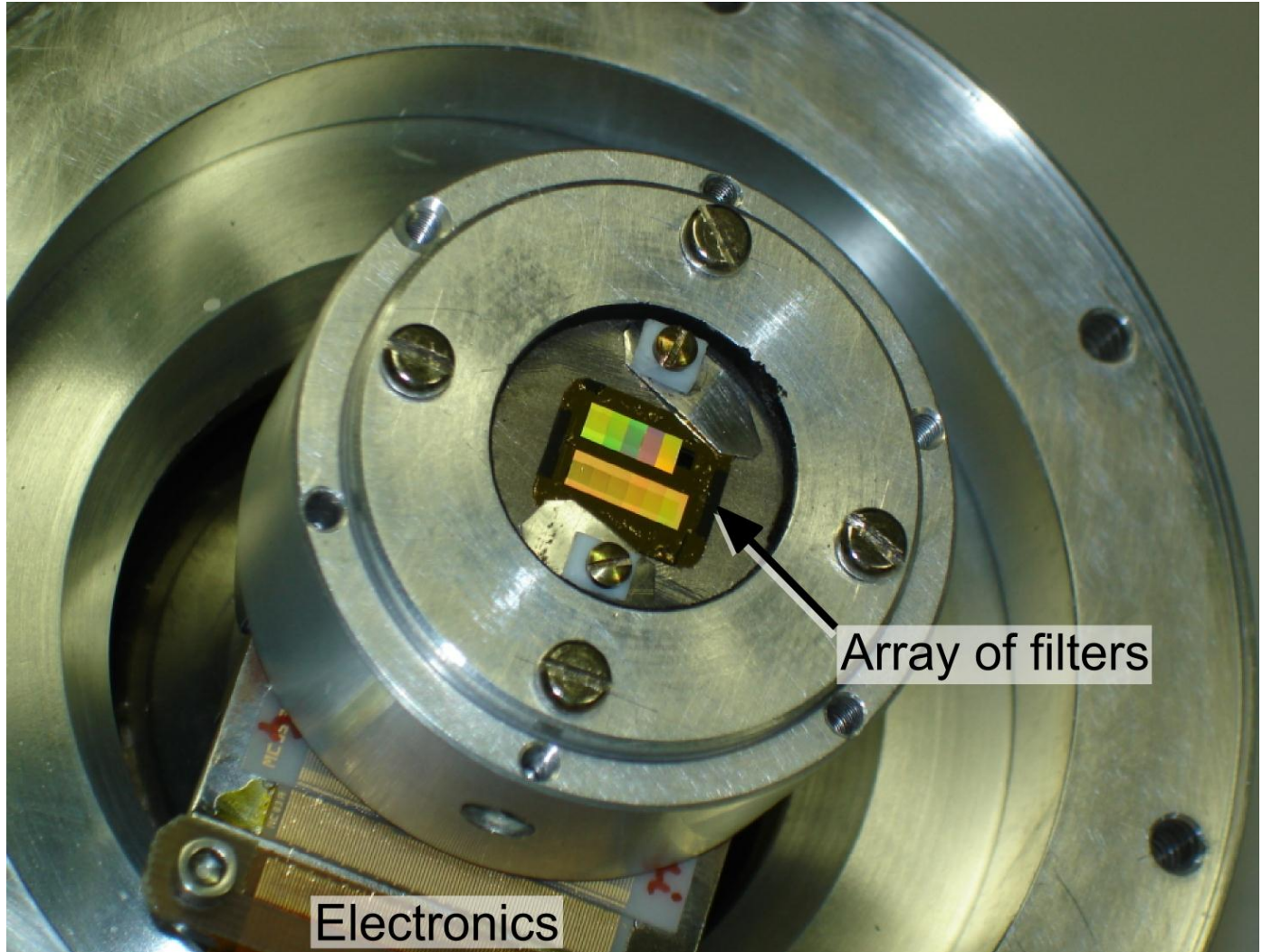
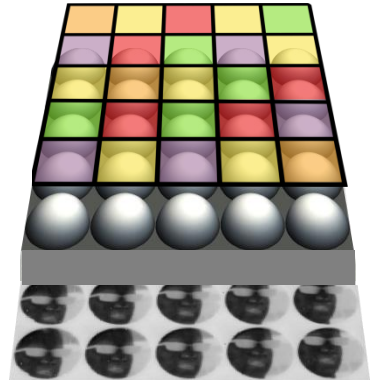
## Matrice de onze filtres (2.5-5 $\mu$ m)



# *Intégration au système optique*

# Spectro-imageur pour le MIR (2.5 - 5 $\mu$ m)

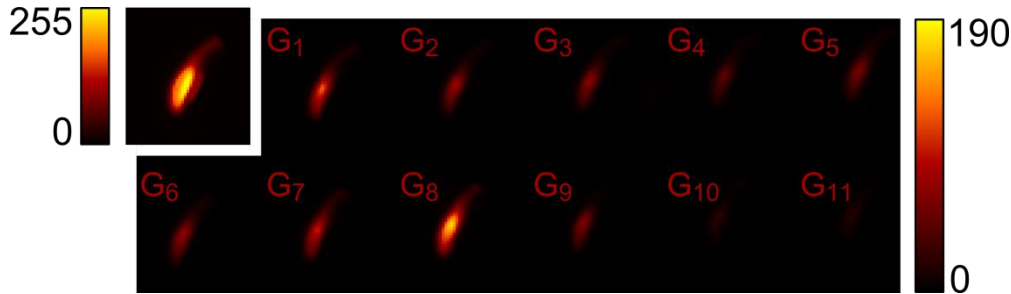
## Caméra multispectrale et cryostat



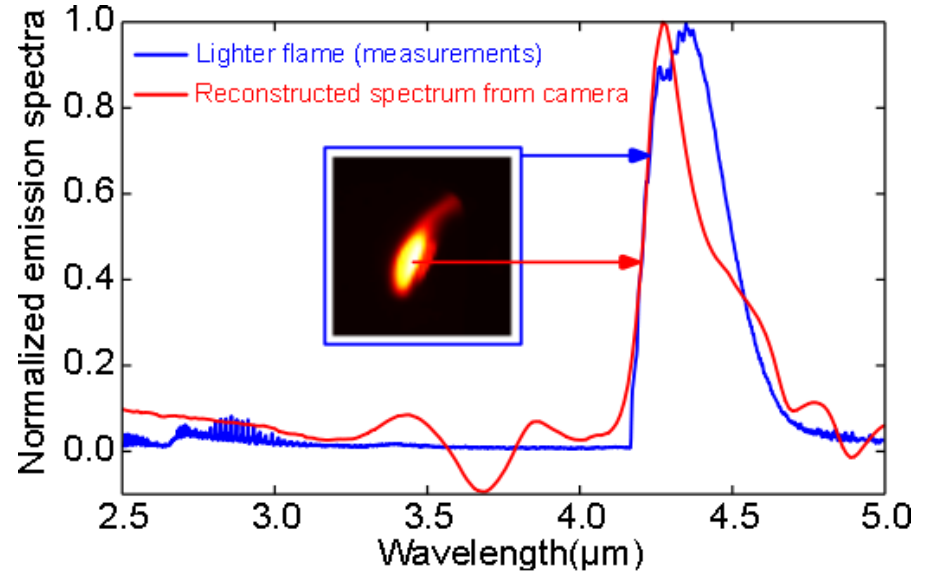
# Imagerie multispectrale IR

## Ex 1 : flamme de briquet

- Images multispectrales d'une flamme de briquet, en temps réel



- Reconstruction :  
(pseudo-inverse Moore-Penrose)



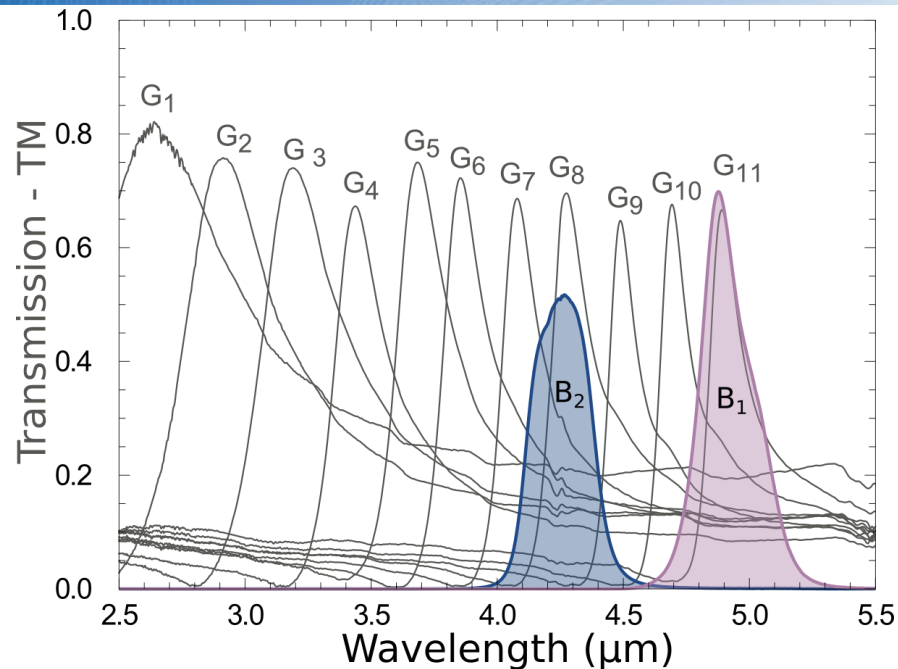
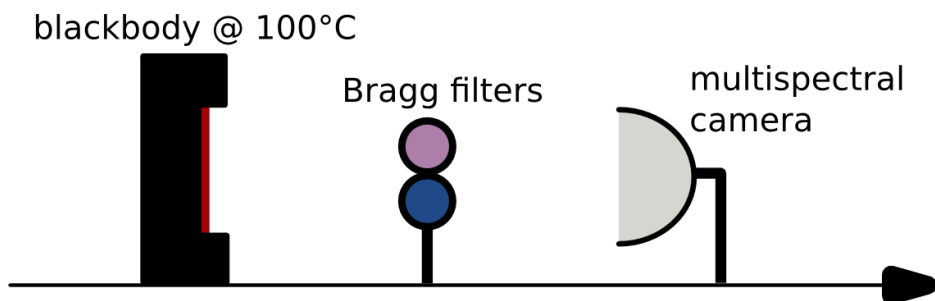
S. Collin *et al.*, Phys. Rev. Lett. 104 (2010)

R. Haïdar *et al.*, App. Phys. Lett. 96 (2010)

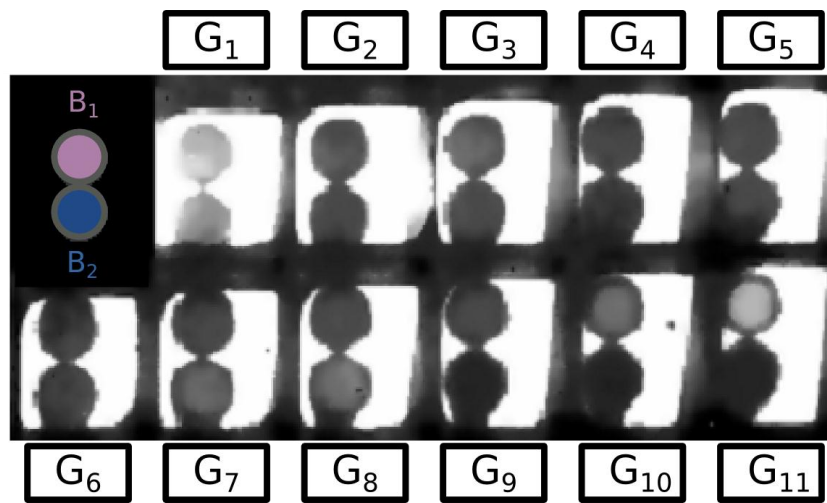
# Imagerie multispectrale IR

## Ex 2 : discrimination d'objets

### ■ Montage



### ■ Images multispectrales

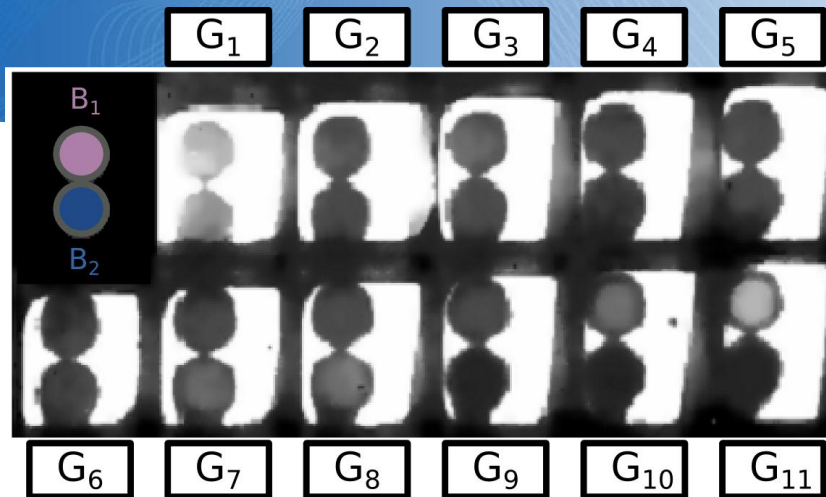




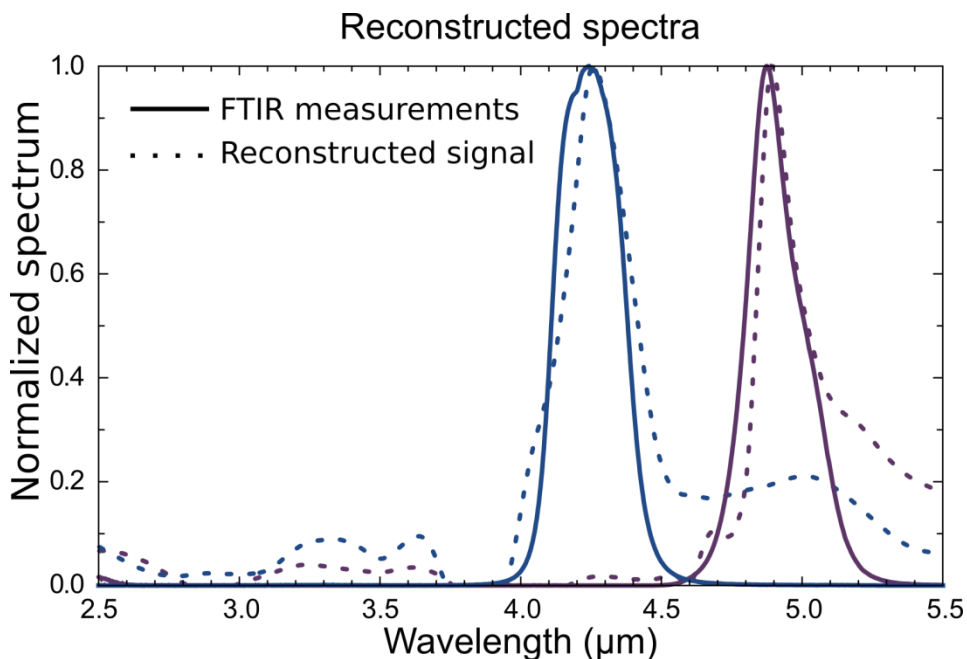
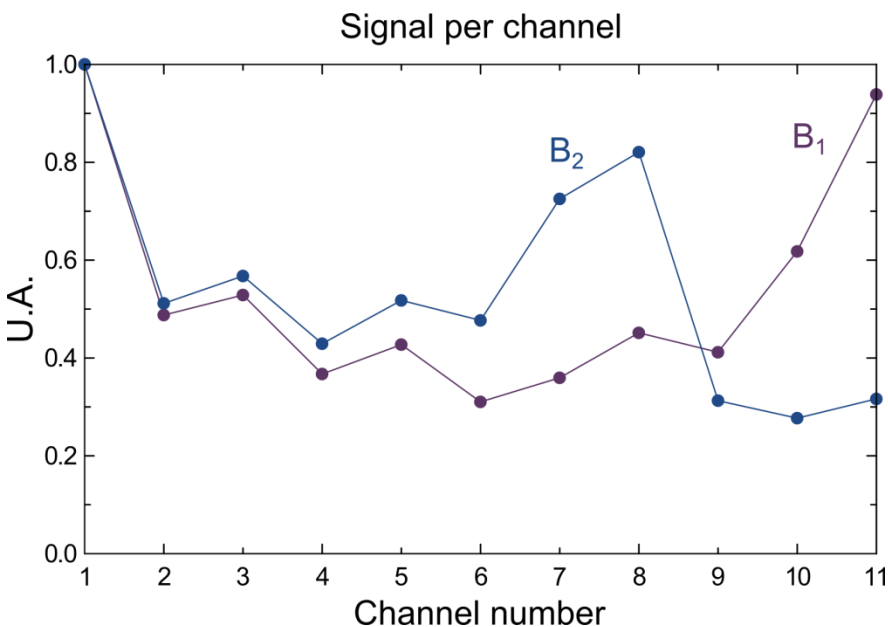
# Imagerie multispectrale IR

## Ex 2 : discrimination d'objets

- Images multispectrales



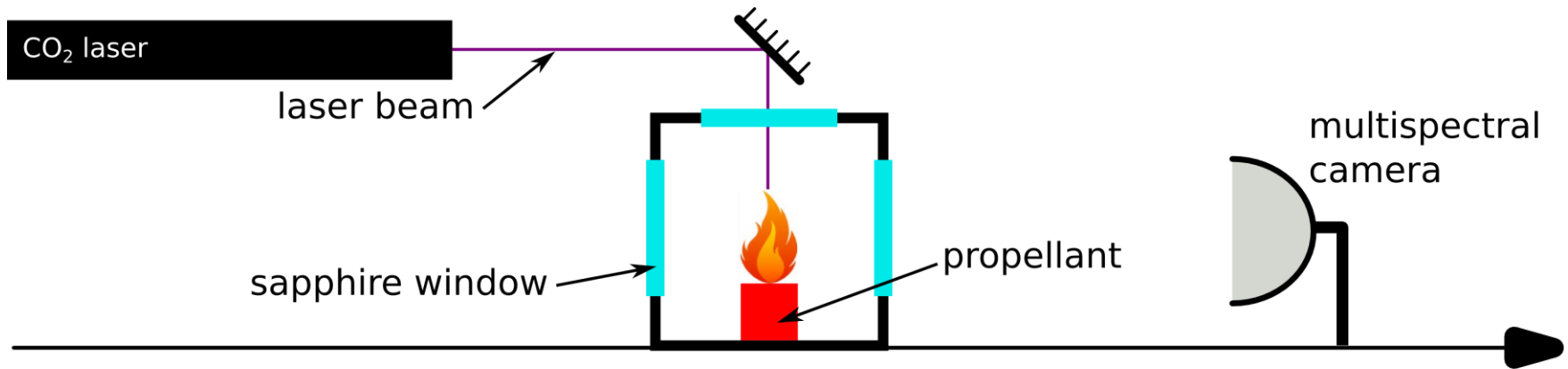
- Reconstruction des spectres : compressed-sensing



# Imagerie multispectrale IR

## Ex 3 : propergol en combustion

### ■ Montage

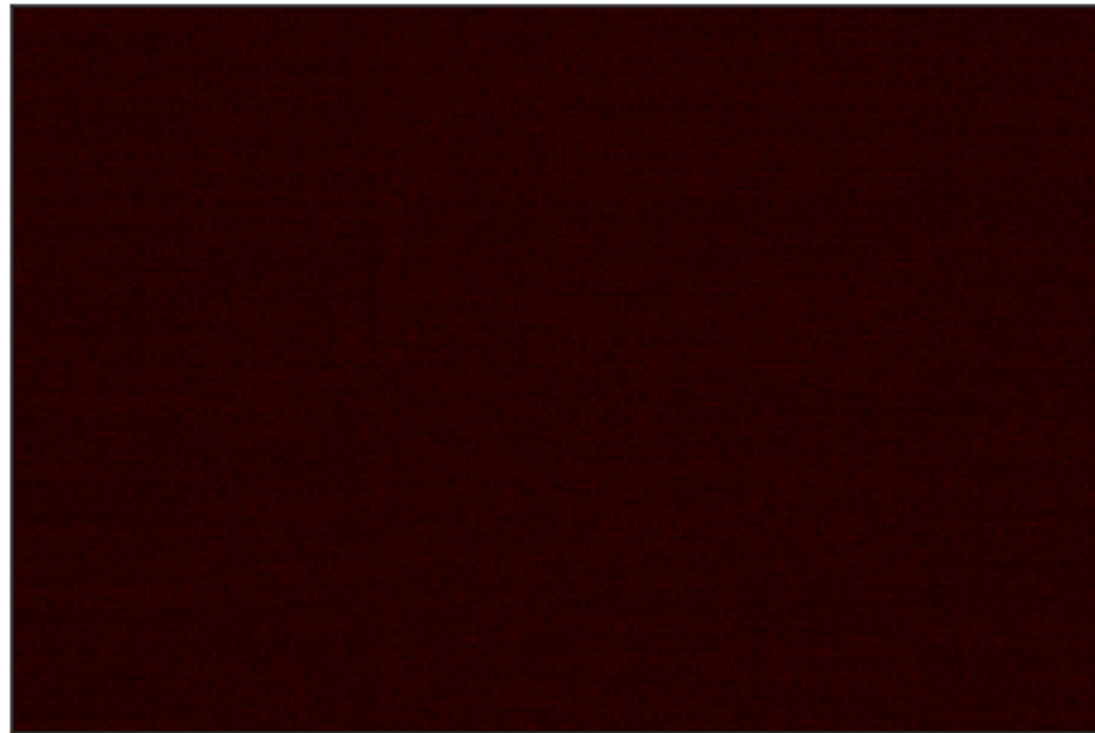
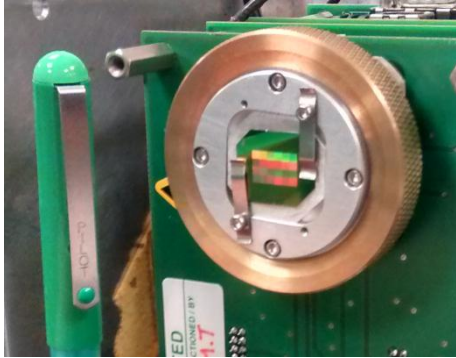


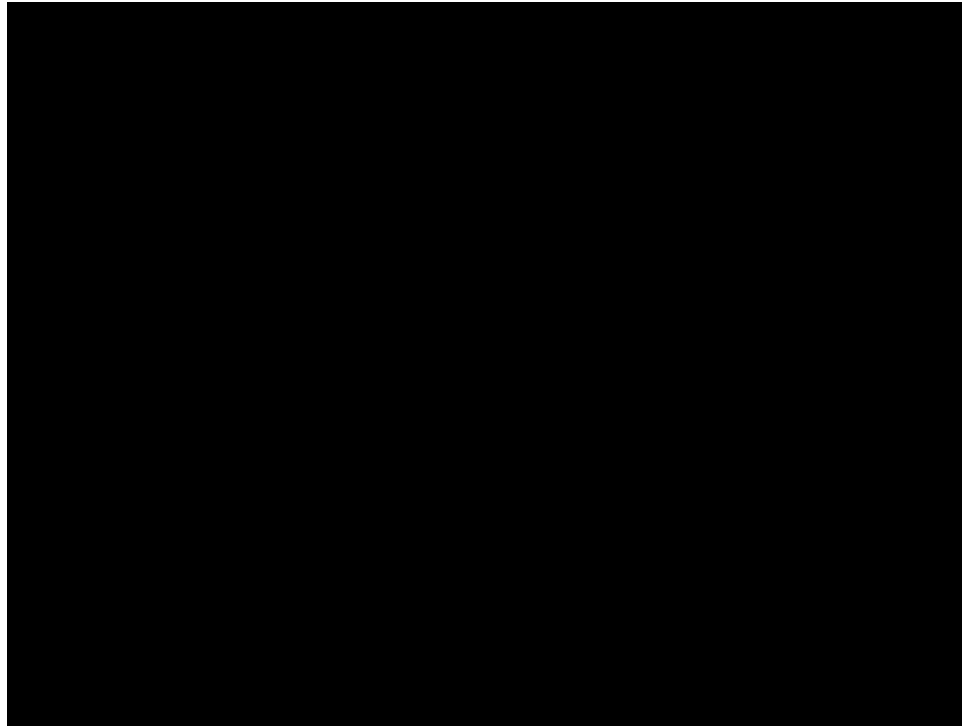
### ■ Images multispectrales

# Imagerie multispectrale IR

## Microbolomètres

- Architecture optique adaptable aux microbolomètres: ↓€

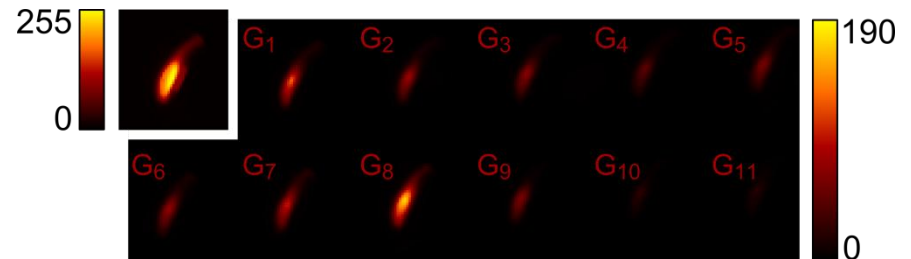
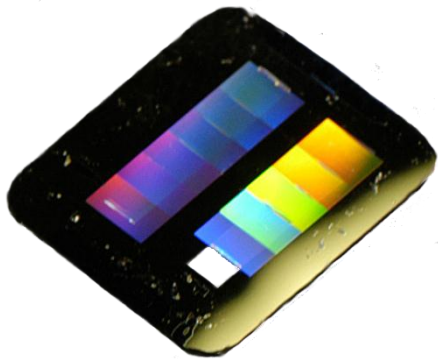




- Démonstration d'un imageur multispectral compact, en temps réel, pour l'infrarouge moyen, sur détecteur quantique ou thermique
- Matrice de filtres grâce aux réseaux sub- $\lambda$
- Filtres à réseaux: passe-bande, coupe-bande, polarisant ou non...

# La suite...

- Utilisation de « cryostats machines »
- Développement d'un algo d'inversion
- Mise en application hors laboratoire
  - Définition de nouveaux systèmes optiques?
  - Nécessité de nouveaux types de filtres?



*Merci de votre attention!*