

Conception de sources thermiques cohérentes en champ lointain

DREVILLON J. , JOULAIN K. (P', Poitiers)
BEN ABDALLAH P. (LTN, Nantes)

Institut P' • UPR CNRS 3346
SP2MI • Téléport 2
Boulevard Marie et Pierre Curie • BP 30179
F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex



~~➤ Approche radiométrique~~

~~• Notion de corps noir et de luminance~~

~~+ hypothèse de l'optique géométrique~~

➤ Conception de sources thermiques cohérentes

Aux échelles



sublongueur d'onde

➤ Approche électromagnétique fluctuacionnelle [S. M. Rytov (1958)]

• Équation de Maxwell

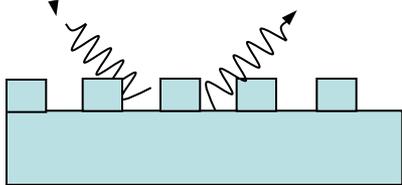
+

Fluctuations des courants j

Application : Nouvelles technologies de conversion d'énergie, refroidissement des composés électroniques,...

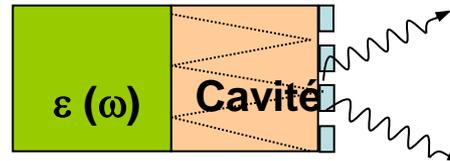
Les réseaux de surface

Greffet et al. Nature 416 (2002)



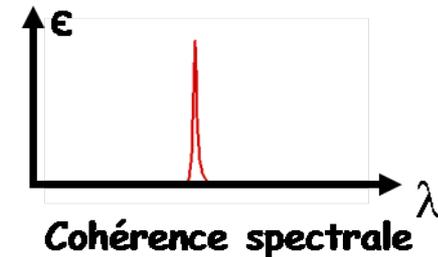
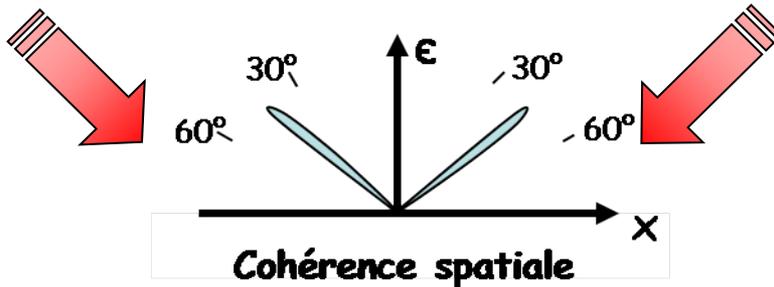
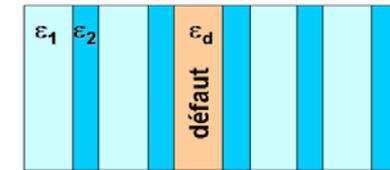
Les structures hybrides

Joulain & Loizeau, JQRST (2007)



Les cristaux photoniques

Ben Abdallah & Ni, J. Appl. Phys. (2005)

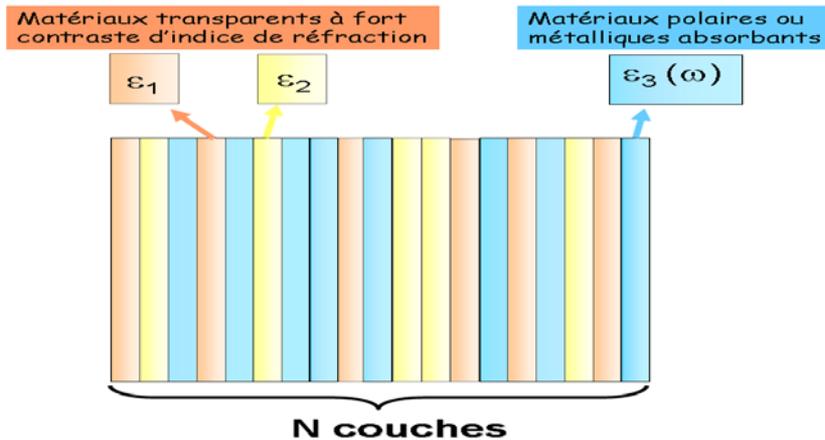


I. Optimisation par algorithme génétique

Objectif

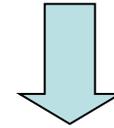
Identifier des structures ad-hoc de matériaux pour obtenir des sources thermiques cohérentes

Répondre à des critères d'émissivité ET de réflectivité spécifiques pour les 2 états de polarisation de la lumière

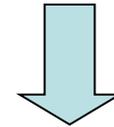


Unique paramètre d'entrée : permittivité diélectrique des matériaux

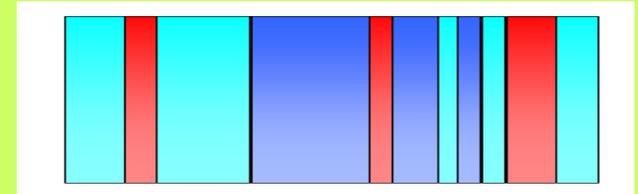
Entrée $\bullet_{\text{cible}}(\lambda, \bullet), r_{\text{cible}}(\lambda, \bullet)$



Algorithme Génétique



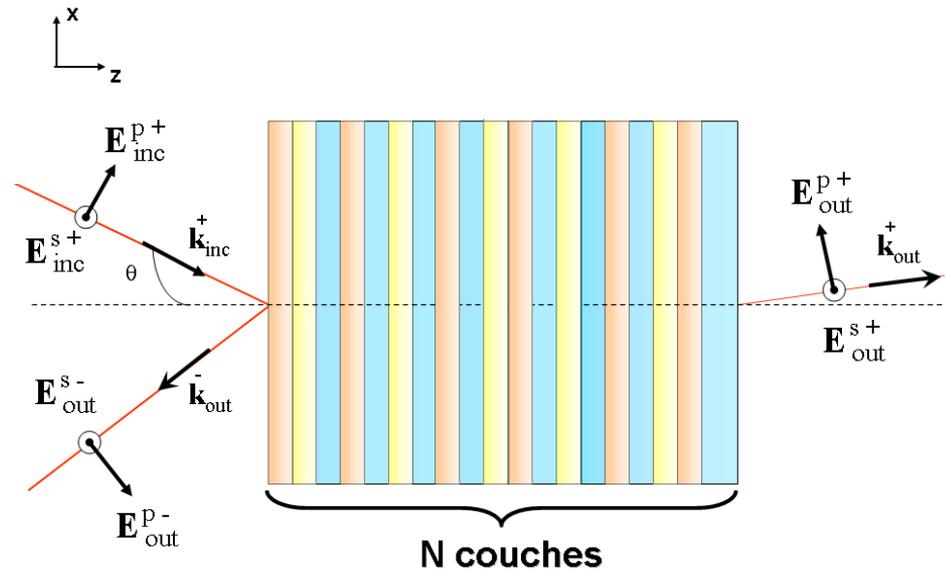
Sortie structure optimale



$\bullet_{\text{calc}} \rightarrow \bullet_{\text{cible}}(\lambda, \bullet)$ $r_{\text{calc}} \rightarrow r_{\text{cible}}(\lambda, \bullet)$

➤ Résolution du problème direct

- Calcul des propriétés radiatives des structures par la méthode des matrices de transfert



$$\begin{pmatrix} E_{inc}^+ \\ E_{out}^- \end{pmatrix} = \mathfrak{S}^N \begin{pmatrix} E_{out}^+ \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathfrak{S}^N = \left(\prod_{j=0}^{N-1} T_{j,j+1} T_{j+1}^{pro} \right) T_{N,N+1}$$

Avec :

$$T_{i,j} = \frac{1}{t_{ij}} \begin{pmatrix} 1 & r_{ij} \\ r_{ij} & 1 \end{pmatrix} \quad T_j^{pro} = \begin{pmatrix} e^{i\phi_j} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi_j} \end{pmatrix}$$

Réflexivité

$$r(\lambda, \theta) = \frac{E_{out}^-}{E_{inc}^+} = \frac{\mathfrak{S}_{21}^N}{\mathfrak{S}_{11}^N}$$

Transmittivité

$$t(\lambda, \theta) = \frac{E_{out}^+}{E_{inc}^+} = (\mathfrak{S}_{11}^N)^{-1}$$

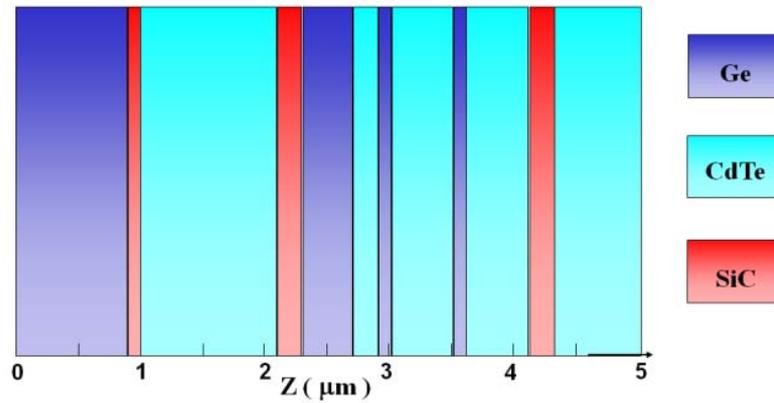
Émissivité

$$\epsilon(\lambda, \theta) = 1 - r(\lambda, \theta) - t(\lambda, \theta)$$

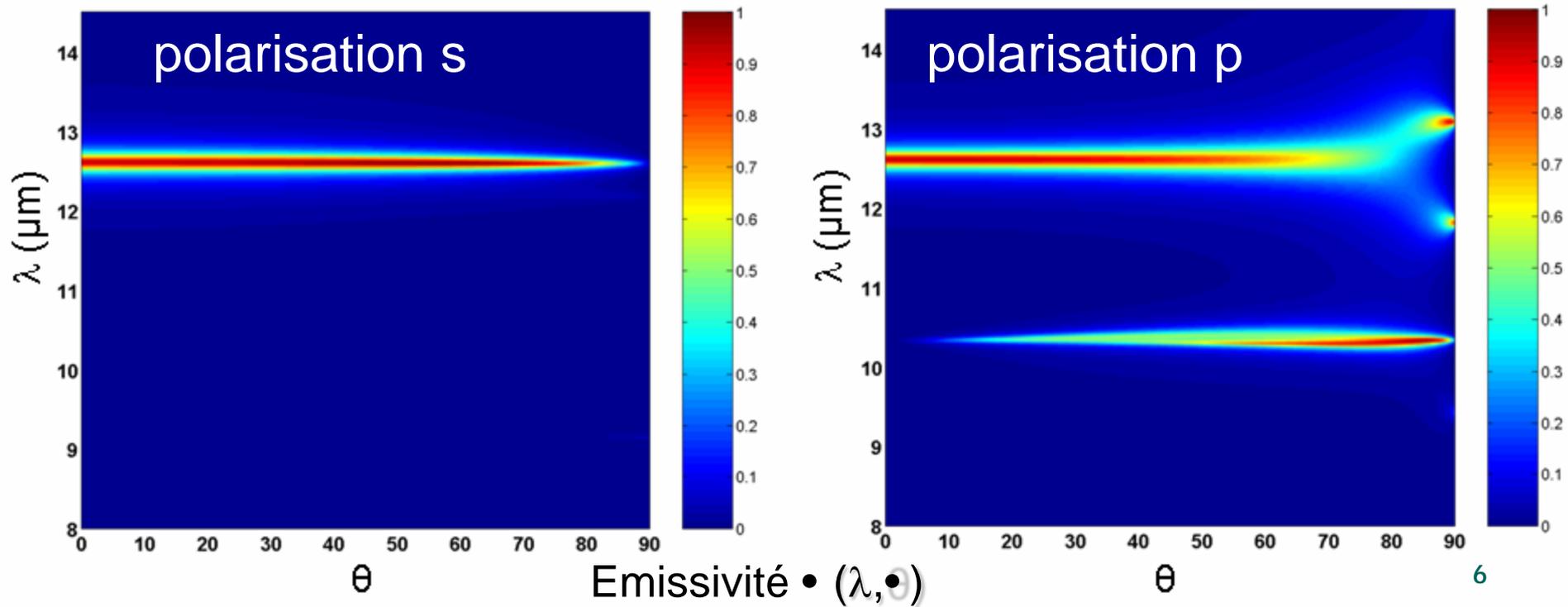
Lois de Kirchhoff

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha(\lambda, \theta) + r(\lambda, \theta) + t(\lambda, \theta) = 1 \\ \alpha(\lambda, \theta) = \epsilon(\lambda, \theta) \end{array} \right.$$

➤ Résultats



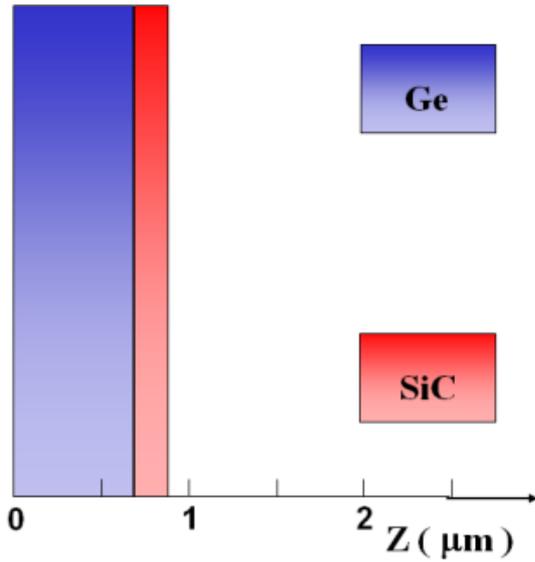
Structure finale



II.

Simplification des structures à émission thermique cohérente

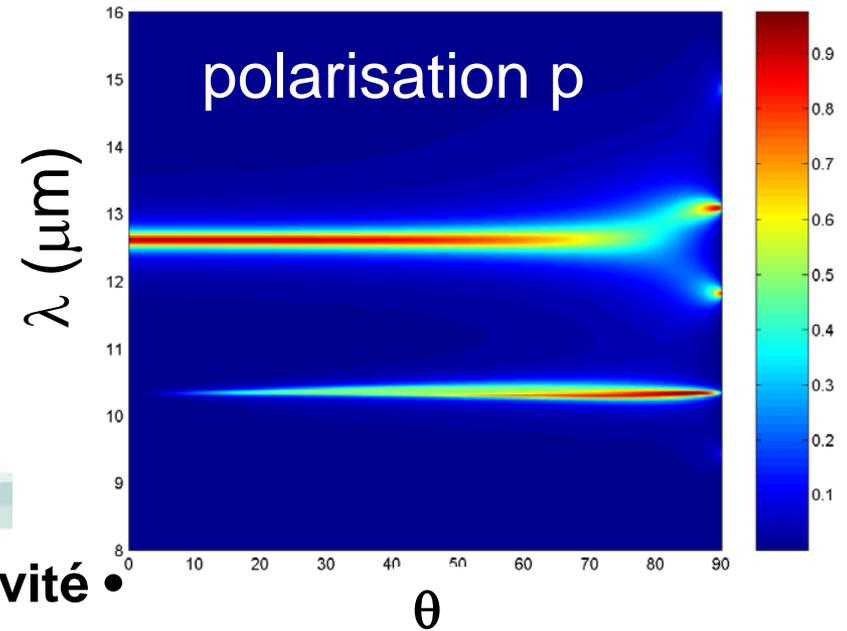
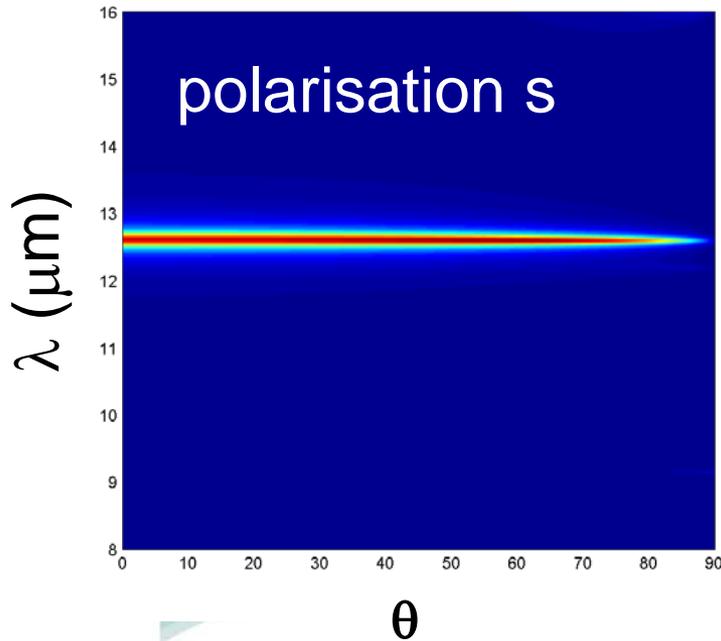
➤ Structure simplifiée



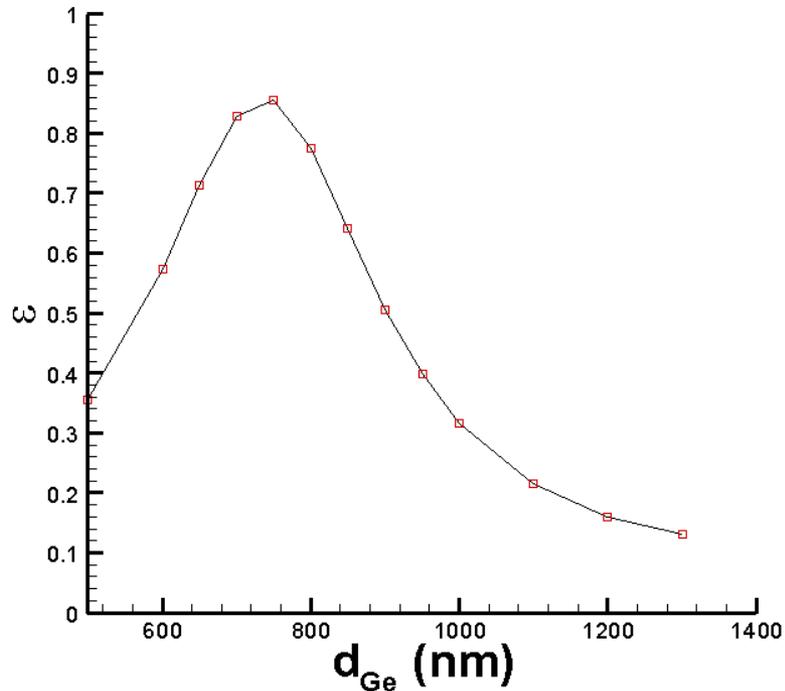
Epaisseur des 2 couches

$$d_{\text{Ge}} = 700 \text{ nm}$$

$$d_{\text{SiC}} = 200 \text{ nm}$$



. Influence de l'épaisseur de la couche de germanium

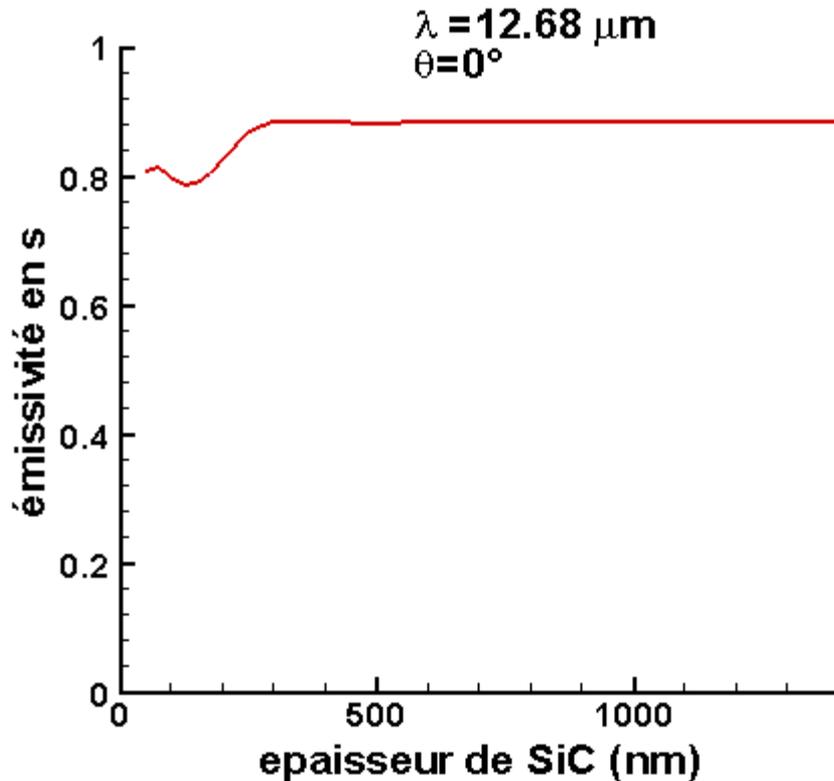


⇒ Épaisseur optimale de 730 nm pour le germanium

⇒ Tolérance de ± 70 nm

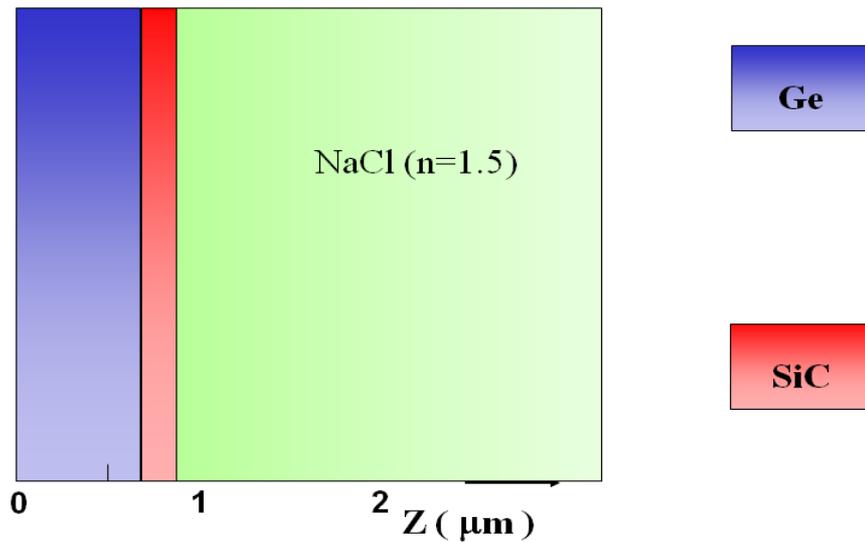
Emissivité à $\theta=0^\circ$, $\lambda=12.6 \mu\text{m}$

. Influence de l'épaisseur de la couche de SiC

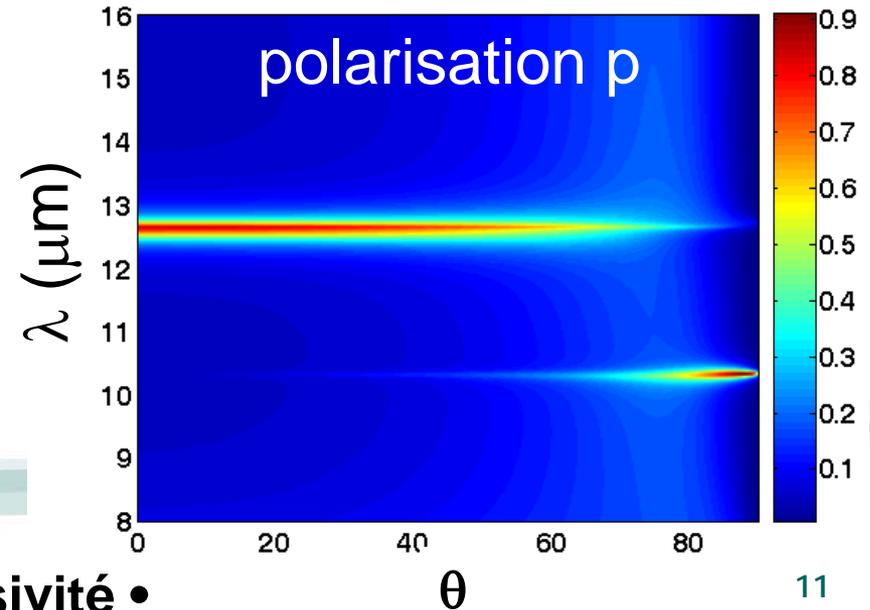
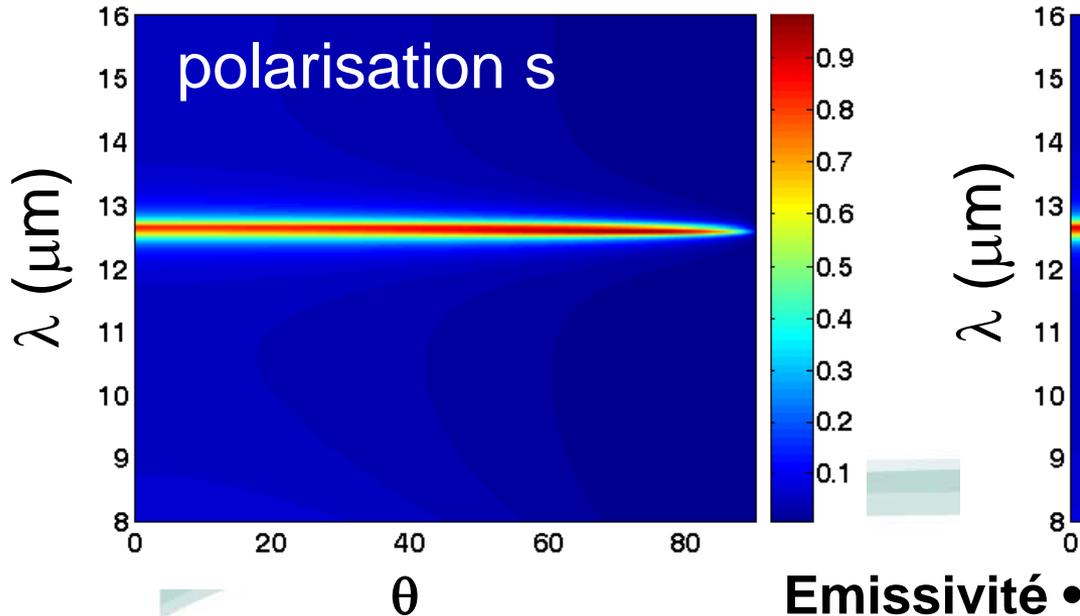


⇒ En incidence normale, peu d'influence de l'épaisseur de SiC sur l'amplitude de l'émissivité, sauf peut-être pour les très faibles épaisseurs ($d_{\text{SiC}} < 200 \text{ nm}$)

. Influence du substrat



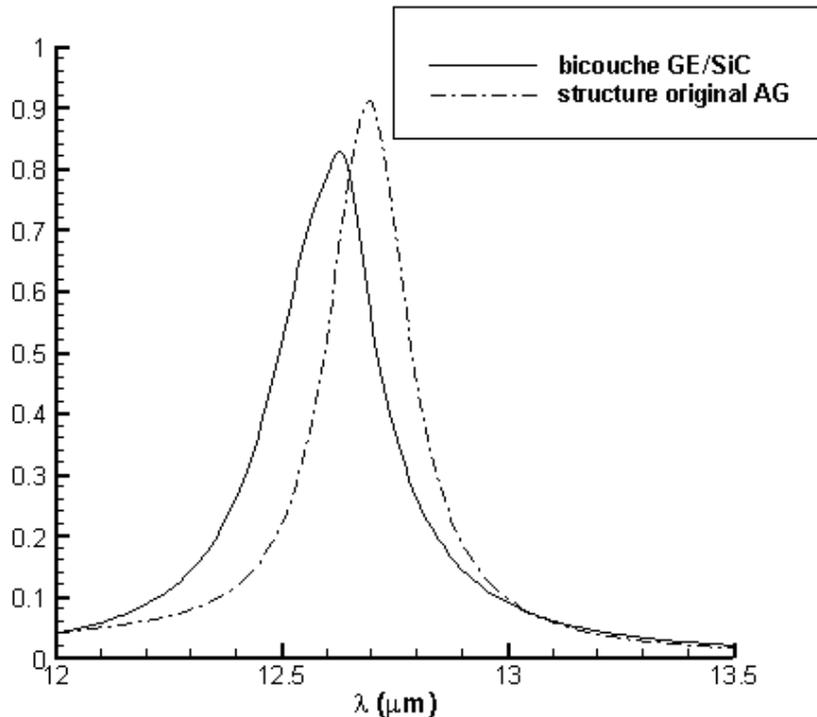
⇒ Cohérence de l'émission thermique conservée pour des substrat avec un faible indice de réfraction



III.

Comparaison structure AG/structure simplifiée

. Comparaison des spectres d'émission en incidence normale de la structure obtenue par optimisation avec l'AG et de la structure bicouche Ge /SiC



⇒ amplitude légèrement plus faible pour la structure bicouche
⇒ l'utilisation de l'AG demeure nécessaire pour l'optimisation

Perspectives

- Réalisation de la source
- Mesures de l'émissivité par spectroscopie Infra-Rouge
- Conception de sources thermiques cohérentes à d'autres longueurs d'onde