

# Mise en évidence de structures périodiques cachées dans des images MEB



Nicolas Stephant, Emmanuel Fritsch  
*Institut des Matériaux Jean Rouxel*



Benjamin Rondeau  
*Laboratoire de planétologie et géodynamique*

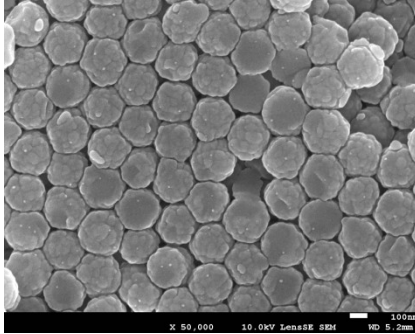


Jean-Pierre Gauthier  
*Centre de recherche gemmologique de Nantes*

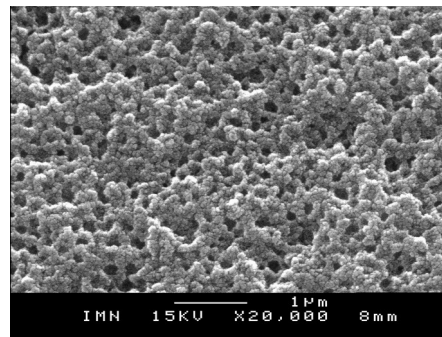
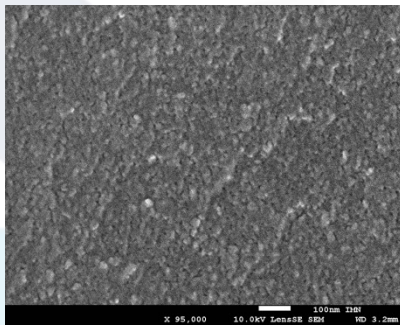


Jason Cody  
*Lake Forest college - Illinois*

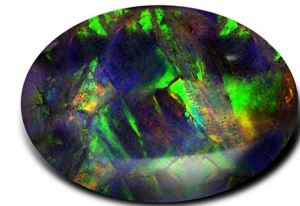
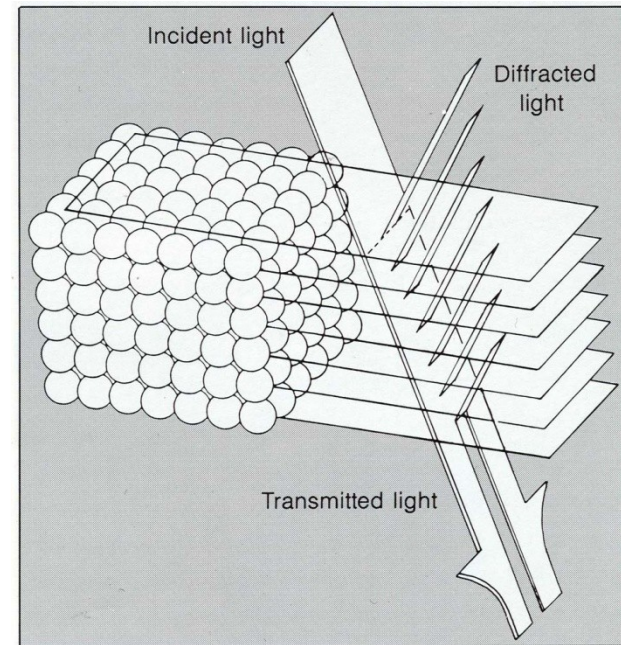
# Une structure ordonnée mais souvent invisible : l'opale noble



Rarement : structure clairement visible

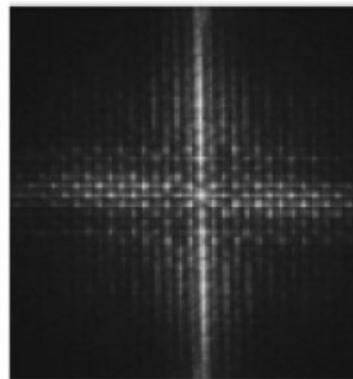
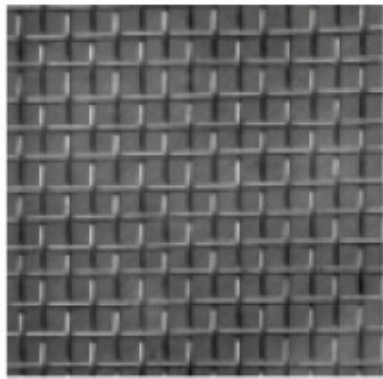
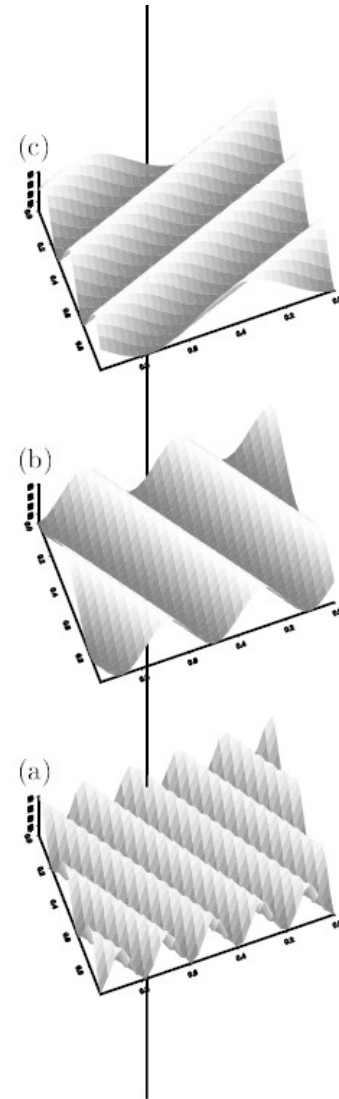
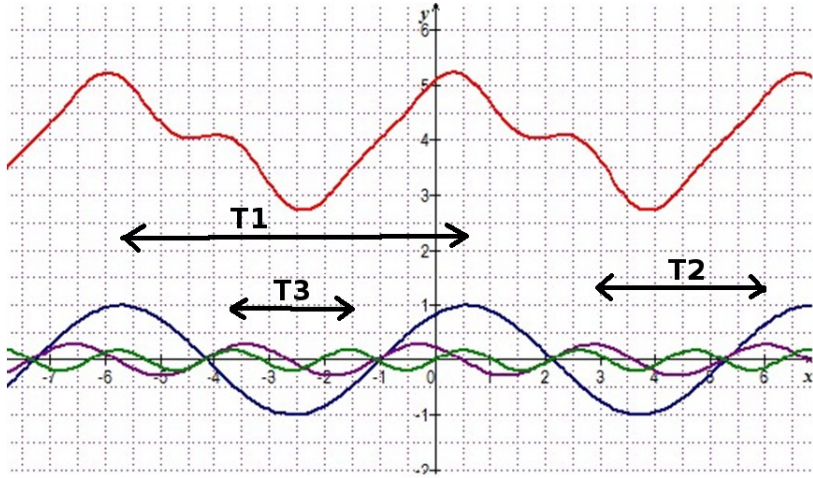


Souvent : structure noyée dans un ciment siliceux



# ❖ Séries de Fourier

# ❖ Transformée de Fourier

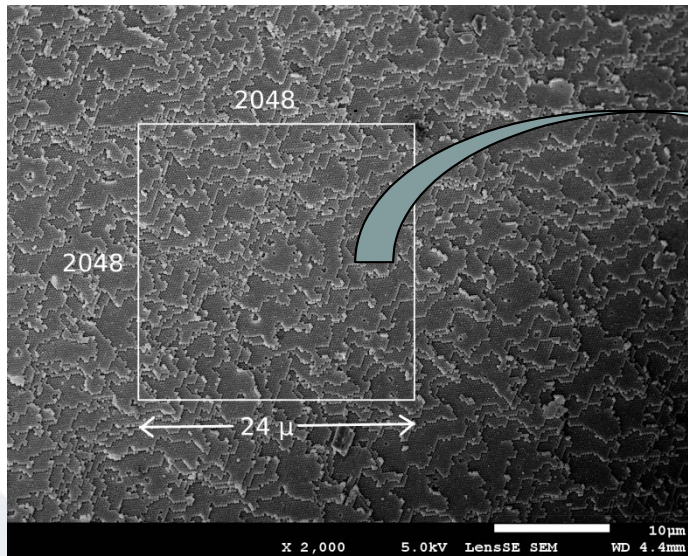


(a) A periodic texture (D1).

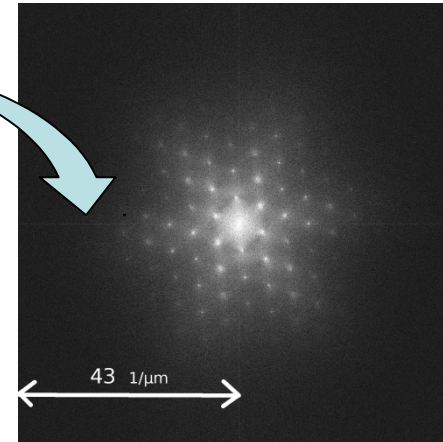
(d) The Fourier spectrum of (a).

# APPLICATION A L'OPALE SANS CIMENT

## Image



## FFT



- espace réciproque
- l'unité de mesure est l'inverse du μ

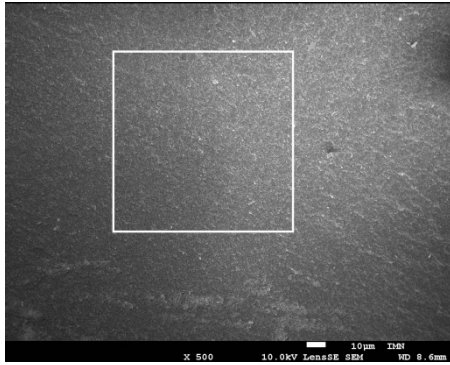
Taille du pixel :  $24\mu/2048 = 11.63 \text{ nm}$   $\longrightarrow$  Largeur FFT :  $86 \text{ } 1/\mu\text{m}$  (soit :  $1/11.63 \text{ nm}$ )

**La FFT est symétrique par rapport au centre : La taille du plus petit motif périodique visible est donnée par la moitié de la taille de la FFT : 23 nm ( $1/43$ )**

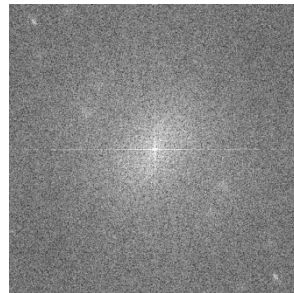
Autrement dit :

**la résolution de la FFT dépend du grandissement et du nombre de pixels sur la largeur de l'image**

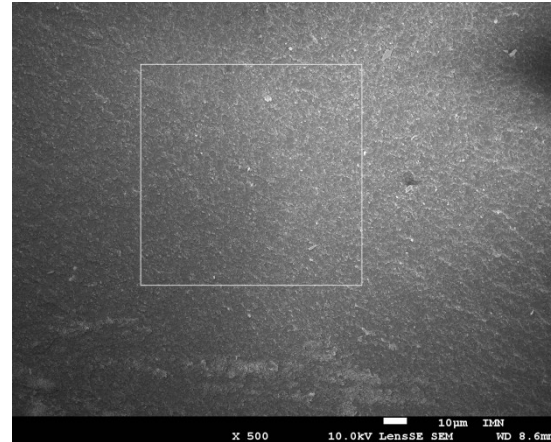
# PARAMETRES D'ACQUISITION



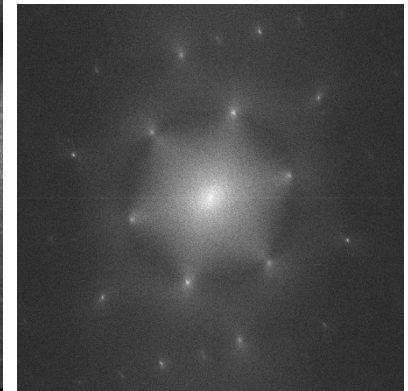
MAG 500  
1280 X 1024 pixels  
Taille pixel : **190 nm**



Plus petite période  
visible : **380 nm**

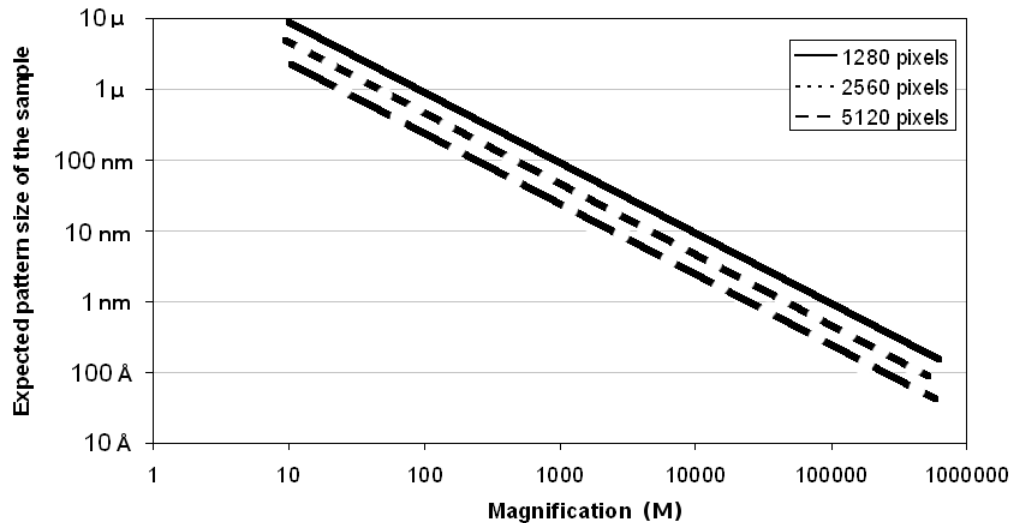


MAG 500  
5120 X 4096 pixels  
Taille pixel : **46 nm**



Plus petite période  
visible : **92 nm**

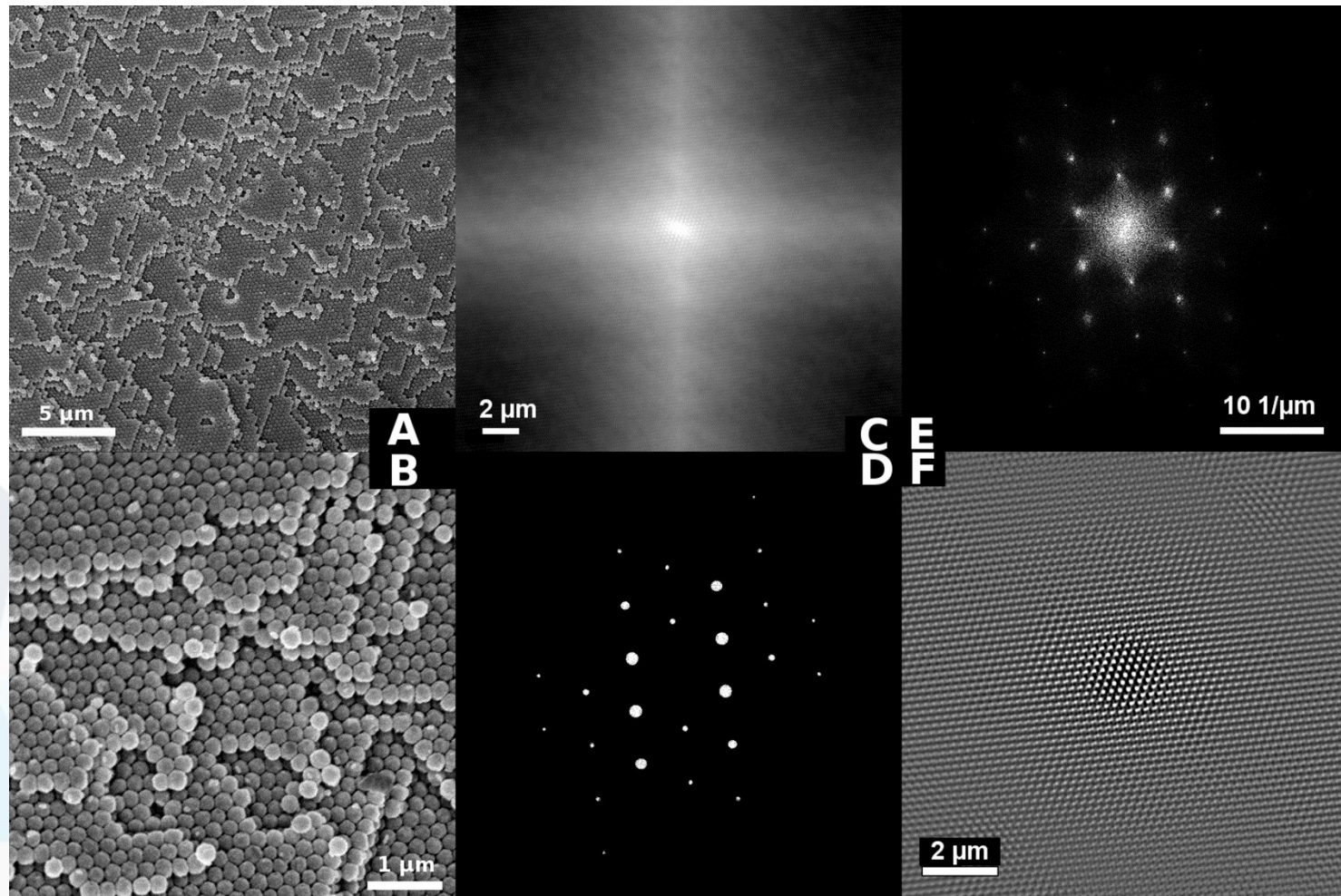
FFT distance limit for 3 image resolutions of JEOL 7600F (Log scale)



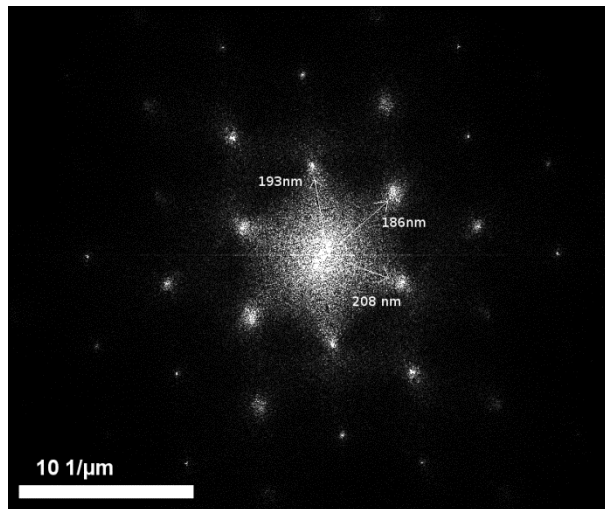
Plus petite période = 2 fois la taille du pixel

Pour optimiser le résultat : vitesse photo très lente  
**Temps d'acquisition ~ 20 – 30 minutes**

# RESULTATS SUR L'OPALE SANS CIMENT

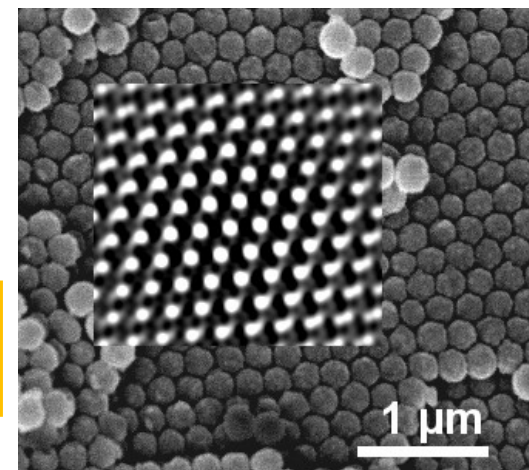


# RESULTATS SUR L'OPALE SANS CIMENT

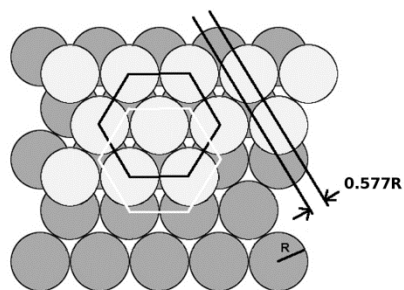


Taille moyenne des billes de silice : **226 nm**

**Visualisation du motif périodique avec l'IFFT**

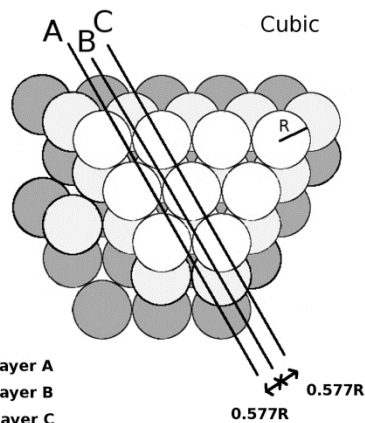


Hexagonal

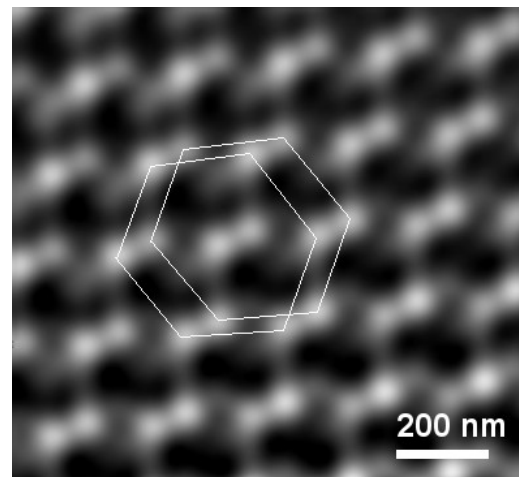


- Odd
- Even

Cubic

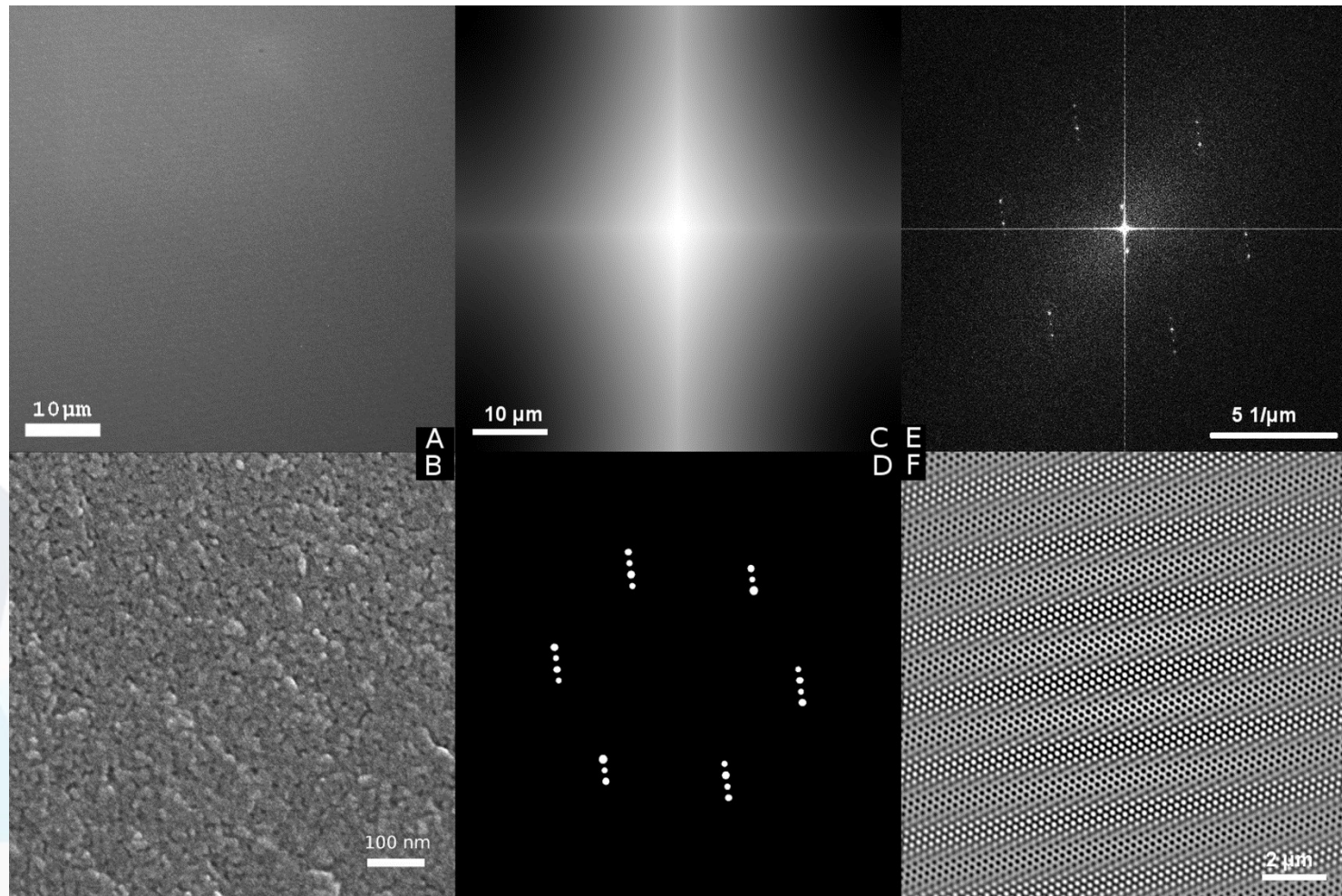


- Layer A
- Layer B
- Layer C



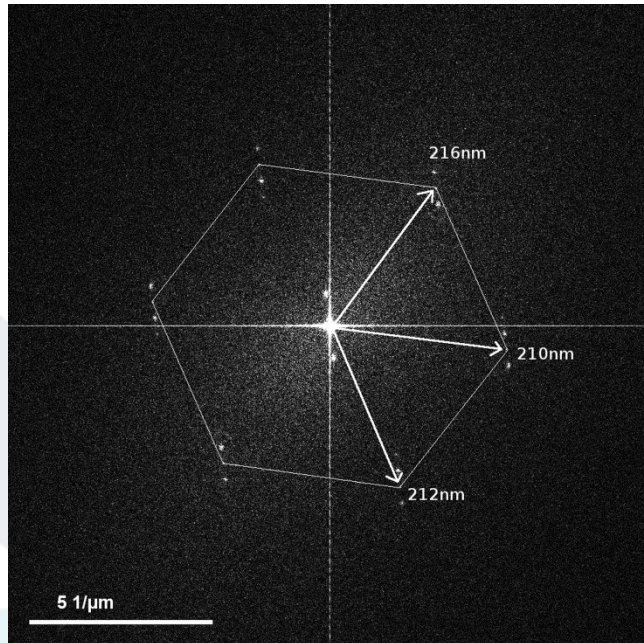
**Détermination du type d'empilement : Hexagonal**

# APPLICATION A L'OPALE AVEC CIMENT

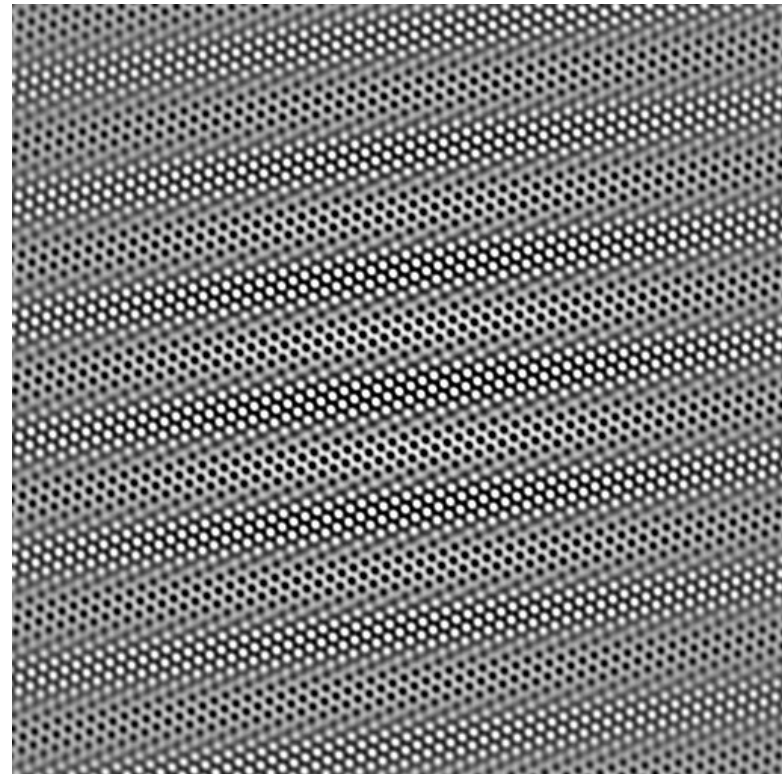


# RESULTATS SUR L'OPALE AVEC CIMENT

Mise en évidence du réseau périodique alors qu'il est indiscernable sur l'image



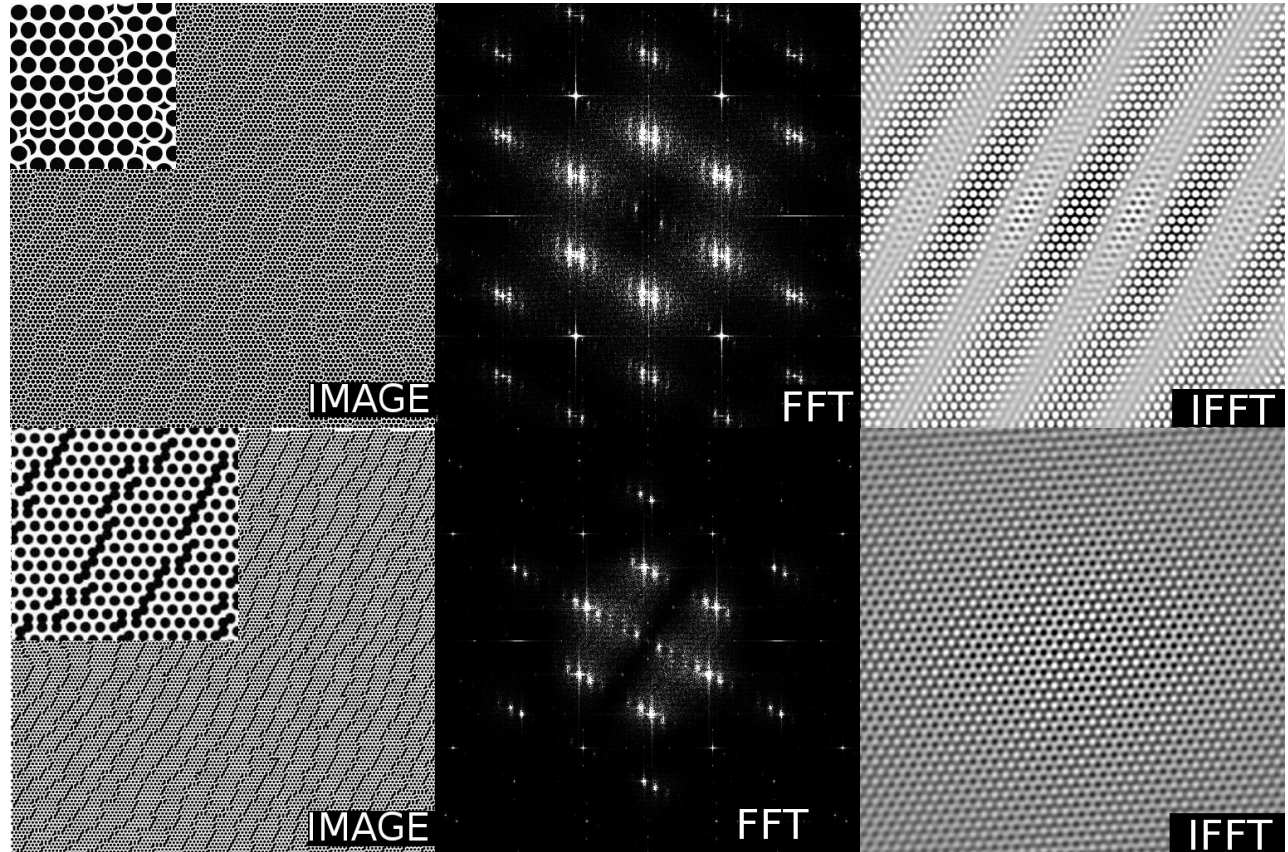
Taille moyenne des billes de silice : **246 nm**



**l'IFFT est plus difficile à interpréter.  
Pas d'évidence sur le type d'empilement.**

# SIMULATION POUR LES DEUX TYPES D'EMPILEMENTS

Empilement hexagonal  
(2 couches de billes)



Empilement cubique  
(3 couches de billes)

En observant l'alignement des spots sur la FFT et les contrastes sur l'IFFT :  
**La FFT et l'IFFT sont plus proches de l'expérience pour l'empilement cubique.**

# CONCLUSION

---

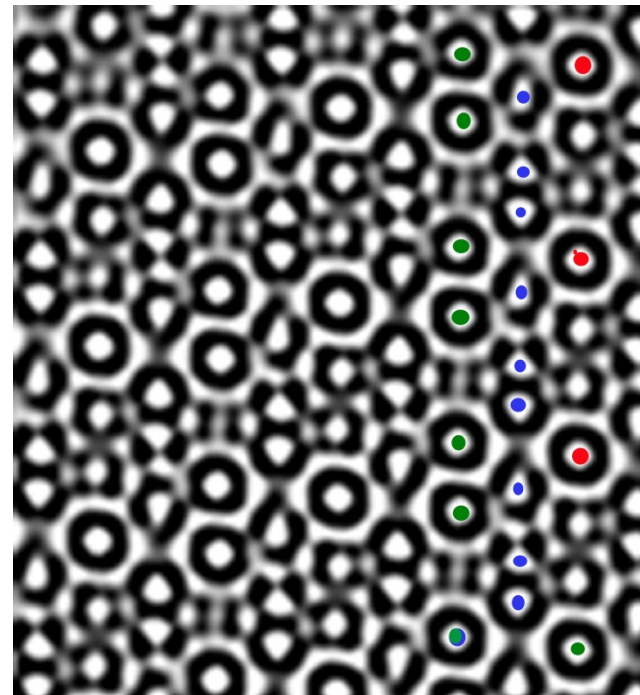
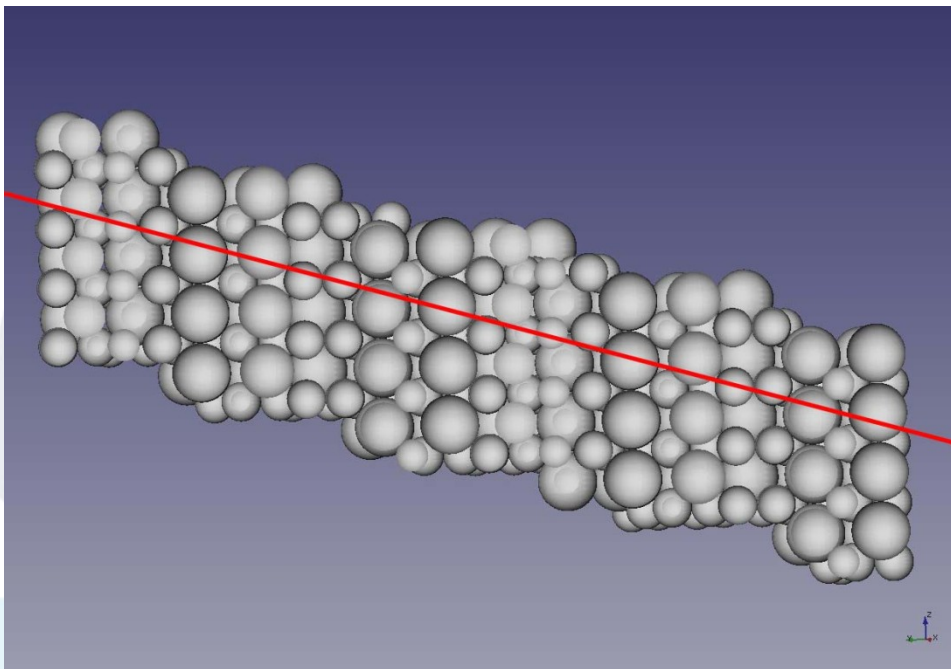
## ACQUIS

- Mesures statistiques sur un grand nombre d'éléments
- Détection de la périodicité sur un réseau « noyé »
- Détermination de tout ou partie de la structure suivant les conditions
- Mesure sans traitement agressif de la surface (dans le cas de l'opale)

## EN COURS D'ACQUISITION

- Diminution de la taille du pixel (constructeurs : images plus « grosses » SVP) entraînant une meilleure précision de la FFT et de l'IFFT
- Outils de simulation et puissance de calcul
- Bibliothèque de structures (opales bi-disperses par exemple)

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**



**A bientôt peut-être avec des opales bi-disperses...**