

Quel Détecteur pour quelle imagerie X

Kadda Medjoubi



Sommaire

I. L'imagerie par rayons X au synchrotron

- I. Le synchrotron
- II. L'imagerie X
 - I. Plein champ
 - II. Diffraction cohérente
 - III. Multimodale par balayage rapide

II. Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

- I. Définition et mesures des figures de mérite
- II. Caractérisation détecteurs:
 - I. Caméra X pour la tomographie X
 - II. XPAD

III. Développements et applications en imagerie X au synchrotron Soleil

- I. Imagerie X couleur avec le XPAD
- II. Applications de l'imagerie X multimodale
- III. Evaluation de la ptychographie

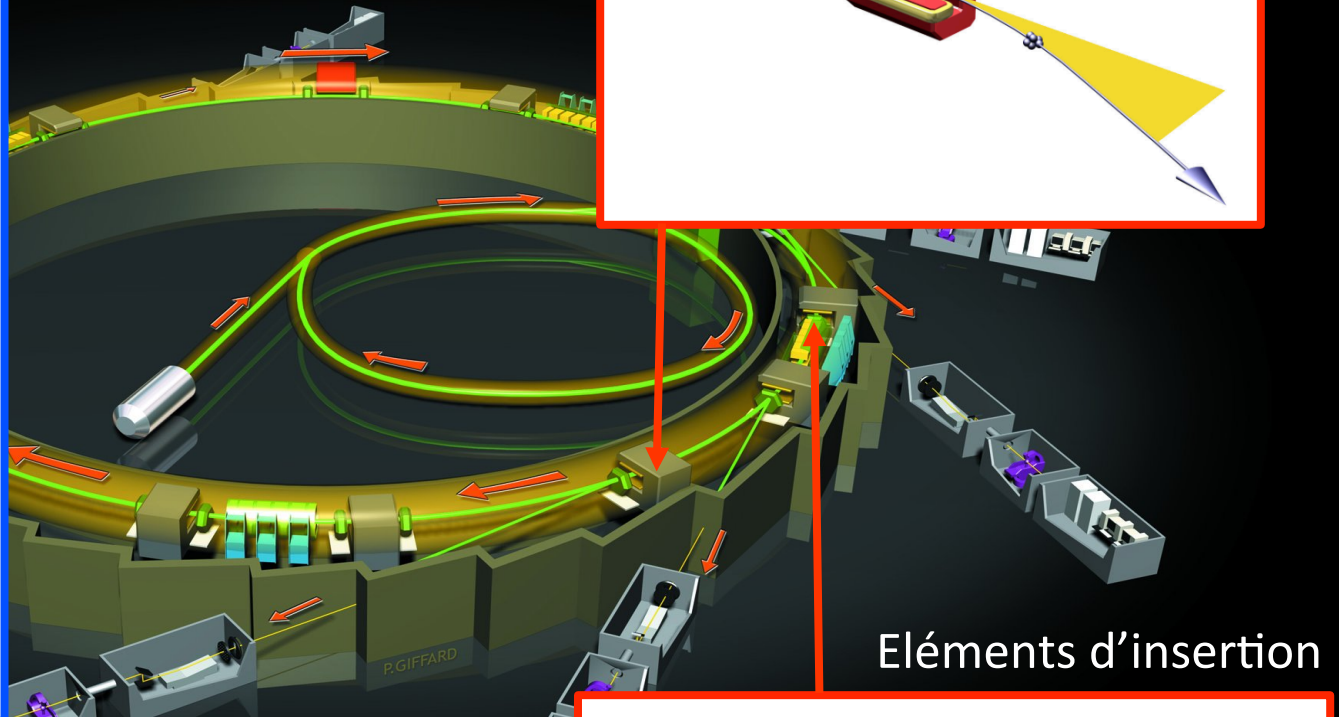
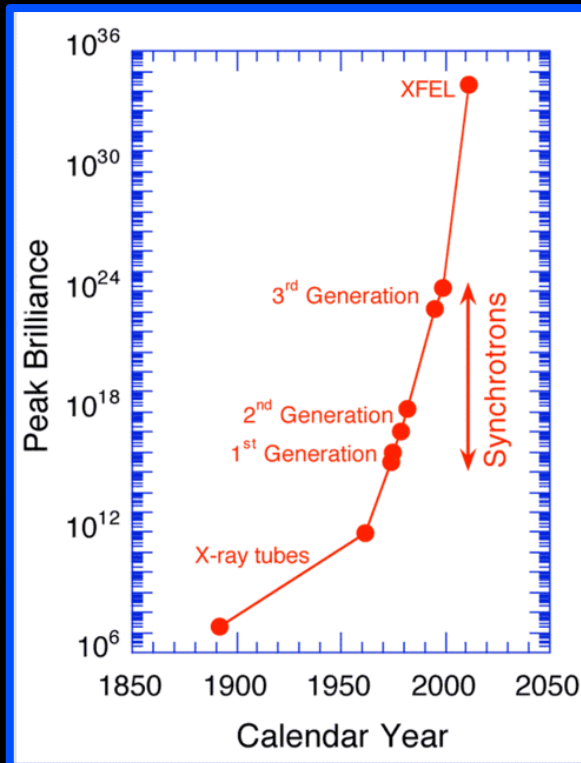
I. L'imagerie par rayons X au synchrotron

Le synchrotron

Source de rayonnement intense de l'IR lointain aux X-durs

Aimant de courbure

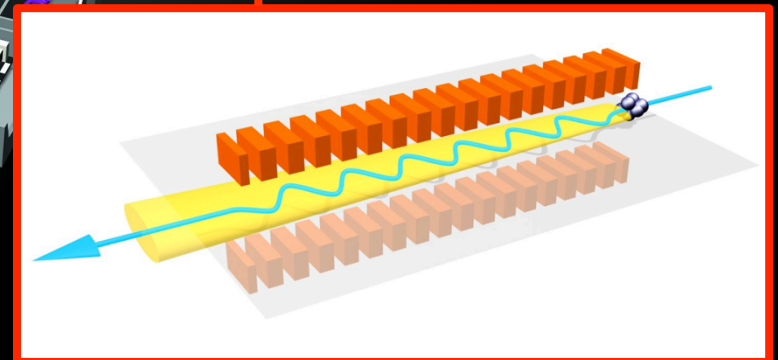
Brillance = Flux / taille source / Ω



forte brillance $> 10^{10}$ x brillance (source labo)!!

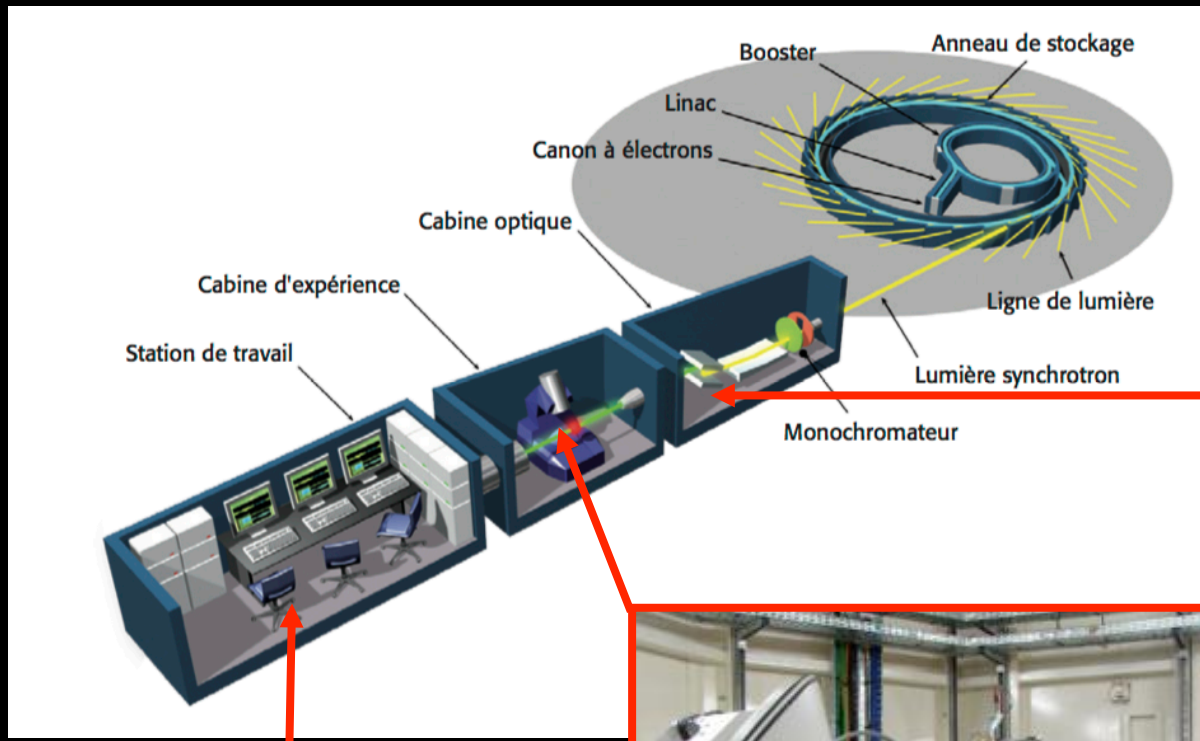
Source nécessaire pour expériences nécessitant :

- Haut flux faisceau monochromatique
- Et/ou
- Cohérence

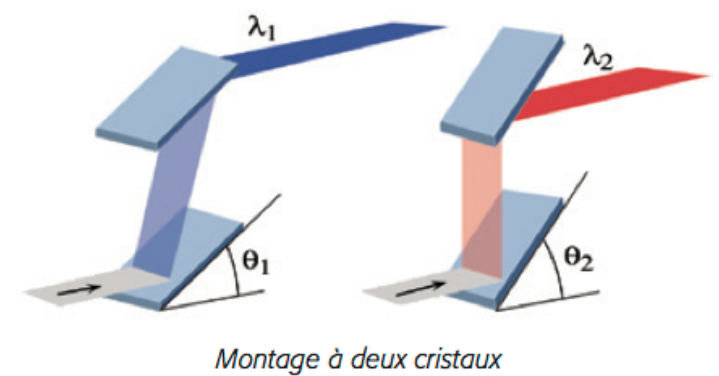


Le synchrotron

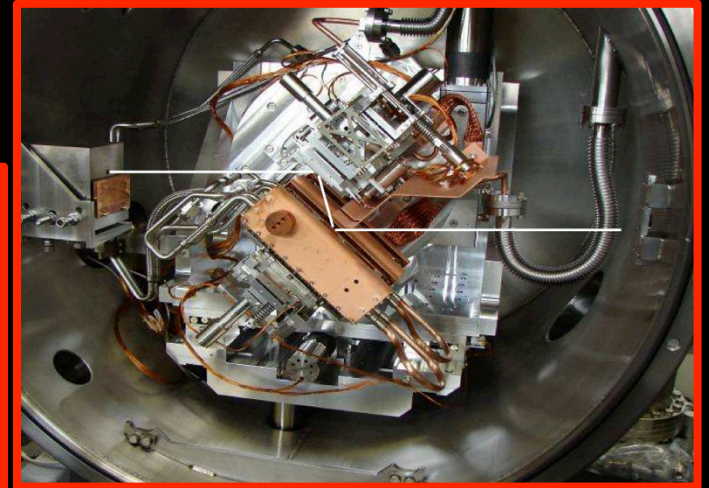
Une ligne de lumière



Monochromateur

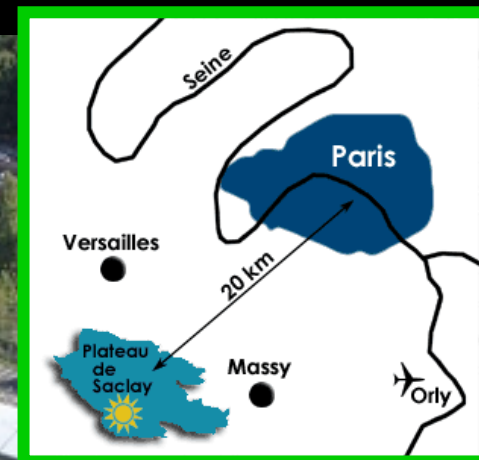


Station expérience



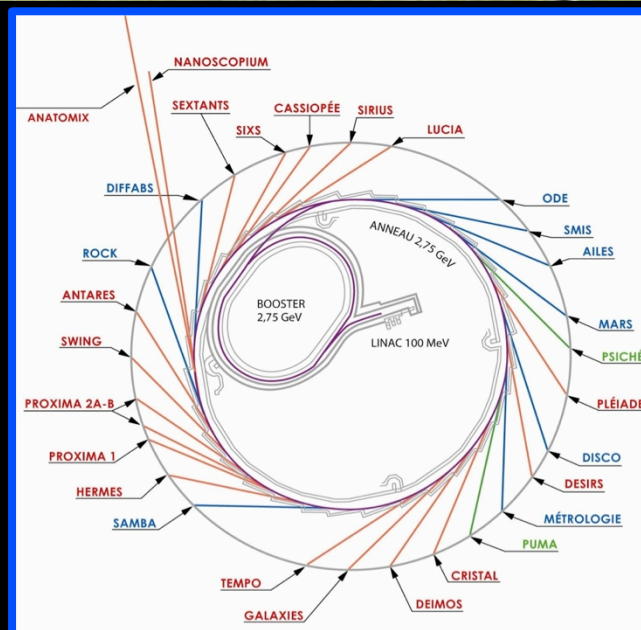
Salle de pilotage

Le synchrotron Soleil



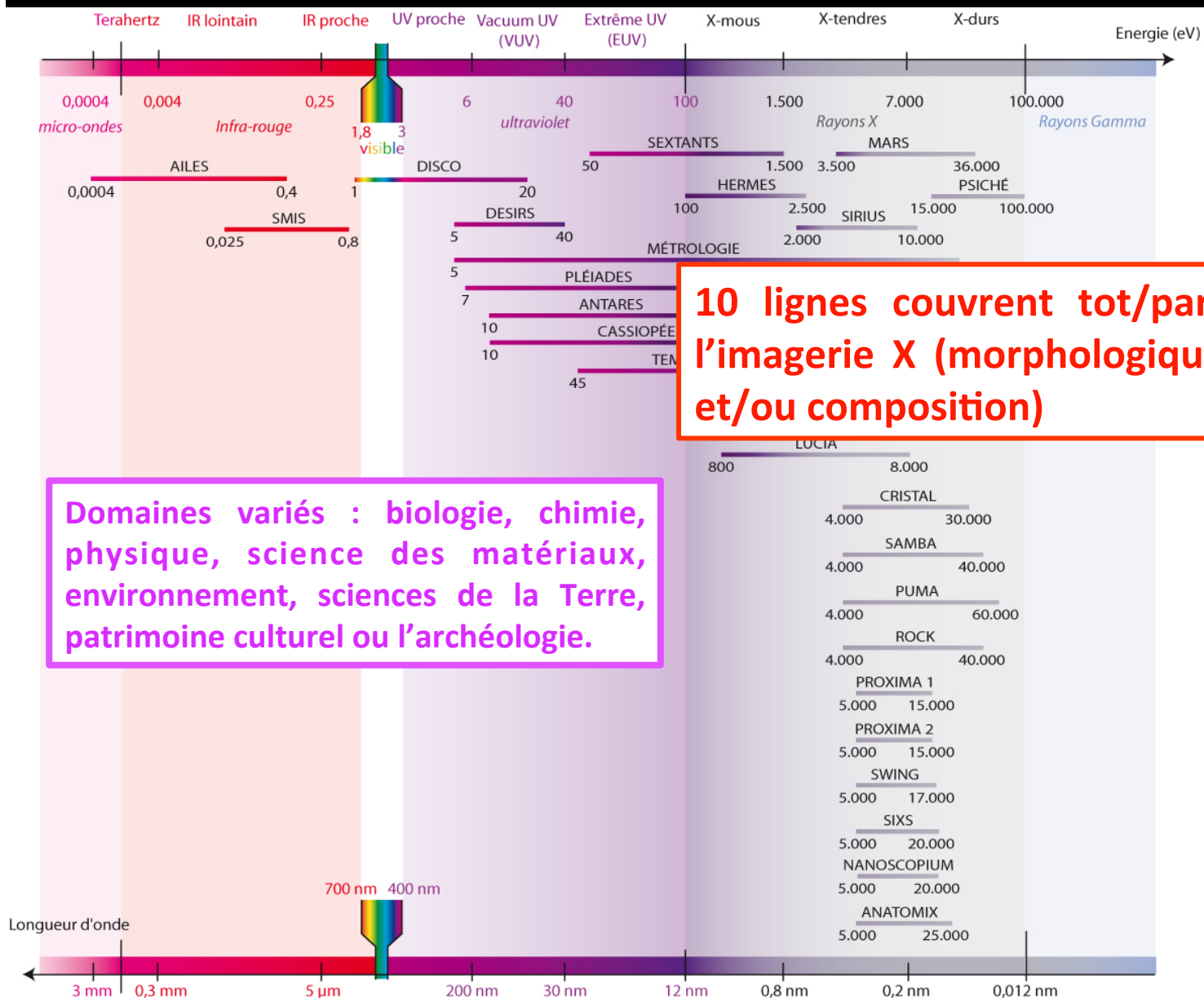
Main parameters of Soleil

- Machine Energy : 2.75 GeV
- Ring circumference : 354 m
- Current : 500 mA



29 lignes de lumière
24 en fonctionnement
43 emplacements

Le synchrotron Soleil



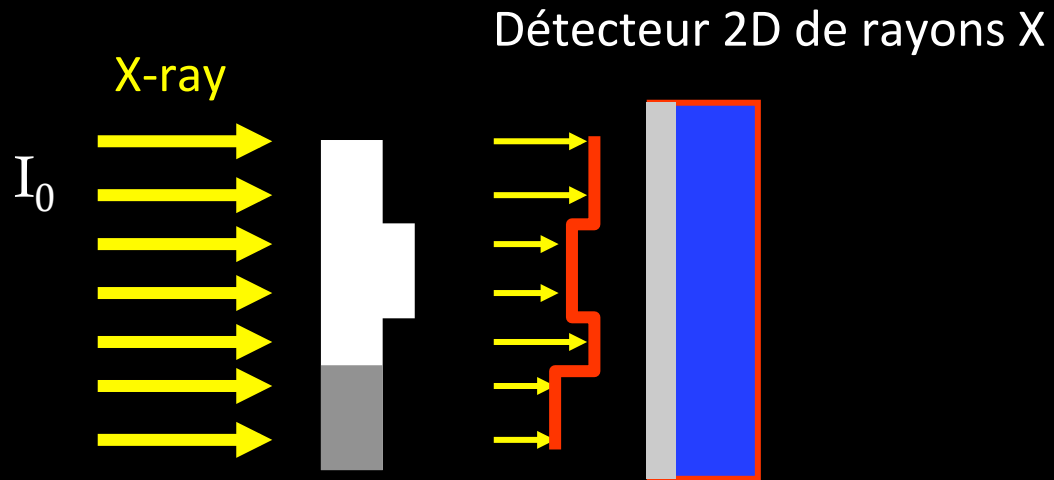
10 lignes couvrent tot/part l'imagerie X (morphologique et/ou composition)

Domaines variés : biologie, chimie, physique, science des matériaux, environnement, sciences de la Terre, patrimoine culturel ou l'archéologie.

- LUCIA** : XAS, microscopie X, fluo X
- ODE** : XAS (dispersif), XMCD
- SMIS** : microscopie IR, spectroscopie IR
- AILES** : spectroscopie IR, THz
- MARS** : XAS, fluo X, XRD, SAXS – sur matériaux radioactifs
- PSICHE** : XRD, tomographie (absorption) - haute P et T
- PLÉIADES** : XPS, absorption VUV-X mous
- DISCO** : microscopie UV- visible, spectroscopie UV, fluo UV, dichroïsme UV
- DESIRS** : absorption UV-VUV, dichroïsme VUV
- MÉTROLOGIE** : diffusion, XRD
- PUMA** : XAS, XRD, microscopie X, tomographie, fluo X
- CRISTAL** : XRD – matière condensée
- DEIMOS** : XMCD
- GALAXIES** : diffusion X inélastique, XPS haute énergie
- TEMPO** : XAS, XPS résolue en temps, XMCD / XMLD
- SAMBA** : XAS, Raman
- HERMES** : microscopie X mous, XPS
- PROXIMA1** : XRD - biocristallographie
- PROXIMA2** : XRD – biocristallographie
- SWING** : SAXS
- ANTARES** : XAS, microscopie, XPS résolue en angle, échelle nm
- ROCK** : XAS
- DIFFABS** : XRD, XAS, fluoX
- ANATOMIX** : microscopie X, tomographie (contraste de phase), échelle nm
- NANOSCOPIUM** : XAS, fluo X, microscopie X échelle nm
- SEXTANTS** : XAS, XRD, diffusion X résonante
- SIXS** : SAXS et XRD – surfaces et interfaces
- CASSIOPEE** : XAS, XPS résolue en angle, en énergie, en spin
- SIRIUS** : XRD, SAXS en incidence rasante

L'imagerie par rayons X

L'imagerie plein champ d'absorption

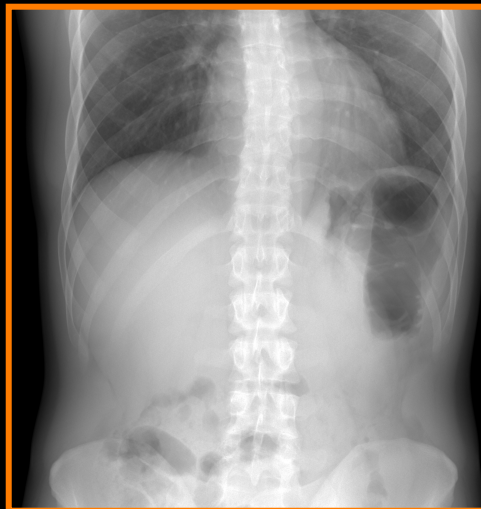


Variation d'absorption

$$Att(x) = \ln \left(\frac{I_0(x)}{I(x)} \right) = \int \mu(x, y) dy$$

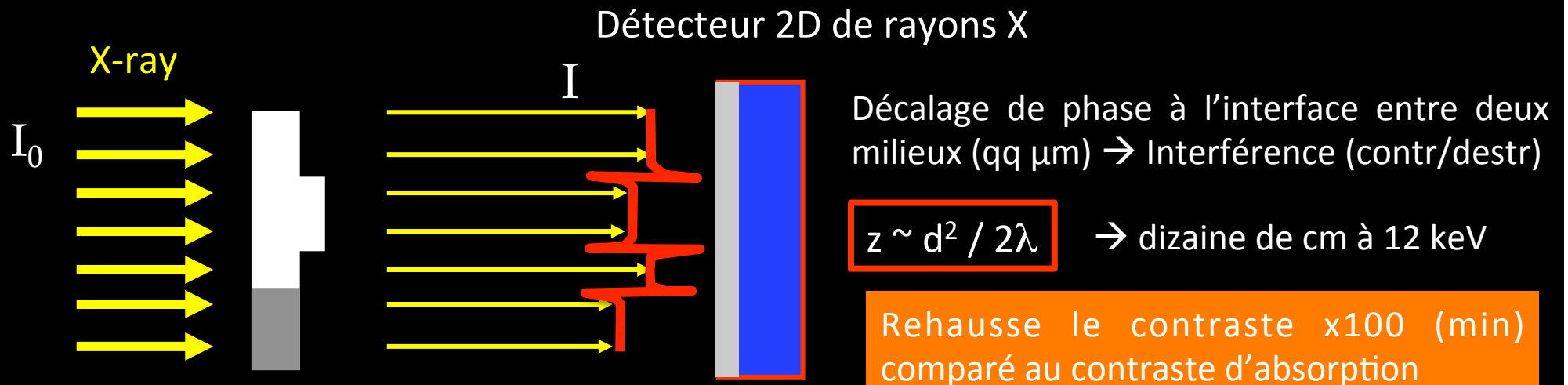
Imagerie d'absorption au synchrotron doit se faire au contact

Radiographie X médical



L'imagerie par rayons X

L'imagerie plein champ à contraste de phase



Sur une ligne synchrotron :

- Petite taille de source
- Longue distance source – échantillon

Cohérence partielle

Détecteur 2D de rayons X

- Haute résolution spatiale (taille pixel micron - submicron)
- Champ de vue $\sim 5 \text{ mm}^2$ ($> 2000 \times 2000$ pixels)
- Résistant au faisceau direct synchrotron (10^{12} à $10^{13} \text{ ph/s/mm}^2$)



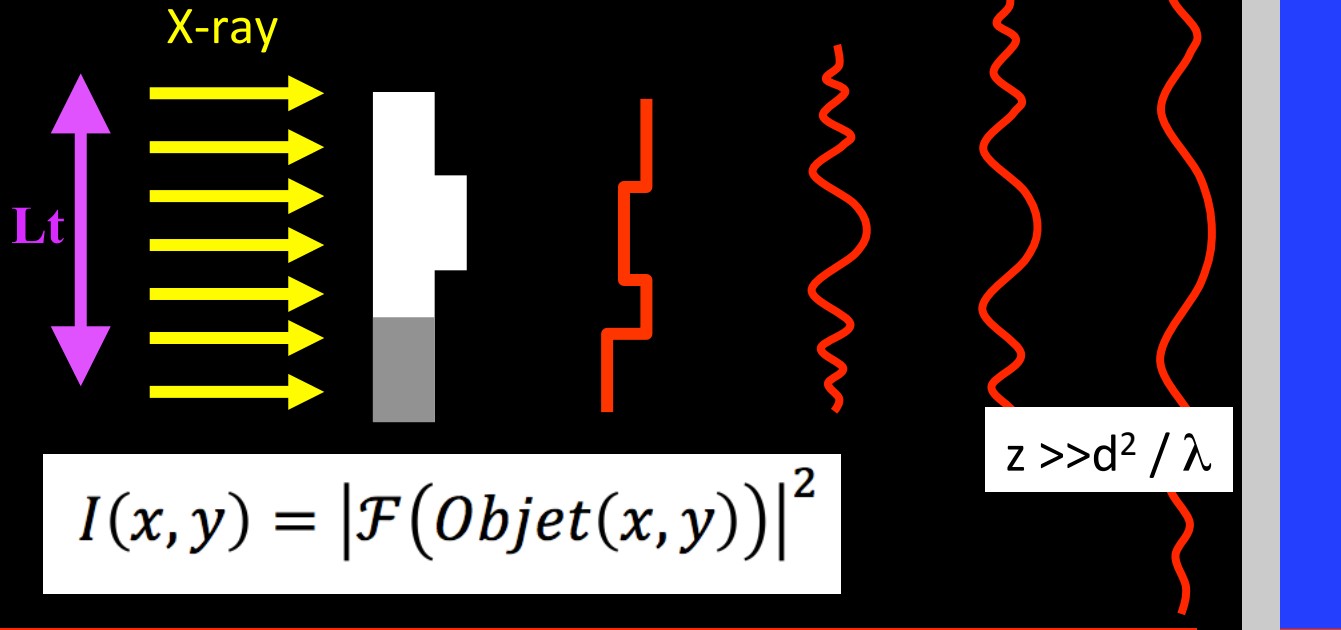
ESRF Grenoble and UMR CNRS 6118 Rennes

Détecteur à conversion indirect (scintillateur + optique + caméra CCD ou Scmos)

L'imagerie par rayons X

L'imagerie par diffraction cohérente

Imagerie à une échelle de qq 10 nm



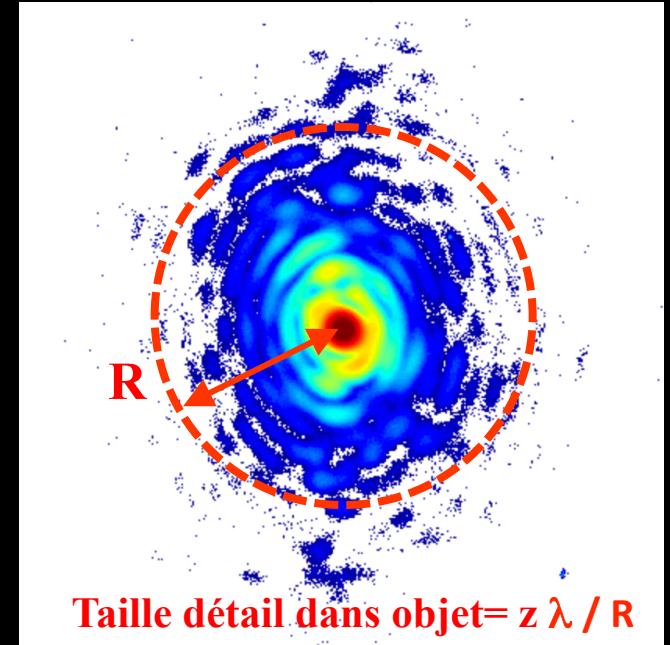
Méthode d'inversion itérative (phase retrieval) pour CDI, scanning CDI (Ptychographie)

Détecteur 2D de rayons X



- Sensible au photon unique (événements aux grands angles)
- Champ de vue > 1000 x 1000 pixels

Imagerie « champ lointain »



Détecteurs pixels à comptage de photons

Pixel de 100 μm , 1000 x 1000 pixels, 12 keV, $z=10\text{m}$, Objet de 10 μm de diam
→ Taille pixel objet = 50 nm

L'imagerie par rayons X

L'imagerie Multimodale par balayage

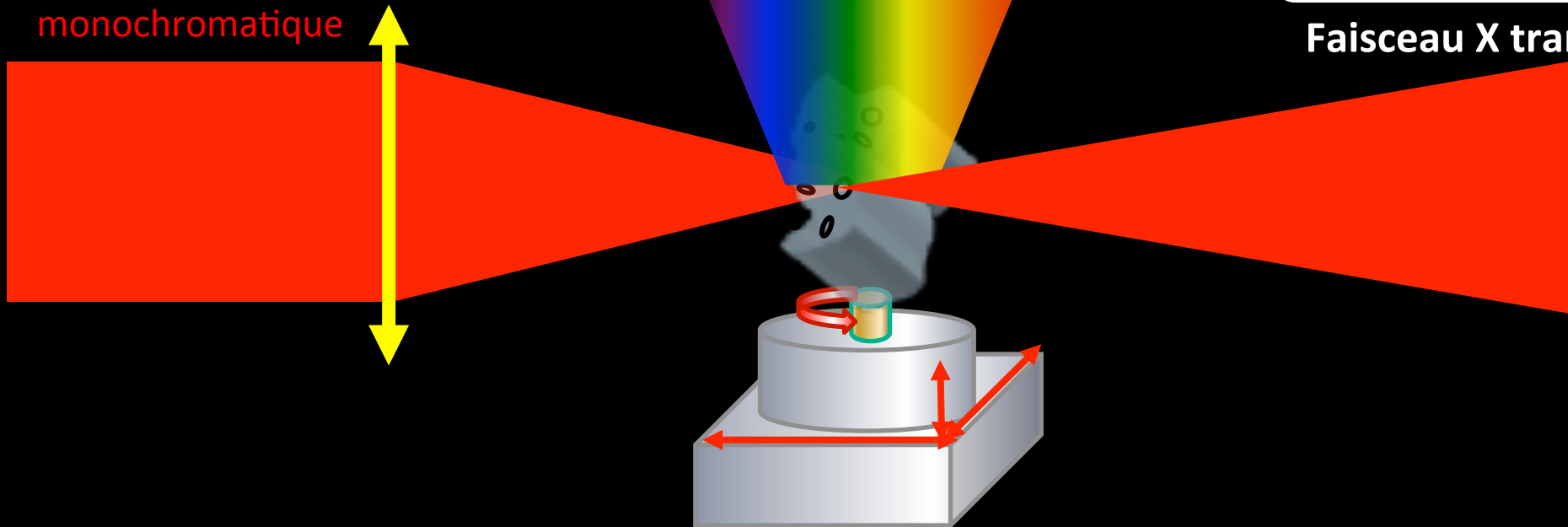
Composition chimique

Fluorescence X

**Information
morphologique**

Faisceau X transmis

Faisceau X
monochromatique



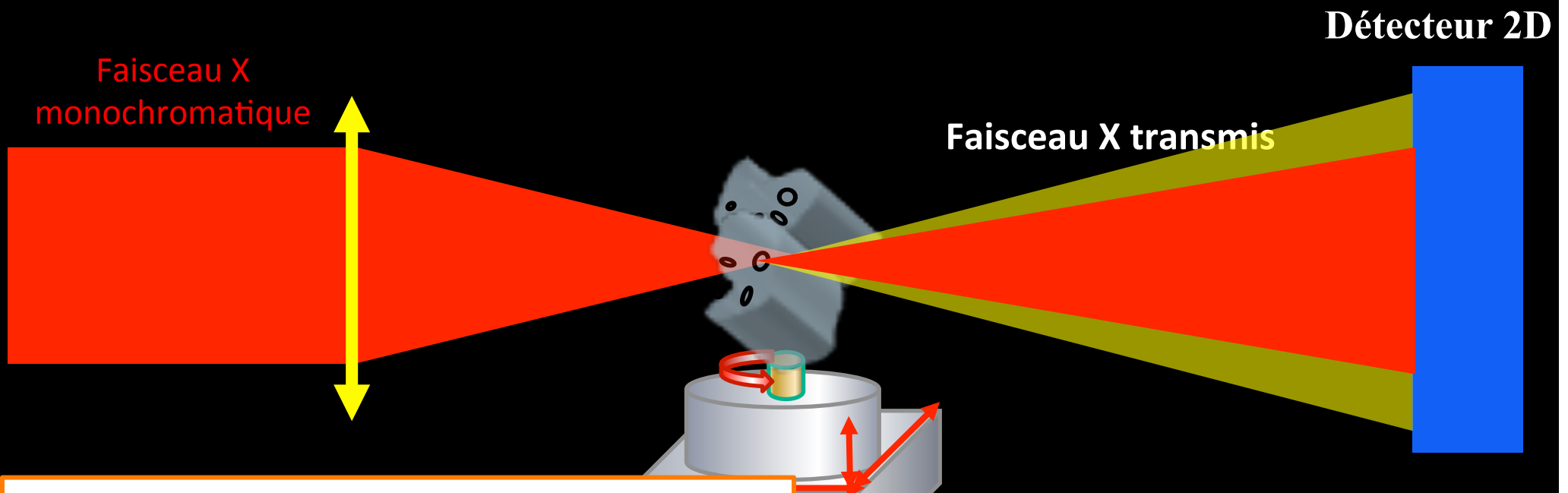
L'imagerie par rayons X

L'imagerie Multimodale

**Information
morphologique**

Absorption :

- Intensité total du faisceau transmis
- Peu efficace pour des échantillons constitués d'éléments légers (faible Z)



Phase :

- Réfraction du faisceau (dé-phasage)
- Sensible pour des échantillons constitués d'éléments légers (faible Z)

Dark Field (diffusé):

- Intensité totale diffusé
- Structure granulaire

L'imagerie par rayons X

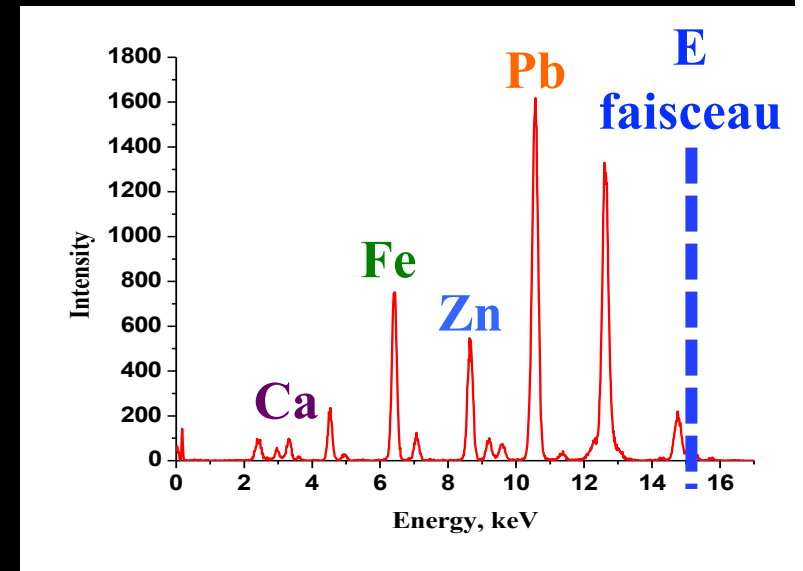
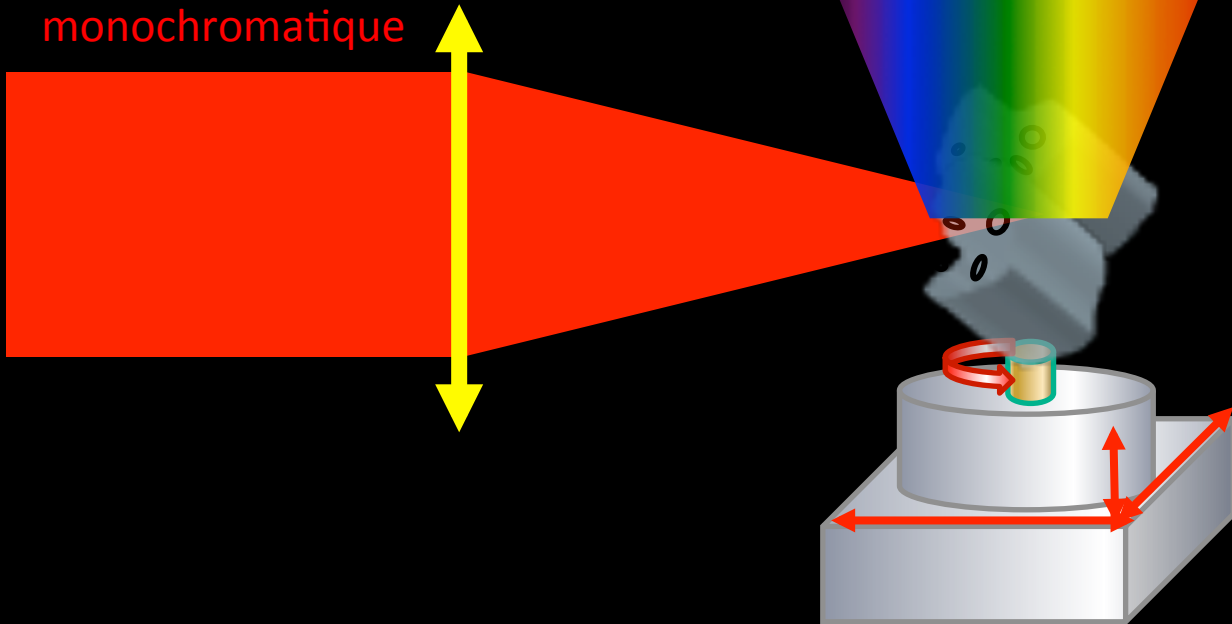
L'imagerie Multimodale par balayage

Composition chimique

Détecteur résolu en énergie

Fluorescence X

Faisceau X
monochromatique



Intensité d'un pic



~nombre d'atome dans le volume,
analyse quantitative
concentration

L'imagerie par rayons X

L'imagerie Multimodale par balayage

Révolution dans l'acquisition (Spécifications issus de Nanoscopium)

Acquérir simultanément et rapidement (ms) les informations morphologiques et chimiques



Challenge technique

- Acquisition de plusieurs détecteurs en parallèle lors d'un déplacement continu de l'échantillon
- Traiter et stocker un grand volume de donnée



FLYSCAN

Développement d'un outil générique transposable sur différentes lignes

Autres applications : tomographie plein champ, Diffraction de poudre, bio-cristallographie, etc ...

Forte pression sur les performances d'acquisition des détecteurs 2D :

- fps 1kHz
- liens 10 Gbits

N. Leclercq, J. Berthault, F. Langlois, S. Le, S. Poirier, J. Bisou, F. Blache, K. Medjoubi, C. Mocuta (2015). ICALEPCS proc.

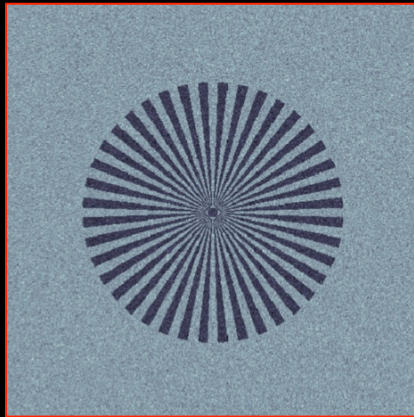
II. Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Objectifs

Optimiser le choix/paramétrage d'un détecteur 2D en fonction de l'expérience

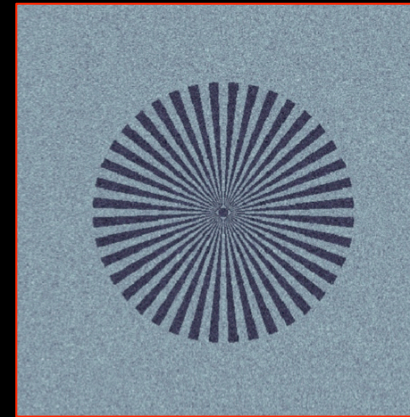
Entrée



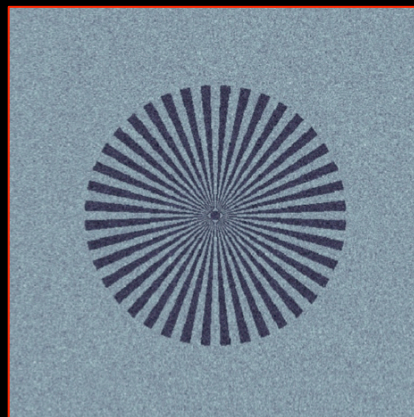
Système d'imagerie
parfait



Sortie



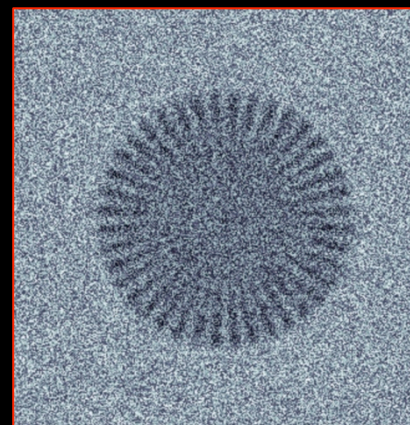
Reproduction à
l'identique de l'image
en entrée



Système d'imagerie
réel



- Efficacité
- Dynamique
- Linéarité
- Elargissement spatial
- Echantillonnage spatial
- Bruit



- Contraste diminué
 - Bruit augmenté
- Signal/bruit
diminué

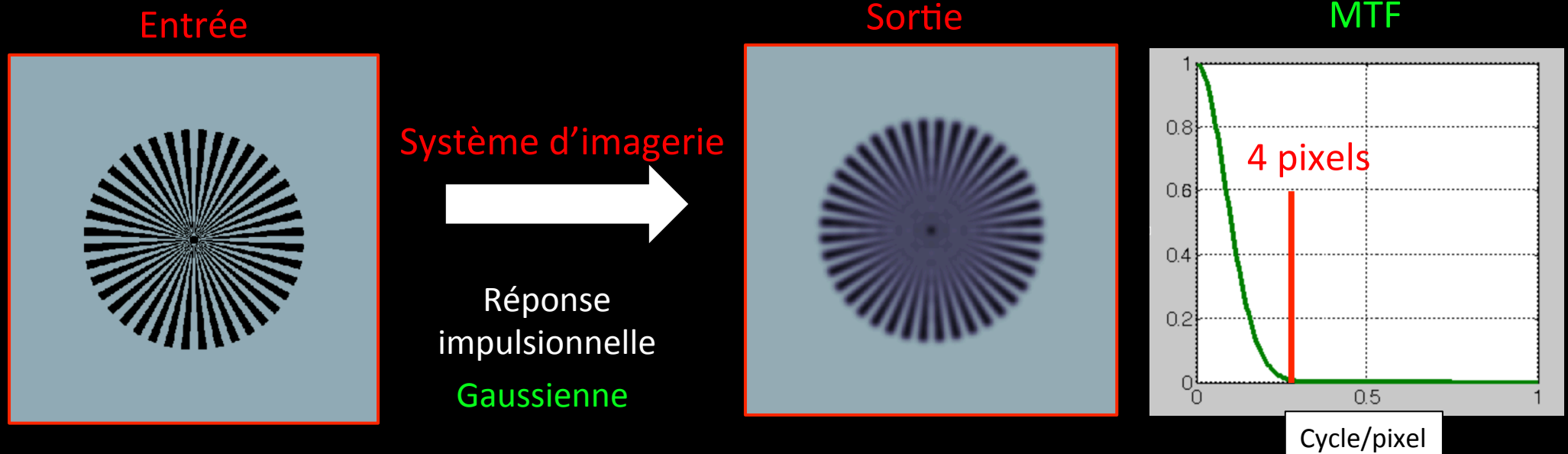


Cette dégradation se
mesure par la MTF et
la DQE

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

MTF

La Fonction de Transfert de Modulation décrit la fidélité d'un système d'imagerie à reproduire le contraste incident



Dépendance avec la fréquence spatiale \rightarrow $MTF = TF(\text{Réponse impulsionnelle})$

$$|\mathfrak{S}[S(x, y)](\nu_x, \nu_y)| \rightarrow |\mathfrak{S}[S'(x, y)](\nu_x, \nu_y)|$$

$$\Rightarrow \frac{|\mathfrak{S}[S'(x, y)](\nu_x, \nu_y)|}{|\mathfrak{S}[S(x, y)](\nu_x, \nu_y)|} = MTF(\nu_x, \nu_y)$$

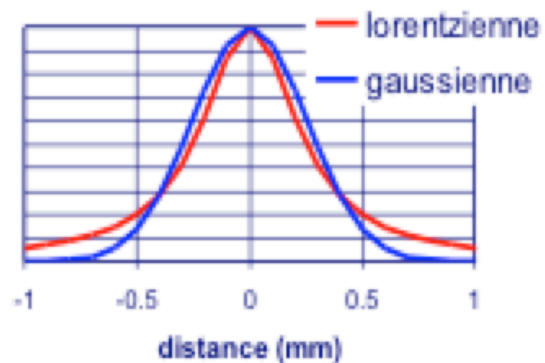
$$MTF(\nu_x, \nu_y) = \frac{|\mathfrak{S}[S(x, y) \otimes R(x, y)](\nu_x, \nu_y)|}{|\mathfrak{S}[S(x, y)](\nu_x, \nu_y)|} = |\mathfrak{S}[R(x, y)](\nu_x, \nu_y)|$$

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

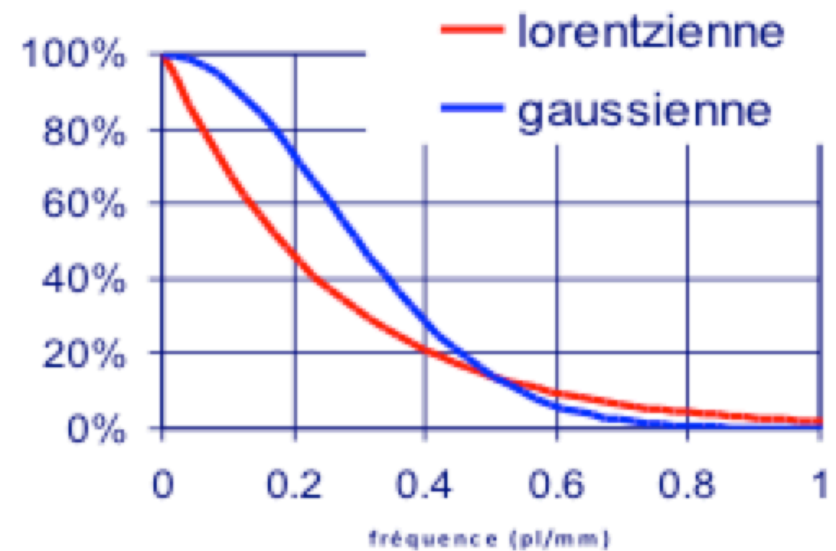
MTF

La Fonction de Transfert de Modulation décrit la fidélité d'un système d'imagerie à reproduire le contraste incident

Comparaison entre deux système d'imagerie



$$\sigma_{\text{Gauss}} = \sigma_{\text{Lorentzienne}} = 250\mu\text{m}$$

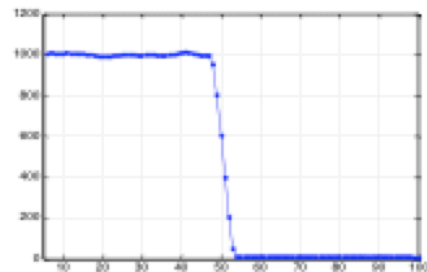
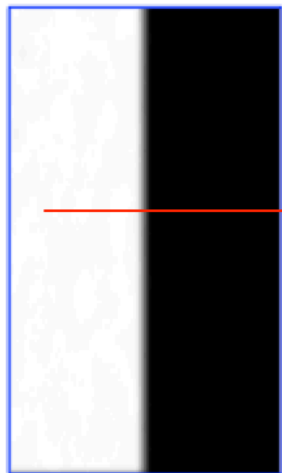


Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

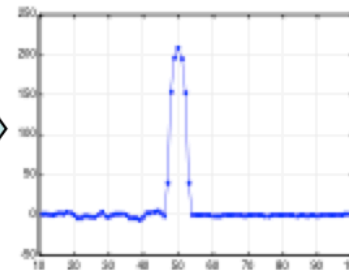
MTF

Méthodes de Mesure

Image d'un bord



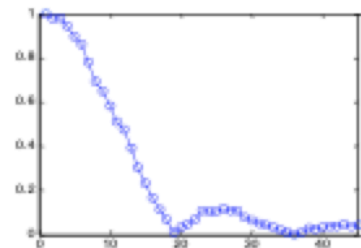
dérivation



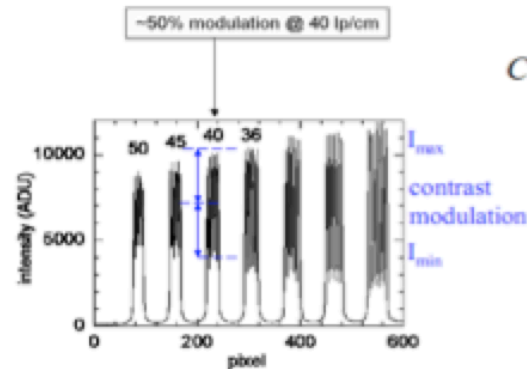
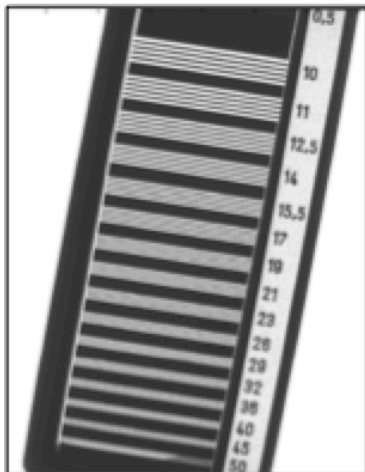
TF



MTF



Mire de résolution



$$CTF(v) = \frac{I_{\max}(v) - I_{\min}(v)}{I_{\max}(v) + I_{\min}(v)} \quad (\text{square modulation})$$

$$M(f) = \frac{\pi}{4} \left[C(f) + \frac{C(3f)}{3} - \frac{C(5f)}{5} + \frac{C(7f)}{7} - \frac{C(11f)}{11} + \frac{C(13f)}{13} - \frac{C(15f)}{15} \right]$$

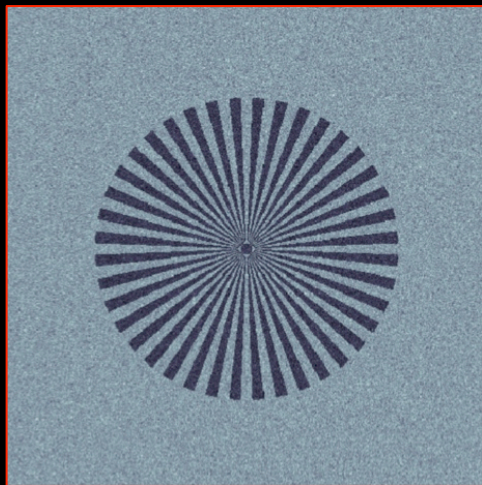
Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

DQE

L'efficacité de détection quantique décrit le transfert du signal/bruit en entrée (Poisson) à travers le système d'imagerie

Mesure comparative

Entrée

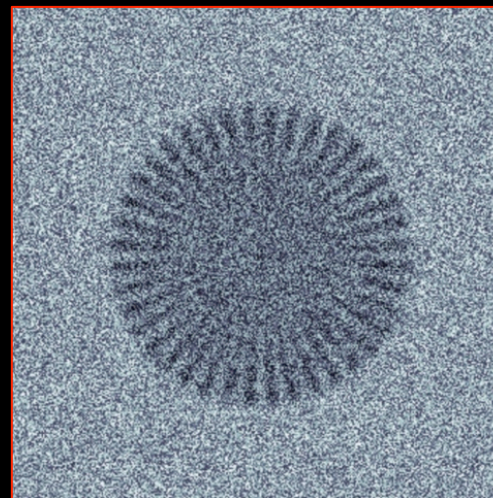


(S/B) = 20 (qq soit freq. spat)

Système
d'imagerie
réel



Sortie



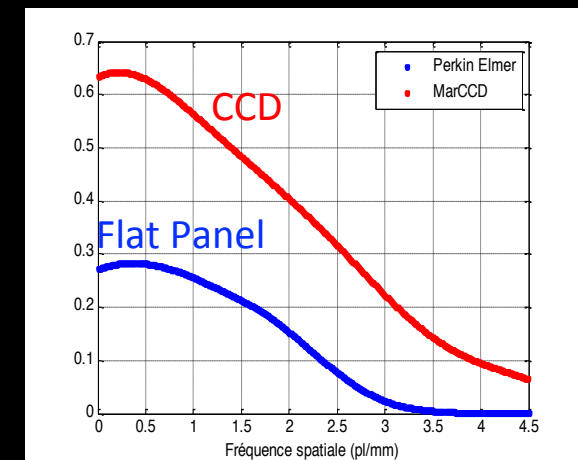
(S/B) = 12 (basse freq. spat.)

(S/B) = 4 (haute freq. spat)

Flat Panel



CCD



Même qualité d'image

si

Multiplier par 2 la dose sur le Flat Panel

$$DQE = \frac{\left(\frac{S}{B}\right)_{sortie}^2}{\left(\frac{S}{B}\right)_{entrée}^2} = S.g. \frac{MTF(\nu)^2}{NPS(\nu)}$$

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

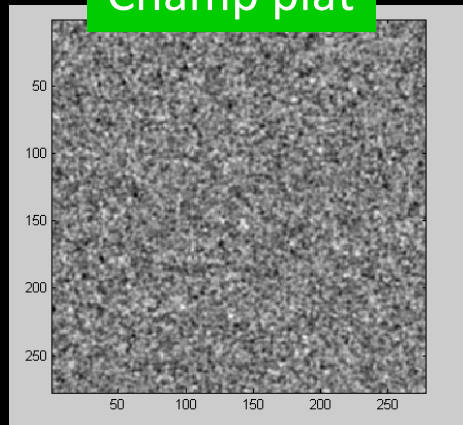
DQE

Méthodes de Mesure

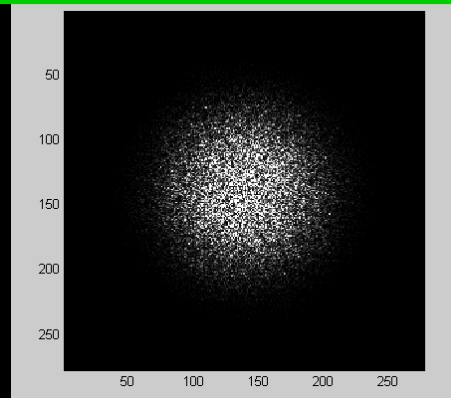
$$DQE = S.g. \frac{MTF(\nu)^2}{NPS(\nu)}$$

Mesure du NPS (Décomposition spectral de la variance)

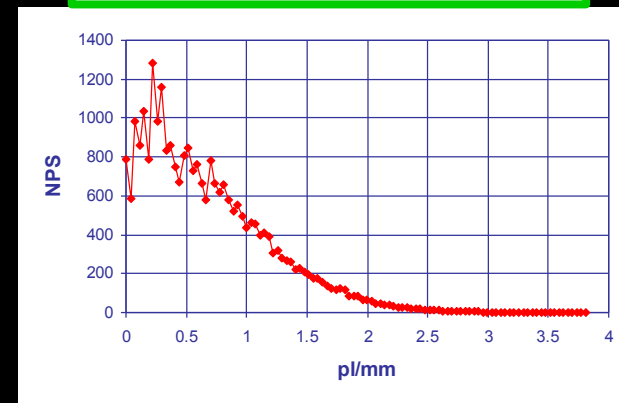
Champ plat



$$NPS(\nu_x, \nu_y) = \frac{|TF2D(I(x, y) - \overline{I(x, y)})|^2}{N_x N_y}$$



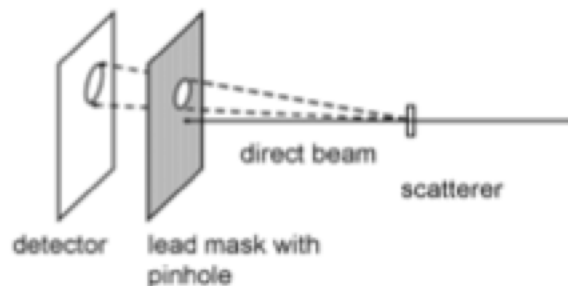
$$NPS(\nu) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M(\nu \cos \theta, \nu \sin \theta) d\theta$$



Intégration azimuthale

Mesure du Gain

Mesure comparative entre une mesure avec le détecteur 2D et un compteur de photon absolu (détecteur ponctuel)

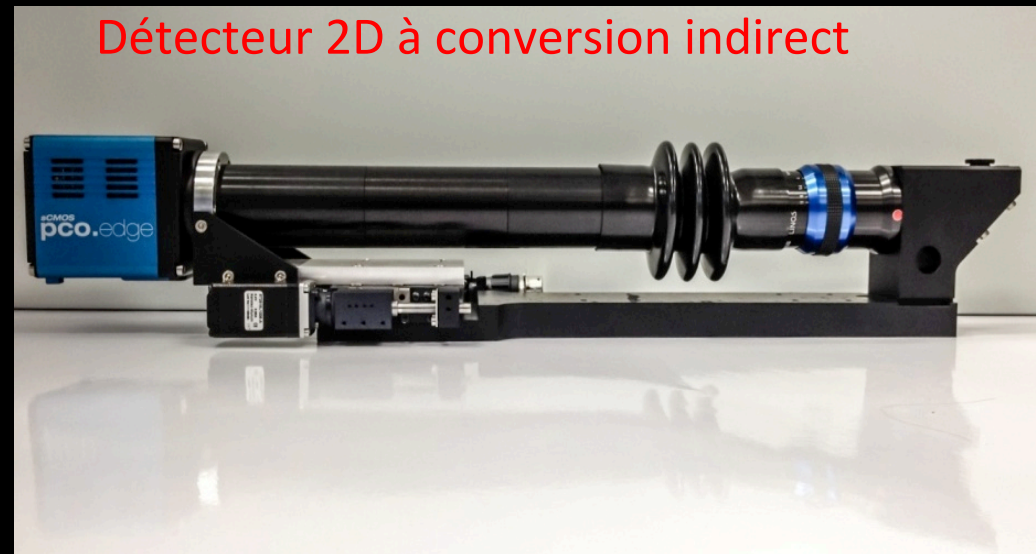
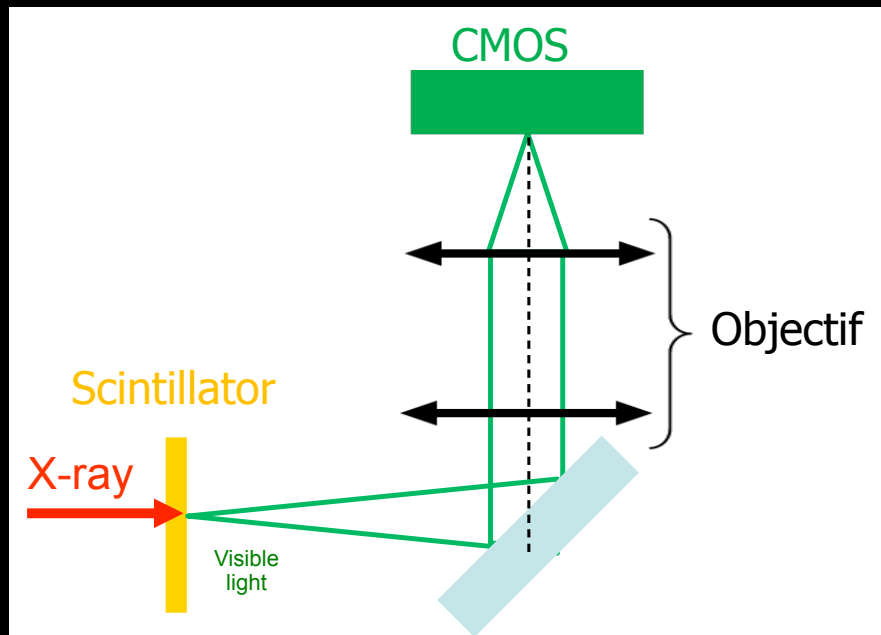


$$G = \frac{\sum_i \sum_j I_X(i, j) - I_{dark}(i, j)}{(\iint S_i(x, y) dx dy) \Delta T} = \frac{\text{integrated pixel values in dark subtracted image}}{\text{counts through pinhole measured with a counter}}$$

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation caméra pour la tomographie X

Développement d'un détecteur 2D pour des TP d'imagerie X (Coll. K. Desjardins, M. Bordessoule)



- Scintillator : $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG)
- Optics lens: magnification of 3
- CMOS Camera from PCO: 2560 x 2160 pixels, 7.5 μm pixel size, ADC 16 bits

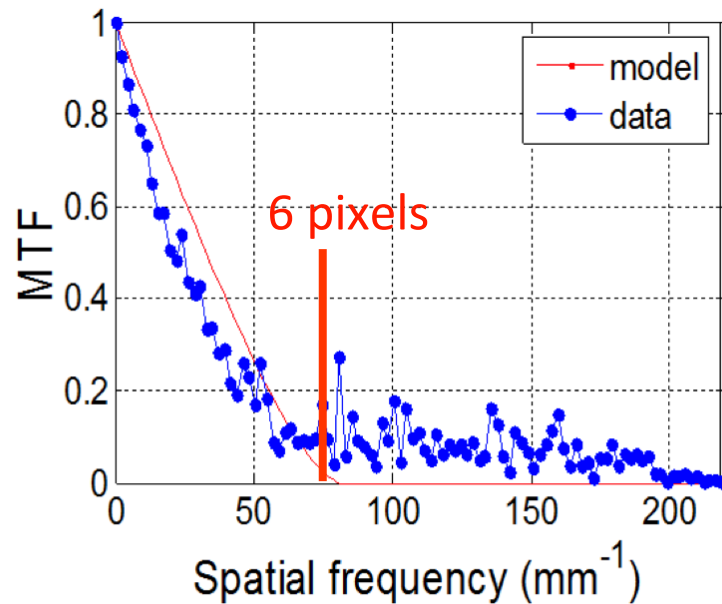


- Field of view : 5.5 x 4.6 mm²
- Effective pixel size: 2.16 μm
- Frame rate: 100 Hz

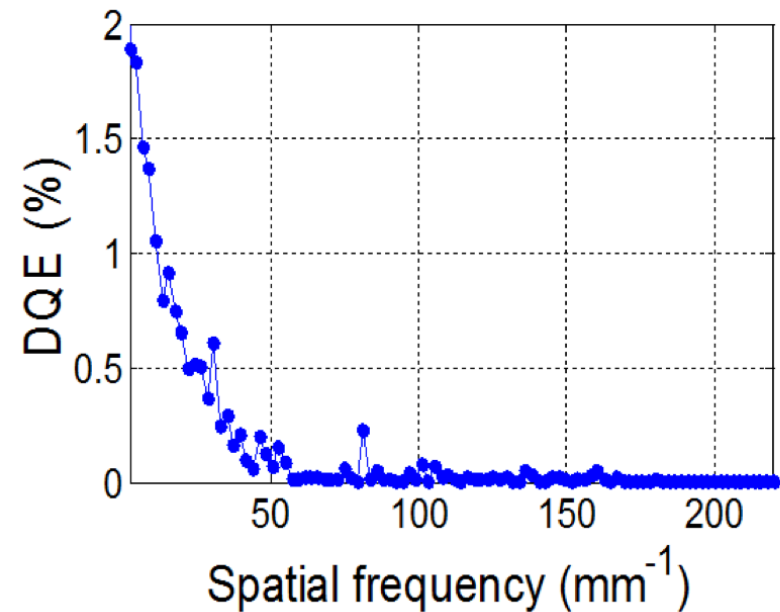
Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation caméra pour la tomographie X

MTF



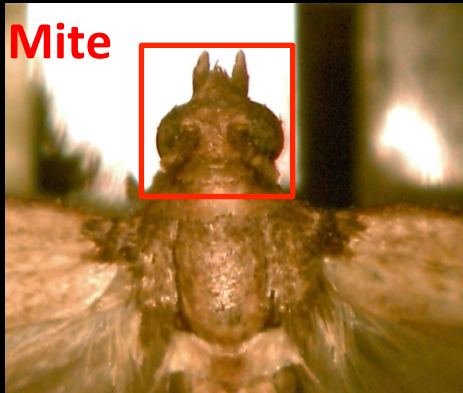
DQE



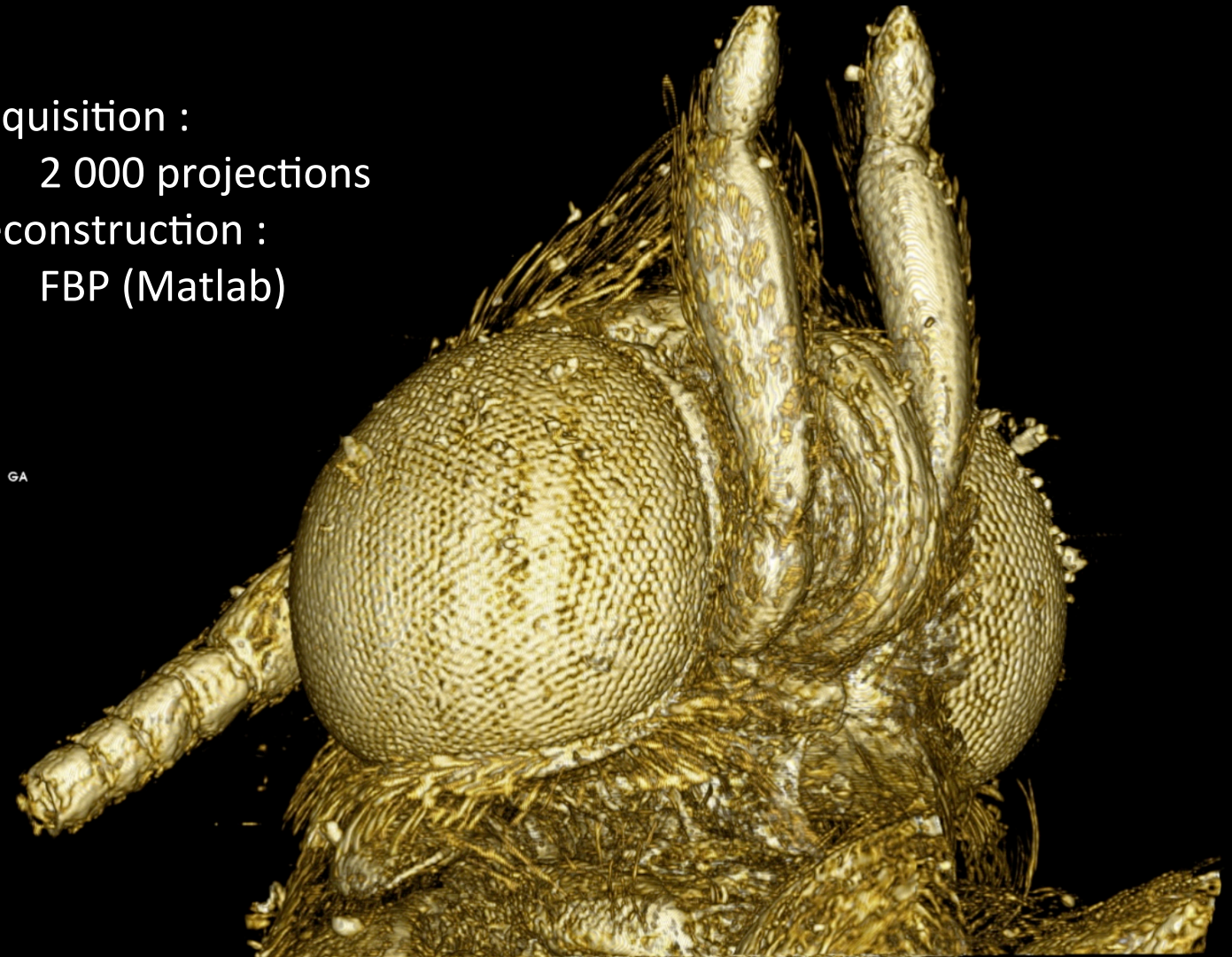
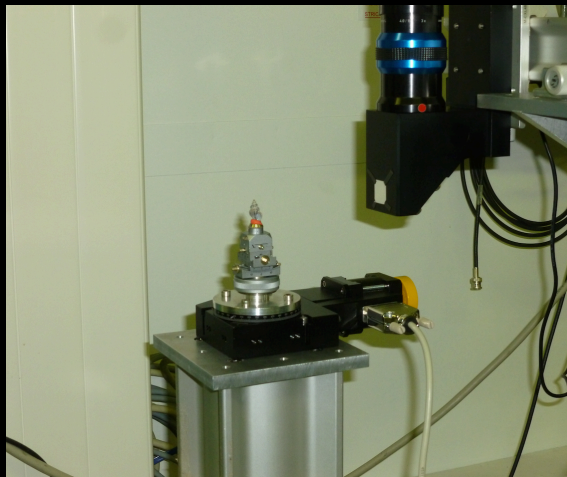
- MTF montre un fort étalement du signal par rapport à la taille pixel effective
- Très faible DQE → Dose inutile importante sur l'échantillon

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation caméra pour la tomographie X



- Acquisition :
 - 2 000 projections
- Reconstruction :
 - FBP (Matlab)

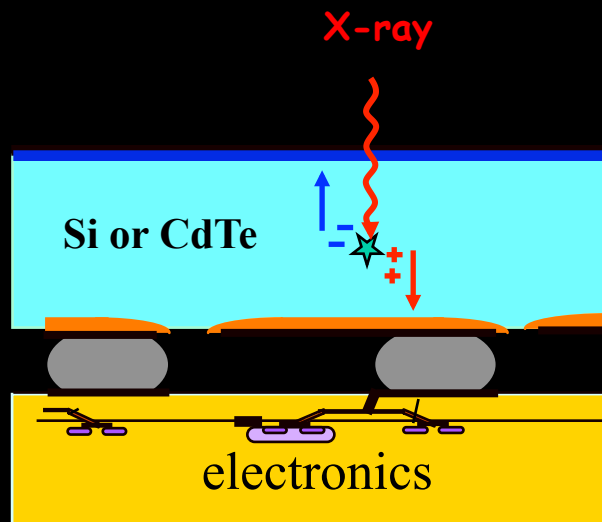


Desjardins, K., Bordessoule, M., Petrache, C., Menneglier, C., Dallé, D., Mercere, P., & Medjoubi, K. (2014). JINST, 9(06)

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation du XPAD Si et CdTe

Principe de fonctionnement et caractéristiques du XPAD

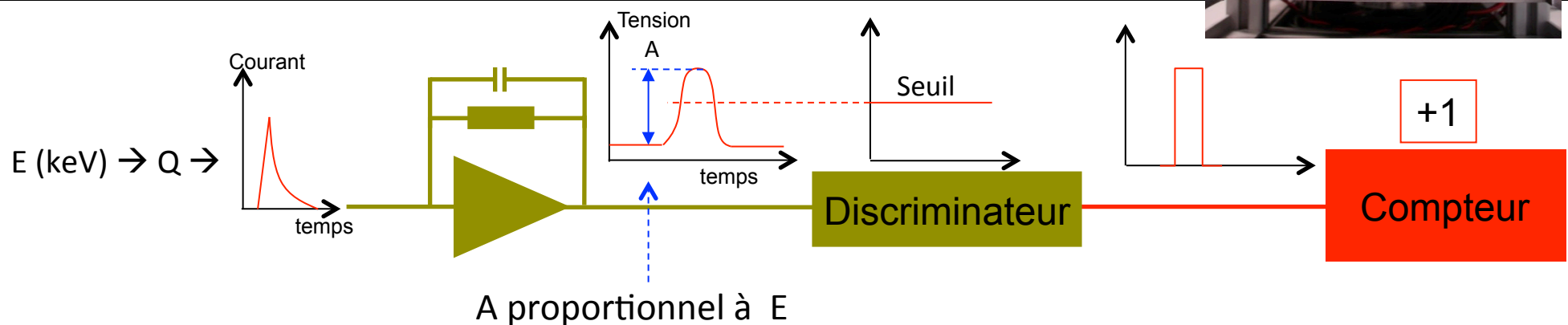
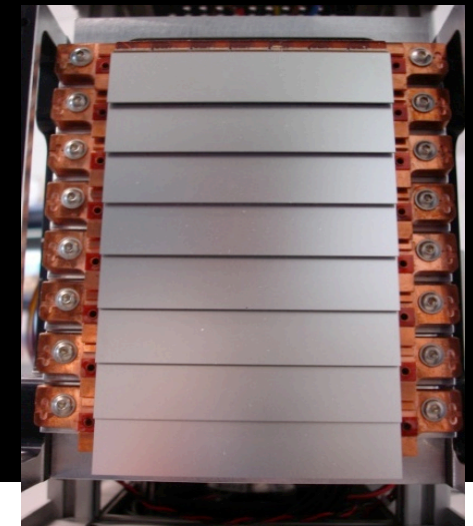


- ✓ Capteur : Si (500 μ m) ou CdTe (700 μ m)
- ✓ Taille pixel: 130 \times 130 μ m²
- ✓ Seuil bas ajustable
- ✓ 80 \times 120 pixels / chip
- ✓ 1 \times 1.5 cm²
- ✓ qq 10⁵ photons/s/pixel
- ✓ compteur 12 bits rotatif \rightarrow dynamique infinie
- ✓ Temps de lecture / image 2 ms

Imageur capteur CdTe 2 x 3



Imageur capteur Si 7 x 12 cm²



Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation du XPAD Si et CdTe

Evaluer l'effet des seuils K dans le CdTe sur les performances ($K_{Cd} = 26.7 \text{ keV}$, $K_{Te} = 31.8 \text{ keV}$)

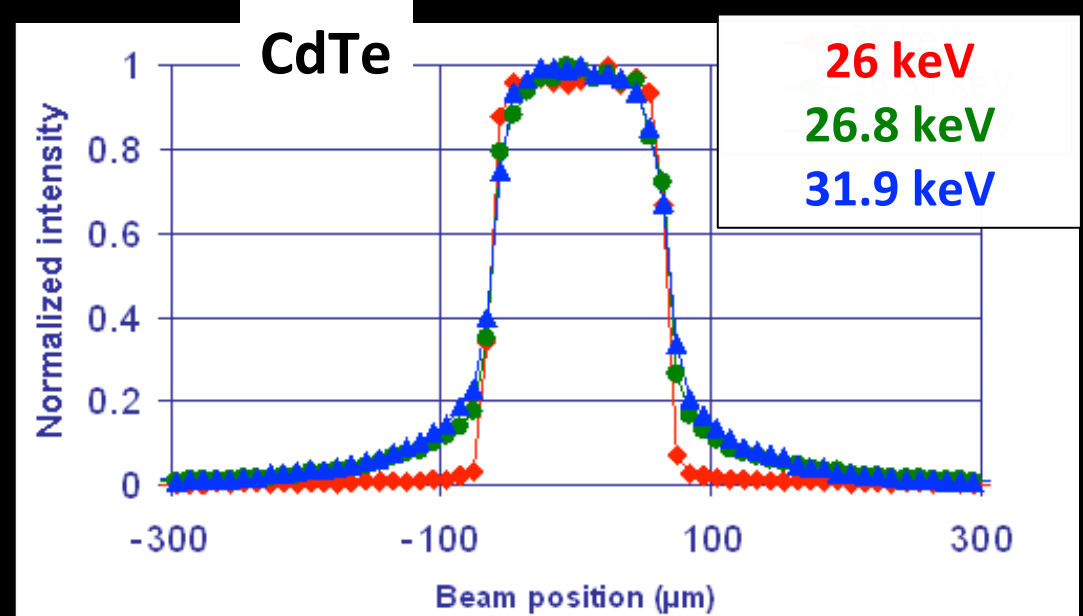
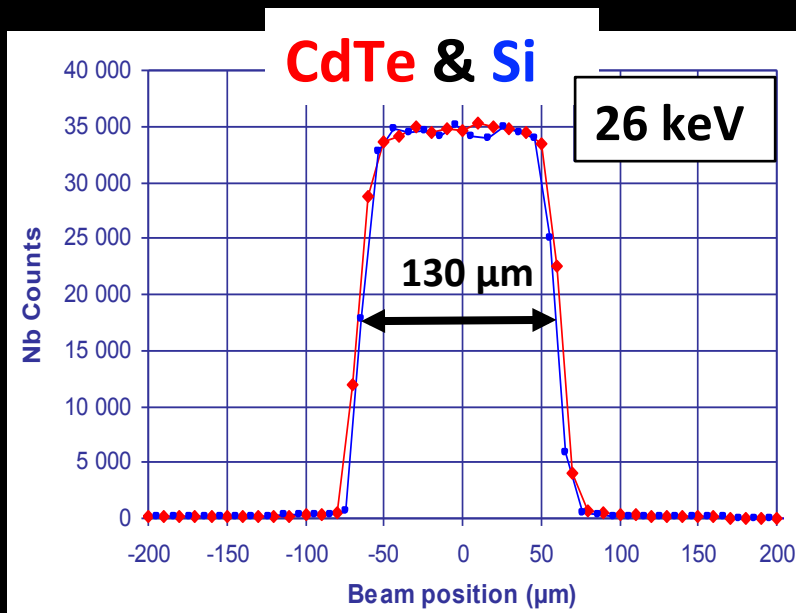


Mesure

Modélisation

Performances spatiales

Mesure de la réponse d'un seul pixel en fonction de la position du faisceau direct (10 μm)



Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation du XPAD Si et CdTe

Evaluer l'effet des seuils K dans le CdTe sur les performances ($K_{Cd} = 26.7 \text{ keV}$, $K_{Te} = 31.8 \text{ keV}$)

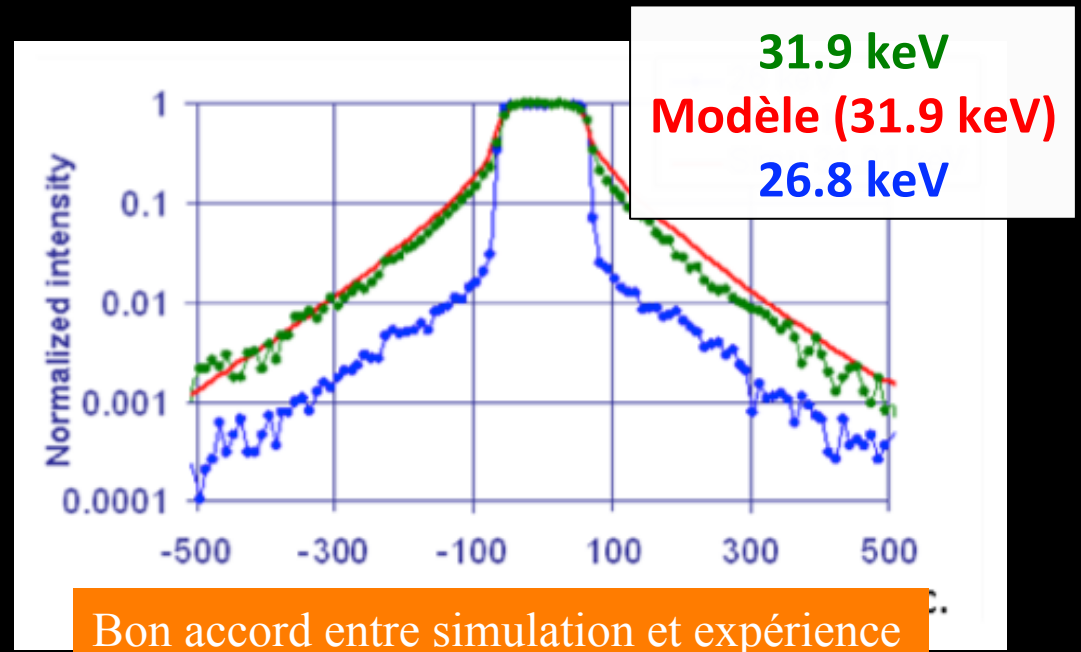
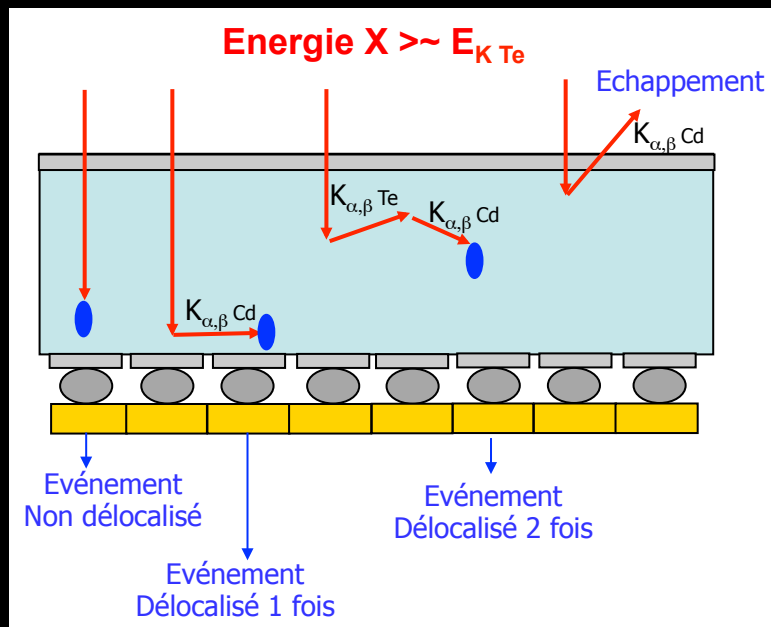


Mesure

Modélisation

Performances spatiales

Modélisation de l'effet de la fluorescence X dans le CdTe sur la résolution spatiale



Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Caractérisation du XPAD Si et CdTe

Evaluer l'effet des seuils K dans le CdTe sur les performances ($K_{Cd} = 26.7 \text{ keV}$, $K_{Te} = 31.8 \text{ keV}$)

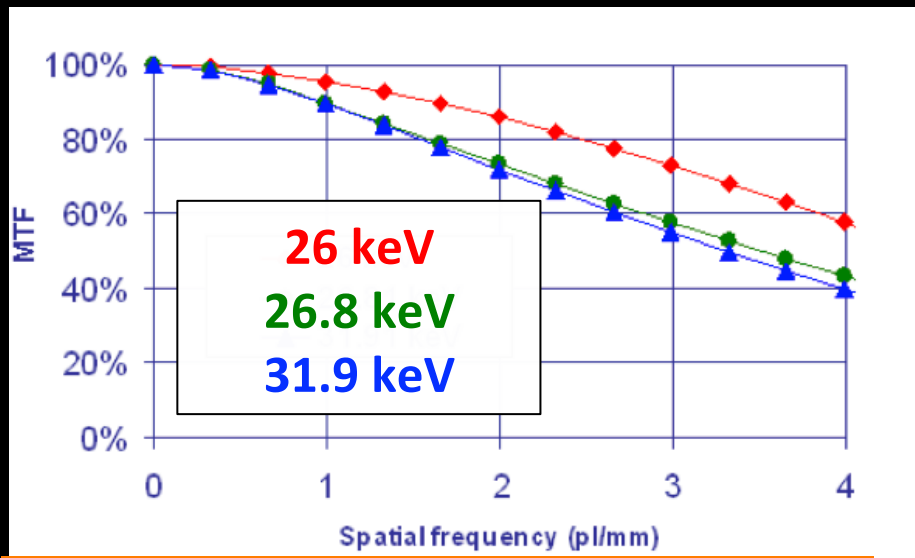


Mesure

Modélisation

Performances spatiales

MTF



MTF acceptable au seuil du Cd et Te

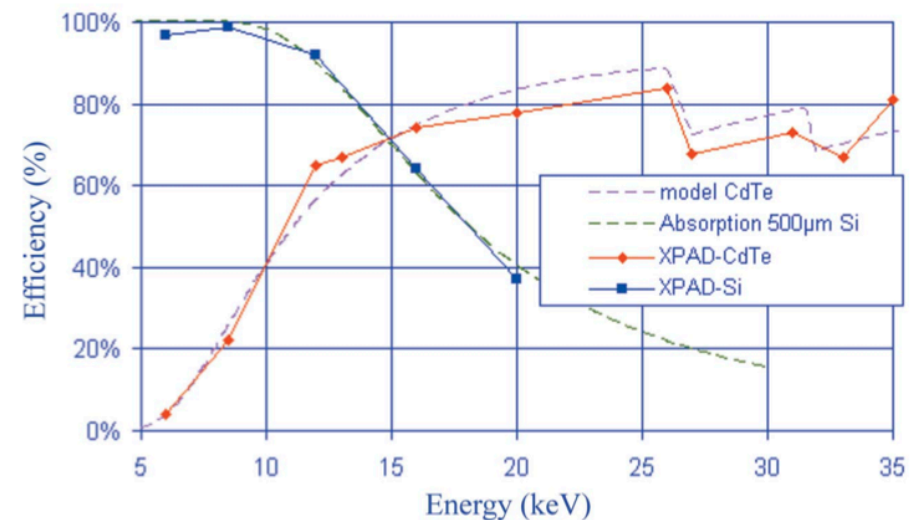
Medjoubi, K., Bucaille, T., Hustache, S., Bérar, J. F., Boudet, N., Clemens, J. C., ... & Dinkespil, B. (2010). Journal of synchrotron radiation, 17(4), 486-495.

Performances de détection de 6 à 35 keV

XPAD →

$$DQE(\nu) = g \cdot \frac{S}{NPS(\nu)} MTF(\nu)^2 = \varepsilon \cdot MTF(\nu)^2$$

DQE à fréquence spatiale nulle



- DQE XPAD3 – CdTe > DQE XPAD3 – Si qd $E > 15 \text{ keV}$
- Faible DQE XPAD3 – CdTe qd $E < 15 \text{ keV}$ ← zone morte (10µm)

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Etude de la diffusion X dans le XPAD-Si et CdTe

Elargissement du signal au pied des pics de Bragg enregistré avec le XPAD-Si @ 25 keV
(Diffusion diffuse sur CRISTAL)

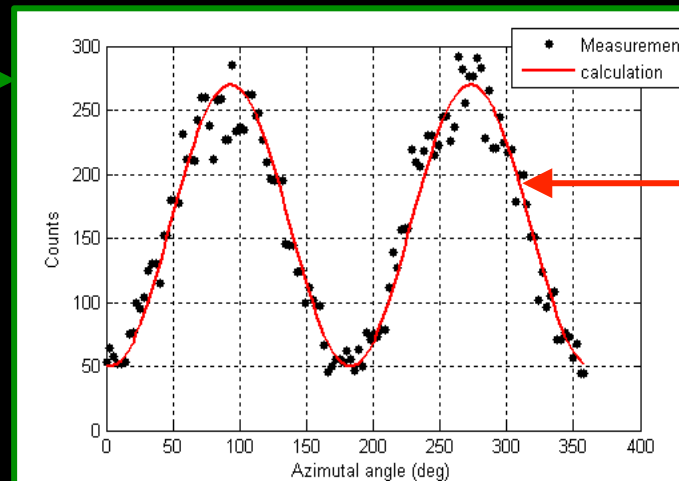
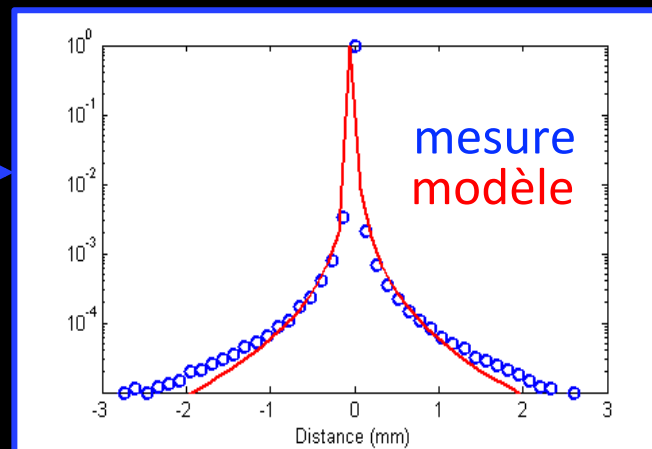
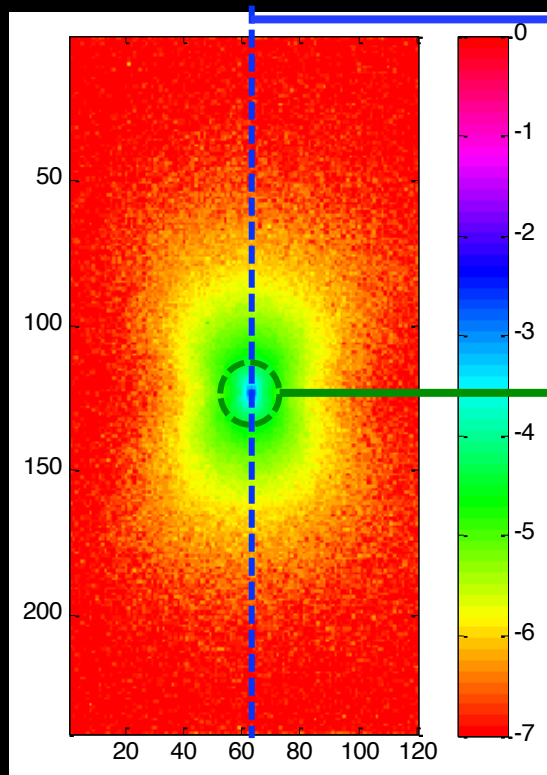


Mesure

Modélisation

Faisceau direct (10 x 10 μm) 25 keV

XPAD-Si



$$\frac{\partial \sigma}{\partial \Omega_{\text{coherent}}} = re^2 P(\theta, \phi) f_0^2 \left(\frac{\sin \theta}{\lambda}, Z \right)$$
$$\frac{\partial \sigma}{\partial \Omega_{\text{incoherent}}} = re^2 P(\theta, \phi) S \left(\frac{\sin \theta}{\lambda}, Z \right)$$

avec $P(\theta, \phi) = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2(\phi)^2$

Plan transverse

$$P(\theta, \phi) = 1 - \sin^2(\phi)^2$$

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

Etude de la diffusion X dans le XPAD-Si et CdTe

Elargissement du signal au pied des pics de Bragg enregistré avec le XPAD-Si @ 25 keV
(Diffusion diffuse sur CRISTAL)

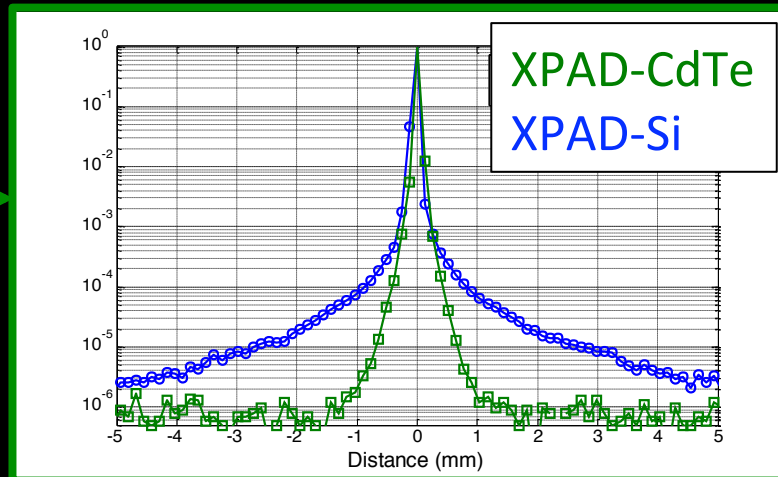
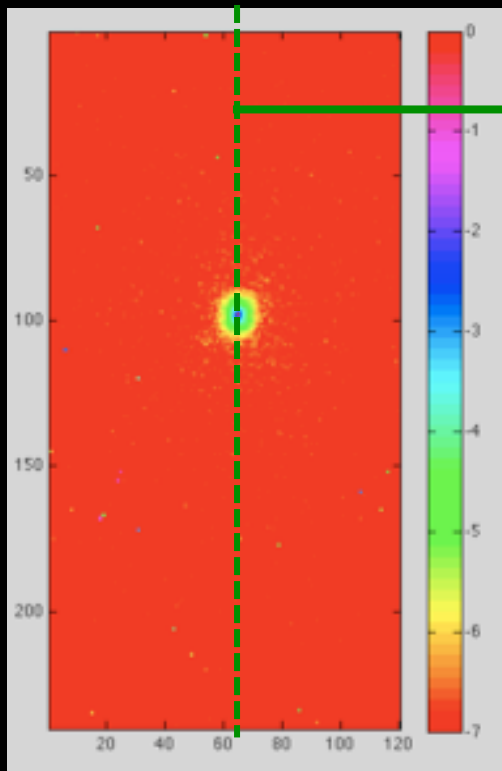


Mesure

Modélisation

Faisceau direct (10 x 10 μm) 25 keV

XPAD-CdTe



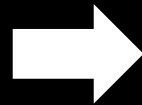
Largeur à 0.001%

- Si-XPAD ~ 5 mm
- CdTe-XPAD ~ 1 mm

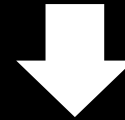
Importance du CdTe pour les expériences de type diffusion diffuse

Evaluation des performances d'un système d'imagerie X

L'évaluation des performances d'imagerie X d'un détecteur 2D est indispensable



Etablir le rendement d'utilisation des photons



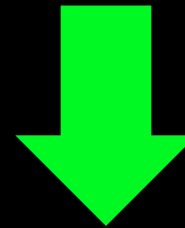
Optimiser les choix et/ou paramètres d'un détecteur (commercial / R&D)
pour une exp. donnée



**Compréhension des phénomènes physiques dans les détecteurs
(modélisation et mesures)**



**Innover dans de nouvelles
méthodologies**



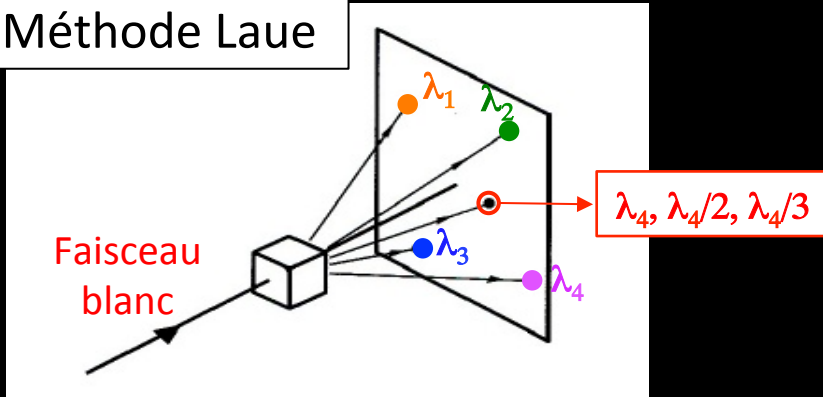
**S'orienter vers de nouveaux
prog. R&D afin d'améliorer
l'existant**

III. Développement méthodologique et applications en imagerie X au synchrotron Soleil

Développement méthodologique et applications

Imagerie X couleurs appliquée à la diffraction Laue Résolue en énergie avec le XPAD

Méthode Laue



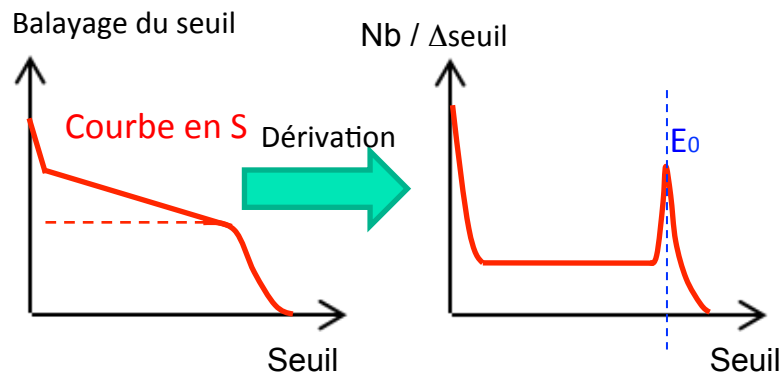
Apport de l'imagerie couleur

- Faciliter l'indexation du cristal (association d'un pic à un plan cristallin)
- Dé-convoluer les multiplets (Cartes de densité électronique plus précises)

XPAD – CdTe

Mesurer l'intensité et l'énergie de la diffraction (Haute Energie)

Reconstruction du spectre par pixel

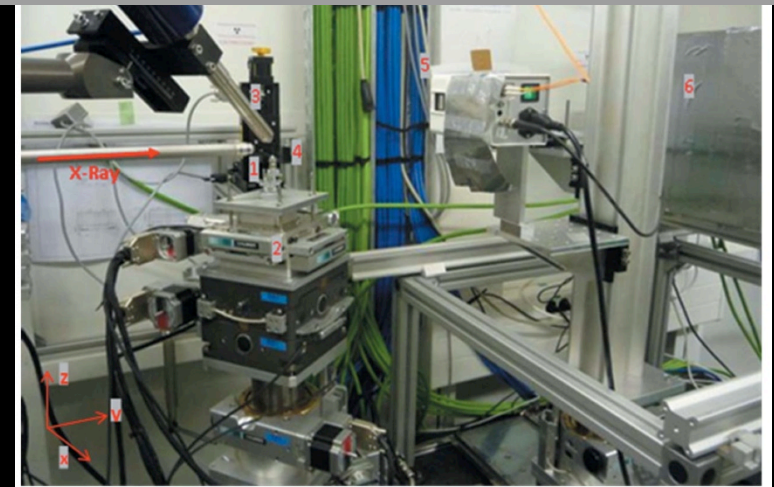


Calibration en énergie de chaque pixel

- Réduction de dispersion des seuils inter pixels
- Modéliser la réponse d'un pixel \rightarrow fit courbe en S

Précision de la mesure de l'énergie incidente $\sim \sigma = 140 \text{ eV}$

Mise en application sur Metrologie

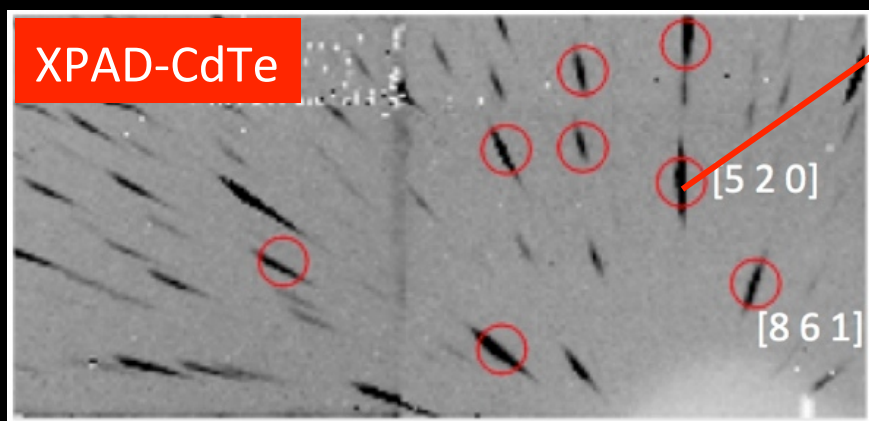
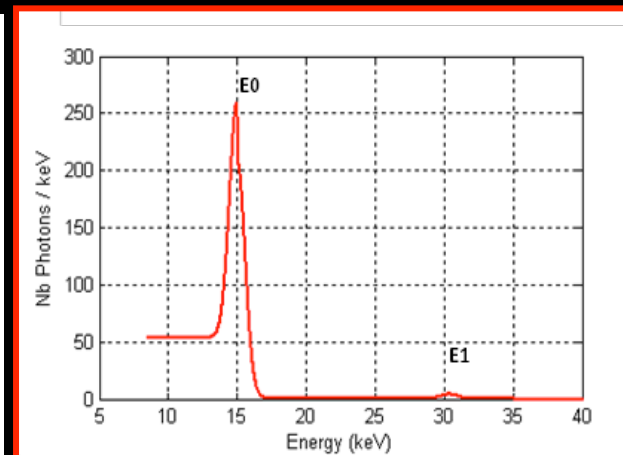
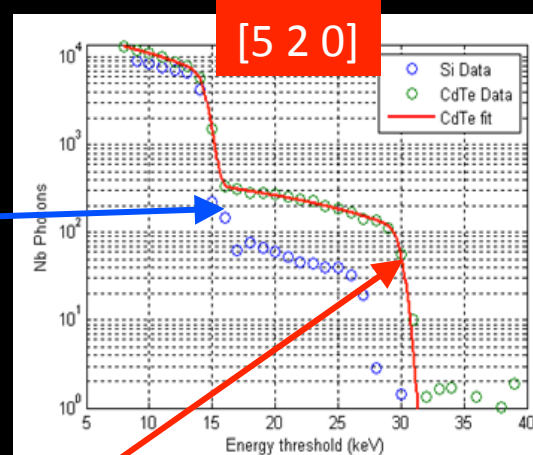
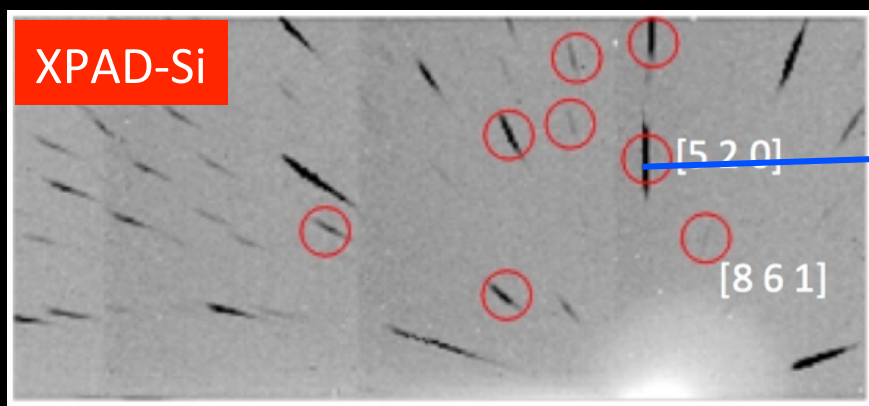


Expérience de diffraction Laue d'un cristal de Lysozyme avec XPAD-CdTe et Si

Les détecteurs pixels à comptage de photon

Imagerie couleur appliqué à la diffraction Laue Résolue en énergie (*collab. PX1 & Psiché / D2AM*)

Acquisition à différents seuils de 7 à 40 keV



Energies reconstruites en accord avec celles prédites

Perspectives possibles

- Collecte sans rotation du cristal (ex. : cristaux sur plaques de cristallisation, plaques micro-fluidiques, ou dans enclumes diamants)
- Rejection du Compton (enclumes diamant)
- ...

Expérience Laue + diffusion diffuse

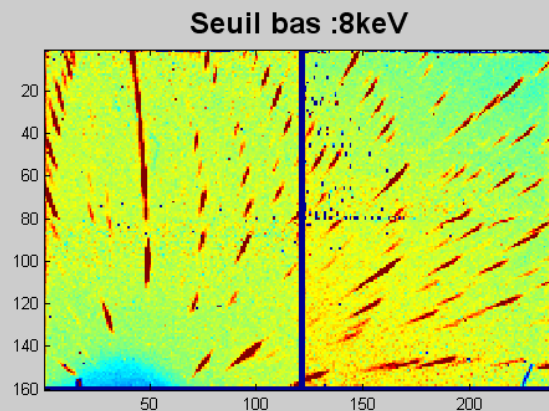
Medjoubi, K., Thompson, A., Bélar, J. F., Clemens, J. C., Delpierre, P., Da Silva, P., ... & Samama, J.P. (2012). Journal of synchrotron radiation, 19(3), 323-331.

XPAD – CdTe (7 x 12 cm²)
(CPPM, Ins. Néel, SOLEIL)

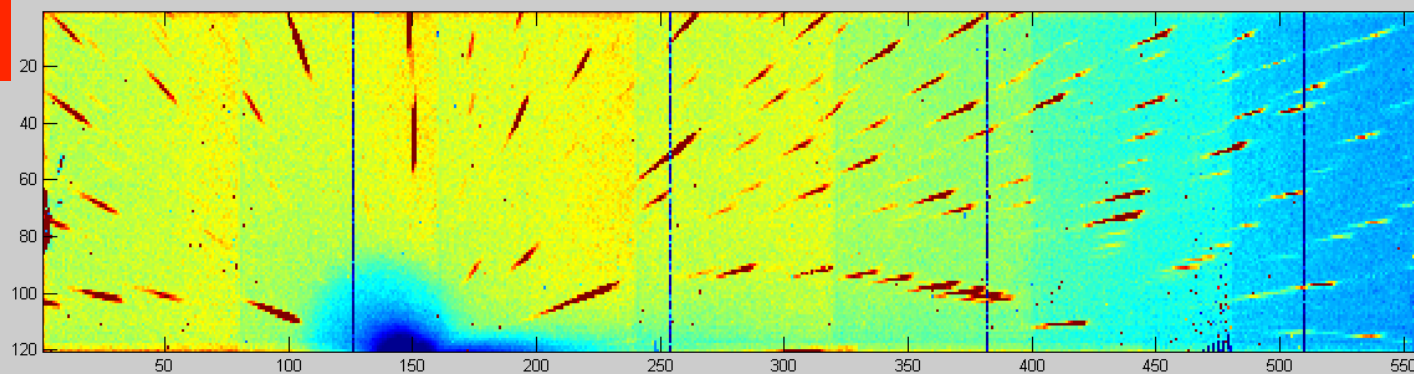
Les détecteurs pixels à comptage de photon

Imagerie couleur appliqué à la diffraction Laue Résolue en énergie (*collab. PX1 & Psiché / D2AM*)

XPAD-CdTe

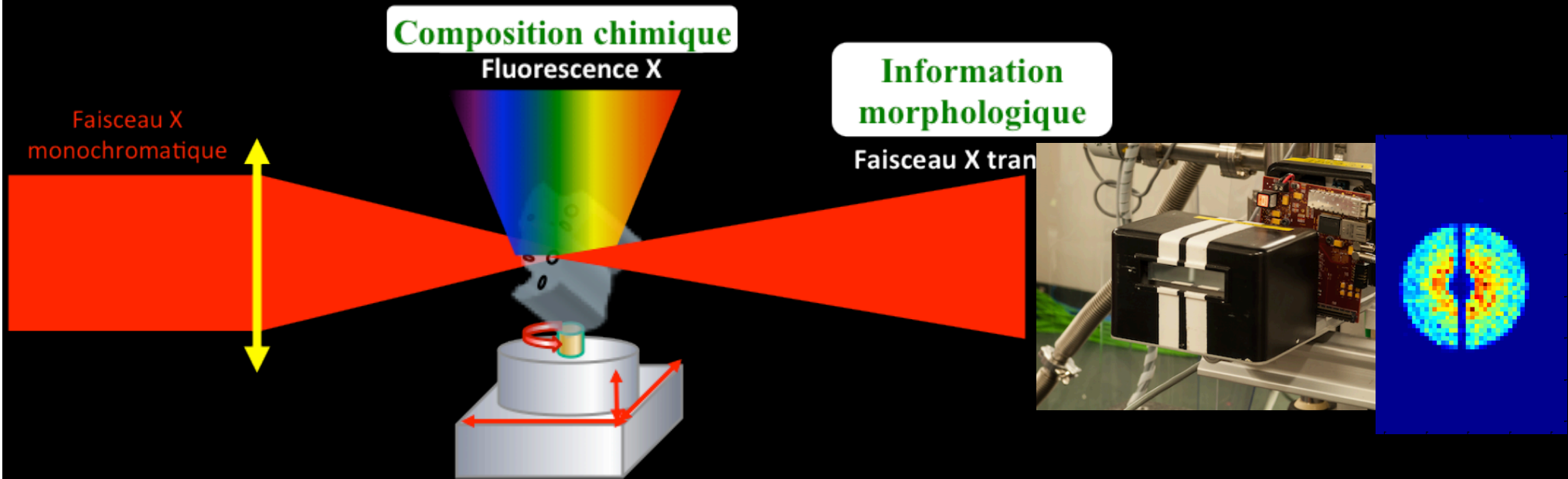


XPAD-Si



Développement méthodologique et applications

Imagerie X multimodal rapide avec le XPAD (intégration dans l'architecture Flyscan)



Acquisition Flyscan

Balayage continu en horizontal

- Dwell time min (durée passée sur un pixel carto) : 2ms
- Scan unidirectionnel ou scan **bidirectionnel**

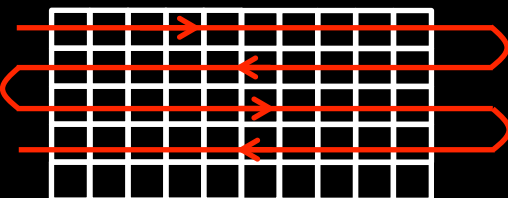


Image XPAD

Spectre Fluo X

Traitement Data On-line

DPC
Transmission
Dark field

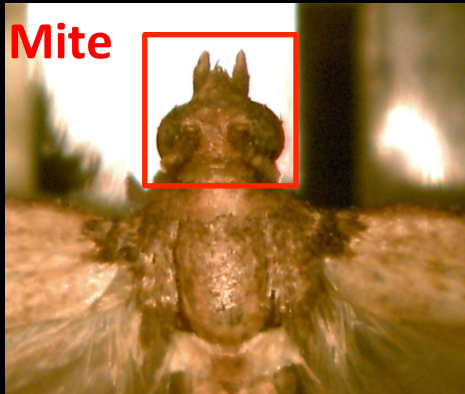
ROI

Codeurs

Images
corrigées avec
les positions

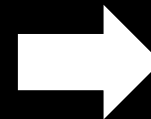
Développement méthodologique et applications

Imagerie X multimodal rapide avec le XPAD (intégration dans l'architecture Flyscan)



Paramètres du scan

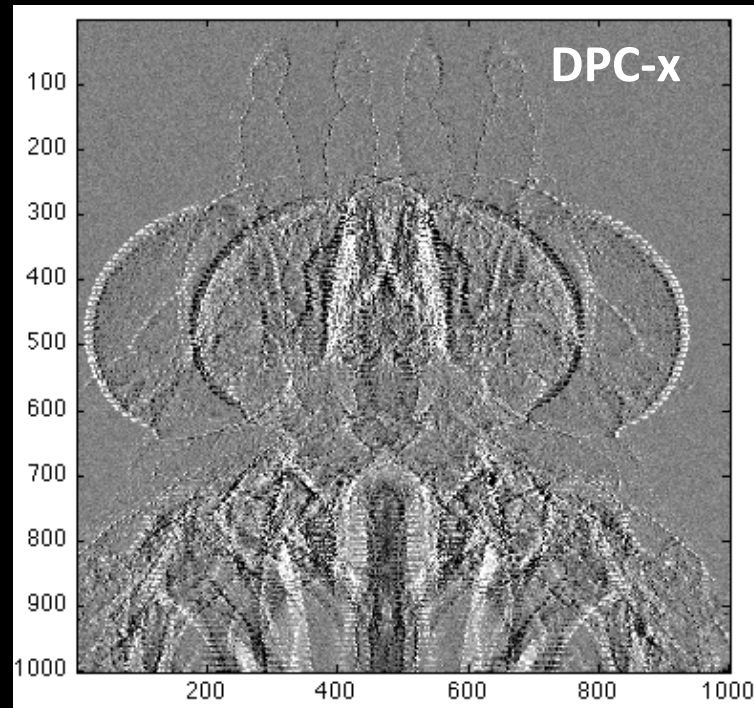
- Taille carto: 1000 x 1000 pixels
- Taille pixel 1.6 μ m (H) x 2 μ m (V)
- Dwell time : 12 ms
- Scan bidirectionnel



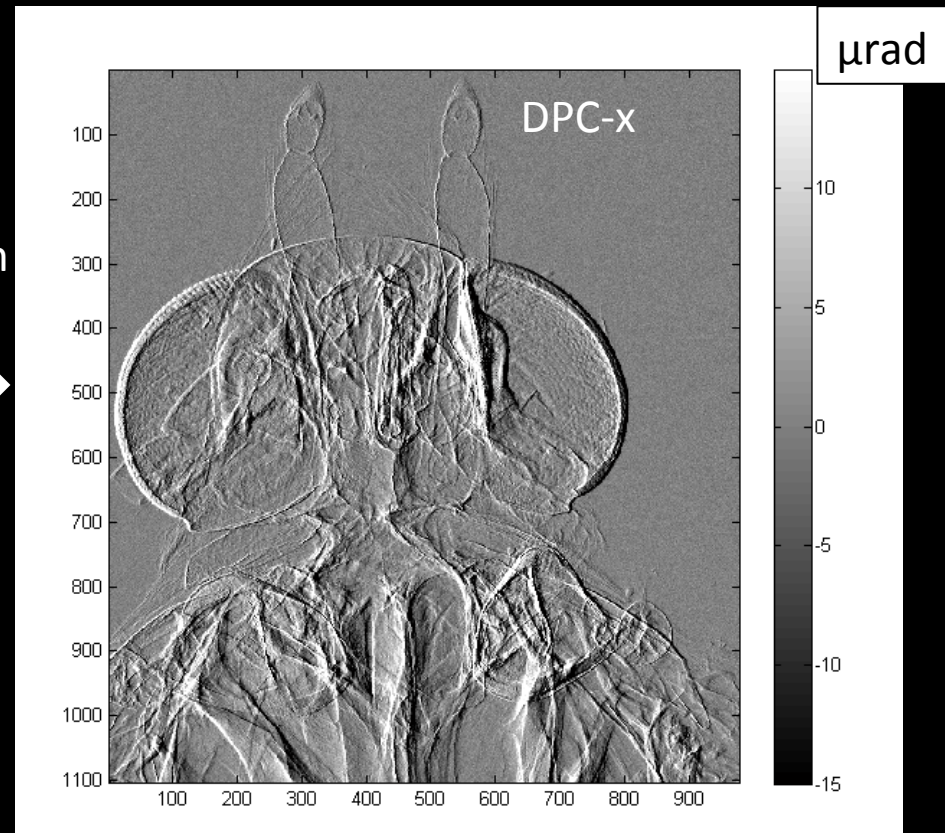
1 million images XPAD
1 million valeurs MI
2 millions positions moteur



Fichier Nexus final: 140 Go

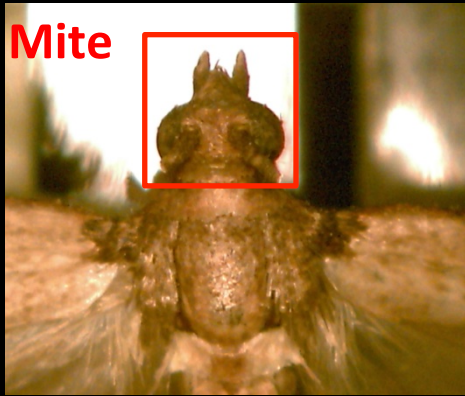


Correction
Position



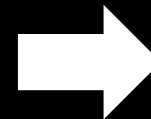
Développement méthodologique et applications

Imagerie X multimodal rapide avec le XPAD (intégration dans l'architecture Flyscan)



Paramètres du scan

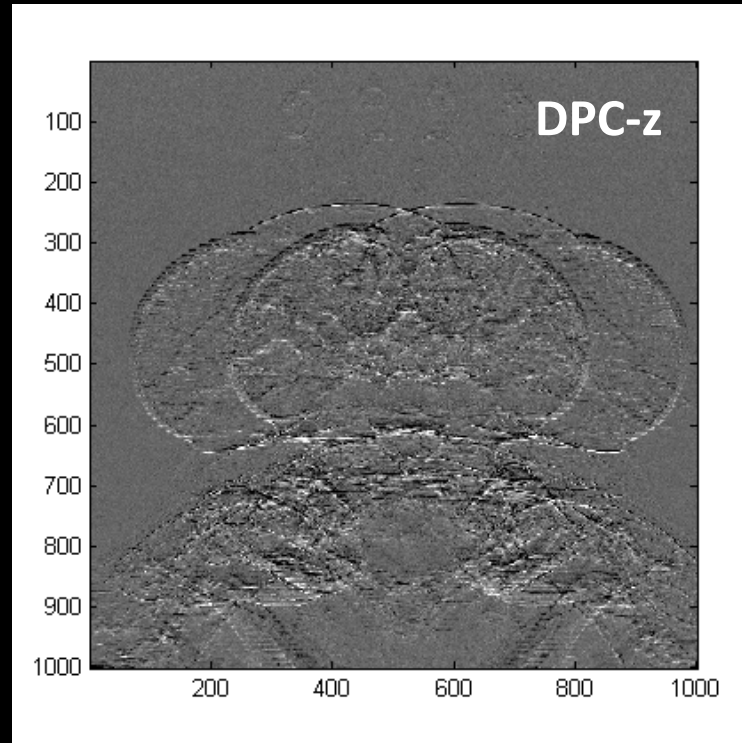
- Taille carto: 1000 x 1000 pixels
- Taille pixel 1.6 μ m (H) x 2 μ m (V)
- Dwell time : 12 ms
- Scan bidirectionnel



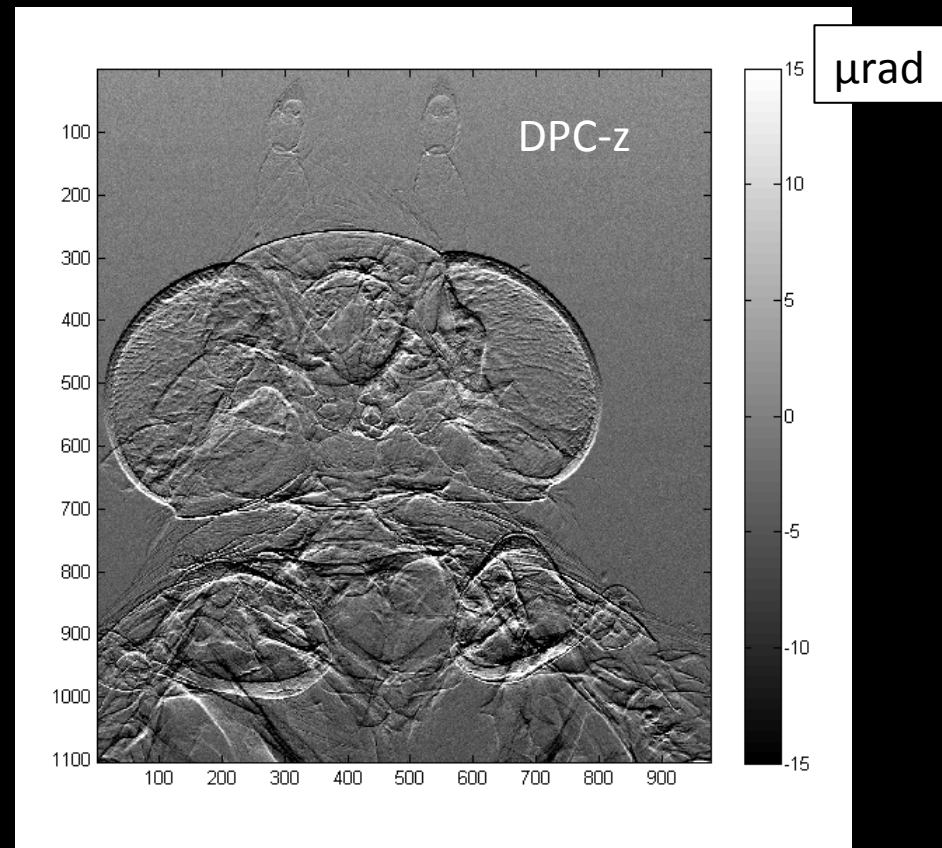
1 million images XPAD
1 million valeurs MI
2 millions positions moteur



Fichier Nexus final: 140 Go



Correction
position



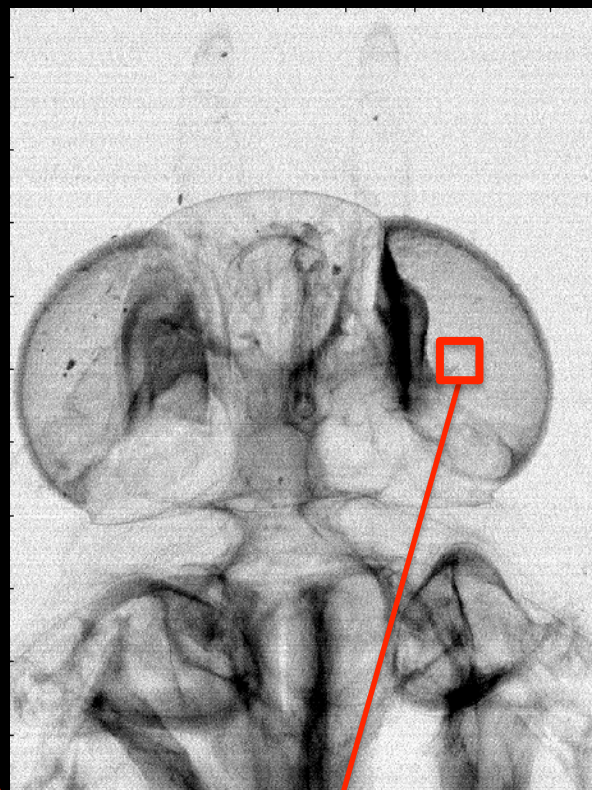
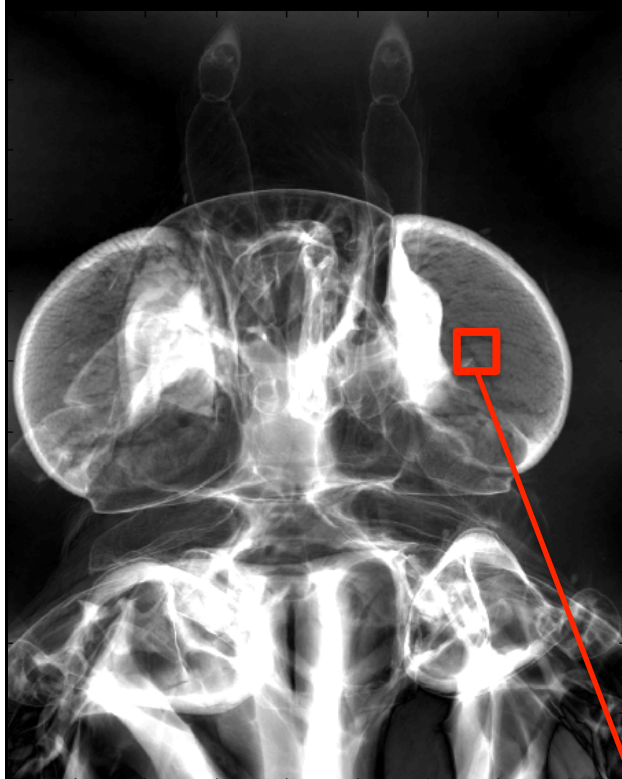
Développement méthodologique et applications

Imagerie X multimodal rapide avec le XPAD (intégration dans l'architecture Flyscan)

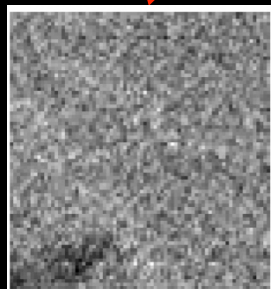
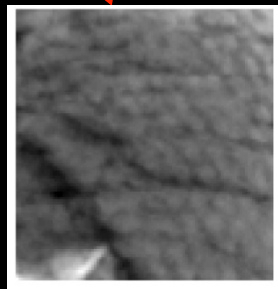
Phase image

Absorption image

Dark field image



Phase retrieval : Fourier
integration technique
*De C. Kottler and al. Opt.
Express 15, 1175-1181
(2007)*

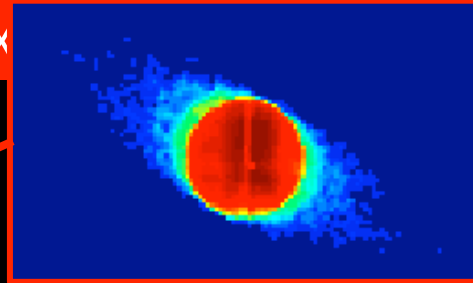


Développement méthodologique et applications

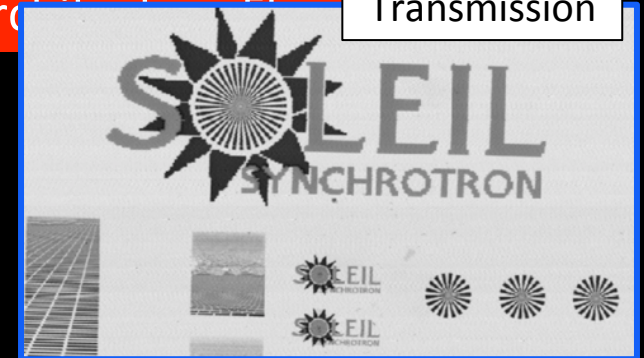
Imagerie X multimodal rapide avec le X

l'architecture

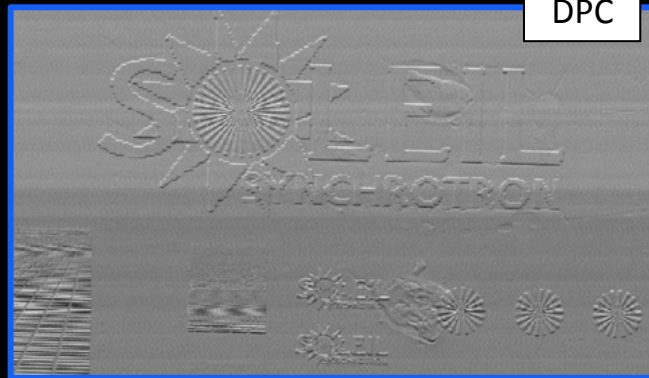
SOLEIL (Nickel et Or)



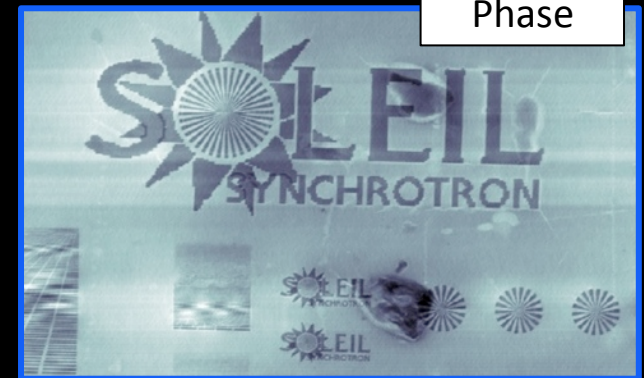
Transmission



DPC



Phase

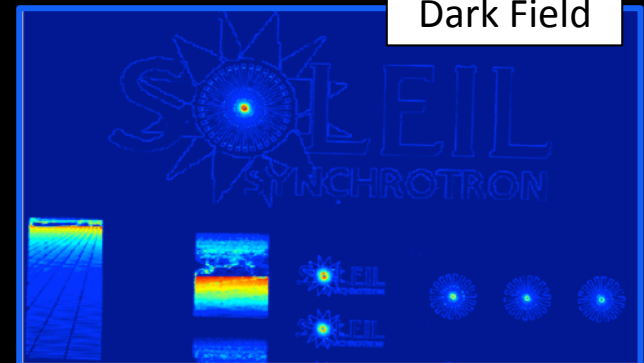


XRF



Nickel Or

Dark Field



- Taille carto : 500 x 1000
- Taille Pixel: 400 nm x 400 nm
- Dwell time : 4 ms (flux att.)
- Temps acq. tot.: 45 min
- Fichier : 100 Go

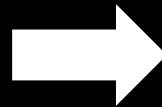
Développement méthodologique et applications

Application du Flyscan à la recherche en Paleo-Geo-Biologie

Coll A. Somogyi (SOLEIL), P. Philippot, IPGP

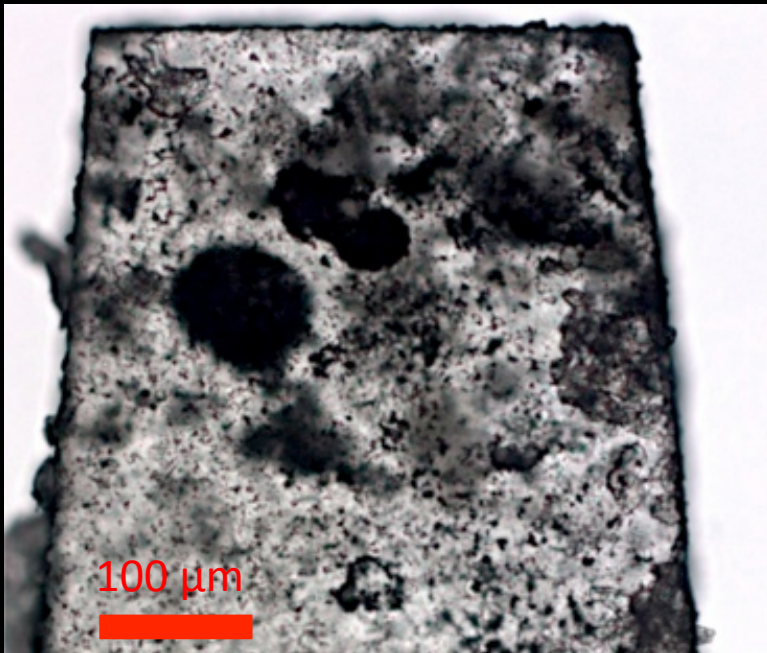
Recherche de traces de vie fossilisées dans les roches très anciennes type stromatolithe (Archéen, 4.0 à 2.5 Ga)

Biotique ou Abiotique ?



Informations morphologiques et de distribution d'éléments 2D et 3D à différentes résolutions

Microscopie optique



Echantillon représentatif :

Diverse microstructure contenant différents métaux à l'intérieur d'une matrice hétérogène

Echantillon roche de 3.4 Ga, 80 μm épaisseur
(Carbonate de calcium, cristaux de pyrite et matière organique)

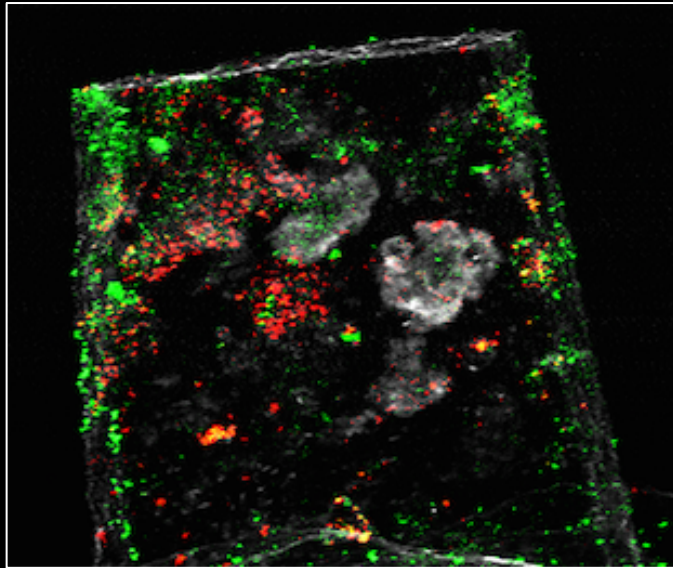
Développement méthodologique et applications

Application du Flyscan à la recherche en Paleo-Geo-Biologie

Tomographie basse résolution

- 10 projections
- Pas angulaire 36°

BP puis
Filtration



Dark Field

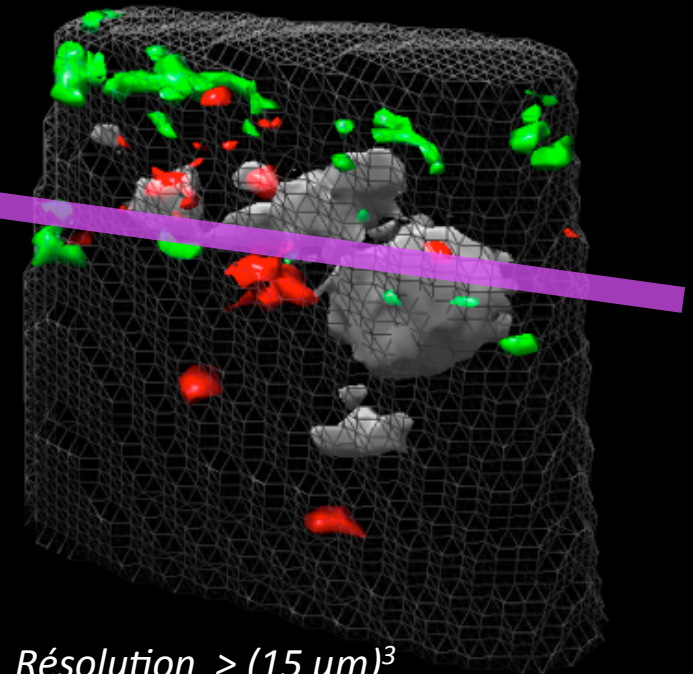
Fe

As

Taille pixel : 2 μm

Resolution : (2 μm)³

Résolution > (15 μm)³



Développement méthodologique et applications

Application du Flyscan à la recherche en Paleo-Geo-Biologie

Somogyi, A., Medjoubi, K., Baranton, G., Le Roux, V., Ribbens, M., Polack, F., ... & Samama, J. P. (2015). Optical design and multi-length-scale scanning spectro-microscopy possibilities at the Nanoscopium beamline of Synchrotron Soleil. *Journal of synchrotron radiation*, 22(4), 1118-1129.

Medjoubi, K., Leclercq, N., Langlois, F., Buteau, A., Lé, S., Poirier, S., ... & Somogyi, A. (2013) *Journal of synchrotron radiation*, 20(2), 293-299.

Medjoubi, K., Bonissent, A., Leclercq, N., Langlois, F., Mercère, P., & Somogyi, A. (2013, September). In *SPIE Optical Engineering+ Applications* (pp. 88510P-88510P).

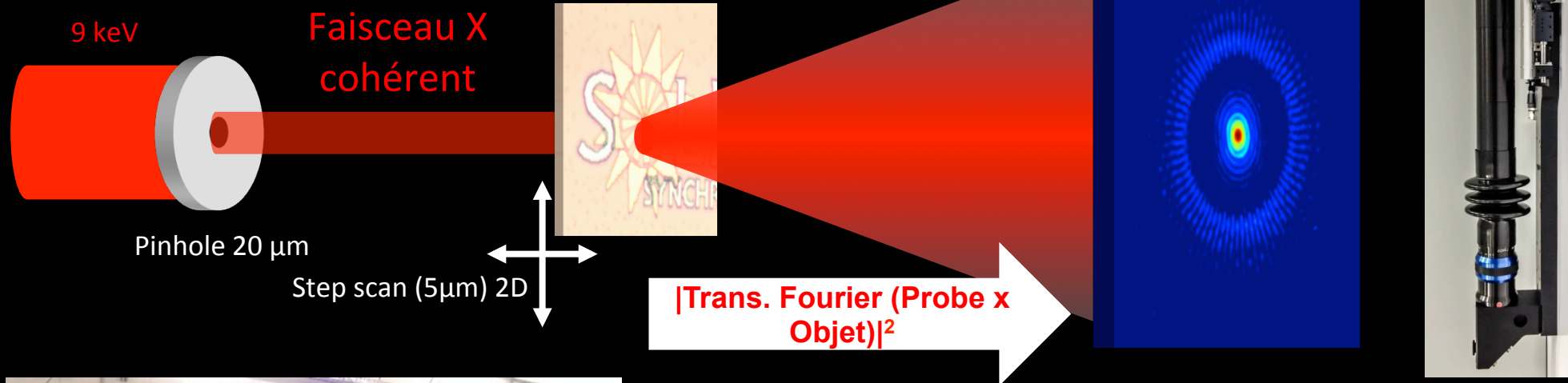
Développement méthodologique et applications

Evaluation de la Ptychographie

microscopie sans
lentilles à rayons X

diffraction en champ
lointain

Evaluation de la méthode sur le démonstrateur CX2

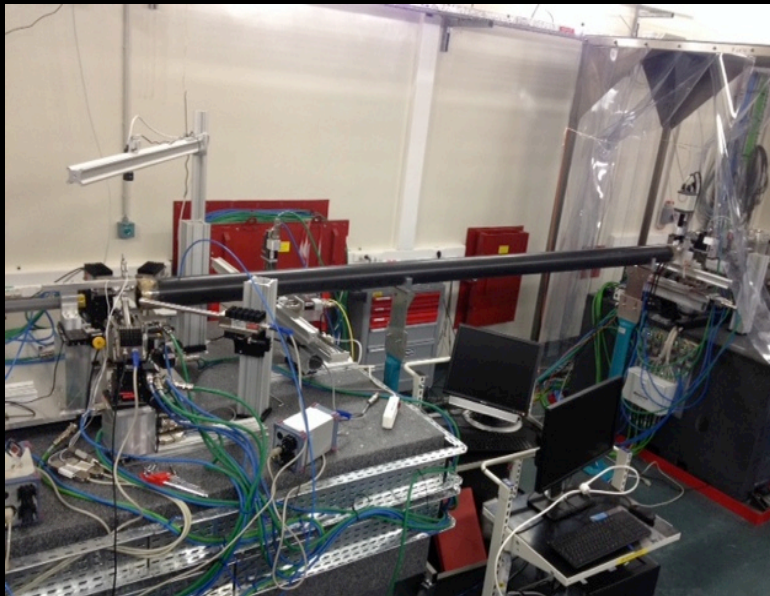


Reconstruction de phase et amplitude de l'objet
Méthode numérique itérative (PIE)

$$O_{n+1}(r - r_i) = O_n(r - r_i) + U(r) \times \left(\mathcal{F}^{-1} \left(\sqrt{I_j(k)} e^{i\phi_{j,n}(k)} \right) - P(r) O_n(r - r_j) \right)$$

$$U(r) = \beta \frac{|P(r)|}{\max(|P(r)|)} \frac{P^*(r)}{|P(r)|^2 + \alpha}$$

$$\text{Pixel}_{\text{Objet}} = \lambda z / (\text{Pixel}_{\text{detecteur}} \times N_{\text{pixel}})$$



Rodenburg, J. M. et al. Applied physics letters, 2004, 85(20), 4795-4797.

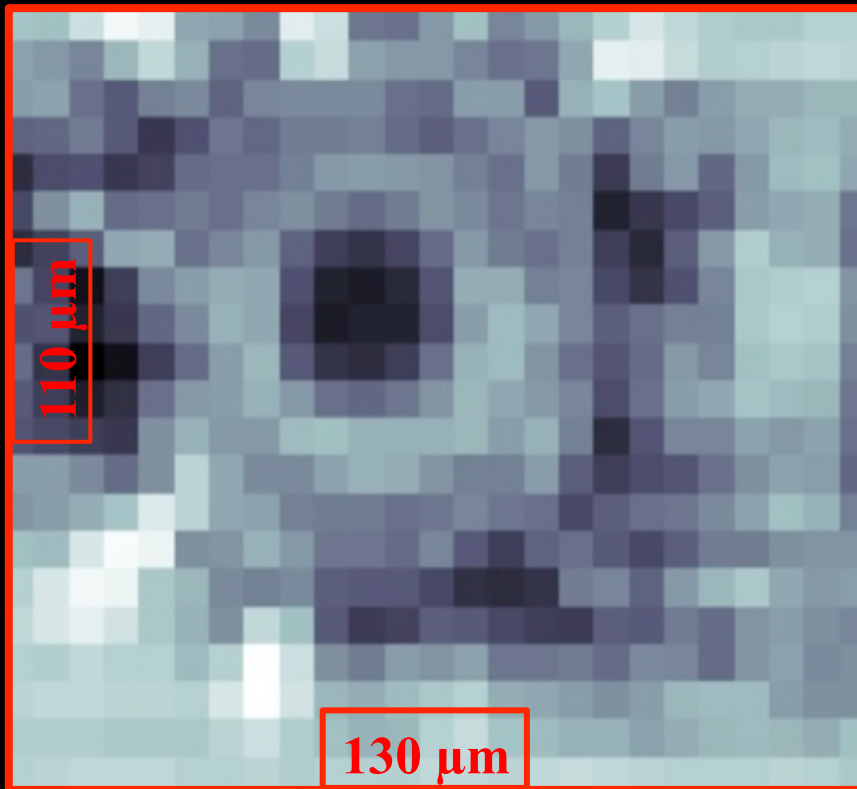
Développement méthodologique et applications

Evaluation de la Ptychographie

Paramètre du scan

- 22 x 26 pixels
- Step 5 μm

Image de transmission par balayage



Phase : Reconstruction par Ptychographie



Taille pixel reconstruit 350 nm

Remerciements

NANOSCOPIUM

- A. Somogyi
- J.P. Samama
- G. Baranton
- S. Chaouchi
- V. Leroux
- A. Bergamaschi
- G. Jacquy

Equipe FLYSCAN / ICA

- N. Leclercq
- J. Berthault
- F. Langlois
- S. Poirier
- A. Buteau
- S. Lé
- A. Nourredine

Groupe détecteurs

- S. Hustache (Com)
- M. Bordessoule
- T. Bucaille (Adm)
- A. Dawiec
- K. Desjardins
- B. Kanouté
- C. Menneglier

Groupe Instru

- F. Picca
- ECA
Y.M. Abiven
S. Zhang

Metrologie

- P. Mercère
- P. Da Silva

CPPM

- A. Bonnissant
- J.C. Clemens
- P. Delpierre
- B. Dinkespiller
- + tout XPIX

PX1

- A. Thompson (Dir)
- P. Legrand

Psiché

- J.P. Itié

D2AM

- N. Boudet
- J.F. Berar

Inst. Curie

- S. Marco
- C. Messaoudi

IPGP

- P. Philippot

