

Journées d'études en rayonnement thermique (JERT2018)

Modélisation de la propagation d'un laser dans un tissu biologique par la méthode de Monte Carlo

O. Farges¹, F. Asllanaj^{1,2}

¹Université de Lorraine, LEMTA, UMR 7563, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

²CNRS, LEMTA, UMR 7563, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Jeudi 22 Novembre 2018

Contexte

Autres travaux

Recours à MMC

Milieu biologique = milieu hétérogène

Contexte

Autres travaux

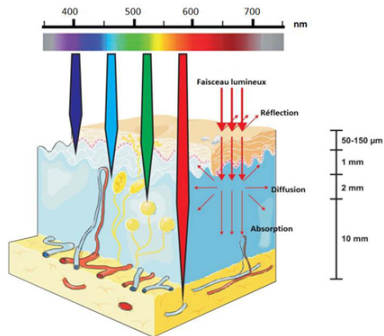
Recours à MMC

Milieu biologique = milieu hétérogène

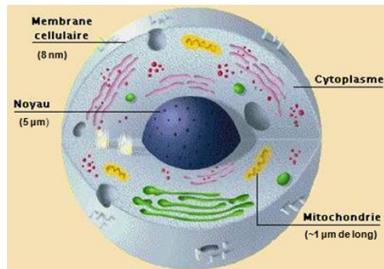
- ⊙ Méthode de diagnostic non-invasive



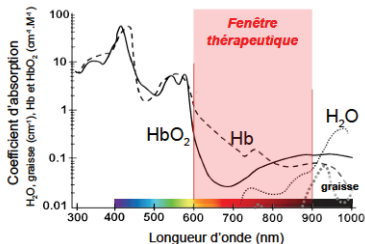
- ⊙ Méthode de diagnostic non-invasive
- ⊙ Pénétration du laser > 1 cm



- ⊙ Méthode de diagnostic non-invasive
- ⊙ Pénétration du laser > 1 cm
- ⊙ Laser diffusé



- ⊙ Méthode de diagnostic non-invasive
- ⊙ Pénétration du laser > 1 cm
- ⊙ Laser diffusé
- ⊙ Laser absorbé



- ⊙ Cellules **tumorales** vs Cellules **saines** \Rightarrow propriétés optiques affectées :
 - ▷ Cellules **tumorales** : fortement vascularisées \Rightarrow absorption impactée (k_a)
 - ▷ Cellules **tumorales** : noyaux plus gros \Rightarrow diffusion impactée (k_s et g)

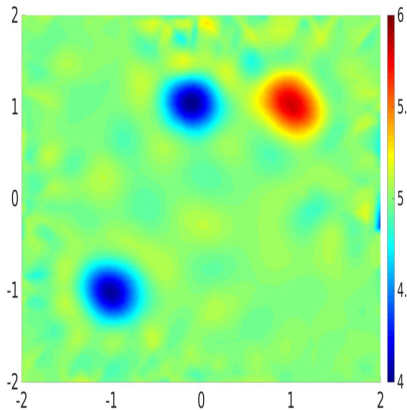
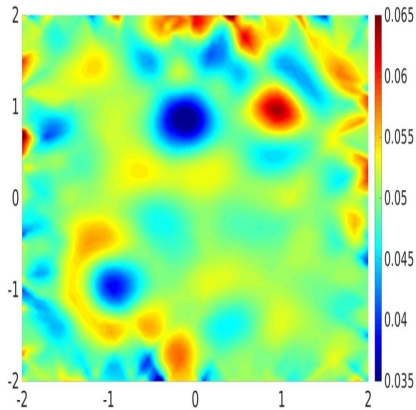
- ⊙ Cellules **tumorales** vs Cellules **saines** \Rightarrow propriétés optiques affectées :
 - ▷ Cellules **tumorales** : fortement vascularisées \Rightarrow absorption impactée (k_a)
 - ▷ Cellules **tumorales** : noyaux plus gros \Rightarrow diffusion impactée (k_s et g)

Modélisation de la propagation du laser par l'ETR

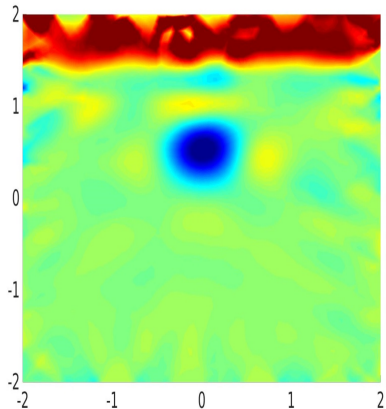
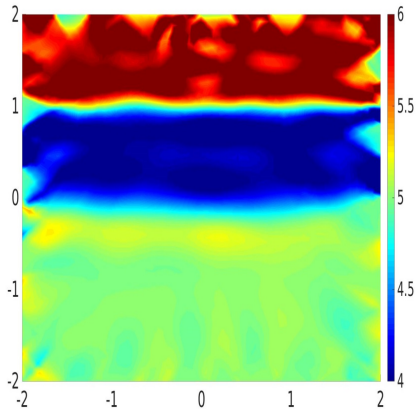
- ⊙ Cellules **tumorales** vs Cellules **saines** \Rightarrow propriétés optiques affectées :
 - ▷ Cellules **tumorales** : fortement vascularisées \Rightarrow absorption impactée (k_a)
 - ▷ Cellules **tumorales** : noyaux plus gros \Rightarrow diffusion impactée (k_s et g)

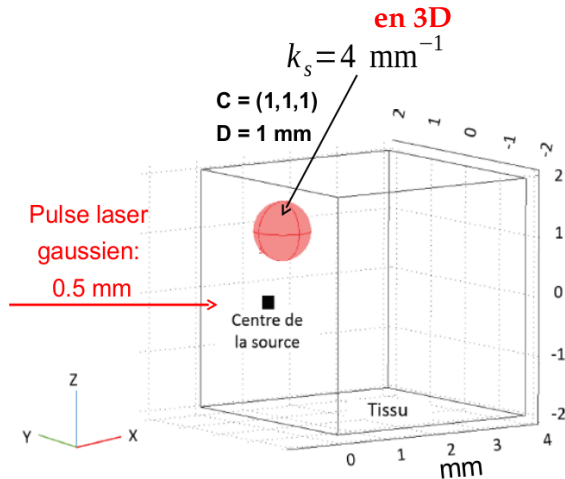
- ⊙ Travaux de F. Asllanaj et thèse de A. Addoum (LEMTA)
- ⊙ Résolution de l'ETR dans le domaine fréquentiel par la méthode des volumes finis modifiés (MVFm)
- ⊙ Algorithme de reconstruction par une méthode de Quasi-Newton et l'ETR adjointe résolue par MVFm à partir du flux rétrodiffusé

en 2D


 k_s , 3 inclusions (4, 4 et 6 mm^{-1})

 k_a , 3 inclusions (0.03, 0.03 et 0.06 mm^{-1})

en 2D


 $k_S, 2 \text{ couches} - 1 \text{ inclusion } (6, 5 \text{ et } 4 \text{ mm}^{-1})$

 $k_S, 3 \text{ couches } (6, 4 \text{ et } 5 \text{ mm}^{-1})$



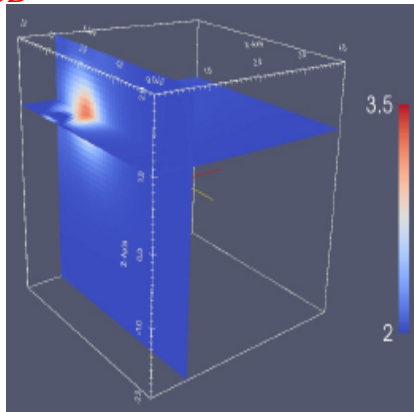
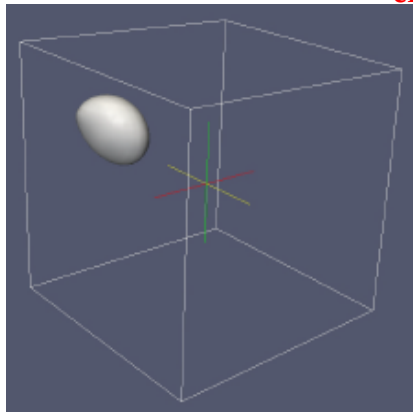
Hors de l'inclusion:

$$k_a = 0.01 \text{ mm}^{-1}$$

$$k_s = 2 \text{ mm}^{-1}$$

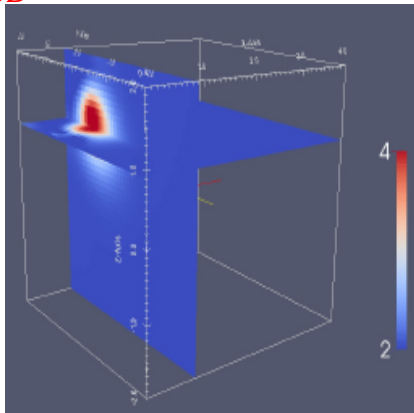
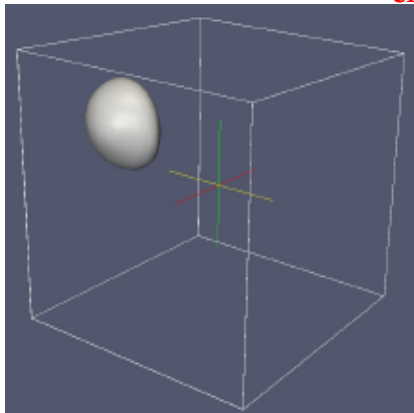
$$g = 0.8$$

en 3D



Pour 1 seule fréquence 600 MHz

en 3D



Pour 5 fréquences de modulation 100 MHz à 1000 MHz

Contexte

Autres travaux

Recours à MMC

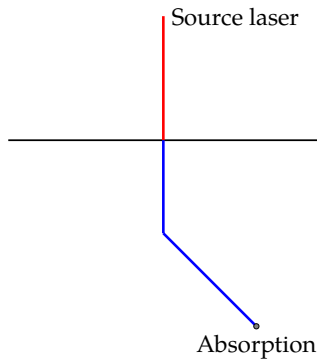
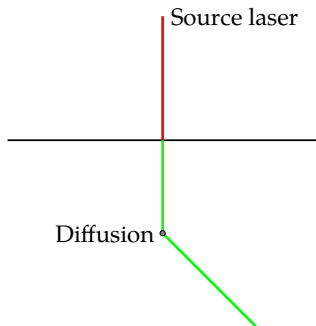
Milieu biologique = milieu hétérogène

- ⊙ Données obtenues pas MVFm

- ⊙ Données obtenues pas MVFm
- ⊙ Reconstruction par MVFm

- ⊙ Données obtenues pas MVFm
- ⊙ Reconstruction par MVFm
- ⊙ Recours à une autre méthode pour évaluer la robustesse de l'algorithme de reconstruction \Rightarrow Méthode de Monte Carlo

⊙ Milieu absorbant et diffusant



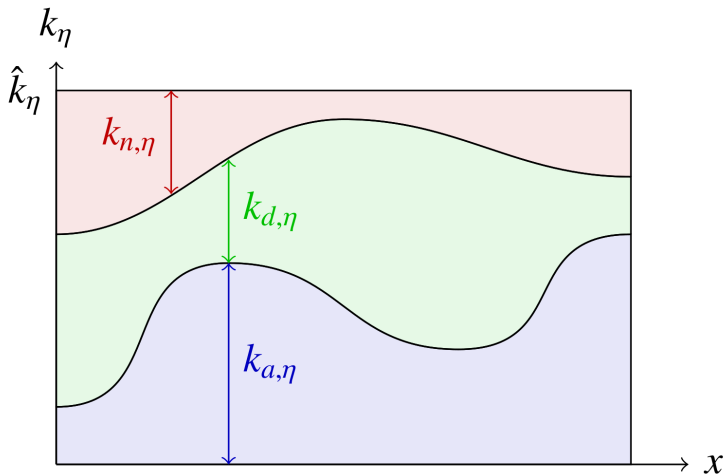
- ⊙ Le milieu a des propriétés optiques hétérogènes : problème pour échantillonner les libres parcours (distances entre 2 évènements)
- ⊙ alternatives courantes :
 - ▷ discrétisation spatiale du milieu
 - ▷ échantillonnage des épaisseurs optiques (mais problème de non linéarité dans l'expression statistique de l'ETR)
- ⊙ ⇒ **algorithmes à collision nulle** : Mis en œuvre pour des milieux gazeux hétérogènes¹

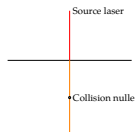
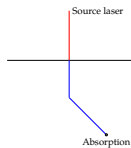
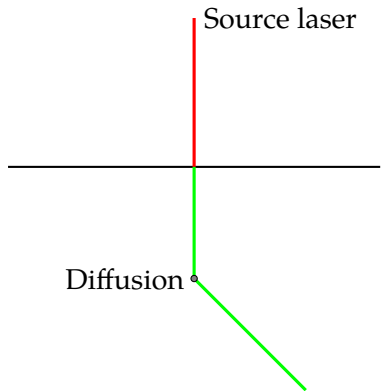
1. Mathieu GALTIER. « Approche statistique du rayonnement dans les milieux gazeux hétérogènes : de l'échantillonnage des transitions moléculaires au calcul de grandeurs radiatives ». Thèse de doct. Ecole nationale des Mines d'Albi-Carmaux, 2014.

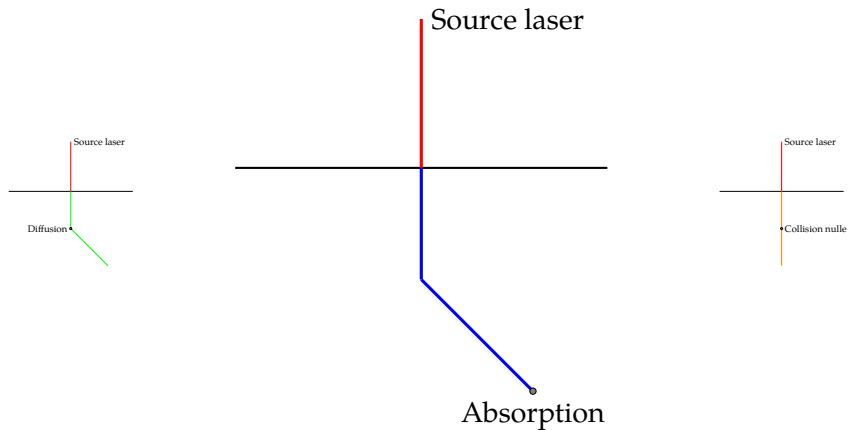
- ⊙ Addition arbitraire d'un champ positif de collision nulle k_n

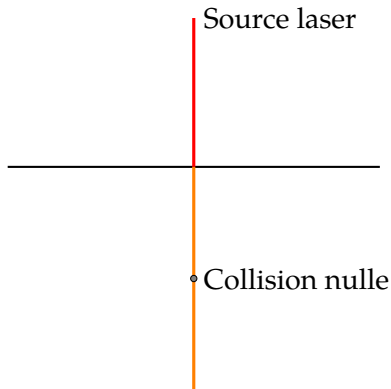
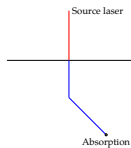
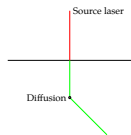
$$\hat{k} = k_a + k_s + k_n$$

- ⊙ Création d'un évènement qui est une simple diffusion vers l'avant
- ⊙ On échantillonne les longueurs de diffusion selon un coefficient constant dans l'espace

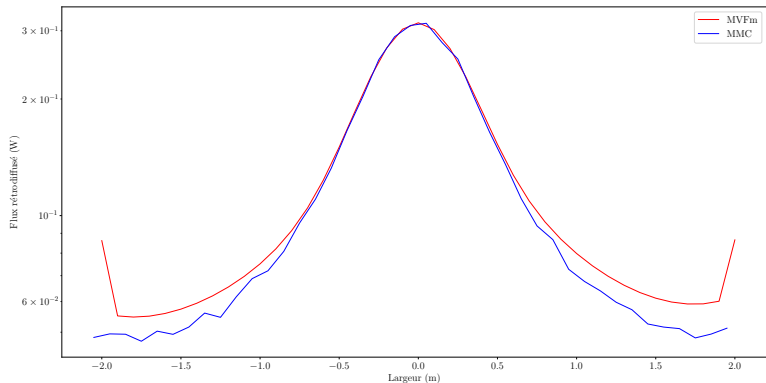


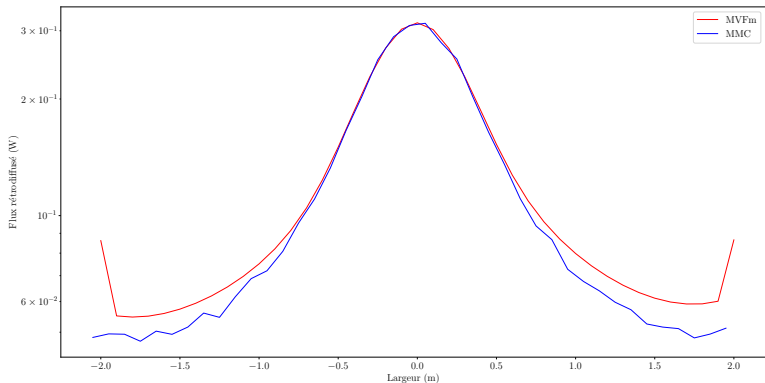






- ⊙ Cube de dimension $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$
- ⊙ Inclusion tumorale : sphère de diamètre $0,5 \text{ mm}$ placée en $(x = 3, y = 3, z = 3)$
- ⊙ Source : pulse laser gaussien
- ⊙ Propriétés : $k_{a,s} = 0,01 \text{ mm}^{-1}$, $k_{s,s} = 2 \text{ mm}^{-1}$, $k_{a,t} = 0,02 \text{ mm}^{-1}$, $k_{s,t} = 4 \text{ mm}^{-1}$ et $g = 0.8$ (fonction de phase H.G.)
- ⊙ Algorithme MC développé avec Star-engine
- ⊙ Comparaison du flux rétrodiffusé en $y = 0, z = 4$





○ Recours à collision nulle en milieu biologique vs milieux gazeux

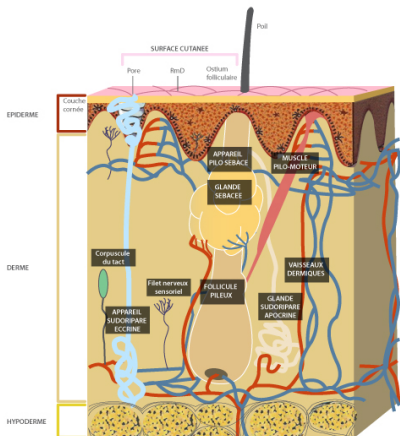
Contexte

Autres travaux

Recours à MMC

Milieu biologique = milieu hétérogène

- De fortes hétérogénéités :
 - ▷ Vaisseaux sanguins,
 - ▷ Glandes,
 - ▷ Follicules, ...



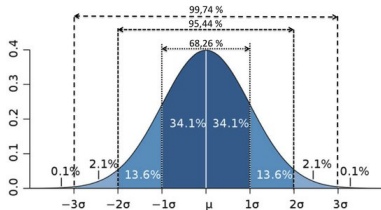
La peau : Schéma général

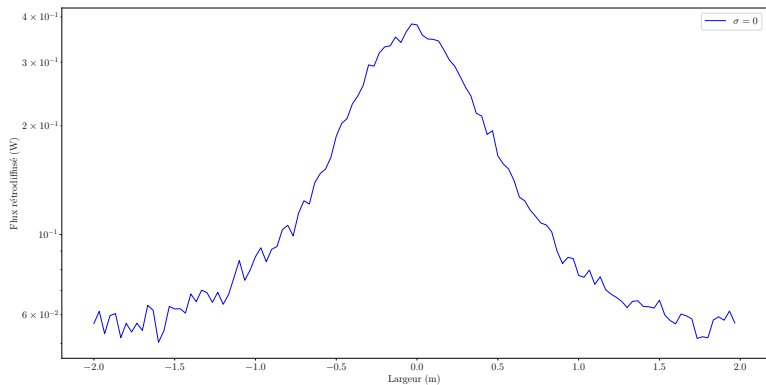
- ⊙ Données disponibles pour k_a , k_s et g peu nombreuses
- ⊙ Variation d'une personne à l'autre, d'un moment de la journée à l'autre, ...

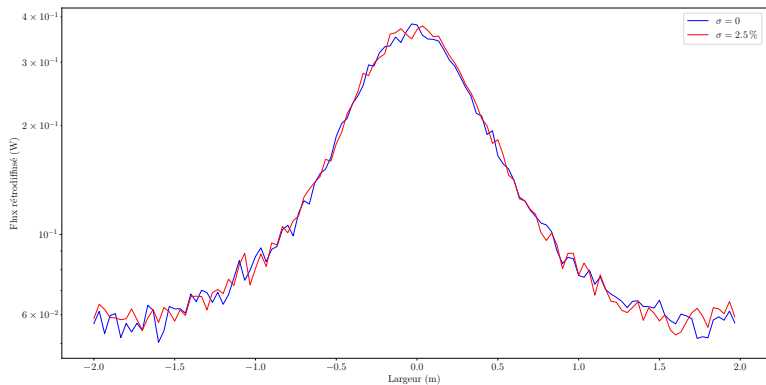
- ⊙ Données disponibles pour k_a , k_s et g peu nombreuses
- ⊙ Variation d'une personne à l'autre, d'un moment de la journée à l'autre, ...
- ⊙ **Valeurs constantes pour zone saine et zone tumorale ?**

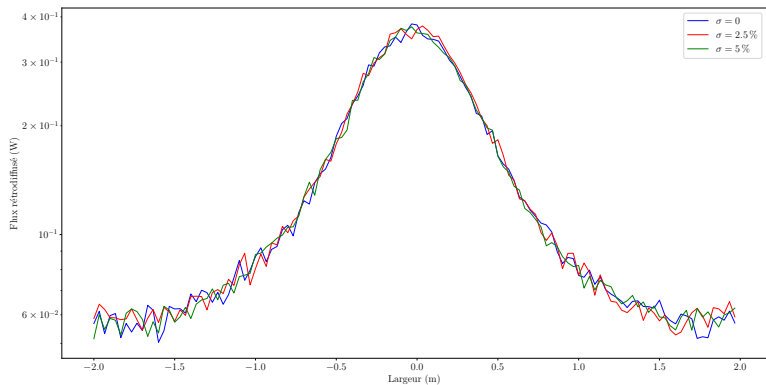
- ⊙ Données disponibles pour k_a , k_s et g peu nombreuses
- ⊙ Variation d'une personne à l'autre, d'un moment de la journée à l'autre, ...
- ⊙ **Valeurs constantes pour zone saine et zone tumorale ?**
- ⊙ Utilisation de MMC pour propagation d'une incertitude « *de mesure* »

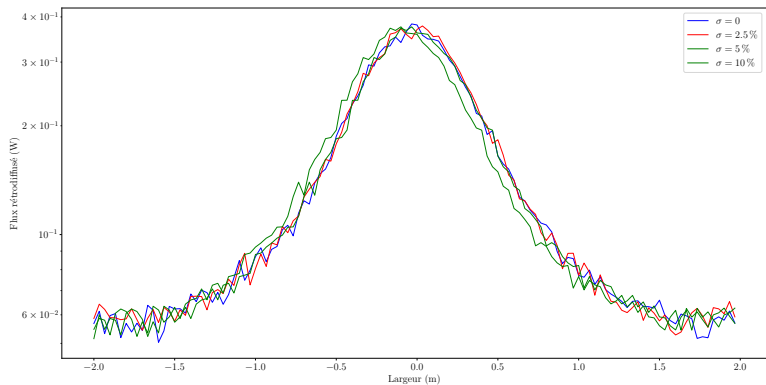
- ⊙ Rappel : $k_{a,s} = 0,01 \text{ mm}^{-1}$,
 $k_{s,s} = 2 \text{ mm}^{-1}$,
 $k_{a,t} = 0,02 \text{ mm}^{-1}$,
 $k_{s,t} = 4 \text{ mm}^{-1}$
- ⊙ Écart-type pour chaque grandeur : $\sigma = 2,5\% \times k_{x,x}$
 et $\sigma = 5\% \times k_{x,x}$
- ⊙ Valeurs échantillonnées selon une distribution gaussienne
- ⊙ \hat{k} fixé à $+5\sigma$

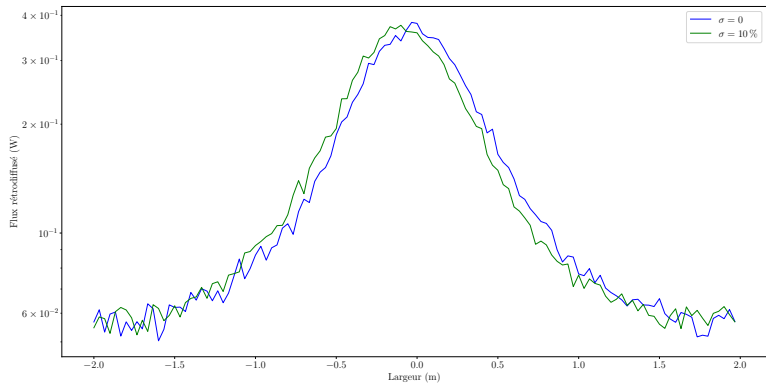












- ⊙ Reconstruction à partir des valeurs « bruitées »
- ⊙ Utilisation MMC pour reconstruction (sensibilité du flux rétrodiffusé aux paramètres)

Contexte

Autres travaux

Recours à MMC

Milieu biologique = milieu hétérogène

- ⊙ Traitement par hyperthermie induite par laser (HTL)
 - ▷ Effets thermiques induits par une source laser
 - ▷ Modéliser les transferts de chaleur
 - ▷ Comprendre le phénomène de dénaturation dans les tissus vivants
- ⊙ Projet BioPAC
- ⊙ Imagerie photoacoustique

- ⊙ Traitement par hyperthermie induite par laser (HTL)
- ⊙ Projet BioPAC
 - ▷ Bio-printing d'organoïdes
 - ▷ Utilisation de cellules saines et cellules tumorales
 - ▷ Géométrie maîtrisée
 - ▷ Traitement par HTL et photothérapie dynamique (PDT)
 - ▷ 4 labos : IJL, LRGP, ERPI, LEMTA
- ⊙ Imagerie photoacoustique

- ⊙ Traitement par hyperthermie induite par laser (HTL)
- ⊙ Projet BioPAC
- ⊙ Imagerie photoacoustique
 - ▷ Ondes acoustiques induites dans un objet illuminé par un laser
 - ▷ Détection d'ultrasons (échographie)

Merci pour votre attention