

Simulations de l'hydrodynamique des trous noirs en rotations



Antoine Boulet
Magistère de physique fondamentale
Univerité Paris-Sud

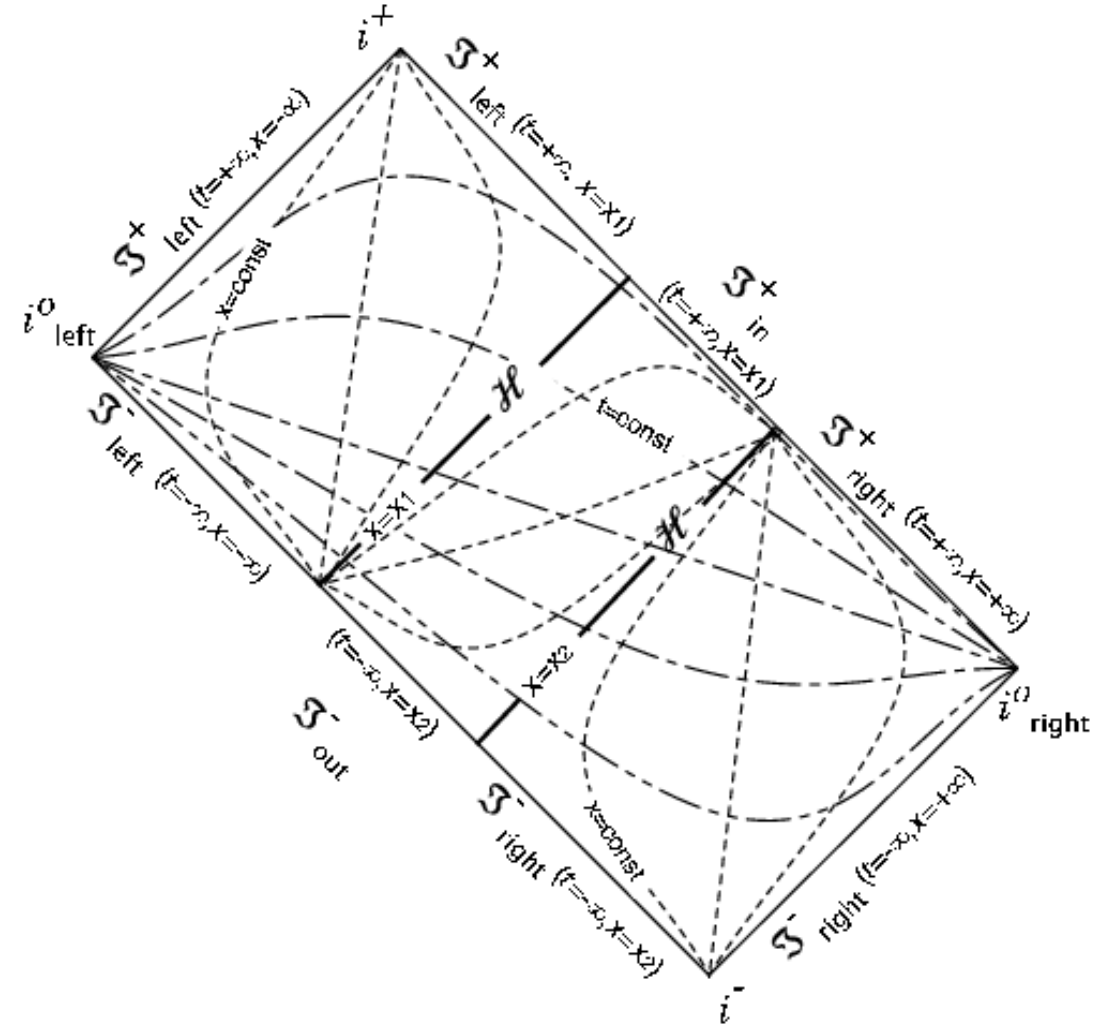
Superviseur : Dr Silke Weinfurtnr, Univerité de Nottingham

Plan de la présentation

Introduction

1. Hydrodynamique des trous noirs
 1. Gravité analogue : qu'est-ce que c'est ?
 2. Effet Hawking
 3. Analogie espace-temps / fluide classique
 4. Présentation de l'expérience
2. Profilométrie par transformé de Fourier
 1. Principe de la methode
 2. Construction des images
 3. Simulation et analyse
 4. Résultats et conclusion

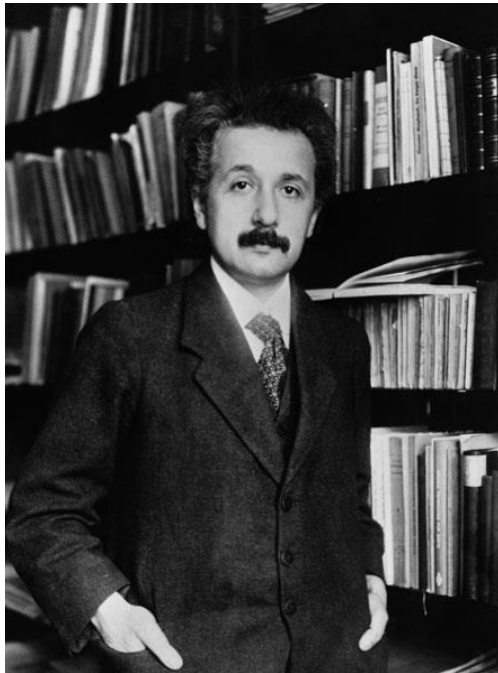
Conclusion



Introduction

Relativité Générale

Albert Einstein



Mécanique Quantique

Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis de Broglie, Max Born, Paul Dirac, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger, etc.

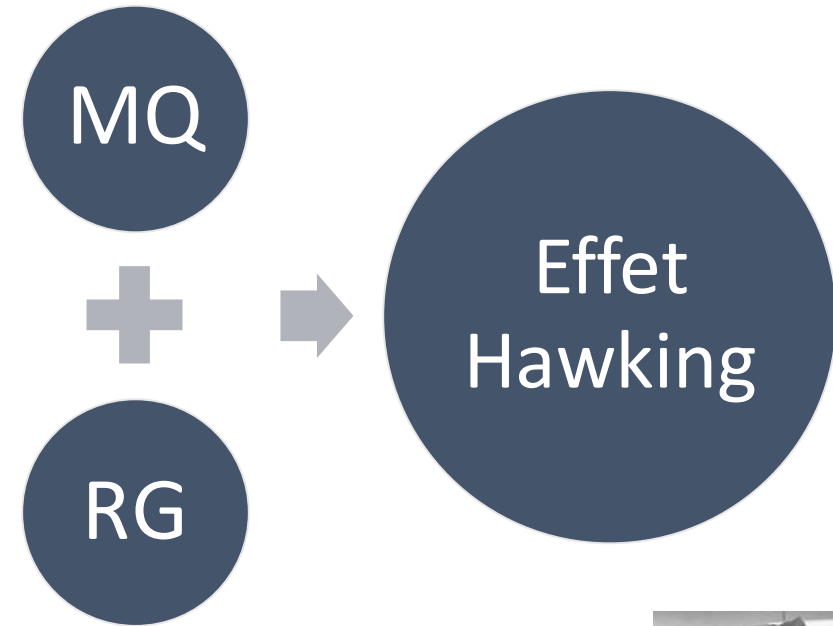
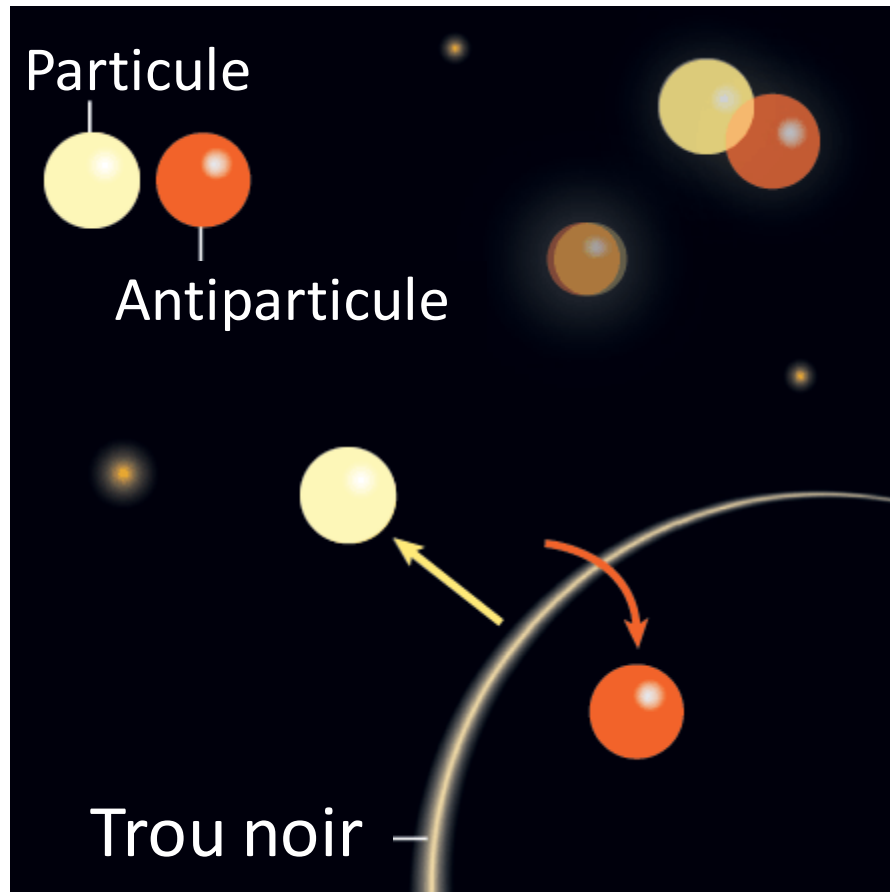


Gravité analogue : qu'est-ce que c'est ?

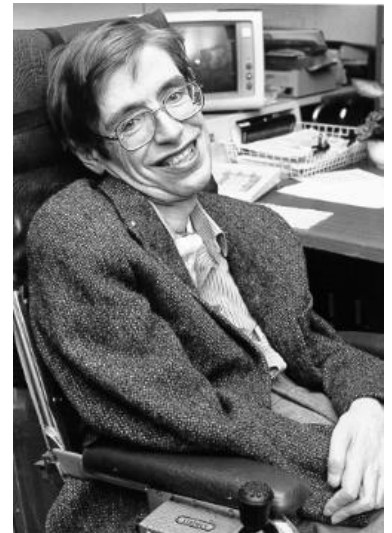
- Condensat de Bose-Einstein
- Helium liquide
- Ressaut hydraulique
- Etranglement fluide
- Fluide convergent (avec ou sans vortex)
- etc.



Effet Hawking (i)



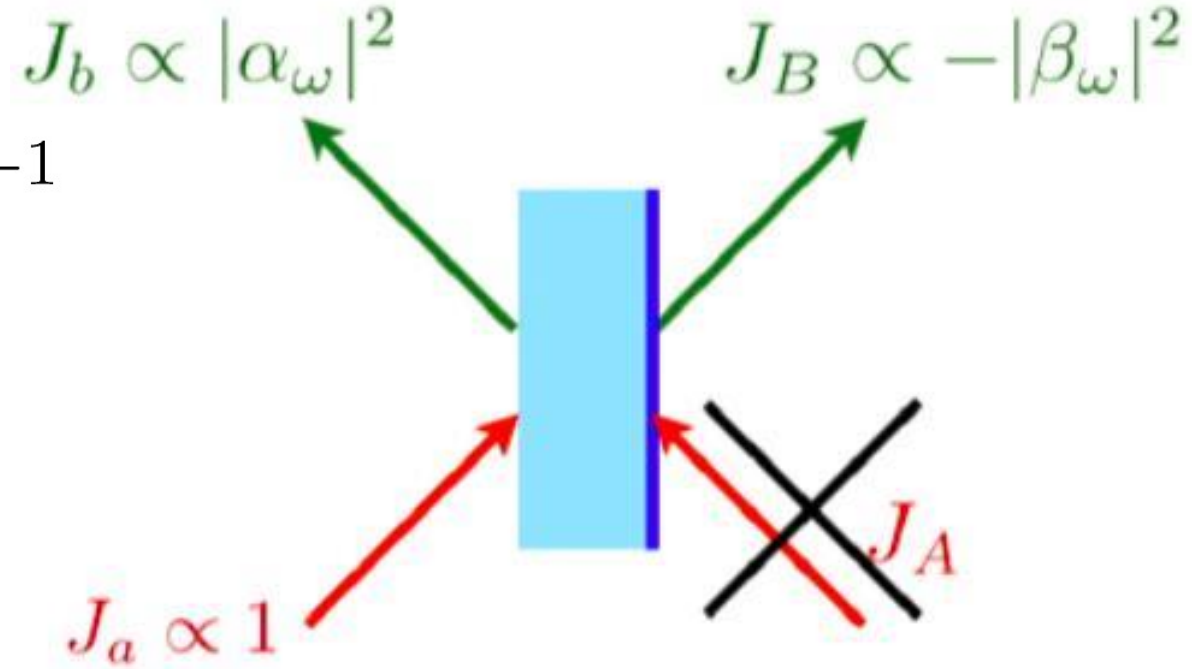
*S. Hawking, "Particle
creation by black holes,"
(1975)*



Effet Hawking (ii)

$$J_a - J_b \propto \left(\exp \frac{\hbar \omega}{k_B T_H} - 1 \right)^{-1}$$

$$k_B T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M}$$



PS
(k)

MQ
(h)

RR
(c)

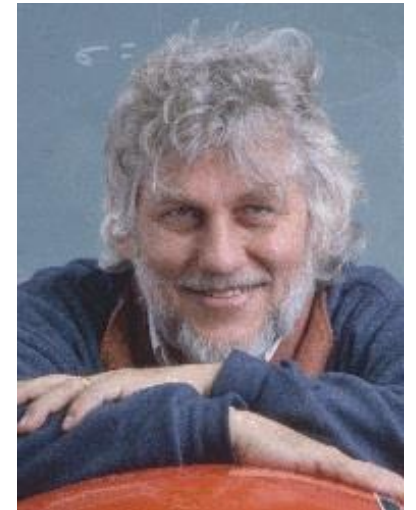
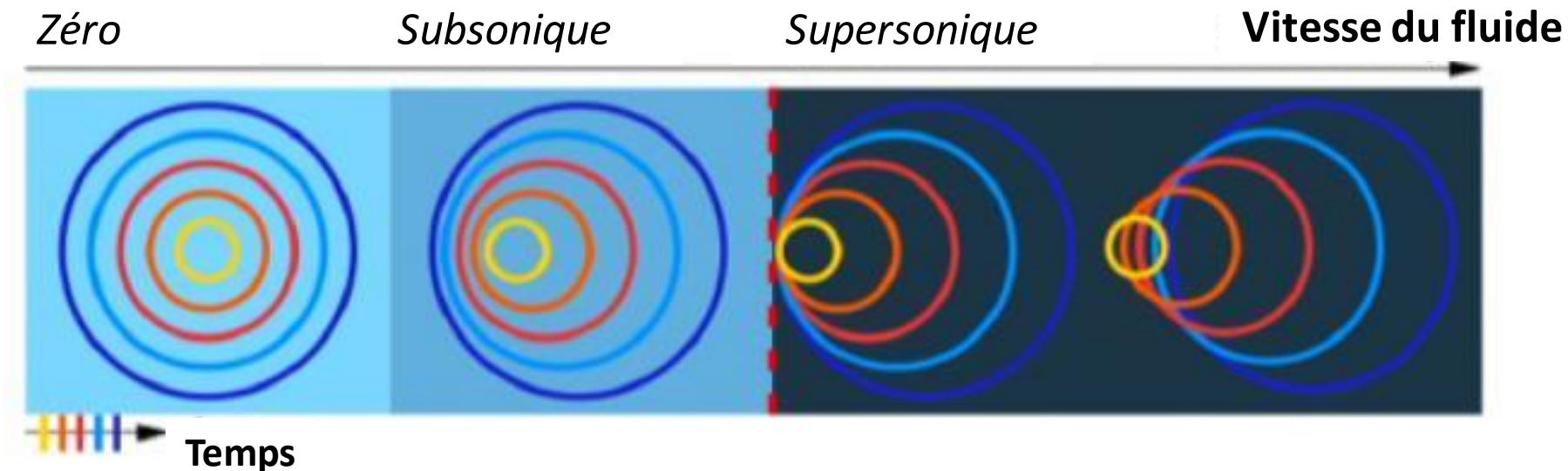
RG
(G)

Analogie espace-temps / fluide classique

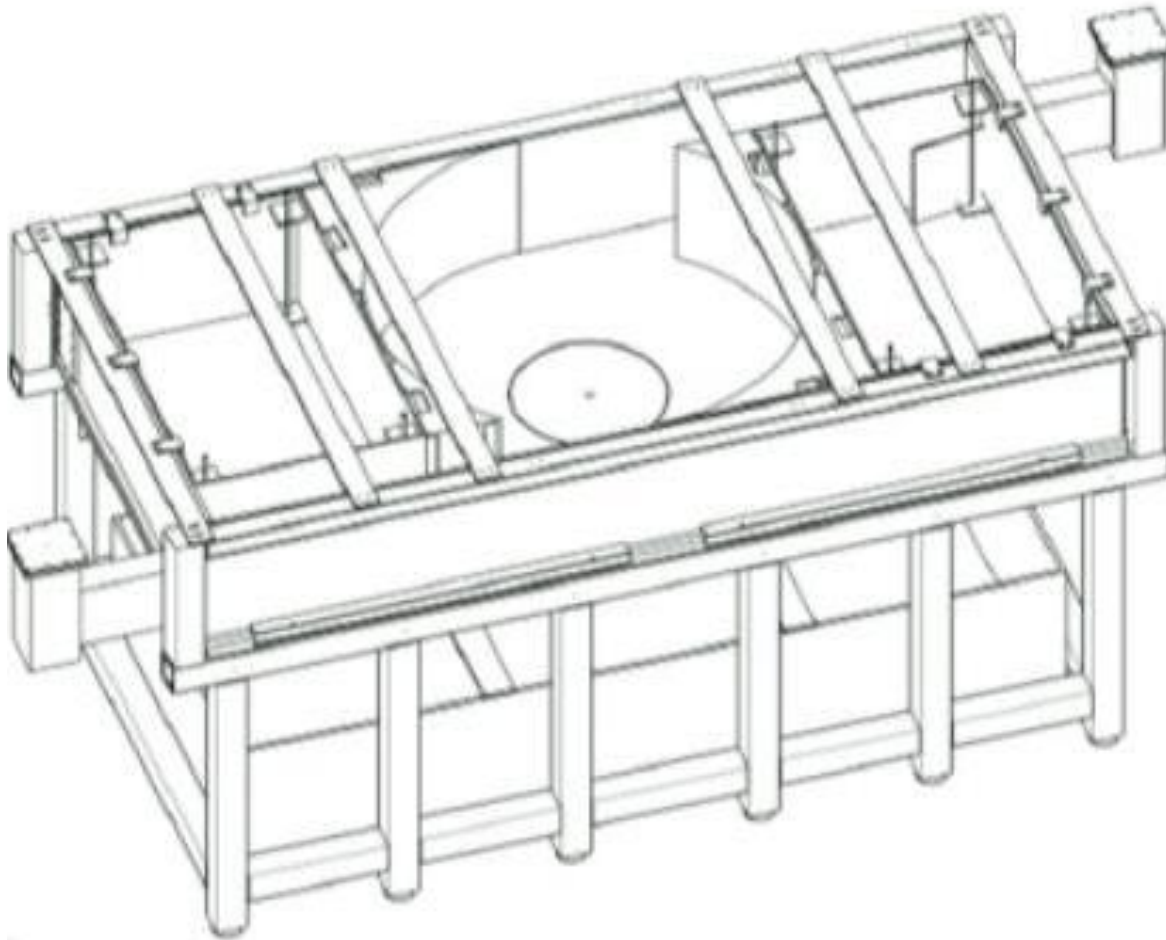
Equation de Navier-Stokes pour les phonons :

$$\left(\frac{1}{\sqrt{-g}} \partial_\mu \sqrt{-g} g^{\mu\nu} \partial_\nu \right) \delta\psi = 0$$

*W. G. Unruh, "Experimental
black-hole evaporation?,"
(1981)*



Présentation de l'expérience



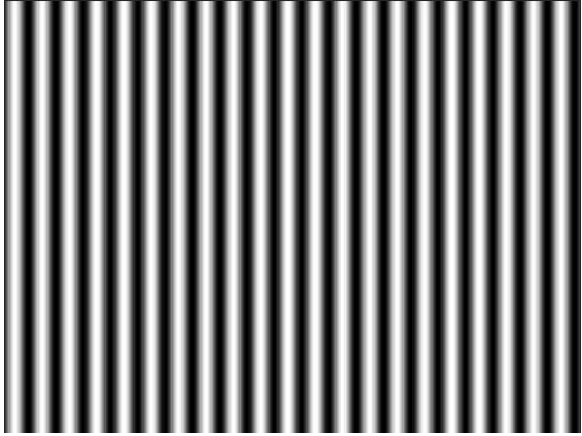
Objectif

- Détecter l'amplification de vagues d'amplitude 0.1 mm

Solution

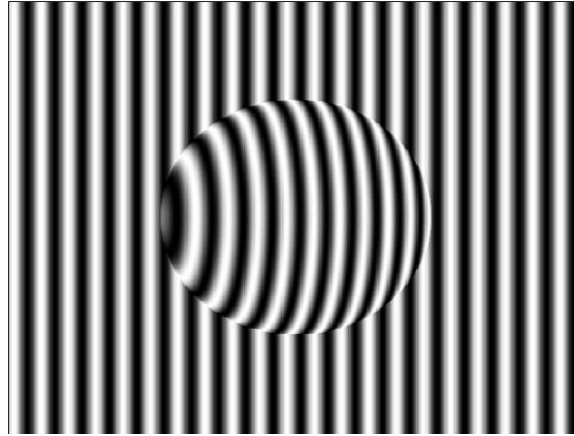
- Profilométrie par transformée de Fourier

Principe de la methode



$$I_0 = \sum A_n \exp in kx$$

$$\hat{I}_0 = A_1 \exp i kx$$



$$I = \sum A_n \exp in (kx + \phi)$$

$$\hat{I} = A_1 \exp i (kx + \phi)$$

$$\text{Im} \left(\log \hat{I} \hat{I}_0^* \right) = \phi$$

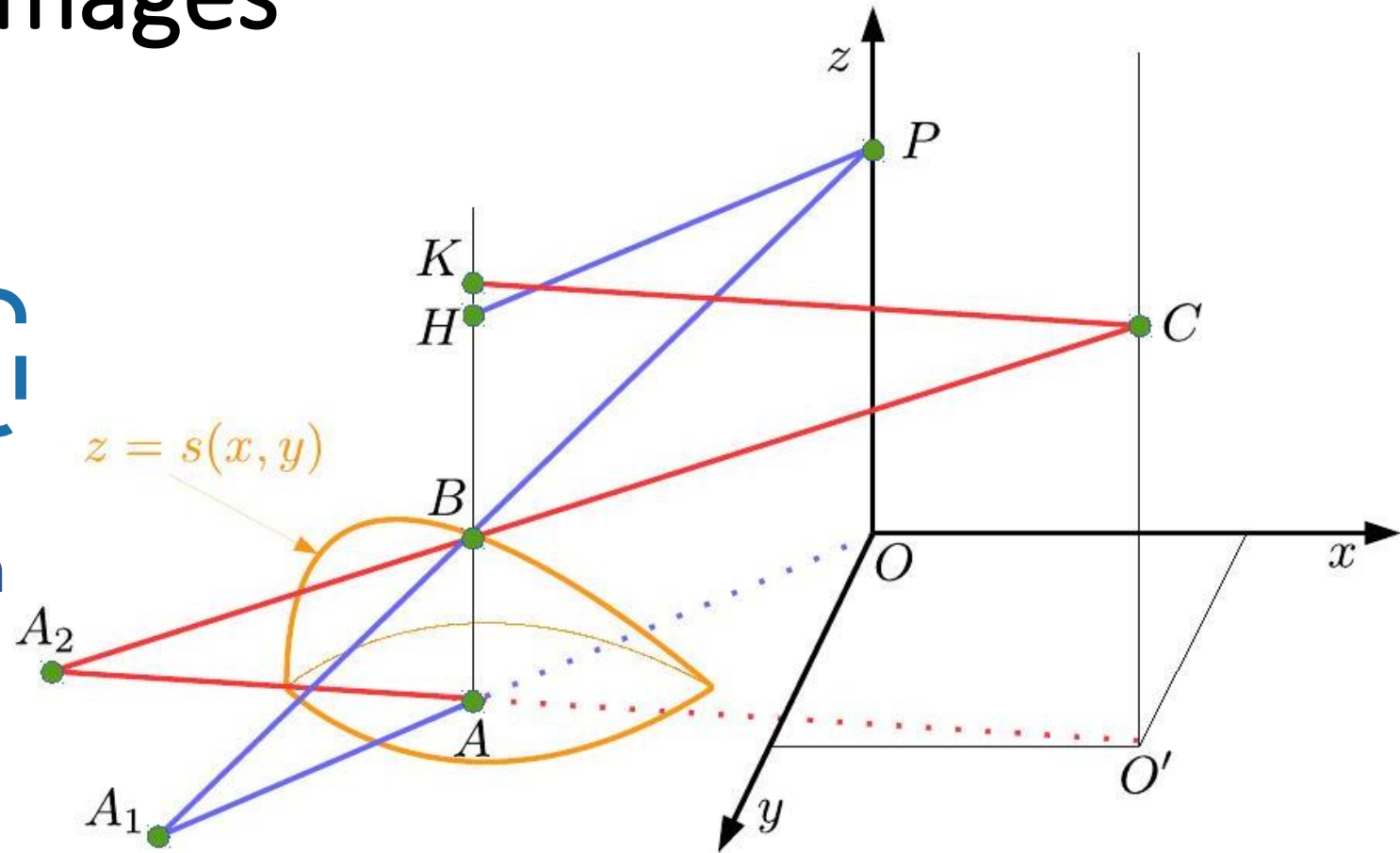
$$s(x, y) = -\frac{L_X}{L_Z} \frac{\phi(x, y)}{k}$$

M. Takeda, "FTP for the automatic measurement of 3-D object shapes," (1983)



Construction des images

$$\boxed{I(x_2, y_2)}_{\text{avec déformation}} = \boxed{I_0(x_1, y_1)}_{\text{sans déformation}}$$



$$s(x, y) \sim -\frac{\phi(x, y)}{k} \left(\frac{x - x_c}{z_c} - \frac{x - x_p}{z_p} \right)^{-1}$$

Simulation et analyse

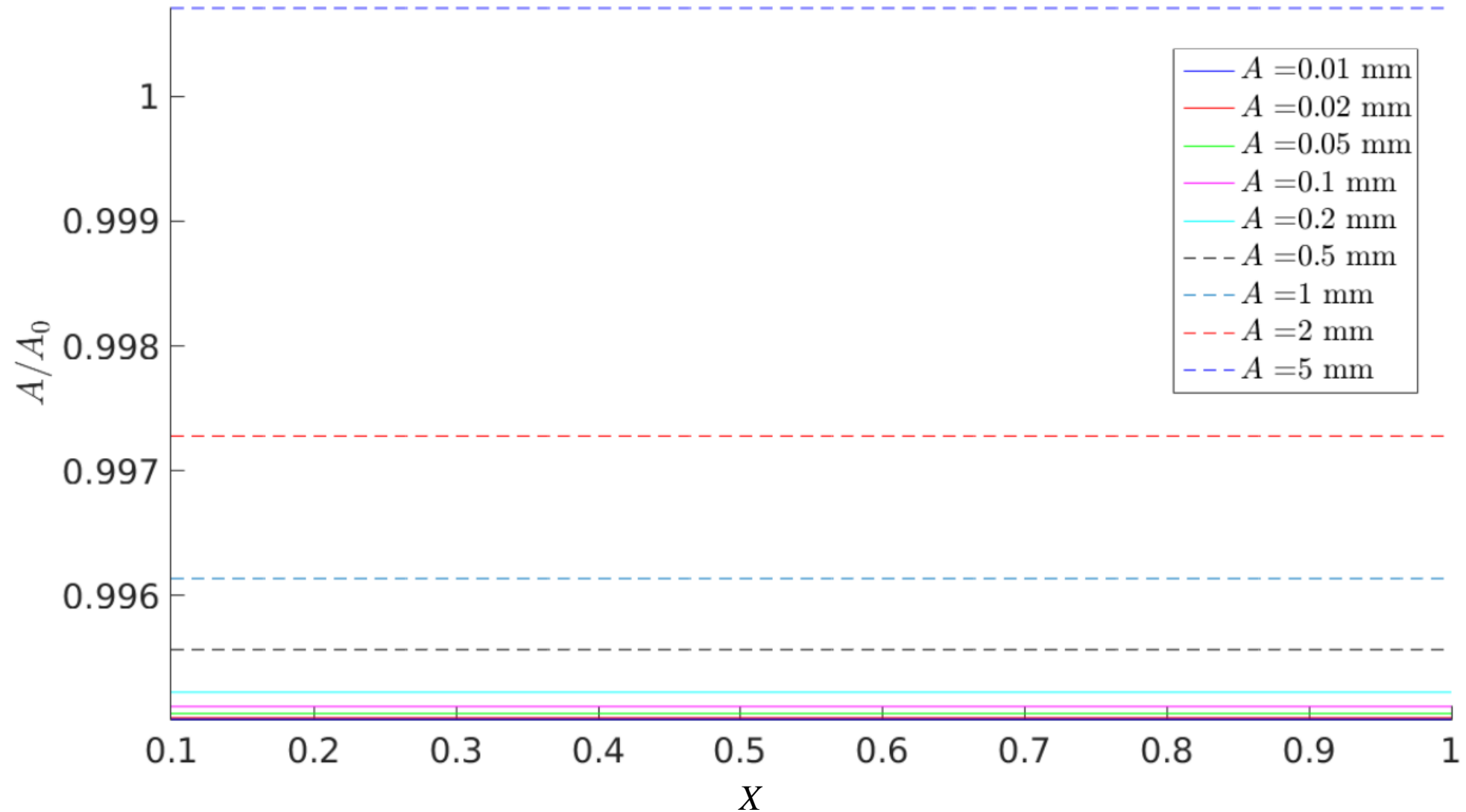
Paramètres à tester

- Fréquence (spatiale) de la grille, k
- Distance camera / surface, Z
- Distance camera / projecteur, X

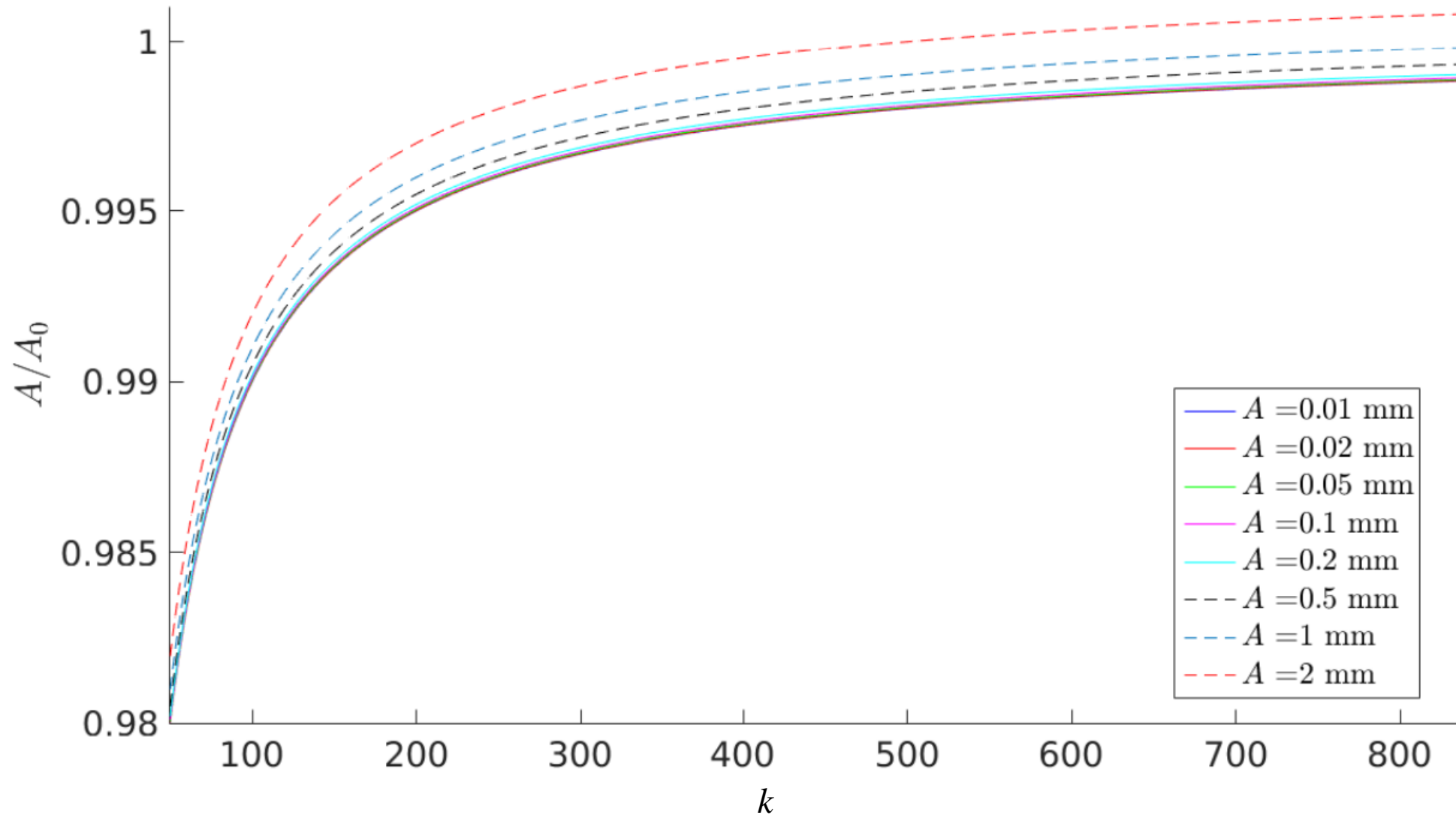
Comment faire ?

- Signal sinusoïdal : $s(x,y) = A \sin(px)$
- Pixellisation de la camera (taille des pixels, nombre par période)
- Varier k (X, Z constants), etc.

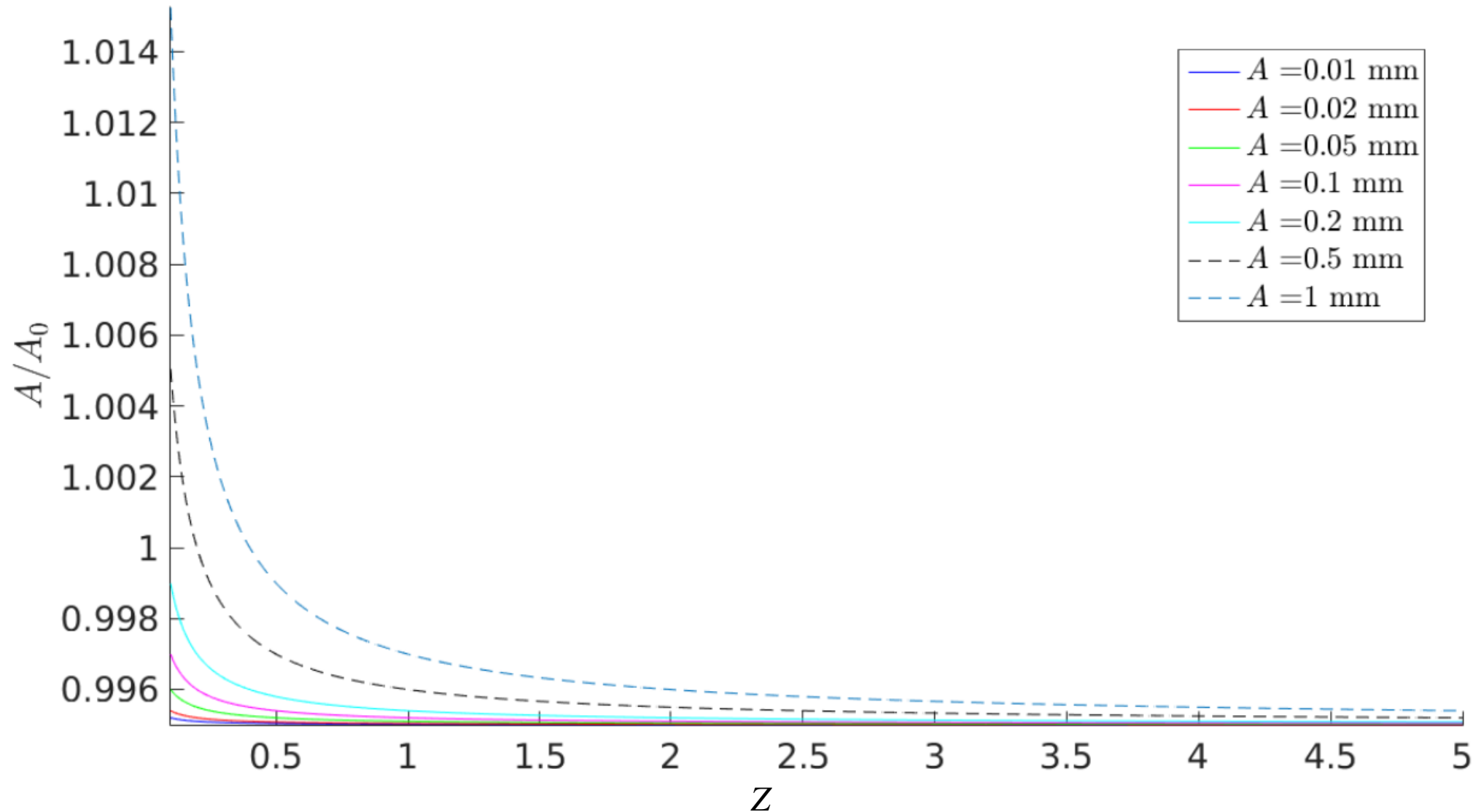
Résultats et conclusions (i)



Résultats et conclusions (ii)



Résultats et conclusions (iii)





Conclusion

Explosion des trous noirs

- Relativité général + mécanique quantique
- Radiation thermique : émission de photons

Gravité analogue

- Analogie espace-temps / fluide
- Analogie photons / phonons

Profilométrie par transformé de Fourier

- Grille périodique sur une surface + analyse de Fourier
- Relation avec l'amplitude de la déformation
- Efficace aux grandes fréquence et aux grandes distances camera / surface