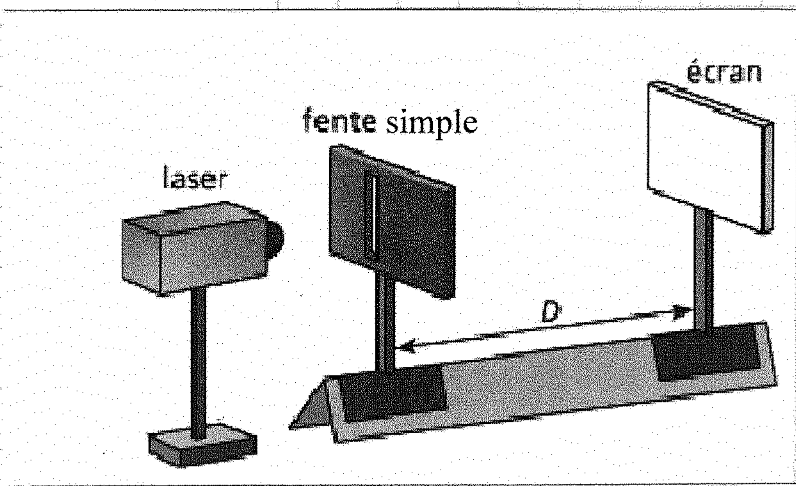
Tp Diffraction

CONTEXTE DU SUJET

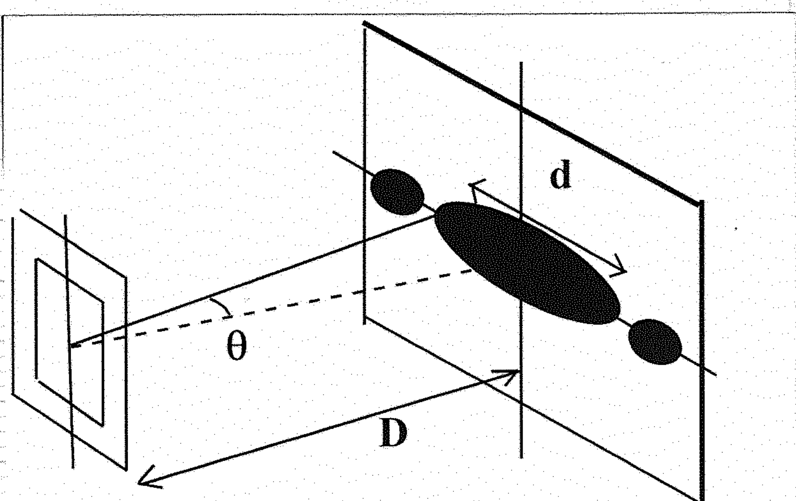
L'échographie, qui utilise des ultrasons pour voir à l'intérieur des tissus vivants, bute sur une limite physique: il lui est impossible de discriminer deux points distants de moins de la moitié de la longueur d'onde des ultrasons produit pour en percevoir l'écho. Cette limite de diffraction peut cependant être contournée avec des techniques dites de super résolution, qui combinent plusieurs images réalisées à haute fréquence. C'est ce que vient de réaliser une équipe française qui décrit dans le magasine Nature du 25 novembre 2015, comment elle a pu visualiser le système vasculaire de cerveaux de rats vivants, à l'échelle des globules rouges, en utilisant comme produit de contraste des microbulles d'air injectées dans leur circuit sanguin. Cette méthode de microscopie permet aussi de mesurer le débit sanguin avec une résolution inégalée.
Le but de ce Tp est de modéliser au laboratoire le phénomène de diffraction.

(I) Approche qualitative



Je réalise le dispositif ci contre

Une fente fine verticale de largeur a est placée sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde λ



Sur un écran placé à une distance D de la fente fine on visualise la figure de diffraction

Une tache centrale horizontale lumineuse et de part et d'autre des taches moins lumineuses et plus petites

La largeur de la tache centrale est donnée par la relation

$$d = \frac{2\lambda D}{a}$$

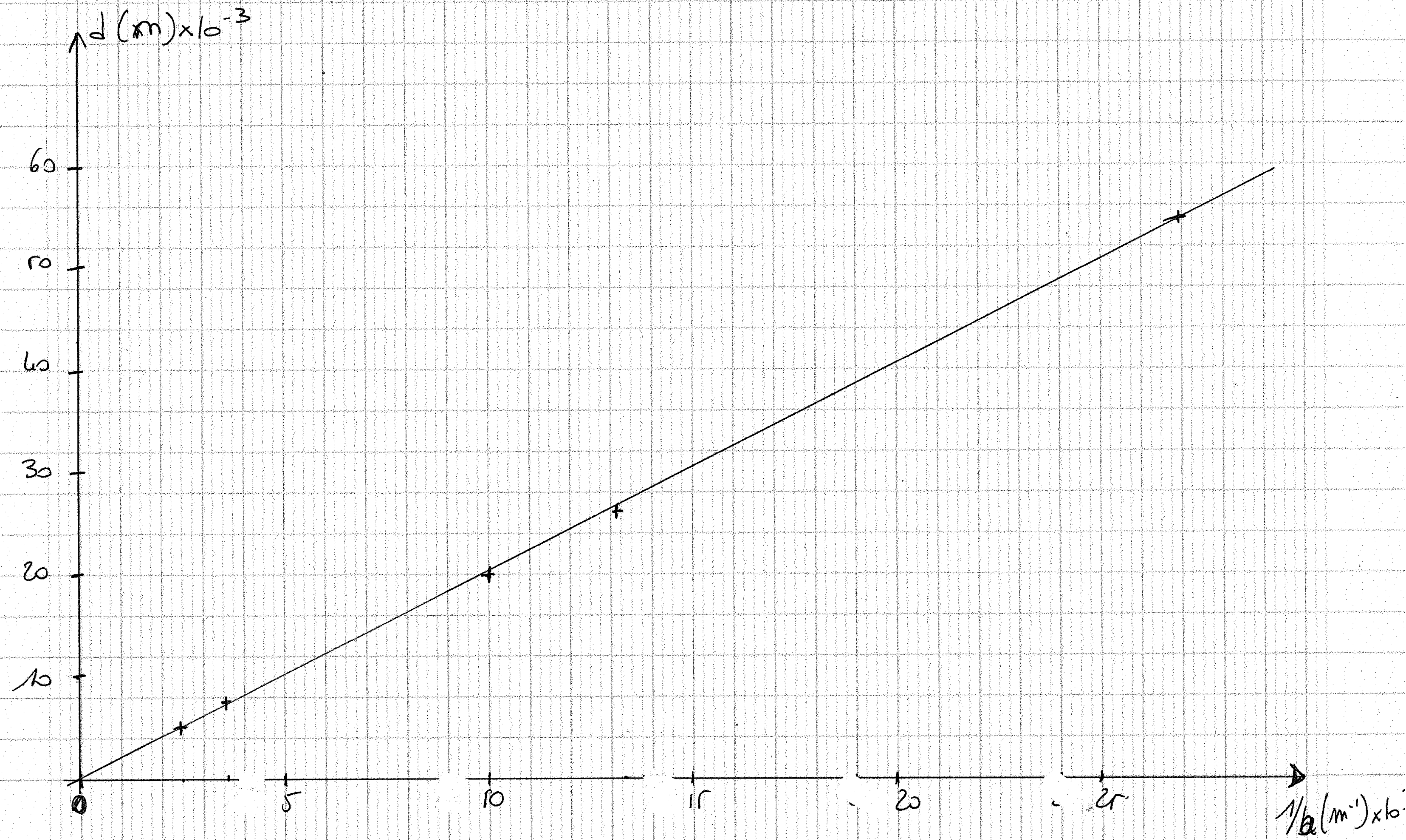
J'observe que la largeur d de la tache augmente lorsque
- la distance D augmente
- la largeur a de la fente diminue

Resultats coherents avec la formule du cours puisque
- D est au numerateur
- alors que a est au denominateur

III) Approche quantitative

Pour une longueur d'onde $\lambda = 650$ nm donnée par le constructeur et une distance $D = 160$ cm fixée, je vais relever la largeur d de la tache centrale pour diverses valeurs de largeur a de la fente voir tableau

n° de la fente	7	6	5	4	3
a (en µm)	400	280	100	75	37
a x 10^{-4} (en m)	4,00	2,80	1,00	0,75	0,37
1/a (en m^{-1}) x 10^3 (ING)	2,5	3,6	10	13,3	27
d (en cm)	0,5	0,7	2,0	2,6	5,5
d (en m) x 10^{-3}	5,0	7,0	20,0	26	55


d (m) x10^-3
60
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
1/a (m^-1) x10

Je visualise une droite qui passe par l'origine
→ il y a donc proportionnalité de la forme

$d = k \times \frac{1}{a}$ avec k = coef directeur =

$$k = \frac{y_B}{x_B} = \frac{55\times10^{-3}}{27\times10^{3}} = 2{,}03\times10^{-6}\,m^2$$

à comparer avec $d = \frac{2\lambda D}{a} = 2\lambda D \times \frac{1}{a}$.

$$\Rightarrow k_{exp} = 2\lambda D \Rightarrow \lambda_{exp} = \frac{k_{exp}}{2\times D}$$

$$\rightarrow \lambda_{exp} = \frac{2{,}03\times10^{-6}}{2\times1{,}60} = 636\,nm.$$

Valeur à comparer avec $\lambda_{theo} = 650\,nm$

L'écart s'explique par des incertitudes expérimentales

III Incertitudes expérimentales

On applique les formules données.

Indications pour l'évaluation des incertitudes.

- Pour calculer la longueur d'onde λ, on a la relation $\lambda = \dfrac{a \times d}{2 \times D}$ L'incertitude $\Delta\lambda$ sur la mesure de la longueur d'onde λ est donnée par la relation

$$\Delta\lambda = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$$

- Pour l'incertitude Δa sur la largeur a de la fente, elle est donnée par le constructeur $\Delta a = 2\ \mu m$

- Pour l'incertitude Δd sur la mesure de la tache d centrale de diffraction, il existe deux contributions.
  - L'une est due aux lectures sur la règle utilisée pour faire cette mesure.
  - L'autre résulte de la difficulté d'identifier parfaitement les positions de deux minimums d'éclairement.

  On supposera que cette incertitude Δd a pour valeur $\Delta d = 1$ mm.

- Pour l'incertitude ΔD sur la mesure de la distance D à l'écran, on évalue l'incertitude liée au mètre-ruban à $\Delta D = 1$ cm

pour fente 5 $a = (100 \pm 2)\ \mu m$

$d = (20{,}0 \pm 1)$ mm.

$D = (160 \pm 1)$ cm.

$$\Rightarrow \Delta\lambda = 636 \times \sqrt{\left(\frac{2}{100}\right)^2 + \left(\frac{1}{20}\right)^2 + \left(\frac{1}{160}\right)^2}$$

$\Rightarrow \Delta\lambda = 34{,}4 \simeq 35$ nm.

$\Rightarrow \lambda = (636 \pm 35)$ nm.