



HAL
open science

Capteurs endoluminaux à liaisons optiques pour l'IRM : Perspectives

Paul Nobre, Gwenaël Gaborit, Olivier Beuf

► **To cite this version:**

Paul Nobre, Gwenaël Gaborit, Olivier Beuf. Capteurs endoluminaux à liaisons optiques pour l'IRM : Perspectives. Techmed innovation, Biotech santé Bretagne, Oct 2024, Rennes, France. hal-04822263

HAL Id: hal-04822263

<https://hal.science/hal-04822263v1>

Submitted on 6 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Capteurs endoluminaux à liaisons optiques pour l'IRM

Paul NOBRE¹

TechMed Innov 17 Octobre 2024

Thèse encadrée par Olivier Beuf¹ et Gwenaël Gaborit^{2,3}

¹Univ. Lyon, INSA-Lyon, Université Lyon 1, UJM-Saint Etienne, CNRS, Inserm, CREATIS, UMR 5220, U1206, 69616 Villeurbanne, France

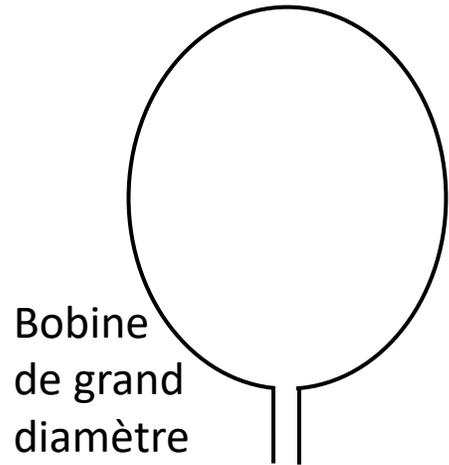
²Université de Savoie, IMEP-LAHC, UMR 5130, 73376 Le Bourget-du-Lac, France

³KAPTEOS, 73376 Sainte-Hélène-du-Lac, France

Contexte: sécurité en IRM *Sensibilité des capteurs*



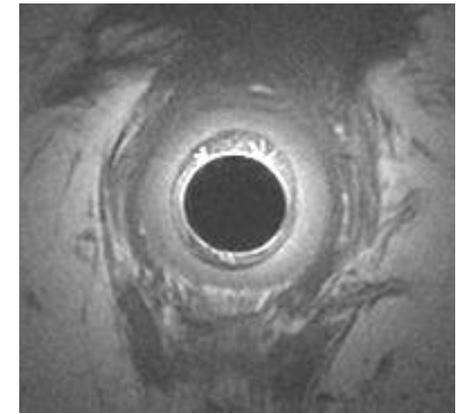
Haute sensibilité
Faible profondeur de vue



Grande profondeur
Faible sensibilité



Imagerie endoluminale



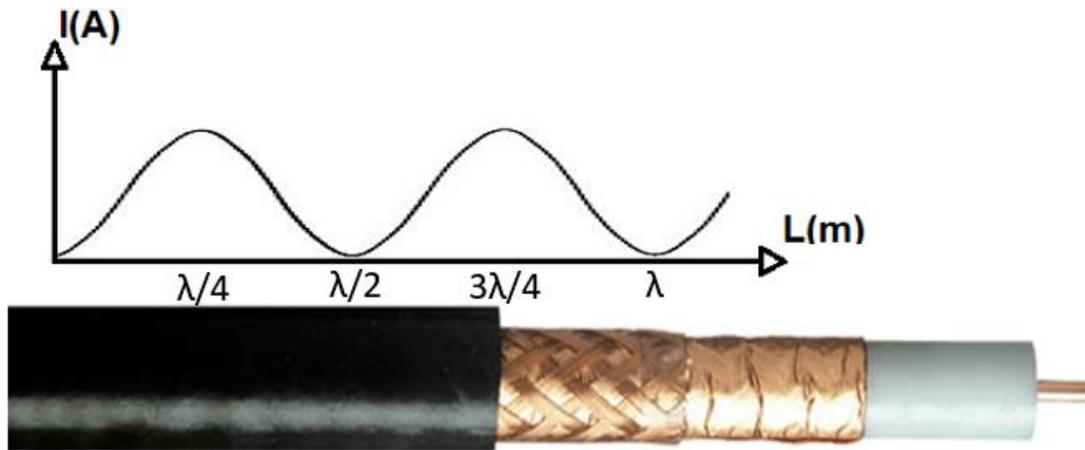
40 mm

Bobine endorectale (60 mm x 6 mm) et l'acquisition¹ d'un sphincter humain sur un IRM 1,5 T Siemens

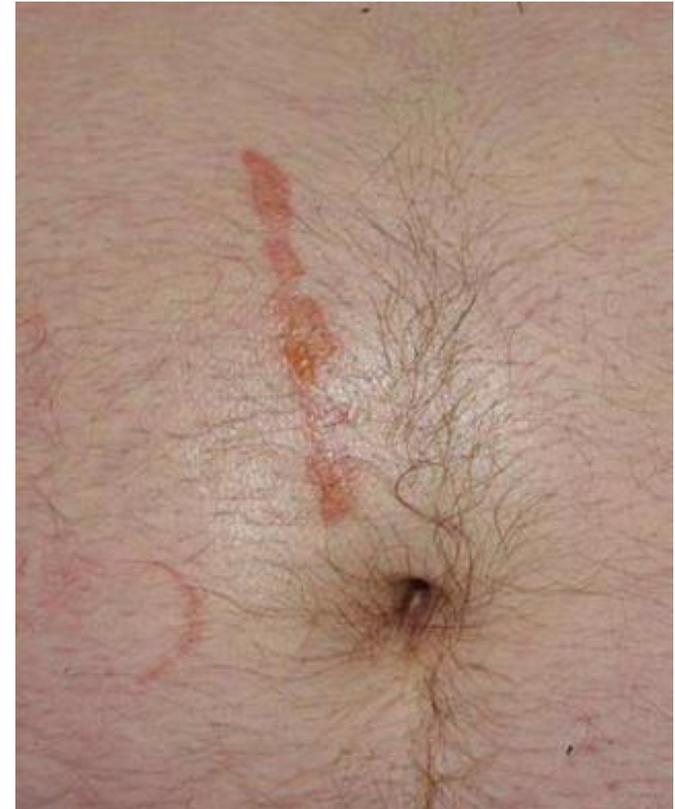
¹Verret & Al. (2014). Concepts in Magnetic Resonance Part B, Vol. 44B

Contexte: sécurité en IRM Câbles coaxiaux

Certains effets comme l'effet d'antenne peuvent produire des brûlures



- **Les courants de mode commun** peuvent produire des ondes stationnaires le long du câble.
- Le champ E résultant **induit un courant** dans les tissus du patient



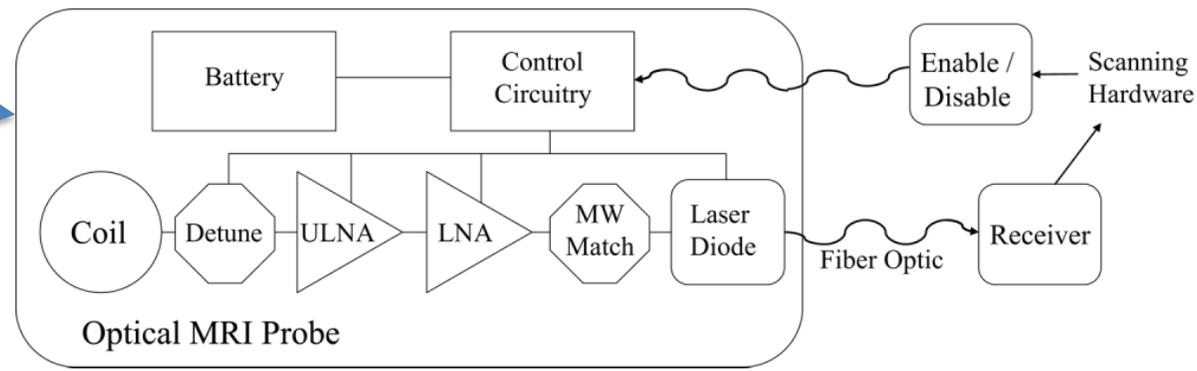
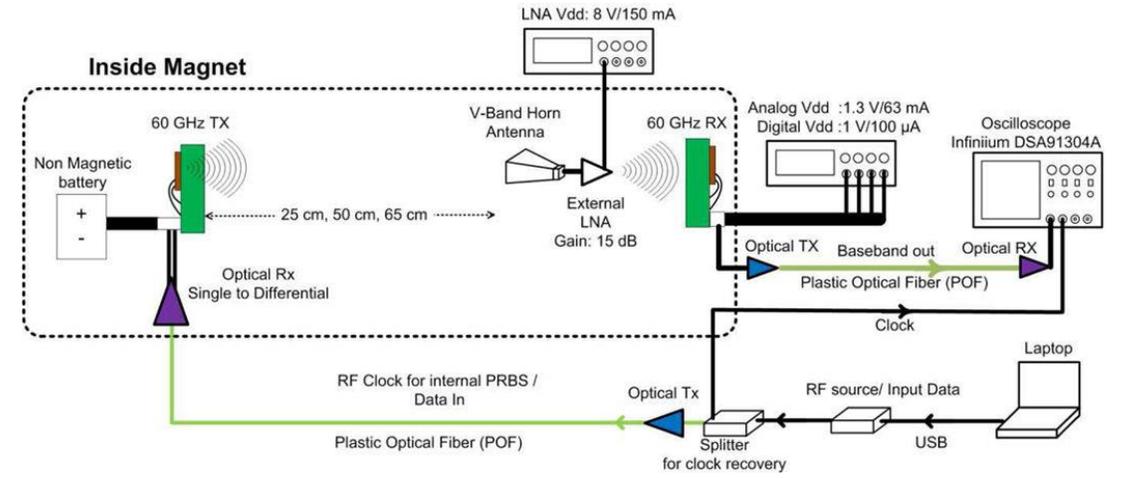
Exemple de brûlure RF²

Contexte: sécurité en IRM Remplacer les câbles coaxiaux

Comment remplacer les câbles ?

Plusieurs approches

- Wireless (WiFi, InfraRed)³
- Fibre optique⁴



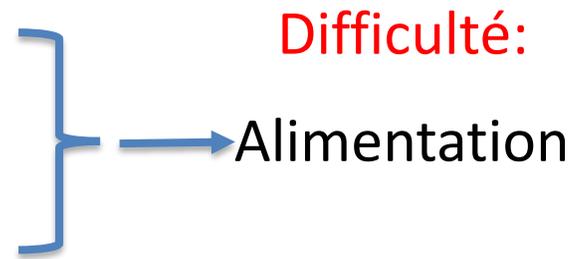
¹³Aggarwal et al.(2017) IEEE Tr. on Med. Imaging 36, n° 2

¹⁴Memis et al. (2008) Mrm 59, n° 1

Contexte: sécurité en IRM *Remplacer les câbles coaxiaux*

Plusieurs approches :

- Wireless (WiFi, InfraRed)
- Fibre optique

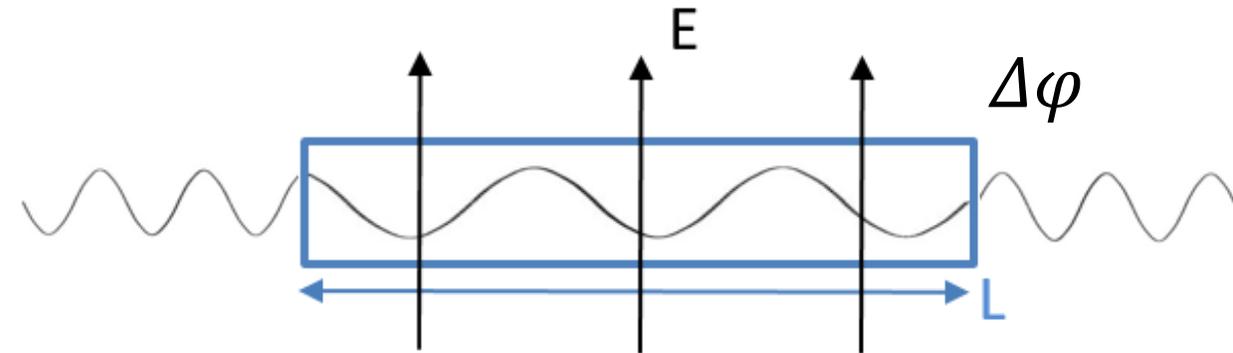


Notre approche :

Estimer la faisabilité d'une transmission optique passive

Contexte and concepts: conversion EO *Pockels effect*

- Champ électrique => variation des indices de réfraction
- Le degré de variation est décrit par r [pm/V] qui dépend du matériaux, de la coupe et de l'axe de propagation



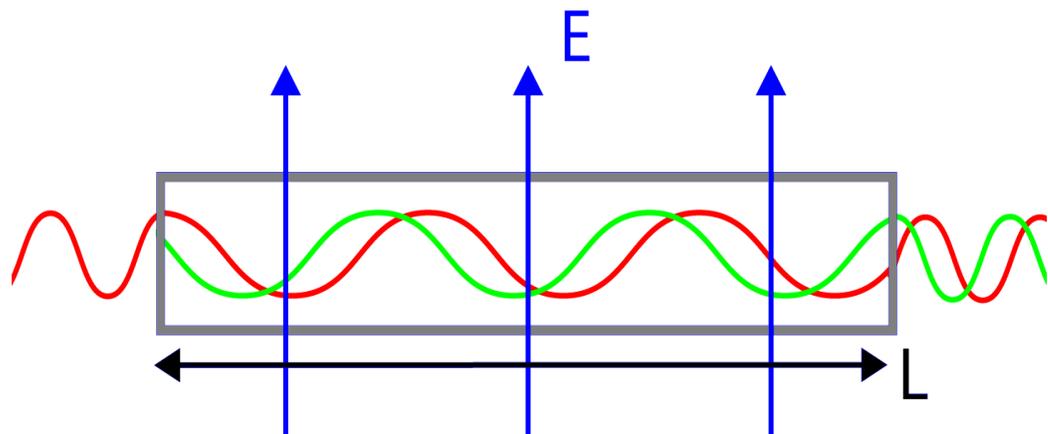
Effet linéaire : La variation de phase $\Delta\varphi$ est proportionnelle au champ E [V/m], L [m] et r

$$\Delta\varphi \propto E * L * r$$

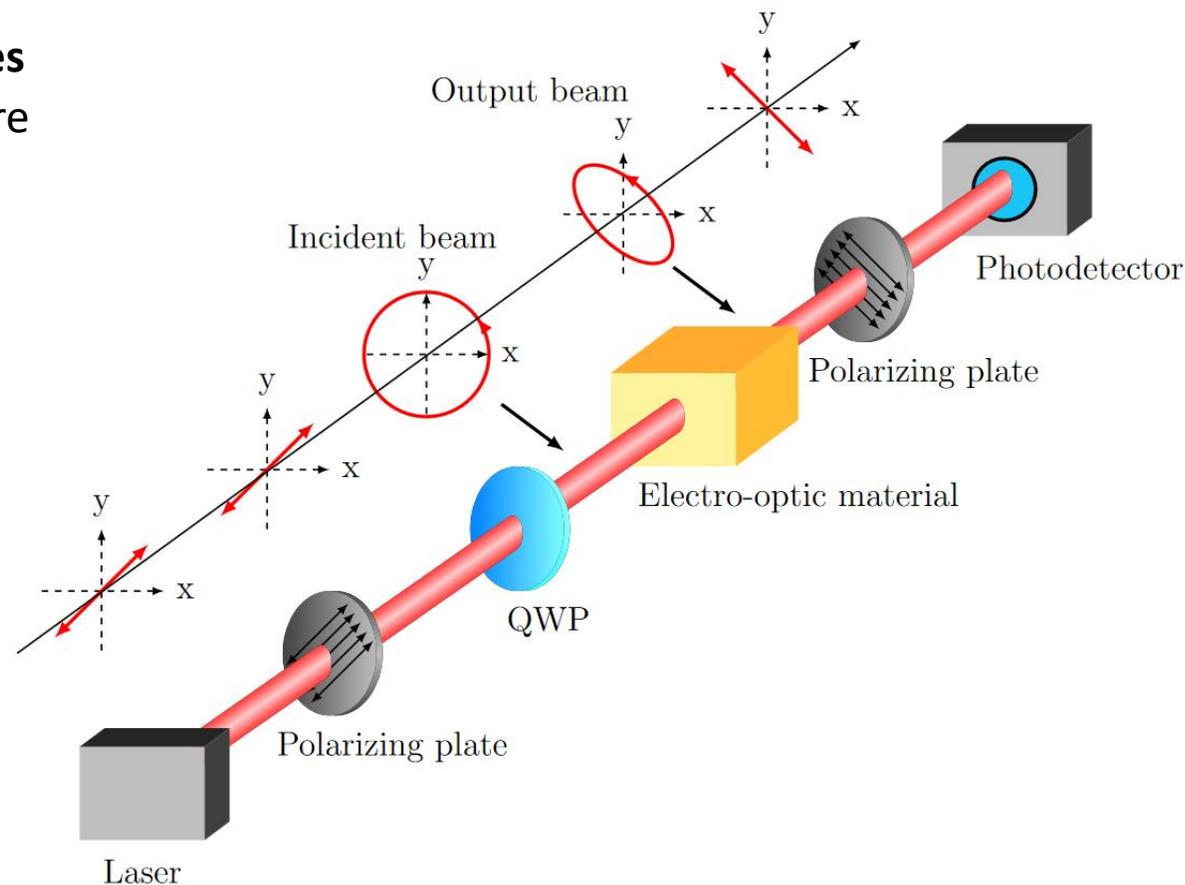
Contexte and concepts: conversion EO

Modulation d'état de polarisation

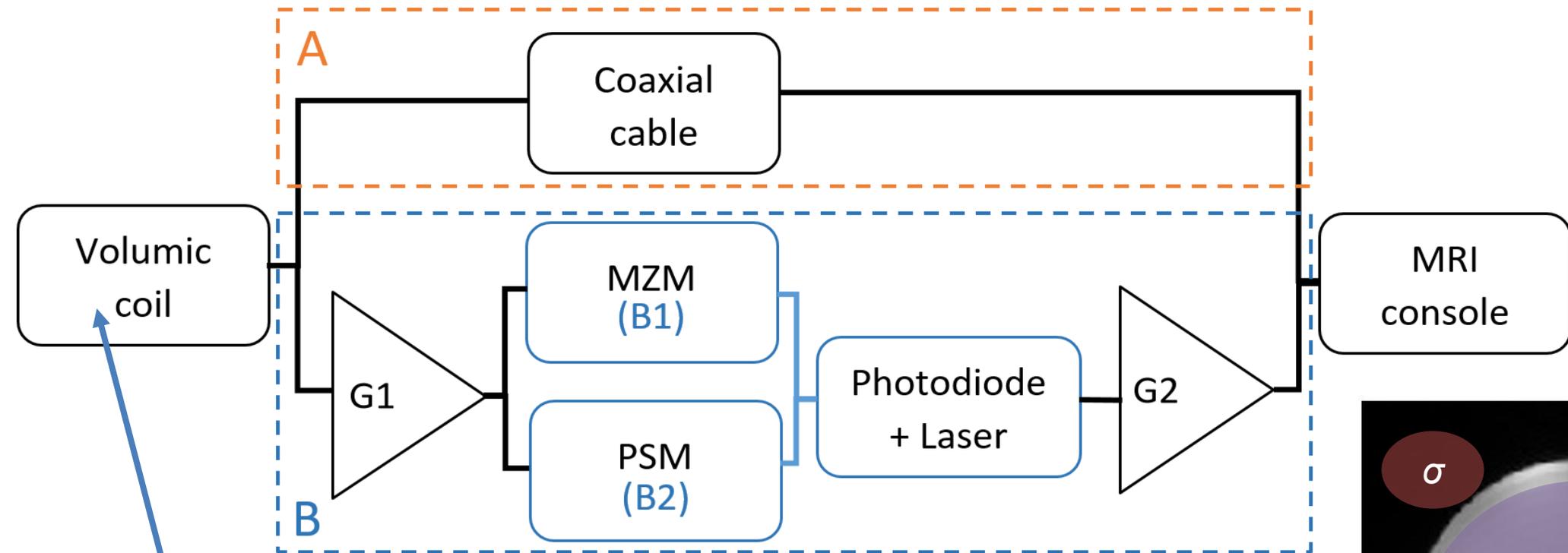
La différence de variation des indices de réfraction entre les deux axes est utilisée plutôt que la différence de phase entre l'entrée et la sortie



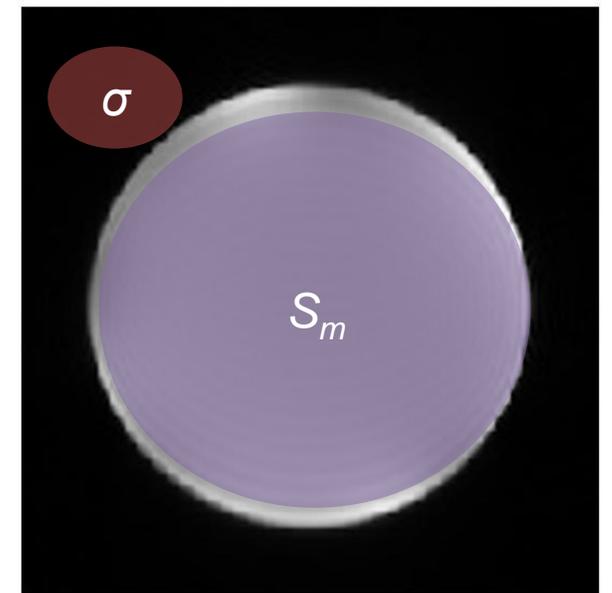
- ++passif
- ++indépendant de la temperature
- moins sensible qu'un MZM (petit r)



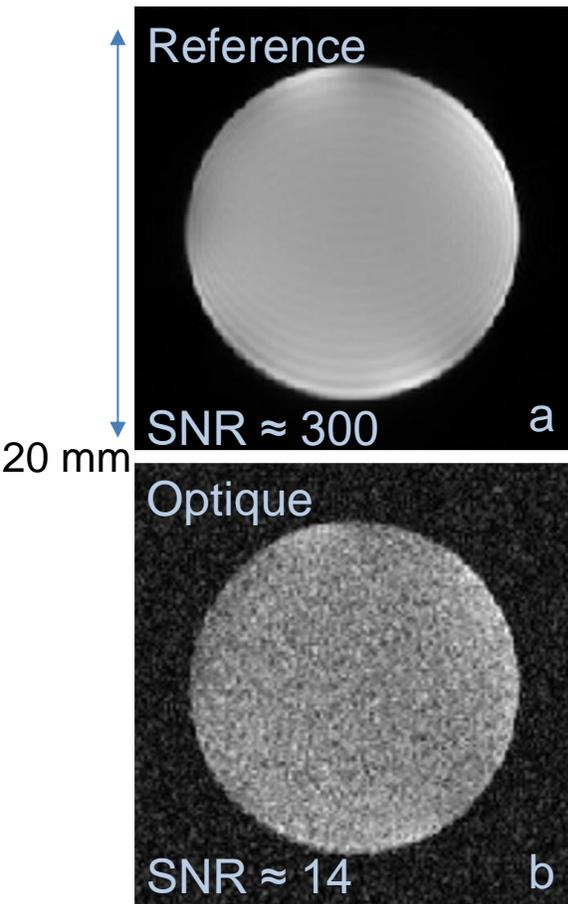
Mesures de SNR et comparaison *Configuration expérimentale*



$$SNR = \frac{S_m}{\sigma}$$



Premiers résultats *RSB*



- Détérioration du SNR d'un facteur 20 environ

-> Identification des sources de bruit

Analyse des résultats *Bruit et RSB*

3 sources principales de bruit :

-Bruit thermique(Johnson) $\delta P_j = 4K_b \Delta f T$

avec K_b [$J \cdot K^{-1}$] la constante de Boltzman, Δf [Hz] la bande passante, T [K] la température.

-Bruit de laser (RIN) $\delta P_{RIN} = Rpd \Delta f (\eta P_{opt} 10^{RIN})^2$

Rpd [Ω] l'impédance de la photodiode, η [$A \cdot W^{-1}$] l'efficacité et RIN [$dB \cdot Hz^{-1}$] Le RIN du laser

-Bruit de photodiode (Grenaille). $\delta P_{SN} = Rpd 2 \Delta f \eta q P_{opt}$

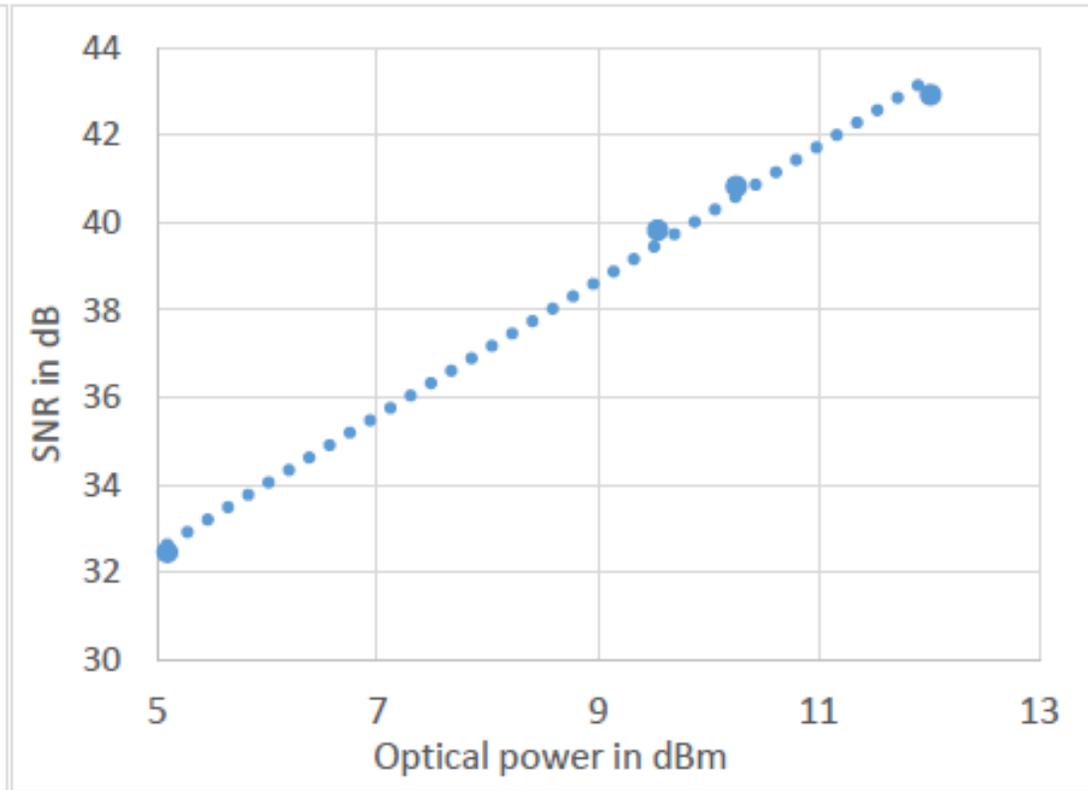
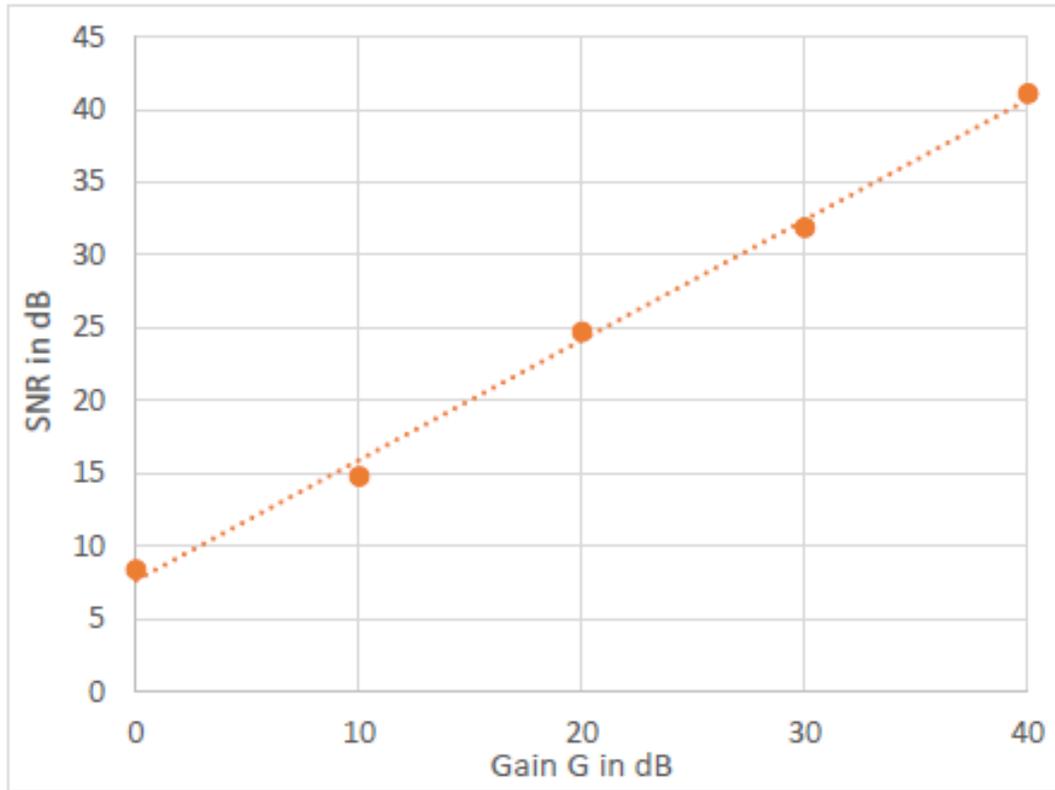
avec q [C] la charge de l'électron.

Le RSB est proportionnel à

$$SNR \propto \frac{P_{opt}}{\alpha + \beta P_{opt} + \gamma P_{opt}^2}$$

Résultats

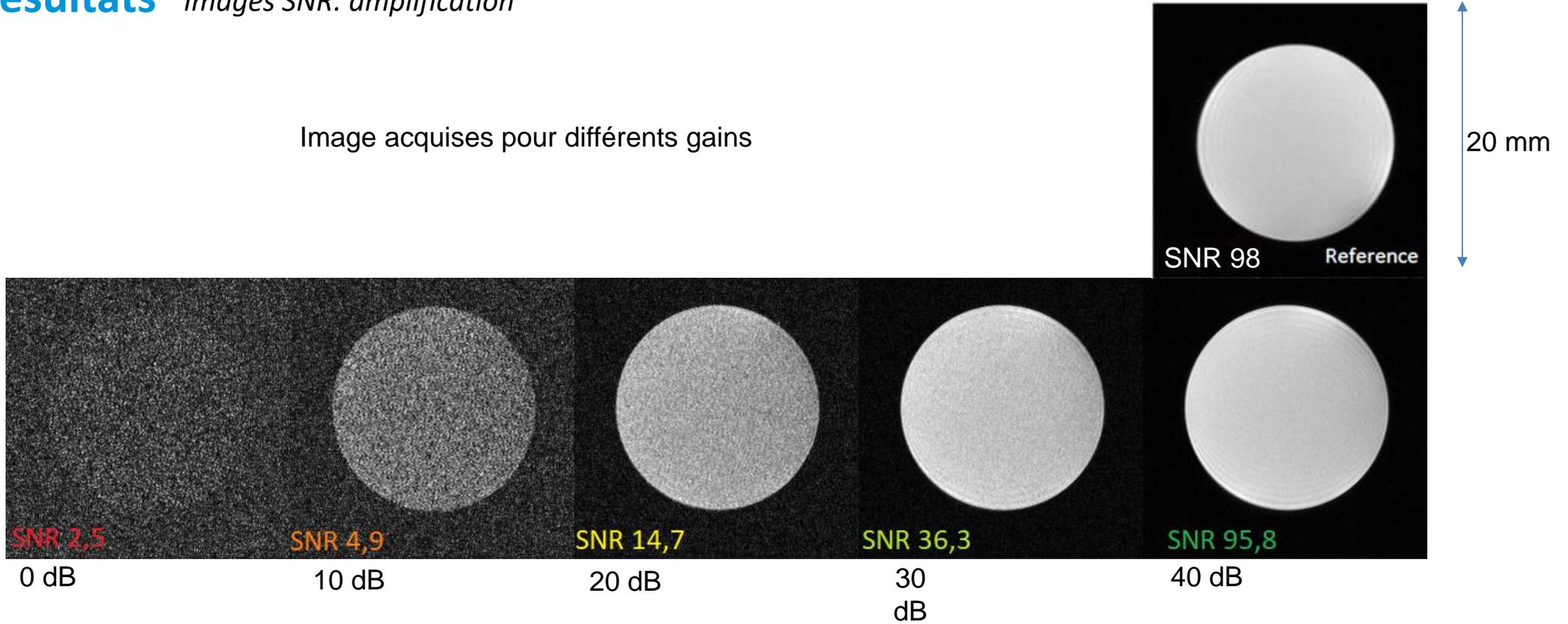
RSB selon P_{opt} et G



RSB selon le gain pré-conversion (gauche) et la puissance optique (droite)

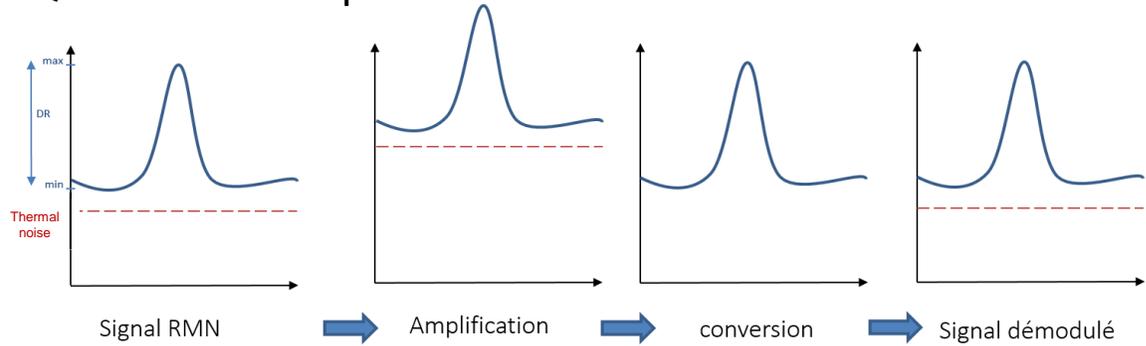
Résultats *Images SNR: amplification*

Image acquises pour différents gains



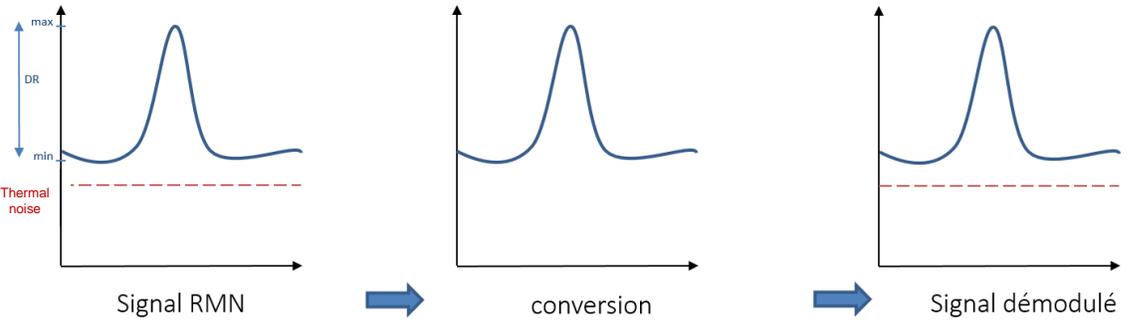
Conclusion

Quelles sont les possibilités



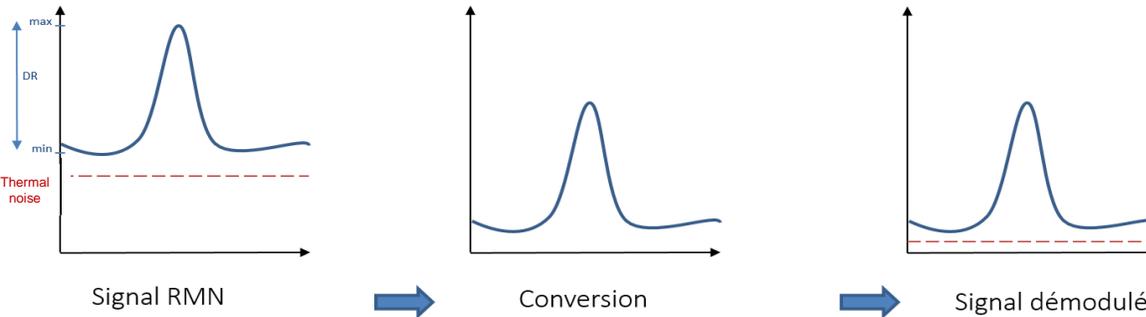
Amplification
Plus passif

Sécurisé



Réduire les pertes de conversion
Pas suffisant

La puissance optique et le V_{pi} peuvent être amélioré



Réduire le bruit thermique
Implémentation complexe

20 dB de plancher de bruit à gagner