



**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.



HAL Authorization

# Capteurs endoluminaux à liaisons optiques pour l'IRM

Paul NOBRE<sup>1</sup>

TechMed Innov 17 Octobre 2024

Thèse encadrée par Olivier Beuf<sup>1</sup> et Gwenaël Gaborit<sup>2,3</sup>

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

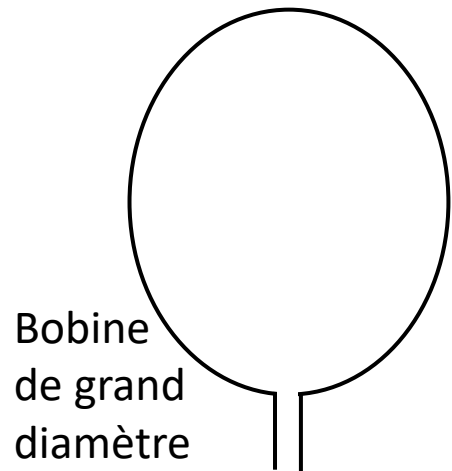
<sup>2</sup>Université de Savoie, IMEP-LAHC, UMR 5130, 73376 Le Bourget-du-Lac, France

<sup>3</sup>KAPTEOS, 73376 Sainte-Hélène-du-Lac, France

## Contexte: sécurité en IRM *Sensibilité des capteurs*



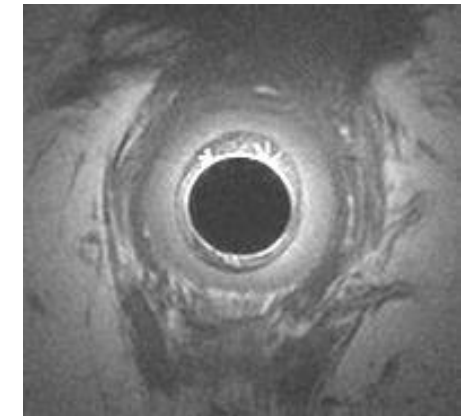
Haute sensibilité  
Faible profondeur de vue



Grande profondeur  
Faible sensibilité



Imagerie endoluminale



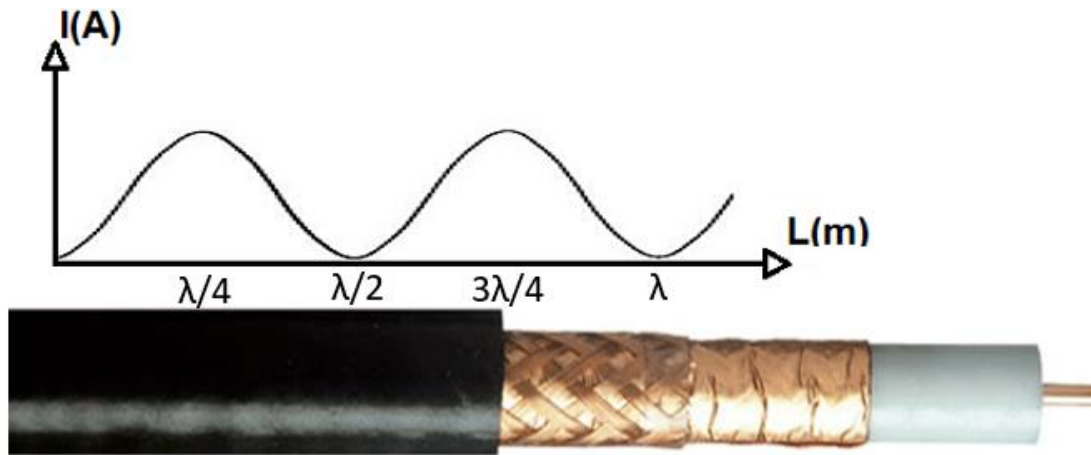
40 mm

Bobine endorectale (60 mm x 6 mm) et l'acquisition<sup>1</sup> d'un sphincter humain sur un IRM 1,5 T Siemens

<sup>1</sup>Verret & 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



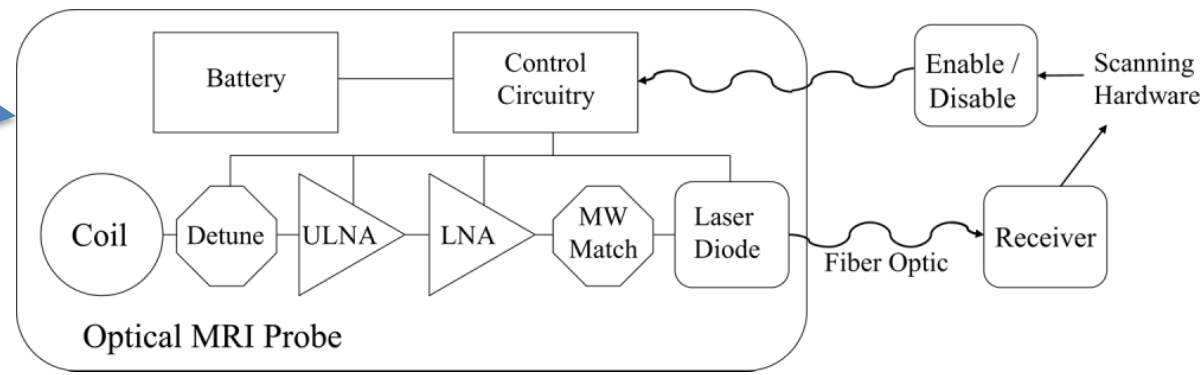
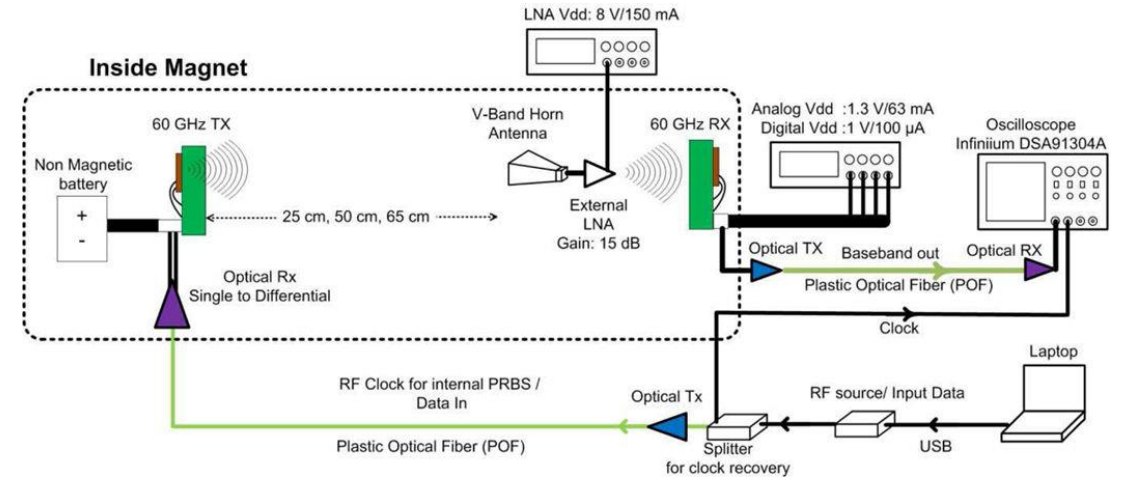
Exemple de brûlure RF<sup>2</sup>

Contexte: sécurité en IRM Remplacer les câbles coaxiaux

# Comment remplacer les câbles ?

Plusieurs approches

- Wireless (WiFi, InfraRed)<sup>3</sup>
- Fibre optique<sup>4</sup>



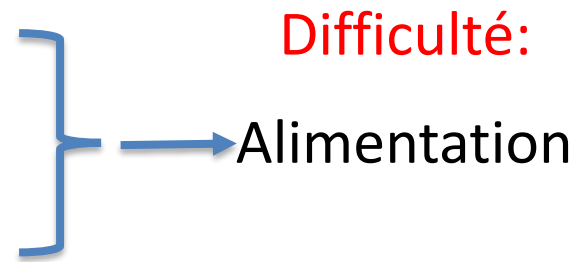
<sup>13</sup>Aggarwal et al.(2017) IEEE Tr. on Med. Imaging 36, n° 2

<sup>14</sup>Memis et al. (2008) Mrm 59, n° 1

Contexte: sécurité en IRM *Remplacer les câbles coaxiaux*

Plusieurs approches :

- Wireless (WiFi, InfraRed)
- Fibre optique

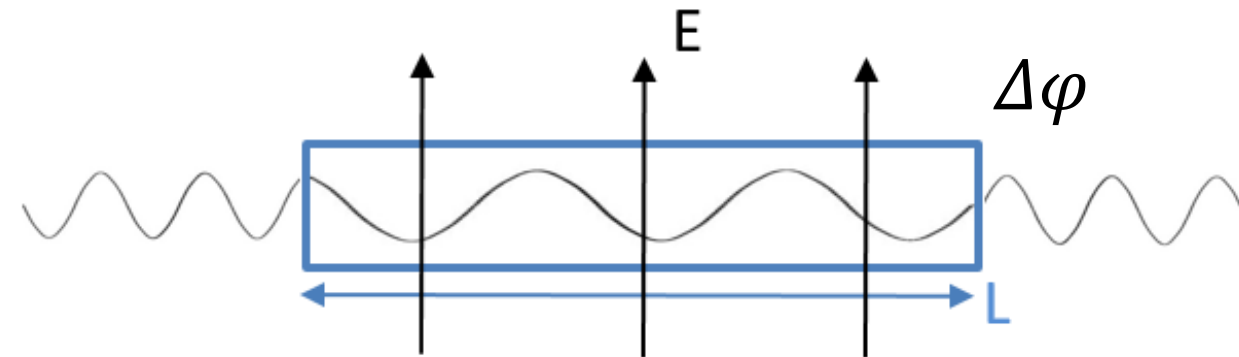


Notre approche :

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

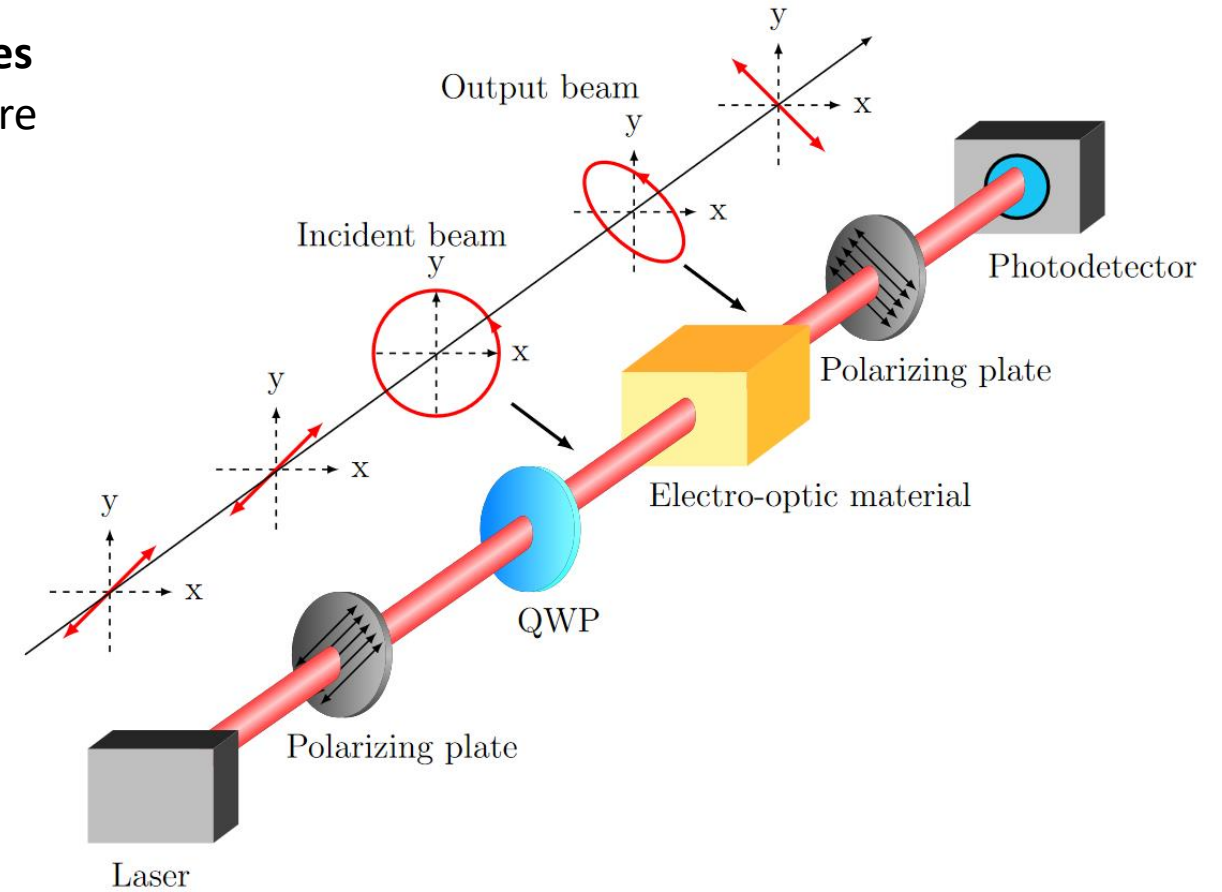
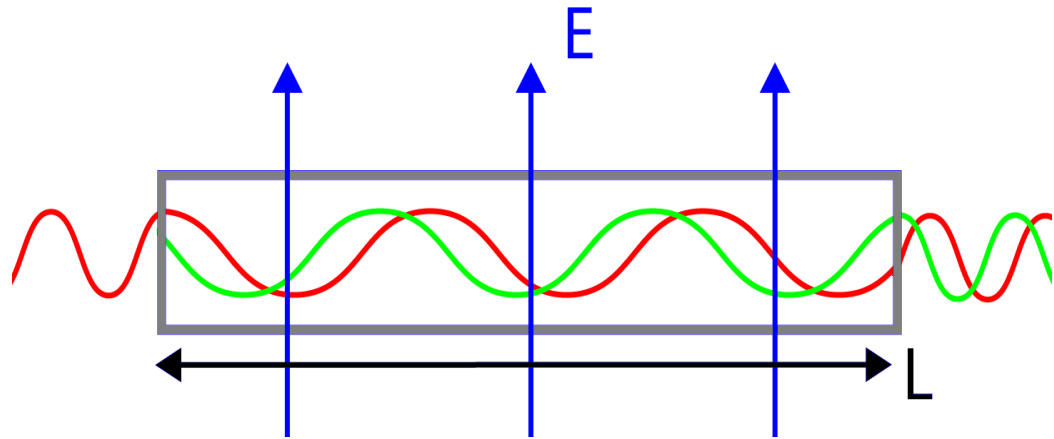


Effet linéaire : La variation de phase  $\Delta\varphi$  est proportionnelle au champ  $E$  [V/m],  $L$  [m] et  $r$

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

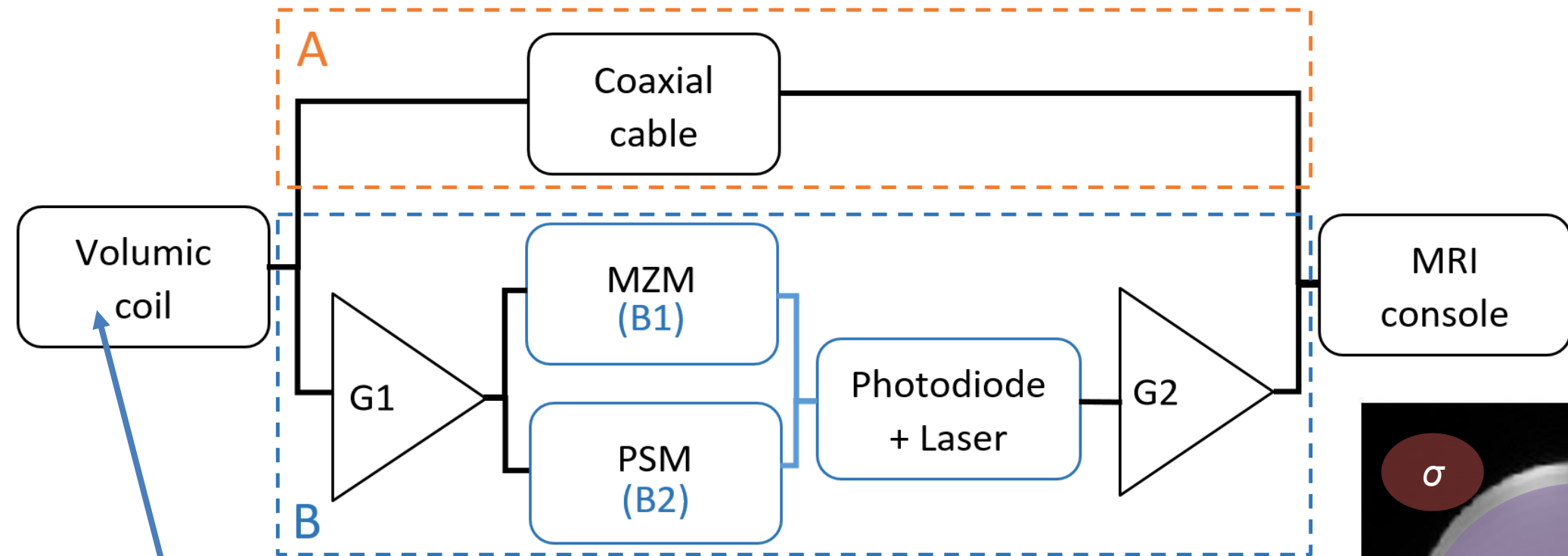
# Contexte and concepts: conversion EO *Modulation d'état de polarisation*

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

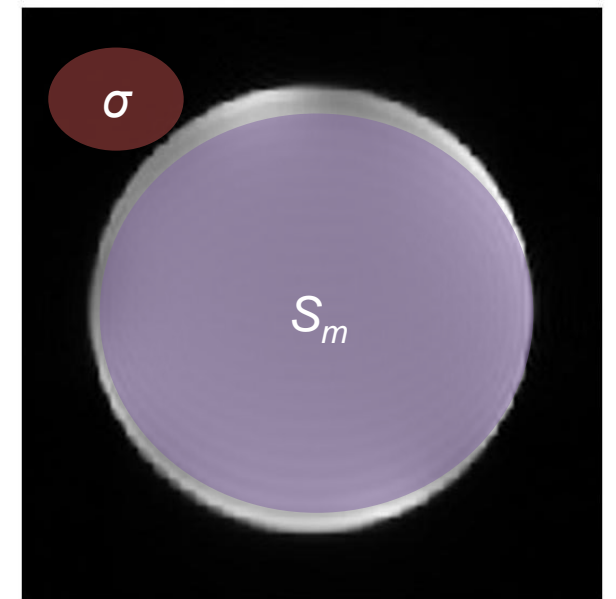


- ++passif
- ++indépendant de la temperature
- moins sensible qu'un MZM (petit r)

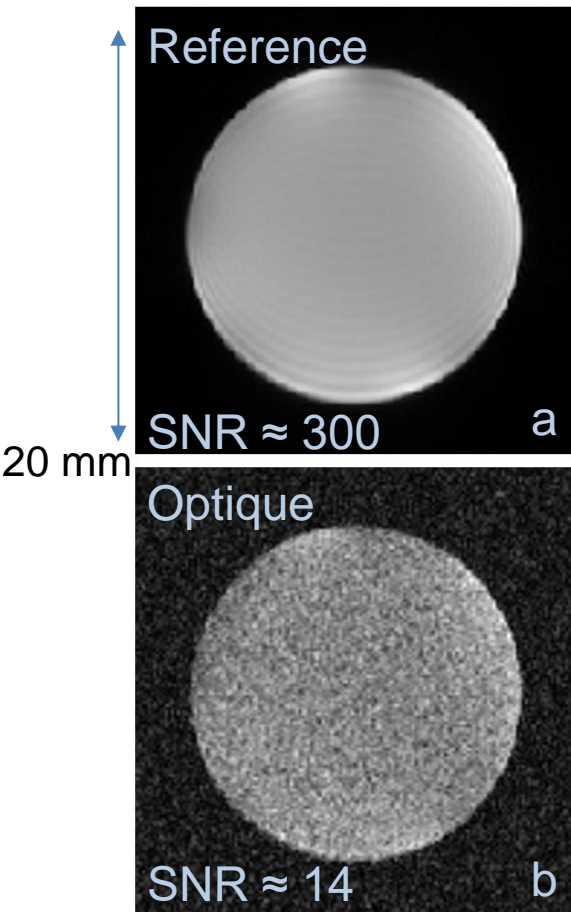
# Mesures de SNR et comparaison *Configuration expérimentale*



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



# 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)  $\delta P_j = 4Kb\Delta fT$

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

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

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

-Bruit de photodiode (Grenaille).  $\delta P_{SN} = Rpd2\Delta f\eta qP_{opt}$

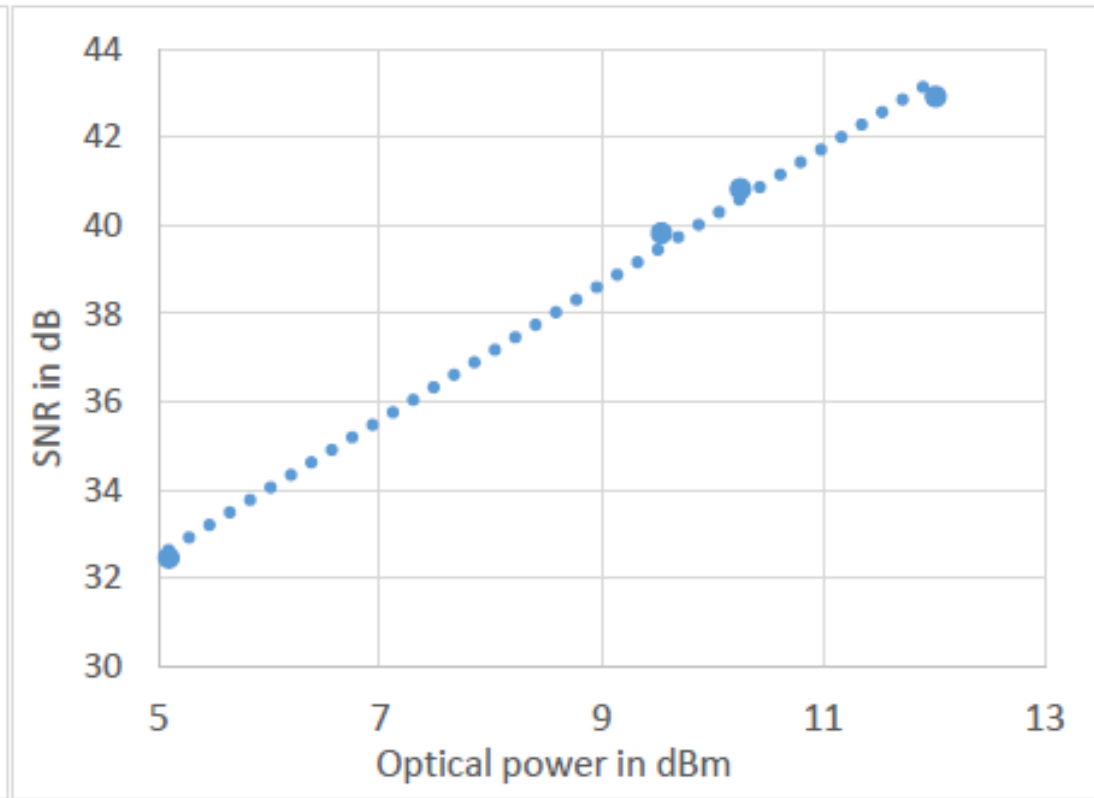
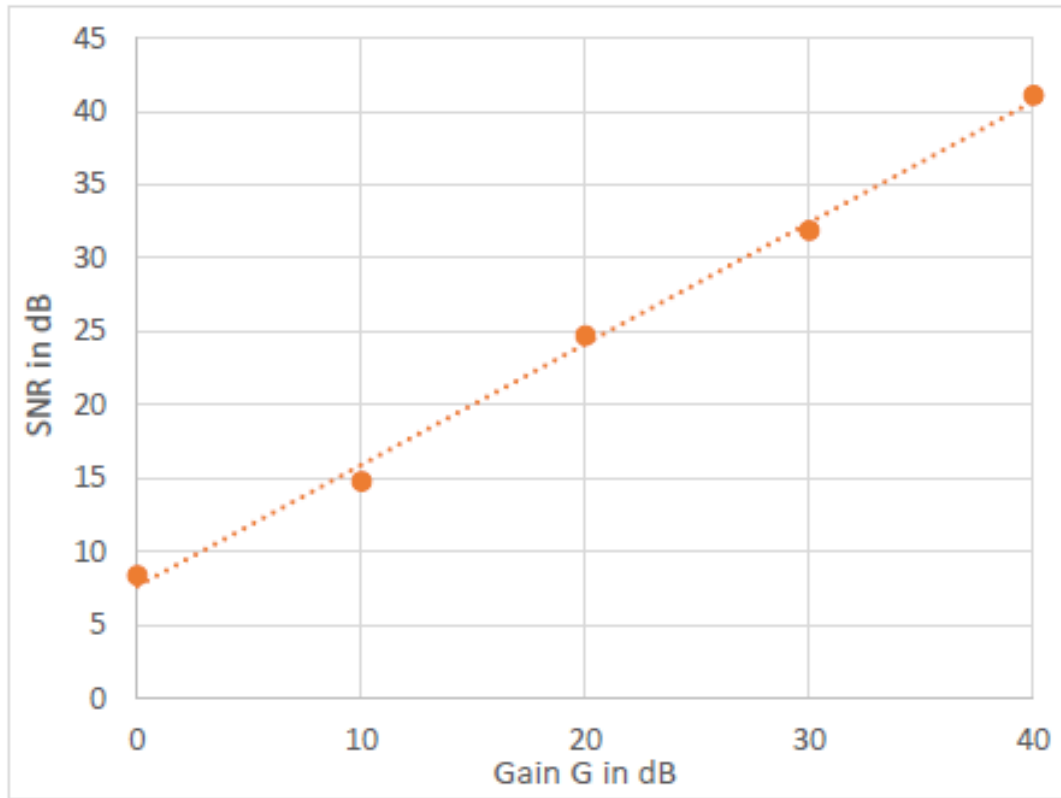
avec  $q$  [C] la charge de l'électron.

Le RSB est proportionnel à

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

# Résultats

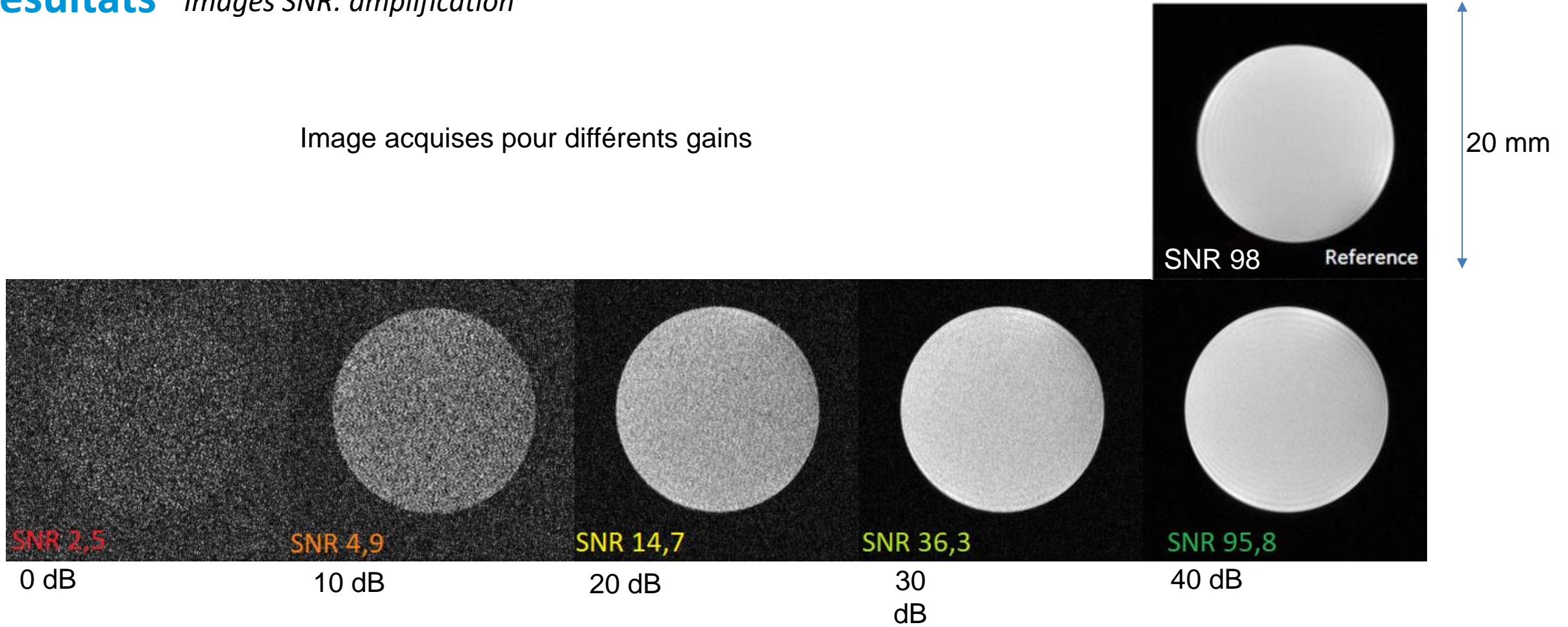
RSB selon  $P_{opt}$  et  $G$



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

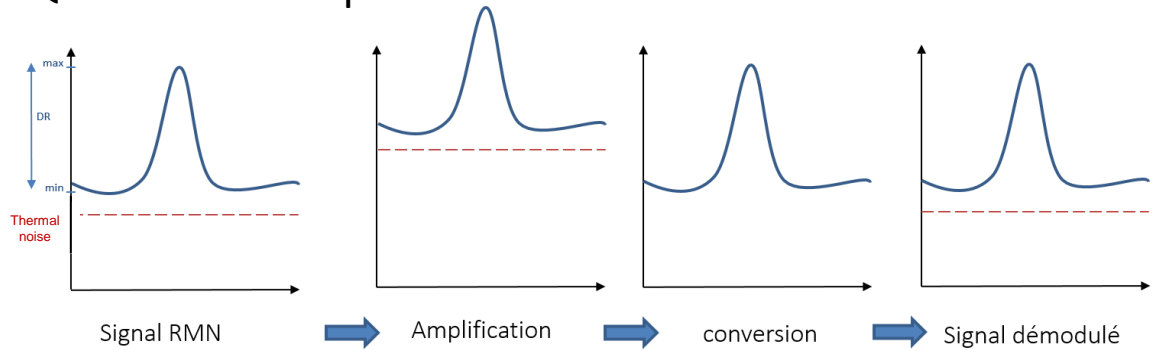
# Résultats *Images SNR: amplification*

Image acquises pour différents gains



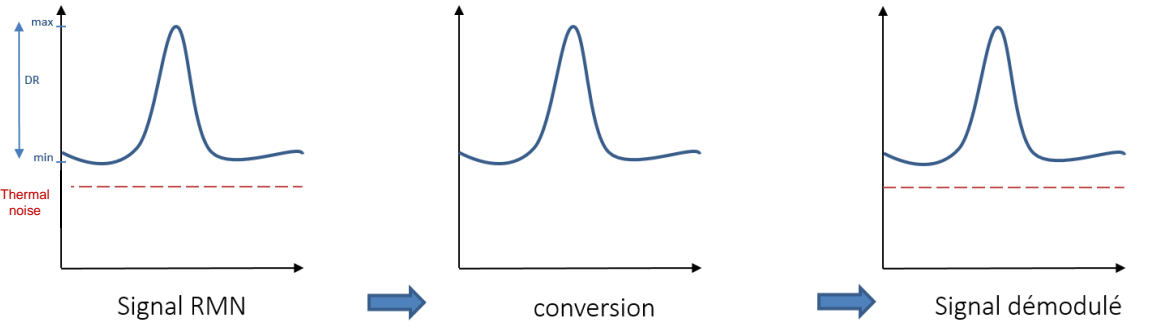
# Conclusion

Quelles sont les possibilités



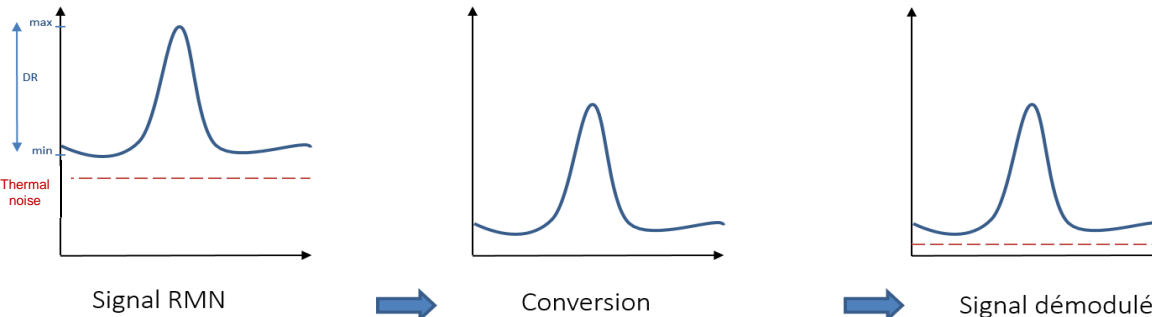
Amplification  
Plus passif

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