



**HAL**  
open science

## IRM quantitative de la concentration en proton et en sodium appliquée aux produits agroalimentaires

Sylvie Clerjon, Cécile Leroy, J.-M. Bonny

► **To cite this version:**

Sylvie Clerjon, Cécile Leroy, J.-M. Bonny. IRM quantitative de la concentration en proton et en sodium appliquée aux produits agroalimentaires. Journées du Grand Sud, Jul 2021, CLERMONT-FERRAND, France. hal-03334070

**HAL Id: hal-03334070**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03334070>**

Submitted on 3 Sep 2021

**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.

INRAE

➤ IRM quantitative de la concentration  
en proton et en sodium appliquée aux  
produits agroalimentaires

Sylvie Clerjon, Cécile Leroy, Jean-Marie Bonny



# ➤ Imagerie par Résonance Magnétique quantitative

- Application première IRM : diagnostic médical
  - En agroalimentaire, au laboratoire
    - Mesures in process (salage, séchage, cuisson ...), en temps réel
    - Nécessité de mesurer des concentrations, des gradients
- IRM quantitative  $^1\text{H}$ ,  $^{23}\text{Na}$

IRM quantitative = combien de noyaux par unité de volume (mmol/L)



# > Les biais

## Inhomogénéités du champ continu B0

Aimant, différences locales de susceptibilité magnétique (sel), limite des shims en imagerie...

## Inhomogénéités du champ RF b1

Antennes

Taille (aliments entiers) , position et charge diélectrique (sel) de l'échantillon, noyau ...

## Différences de relaxation

Dans l'objet d'étude

Entre objet d'étude et tubes de référence

## Diffusion

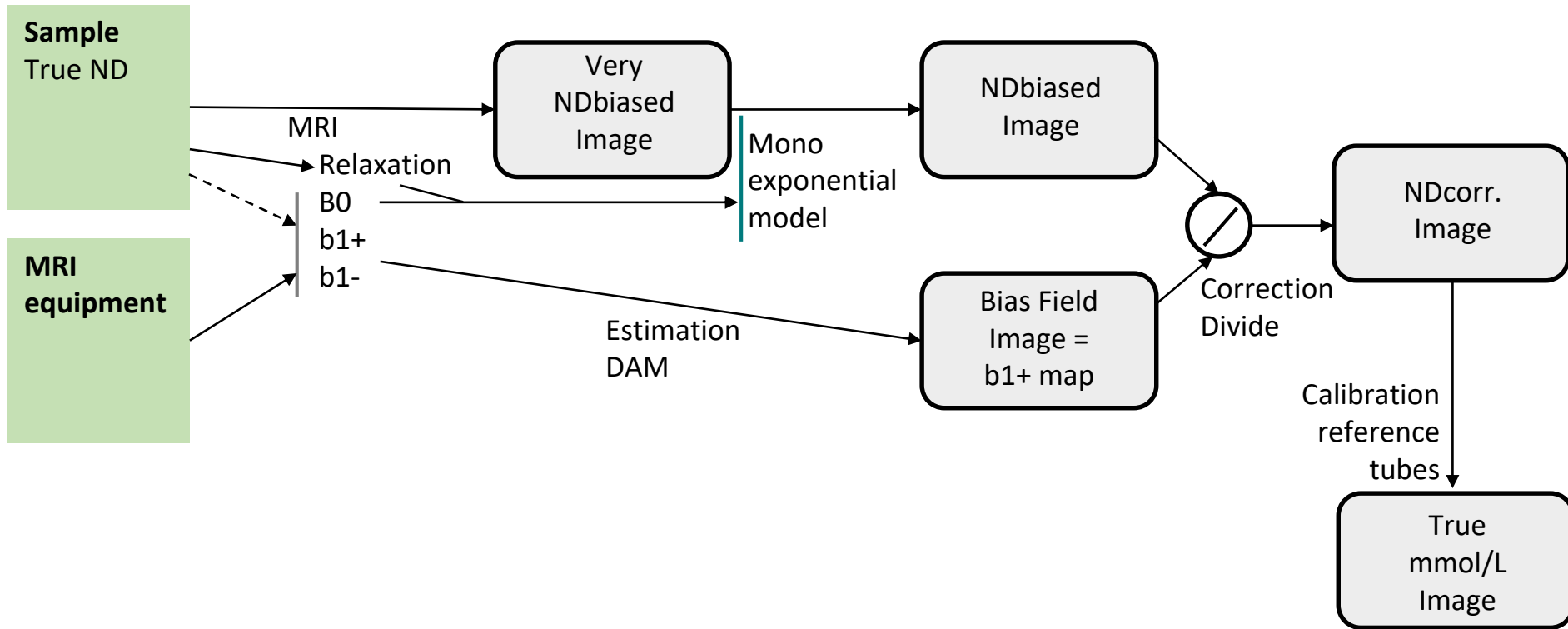
....?

INRAE

Journées RMN du Grand Sud

01/07/2021 Sylvie Clerjon

# Le workflow complet pour l'IRM quantitative



Des hypothèses fortes :

$$b1+ = b1-$$

Décroissance mono exponentielle de la FID, interactions simple quanta



INRAE

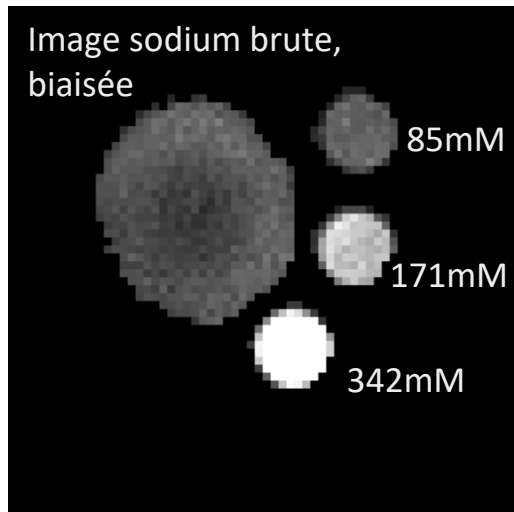
Journées RMN du Grand Sud

01/07/2021 Sylvie Clerjon

# Modéliser signal=f(temps) pour correction de la relaxation

Nécessité d'acquérir des données dans le temps :  
séquence **CSI** en sodium et **MGE entrelacées** en proton

Sodium



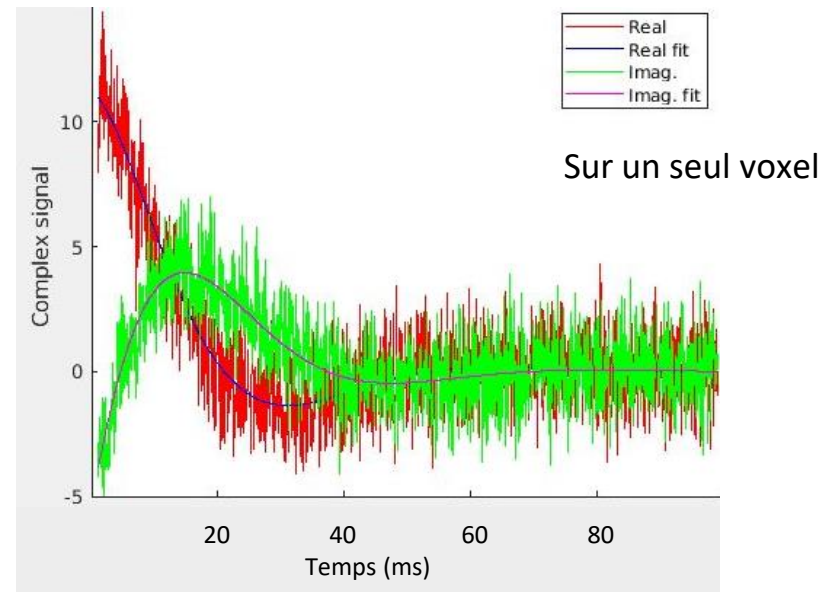
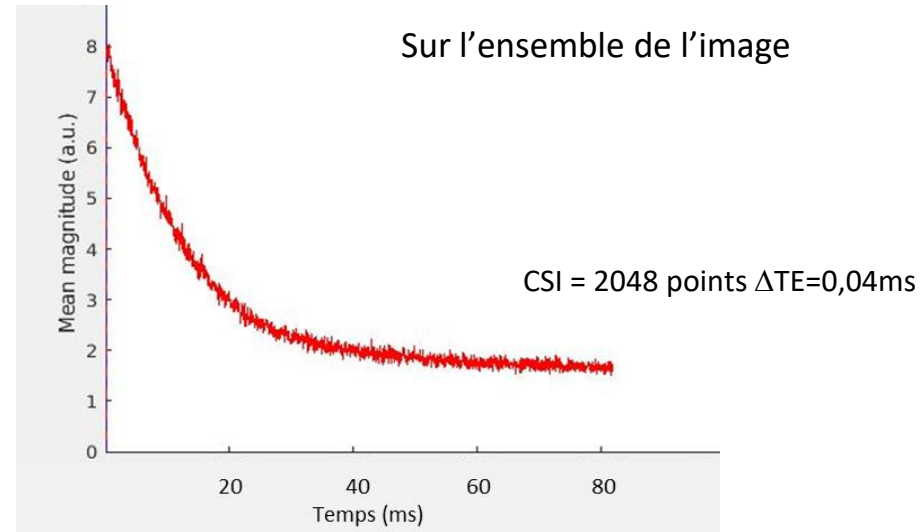
Carotte cuite 18min dans de l'eau à 171mM (1%)

Tubes de référence gélatine salée

Résolution spatiale  $0.5 \times 0.5 \times 8 \text{mm}^3$

Durée d'acquisition = 1h30 par image

9.4T



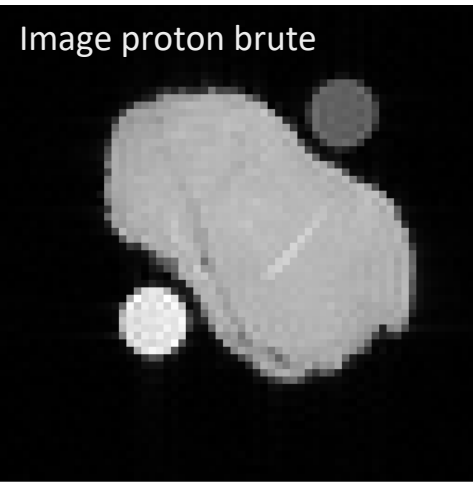
INRAE

Journées RMN du Grand Sud  
01/07/2021 Sylvie Clerjon

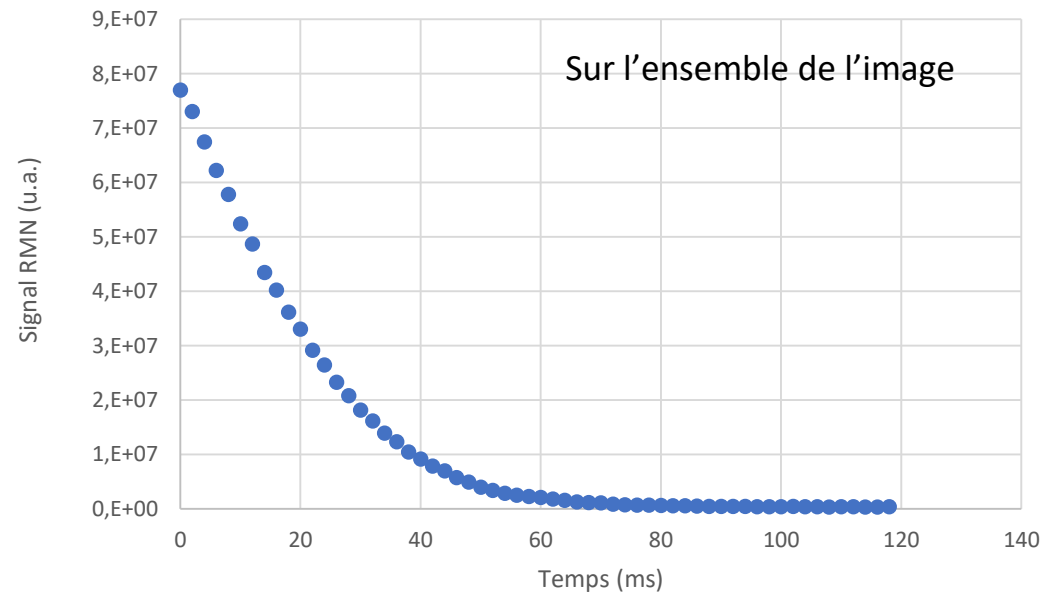
# Modéliser $\text{signal} = f(\text{temps})$ pour correction de la relaxation

Proton

Nécessité d'acquérir des données dans le temps :  
séquence **CSI** en sodium et **MGE entrelacées** en proton



Poulet cuit 10 min dans de l'eau salée à 171 mM  
Tubes de référence gélatine salée à 171 et 85 mM  
Résolution spatiale  $0,5 * 0,5 * 1 \text{ mm}^3$   
Durée d'acquisition = 10 min par image  
9,4T



MGE entrelacées = 60 points  $\Delta TE = 2 \text{ ms}$



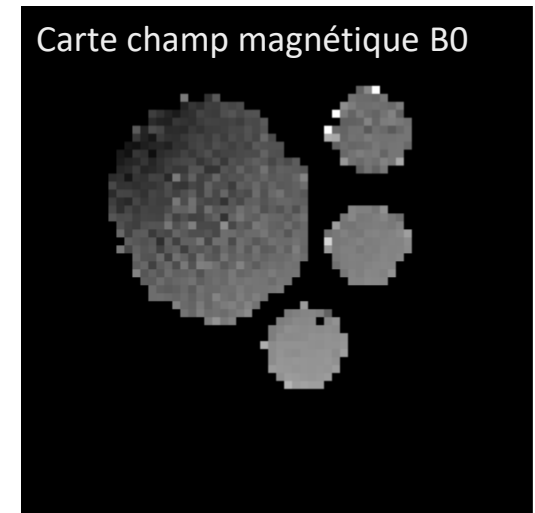
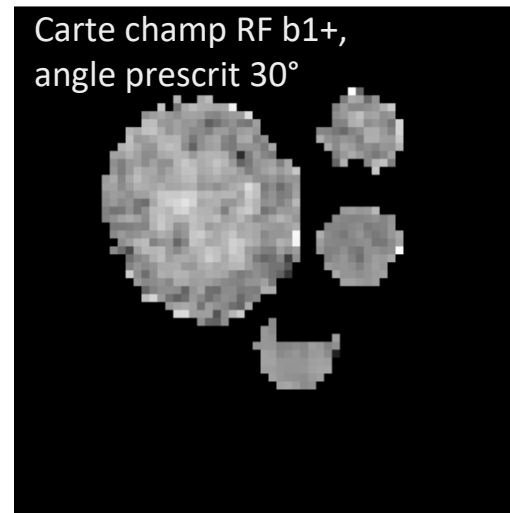
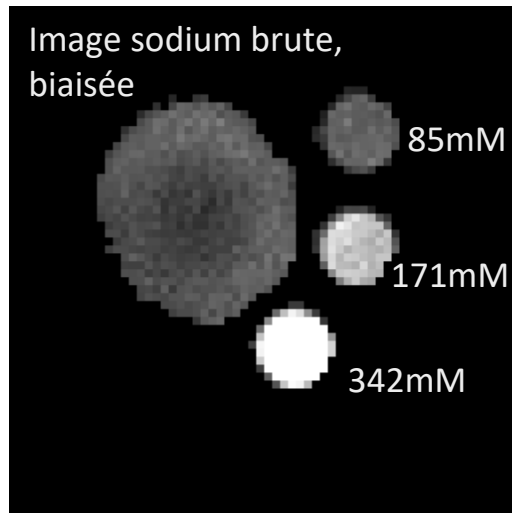
INRAE

Journées RMN du Grand Sud  
01/07/2021 Sylvie Clerjon

# ► Pourquoi corriger ? Mise en évidence d'un gradient de concentration en sel

Projet ANR Sal&Mieux 2020-2024.

Lien entre répartition/état de liaison du sel dans les aliments (IRM/RMN Clermont) et sensorialité/relargage du sodium en bouche (CSGA, Dijon)



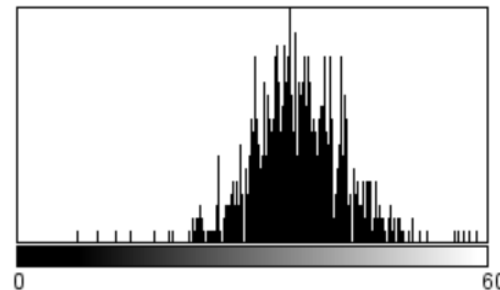
Carotte cuite 18min dans de l'eau à 171mM (1%)

Tubes de référence gélatine salée

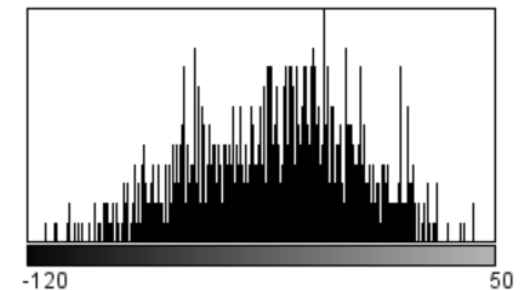
Résolution spatiale 0.5x0.5x8mm<sup>3</sup>

Durée d'acquisition = 1h30 par image

9.4T



Count: 767  
Mean: 35.795  
StdDev: 6.083  
Min: 7.680  
Max: 58.822  
Mode: 34.805 (19)



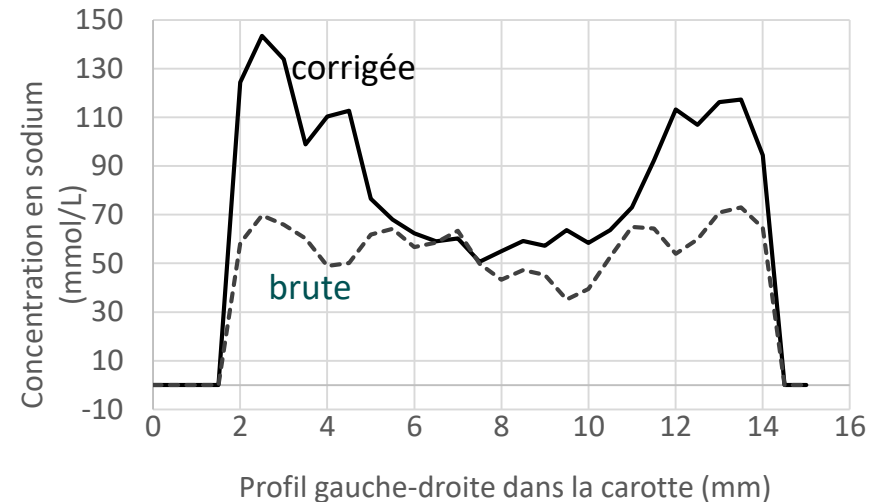
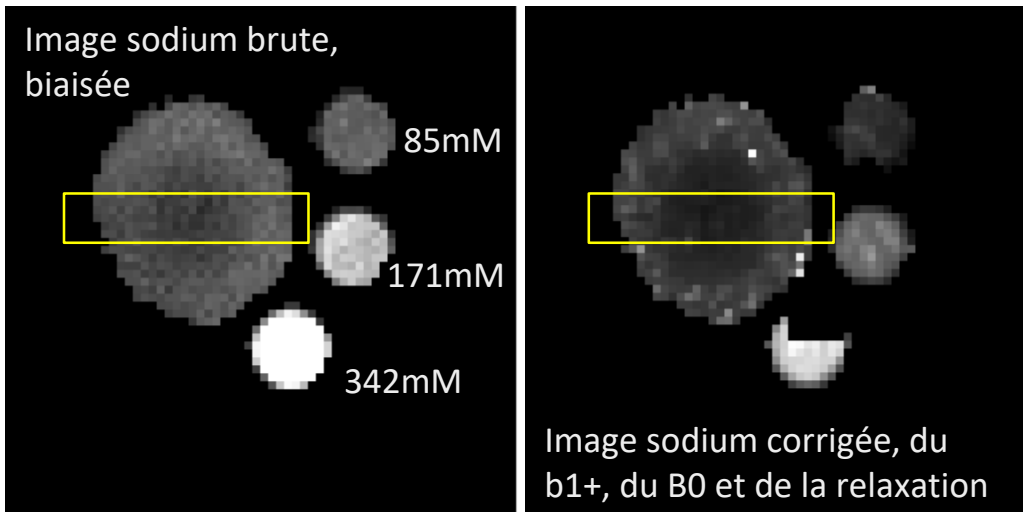
Count: 796  
Mean: -30.294  
StdDev: 30.190  
Min: -120  
Max: 50  
Mode: -12.090 (12)

INRAE

Journées RMN du Grand Sud  
01/07/2021 Sylvie Clerjon



# ➤ Pourquoi corriger ? Mise en évidence d'un gradient de concentration en sel

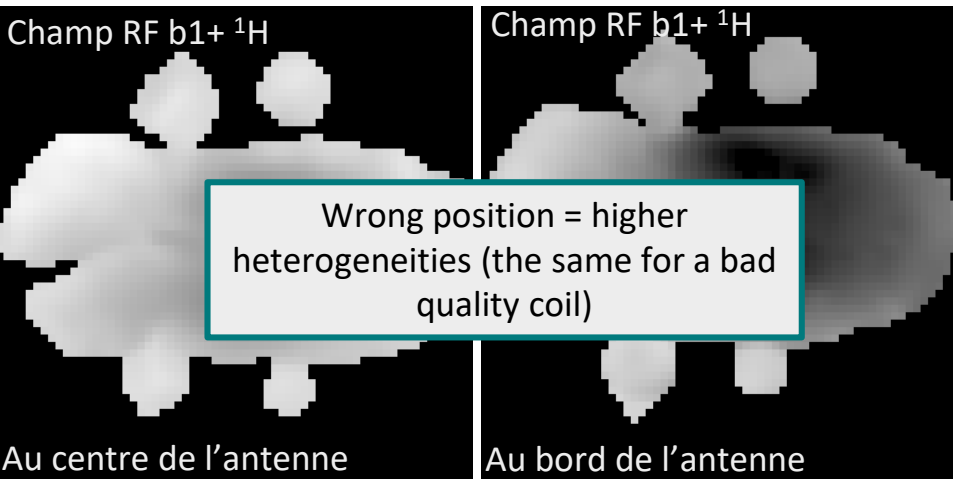


Correction = possibilité de voir un gradient

# ➤ Quand et pourquoi corriger le b1 ?

The Research Council of Norway project, SINTEF, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2018-2020.

Optimisation du procédé de salage.



Jambon sec norvégien

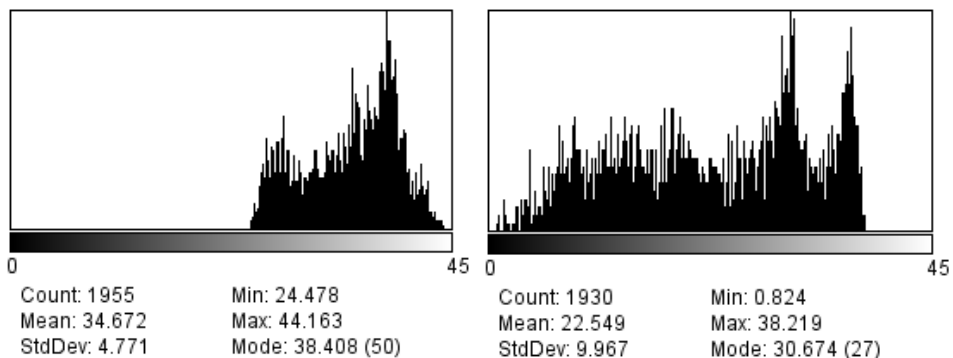
Tubes de référence gélatine salée 0,5 et 1,7 M (3 et 10%)

Résolution spatiale 2x2x8mm<sup>3</sup>

Champ de vue = 128x128mm<sup>2</sup>

Durée d'acquisition = 2h10 par image

4,7T



INRAE

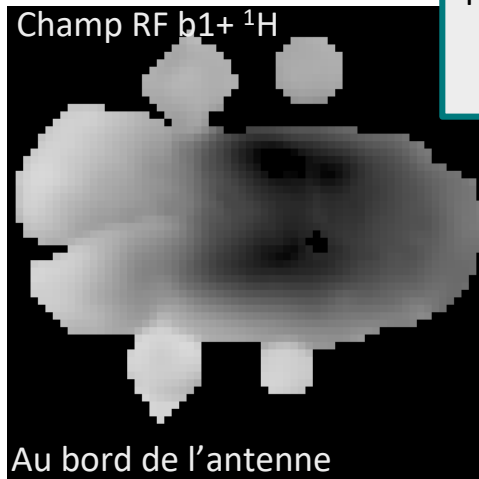
Journées RMN du Grand Sud

01/07/2021 Sylvie Clerjon

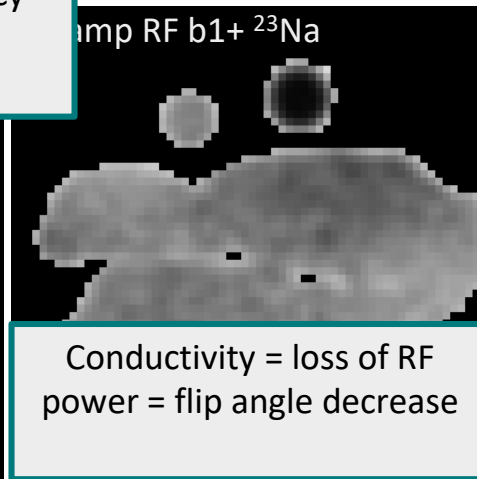
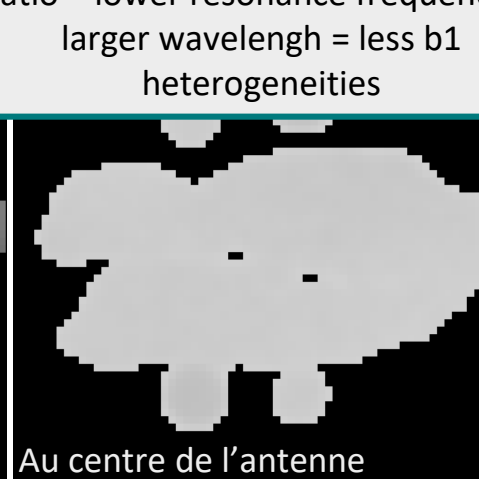
# ➤ Quand et pourquoi corriger le b1 ?

The Research Council of Norway project, SINTEF, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2018-2020.

Optimisation du procédé de salage.



Sodium MRI = lower gyromagnetic ratio = lower resonance frequency = larger wavelength = less b1 heterogeneities



- Qualité de l'antenne
- Position de l'échantillon dans l'antenne. Et des tubes de référence !
- Moins d'hétérogénéités en sodium
- Conductivité plus grande = perte de b1+

# ➤ IRM quantitative les points clés

Corrections des biais :

- Des hétérogénéités du champ RF excitateur **b1+** (mesure, cartographie)
- Des hétérogénéités du champ magnétique continu **B0** (modélisation)
- Les différences de **relaxation** des tissus (modélisation)



Rapport  
bénéfiques/pertes

Les points de vigilance :

- Sensibilité, surtout pour le premier angle pour la DAM (noyau, concentration, aimant (B0)). Gagner en sensibilité, **pulses à Phase minimale** en sodium
- Différences de susceptibilité magnétique qui modifient la relaxation

On est capable de quantifier :

- 60 mM (0,35% sel en masse) (résolution 0,5mm) (9,4T, échantillon<3cm)
- 120 mM (0,7% sel en masse) (résolution 2mm) (4,7T, échantillon<20cm)
- Process complet sodium 2-3h



INRAE

Journées RMN du Grand Sud

01/07/2021 Sylvie Clerjon



Leslie  
Laure  
Tareq



INRAE

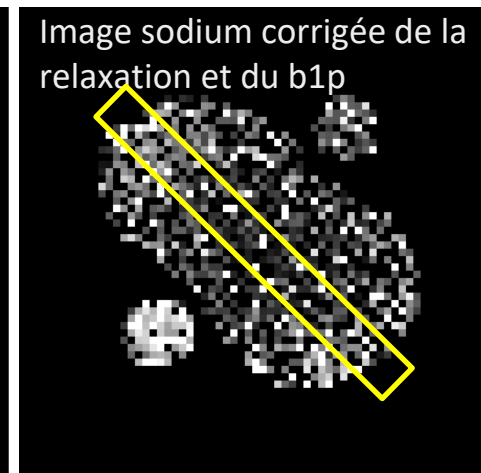
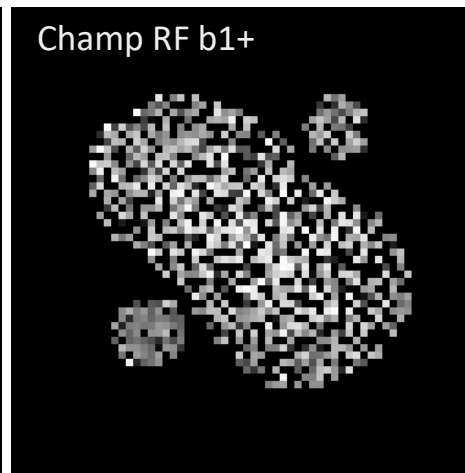
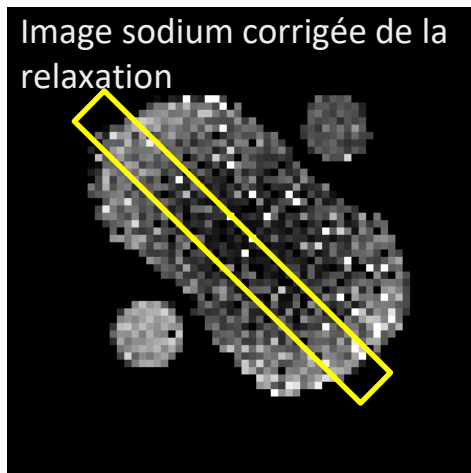
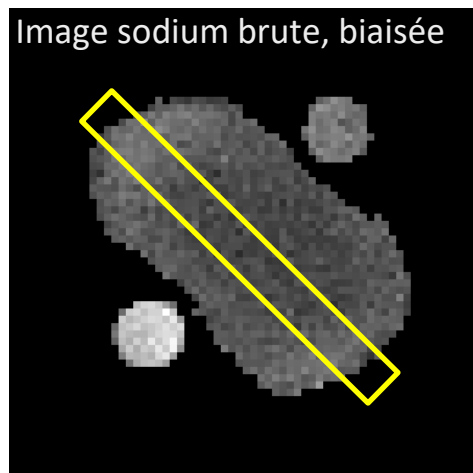
Journées RMN du Grand Sud  
01/07/2021 Sylvie Clerjon



AgroResonance

Plateforme RMN pour l'agronomie, l'agro-alimentaire et la nutrition

# ➤ Faut-il toujours corriger le b1 ?



Poulet cuit 10 min dans de l'eau salée à 342 mM (2%)

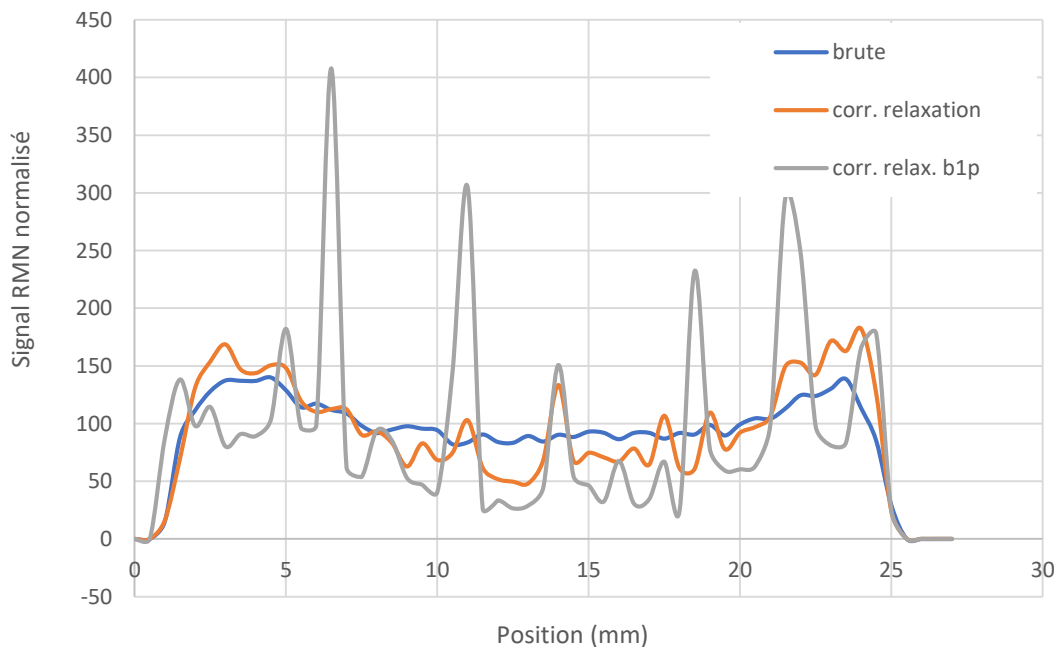
Tubes de référence gélatine salée 75 et 150 mM

Résolution spatiale 0.5x0.5x8mm<sup>3</sup>

Durée d'acquisition = 1h30 par image

9.4T

Trop peu de signal image 30°  
Augmenter le volume de voxel  
Accumuler plus longtemps

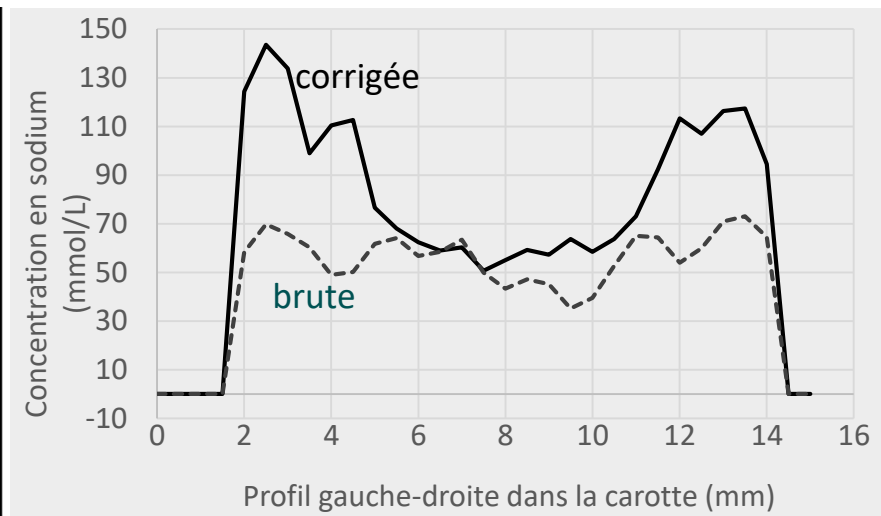
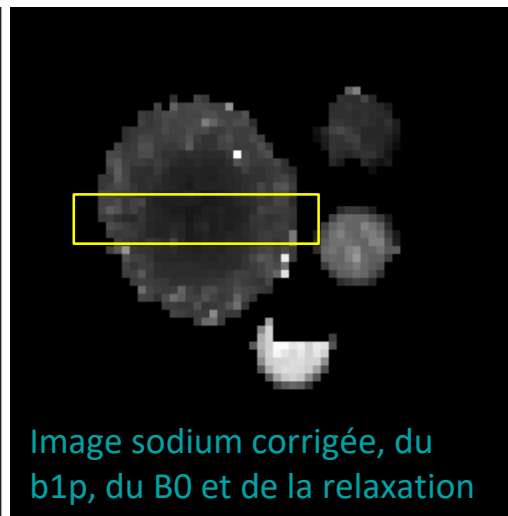
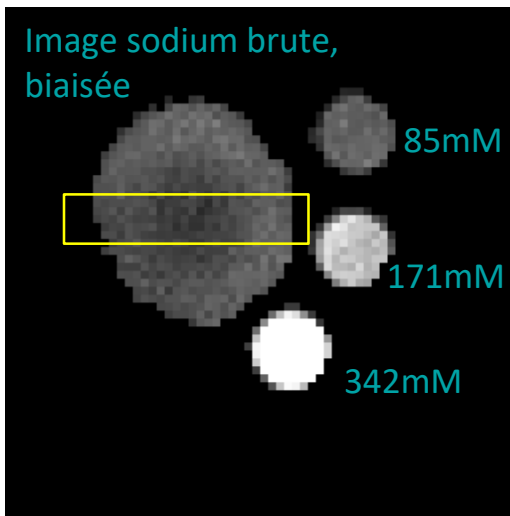


INRAE

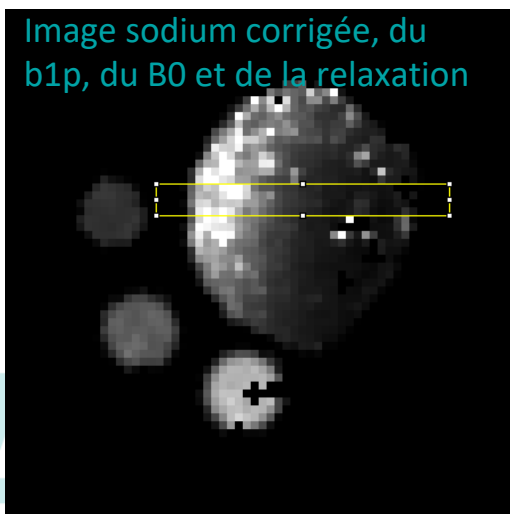
Journées RMN du Grand Sud

01/07/2021 Sylvie Clerjon

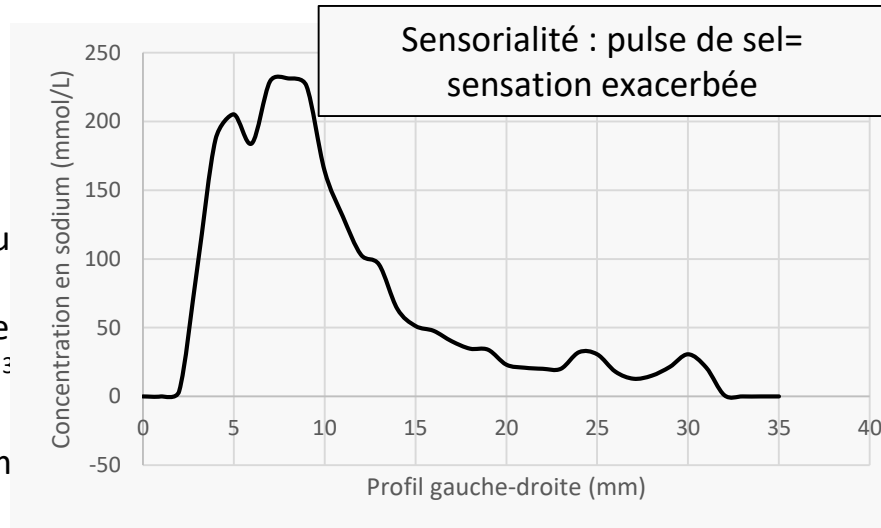
# ➤ Pourquoi corriger ? Mise en évidence d'un gradient de concentration en sel



Correction = possibilité de voir un gradient.

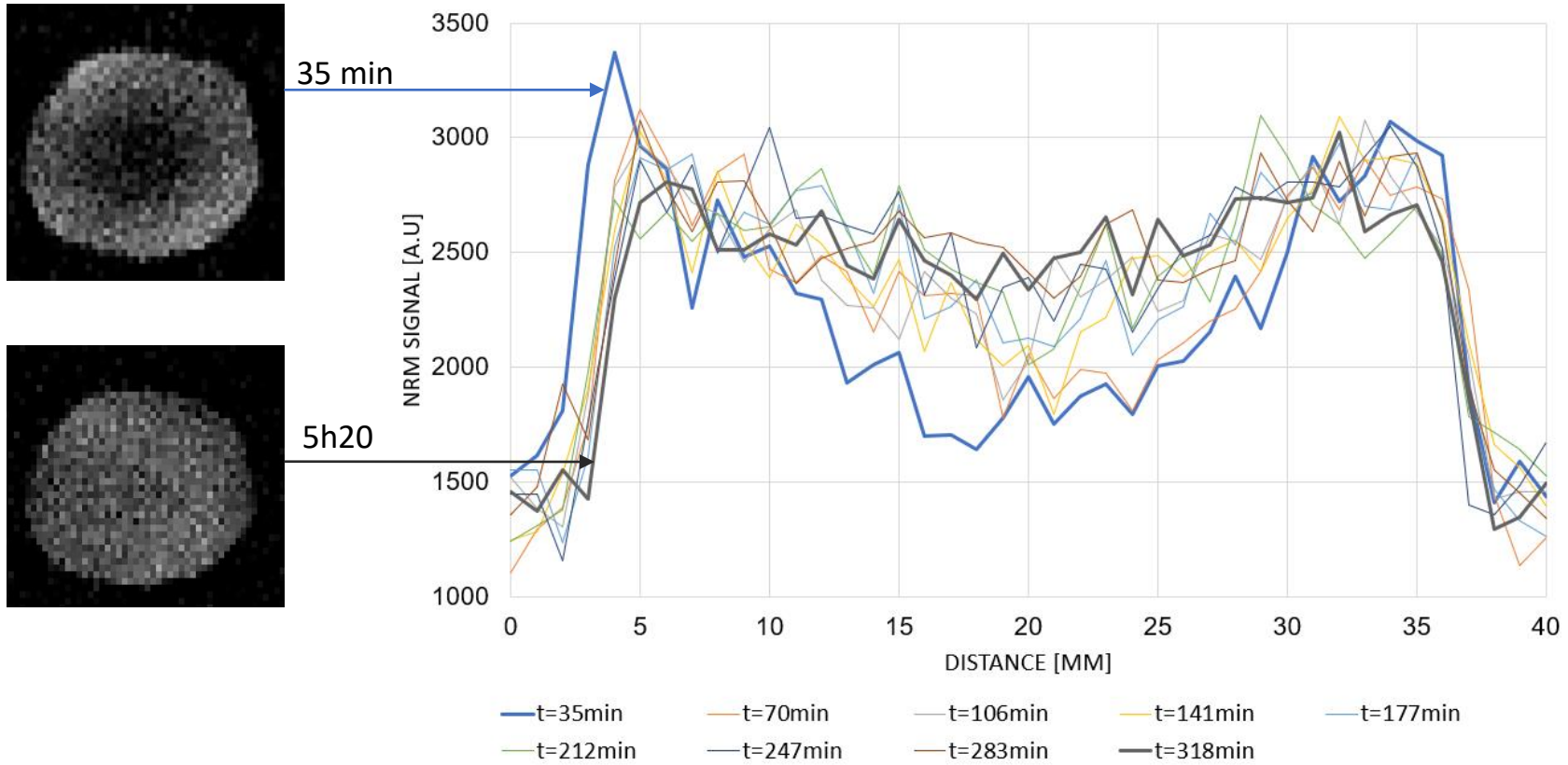


Carotte cuite 18min dans de l'eau Salée « à l'assiette »  
Tubes de référence gélatine salée  
Résolution spatiale 0.5x0.5x8mm<sup>3</sup>  
Champ de vue = 32x32mm<sup>2</sup>  
Durée d'acquisition = 1h30 par im  
9.4T



# ➤ Pourquoi corriger ? Mise en évidence d'un gradient de concentration en sel

Correction = possibilité de voir un gradient. Et de suivre son évolution dans le temps.



Sensorialité et restauration collective



INRAE

Journées RMN du Grand Sud  
01/07/2021 Sylvie Clerjon