

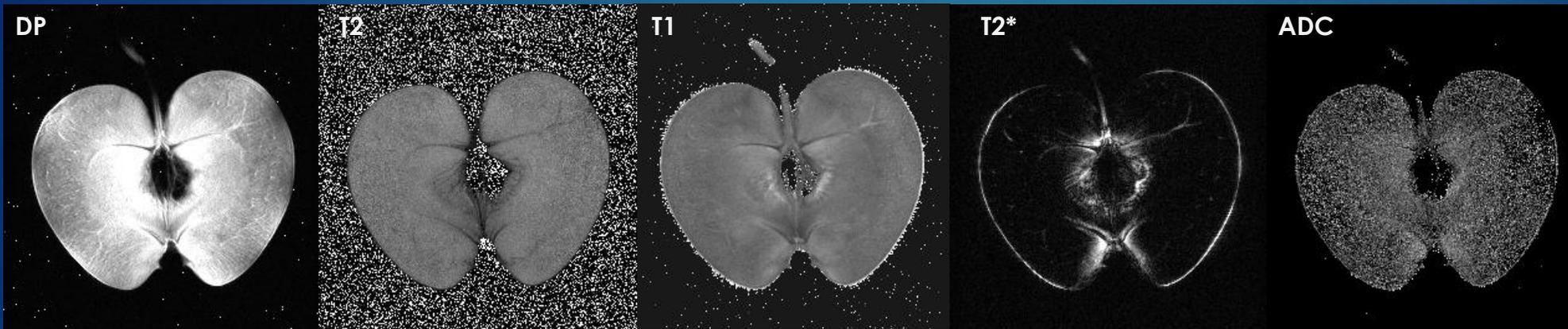


# Multi échelles, multi contrastes, l'Imagerie par Résonance Magnétique pour l'agronomie, l'agro-alimentaire et la nutrition

SYLVIE CLERJON, INRA, QUAPA, PF AGRORESONANCE



# L'IRM : un outil multi contrastes



DP : densité de proton (ou autre noyau)

T2 : relaxation transversale

T1 : relaxation longitudinale

ADC : coefficient de diffusion apparent

T2\* : sensibilité aux différences de susceptibilité (pores dans la pomme)

} Dynamique et interactions

Nuclei	Frequency at 1T	Sensitivity
--------	-----------------	-------------

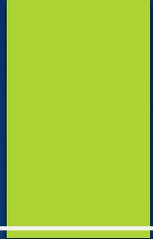
$^1\text{H}$	42 MHz	62.9
--------------	--------	------

$^{31}\text{P}$	17.2 MHz	4.2
-----------------	----------	-----

$^{23}\text{Na}$	11.3 MHz	1.2
------------------	----------	-----

(...)

# L'IRM : un outil multi échelles



*De quoi ça dépend ?*

En clinique,  $1\text{mm}^3$  à quelques  $100\ \mu\text{m}^3$

Au laboratoire, quelques  $\text{mm}^3$  à quelques  $10\ \mu\text{m}^3$   
( $2 \times 2 \times 2\ \mu\text{m}$ )

De l'intensité du champ magnétique  $B_0$

De la qualité de l'antenne Radio Fréquence

Du noyau observé

De l'échantillon

quantité de noyaux disponibles

Du temps

Accès indirect à la microstructure

*Comment ça marche ?*

Le signal RMN dépend de la mobilité de l'eau

Cette mobilité dépend de ses interactions avec la matrice protéique

Possibilité de corréler

signal RMN et intégrité des membranes

signal RMN et type de fibres musculaires

...

L'IRM : un outil multi contrastes

L'IRM : un outil multi échelles

Analyse non destructive

suivi longitudinal

mesure *in vivo*

conservation des structures (pas de préparation)

Analyse quantitative

Possibilité d'ajouter des contraintes physiques

thermiques (congélation, cuisson ...)

mécaniques

chimiques (salage, séchage...)

Possibilité de travailler sur des aliments entiers

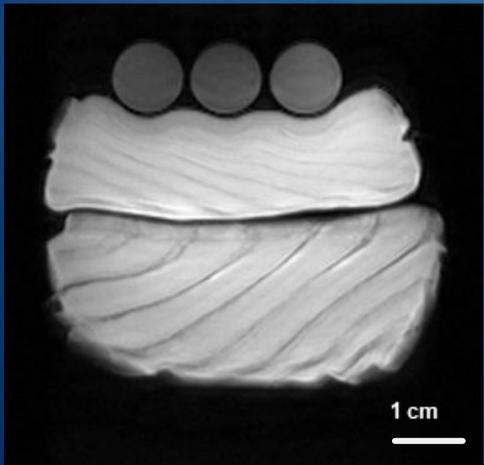
# IRM du Sel

Diminution du sel (santé)

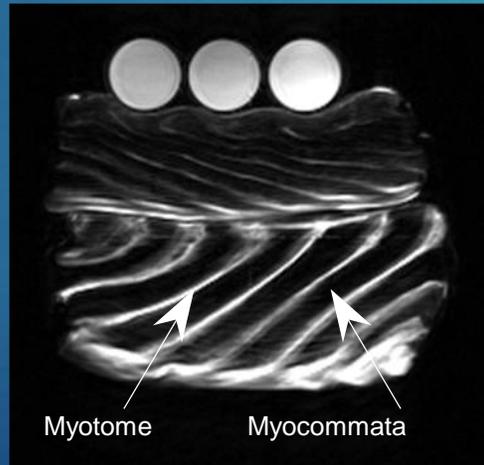
Quantité totale moindre mais répartition homogène et rapide

Préservation des qualités sanitaires, technologiques (protéolyse excessive), organoleptiques

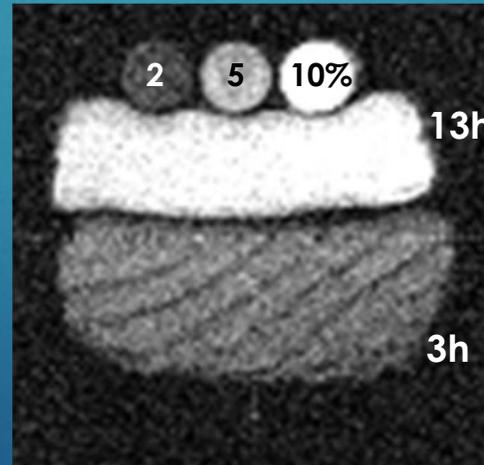
$^1\text{H}$  de l'eau



$^1\text{H}$  lipides



$^{23}\text{Na}$



Suivi longitudinal du salage

Mesure de vitesse de diffusion

Information locale, propre à chaque tissu (effet barrière)

Lien avec l'évolution de la structure

Les challenges de l'imagerie du sodium :

Améliorer la sensibilité

Etre quantitatif

L'IRM est multi contrastes

# IRM du Sel

## Dynamic sodium imaging to follow salting in meat

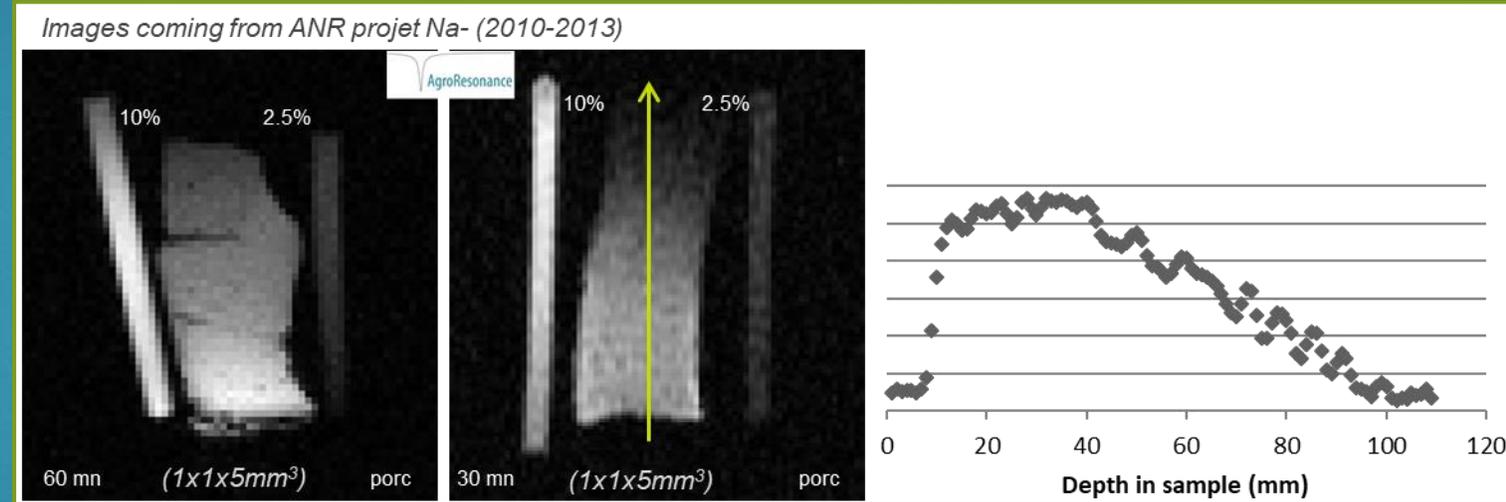
$T_{acq}$  3h30

4.7T

CSI

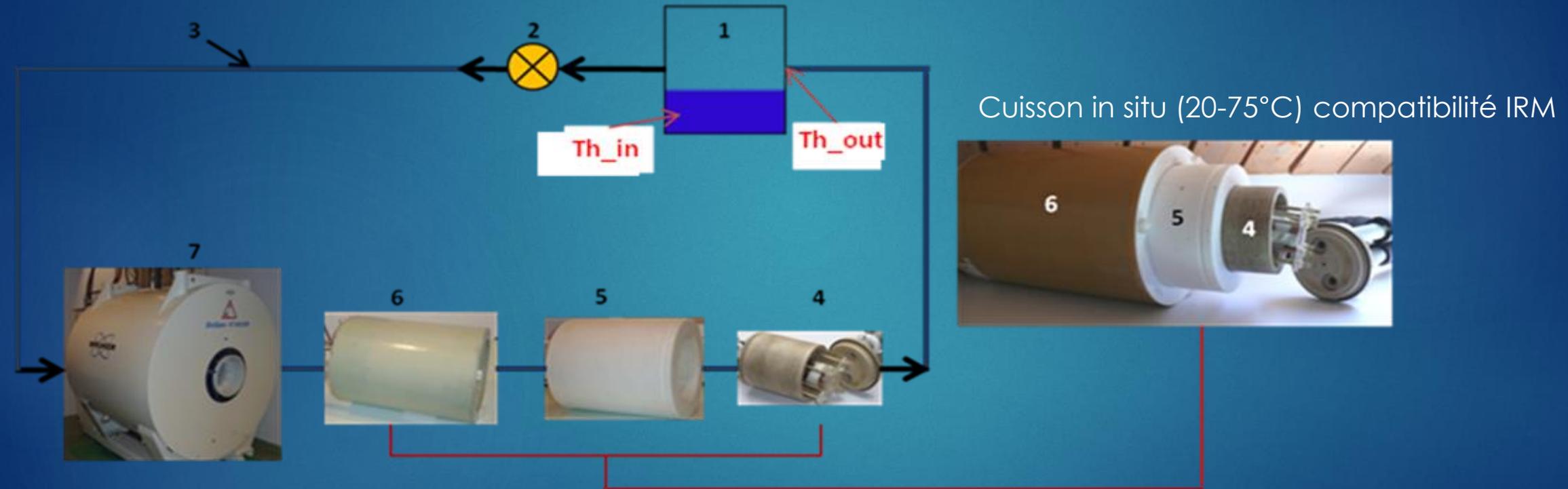
TE 4,3 ms

resolution  $1 \times 1 \times 5 \text{mm}^3$



# IRM sous contrainte thermique : cuire dans l'aimant, déformation et diffusion de l'eau

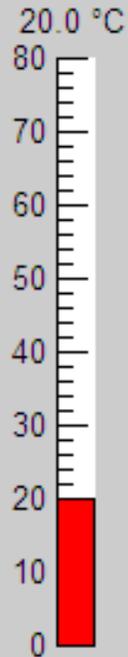
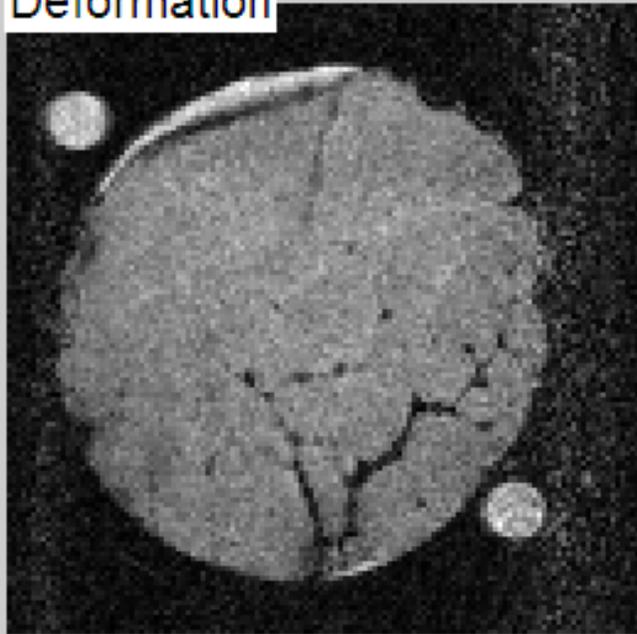
Qualité des aliments : connaissance des évolutions de structure et diffusion de matière  
Construction de modèles mathématiques liant température, déformation, teneur en eau



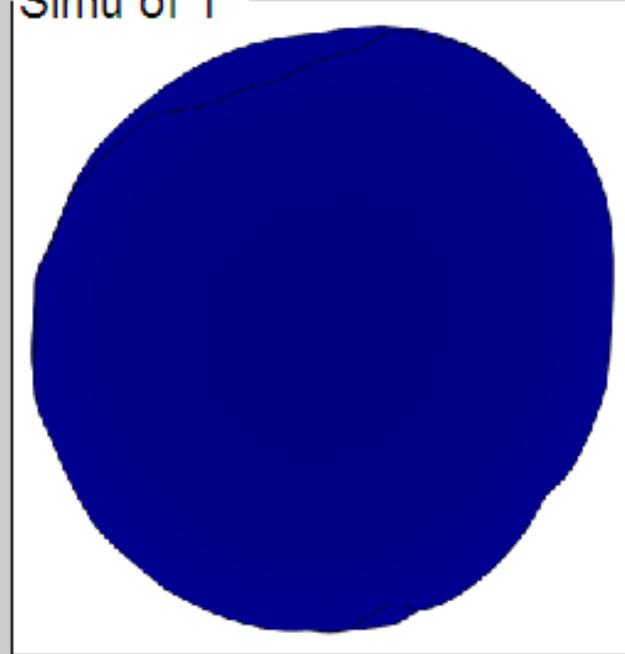
- Contraste en susceptibilité magnétique pour la déformation
- Contraste en densité de 1H pour les transferts d'eau
- Résolution temporelle de 5 minutes
- Elimination des artéfacts dus à l'eau chauffante circulante

# IRM sous contrainte thermique : cuire dans l'aimant, déformation et diffusion de l'eau

Deformation



Simu of T°



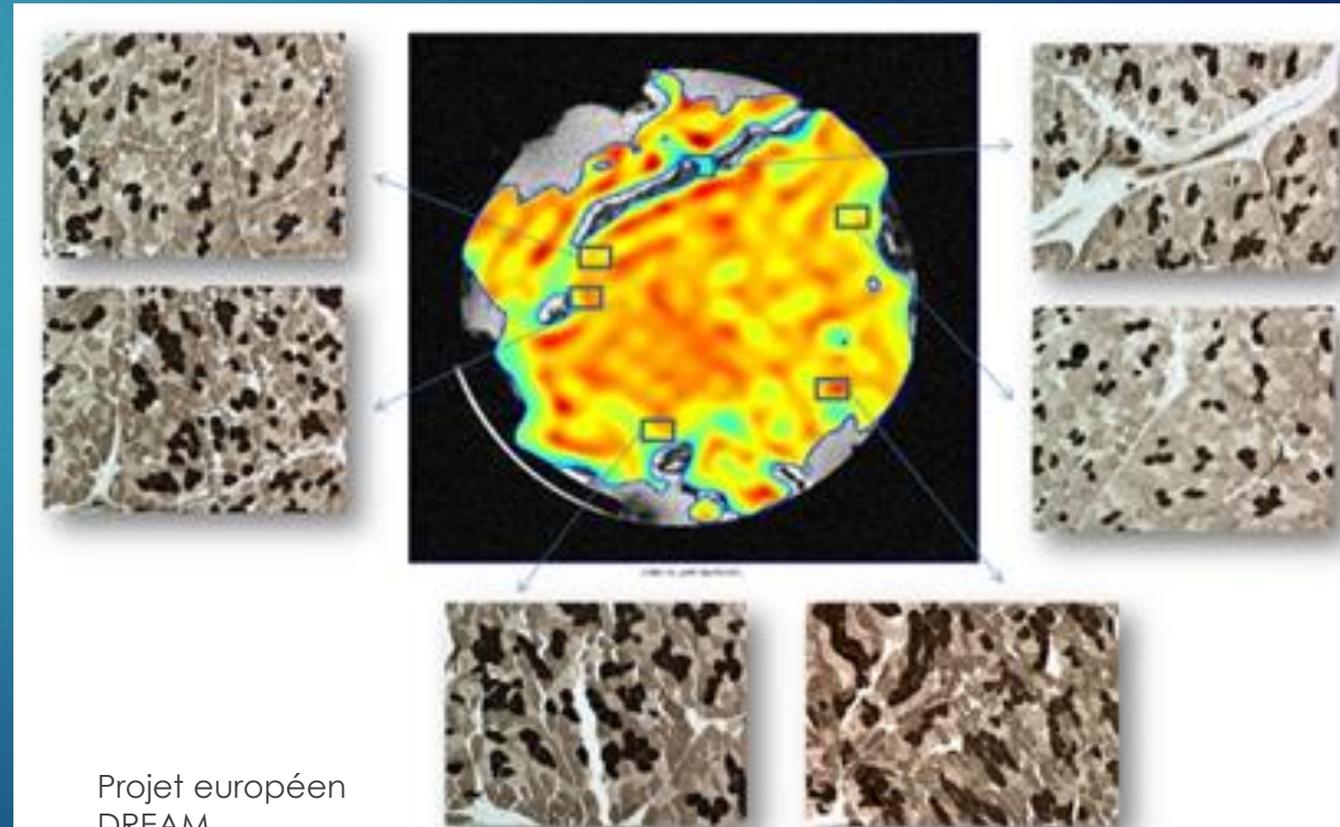
# Accès indirecte à la microstructure

IRM de diffusion (DTI) à l'échelle du 0,5 mm

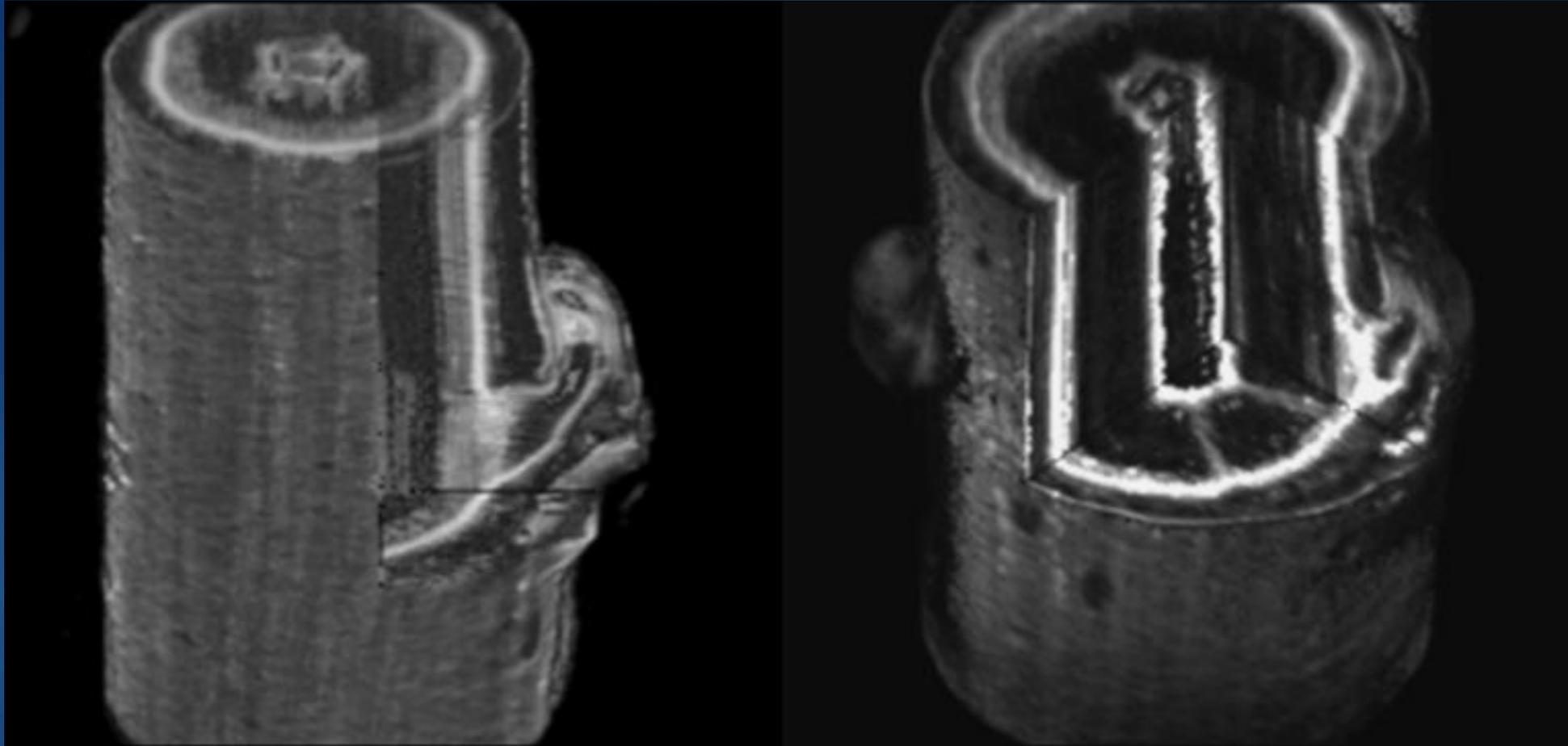
Repérage de la coupe et analyse histologique en parallèle (typage) (T. Astruc et A. Venien, QuaPA)

Corrélation entre les paramètres de diffusion et le type métabolique de fibre musculaire (Type I ↔ forte diffusivité, Type II ↔ faible diffusivité)

Construction d'un modèle de diffusion avec prise en compte des mitochondries (partenariat D. Grebenkov, Ecole Polytechnique, Palaiseau)



# IRM 3D haute résolution : la diffusion dans les plantes



Xylème ↑  
Phloème ↓

9,4T, 50x50x50  $\mu\text{m}^3$ , plusieurs heures, tige jeune frêne, possibilité de mesurer des flux de sève avec les gradients de diffusion.

# IRM 3D haute résolution : altérations structurales du cerveau dans un modèle murin du syndrome de Cushing



Le syndrome de Cushing :

Causes :

- tumeur sur la glande surrénale
- tumeur sur l'hypophyse

Conséquences : diminution de la matière grise.

Mesures  
structurales

3,7 x 3,7 x 3,7  $\mu\text{m}^3$

ex vivo

IRM 9,4T, antenne RF 25 mm + gradients de micro imagerie

Durée totale d'acquisition 2h48

# IRM *in vivo* modèle murin

Accréditation

Sédation à l'isoflurane

Suivi physiologique pendant l'IRM

IRM tête, abdomen, membres

Synchronisation pour vidéo ou éliminer les mouvements

## In vivo sodium imaging

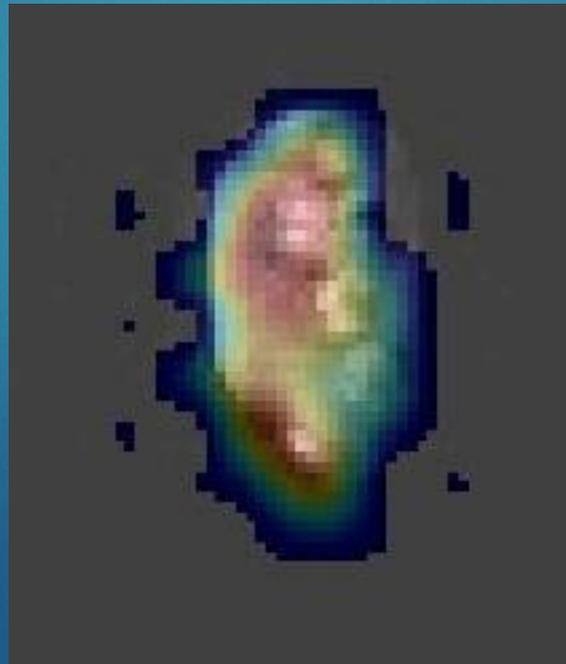
Sodium in a chondrosarcoma in mouse

11,7T

T<sub>acq</sub> 34 min

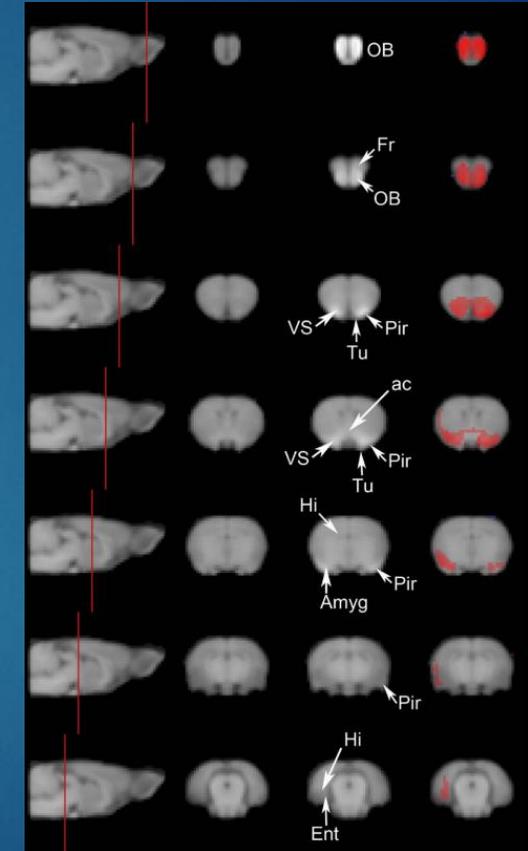
FLASH TE 1 ms

Resolution 1,6\*1,6\*1,6 mm<sup>3</sup>



## IRM fonctionnelle

Activation cérébrales en réponse à des stimulations (Manganese Enhanced MRI)



Exemple projet Emergence : différence d'activations cérébrales chez le rat en fonction de la structure de l'aliment ingéré

# IRM *in vivo* IRM fonctionnelle chez l'homme

Utilisation de l'IRM 3T du CHU de Clermont Ferrand

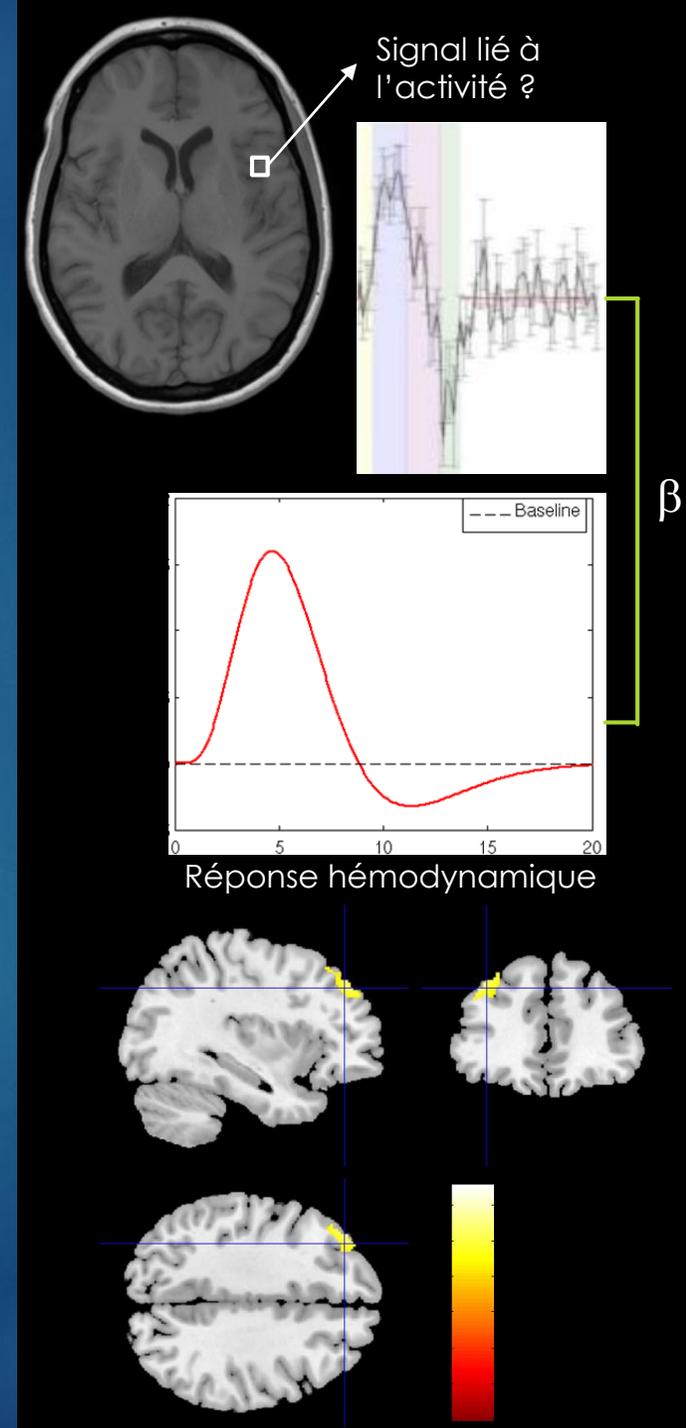
Exemple du projet **Pleasin** : effet du choix sur le plaisir alimentaire

3 boissons plaisantes

réception aléatoire  
réception choisie

Comparaison des activations  
cérébrales (contraste BOLD)

Instrumentation de l'antenne tête par un gustatomètre « maison »





# AgroResonance

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

PF ISC (Infrastructure Scientifique Collective de l'INRA, 2018) de l'Unité QuaPA

Membre de IVIA (*In Vivo Imaging in Auvergne*), IBISA (2018)

ISO 9001 V2015



Trois IRM à 4,7T, 9,4T et 11,7 T (+ accès au 3T du CHU)

Ouvertures de 4 à 26 cm.

Micro imagerie (résolution  $\times \mu\text{m}$ )

Chauffage *in situ* (-10 à 70°C)

Séchage / hydratation / contraintes mécaniques

Evolution structure, de mobilité des protons de l'eau, mesure de gradients (eau, sel ..) en dynamique ...

Visites vendredi !



...et Leslie Mazuel !