



Qu'apporte l'IRM pour apprécier la qualité des produits animaux ?

S. Clerjon
UR Qualité des Produits Animaux
Centre INRA de Clermont Ferrand Theix





Déclaration d'intérêts en rapport avec la présentation

➤ **Activités de conseil, fonctions de gouvernance, rédaction de rapports**

Non

Société(s) :

➤ **Essais cliniques, autres travaux, communications de promotion**

Non

Société(s) :

➤ **Intérêts financiers (actions, obligations)**

Non

Société(s) :

➤ **Liens avec des personnes ayant des intérêts financiers ou impliquées dans la gouvernance**

Non

Société(s) :

➤ **Réception de dons sur une association dont je suis responsable**

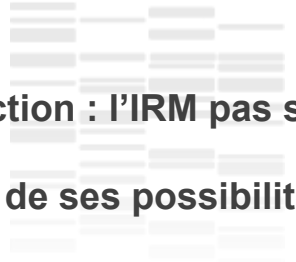
Non

Société(s) :

➤ **Détention d'un brevet, rédaction d'un ouvrage utilisé par l'industrie**

Non

Société(s) :

- 
- ❖ **Introduction : l'IRM pas seulement un outil d'examen clinique. Présentation de l'IRM et de ses possibilités**
 - ❖ **Ses potentialités pour la qualité des produits animaux**
 - ❖ **Composition corporelle**
 - ❖ **In vivo**
 - ❖ **Carcasses**
 - ❖ **Études sur les aliments**
 - ❖ **Eau**
 - ❖ **Lipides**
 - ❖ **Sel**
 - ❖ **Cuisson**
 - ❖ **Conclusion**

L'IRM également un outil de mesure de la qualité des aliments



- A l'hôpital pour le diagnostic clinique
 - Angiographie, imagerie cérébrale, maladies tumorales
- Large ouverture, antennes anatomiques, champ magnétique 1.5T ou 3T

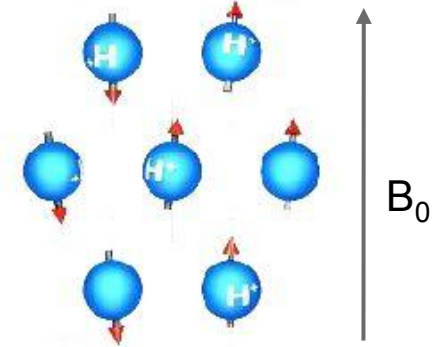
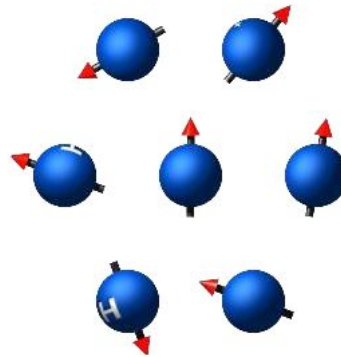
- Au laboratoire pour des études sur l'animal, ou sur des matériaux, dont les aliments
- Souvent plus petits, ouvertures adaptées
- Champs plus intenses
- Antennes sur mesure
- Séquences modifiables



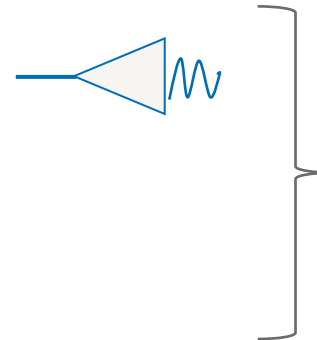
Le principe de la RMN

Information macroscopique, non localisée

- Levée de dégénérescence quantique

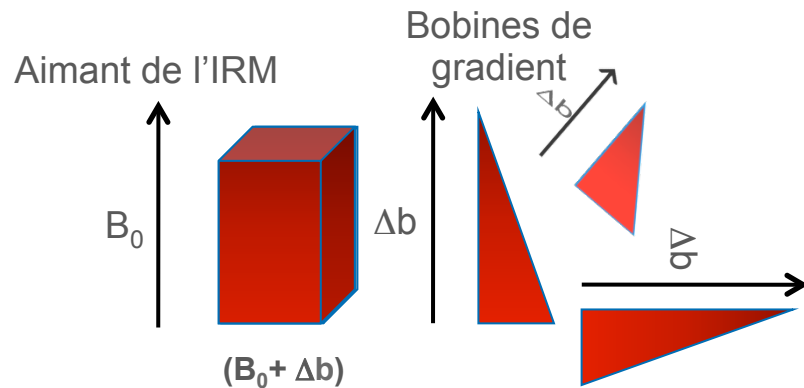


- Impulsion RF à la fréquence de précession de l'aimantation macroscopique → résonance
- Retour à l'équilibre de l'aimantation (relaxation)
- Mesure du signal émis lors de la relaxation



pour « voir » les transitions énergétiques et donc les noyaux

Le principe de l'IRM pour une information localisée



On maîtrise le champ magnétique total ($B_0 + \Delta b$) dans le temps et l'espace.

Excitation RF à $\omega_0 = \gamma(B_0 + \Delta b)$
 $\omega_0 = f(t, r)$

En IRM on a le pinceau dans le domaine fréquentiel, il est donc plus pratique de remplir l'image dans le domaine fréquentiel.

Les possibilités de l'IRM

Rapport signal/bruit



Résolution temporelle

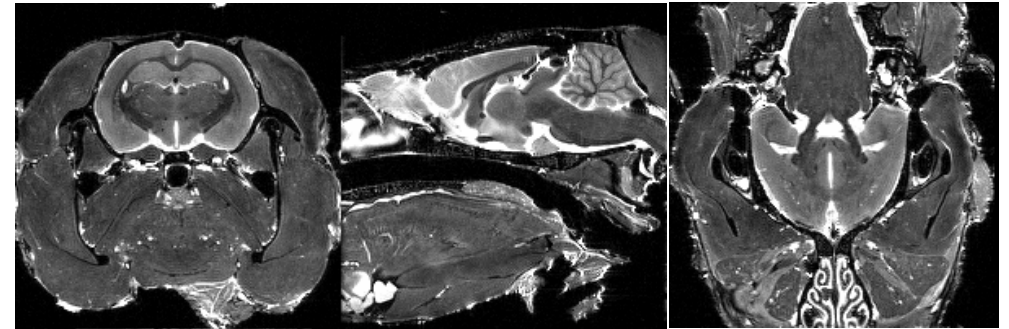
Résolution spatiale

High resolution MRI – *post mortem*

3D characterisation of anatomical structures in rat brain

$$V = 0.160 \times 0.160 \times 0.160 \text{ mm}^3$$

$$T_{acq} = 48.5 \text{ heures}$$



Dynamic imaging– *suivi de procédé*

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 1 \text{ mm}^3$$

$$T_{acq} = 8.5'$$



Magnetic Resonance Imaging 22 (2004) 395–401

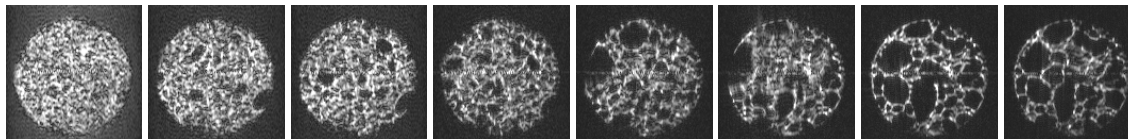
MAGNETIC
RESONANCE
IMAGING

Dynamic magnetic resonance microscopy of flour dough fermentation

Jean-Marie Boumy^{a,*}, Jocelyn Rouille^{b,c}, Guy Della Valle^b, Marie-Francoise Devaux^b,
Jean-Paul Doulier^b, Jean-Pierre Renou^c

^aStructures Tissulaires et Interactions Moléculaires, INRA, Thon, 63122 Saint-Genès-Champagnelle, France
^bUnité de Recherche sur les Polysaccharides et les Protéines Végétales, leurs Organisations et leurs Interactions, INRA 44516 Nantes Cedex, France
^cUnité de Recherche sur les Polysaccharides, INRA, Jouy en Josas, France

Received 14 October 2003; accepted 26 January 2004



Les possibilités de l'IRM

Nuclei	Frequency at 1T	Sensitivity
^1H	42 MHz	62.9
^{31}P	17.2 MHz	4.2
^{23}Na	11.3 MHz	1.2
^{13}C (...)	10.7 MHz	15.7

Les contrastes

Densité de noyaux

Dynamique des noyaux, interactions

Temps de relaxation T_1 , T_2

Coefficients de diffusion

Flux

Fréquence de résonance

Déplacement chimique

Différence de susceptibilité

Teneur en eau, en sel

Gras, structure

Viscoélasticité

Conjonctif, sel

J Sci Food Agric 1998; 78, 349-358

Quantitative NMR Imaging of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during Growth and Ripening

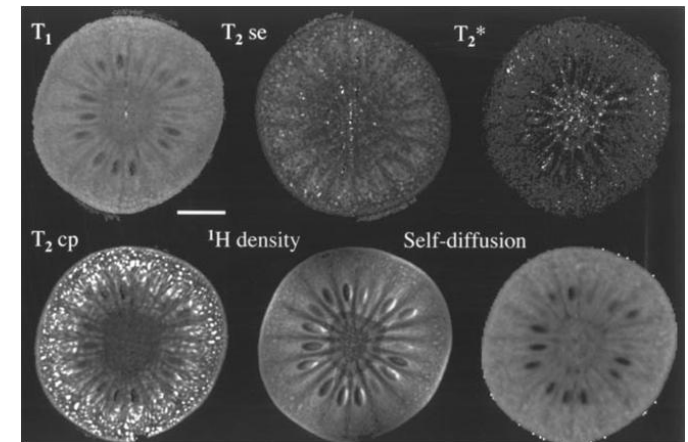
Christopher J Clark,^{1*} Lynley N Drummond² and Janet S MacFall³


¹ HortResearch, Palmerston North Research Centre, Private Bag 11 030, Palmerston North, New Zealand

² Department of Food Technology, Massey University, Private Bag 11 222, Palmerston North, New Zealand

³ Department of Biology, Elon College, PO Box 2225, Elon College, North Carolina 27244, USA

(Received 16 May 1997; revised version received 9 February 1998; accepted 11 March 1998)



- 
- ❖ Introduction : l'IRM pas seulement un outil d'examen clinique. Présentation de l'IRM et de ses possibilités
 - ❖ Ses potentialités pour la qualité des produits animaux
 - ❖ Composition corporelle
 - ❖ In vivo
 - ❖ Carcasses
 - ❖ Études sur les aliments
 - ❖ Eau
 - ❖ Lipides
 - ❖ Sel
 - ❖ Cuisson
 - ❖ Conclusion

La composition corporelle des animaux in vivo : gras/maigre Pourquoi l'IRM ?

Ultra sons

- Coût faible, mobilité
- Moins d'informations, moins précis
- mesure de l'épaisseur de gras sous-cutané début années 50 !

X ray CT

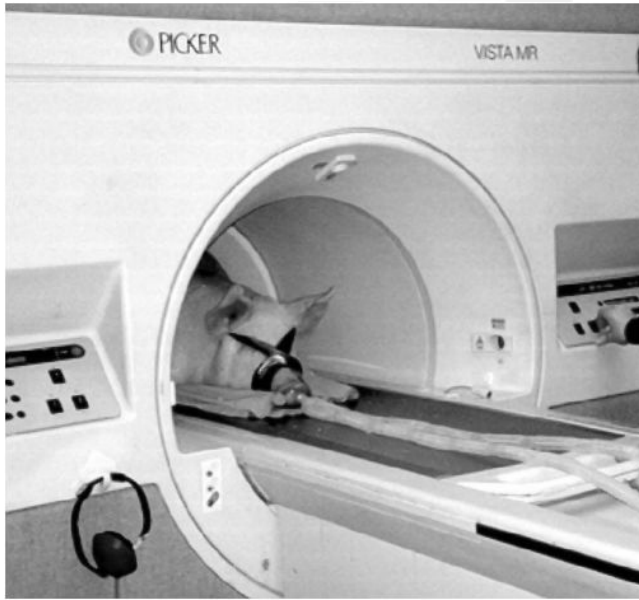
Plus précis
Plus d'informations
Spectroscopie

Imagerie par Résonance Magnétique

- Précision de la mesure du gras/maigre, méthode de référence
- Coût élevé
- Absence de portabilité
- X ray CT, depuis années 80
- IRM depuis années 90

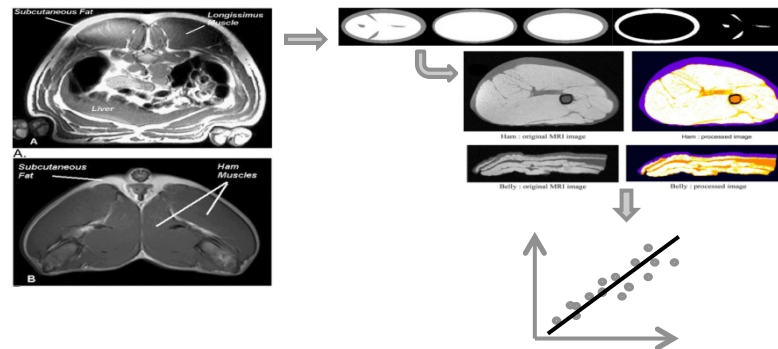
La composition corporelle des animaux in vivo par **IRM**

in vivo = anesthésie chez l'animal



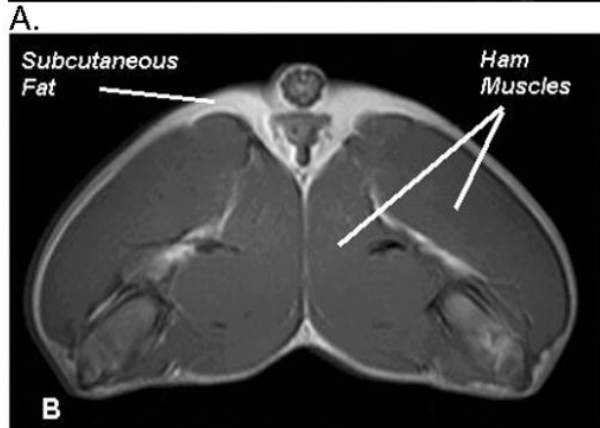
- Espèces : **porc**, mouton, agneau, canards, poulets, lapins, truites, huitres...
- Applications/méthodes :
 - Teneur en gras
 - Teneur en muscle
 - Volume des muscles d'intérêt (jambon, épaule, filet, pectoral...)

Recherches sur les conduites d'élevage, suivi longitudinal



- Equipes :
 - Irstea (anciennement Cemagref) de Rennes
 - Neustadt, Munich, Allemagne
 - Université de San Paolo, Brésil
 - USDA

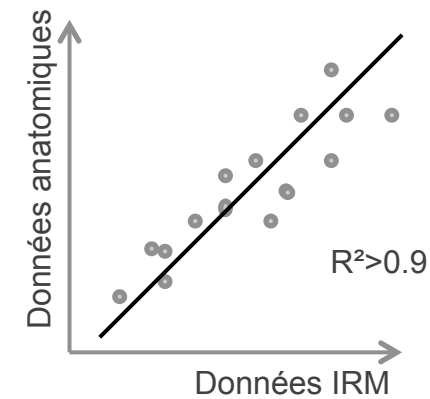
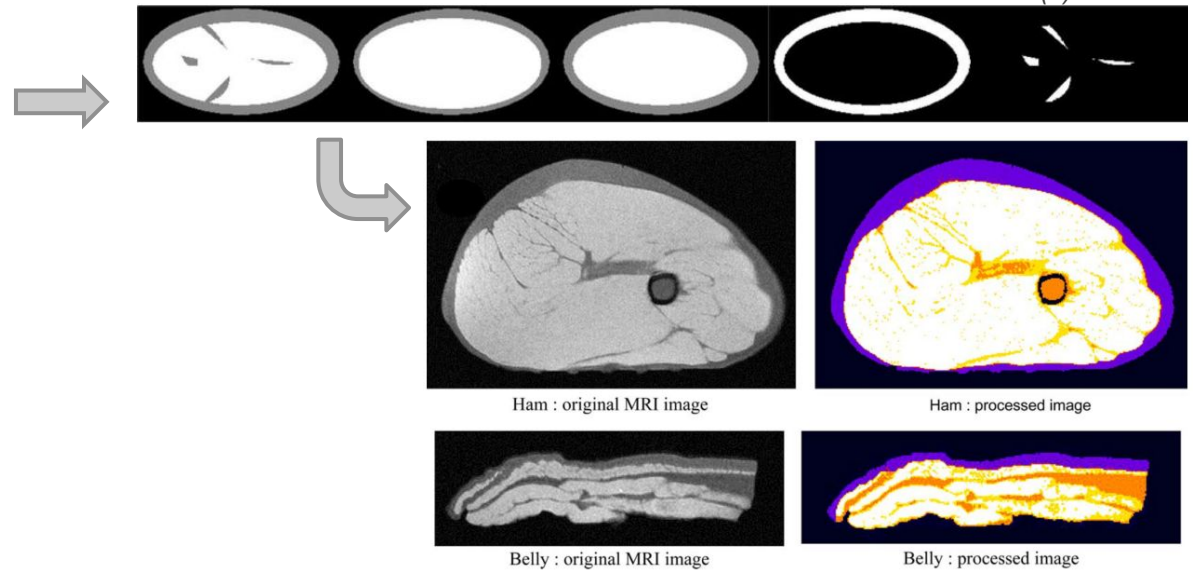
Choix de la coupe ou d'un ensemble de coupes IRM



Mitchell, A. D., et al. (2001). *Journal of Animal Science* 79(7): 1800-1813.

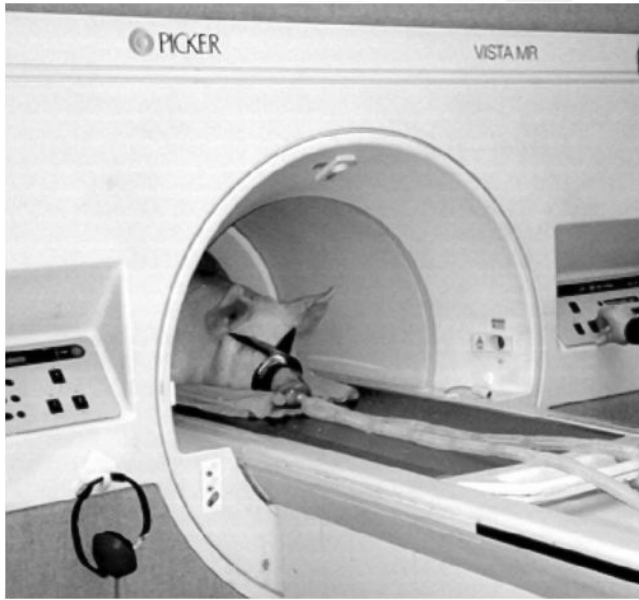
Analyse d'image, segmentation

Monziols, M., et al. (2006). *Meat Science* 72(1): 146-154.



La composition corporelle des animaux in vivo par **IRM**

In vivo = anesthésie chez l'animal

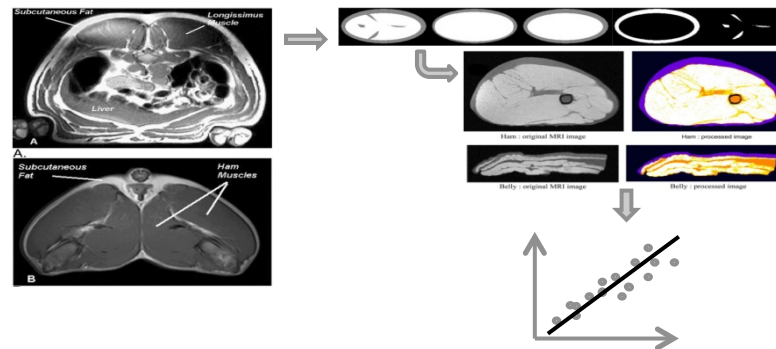


- Espèces : **porc**, mouton, agneau, canards, poulets, lapins, truites, huitres...

- Applications/méthodes :

- Teneur en gras
- Teneur en muscle
- Volume des muscles d'intérêt (jambon, épaule, filet, pectoral...)

Recherches sur les conduites d'élevage, suivi longitudinal



- Equipes :


- Irstea (anciennement Cemagref) de Rennes
- Neustadt, Munich, Allemagne
- Université de San Paolo, Brésil
- USDA

L'IRM comme méthode de référence pour la validation des nouvelles techniques de classification de carcasse

La qualité d'une carcasse est déterminée par classement après l'abattage. Problématique des filières d'avoir des méthodes rapides, précises et objectives.



- Mêmes méthodes et objectifs qu'en in vivo, application différente
- Bovins possibles
- Plus précis car plus de temps et pas de mouvements
- Corrélations excellentes entre IRM et dissection → méthode de référence

- 
- ❖ Introduction : l'IRM pas seulement un outil d'examen clinique. Présentation de l'IRM et de ses possibilités
 - ❖ Ses potentialités pour la qualité des produits animaux
 - ❖ Composition corporelle
 - ❖ In vivo
 - ❖ Carcasses
 - ❖ Études sur les aliments
 - ❖ Eau
 - ❖ Lipides
 - ❖ Sel
 - ❖ Cuisson
 - ❖ Conclusion

L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

L'eau dans les produits animaux



- 75% d'eau dans le muscle
- Maîtrise des transferts d'eau = maîtrise des qualités finales
 - sensorielles
 - nutritionnelles
 - sanitaires
 - technologiques
- séchage/salage
- cuisson

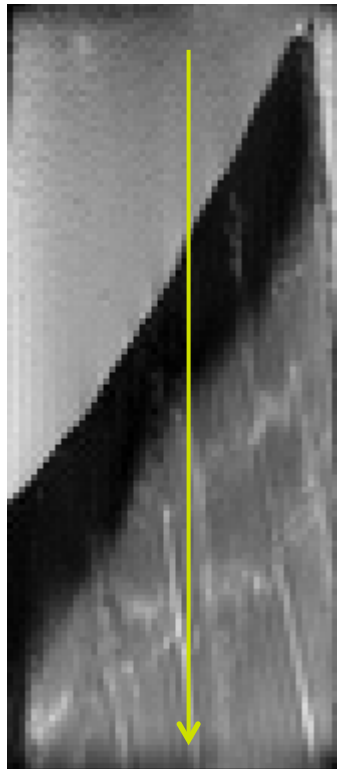
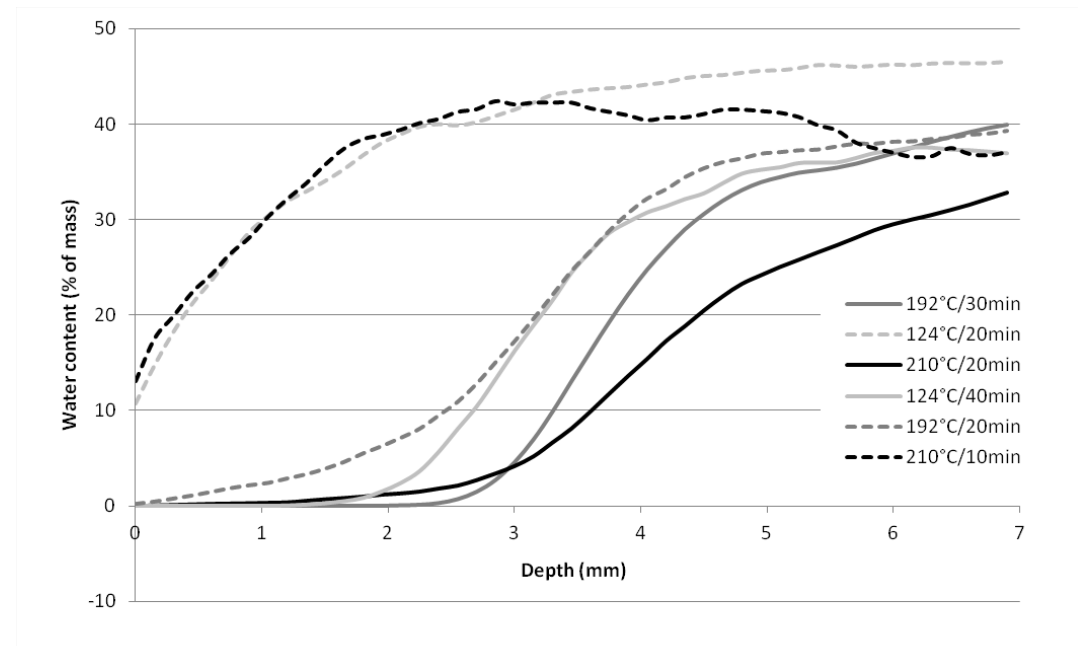


Image proportionnelle à la quantité de proton (0.15x0.5x2mm³, qq min)
Évaluation de l'épaisseur de croûte dans du bœuf cuit 20 min à 210°C



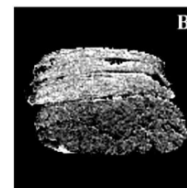
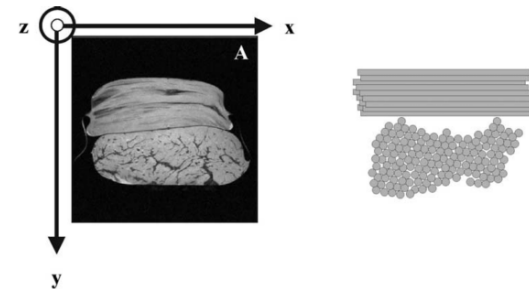
Données pour la construction de modèles mathématiques de la cuisson → optimisation → limitation thermoformés toxiques.

L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

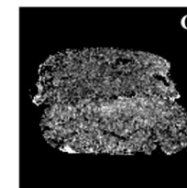
L'eau dans les produits animaux : sa répartition, mais encore ..?



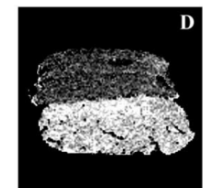
- Spectroscopie : le temps de relaxation rend compte de l'état de liaison
- Diffusion : organisation des fibres à l'échelle intra voxel.
- Analyse de texture/structure



$D_x [0.5 - 1.0] 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$



$D_y [0.5 - 1.0] 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$



$D_z [0.5 - 1.0] 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

Renou, J. P., et al. (2003). *Food Chemistry* 82(1): 35-39.

L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

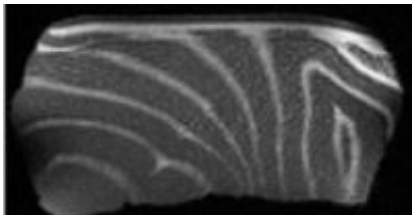
Les lipides dans les produits animaux : une question de nutrition, mais pas seulement

Teneur en lipides et distribution des lipides

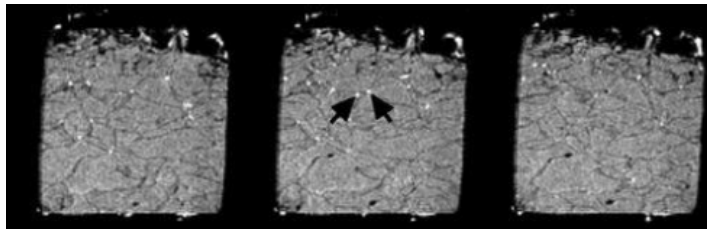
- texture
- jutosité
- gout
- odeur
- qualités nutritionnelles

Comprendre les procédés pour les modéliser puis les optimiser

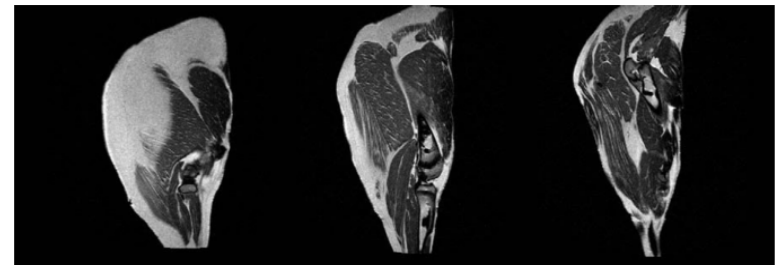
→ moins de matière grasse



Aursand, I. G., et al. (2010). *Food Chemistry* 120(2): 482-489. (0.5x0.5x2mm³)



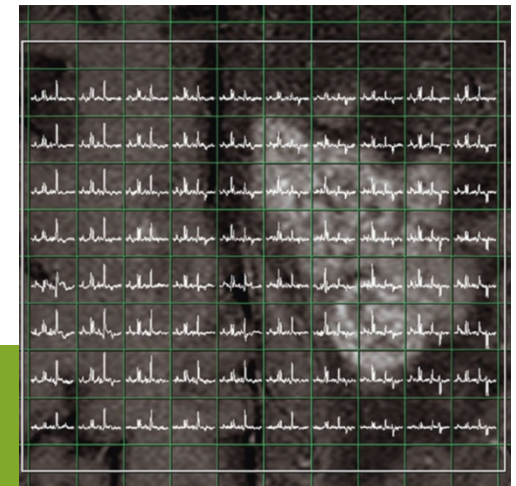
Mahdjoub, R., et al. (2003). *Journal of Food Science* 68 (6): 1982-1984. (0.1x0.1x0.1mm³)



Pérez-Palacios, T., et al. (2010). *Food Research International* 43(1): 248-254. (0.23x0.2x2mm³)

Etre plus sélectif avec la Diffusion weighted imaging et la Chemical Shift Imaging

- Contraste 100% → imagerie quantitative possible
- Composition chimique et en particulier de la teneur en triglicérides dans le porc



L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

Le sel dans les produits animaux

L'image ^{23}Na

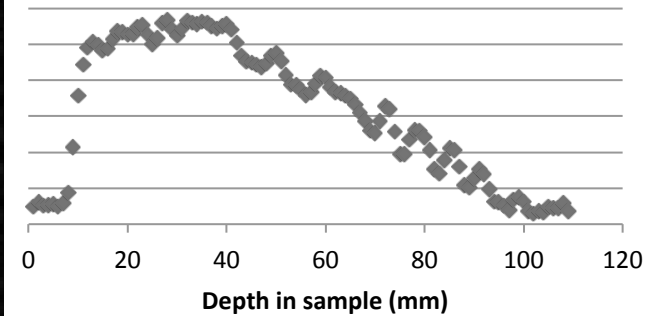
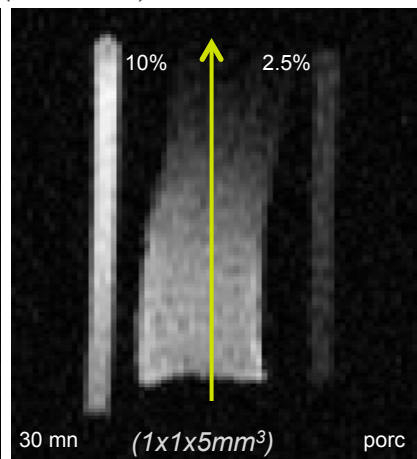
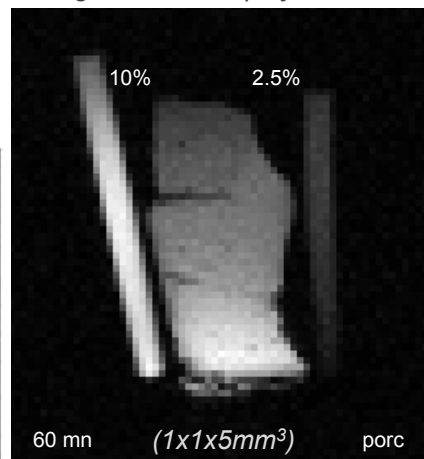
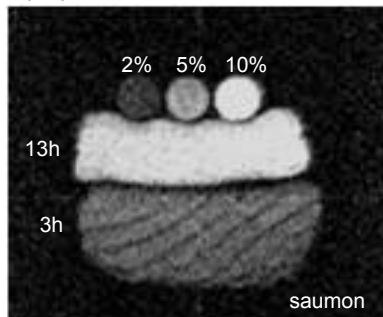
Sensibilité plus faible (nature et abondance)

- Signal/bruit dégradé
- Résolution moins fine
- Temps d'acquisition plus longs



Images issues du projet ANR Na- (2010-2013)

Foucat, L., et al. (2001).
American Laboratory 33
(16): 38-+.



L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

La cuisson

Il faut maîtriser la cuisson des produits animaux car :

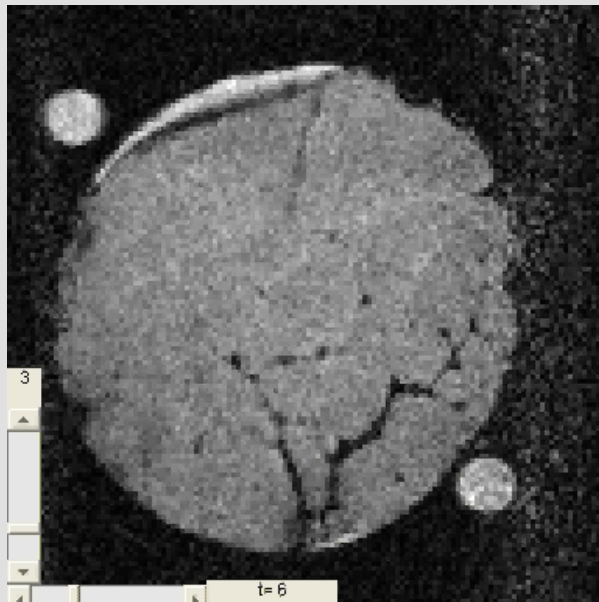
- Modification de la digestibilité
- Formation de composés toxiques
- Perte de nutriments

→ Création de modèles mathématiques
L'IRM comme fournisseur de données

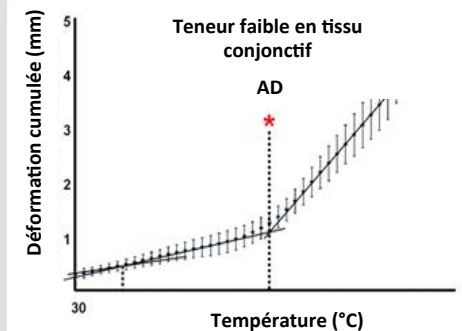
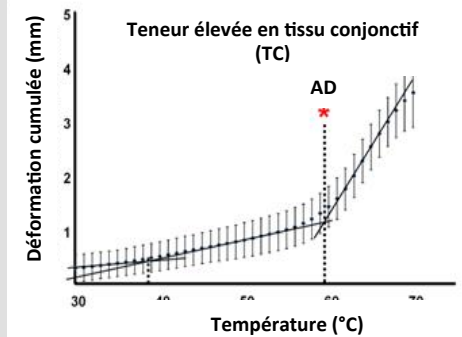
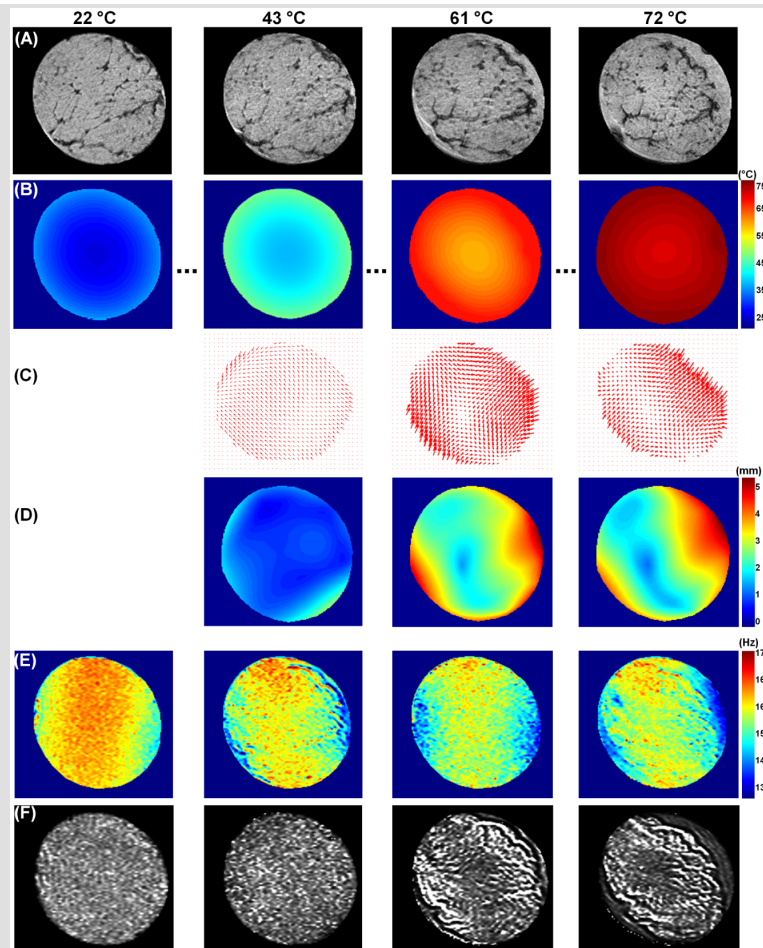


Déformation et transferts d'eau cuisson de bœuf au bain-marie, dans l'IRM

0.5x0.5x2mm³
4min 16s / image



Cuisson de 20 à 75 °C



Bouhrara, M., et al. (2012). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (18): 4678-4687.
Projet européen ProSafeBeef

L'IRM pour les mesures de la qualité des aliments

La cuisson



Il faut maîtriser la cuisson des produits animaux car :

- Modification de la digestibilité
- Formation de composés toxiques
- Perte de nutriments
- Prise de matière grasse

→ Création de modèles mathématiques
L'IRM comme fournisseur de données

Prise en huile lors de la friture de la viande porc

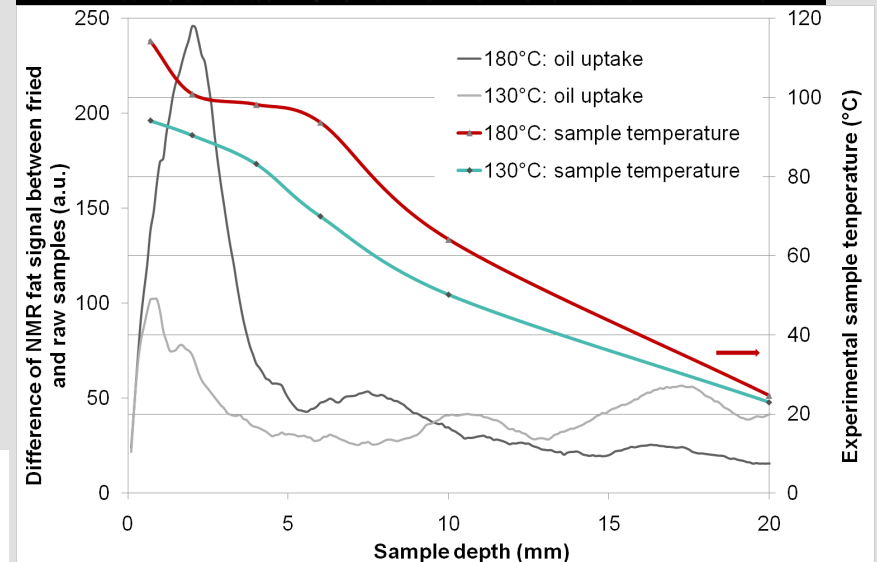
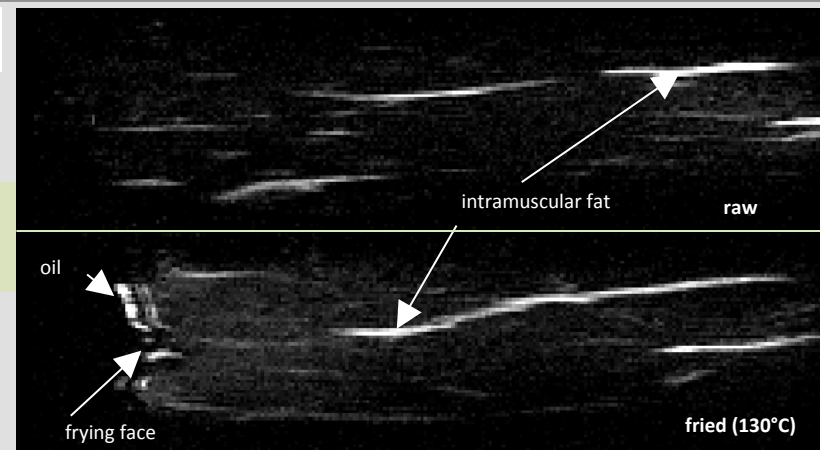



- Pénétration de l'huile à 180°C # 5 mm
- Pénétration de l'huile à 130°C # 2.5 mm

Cohérent avec la température dans l'échantillon et le processus de pénétration de l'huile :

- évaporation de l'eau à 100°C
- condensation de l'eau pendant le refroidissement
- création d'une dépression
- migration du film d'huile adhérent pendant le refroidissement

Clerjon, S., et al. (2012). *Meat Science* 91(1): 79-87.
Projet ANR Lipivimus (2007-2010)



- 
- ❖ Introduction : l'IRM pas seulement un outil d'examen clinique. Présentation de l'IRM et de ses possibilités
 - ❖ Ses potentialités pour la qualité des produits animaux
 - ❖ Composition corporelle
 - ❖ In vivo
 - ❖ Carcasses
 - ❖ Études sur les aliments
 - ❖ Eau
 - ❖ Lipides
 - ❖ Sel
 - ❖ Cuisson
 - ❖ Conclusion, et l'IRM pour la nutrition humaine ?

Conclusion, et l'IRM pour la nutrition humaine ?

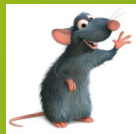
- In vivo et carcasses : gras/maigre, volumes de muscles
- Aliments : répartition et teneur en
 - eau États de liaison
 - lipides Composition chimique
 - sel États de liaison, quantification

Non invasive

Méthode de référence

Informations supplémentaires
avec la spectroscopie

Etude sur la nutrition humaine avec les modèles animaux rat ou mini-porc



L'IRM assure le suivi longitudinal pendant un régime

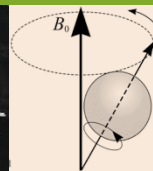
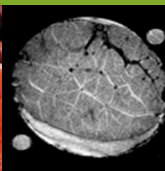
- de la composition corporelle, dont fonte des muscles
- des adiposités dans le foie (métabolisme hépatique)
- des adiposités de l'aire hépatosplénique

Marquage des sucres au ^{13}C  Cinétiques d'assimilation

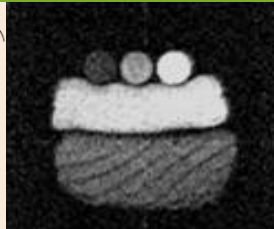
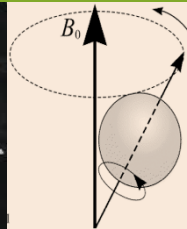
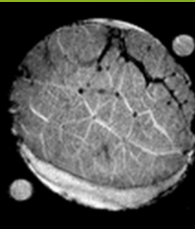
Marquage du glutamate au ^{13}C  Effets du glutamate sur entérocytes rats âgés

Etude du métabolisme énergétique avec le suivi des ATP en ^{31}P (dépenses E / obésité)

A l'échelle de la cellule musculaire, suivi de l'activité mitochondriale en spectro RMN



Merci pour votre attention



Les possibilités de l'IRM

Les noyaux	Les contrastes	Les applications
^1H	Densité de noyaux ^1H	Quantité d'eau (thèse Mustapha)
	Relaxation T1	
	Relaxation T2	
	Diffusion	Cartographie du gras (Projet Lipivimus) Information structure (projet DREAM)
	Flux	Elastographie
	Déplacement chimique	
	Différence de susceptibilité	Imagerie du réseau conjonctif (thèse Mustapha)
^{23}Na	Densité de noyaux ^{23}Na	Cartographie du sodium (Projet Na^- , postdoc)
	Relaxation T1	
	Relaxation T2	
	Diffusion	
	Flux	
	Déplacement chimique	Quantification du sodium (Projet Na^-) état de liaison ? À vérifier
	Différence de susceptibilité	