



HAL
open science

Dispositifs et méthodes RMN adaptés à la caractérisation d'écoulements et transferts en milli-canaux.

Feryal Guerroudj, Laouès Guendouz, Maude Ferrari, Jérémy Bianchin,
Jean-Christophe Perrin

► To cite this version:

Feryal Guerroudj, Laouès Guendouz, Maude Ferrari, Jérémy Bianchin, Jean-Christophe Perrin. Dispositifs et méthodes RMN adaptés à la caractérisation d'écoulements et transferts en milli-canaux.. Conférence du GERM 2021, May 2021, Nancy, France. hal-03227560

HAL Id: hal-03227560

<https://hal.science/hal-03227560v1>

Submitted on 21 May 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.

1. Contexte

La **milli-fluidique** est une discipline scientifique et technologique présentant un intérêt dans de nombreux domaines comme la biologie¹, la chimie analytique et de synthèse² et le génie des procédés³.

Les **systèmes milli-fluidiques**, de dimensions caractéristiques allant de 100 à 500 μm , sont souvent de **géométrie complexe** et présentent des zones difficilement accessibles par les méthodes optiques. Il est donc nécessaire de disposer de méthodes expérimentales adaptées pour étudier les phénomènes ayant lieu dans ces systèmes.

Les méthodes RMN sont *a priori* adaptées aux objets de la milli-fluidique (en termes de matériaux utilisés, géométrie et dimensions des canaux)

L'étude milli-fluidique par les méthodes RMN nécessite l'amélioration de la **sensibilité de mesure** et la mise au point d'appareillages spécifiques adaptés à la géométrie des systèmes.

Afin d'augmenter la sensibilité, nous avons choisi de travailler sur le développement de **bobines radiofréquences** de dimensions réduites⁴.

Quand l'échantillon est petit, une manière efficace d'améliorer le SNR est de concevoir une bobine RF de taille réduite de manière à maximiser le facteur de remplissage

Ceci a été prouvé par des études et des applications en milli-fluidique. Citons par exemple l'introduction des micro-bobines pour des études dynamiques dans des dispositifs manipulant des volumes de l'ordre du microlitre⁵.

2. Objectifs

a. Mettre au point des méthodes adaptées à la caractérisation d'écoulements en systèmes milli-fluidiques par les méthodes RMN

- Augmenter la sensibilité par le développement de mini-bobines RF
- Optimiser des séquences d'imagerie et le traitement d'images

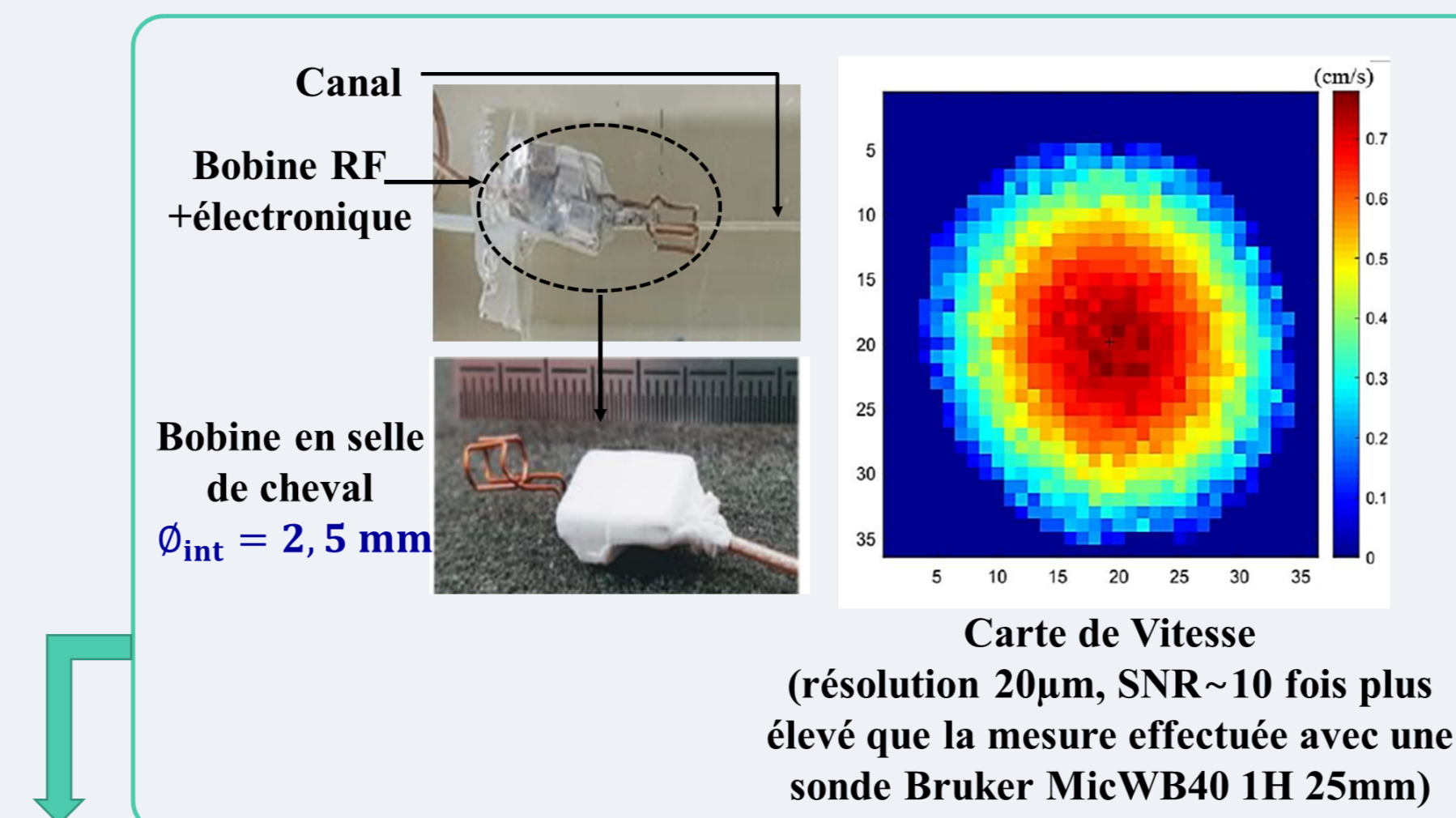
b. Appliquer ces méthodes dans deux cas d'étude en milli-fluidique

- La visualisation du développement de biofilms en capillaire
- La caractérisation de l'hydrodynamique dans des micro-mélangeurs

3. Méthodologie et instrumentation

3.1. Point de départ dans le développement

Une première réalisation a consisté en la mise en œuvre d'un dispositif constitué d'un canal de diamètre 600 μm et d'une bobine RF de taille millimétrique conçue par enroulement manuel d'un fil de cuivre. Ce dispositif est utilisé pour caractériser l'écoulement d'un fluide dans le canal milli-fluidique.



Pour une réalisation optimisée et plus contrôlée, le développement des bobines RF passe par :

- Un dimensionnement sous COMSOL Multiphysics
- Une fabrication par gravure sur un substrat Cuivre/Kapton

3.2 Développement

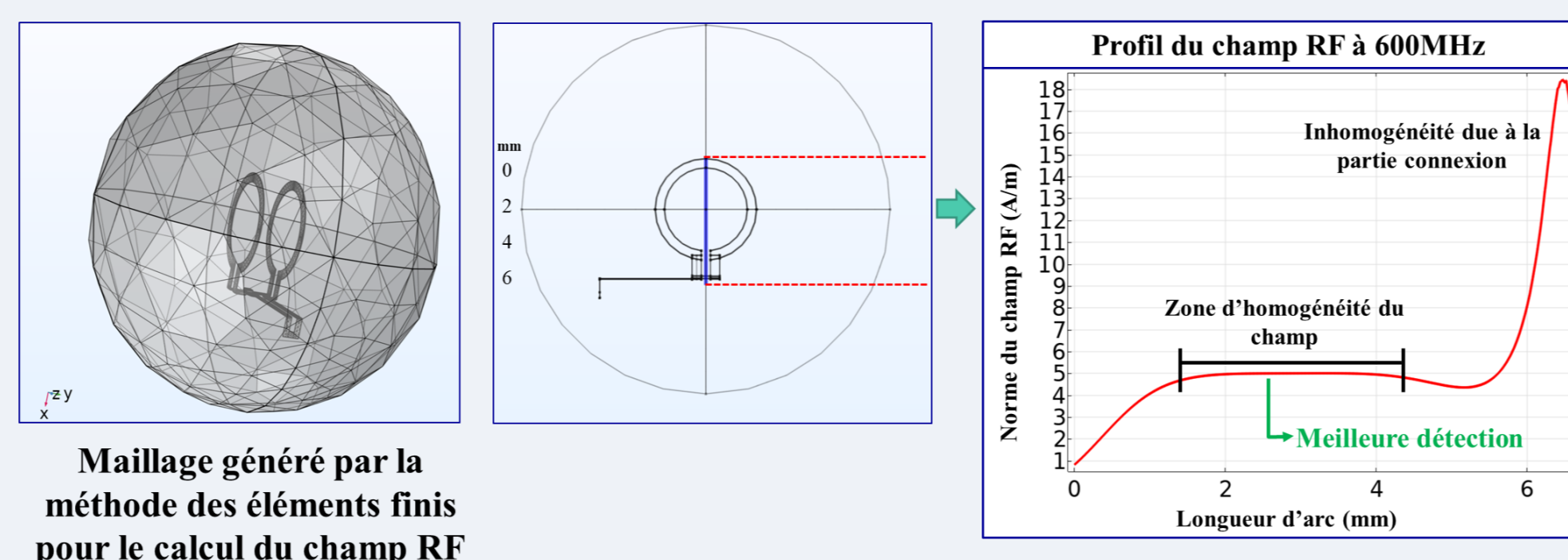
Nous avons considéré deux géométries de bobines RF, adaptées à nos deux applications (voir 4.)

a. Dimensionnement sous COMSOL Multiphysics:

- Objectifs**
- ✓ Optimiser les dimensions de la bobine
 - ✓ Déterminer la zone d'homogénéité du champ RF

• Résultats de simulation sur une bobine Helmholtz

Paramètres de simulation	
Diamètre de spire	5mm
Distance entre spires	2,5mm
Longueur de fil (correspondant à $\lambda/10$ à 600MHz)	5cm
Épaisseur du cuivre	45 μm



Quelques Résultats de simulation	
Fréquence de résonance	2,4GHz
À 600MHz	r=60m Ω , L=25,5nH, Q=1599

b. Conception

La gravure sur des substrats Cuivre/Kapton est l'une des techniques utilisées dans la micro-fabrication des bobines RF⁶.

Nous réalisons des gravures sur des substrats **DuPont™Pyrulux®AC** présentant les propriétés suivantes:

Épaisseur diélectrique μm (mil)	45 (1.8)
Résistance thermique	jusqu'à 180 °C
Résistance chimique min. %	>95%

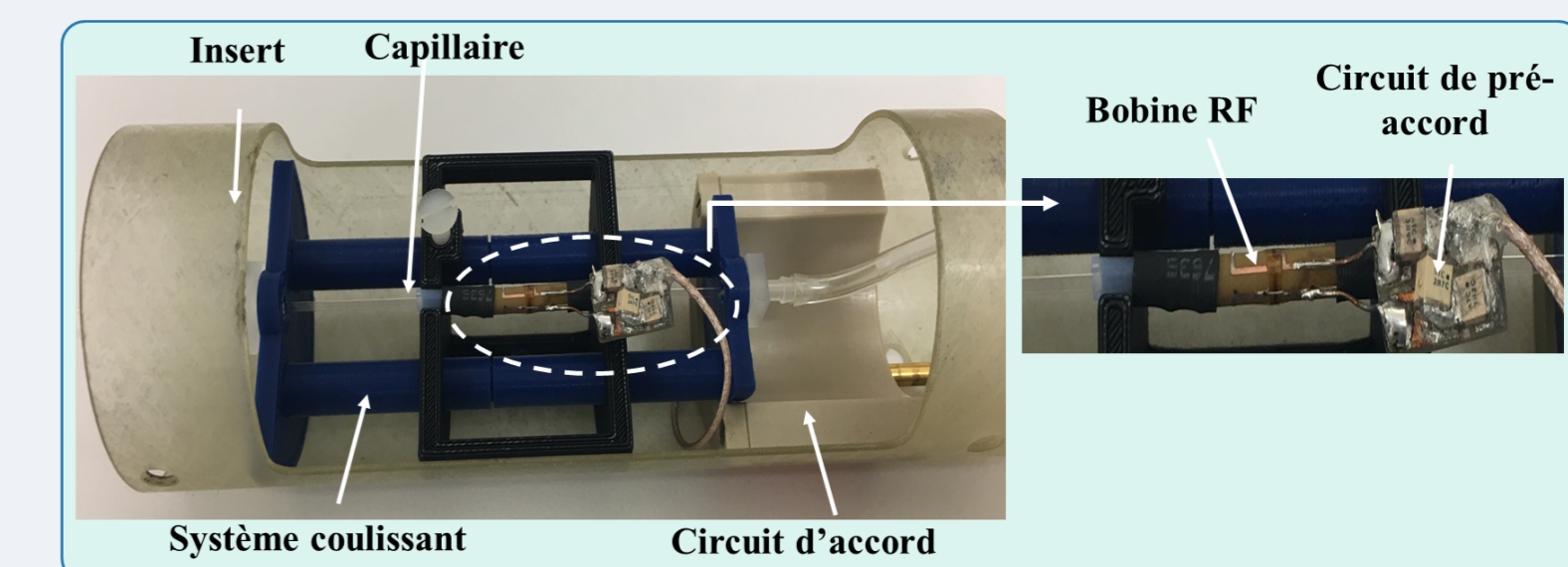


4. Applications et réalisations

Chacune des bobines ainsi réalisées est incorporée dans un système milli-fluidique pour effectuer les études suivantes:

4.1 Étude de développement de biofilm

Dispositif mis en œuvre pour l'étude

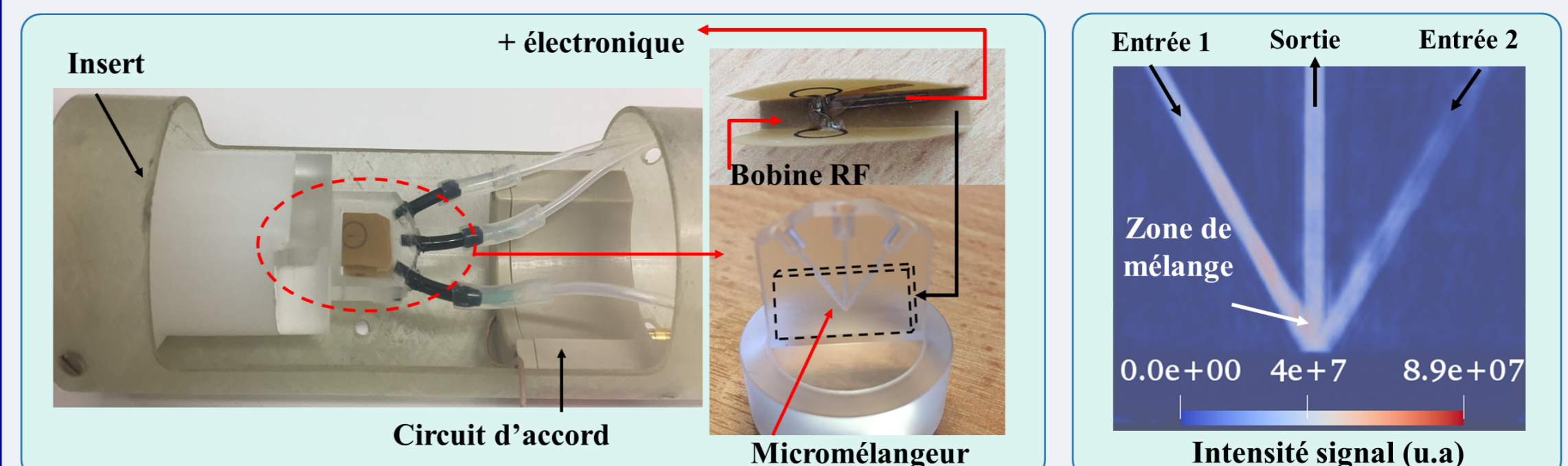


Objectifs

- ✓ Suivi du développement et de la remédiation d'un biofilm dans un capillaire en verre (0,1*1*10mm)
- ✓ Étude de l'hydrodynamique de l'écoulement en présence du biofilm

4.2. Étude de phénomènes de mélange

Dispositif mis en œuvre pour l'étude



Caractérisation du micromélangeur
 (carte 3D, résolution 80 μm , sonde Bruker MicWB40 1H 25mm)

Objectifs

- ✓ Caractériser les instabilités hydrodynamiques
- ✓ Valider les simulations numériques CFD
- ✓ Proposer un guide de dimensionnement de micro-mélangeurs

5. Conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous développons une méthodologie de mesure par RMN et IRM pour caractériser les écoulements et les transferts dans des systèmes milli-fluidiques. Les principaux résultats sont:

- Le développement de l'instrumentation RMN et la mise en œuvre de dispositifs milli-fluidiques se font par un prototypage simple, rapide et peu coûteux,
- Les bobines RF que nous développons sont optimisées grâce à des simulations en électromagnétisme sous COMSOL Multiphysics et conçues de façon contrôlée et précise par gravure sur des substrats Cuivre/Kapton (PYRALUX®),
- Les bobines RF développées sont facilement adaptées à la géométrie des systèmes et intégrées dans des dispositifs pour effectuer des études en milli-fluidique.

Références

- Minc N, Viovy J-L. Microfluidique et applications biologiques : enjeux et tendances. *Comptes Rendus Physique*. 2004;5(5):565-575. doi:10.1016/j.crhy.2004.04.003
- Kajjout M et al. Réacteurs microfluidiques et sélectivité en chimie organique. *La Houille Blanche*. 2006;(2):83-88. doi:10.1051/lhb:200602010
- Srinivasan R et al. Micromachined reactors for catalytic partial oxidation reactions. *AIChE J*. 1997;43(11):3059-3069. doi:10.1002/aic.690431117
- Webb AG. Radiofrequency microcoils for magnetic resonance imaging and spectroscopy. *Journal of Magnetic Resonance*. 2013;229:55-66. doi:10.1016/j.jmr.2012.10.004
- Pines A et al. NMR Analysis on Microfluidic Devices by Remote Detection. *Anal. Chem*. 2005, 77, 24, 8109-8114. doi.org/10.1021/ac051320
- Khelifa M et al. Realization of Flexible NMR Microcoils. *Proceedings*. 2017;1(4):625. doi:10.3390/proceedings1040625