



Emission spectrale de la cavitation générée par HIFU (4 MHz) en excitation vobulée

Loïc Hallez, Rachel Pflieger, Loïc Mahut, Francis Touyeras, Jean-Yves Hihn, Serguei Nikitenko



Projet RESEM 2018
SPECTRUSEB



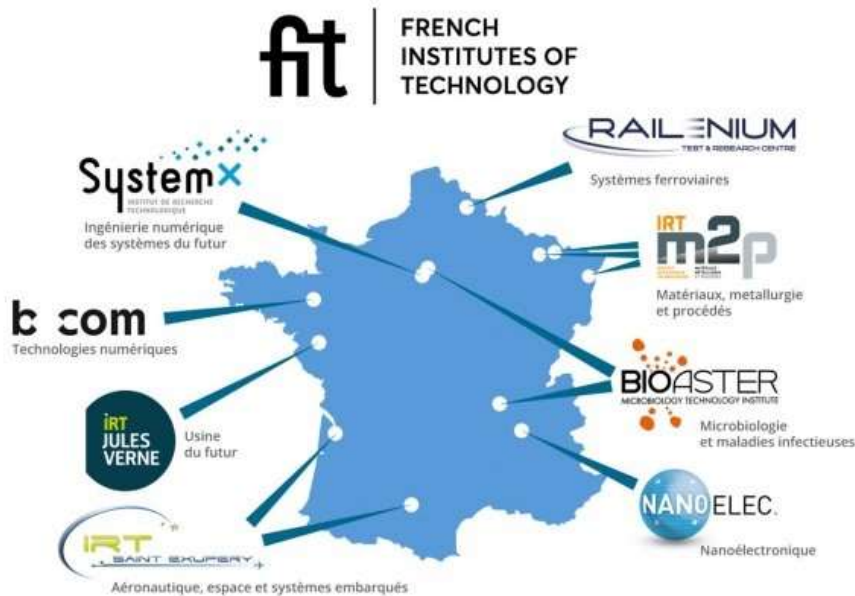
Projet RESEM de l'IRT M2P



IRT : Instituts de Recherche Technologique (8)

Mission : développement de filières technologiques compétitives orientées marchés

Partenaires académiques et industriels pour innover dans des domaines stratégiques



M2P : Matériaux, métallurgie et procédés :

- Elaboration et matière première
 - Mise en forme
 - Assemblage
- **Fonctionnalisation et traitement de surface**

Projet REsource EMergeante

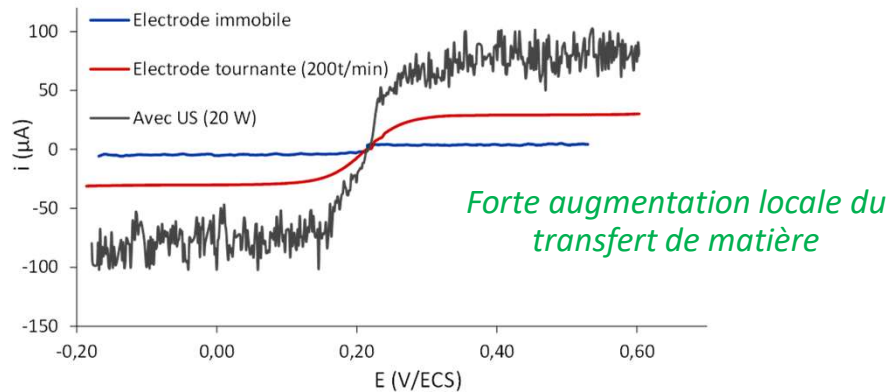
80% de la contribution des académiques pour recherche fondamentale

ICSM et UTINAM lauréats de 2 projets RESEM :

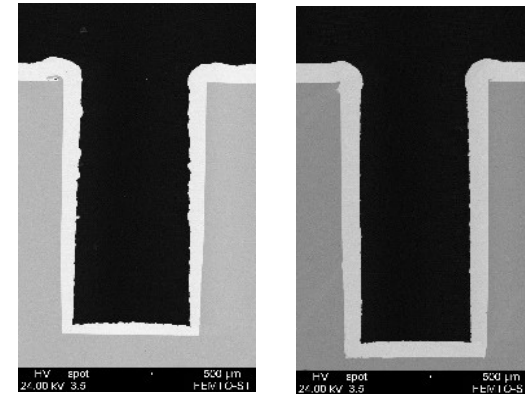
SPECTRUSEB 2018 : SPECTroscopie UltraSons Emission Balayée (10k€)

VOBUSURF 2019 : VOBulation UltraSons SURFaces (60k€)

Les ultrasons pour assister les procédés de traitements de surface



Pièces micro usinées : 0,5x1mm



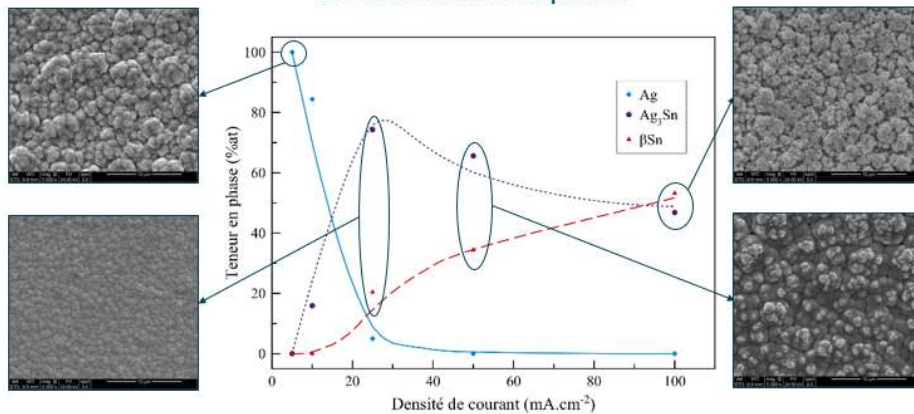
Agitation
mécanique

Agitation par US BF

Pénétration des revêtements

Alliages d'argent-étain :

Ultrasons basse fréquence

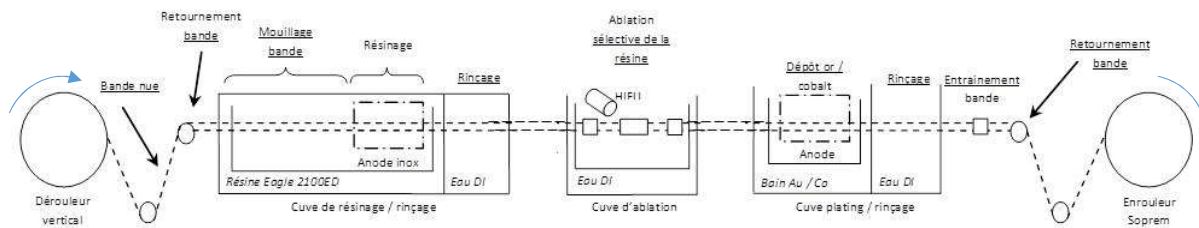


Influence sur la nucléation / croissance des revêtements

Influence sur la composition des alliages et leurs structures cristallines

Ablation sélective d'une résine de masquage par HIFU en procédé reel-to-reel

Chaine pilote du projet ULTRASUR*



Connecteurs situés sur une bande en défilement continu (reel-to-reel) (>1m/min)

Bande en défilement entre 2 bobines :

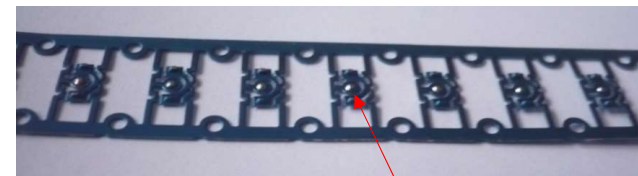
1. Dépôt résine cataphorétique sur toute la bande
2. Polymérisation et réticulation résine
3. Ablation sélective
4. Revêtement d'Au sur zones dégagées
5. Elimination résine facultative



Cuve de cataphorèse



Ablation sélective par HIFU



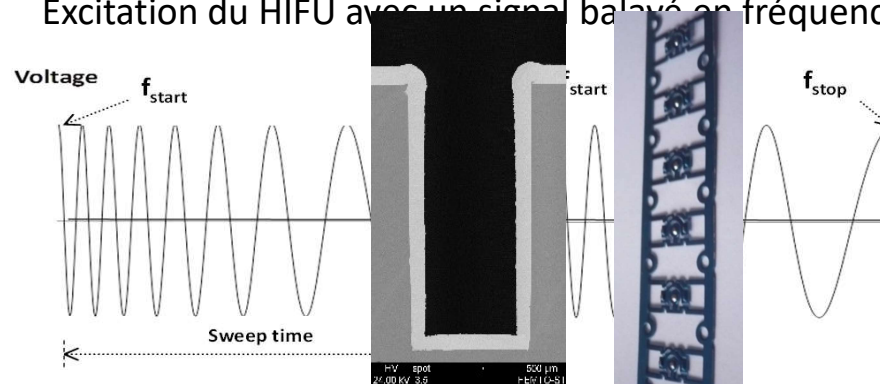
Bande avec ablation sélective

*Selective metal deposition by HIFU ablation - International patent C-CPI-0189 C&K/CNRS/UFC

Selon les applications, besoin ou non de cavitation

Contrôle de la cavitation : émission vobulée

Excitation du HIFU avec un signal balayé en fréquence

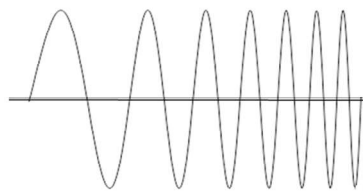


Paramètres de vobulation :

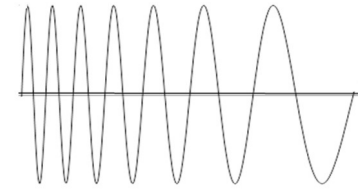
- Ecart de fréquence : $\Delta f = f_{stop} - f_{start}$ (MHz)
- Taux de vobulation : $V_{sweep} = \frac{|\Delta f|}{T_{sweep}}$ (MHz/s)
- Signe de vobulation :
 - $\Delta f > 0$: $f_{start} < f_{stop}$
 - $\Delta f < 0$: $f_{start} > f_{stop}$

Effet du signe de vobulation sur la cavitation

Excitation du HIFU avec $\Delta f > 0$
Suppression de la cavitation



Excitation du HIFU avec $\Delta f < 0$
Intensification de la cavitation

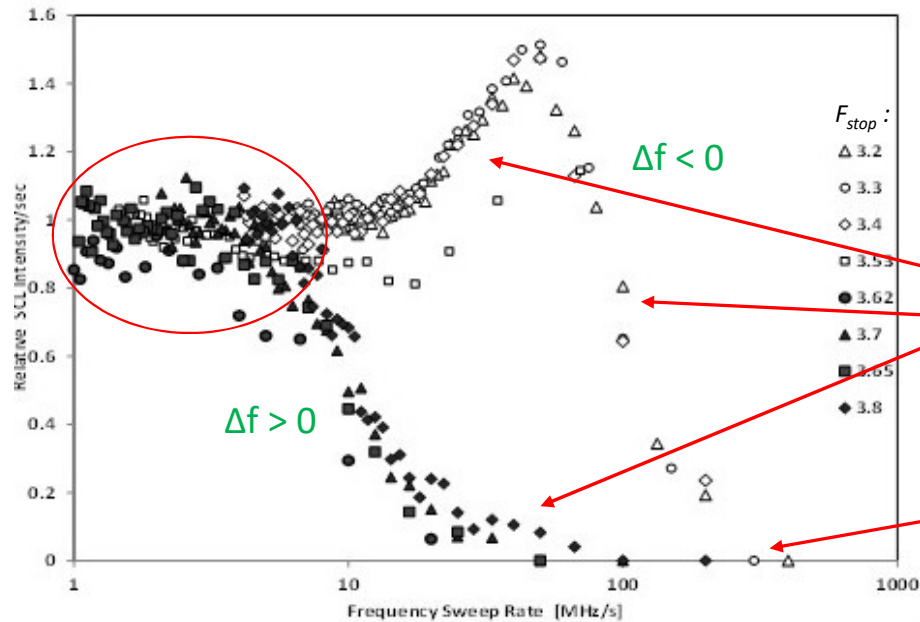


Effet de la vobulation sur l'émission de SCL

SCL normalisée vs taux de balayage

Mesure avec caméra ICCD

$f_{start}=3.6\text{MHz}$



Mêmes tendances pour toutes les données $\forall \Delta f$

Comportements différents en fonction du signe de vobulation $\Delta f > 0$ et $\Delta f < 0$

Pas d'effet significatif pour $V_{sweep} < 8\text{MHz/s}$

Intensité SCL idem qu'en fréquence fixe ($\Delta f=0$)

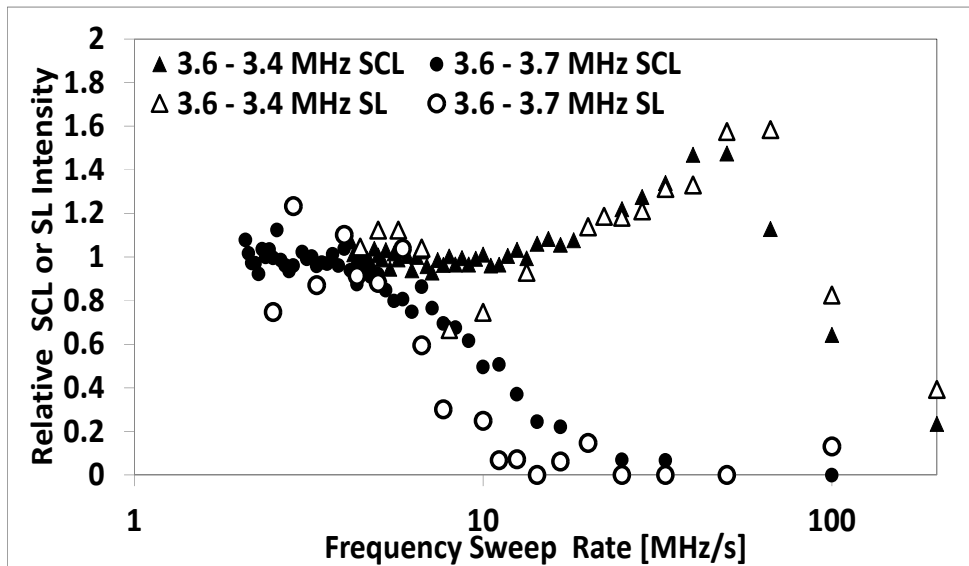
$\Delta f > 0$: atténuation SCL

$\Delta f < 0$: augmentation de 20 à 50MHz/s
→ puis atténuation rapide

Plus d'activité SCL pour $V_{sweep} > 200\text{MHz/s}$

Effet de la vobulation sur l'émission de SL

Tendances identiques



SPECTRUSEB → Etude de faisabilité

Mesure des spectres SL en fonction des paramètres de vobulation

Plus de bulles / modification coalescence ?

Intensité SL

Conditions différentes dans les bulles ?

Modélisation spectres

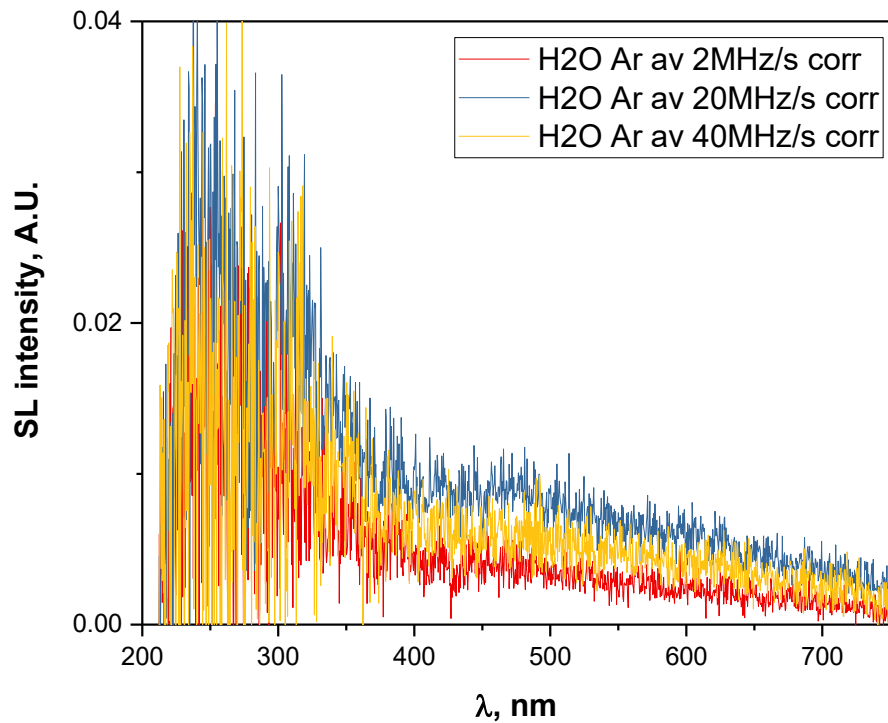
Difficulté :

Détection SL à 3,6MHz avec spectromètre

Moins d'intensité SL pour $f > 0,5\text{MHz}$

Pics plus larges : difficile à modéliser

Spectres dans l'Ar

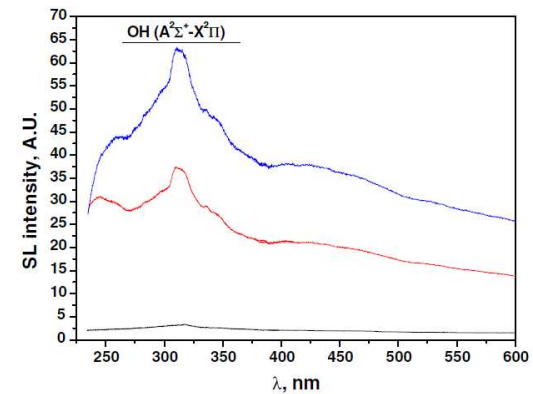


Conditions opératoires :

- Temps d'acquisition : 5 minutes
- Largeur de fente : 0,25mm
- Pression gaz : 90 kPa

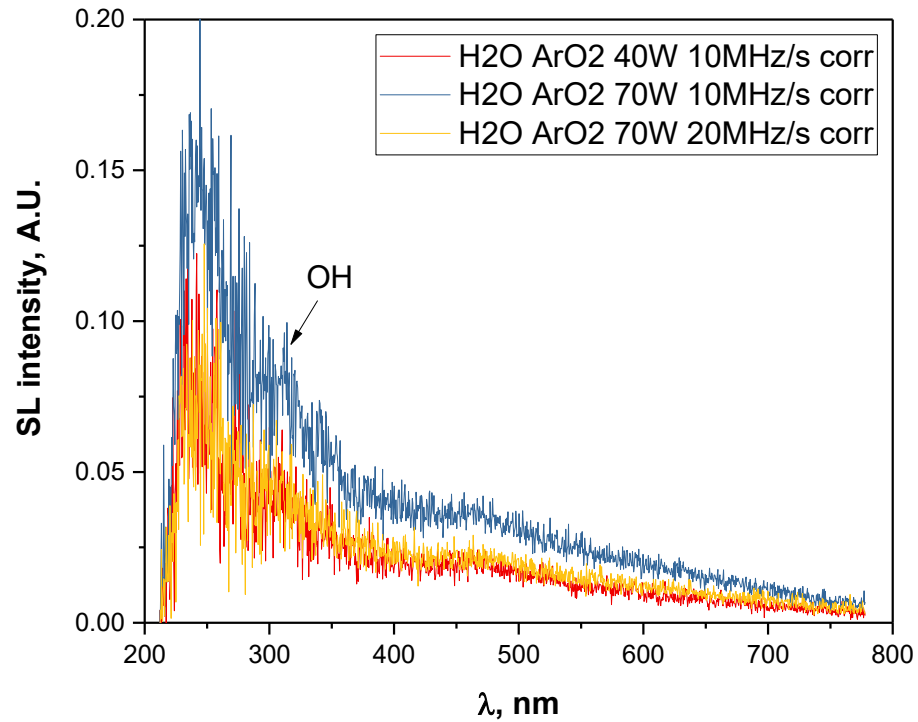
Intensité SL très faible et trop bruitée

→ Augmenter l'intensité de SL
Utiliser Ar-20%O2



Pflieger et al, Ultrason Sonochem 2015

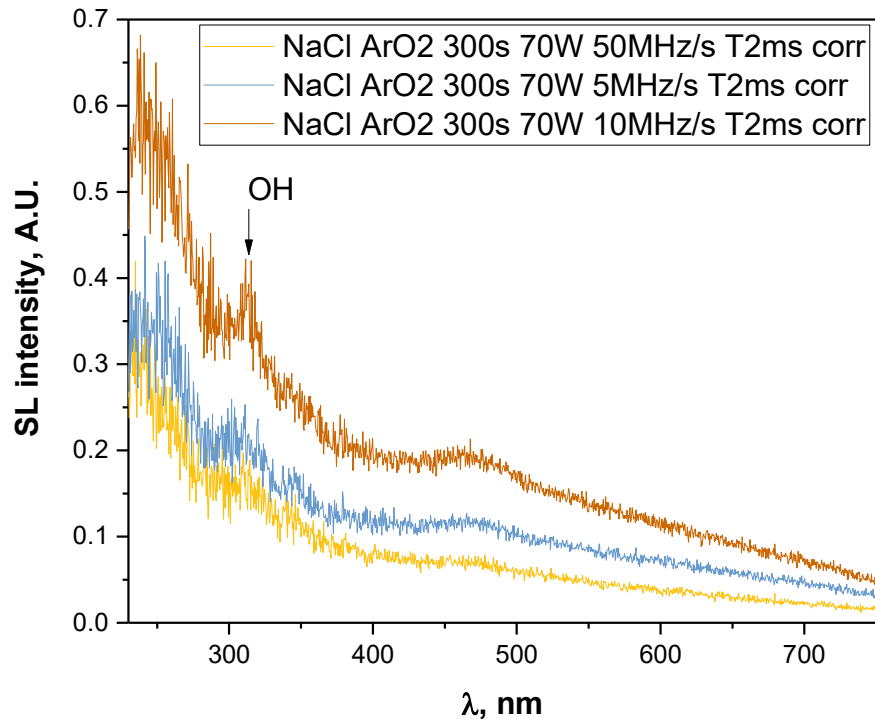
Spectres dans Ar-20%O₂



SL plus intense

Détection émission de OH°, mais large et bruitée

Spectres dans NaCl 1,25M / Ar-20%O₂



Bande OH° plus intense

Pas d'émission de Na*

Intensité SL de Na* diminue avec la fréquence US

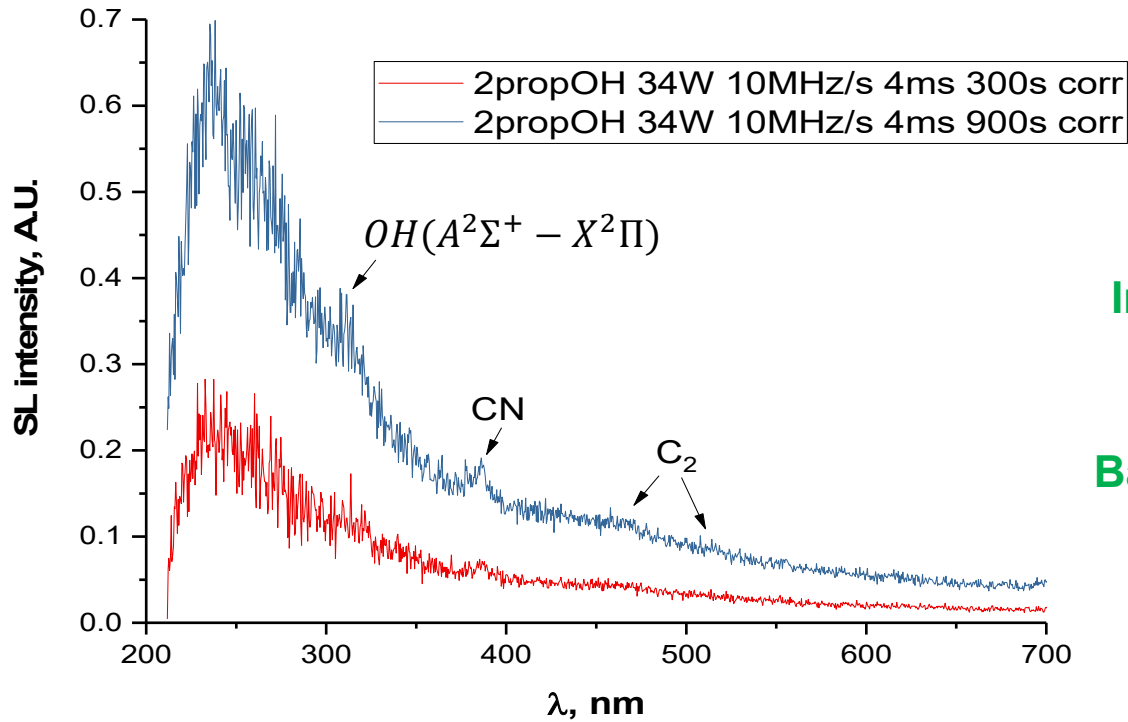
Bulles plus petites et moins de déformations

Pas de Na dans les bulles

Pas d'émission détectable en excitation à fréquence fixe

Intensité de SL dépend du taux de vobulation

Spectres dans 2-propanol 3,6mM / Ar-20%O₂



Bandes de Swan C₂
Intensités faibles et bandes trop larges

Bandes CN car trace d'air dans le solvant

N₂ liaison triple (difficile à rompre)
Non détectable à BF

Conclusion / perspectives



Conclusion :

- Faisabilité de la mesure démontée
- Pas d'émission détectable à fréquence fixe
- Intensité de SL dépend du taux de vobulation
- Meilleure résolution OH avec NaCl
- Détection possible de C₂ mais intensités faibles

Pistes :

- Optimiser les conditions (NaCl sous Ar-O₂) pour mesurer OH° avec une résolution spectrale correcte permettant une modélisation
- Optimiser les conditions d'observation de CN : mélanges Ar-N₂ pour tester la dissociation de N₂

Dans l'année : **projet RESEM VOBUSURF** (Vobulation – Ultrasons – Surfaces) : 60 k€

- Embauche Noura Sleiman, ingénieure libanaise (juin 2019)
- Déterminer les conditions de vobulation permettant de générer de la cavitation très intense → 6 mois ICSM
- Appliquer les conditions trouvées à l'irradiation de matériaux → 6 mois UTINAM



Emission spectrale de la cavitation générée par HIFU (4 MHz) en excitation vobulée

Loïc Hallez, Rachel Pflieger, Francis Touyeras, Jean-Yves Hihn, Serguei Nikitenko



Projet RESEM 2018
SPECTRUSEB

