



**HAL**  
open science

## Caractérisation de films par Microscopie Acoustique : Mesure et dispersion des propriétés ultrasonores

Pooyan Manoochehrnia, Pierre Maréchal, Damien Leduc, Mounsif Ech-Cherif  
El-Kettani, Jean Duclos

### ► To cite this version:

Pooyan Manoochehrnia, Pierre Maréchal, Damien Leduc, Mounsif Ech-Cherif El-Kettani, Jean Duclos.  
Caractérisation de films par Microscopie Acoustique : Mesure et dispersion des propriétés ultrasonores.  
Journée scientifique de l'École Doctorale 2021, Oct 2021, Le Havre, France. hal-04461258

**HAL Id: hal-04461258**

**<https://normandie-univ.hal.science/hal-04461258>**

Submitted on 16 Feb 2024

**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.



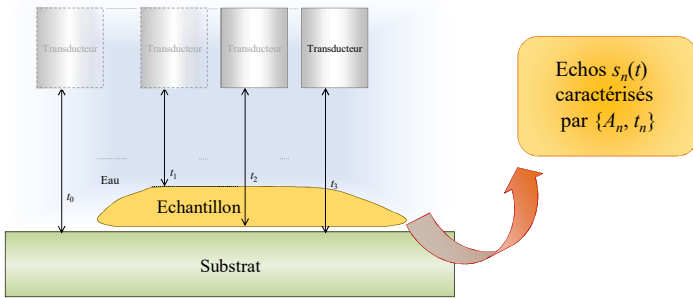
Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

## I. Contexte et objectifs

### Introduction

#### ❖ Biofilm et santé:

Selon Santé France, 1 personne sur 20 est touchée par infection microbienne dans les hôpitaux. Cela cause 4000 décès par an, sans compter les problèmes de résistance microbienne aux antibiotiques. Les biofilms sont à l'origine de ces contaminations. Les biofilms sont formés par des dépôts de microorganismes, l'un sur l'autre, tandis que eux mêmes sont positionnés sur des couches minces de protéine. Les microorganismes ont une structure externe composée de polysaccharide qui est beaucoup plus rigide que leur cœur. Cette structure joue un rôle protecteur et forme une bonne partie de son épaisseur, de quelques dizaines de nanomètres à quelques micromètres. L'épaisseur de biofilm, varie de la dizaine à quelques centaines de micromètres. Notre objectif est d'estimer le niveau d'adhésion des couches. La microscopie acoustique est une technique qui permet de réaliser des mesures quantitatives d'épaisseurs et de propriétés viscoélastiques répondant à ce besoin.

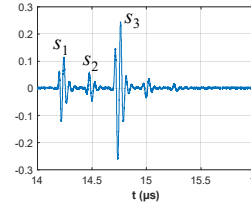


### Microscopie acoustique

#### ❖ Principe de fonctionnement de microscope acoustique

Un transducteur émet une onde ultrasonore à 20 MHz ou plus, sur un échantillon. Les échos réfléchis par les différentes couches :

- Sont caractérisés par  $\{A_n, t_n\}$ , une amplitude et un temps, respectivement
- Donnent les vitesses, atténuations, impédances acoustiques de chaque couche.



#### Echos d'un échantillon de polyéthylène (PE)

- ❖ Echo spéculaire d'un échantillon de PE d'épaisseur 300 µm.
- ❖ Réflexions de surface  $s_1(t)$ , du fond  $s_2(t)$  et du substrat  $s_3(t)$ .
- ❖ Les temps de vol associés permettent de calculer l'épaisseur de l'échantillon, vitesse, l'impédance et l'atténuation ultrasonores.

### Inventaire des formules

❖ Les mesures des temps de vol et des amplitudes associées aux échos relevés permettent de calculer l'épaisseur, la vitesse longitudinale, et l'impédance acoustique et d'en déduire l'atténuation, la masse volumique, et le module de compression :

$$d_{ech} = \frac{1}{2} c_0 [(t_0 - t_1) - (t_3 - t_2)]$$

$$Z_{ech} = Z_{eau} \frac{A_0 + A_1}{A_0 - A_1}$$

$$A_0 = A_1 \frac{Z_{sub} + Z_{eau}}{Z_{sub} - Z_{eau}}$$

$$c_{ech} = c_0 \frac{t_0 - t_1}{t_2 - t_1} = \frac{2d_{ech}}{t_2 - t_1}$$

$$\alpha_{ech} = \alpha_{eau} + \frac{1}{2d} \ln \left( \frac{A_0 Z_{sub} - Z_{ech}}{A_2 Z_{sub} + Z_{ech}} \frac{4Z_{ech} Z_{eau}}{(Z_{ech} + Z_{eau})^2} \frac{Z_{sub} + Z_{eau}}{Z_{sub} - Z_{eau}} \right)$$

$$\rho_{ech} = \frac{Z_{ech}}{c_{ech}}$$

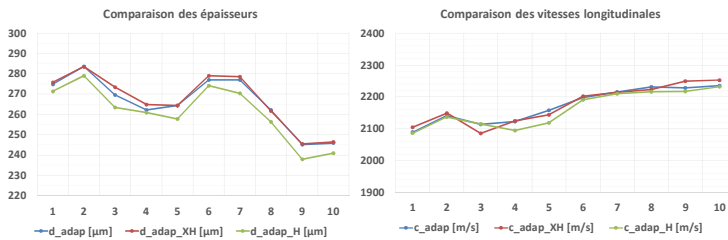
$$K_{ech} = c_{ech} Z_{ech}$$

## II. Résultats et discussion

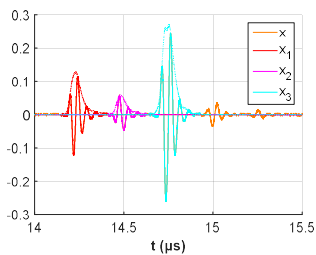
### Mesure simultanée de l'épaisseur et vitesse dans polyéthylène

❖ Variation d'épaisseur  $d$  relevée sur un dépôt de polyéthylène sur 10 points de mesure différents, avec 3 méthodes:

❖ Vitesse longitudinale évaluée sur un dépôt de polyéthylène sur 10 points de mesure différents, avec 3 méthodes:

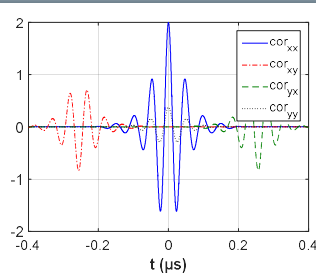


### Mesure des intervalles de temps avec la transformée de Hilbert



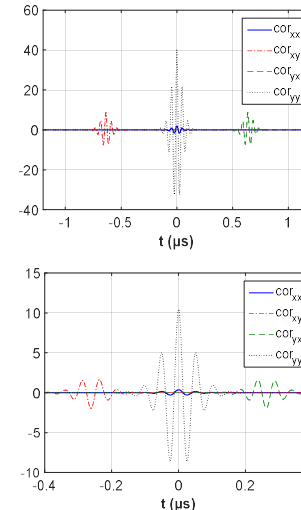
- ❖ La transformée de Hilbert est appliquée et donne l'enveloppe de l'écho;
- ❖ La différence entre les temps d'arrivée des différents échos, donne des différences nécessaires au calcul de l'épaisseur et de la vitesse dans le polyéthylène;
- ❖ Cette méthode, associée à un filtrage adapté, permet une mesure précise des caractéristiques  $\{A_n, t_n\}$ .

### Calcul des intervalles du temps avec méthode d'intercorrélator



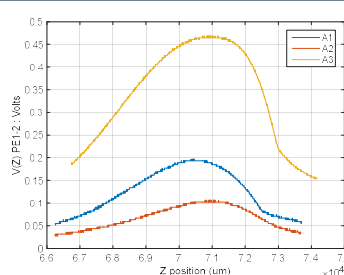
- ❖ Le traitement des échos par combinaison des méthodes d'intercorrélator et de transformée de Hilbert, permettent de déterminer très précisément les temps de vol nécessaires au calcul de l'épaisseur de l'échantillon et de la vitesse ultrasonore dans l'échantillon.
- ❖ Cette courbe illustre l'intercorrélator entre l'écho de surface et l'écho du fond sur l'échantillon de polyéthylène.

### Comparaison des intercorrélations



- ❖ Les courbes ci-contre comparent l'intercorrélator entre écho de surface du verre et du polyéthylène.
- ❖ Les différences de temps entre les autocorrélations et l'intercorrélator, donnent les temps de vol entre ces deux signaux.
- ❖ Les courbes ci-contre comparent l'intercorrélator entre écho de fond du PE et écho de substrat.
- ❖ Les différences de temps entre les autocorrélations et l'intercorrélator, donnent les temps de vol entre ces deux signaux.

### Des résultats de caractérisation de substrat



	échantillon PE 1-2	échantillon PE 1-1
épaisseur [µm]	279	320,64
Vitesse cL [m/s]	2202	2332
Impédance Z [Mrayls]	2,063	1,905
Densité [kg/m³]	936,86	817
Module de Bulk [GPa]	4,5435	4,44
Atténuation [Np/m]	4108	4336

❖ Pour un calcul de l'atténuation, la mesure des courbes de  $A(z)$  est nécessaire pour y trouver leur maxima. Ces courbes sont mesurées en fonction de la distance  $z$  entre le transducteur et la surface de l'échantillon, notamment sur l'écho de surface, l'écho du fond de l'échantillon et l'écho du substrat, soit A1, A2 et A3, respectivement.