



**HAL**  
open science

## Utilisation des Techniques Ultrasonores pour le Contrôle de la Qualité des Huiles Alimentaires

Noureddine Aouzale, Ahmed Chitnalah, Hicham Jakjoud

► **To cite this version:**

Noureddine Aouzale, Ahmed Chitnalah, Hicham Jakjoud. Utilisation des Techniques Ultrasonores pour le Contrôle de la Qualité des Huiles Alimentaires. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00554461

**HAL Id: hal-00554461**

**<https://hal.science/hal-00554461>**

Submitted on 10 Jan 2011

**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.

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Utilisation des techniques ultrasonores pour le contrôle de la qualité des huiles alimentaires

Noureddine Aouzale, Ahmed Chitnalah, Hicham Jakjoud

BP 549, Avenue Abdelkarim Elkhatabi, Guéliz, Marrakech, Maroc,  
aouzale\_noureddine@yahoo.fr

L'huile d'Argan et l'huile d'olive sont parmi les huiles naturelles les plus connues pour leurs avantages nutritionnels et leur impact positif sur la santé humaine. De ce fait, elles sont très demandées dans le marché et leurs prix ne cessent d'augmenter. Cependant ce domaine n'est pas à l'abri des duperies puisqu'il y a des commerçants qui mélangent ces huiles avec de l'huile de table pour réaliser des profits élevés.

Notre objectif dans ce travail est d'utiliser un système ultrasonore fonctionnant en mode pulse écho pour mesurer la vitesse de propagation des ultrasons dans des huiles (d'argan et d'olive) mélangées avec des pourcentages bien déterminés de l'huile de table pour étudier l'effet de la quantité ajoutée sur la valeur de la célérité. Le dispositif expérimental est constitué d'un transducteur piézo-électrique fonctionnant à une fréquence centrale de 2 MHz. Le traitement de l'écho en retour nous permet de déterminer la célérité. La masse volumique du mélange a été également mesurée en parallèle pour étudier ses variations.

Les résultats de l'expérience ont montré que l'utilisation des techniques ultrasonores peut être très utile pour contrôler la qualité de certaines denrées alimentaires en plus du fait que ces techniques peuvent être automatisées et permettent des mesures rapides tout en garantissant une grande précision.

### 1 Introduction

La propagation des ondes ultrasonores est accompagnée de plusieurs effets. Parmi ces phénomènes, on peut citer : l'absorption, la diffraction et la non-linéarité.

L'absorption est due à la viscosité du milieu de propagation qui est responsable de la conversion de l'énergie acoustique en chaleur [1]. La diffraction se manifeste par le fait que les ondes ne se propagent pas comme des ondes planes, mais sous forme d'ondes sphériques, donc elles sont dispersées au fur et à mesure qu'elles se propagent loin de la source et par conséquent le transducteur récepteur ne peut recevoir toute l'énergie émise à moins qu'il n'ait un diamètre infini [2]. La non-linéarité du milieu provoque une distorsion de la forme temporelle de l'onde conduisant à la génération des harmoniques [3]. Les pertes par non-linéarité sont dues au transfert d'énergie du fondamental aux harmoniques et entre les harmoniques eux-mêmes. Ce phénomène peut être négligé pour des excitations faibles, ce qui est le cas dans notre étude.

Puisque les propriétés physico-chimiques changent d'un milieu à un autre, l'intensité des phénomènes précédemment mentionnés change également. Ainsi, la mesure par exemple du coefficient de pertes par absorption d'un liquide donné ou de sa célérité de propagation peut être d'un grand intérêt et peut être exploitée afin de contrôler la qualité de certains produits.

L'utilisation des techniques de Contrôle Non Destructif (CND) par ultrasons dans le domaine de l'industrie alimentaire pour superviser la procédure de fabrication et contrôler la qualité de certaines denrées alimentaires n'est pas récente ainsi que les recherches scientifiques dans ce domaine [4-7]. Les recherches antérieures ont porté sur la détermination par des techniques d'échographie de la composition de la viande de poisson [8,9] et la détection de la présence de parasites dans le poisson frais ou congelé

[10]. D'autres études ont essayé d'exploiter les mesures des variations de l'atténuation et de la célérité pour déterminer si le poisson congelé a subi une décongélation accidentelle partielle ou totale, car il est très bien connu que le poisson perd son goût et sa qualité bactériologique en raison d'une seconde congélation [11]. L'utilisation des techniques ultrasonores dans le contrôle de l'acidification et l'évolution rhéologique du lait pendant la formation du yaourt a aussi fait l'objet de recherches [12-14] et pour la détection des défauts internes dans le fromage dans [15]. La saveur et la viscosité du jus de fruits reconstitués sont mesurées au moyen de techniques ultrasonores dans [16] afin de garantir aux consommateurs une saveur spécifique. En outre, une technique de CND par des ultrasons a été développée pour détecter les dommages dans les grains germés et les grains de blé causés par la gale et par les insectes [17].

L'objectif de cette étude est de mesurer les propriétés acoustiques comme la densité, la célérité, l'impédance acoustique, le coefficient d'absorption des pertes, viscosité dynamique et le module de compressibilité de certaines huiles marocaines spécifiques. La connaissance des valeurs de ces paramètres pour des huiles provenant de sources dignes de confiance nous permettra de détecter des produits non purs ou frauduleux. Les propriétés viscoélastiques sont d'un grand intérêt dans les processus de contrôle et elles sont liées à la qualité du produit. La validité de la méthode expérimentale est montrée en effectuant des mesures dans le glycérol et en déterminant ses caractéristiques acoustiques qui sont bien connues dans la littérature.

### 2 Matériel et méthode

#### 2.1 Dispositif expérimental

La technique de mesures utilisée est basée sur un système ultrasonore fonctionnant en mode pulse-écho. Un

schéma du principe de fonctionnement du dispositif expérimental est décrit sur la Figure 1.

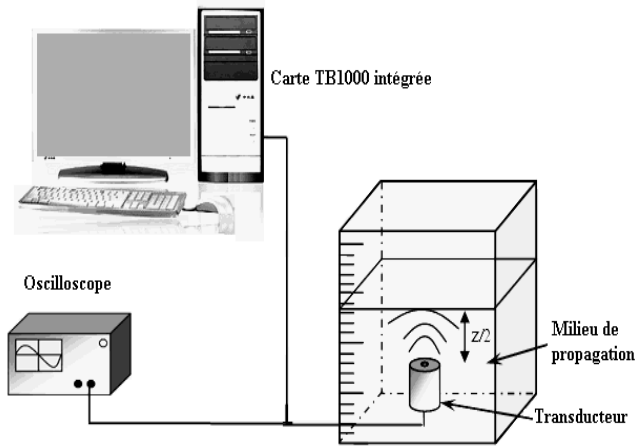


Figure 1 : Dispositif expérimental.

Le transducteur, rayonnant à une fréquence centrale de 2,2 MHz, est immergé dans une enceinte contenant le liquide à étudier et excité par la carte TB1000 de "Matec Instruments". Cette carte permet de générer des trains d'ondes, avec une fréquence variant entre 50KHz et 20MHz et une amplitude qui peut atteindre 300V sur une charge de 50Ω. La largeur des trains d'ondes est également réglable. En réception, la carte donne la possibilité de filtrer le signal reçu avec une combinaison de 7 filtres passe-bas et 7 autres passe-haut programmable de façon indépendante afin d'améliorer le rapport signal sur bruit.

Les ondes ultrasonores générées par le transducteur se propagent à travers le liquide et l'écho réfléchi par l'interface liquide/air est capté par le même transducteur. L'interface liquide/air est censée être une interface de réflexion totale parce que l'impédance acoustique de l'air est très faible par rapport à celle du liquide. La mesure du temps de vol nous permet de déterminer la célérité alors que l'amplitude du signal reçu permet de calculer le coefficient des pertes par absorption. La température de l'ensemble du dispositif expérimental est maintenue constante par un thermostat.

## 2.2 Méthode de mesures

Les signaux émis et reçu affichés sur l'oscilloscope sont numérisés et transférés sur un ordinateur. Un code Matlab a été développé pour l'acquisition de données et le traitement des signaux. Le code sera utilisé pour déterminer la célérité et le coefficient d'absorption dans le milieu de propagation. Dans un premier lieu, nous avons utilisé cette méthode pour mesurer la célérité et le coefficient de pertes par 'absorption' du glycérol et de l'eau distillée afin de démontrer sa validité. Le signal d'excitation du transducteur est montré sur la figure 2. Il s'agit d'un train d'ondes constitué de trois périodes. Les impulsions reçues dans le glycérol et l'eau distillée sont données par les figures 3 et 4 respectivement.

Dans le glycérol l'impulsion est composée de cinq périodes, alors qu'elle contient près de sept périodes dans l'eau distillée. Dans un travail précédent, nous avons montré que la largeur de l'impulsion est liée à l'impédance acoustique du milieu arrière et celle du milieu de propagation [18].

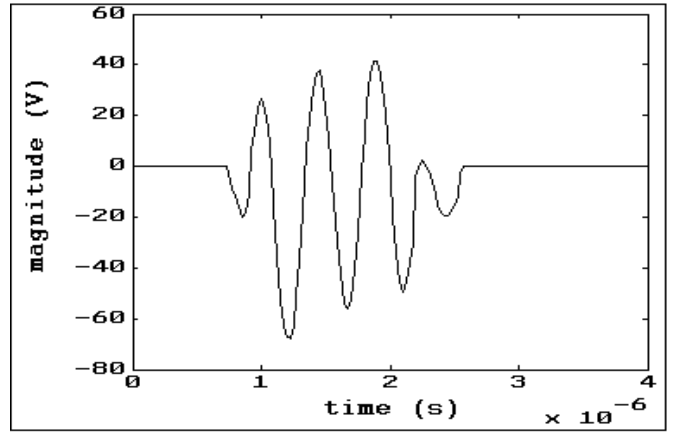


Figure 2: Pulse émis.

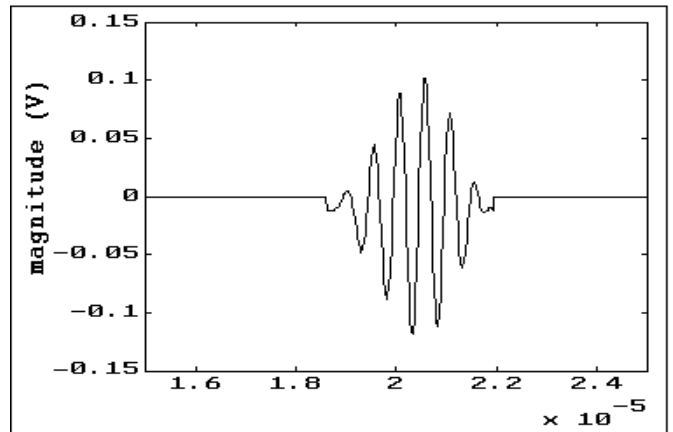


Figure 3: Pulse reçu dans le glycérol.

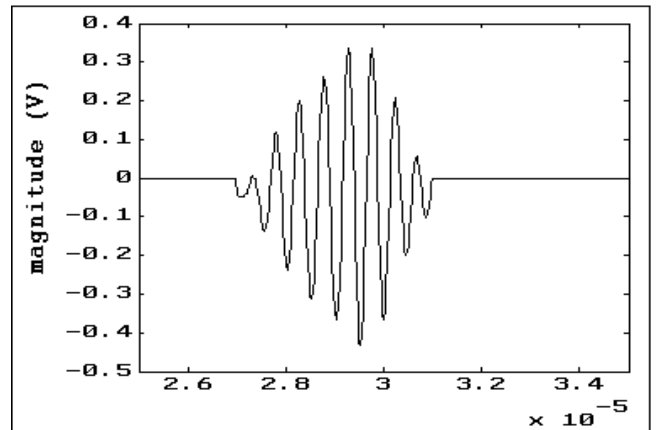


Figure 4: Pulse reçu dans l'eau distillée.

En utilisant les résultats des mesures, nous déterminons le temps de vol d'impulsions  $\tau_{of}$  en réalisant la fonction d'intercorrélacion entre les impulsions émise et reçue. La valeur  $c$  de la célérité est alors déterminée en divisant la distance parcourue par l'impulsion  $2z_i$  par le temps de vol  $\tau_{of}$  selon l'équation suivante:

$$c = \frac{2z_i}{\tau_{of}} \quad (1)$$

En mesurant la valeur de la densité  $\rho$  de chaque milieu de propagation, on peut remonter à leurs impédances acoustiques suivant la relation :

$$Z = \rho c \quad (2)$$

## 2.3 Validation

### 2.3.1 Mesure de la célérité

Effectuer la fonction d'intercorrélation entre l'impulsion émise et celle reçue nous permet de déduire les temps de vol. Ensuite, la célérité dans le milieu correspond au rapport de la distance parcourue par l'impulsion et le temps de vol.

Les mesures sont effectuées à plusieurs reprises puis on calcule la valeur moyenne et l'écart type. Les résultats obtenus sont les suivants:

$$C_{glycérol} = 1903 \pm 87 \quad [m/s]$$

$$C_{water} = 1467 \pm 13 \quad [m/s]$$

### 2.3.2 Mesure du coefficient de pertes par absorption

Dans le cas du glycérol, nous avons effectué la mesure de l'amplitude crête à crête de l'impulsion reçue aux distances  $2z_1 = 4 \text{ cm}$  et  $2z_2 = 6 \text{ cm}$ .

Le calcul du coefficient de pertes par absorption peut être calculé en utilisant l'équation suivante :

$$\alpha_0 = \frac{1}{2(z_2 - z_1)} \ln \left( \frac{V_{r1}}{V_{r2}} \right) \quad (3)$$

Les valeurs du coefficient de pertes par absorption  $\alpha_{glycérol}$  et de l'écart type sont :

$$\alpha_{glycérol} = 50.02 \pm 0.35 \quad [Np/m]$$

En divisant par la fréquence centrale (2.2 MHz) on obtient :

$$\alpha_{glycérol} = 22.74 \pm 0.16 \quad [Np/m/MHz]$$

## 3 Contrôle de la qualité des huiles

### 3.1 Mesure des propriétés acoustiques

Après avoir montré la validité de la méthode de mesure, nous l'avons utilisé pour la caractérisation de certaines huiles marocaines à savoir : l'huile d'argan cosmétique et alimentaire, l'huile de table et de l'huile d'olive.

Les paramètres acoustiques étudiées sont: la densité  $\rho$  (g/l), l'impédance acoustique  $Z$  (MRayl), la célérité  $c$  (m/s), le coefficient de pertes par absorption  $\alpha$  (Np/m/MHz), la viscosité dynamique  $\eta$  (mPa.s) et le module de compressibilité  $c^D$  (Pa).

Les mesures sont effectuées à plusieurs reprises et les valeurs moyennes sont données avec l'écart type dans la table 1 [19].

Les résultats des mesures montrent des différences entre les différentes huiles qui peuvent être exploitées pour établir une distinction entre elles. Ainsi, nous pouvons contrôler la qualité de ces huiles et savoir si elles sont pures ou mélangées avec d'autres produits rien qu'en mesurant leurs paramètres acoustiques.

La mesure de l'un des paramètres acoustiques ne semble pas être suffisante pour caractériser certaines huiles. Par exemple, le coefficient de pertes par absorption est le même pour les huiles de table et l'huile d'Argan alimentaire. Donc il faudra aussi mesurer également la célérité ou la densité de manière à pouvoir distinguer entre les deux huiles.

En outre des mesures peuvent être faits pour caractériser profondément ces huiles telles que la mesure de la

dépendance de la température de ces paramètres et la mesure du facteur de nonlinéarité B/A.

Huiles	Argan alimentaire	Argan Cosmétique	Huile de table	Huile d'olive
Densité (g/l)	862 ± 0.1	885.5 ± 0.1	899.5 ± 0.1	877.5 ± 0.1
Celerity (m/s)	1613 ± 21	1594 ± 19	1570 ± 20	1596 ± 19
Impedance acoustique (MRayl)	1.390 ± 0.020	1.412 ± 0.017	1.411 ± 0.019	1.401 ± 0.018
Coefficient d'absorption (Np/m/Mhz)	6.10 ± 0.07	2.71 ± 0.08	6.10 ± 0.07	3.68 ± 0.06
Viscosity dynamique (mPa s)	91.16 ± 0.36	89.45 ± 0.36	81.11 ± 0.2	96.10 ± 0.46
Module de Young (GPa)	2.24 ± 0.08	2.25 ± 0.05	2.22 ± 0.06	2.24 ± 0.06

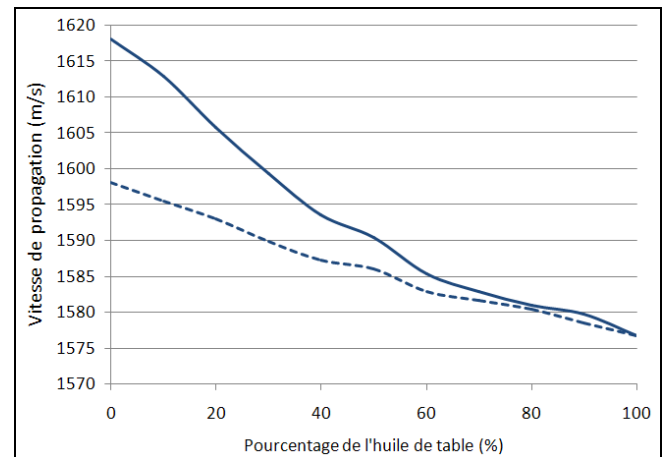
**Table 1:** Paramètres acoustiques des huiles marocaines.

### 3.2 Etude des mélanges des huiles

Le dispositif expérimental est ensuite utilisé pour mesurer la célérité des ultrasons dans l'huile d'argan alimentaire et l'huiles d'olive mélangées avec des pourcentages bien définis d'huile de table pour étudier l'effet de la quantité ajoutée sur la valeur de la célérité.

La figure 5 donne les variations de la célérité en fonction de la quantité d'huile de table dans l'huile d'argan alimentaire d'une part et dans l'huile d'olive d'autre part. La figure 6 donne les variations de la densité.

Ces courbes montrent qu'il est possible de déterminer avec précision la quantité de l'huile de table ajoutée à l'huile d'Argan et à l'huile d'olive juste en mesurant la célérité du son dans le mélange. La mesure de la densité peut être effectuée pour confirmer les résultats obtenue par la mesure de la célérité.



**Figure 5 :** Variations de la célérité en fonction de la quantité d'huile de table ajoutée dans l'huile d'Argan alimentaire (—) et dans l'huile d'olive (---).

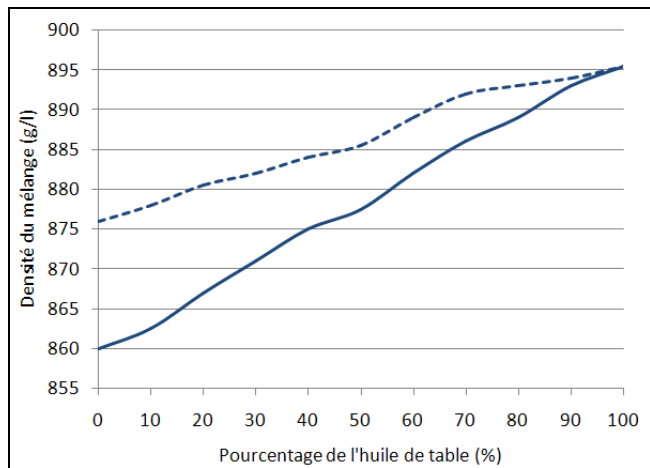


Figure 6 : Variations de la densité en fonction de la quantité d'huile de table ajoutée dans l'huile d'Argan alimentaire (—) et dans l'huile d'olive (---).

## 4 Conclusion

Notre objectif dans cette étude était d'utiliser une technique de mesures ultrasonores afin de déterminer les caractéristiques acoustiques de certaines huiles marocaines à savoir et les huiles d'Argan alimentaire et cosmétiques, l'huile d'olive et l'huile de table. Les paramètres étudiés sont les suivants: la densité, la célérité de propagation, l'impédance acoustique, le coefficient des pertes par absorption et enfin le module de compressibilité.

Le dispositif expérimental consiste en un transducteur ultrasonore fonctionnant en mode pulse-écho et rayonnant à une fréquence centrale de 2,2 MHz. Le transducteur émet des ondes ultrasonores qui se propagent dans le liquide en question et l'écho reçu est reconvertie par le même transducteur en signal électrique qui sera exploité pour déduire les paramètres ultrasonores du liquide.

Après la caractérisation de quelques huiles marocaines, citées précédemment, le dispositif expérimental est utilisé pour étudier l'effet de l'ajout de quantités bien déterminées de l'huile de table sur la célérité de propagation du son dans l'huile d'argan alimentaire et l'huile d'olive. Les variations de la densité en été mesurées en parallèle et les résultats montrent qu'il est possible de contrôler le degré de pureté de quelques produits alimentaires et, par conséquent, que la détection de fraudes pendant le processus de production en utilisant les techniques ultrasonores qui offrent un moyen de contrôle à la fois moins cher, non destructif et immédiat.

## Remerciements

Ce travail a été financé par :

-Le ministère marocain de l'éducation et la recherche scientifique (Grant program Protars II: P21/03).

-Le Centre National de la Recherche Scientifique Et Technique du Maroc (CNRST).

-La carte TB1000 a été acquise grâce à "The Third World Academy of Sciences (TWAS), Research Grant n°: 01-087 RG/PHYS/AF/AC".

## Références

[1] F. Alton Everest, The Master Handbook of Acoustics, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill (2001), 179-200.

- [2] A.D. Pierce, Springer Handbook of Acoustics, Springer (2007), 98-107.
- [3] B.O. Enflo, C.M. Hedberg, Theory of Nonlinear Acoustics in Fluids, Fluid Mechanics and its Applications, Vol. 67, Kluwer Academic Publishers (2004), 11-30.
- [4] D.J. McClements, International Advances in Non-destructive Testing, Ed. W. J. McGonnagle, Vol. 17, Gordon and Breach Science, Switzerland, 1994, 63-95.
- [5] M.J.W. Povey, Ultrasonic Techniques for Fluids Characterization, Ed. Harcourt Brace and company, Academic Press (1997), 141-162.
- [6] Z.J. Dolatowski, J. Stadnik, D. Stasiak, Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 6(2007), 89-99.
- [7] B.H. Ulosoy, H. Colak, H. Hampikyan, Res. J. Biolog. Sci. 2(2007), 491-497.
- [8] S. Simal, J. Benedito, G. Clemente, A. Femenia, C. Rosselló, J. Food Engineering, 58(2003), 253-257.
- [9] R. Ghaedian, J.N. Coupland, E.A. Decker, D.J. McClements, J. Food Engineering, 35(1998), 323-337.
- [10] M. Freese, D. Makow, J. Acoust. Soc. Am. 44(1968), 1282-1289.
- [11] N. Taifi, A. Moudden, B. Faiz, G. Maze, D. Décultot, F. Léon, F. Chati, Contrôle Ultrasonore de la Congélation/Décongélation de Poissons, 12<sup>ème</sup> Col. Nat. de la recherche en IUT, Brest 1-2 juin 2006.
- [12] C. Ould-Ehssein, S. Serfaty, P. Griesmar, J.Y. Le Huérou, E. Caplain, L. Martinez, N. Wilkie-Chancellor, M. Gindre, J. Ultras., 44(2006), e875-e879.
- [13] F. Bakkali, A. Moudden, B. Faiz, A. Amghar, G. Maze, F.M. de Espinosa, M. Akhnak, Meas. Sci. Technol., 12(2001), 2154-2159.
- [14] G. Nassar, B. Nongaillard, Y. Noël, J. Food Engineering, 63(2004), 229-236.
- [15] V. Leemans, M. Destain, J. Food Engineering, 90(2009), 333-340.
- [16] F. Kuo, C. Sheng, C. Ting, J. Food Engineering, 86(2008), 84-90.
- [17] T.C. Pearson, A.E. Cetin, A.H. Tewfik, R.P. Haff, Digital Signal Processing, 17(2007), 617-633.
- [18] N. Aouzale ; "Pspice modelling pulse echo ultrasonic system"; Master thesis ; Cadi Ayyad university, Marrakech 2006.
- [19] N. Aouzale, A. Chitnalah, H. Jakjoud, "Moroccan oil characterization using pulse-echo ultrasonic technique", accepté pour publication au journal "Physical and Chemical News", 2010.