Sylvain Hanneton

Interaural Time Difference

(perception auditive 3D)

I. Principe

La vitesse du son est constante et donc celui émis par une source distante parvient avec un peu de retard à l'oreille la plus lointaine de la source. Si l'on considère une onde sonore purement sinusoïdale, alors on peut aussi dire que la distance induit un déphasage entre les deux signaux reçus par les deux oreilles. Notons que le retard temporel ne dépend pas de la fréquence alors que le déphasage induit sur un son pur en est dépendant. Le son se propage approximativement à 340 m/s dans l'air à 15°C au niveau de la mer, et à 1 435 m/s dans l'eau douce (environ 1 500 m/s dans l'eau de mer). Sur la figure ci-dessous sont donnés les ITD pour quelques valeurs de l'azimuth (direction dans un plan horizontal) de la source.

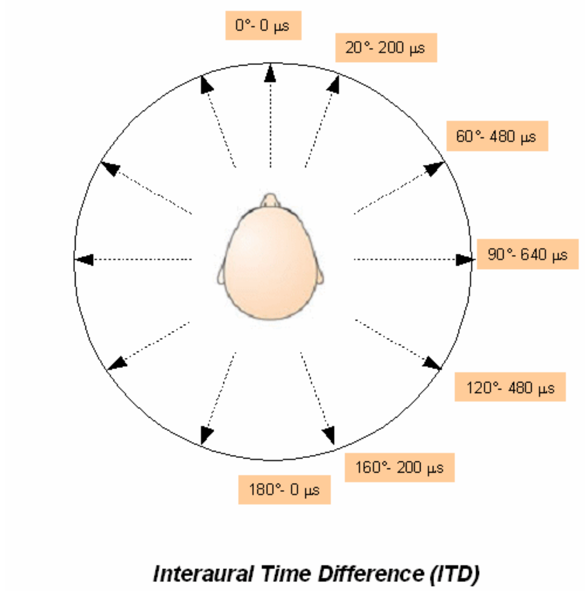

Illustration 1: ITD en fonction de la direction de la source sonore

Le son produit par une source située à un kilomètre mettra donc un temps T égal à $\frac{1000}{340}=2{,}94$ secondes pour vous parvenir. Un son émis par une source située à 10 cm mettra lui $\frac{0{,}1}{340}=0{,}000294$ secondes (294 microsecondes) à vous parvenir.

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

II. Le modèle le plus simple : approximation “du dipôle”

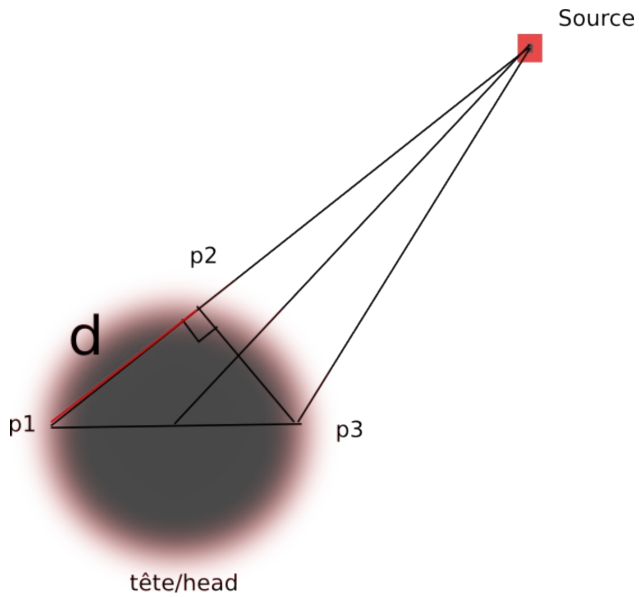

Illustration 2: Approximation de la différence des distances parcourues par l'onde sonore pour atteindre l'oreille gauche et l'oreille droite.

Le triangle (p1,p2,p3) est rectangle. La différence entre (S,p1) et (S,p2) est notée d. On nomme θ l'angle formé par la droite joignant le centre de la tête et la source et la droite passant par les deux oreille. La distance inter-aurale est appelée a. On peut alors écrire approximativement :

$$d \approx a \cdot \cos(\theta)$$

et donc

$$ITD(\theta) = \delta_t = \frac{a \cdot \cos(\theta)}{V_{son}}$$

III. Le modèle simple : la formule de Woodworth

Le variations de l'ITD en fonction de l'azimuth α sont données par :

$$ITD_{sphere}(\alpha) = \frac{r}{V_{son}}(\sin(\alpha) + \alpha)$$

Cette formule concerne une tête sphérique de rayon égal à r. Il faut noter que cette formule ne tient pas compte de la distance de la source.

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

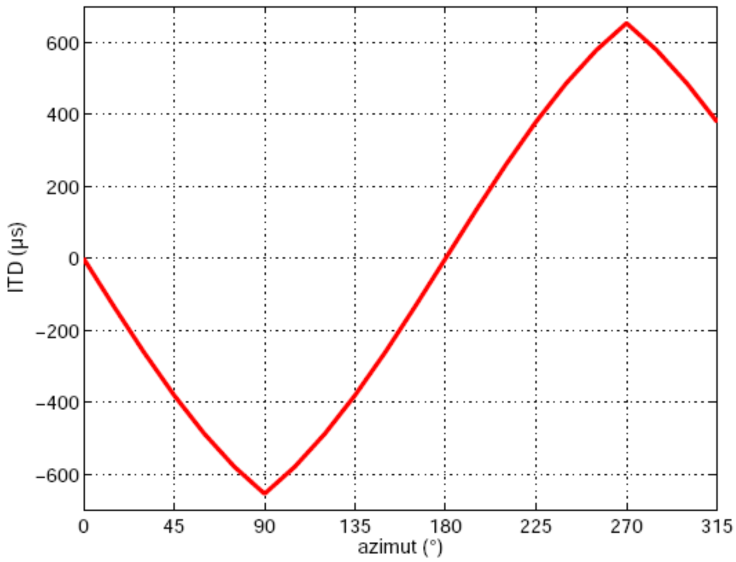

Illustration 3: Valeurs de l'ITD en fonction de l'azimuth obtenues par la formule de Woodworth.

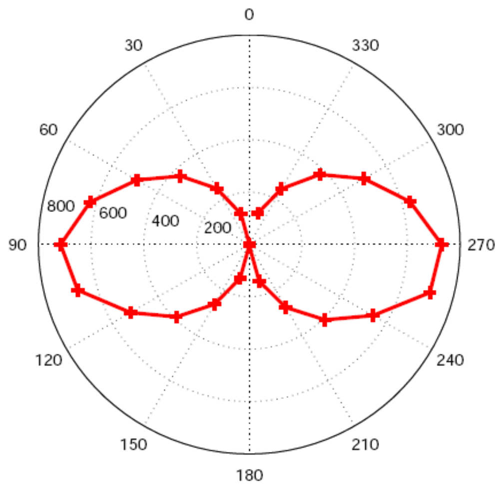

Illustration 4: ITD moyenne mesurée obtenue sur une base d'enregistrements.

IV. Calcul d'un modèle complexe

IV.1. Position du problème

Essayons de trouver une formule mathématique donnant l'ITD en fonction de la distance d et de la direction α de la source sonore. Sur la figure ci-dessus, on a schématisé la position de la source relativement à la tête tout cela dans un plan horizontal. On suppose que la distance d'une oreille au centre de la tête est r . Les distances de la source au oreilles gauche et droite sont respectivement dénommées d_L et d_R .

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

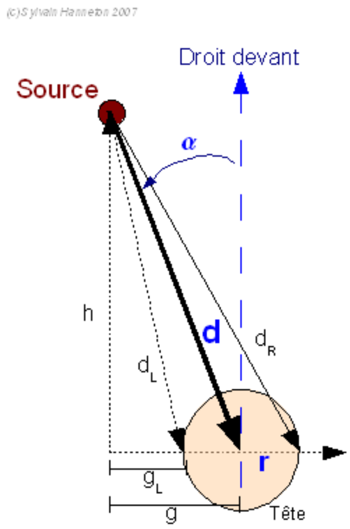

Illustration 5: Notations utilisées

On a ici :

$$g = d.sin(\alpha)$$
$$h = d.cos(\alpha)$$
$$h^2 + g^2 = d^2$$
$$h^2 + g_L{}^2 = d_L{}^2$$
$$g_l = g - r$$

Ces équations nous permettent de calculer les distances d_L et d_R parcourues par le son pour toucher respectivement les oreilles gauche et droite :

$$\left| \begin{array}{l} d_L{}^2 = d^2 + r^2 - 2 r d \sin(\alpha) \\ d_R{}^2 = d^2 + r^2 + 2 r d \sin(\alpha) \end{array} \right.$$

Il faut évidemment obtenir la différence $\delta_d = d_R - d_L$ entre les deux distances et obtenir ainsi le décalage temporel δ_t entre les deux ondes parvenant aux deux oreilles :

$$\delta_d{}^2 = 2 d^2 + 2 r^2 - 2 \cdot \sqrt{d^4 + r^4 + 2 r^2 d^2 (\cos(\alpha)^2 - \sin(\alpha)^2)}$$

et $\delta_t = \frac{\delta_d}{V_{son}}$ et donc

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

$$ITD(d,\alpha)=\frac{2d^2+2r^2-2\cdot\sqrt{d^4+r^4+2r^2d^2(\cos(\alpha)^2-\sin(\alpha)^2)}}{V_{son}}$$

IV.2. Script scilab pour calculer l'ITD

```
//
// Function to compute ITD
//
// alpha = direction of the source (deg)
// distance = distance to the source
// id = interaural distance
// vsound = sound velocity
function [itd] = SH_Itd(alpha,distance,id,vsound)
alpha = alpha * %pi/180 ;
d2 = distance^2 ;
r2 = (id/2)^2 ;
s2 = sin(alpha)*sin(alpha) ; fact = 1 - 2*s2 ;
dd = sqrt(2*d2+2*r2 - 2*sqrt(d2^2+r2^2+2*d2*r2*fact)) ;
itd = dd/vsound ;
endfunction
```

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

IV.3. Exemple de résultats

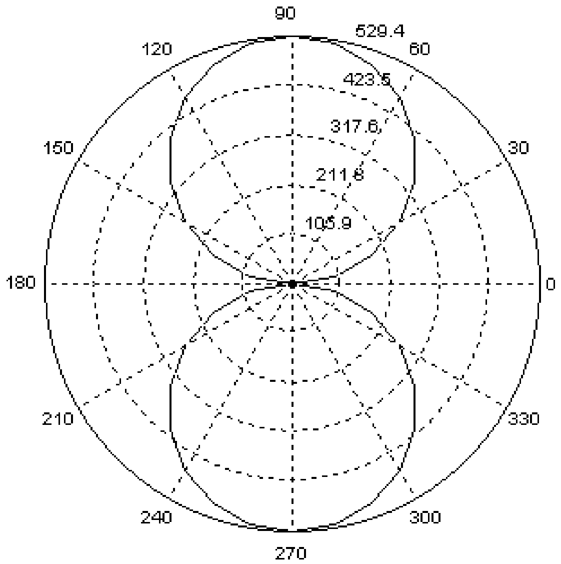

Illustration 6: Valeur de l'ITD en microsecondes en fonction de la direction de la source (la valeur 0 correspond au droit devant). La source est supposée être à une distance de 5 mètres.

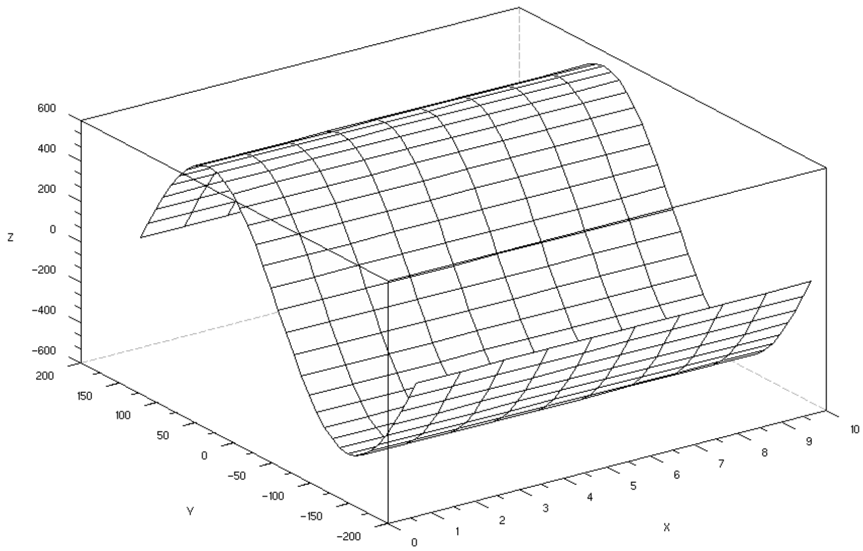

Illustration 7: ITD en fonction de la distance (X, de 1 à 10 mètres) et de l'azimut de la source (Y, de -180 à + 180°)

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/

Sylvain Hanneton

Cette dernière figure montre que pour une distance supérieure à un mètre, l'ITD ne varie pas beaucoup pour un azimut donné. Cela justifie l'approximation de Woodworth.

Texte sous licence creative commons :http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/