

On observe cependant un écart constant pour certains azimuts proches de l'oreille droite, ce qui doit être du au placement de la source dans le système réciproque qui n'était pas clairement explicité dans les résultats de Y. Kahana. L'écart est inférieur au dB, ce qui est négligeable.

Concernant les réponses en phase, la comparaison donne d'excellents résultats :

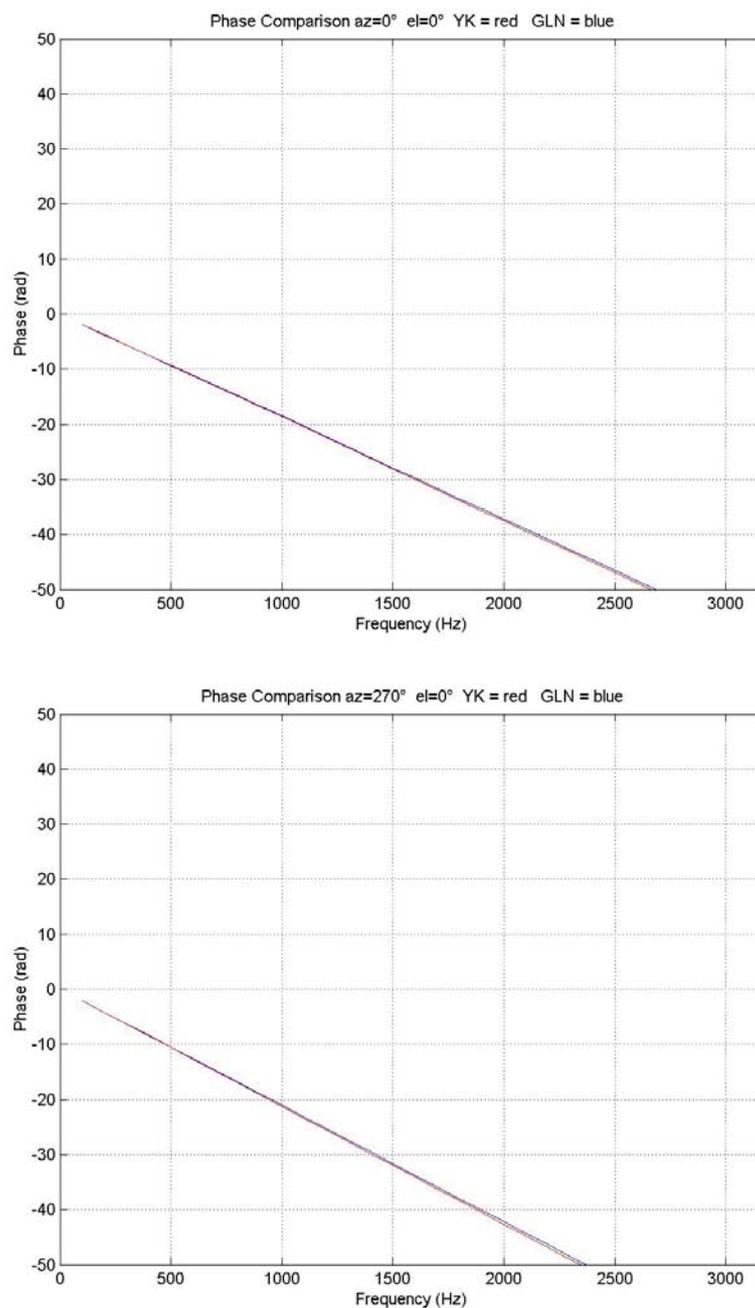


Figure 1 : comparaison des phases des HRTF

Le protocole utilisé est donc validé par la comparaison des résultats obtenus avec ceux de Y. Kahana. Il va nous permettre de poursuivre le calcul d'ITD pour des ellipsoïdes dont les dimensions sont basées sur des données morphologiques issues des scans 3d dont nous disposons.

5. Choix des modèles

5.1. Propriétés

Effectuons un petit résumé des propriétés des modèles sphériques et ellipsoïdaux :

La sphère est le modèle le plus simple qu'on puisse utiliser pour modéliser une tête. Il a l'avantage et les défauts inhérents à son caractère simpliste :

- On connaît les résultats analytiques de la diffraction d'une onde plane sur une sphère [18], donc la simulation par éléments finis n'est pas nécessaire.
- Une formule simple, développée par Woodworth, permet de calculer l'ITD [20].
- La sphère présente un haut degré de symétrie ce qui donne un ITD présentant également un fort degré de symétrie (plus de confusions ?).
- 2 paramètres : rayon et placement des oreilles.

L'ellipsoïde est un modèle plus intéressant que la sphère car il peut mieux s'adapter à la morphologie d'un individu, et permet en théorie de mieux rendre compte des phénomènes d'élévation. Ses caractéristiques sont résumées ici :

- On ne connaît pas les résultats analytiques de la diffraction d'une onde plane sur une ellipsoïde, bien que des recherches soient actuellement menées dans cette direction ([1]).
- On ne dispose pas de formule simple de calcul de l'ITD sans recourir au calcul de HRTF.
- 6 paramètres : 3 axes et 1 rotation par rapport à l'axe interaural, placement des oreilles.

5.2. Choix des mesures anthropométriques

Faire le lien entre les paramètres morphologiques d'une tête donnée et les paramètres géométriques d'un modèle est un problème en soi. Concernant les modèles sphériques, Brian Katz [10] a testé deux choix de correspondance : une sphère de rayon la distance interaurale, pour tenter de conserver au mieux l'ITD dans le plan horizontal, et une sphère de même volume que la tête, pour essayer de conserver au mieux les propriétés de diffraction (cette dernière donnant de meilleurs résultats). Algazi [2] a effectué une étude statistique et a relié trois paramètres morphologiques X_1 , X_2 et X_3 au rayon "optimal" minimisant les écarts d'ITD entre sphère et mesures réelles (cf. paragraphe 2.2.1.).

Ces paramètres X_1 , X_2 et X_3 étant faciles à mesurer et assez représentatifs de la forme globale d'une tête, ils conviennent bien à la définition des paramètres géométriques de modèles simples tels que sphères et ellipsoïdes.

Pour avoir une bonne précision de mesure, nous effectuons les relevés sur des scans 3d haute résolution des têtes des huit sujets du laboratoire comme suit :

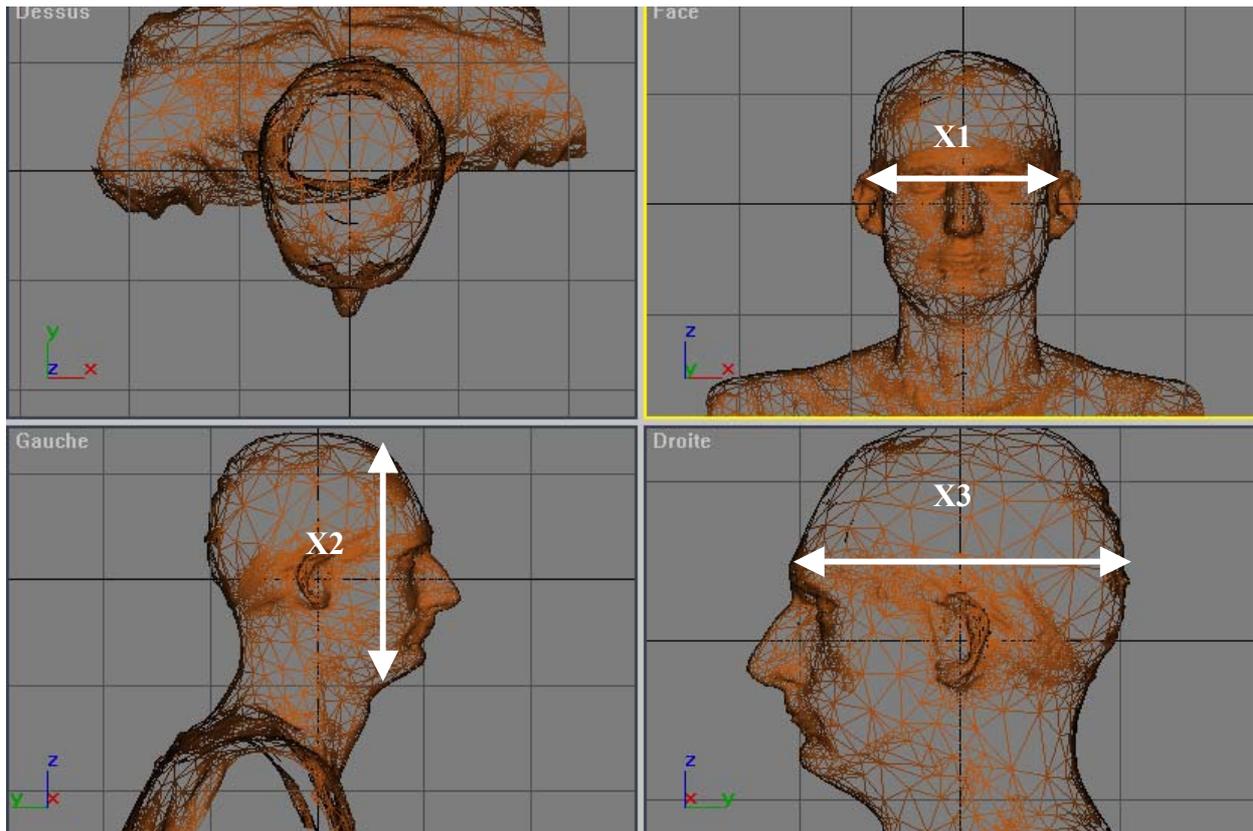


Figure 2 : mesures de trois paramètres morphologiques sur un scan 3D haute résolution. Au moyen de plusieurs zooms successifs, la précision de mesure est inférieure au dixième de millimètre.

Les données relevées sont en Annexe 2 dans les encadrés en bas de page.

Nous avons également mesuré le "décalage des oreilles", c'est à dire la distance entre l'entrée du conduit auditif et le point situé à l'extrémité de l'axe a d'une ellipsoïde de paramètres :

$$a = 2.X_1$$

$$b = 2.X_2$$

$$c = 2.X_3$$

La procédure est la suivante : l'ellipsoïde créée est superposée au scan 3D du sujet en question, de manière à ce que "visuellement" l'ellipsoïde corresponde le mieux possible à la tête. On mesure ensuite le décalage des oreilles (supposé identique pour l'oreille gauche et l'oreille droite).

Les données sont également en Annexe 2.

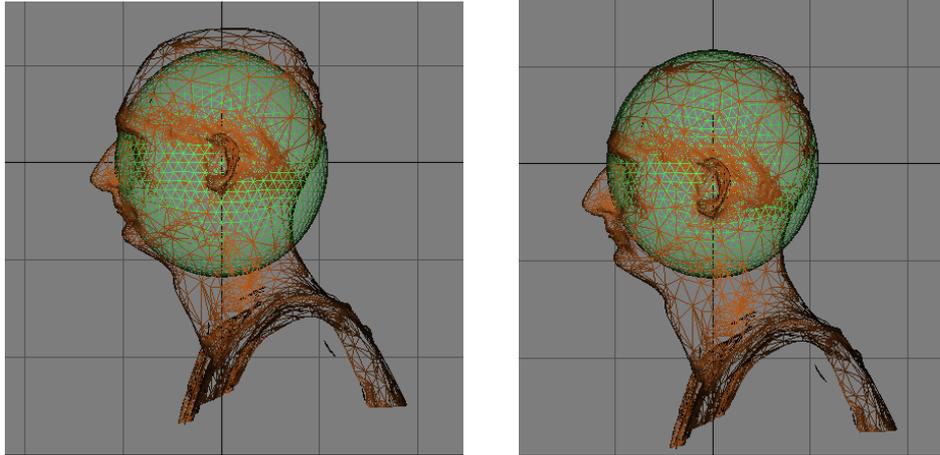


Figure 3 : Première étape de la mesure du décalage des oreilles. On fait correspondre visuellement le scan et l'ellipsoïde par translation du scan. L'ellipsoïde reste centrée sur le repère.

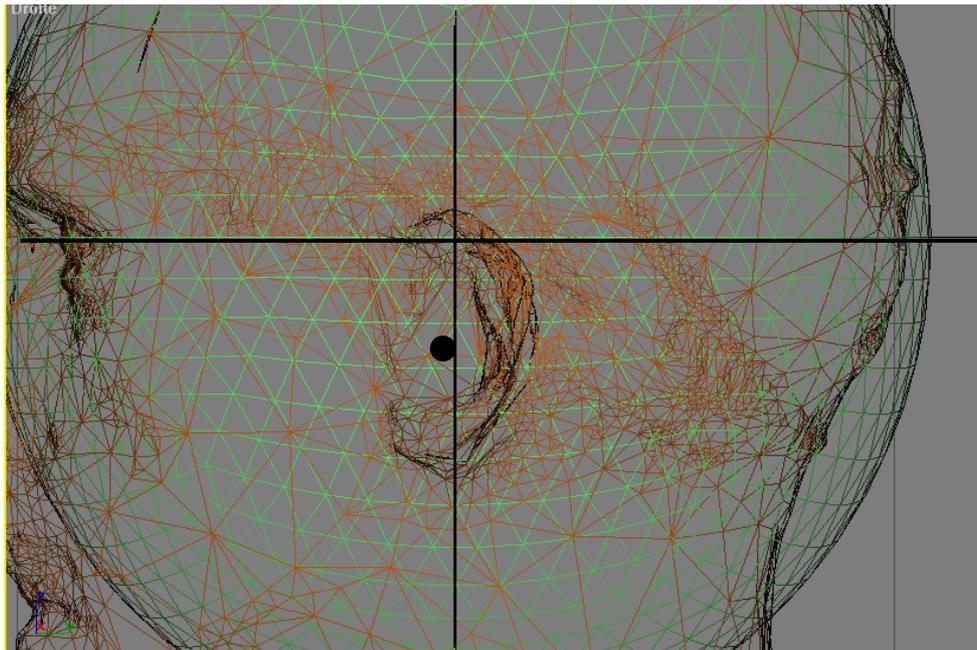


Figure 4 : mesure du décalage des oreilles. Une fois la première étape effectuée, il ne reste qu'à déterminer la distance entre l'entrée du conduit auditif et l'intersection des axes noirs (axes de l'ellipsoïde).

5.3. Définition des paramètres des modèles

Nous avons utilisé quatre modèles différents, sensés tester chacun un critère particulier :

Modèle 1 : sphère de rayon optimal (selon la formule d'Algazi)

Le rayon est donné par la formule : $a = 0.51X_1 + 0.019X_2 + 0.18X_3 + 32$ avec toutes les mesures en mm. Les oreilles sont centrées.

Modèle 2 : ellipsoïde de type 1 : droite centrée

Les axes de l'ellipsoïde sont définis par :

$$a = 2.X_1$$

$$b = 2.X_2$$

$$c = 2.X_3$$

Les oreilles sont centrées.

Modèle 3 : ellipsoïde de type 2 : droite décalée

C'est la même ellipsoïde que la précédente, mais avec décalage des oreilles.

Modèle 4 : ellipsoïde de type 3 : inclinée centrée

C'est le même modèle que le modèle 2, à la différence près qu'on effectue une légère rotation de l'ellipsoïde autour de l'axe interaural, pour mieux faire correspondre visuellement le scan et l'ellipsoïde.

6. Comparaison des ITDs obtenus

Dans le cadre de cette étude nous nous sommes d'abord limités à la comparaison entre ITD mesuré et différents ITD simulés pour des questions de temps et de moyens.

Nous avons utilisé une première plage de fréquences de 45 fréquences espacées logarithmiquement entre 20 Hz et 3175 Hz, ceci dans le but d'avoir une plage fréquentielle suffisante pour le calcul de l'ITD. Le calcul pour des fréquences plus élevées est actuellement en cours et permettra de faire des observations sur l'ILD.

6.1. Choix de la méthode de calcul d'ITD

Il existe une grande variété de méthodes de calcul d'ITD ; plusieurs ont été analysées et comparées par Minaar [14].

Une première méthode décrite par Sandvad et Hammershoi [16] consiste à détecter les instants d'arrivée des fronts d'onde des réponses impulsionnelles gauche et droite, et de mesurer par leur différence le retard interaural.

Une deuxième méthode développée par Jot[8] consiste à considérer que l'excès de phase est linéaire et l'ITD est alors la différence des pentes des excès de phase des HRTF gauche et droite.

Une troisième méthode présentée par Kistler et Wightman [11] est basée sur l'intercorrélation des réponses impulsionnelles. L'ITD est déduit à l'endroit du maximum de la fonction d'intercorrélation d'une paire de HRTF.

Minaar montre que la troisième méthode donne un ITD correct, même si il recommande une quatrième méthode basée sur le retard de groupe à 0 Hz de l'excès de phase.

Nous avons donc utilisé la méthode de calcul suivante :

A partir d'une paire de HRTF, on détermine l'excès de phase par soustraction de la phase minimale (calculée par transformée de Hilbert du module du spectre).

A l'excès de phase, on associe un module d'amplitude constante égale à 1 pour former un spectre H_{eph} . Puis on effectue un calcul d'intercorrélation entre les réponses impulsionnelles correspondant aux spectres H_{eph} gauche et droit. Une bonne précision temporelle est assurée par suréchantillonnage d'un facteur 30.

Le détail de la routine Matlab utilisée est donné en Annexe 4.

6.2. ITD de la Sphère de rayon "optimal"

Pour les huit sujets, l'ITD issu du modèle sphérique donne une très bonne valeur moyenne sur tous les cônes de confusion. La simplicité de la formule utilisée (formule de Woodworth étendue) fait que ce résultat est d'autant plus remarquable. Il faut également noter que la formule calculant le rayon optimal de la sphère A_e déterminée par Algazi donne de très bons résultats sur les huit sujets France Télécom r&d, alors qu'Algazi a utilisé un protocole de mesures de HRTF différent et sur d'autres sujets. Ceci prouve donc la robustesse de ses résultats.

6.3. ITD de l'ellipsoïde type 1 (droite, oreilles centrées)

L'ITD de l'ellipsoïde type 1 donne une bonne valeur moyenne des ITD issus des mesures, quoique légèrement inférieure. Ceci qui s'explique par le choix des dimensions de l'ellipsoïde qui fait que le volume de celle-ci est légèrement inférieur au volume de la tête des sujets. Le caractère ellipsoïdal du modèle peut se remarquer pour certains sujets (Jean-Marie, Jérôme, Noël, Pascal, Rozenn) sur les cônes de confusion par une faible bosse aux élévations proche de 90° . Ce phénomène reste extrêmement léger, et dépend des rapports X_i/X_j .

6.4. Ellipsoïde type 2 (droite, oreilles décalées)

Le simple fait de changer la position des oreilles sur l'ellipsoïde crée un motif très intéressant car se rapprochant bien du style de motif observé sur les mesures. Malheureusement, les motifs semblent symétriques par rapport à l'axe des ordonnées (sur les courbes par cônes de confusion), ce qui indique que la position des oreilles est mauvaise. Cela nous amène à penser qu'il faudrait presque les oreilles de manière symétrique par rapport au point $(X_1, 0, 0)$ pour obtenir un motif satisfaisant. Ceci peut s'expliquer par des considérations de volume des "hémisphères" avant et arrière définis par l'intersection de l'ellipsoïde et du plan interaural. Placer les oreilles plus avant sur l'ellipsoïde permettrait d'avoir un volume arrière plus important, ce qui semblerait mieux se rapprocher de la morphologie.

6.5. Ellipsoïde type 3 (inclinée, oreilles centrées)

L'inclinaison de l'ellipsoïde par rotation autour de l'axe interaural ne semble pas modifier les motifs d'ITD de manière très significative, mis à part une légère translation des bosses observées sur l'ellipsoïde type 1 sur les sujets (Jean-Marie, Jérôme, Noël, Pascal, Rozenn). Cette translation s'explique de par la nature même de la transformation effectuée sur le modèle : rotation autour de l'axe interaural = translation de l'élévation (θ) si l'on se place en coordonnées polaires interaurales.

6.6. Discussion

Les modèles d'ellipsoïde avec oreilles centrées (type 1 et 3) apparaissent peu intéressantes par rapport au modèle sphérique, vu la très faible modification des motifs d'ITD. En comparant les moyens mis en œuvre, un motif d'ellipsoïde demande au moins dix fois plus de temps de travail et de calcul que l'obtention de l'ITD par la formule de Woodworth étendue. L'amélioration du motif obtenue ne semble pas en valoir la peine.

Le décalage des oreilles apporte quant à lui une modification "utile" des motifs d'ITD qui est encore mal exploitée mais apparaît comme prometteuse pour une modélisation individuelle et précise de l'ITD.

Afin d'évaluer l'influence de la position des oreilles, il serait donc intéressant d'effectuer une étude poussée sur des modèles sphériques avec décalage des oreilles, qui de plus ne nécessitent pas le recours à la simulation par éléments finis, la solution analytique étant disponible.

7. Conclusions et perspectives

Pour tenter de résoudre le problème complexe de l'individualisation des HRTF, nécessaire au bon réalisme de la synthèse binaurale, nous avons exploré la voie de la modélisation de têtes humaines par des modèles géométriques simples. Un outil de simulation numérique (couplage du logiciel VNoise avec le logiciel 3D Studio Max) a été mis en place et validé, et permet maintenant de calculer les HRTF de modèles de têtes autres que le modèle sphérique. La seule contrainte restante est le problème du maillage, qui finalement apparaît comme critique dans le processus de simulation par éléments finis.

En première approche, nous avons comparé des modèles ellipsoïdaux avec le modèle sphérique, en séparant des paramètres tels qu'inclinaison de l'ellipsoïde et décalage des oreilles. Les résultats montrent que le caractère ellipsoïdal du modèle joue moins sur le motif d'ITD que le décalage des oreilles. Le modèle ellipsoïdal semble donc présenter peu d'intérêt en lui-même en ce qui concerne la modélisation de l'ITD, surtout au vu des moyens mis en œuvre.

La formule de Woddworth étendue utilisant le rayon individualisé optimal calculé par Algazi [2] donne un résultat très satisfaisant en termes d'individualisation de l'ITD. Afin de valider cette observation, des tests perceptifs, utilisant le module des HRTF mesurés couplé à l'ITD du modèle sphérique utilisé dans cette étude, permettront de savoir si la variation de l'ITD en fonction de l'élévation est perceptible.

Les conclusions tirées des motifs des modèles à oreilles décalées nous amène à penser que la ressemblance morphologique entre un modèle et une tête n'est peut-être pas un critère pertinent, du moins en ce qui concerne le placement des oreilles.

Enfin, il serait intéressant de voir si le modèle ellipsoïdal décrit mieux que le modèle sphérique les variations d'ILD en fonction de l'azimut et de l'élévation.

Les perspectives de travaux futurs sont les suivantes :

- Etude du modèle sphérique avec décalage des oreilles. On peut envisager d'effectuer une étude à la manière de [2] pour trouver le lien entre paramètres morphologiques et placement des oreilles sur le modèle.
- Test perceptifs de localisation sur les huit sujets de l'étude, en utilisant les modules de leurs HRTF mais couplés à l'ITD obtenu par le modèle sphérique (ITD no 2 de cette étude). Ceci permettrait de savoir si une modélisation "grossière" de l'ITD suffit et si il faut plutôt orienter les recherches vers une modélisation précise de l'ILD.
- Exploitation plus poussée des résultats des simulations déjà effectuées : comparaison des motifs d'ILD basse fréquence ($f < 3$ kHz).
- Simulation numérique d'un modèle tête sphérique plus épaules et torse.
- Simulations numériques sur les scans 3d des sujets : il serait intéressant de calculer numériquement les HRTF d'un scan sans pavillons, ou d'un scan dont les contours seraient lissés, pour mieux comprendre l'influence des pavillons et des différentes parties du visage sur les HRTF.

8. Bibliographie

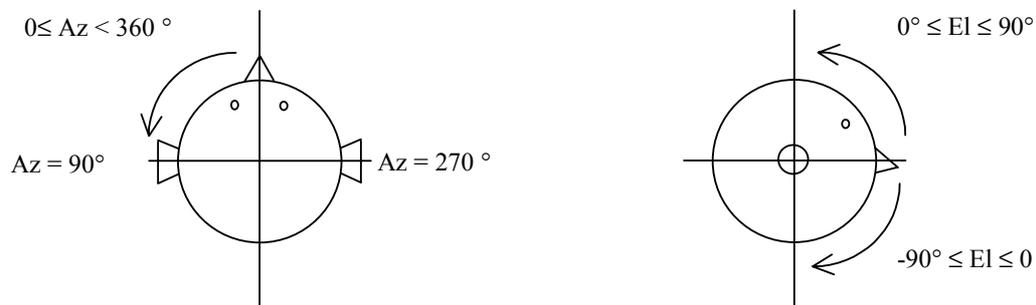
- [1] ABRAMOV, KONYUKHOVA, LEVITINA, "*Numerical Investigation of the problem of a plane acoustic wave scattering by a triaxial ellipsoid*", DE-Vol. 84-2,1995 Design Engineering Technical Conferences Volume 3-Part B ASME 1995
- [2] ALGAZI, AVENDANO, DUDA, "*Estimation of a spherical-Head Model from Anthropometry*", J. Audio Eng. Soc., Vol. 49, No. 6, 2001 June.
- [3] J. BLAUERT "*Spatial Hearing*", 3rd Edition. The MIT press, Massachusetts, 1997.
- [4] N. CHATEAU "*Localisation de sources sonores dans l'hémisphère supérieur*" thèse, université de la méditerranée Aix Marseille II, 1996.
- [5] F. CHRISTENSEN "*Binaural Technique with special emphasis on recording and playback*" Thesis, Aalborg University, Denmark, 2001.
- [6] DUDA et al. "*An adaptable ellipsoidal head model for the interaural time difference*" ICASSP'99 (Proc. IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing), pp. II-965-968 (Mar. 1999).
- [7] FUKUDOME, YAMADA, "*Influence of the shape and size of a Dummyhead upon Thévenin acoustic impedance and Thévenin pressure*" J. Acoustic Soc. Jpn, vol.10, 1989.
- [8] JOT et al "*Digital signal processing issues in the context of binaural and transaural stereophony*" presented at the AES 98th convention, Paris, February 1995.
- [9] Y. KAHANA "*Numerical modelling of the head related transfer function*", thesis, University of Southampton, December 2000.
- [10] B.F.G. KATZ "*Measurement and calculation of individual head-related transfer functions using a boundary element model including the measurement and effect of skin and hair impedance*", thesis, Pennsylvania State University, May 1998.
- [11] KISTLER, WIGHTMAN "*A model of head related transfer functions based on principal components analysis and minimum phase reconstruction*", J. Acoust. Soc. Am., vol. 91, pp. 1637-1647, 1992.
- [12] W. L. MARTENS and R. O. DUDA, "*Range dependence of the response of a spherical head model*", J. Acoust. Soc. Am. 104, November 1998.
- [13] A.W. MILLS "*Auditory Localization*", in Foundations of Modern Auditory Theory (vol. II), Tobias, J.V. (ed), Academic Press, NY, USA.
- [14] MINAAR et al. "*the interaural Time Difference in Binaural Synthesis*" presented at the AES 108th convention, Paris, February 2000.

- [15] PERNAUX et al. "*Perceptual evaluation of static binaural sound synthesis*" Proceedings of the AES 22nd international conference, Espoo, Finland, June 2002.
- [16] SANDVAD, HAMMERSHOI "*Binaural auralization. Comparison of FIR and IIR filter representation of HIRs*", presented at the AES 98th convention, Amsterdam, February 1994.
- [17] SLEIJPEN, FOKKEMA "*BICGSTAB(L) for linear equations involving unsymmetric matrices with complex spectrum*" Electronic Transaction on Numerical Analysis, vol.1, pp.11-32, September 1993.
- [18] J.W. STRUTT(Lord Rayleigh) "*Theory of Sound*", 2nd ed. (Dover, Mineola, NY, 1945).
- [19] S.G. WEINRICH "*Sound field calculation around the human head*" Report no.37, Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, 1984.
- [20] WOODWORTH and al., "*Experimental Psychology*", Holt, Rinehard and Winston, NY, 1962, pp349-361.

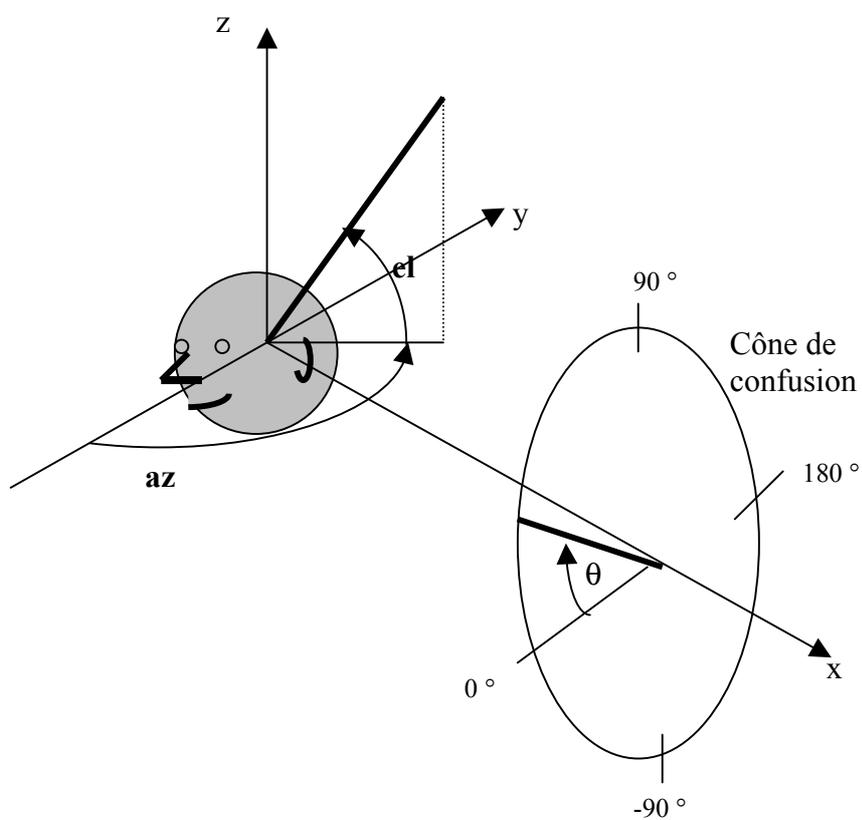
9. Annexes

Annexe 1 : Angles et coordonnées

On utilise les conventions du Spatialisateur en ce qui concerne l'azimut et l'élévation :



Pour ce qui concerne les cônes de confusion, on considèrera les tranches de la sphère de rayon $a = 1,4$ m et d'abscisse $x = [-1,2 \ -1 \ -0,8 \ -0,6 \ -0,4 \ -0,2 \ 0 \ 0,2 \ 0,4 \ 0,6 \ 0,8 \ 1 \ 1,2]$. Dans le système de coordonnées polaire interaural, θ est appelé élévation, comme l'angle eI . Dans les figures "ITD sur les cônes de confusion" le terme élévation désigne l'angle θ .



Annexe 2 : comparaison des ITD

Les résultats sont présentés de la manière suivante :

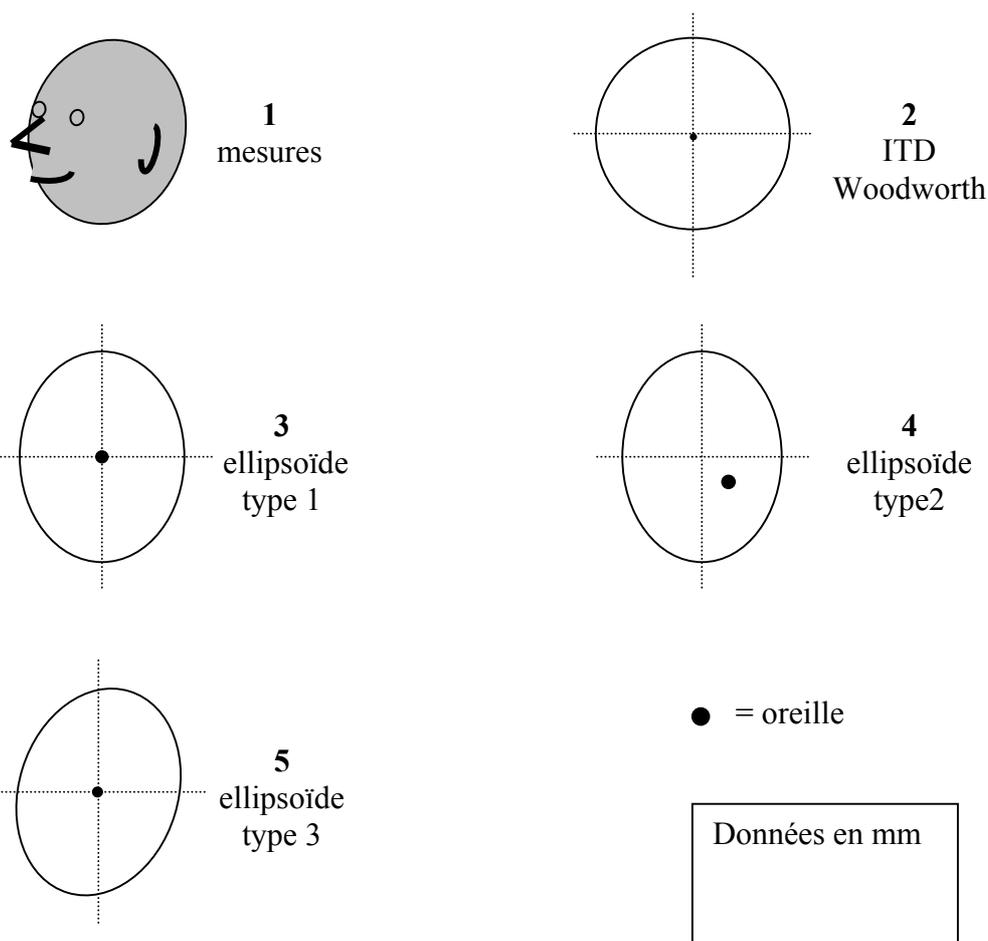
ITD no 1: ITD déduit des mesures de HRTF sur les sujets.

ITD no 2 : calcul par la formule de Woodworth étendue par Jot et Larcher sur la sphère de rayon A_e (donné en mm).

ITD no 3 : ITD du premier modèle ellipsoïdal (ellipsoïde droite de paramètres X_1 X_2 et X_3 (en mm), oreilles centrées)

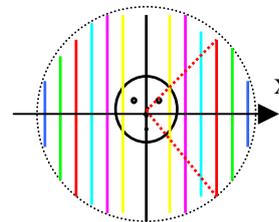
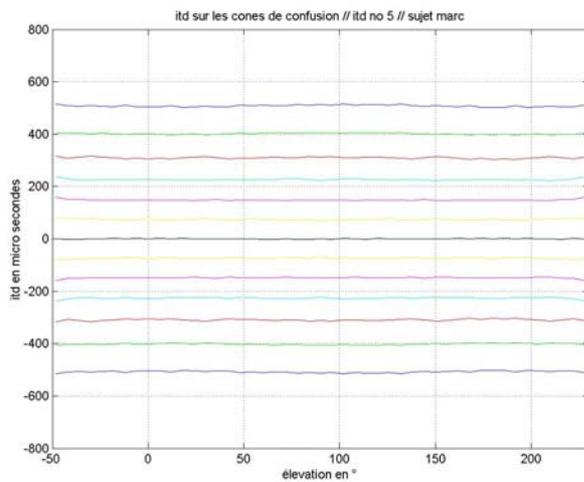
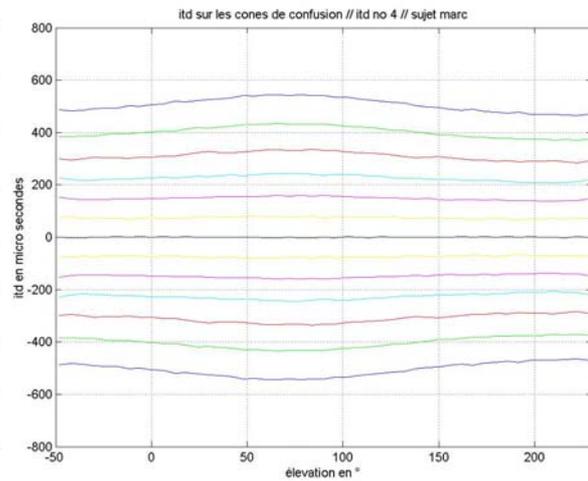
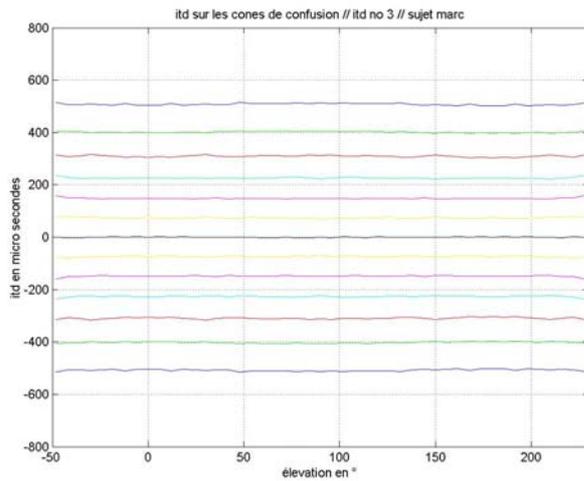
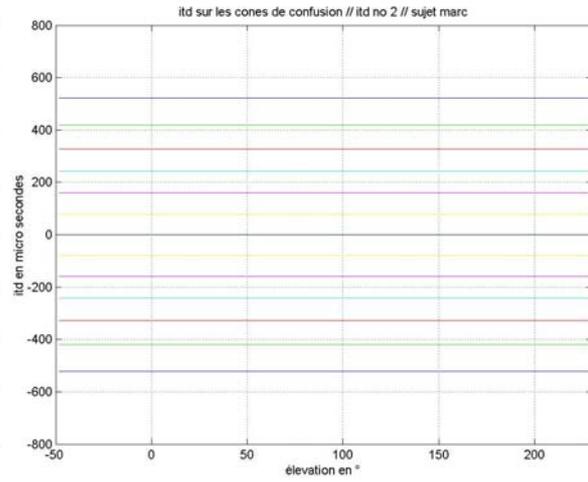
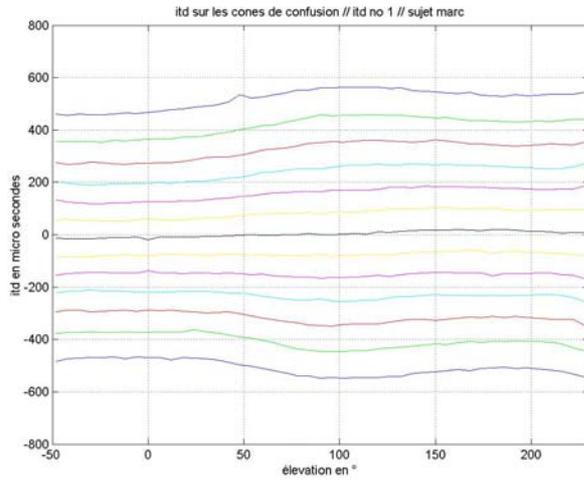
ITD no 4 : ITD du deuxième modèle ellipsoïdal (ellipsoïde droite de paramètres X_1 X_2 et X_3 (en mm), oreille décalées de O_y et O_z (donnés en mm) sur les axes y et z).

ITD no 5 : ITD du troisième modèle ellipsoïdal (ellipsoïde inclinée (rotation par rapport à x) de paramètres X_1 X_2 et X_3 (en mm), oreilles centrées)



Comparaison des ITD sur les cônes de confusion

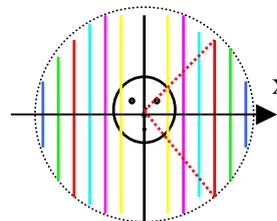
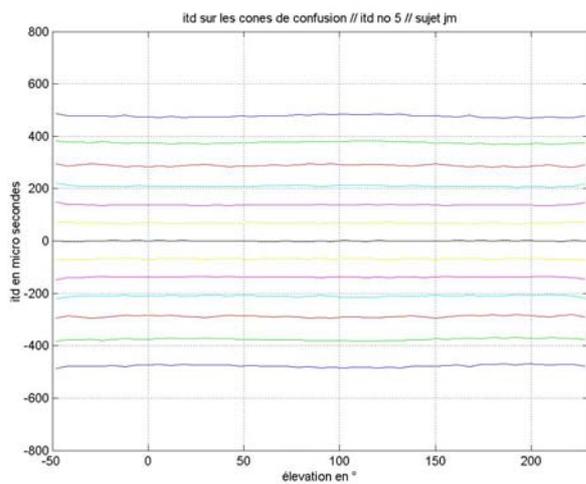
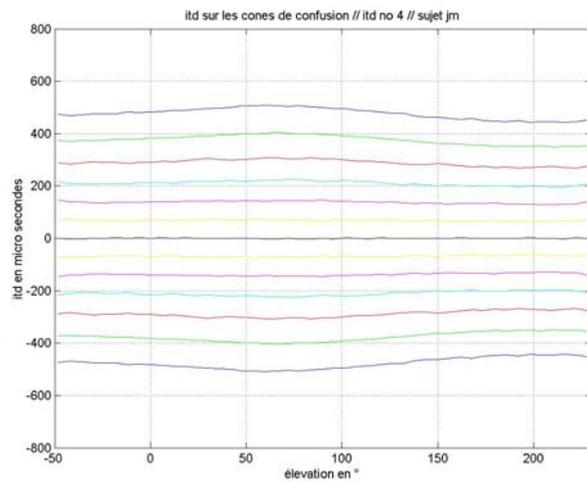
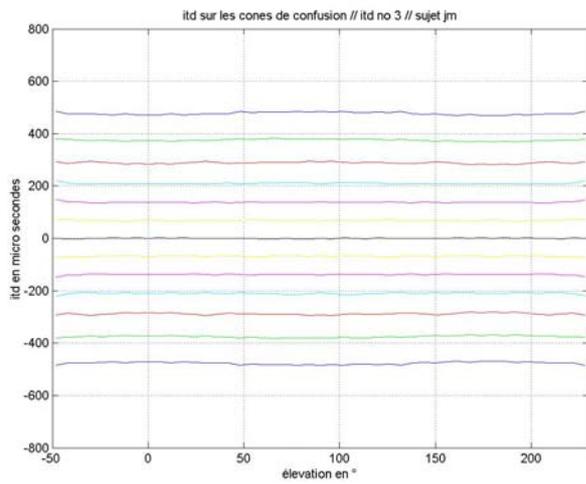
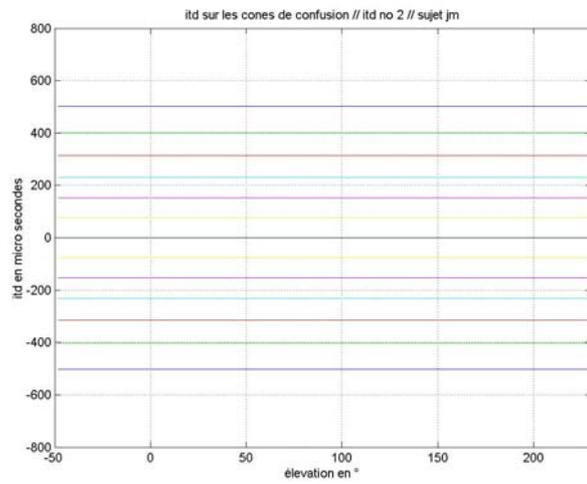
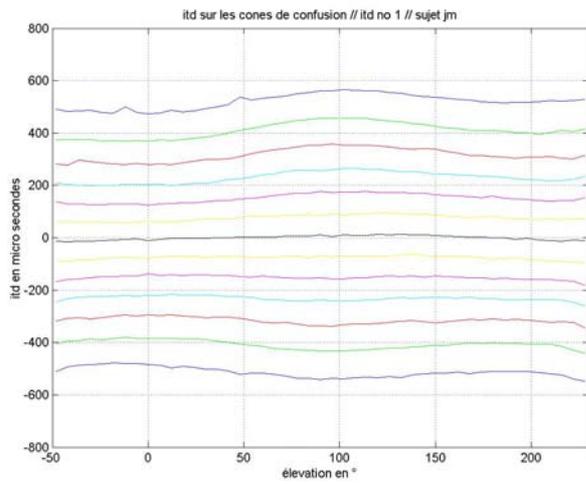
Sujet Marc



$X1 = 81$
$X2 = 117,1$
$X3 = 108,3$
$Ae = 95$
$Oy = 8,32$
$Oz = -22,82$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion

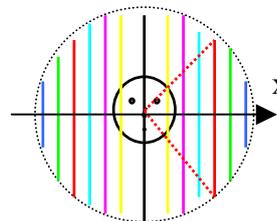
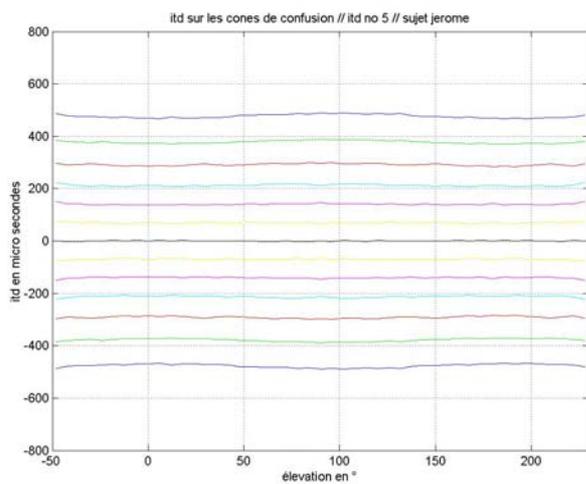
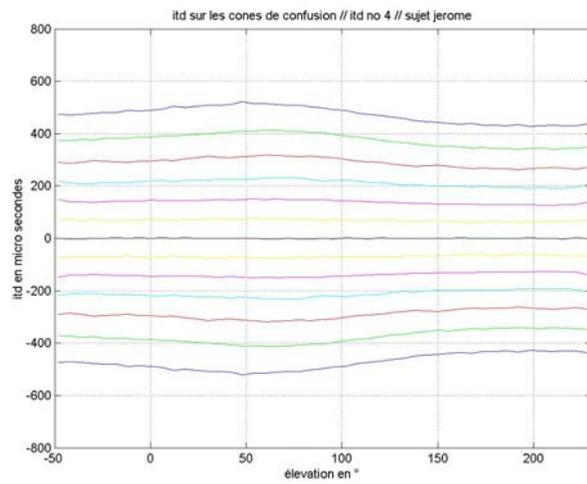
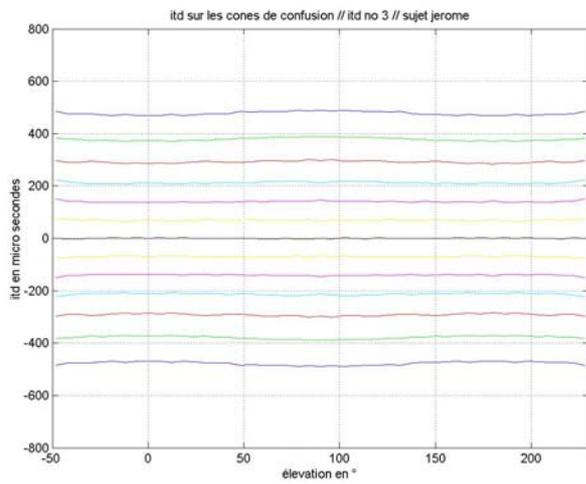
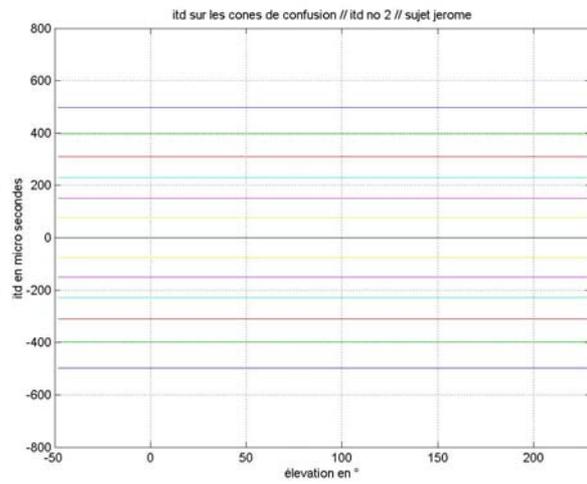
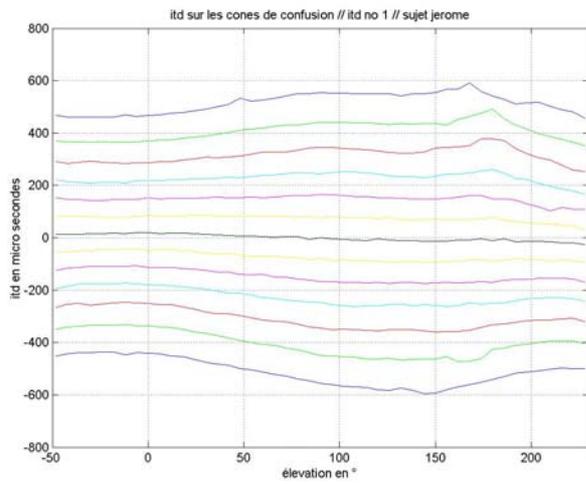
Sujet Jean-Marie



$X1 = 73,6$
$X2 = 120,6$
$X3 = 108$
$Ae = 91,3$
$Oy = 10,28$
$Oz = -15,55$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion

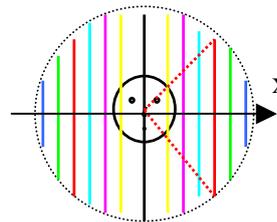
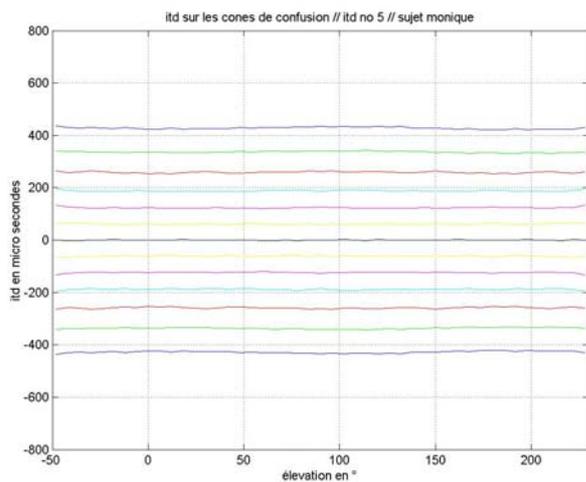
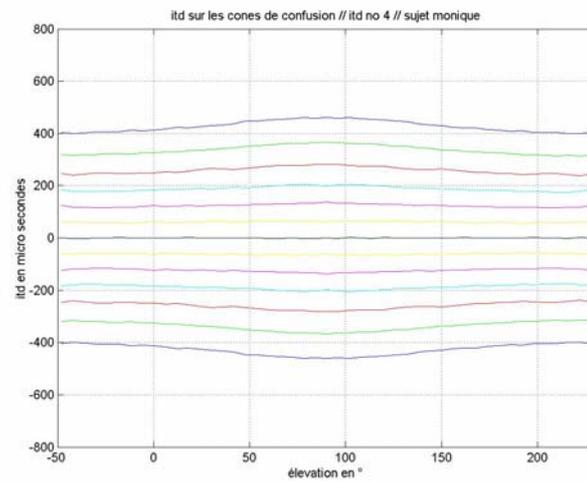
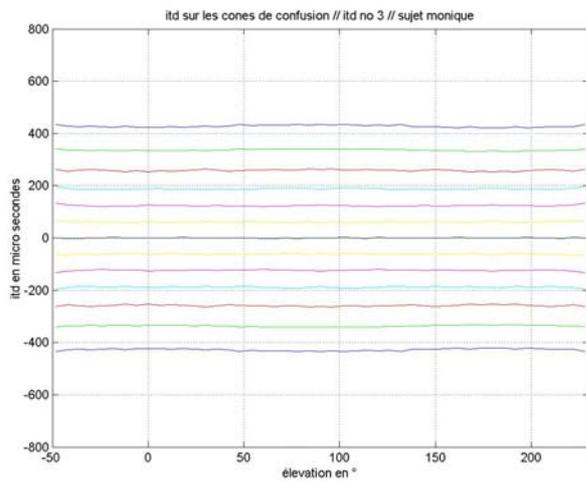
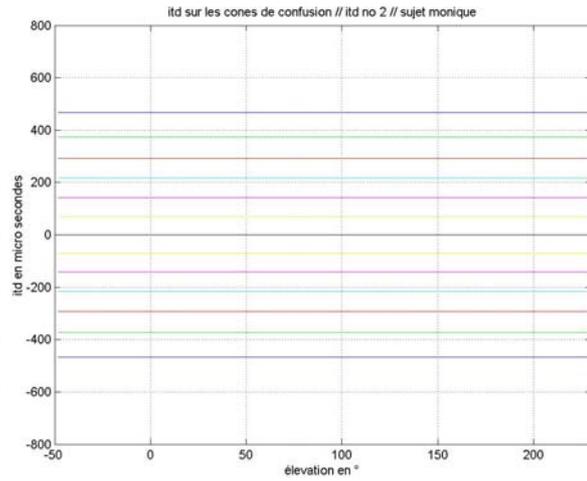
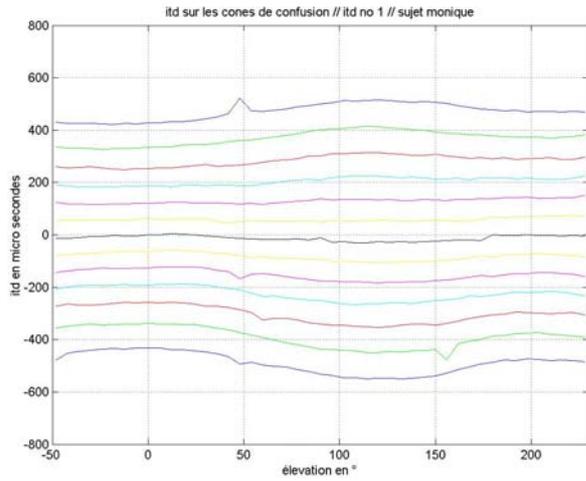
Sujet Jerome



$X1 = 76,2$
$X2 = 118,6$
$X3 = 95,6$
$Ae = 90,3$
$Oy = 16,17$
$Oz = -18,8$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion

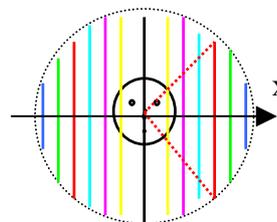
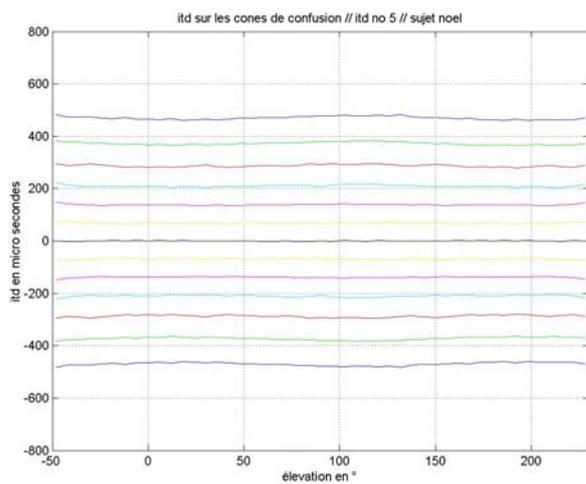
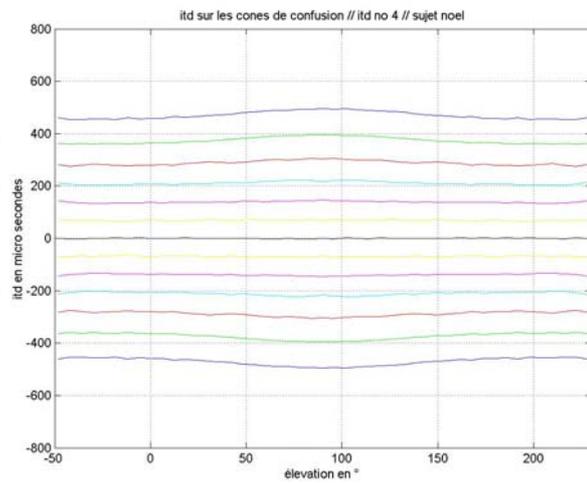
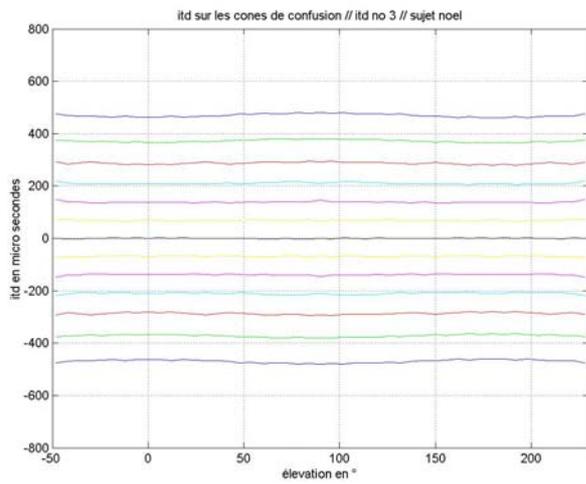
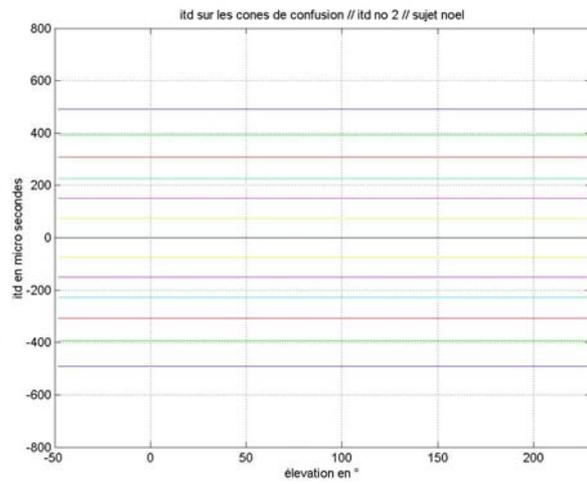
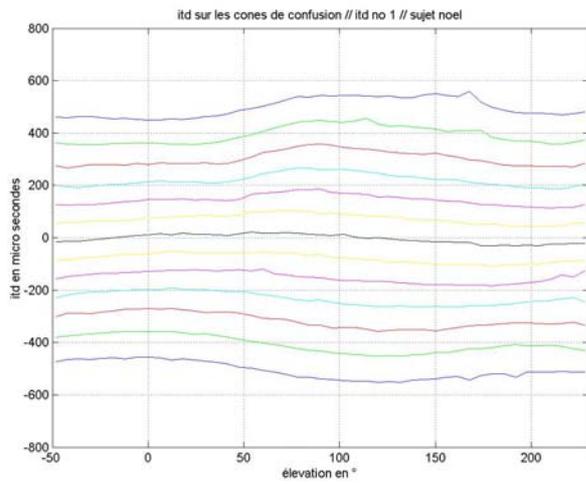
Sujet Monique



$X1 = 65,6$
$X2 = 106,7$
$X3 = 96,4$
$Ae = 84,8$
$Oy = -0,55$
$Oz = -22,07$

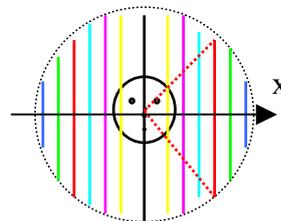
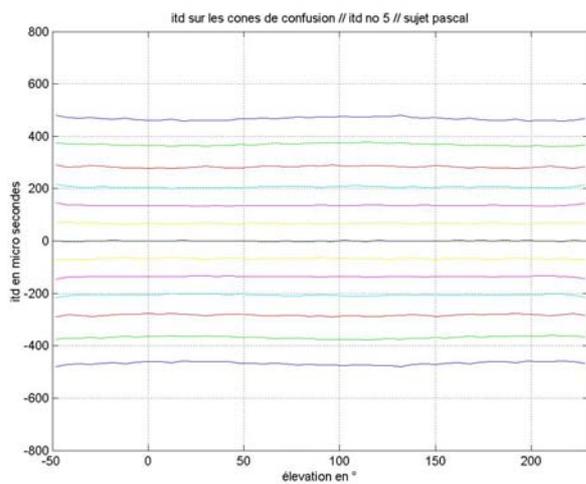
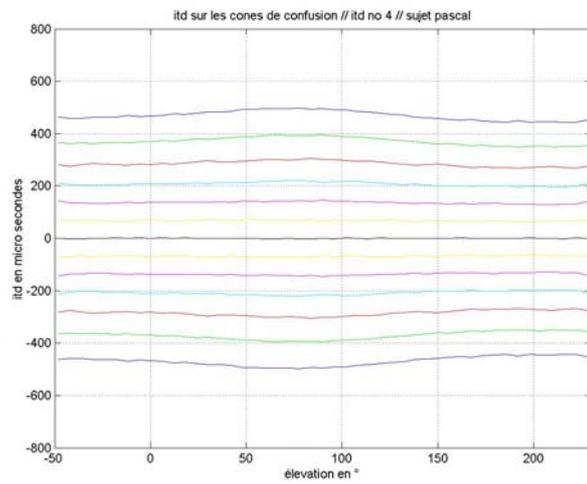
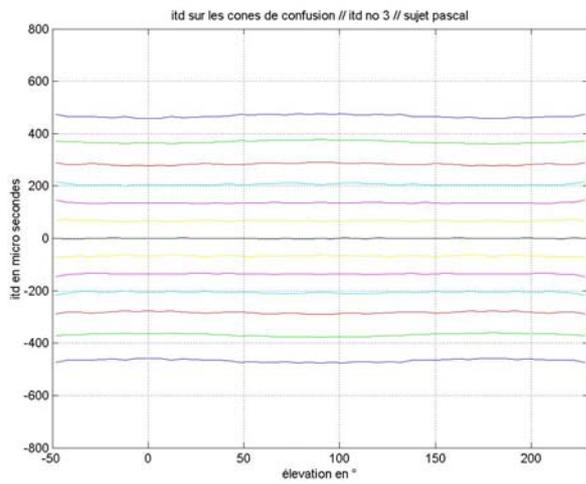
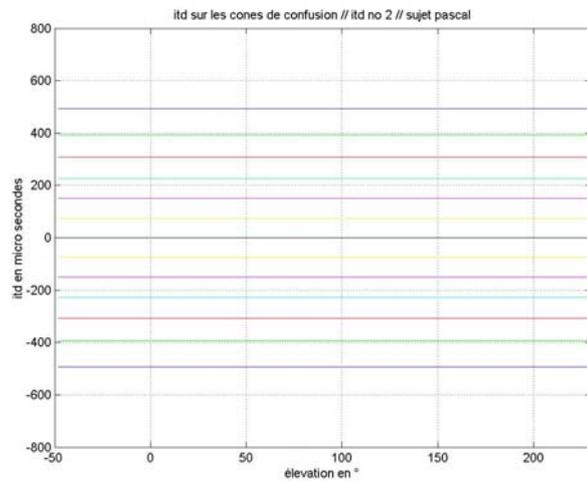
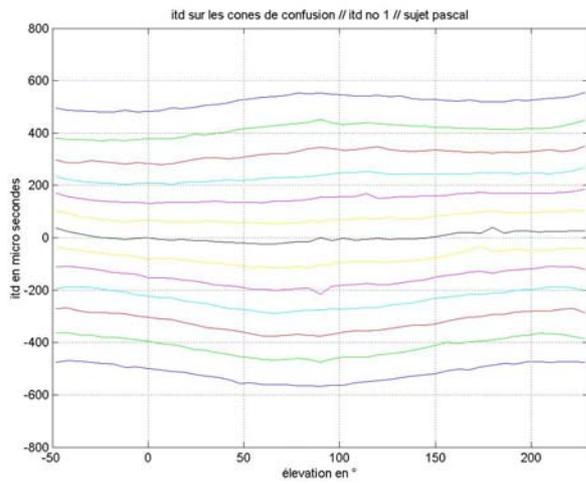
Comparaison des ITD sur les cônes de confusion

Sujet Noel



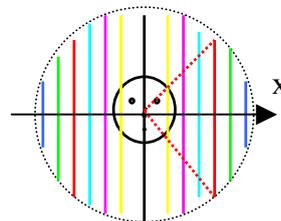
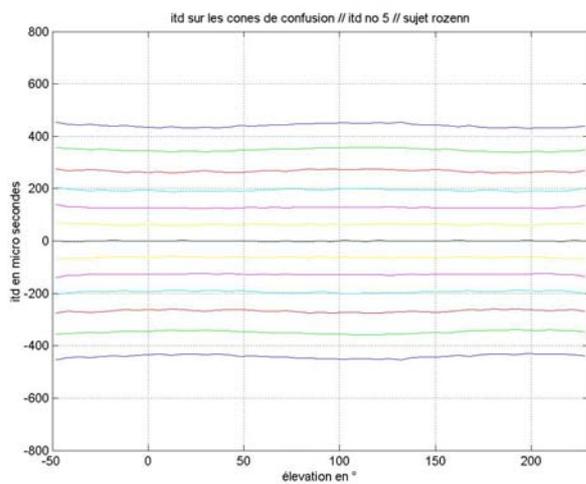
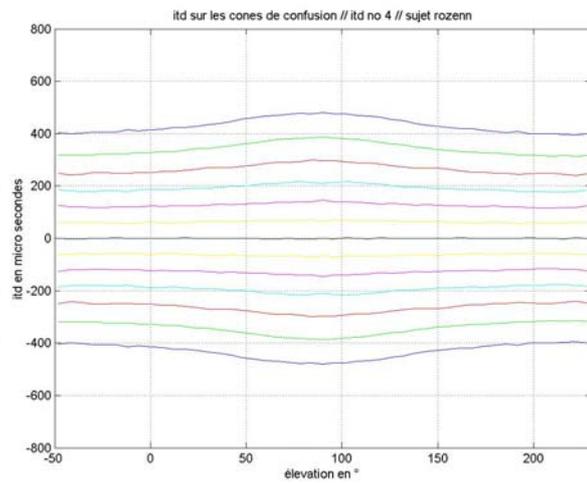
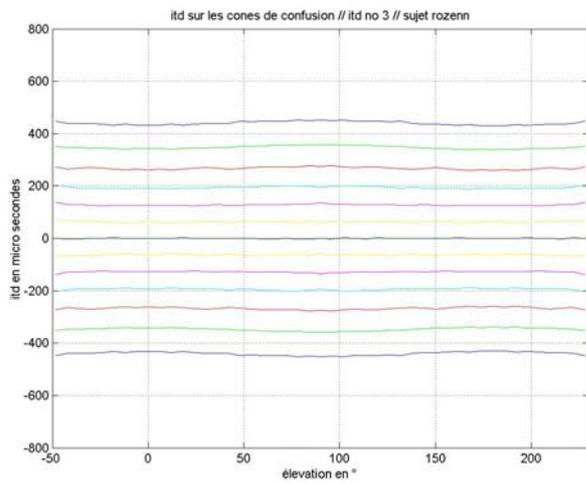
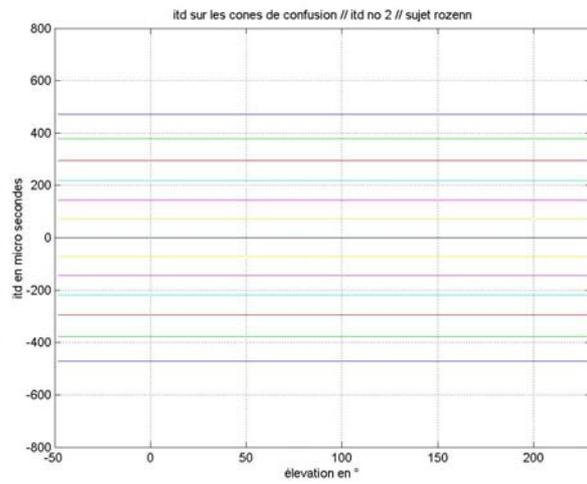
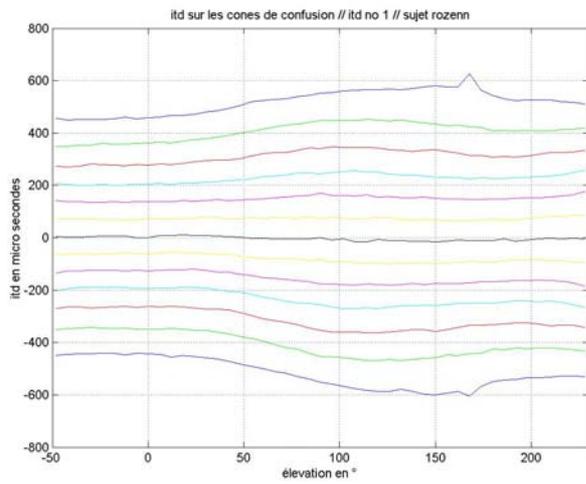
$X1 = 75$
$X2 = 114,4$
$X3 = 94,4$
$Ae = 89,4$
$Oy = -0,22$
$Oz = -13,07$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion Sujet Pascal



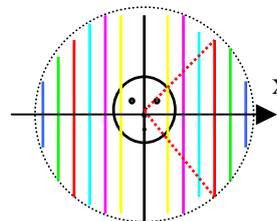
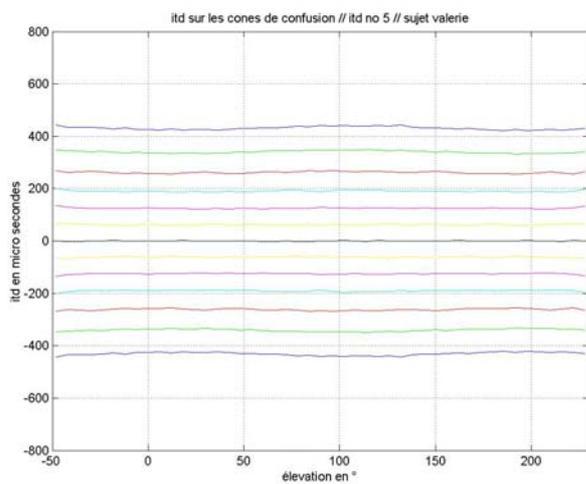
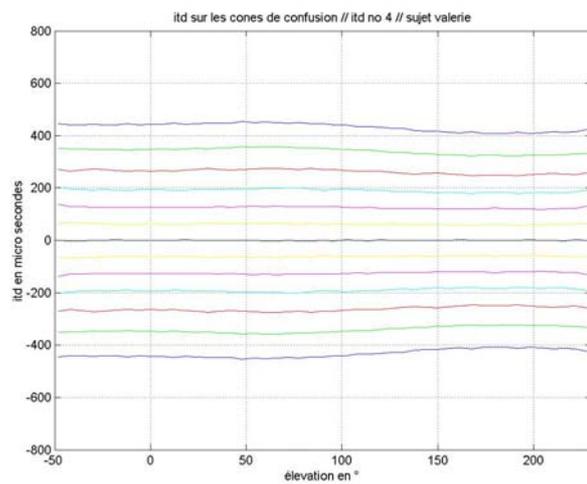
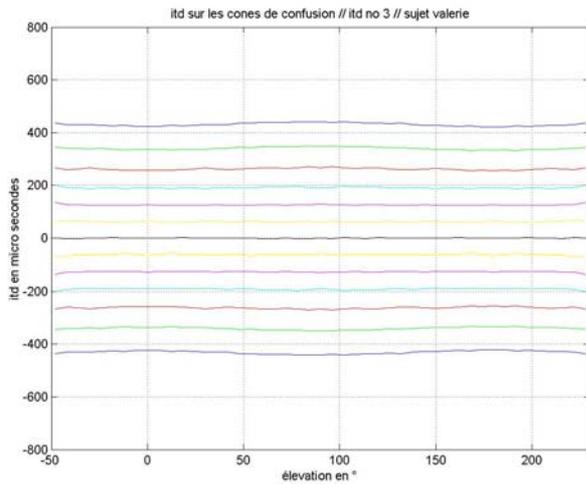
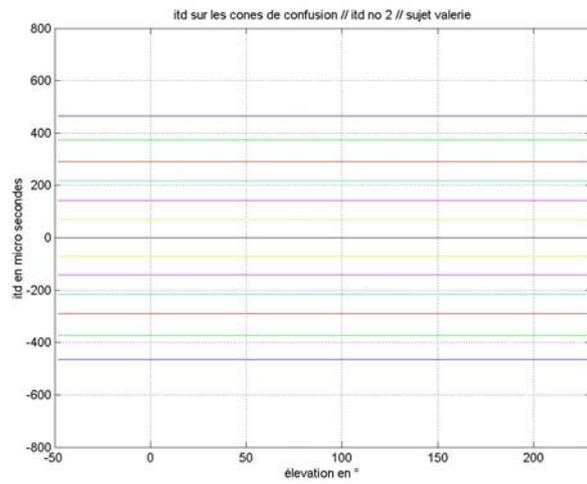
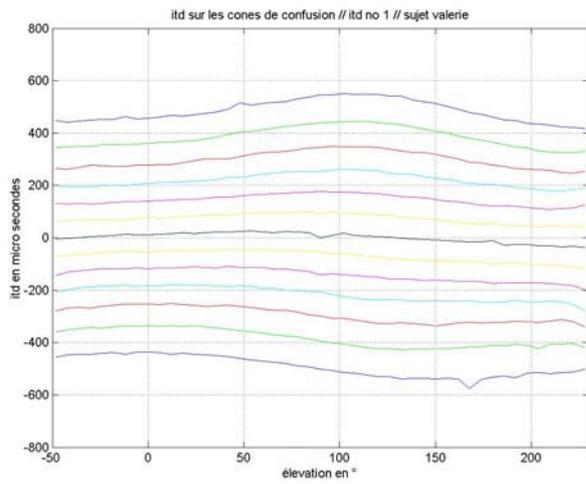
$X1 = 72,8$
$X2 = 118,7$
$X3 = 100,4$
$Ae = 89,5$
$Oy = 6,06$
$Oz = -14,89$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion Sujet Rozenn



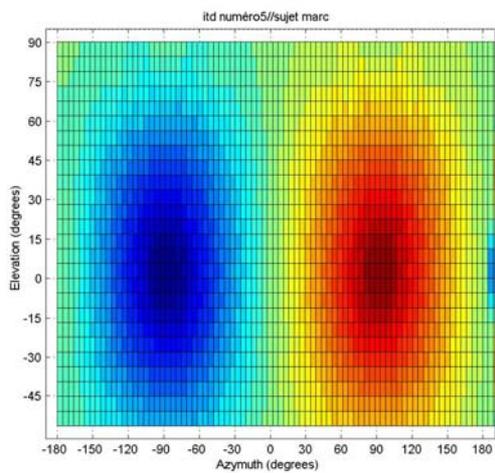
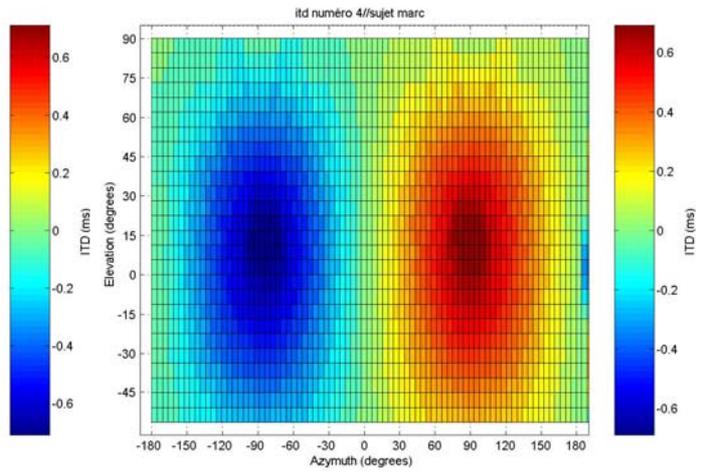
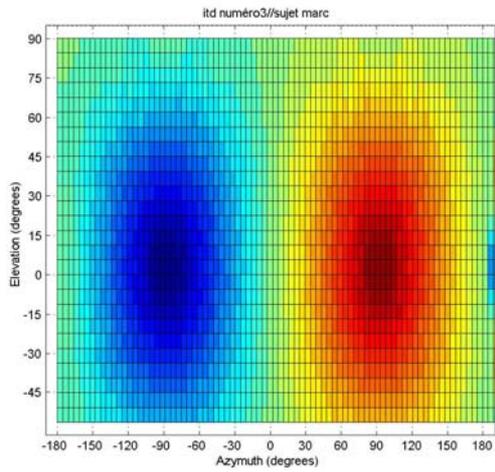
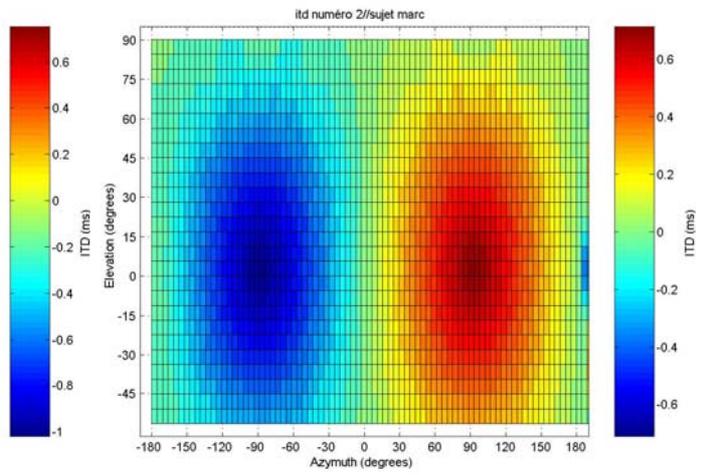
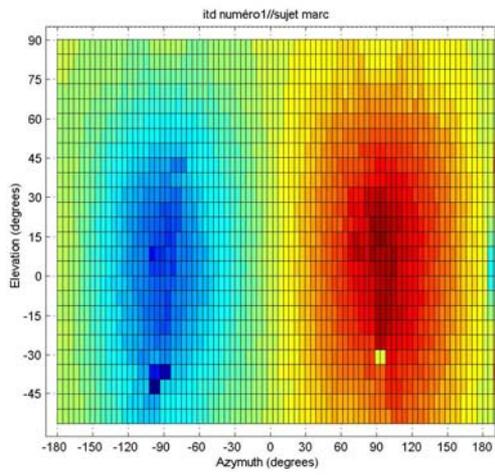
$X1 = 68,5$
$X2 = 115,5$
$X3 = 93$
$Ae = 85,9$
$Oy = 1,87$
$Oz = -30,19$

Comparaison des ITD sur les cônes de confusion Sujet Valérie



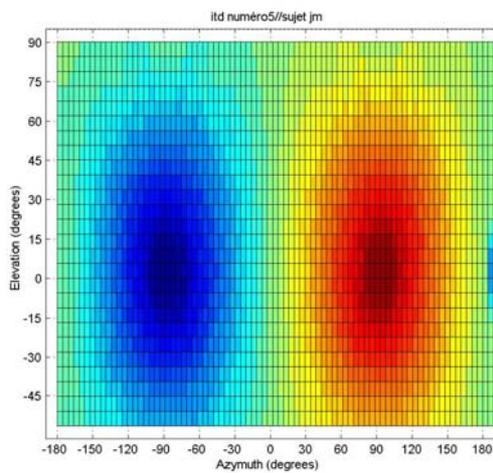
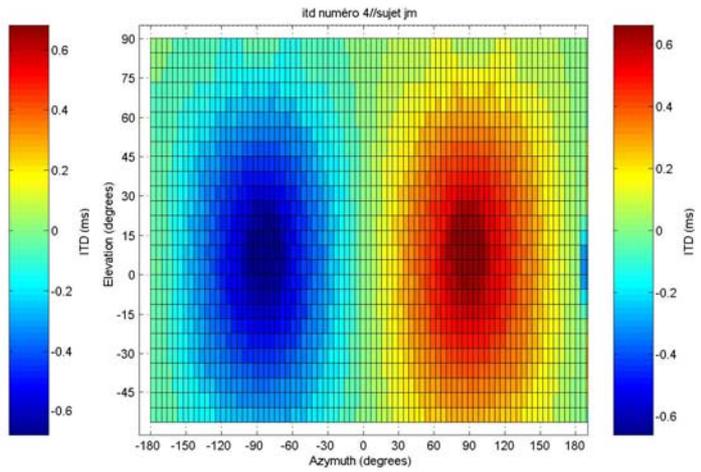
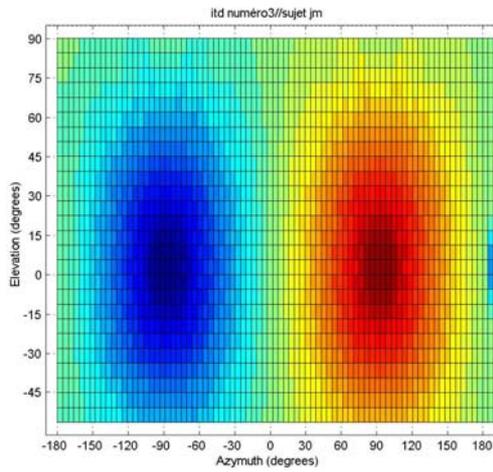
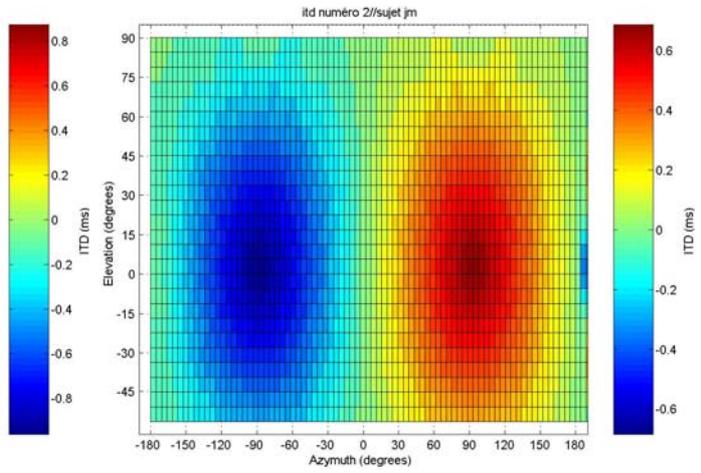
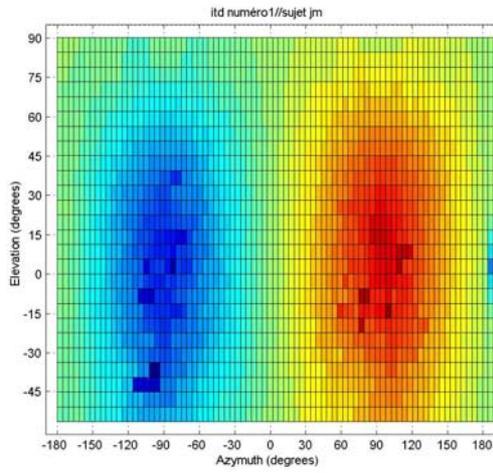
$X1 = 67$
$X2 = 110,4$
$X3 = 91,4$
$Ae = 84,7$
$Oy = 8,79$
$Oz = -3$

Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Marc

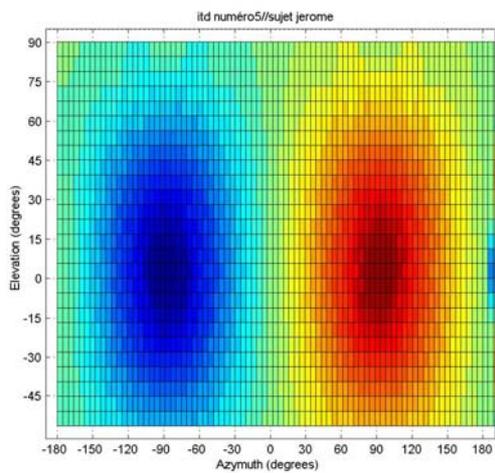
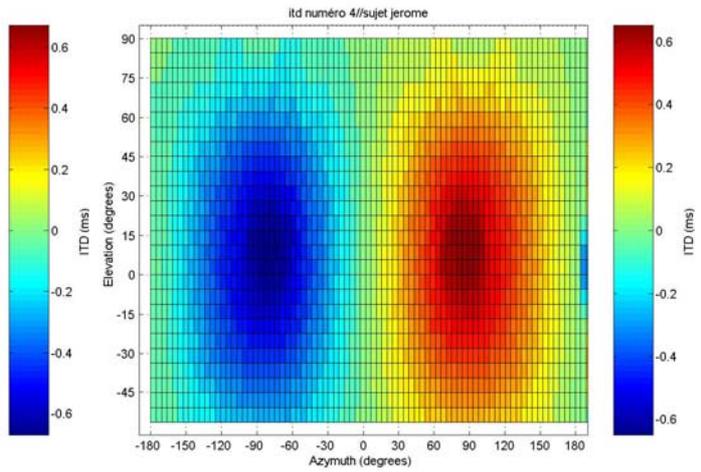
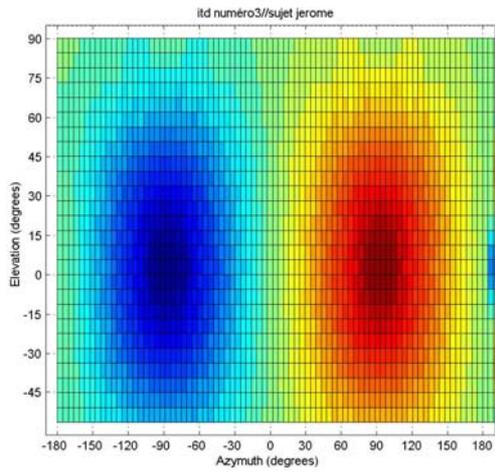
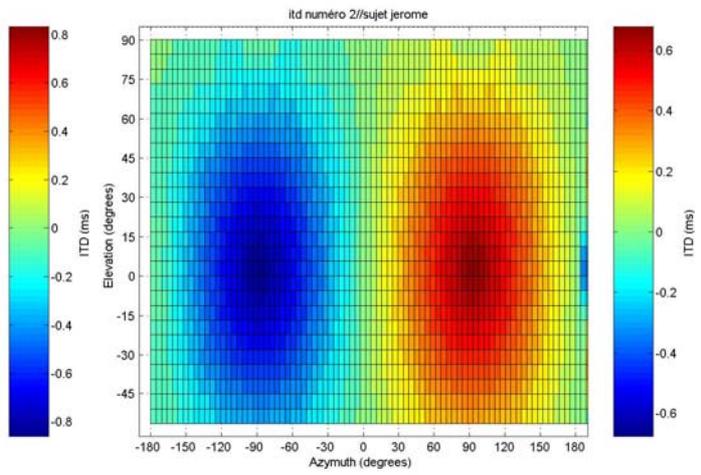
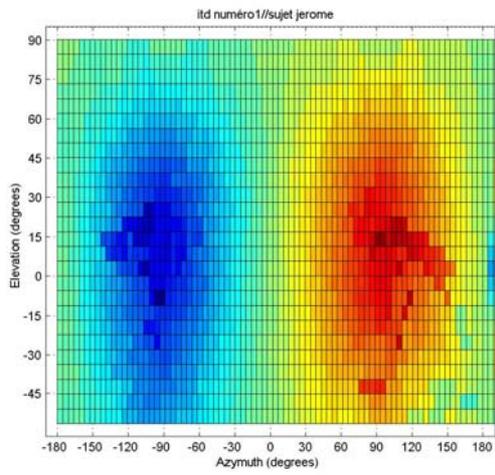


Comparaison des ITD (plan azimut / élévation)

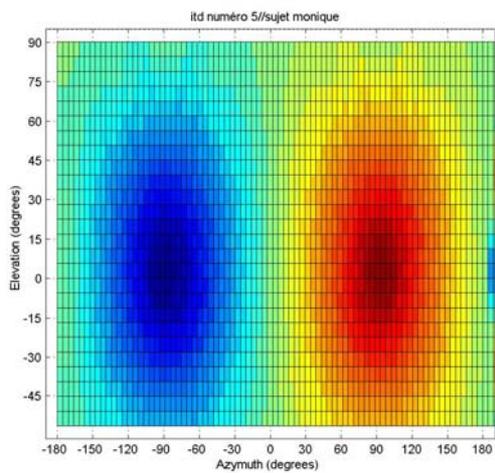
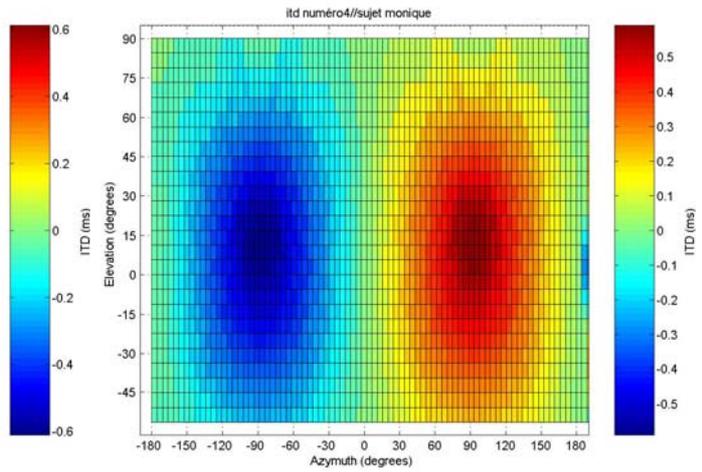
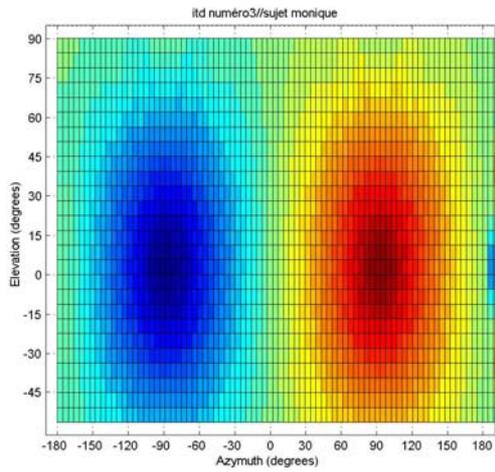
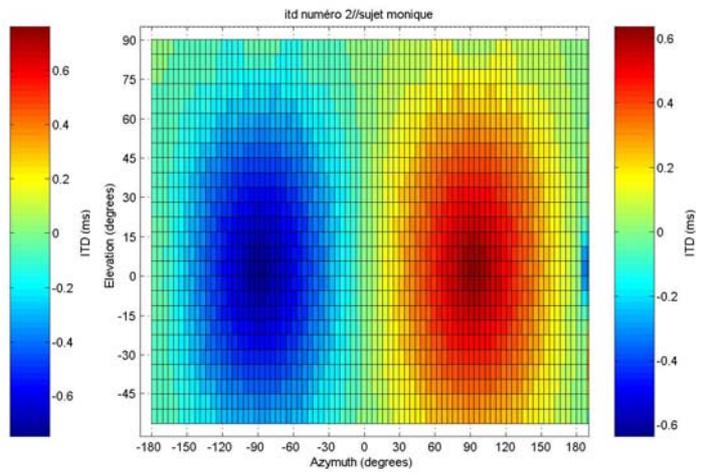
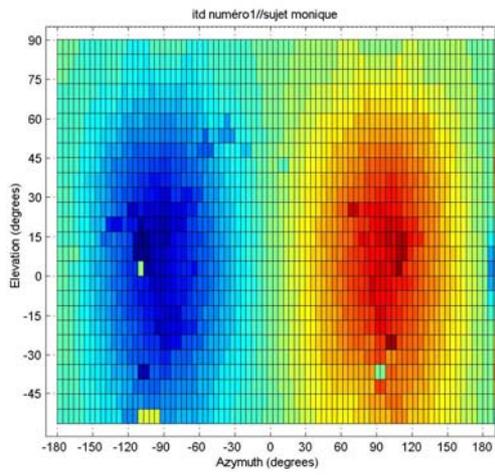
Sujet Jean-Marie



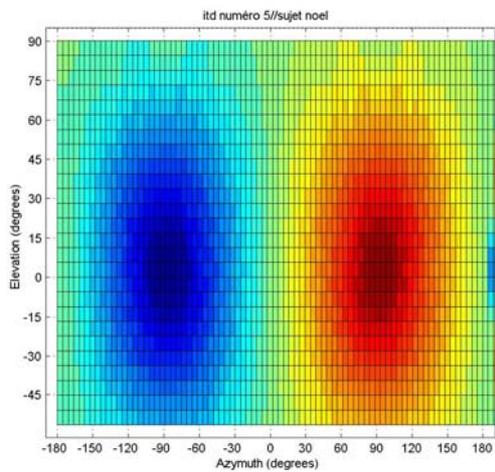
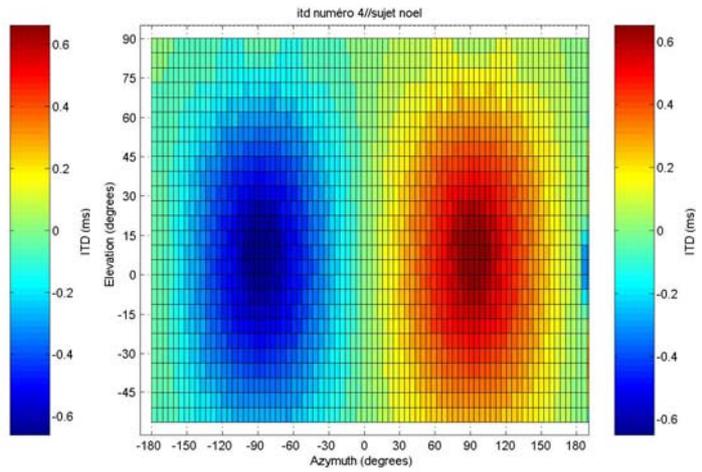
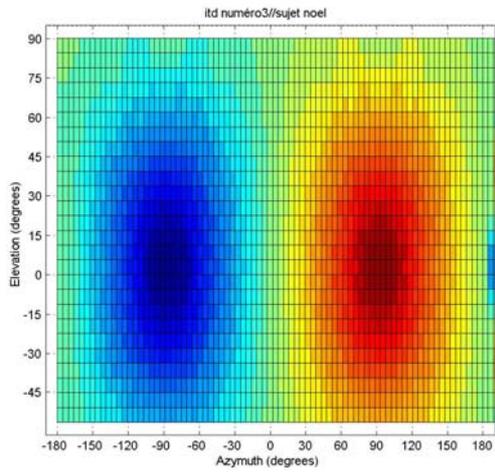
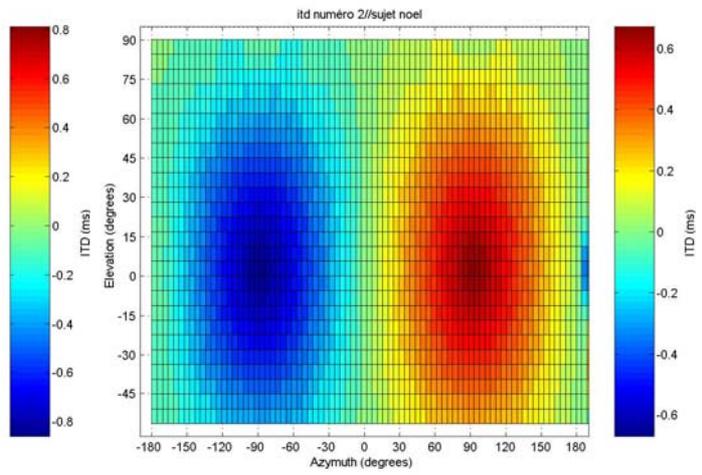
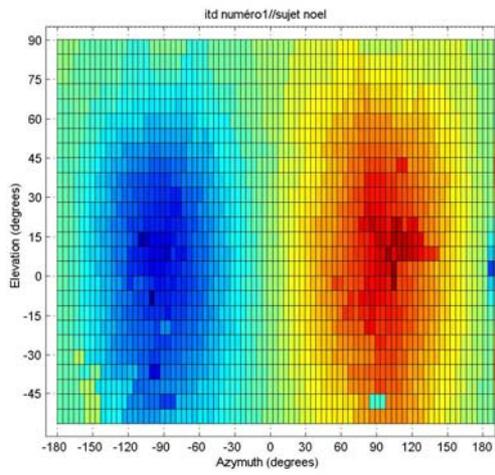
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Jerome



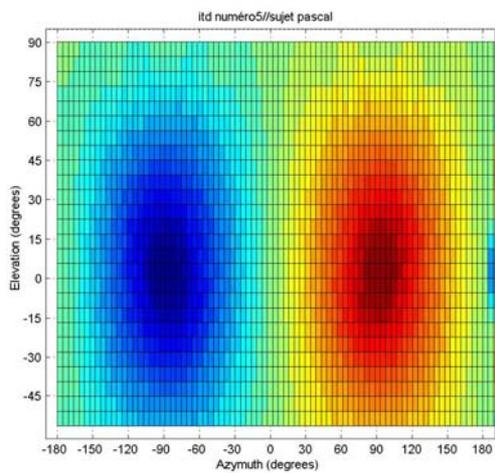
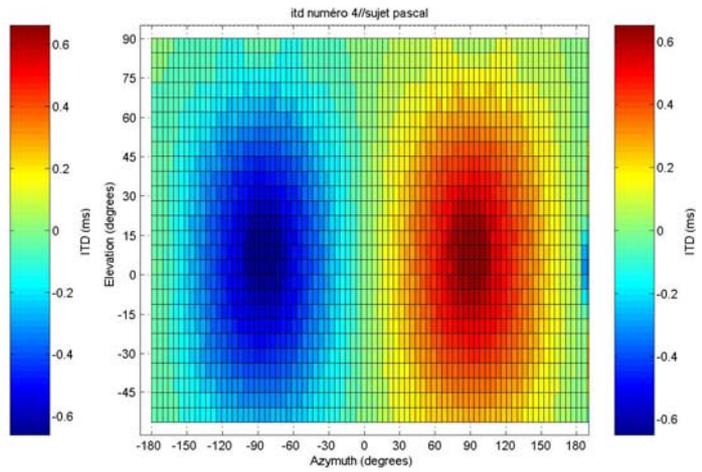
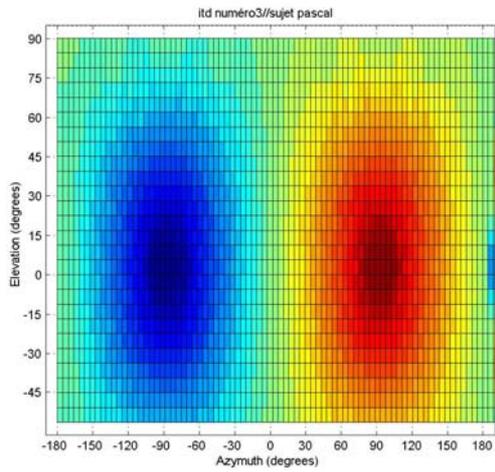
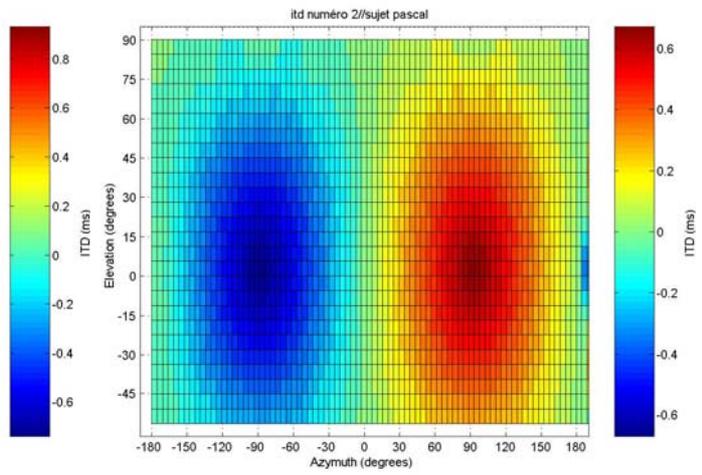
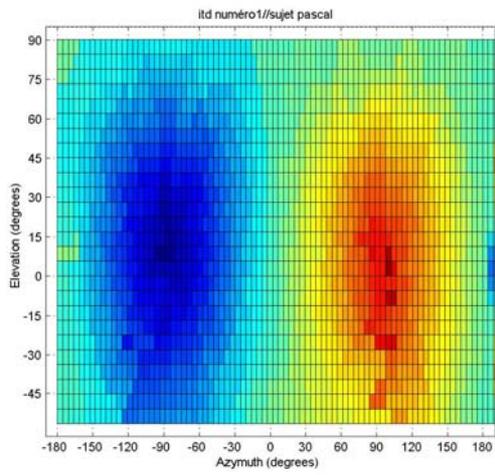
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Monique



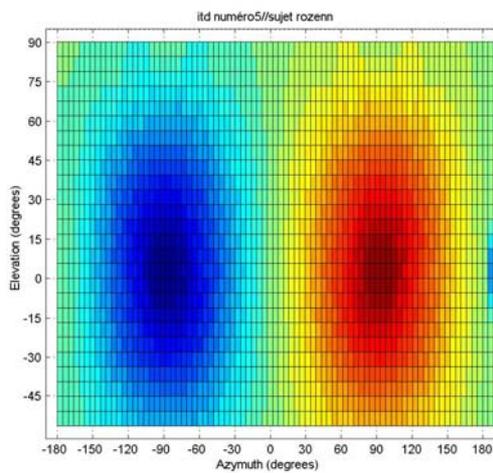
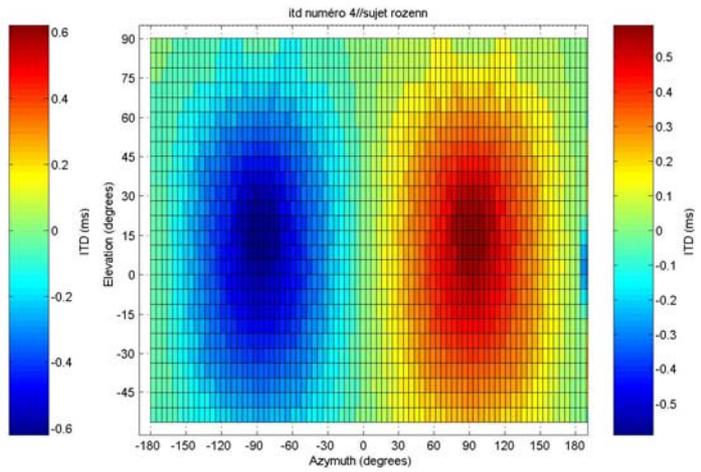
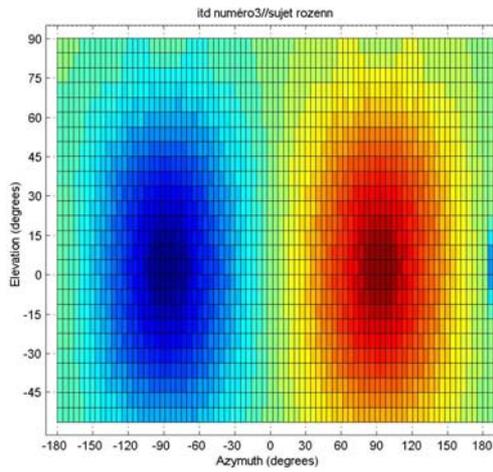
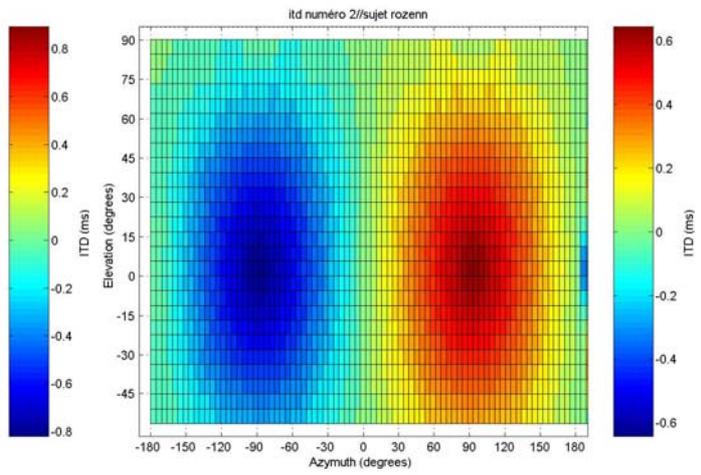
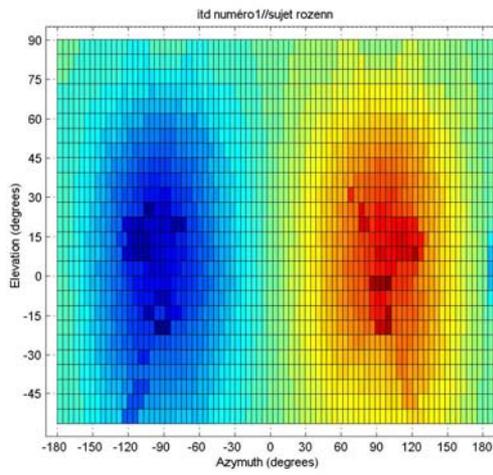
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Noel



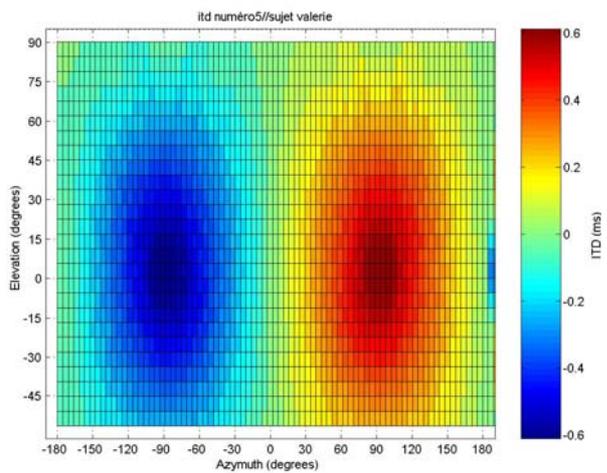
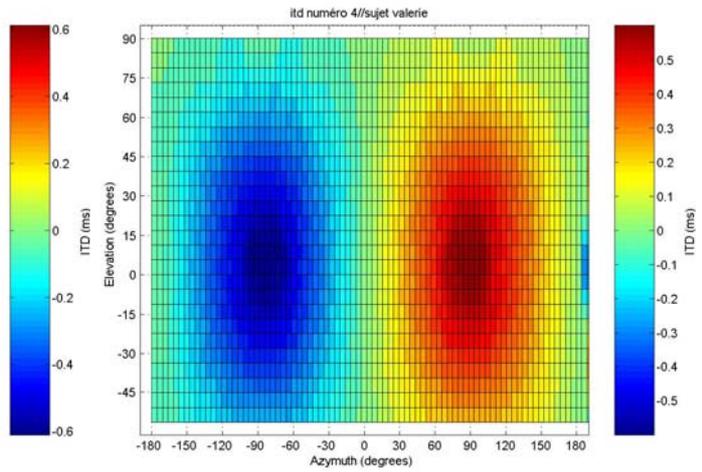
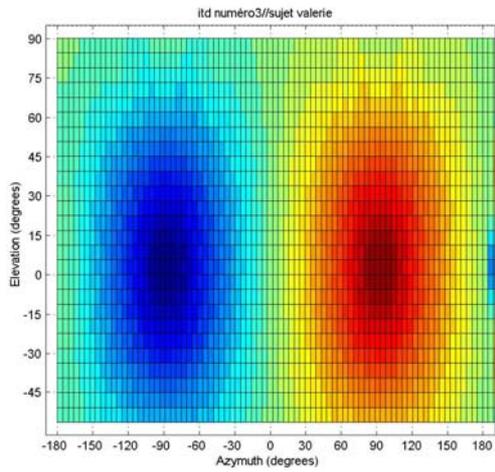
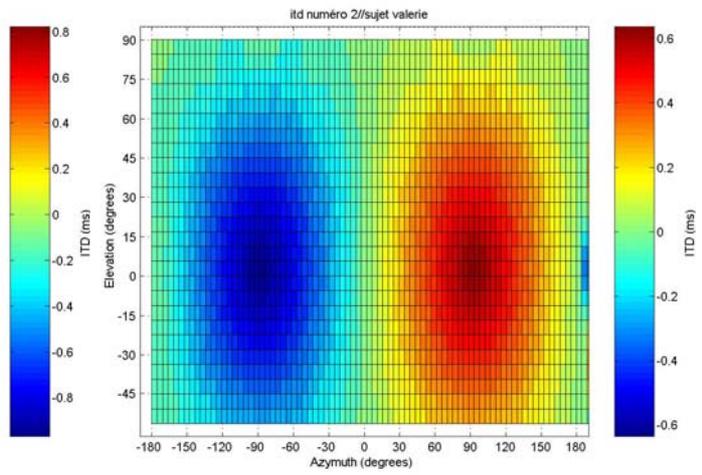
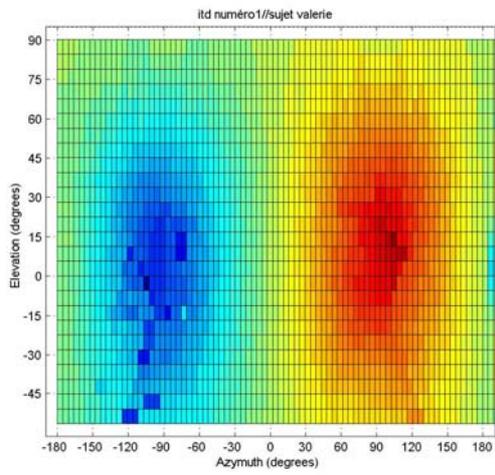
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Pascal



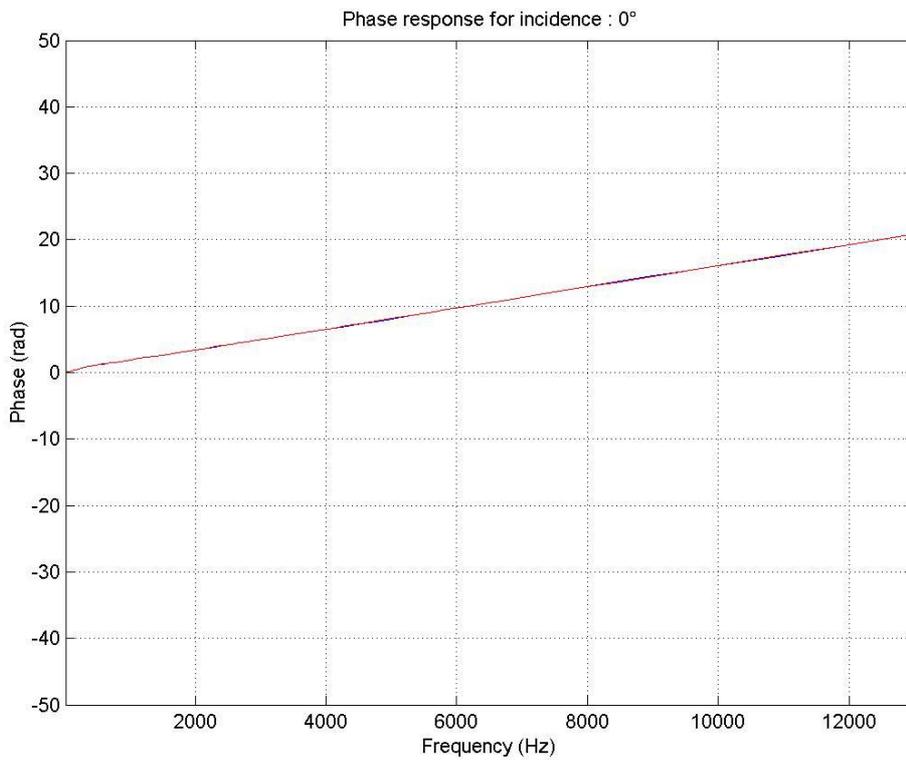
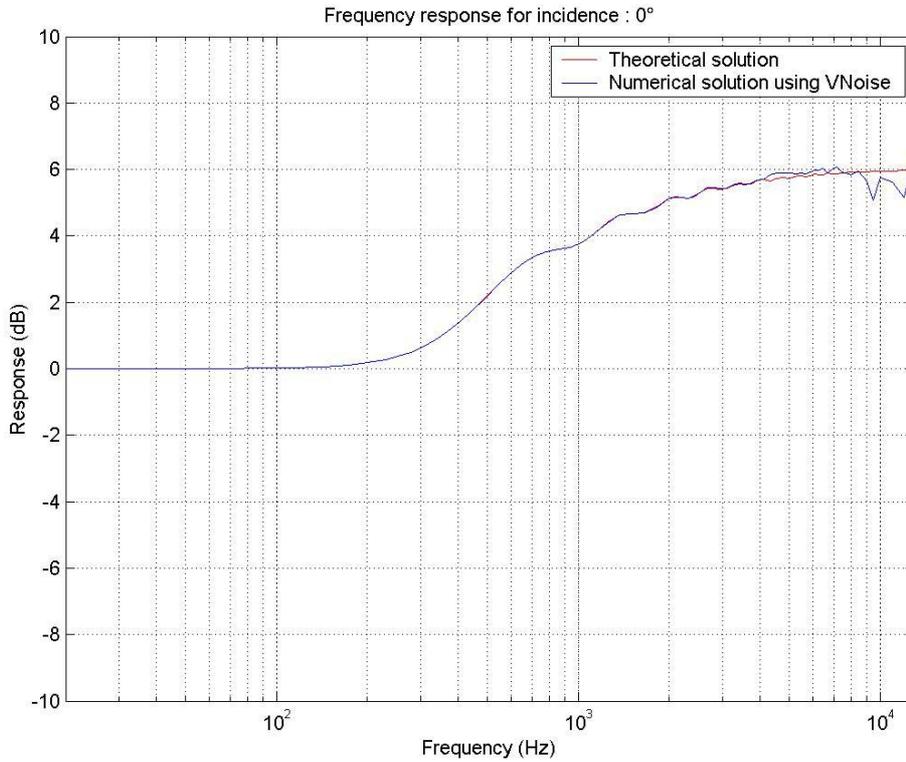
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Rozenn

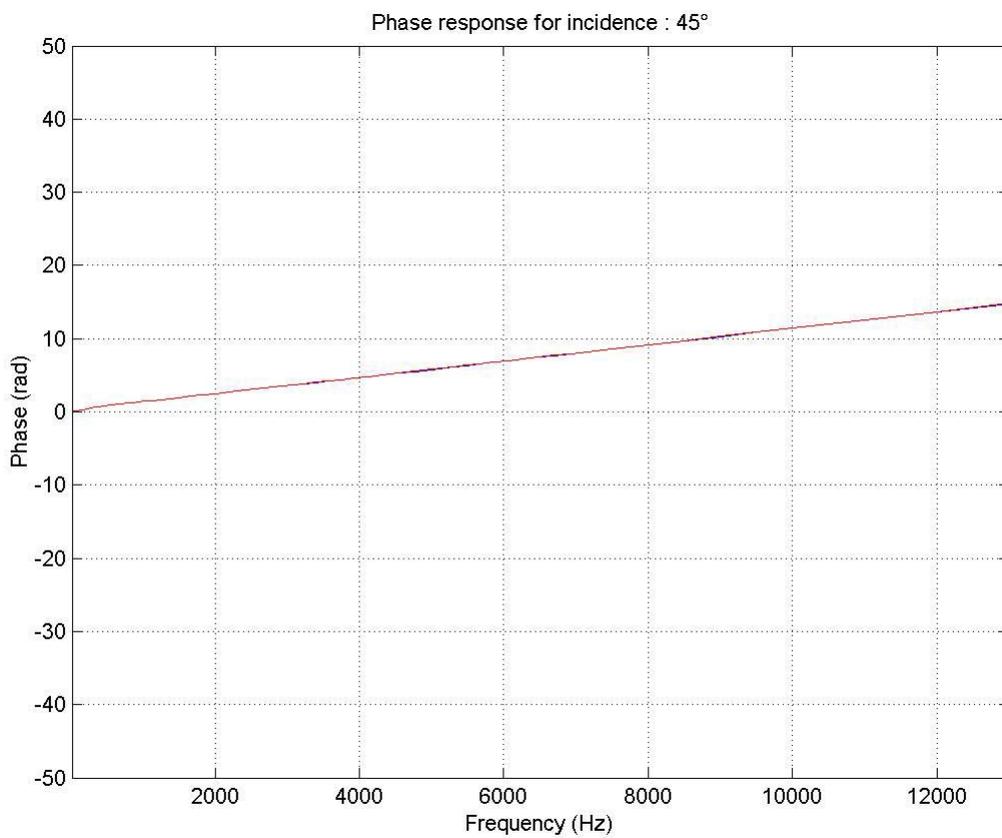
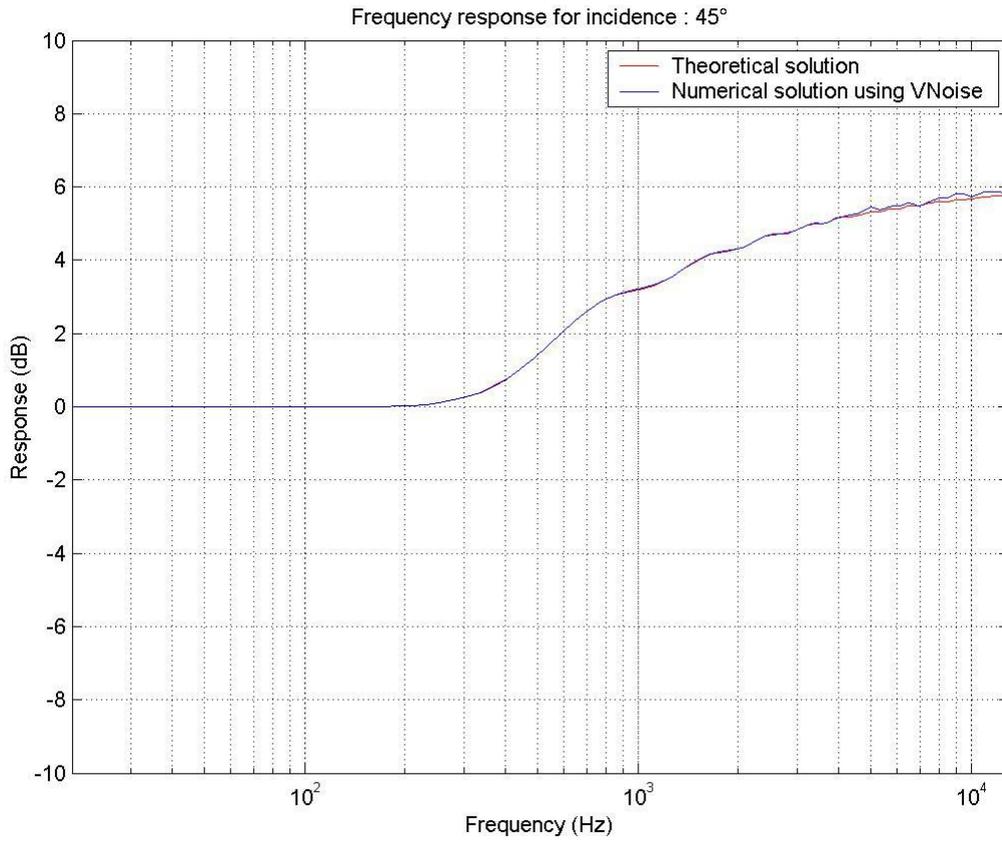


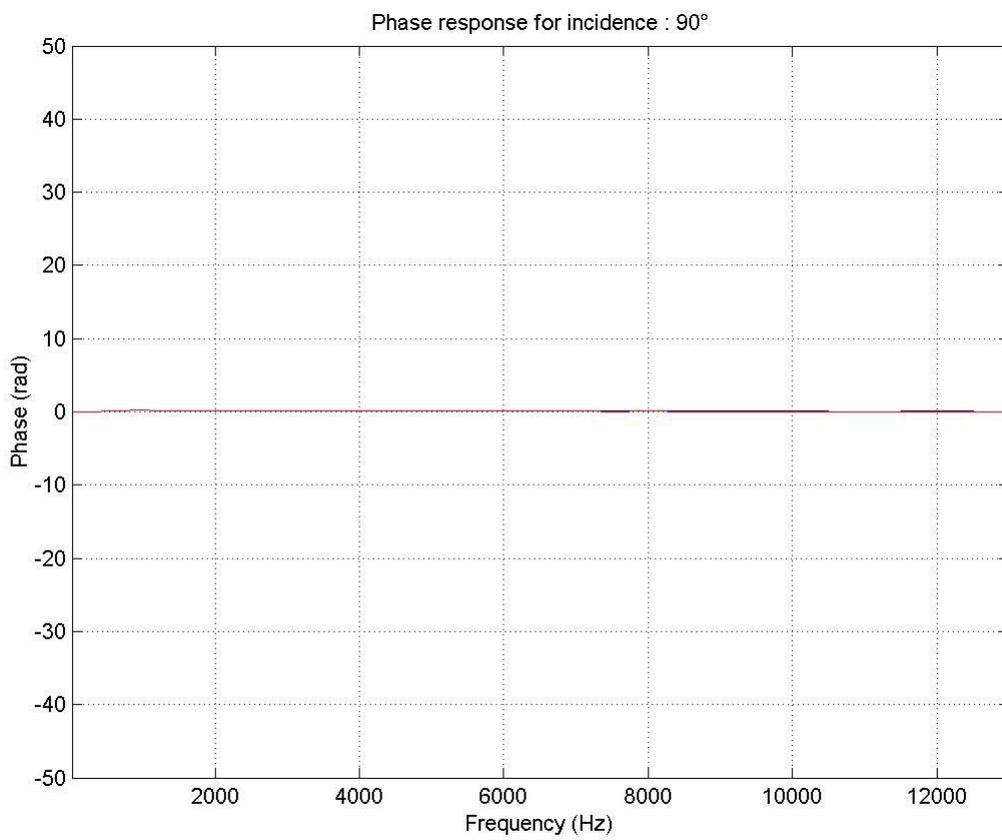
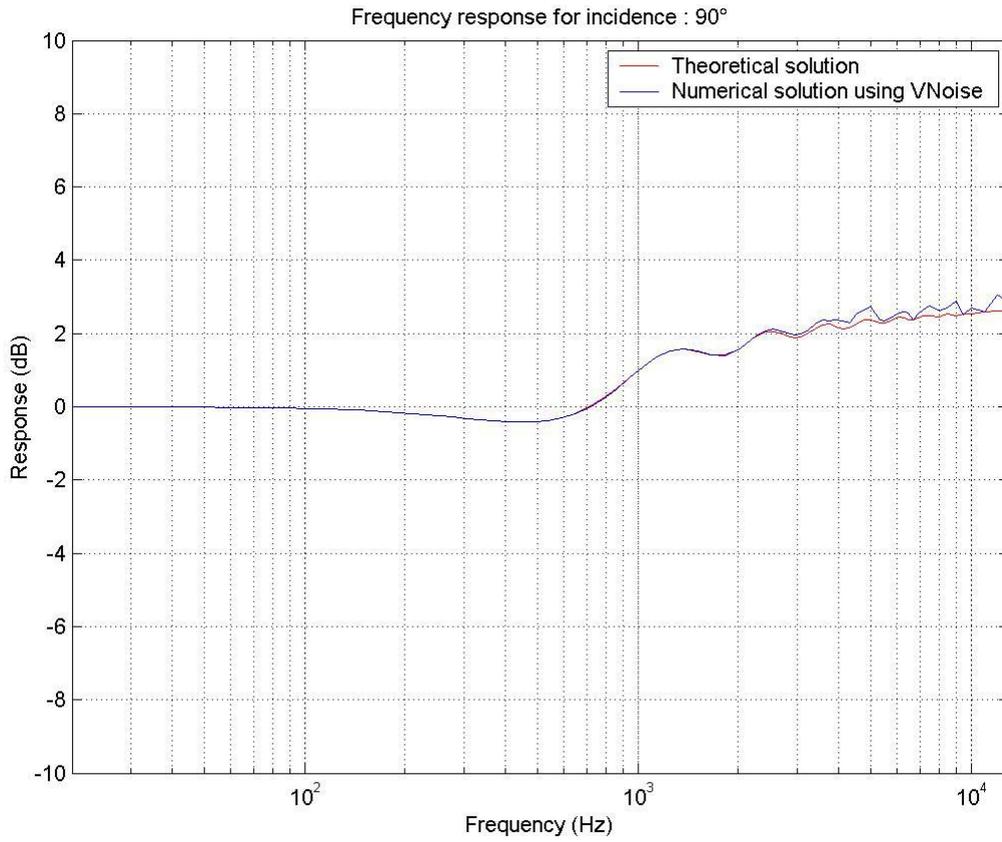
Comparaison des ITD (plan azimut / élévation) Sujet Valérie

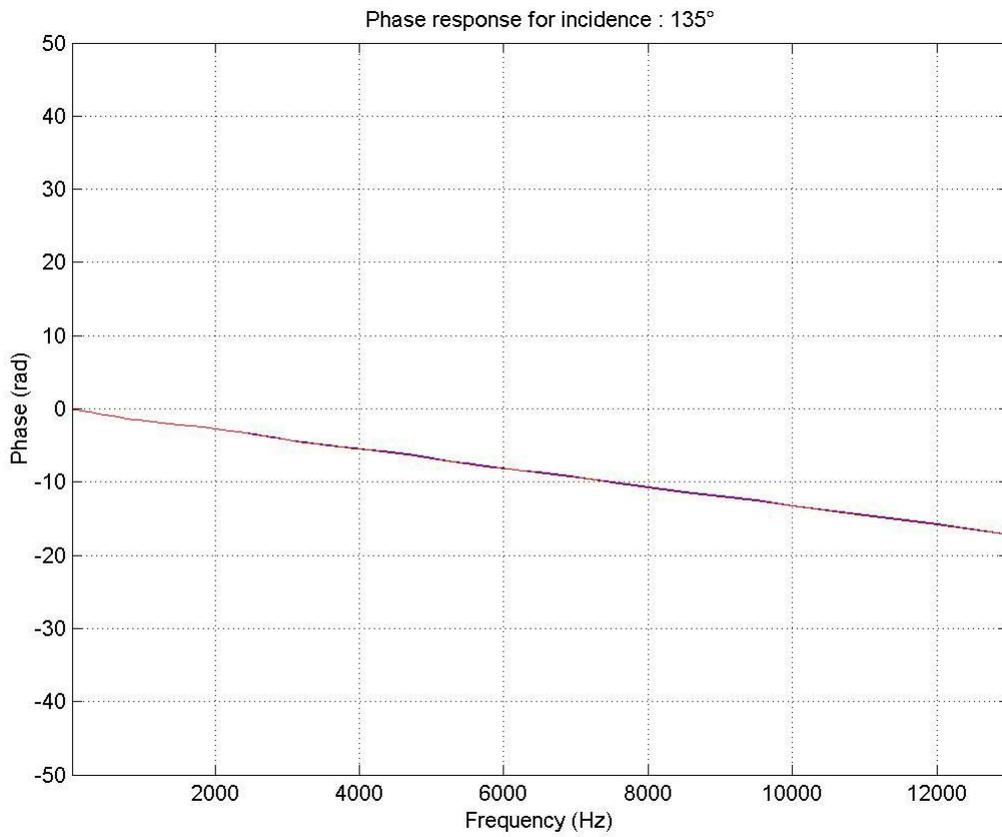
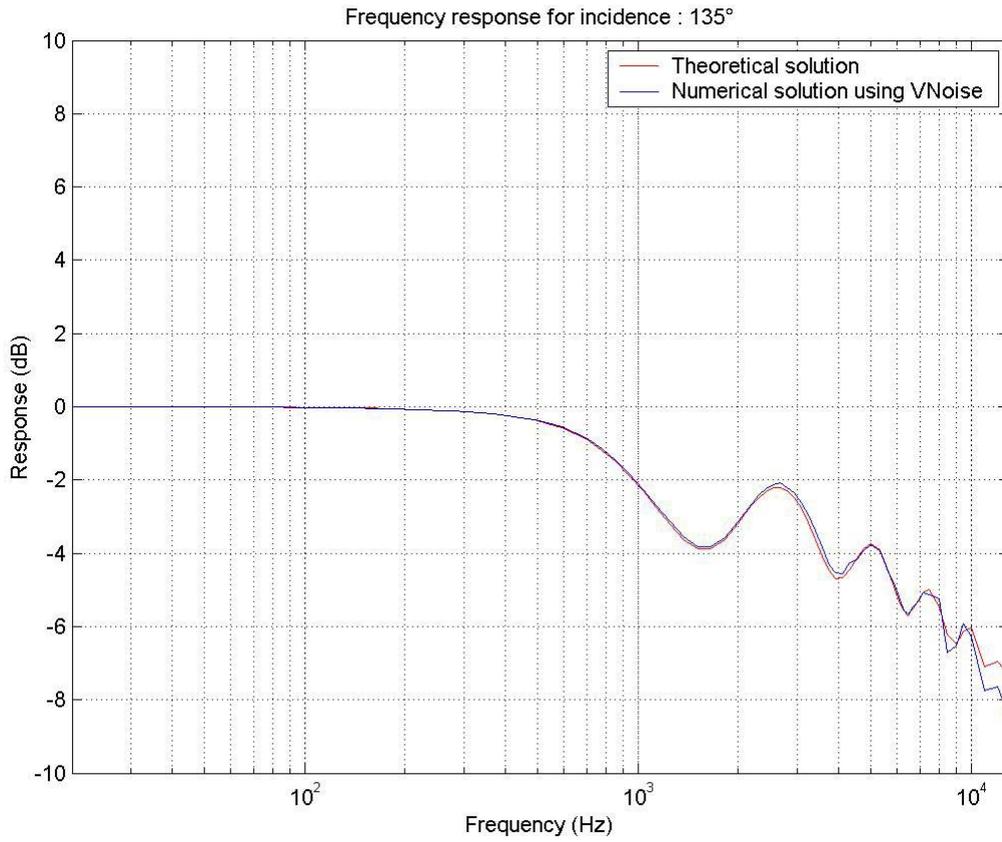


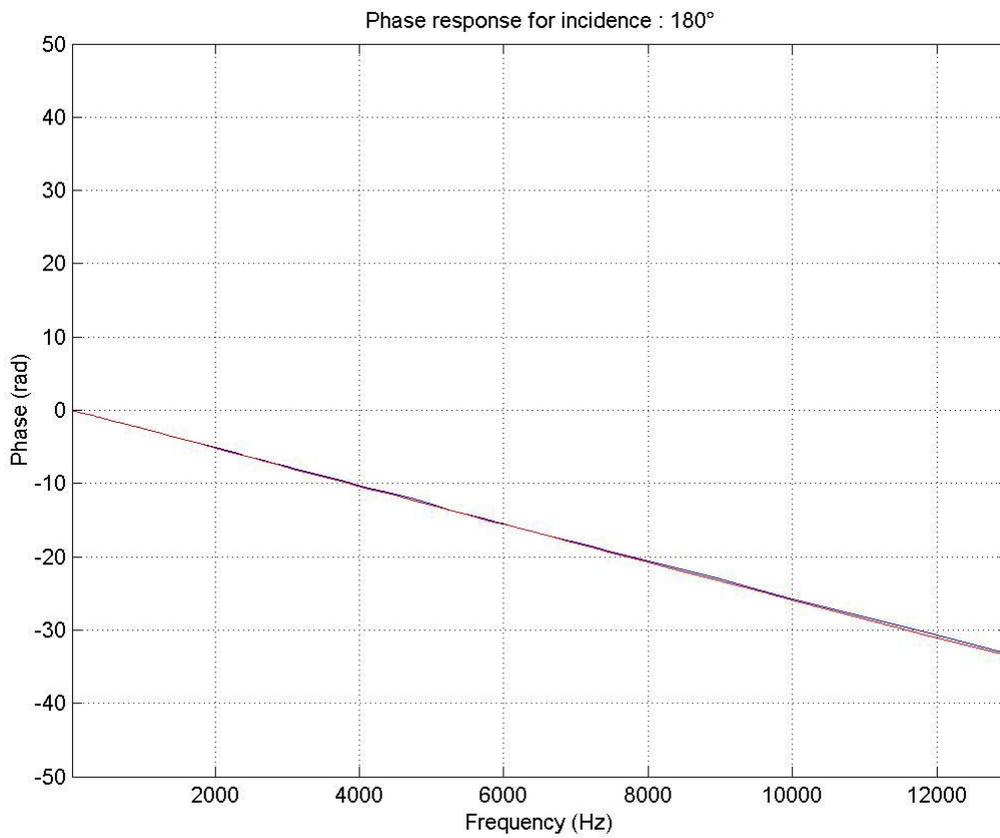
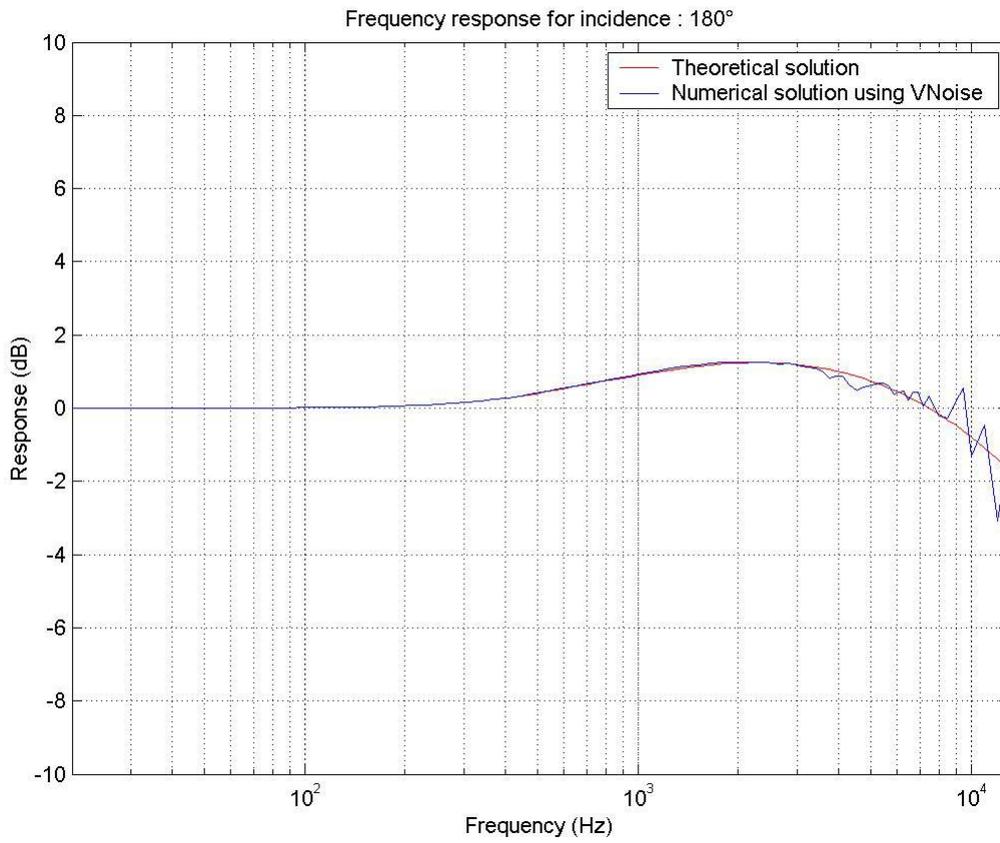
Annexe 3 : comparaison entre résultats analytiques et simulation VNoise de la diffraction d'une onde plane sur une sphère rigide












```
    itdmat_jerome(:,col)= itd;
case 'marc'
    itdmat_marc(:,col)= itd;
case 'monique'
    itdmat_monique(:,col)= itd;
case 'noel'
    itdmat_noel(:,col)= itd;
case 'pascal'
    itdmat_pascal(:,col)= itd;
case 'rozenn'
    itdmat_rozenn(:,col)= itd;
case 'valerie'
    itdmat_valerie(:,col)= itd;
otherwise
    disp(' :o( nom inconnu. Veuillez rentrer un nom parmi les suivants : jm jerome marc monique noel pascal rozenn valerie')
    break;
end
```

```
disp(['itd sauvé dans la matrice itdmat_' sujet ' dans itd_data.mat']);
clear sujet itd col nomfich jj phase module i fmin fmax freq freq2 ne un pha fe ;%HRTF Hexcl Hexcr HI Hr ephl ephr;
save itd_data.mat;
```

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier toute l'équipe SON 3D pour son accueil chaleureux et surtout Jean-Marie Pernaux, Rozenn Nicol et Jérôme Daniel pour leurs conseils et leur aide précieuse.

Je suis également reconnaissant à Brian Katz de l'équipe Acoustique des Salles à l'Ircam, pour m'avoir donné de judicieux conseils sur la simulation par éléments finis.

Enfin, je tiens à remercier Paolo di Francescantonio, président de STS Software, d'avoir répondu à toutes mes questions et d'avoir inclus des fonctionnalités personnalisées dans VNoise, qui m'ont été très utiles et m'ont permis de gagner un temps précieux.