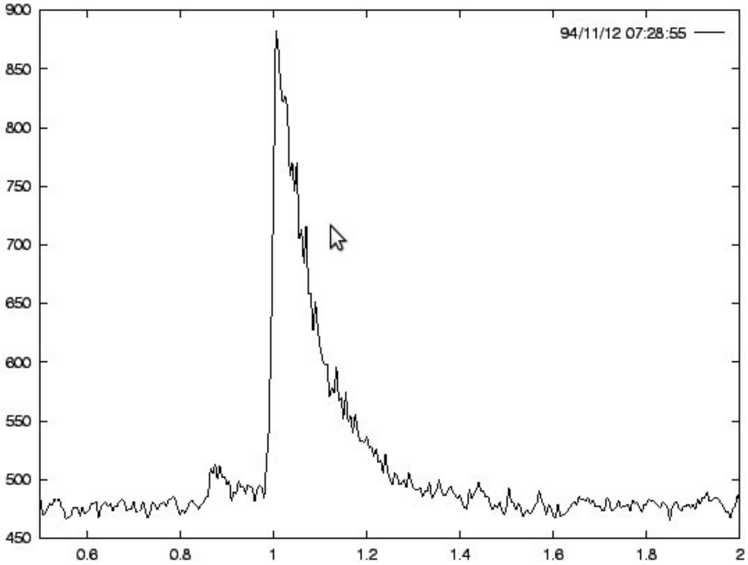
Etude du profil d'un écho underdense

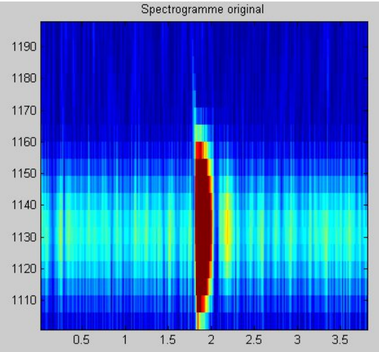
Profil théorique d'un écho underdense. (www.imo.net)



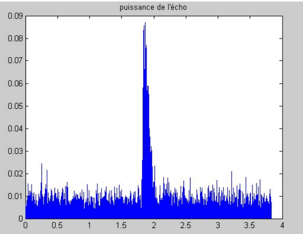
Exemple :

`RAD_BEDOUR_20111201_0000_BEOTTI_SYS001_0m06.wav`

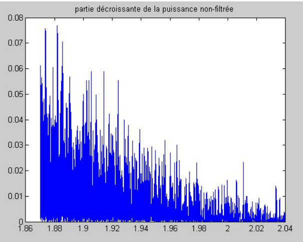
Voici le spectrogramme du signal.



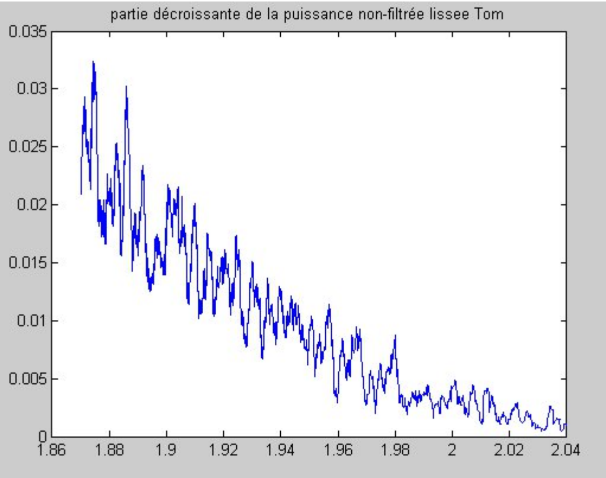
Voici le signal



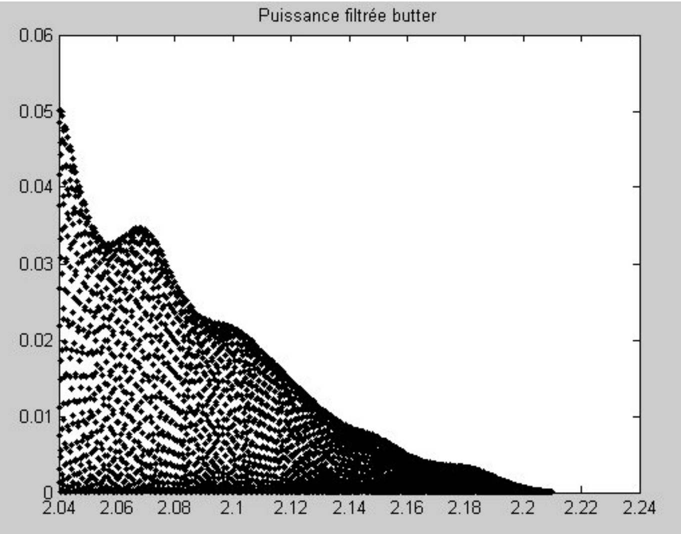
La partie décroissante est la suivante : on est obligé de traiter le profil.



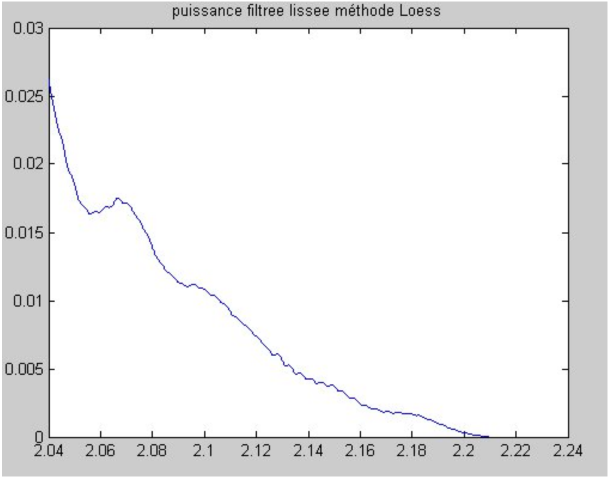
Avec le filtre ("lissage") proposé par Tom (moyenne glissante sur 41 échantillons), on obtient :



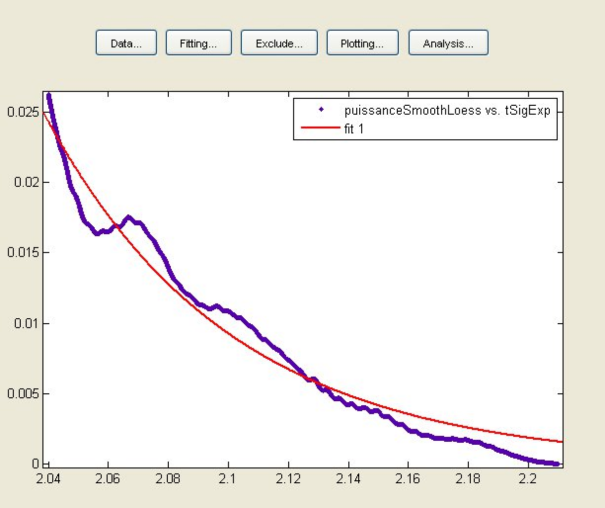
Ce filtrage n'est pas suffisant.
Si on utilise un filtre avec la bande passante la plus étroite, on obtient le signal suivant :



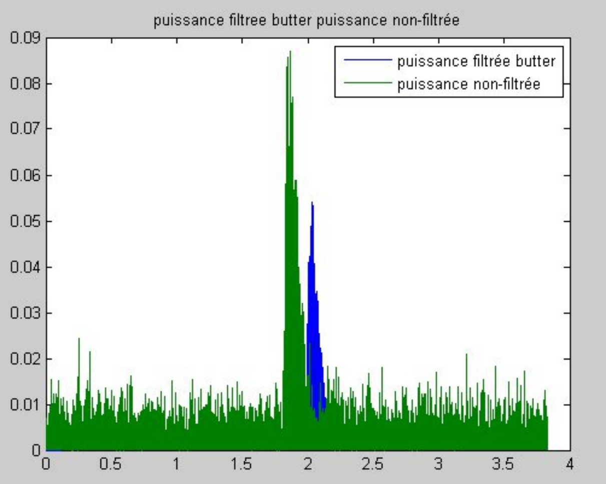
En lissant on obtient



On peut approximer ce profil par une exponentielle de type $y = Ae^{-bt}$ ou $y = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$.
On obtient $\tau = 62.3$ms.

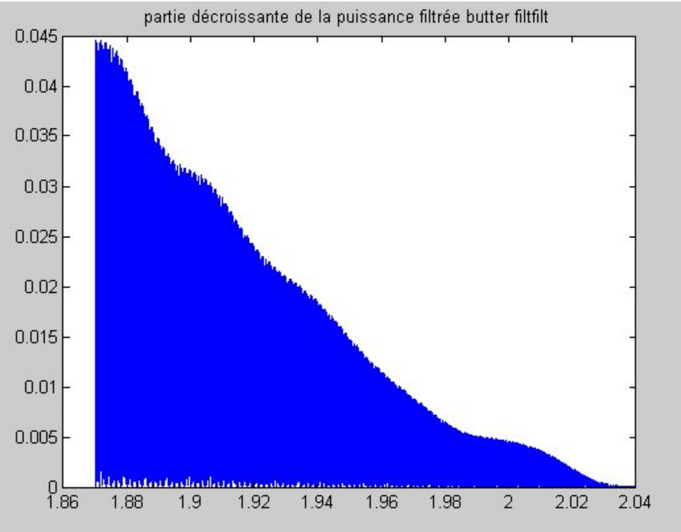


Problème : le filtre choisi est d'ordre élevé et induit une distorsion de phase importante d'où un retard et une déformation du profil.
Si on visualise la puissance non-filtrée et la puissance filtrée sur un même graphique, on obtient.

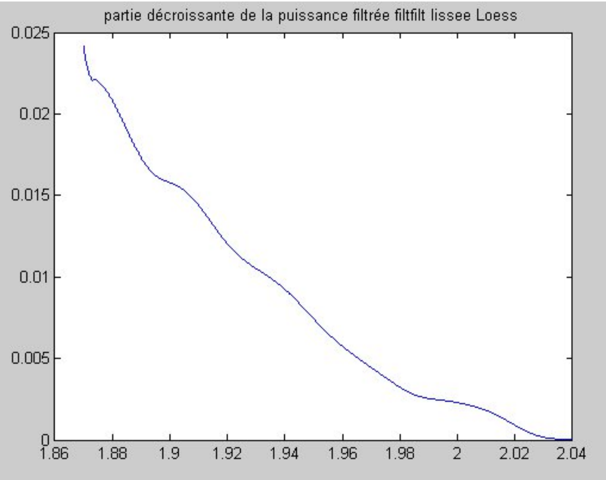


Suggestion, pour filtrer le signal sans le déformer, il vaut mieux utiliser un filtre **FIR** (filtre à réponse impulsionnelle finie, **filtre équiripple** par exemple) qui possède une phase linéaire.
Ce type de filtre induisent un **retard mais pas de distorsion de phase**.
On pourrait aussi utiliser un filtre **IIR** (filtre à réponse impulsionnelle infinie, **filtre de Butterworth par exemple) mais en filtrant avec l'instruction filtflit** plutôt que l'instruction `filter`.
Cette méthode consiste essentiellement à filtrer le signal dans un sens puis dans l'autre sens.
De cette manière il n'y aura théoriquement **ni retard ni distorsion de phase**.
Cette méthode est beaucoup plus rapide que l'utilisation d'un filtre équiripple qui demande beaucoup de calculs.

Le profil traité de cette façon (filtre de Butterworth avec filtfilt) devient.

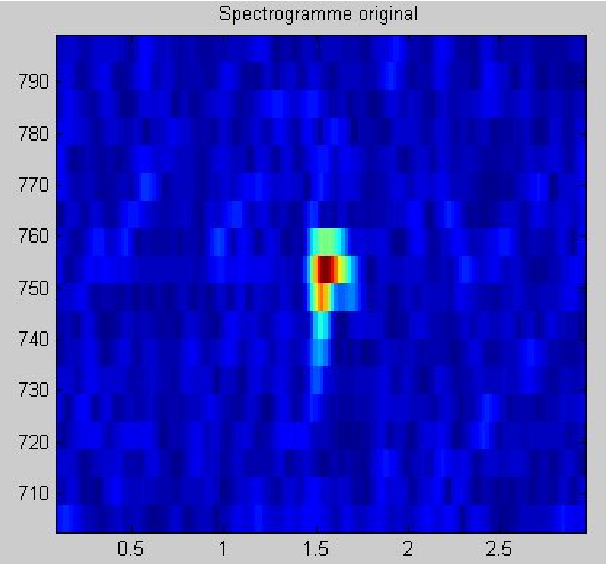


Avec “lissage” (moyenne glissante), on obtient le profil suivant :

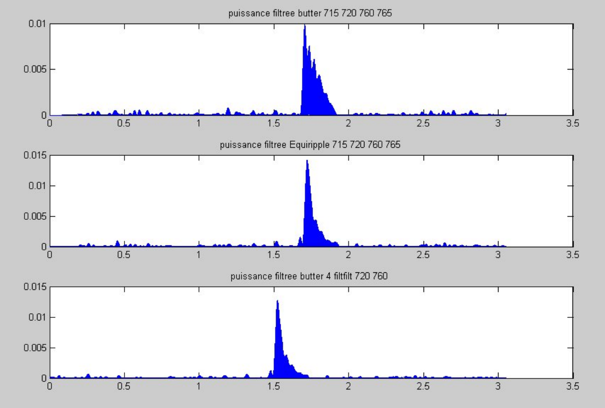


On obtient $\tau = 61.6ms$ au lieu de $\tau = 62.3ms$

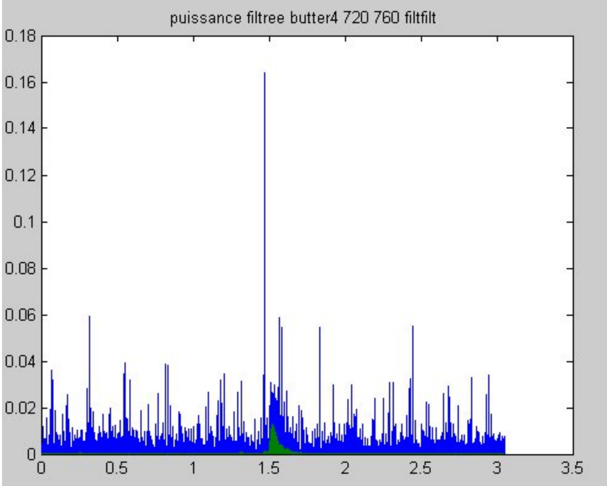
Autre exemple : 2009051505.wav.
Voici le spectrogramme correspondant :



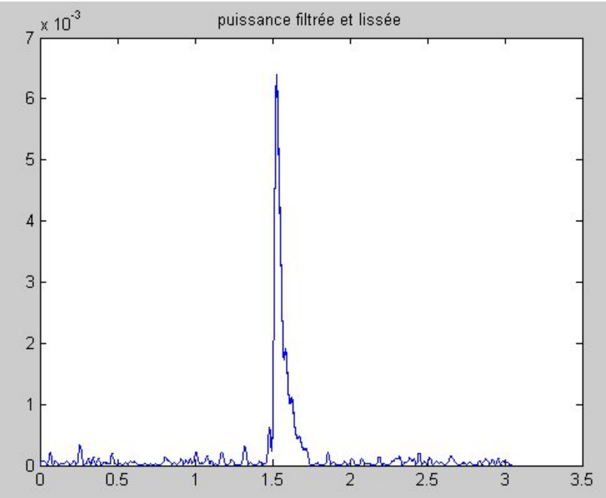
Voici la puissance filtrée avec un filtre de **Butterworth** : il y a **retard et déformation**.
La puissance filtrée avec un filtre **Equiripple** : il y a **retard mais pas de déformation**.
La puissance filtrée avec un filtre de **Butterworth** d'ordre4 mais avec l'instruction **filtfilt** : il n'y a **ni retard ni déformation**.



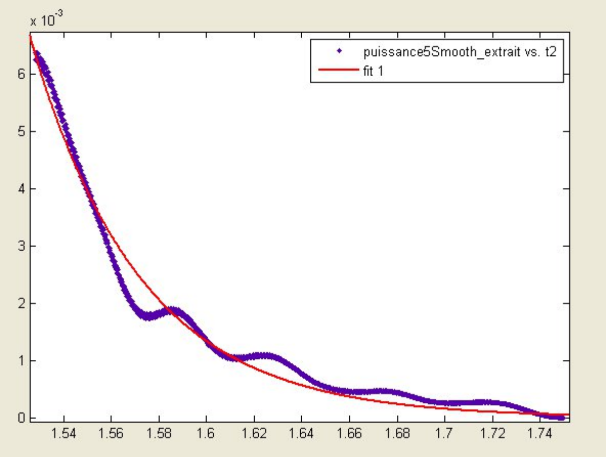
Si on compare la puissance non-filtrée et la puissance filtrée, on obtient



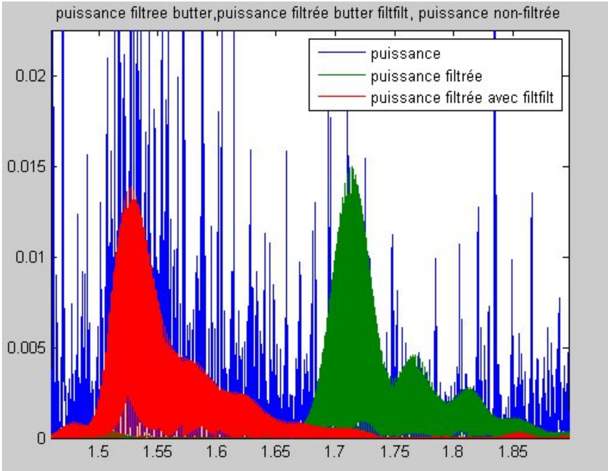
Si on lisse le signal filtré (par filtfilt) au moyen d'une moyenne glissante (41 échantillons) :



L'approximation de l'écho filtré par filtfilt puis lissé donne $\tau = 46.3ms$
Avec un filtre Equiripple, on obtient $\tau = 46.5ms$



Oscillations de Fresnel : il faut être prudent. Suivant la manière de filtrer, on peut avoir des oscillations différentes.



Méthode

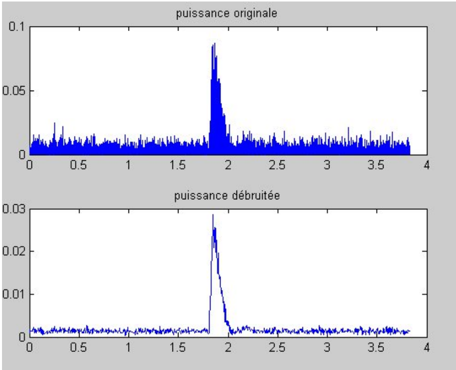
1. Isoler l'écho
2. Afficher son spectrogramme et déterminer les fréquences de coupure du filtre passe-bande.
3. Filtrer le signal avec un filtre FIR (equiripple, ...) ou en utilisant un filtre IIR (Butterworth, ...) et l'instruction `filfilt` plutôt que l'instruction `filter`
4. Lisser la puissance du signal filtré : par ex. au moyen d'une moyenne glissante de 41 éch.
5. Extraire la partie exponentielle décroissante.
6. Calculer le facteur de décroissance τ

Débruitage au moyen d'ondelettes de Daubechies

On obtient par exemple.

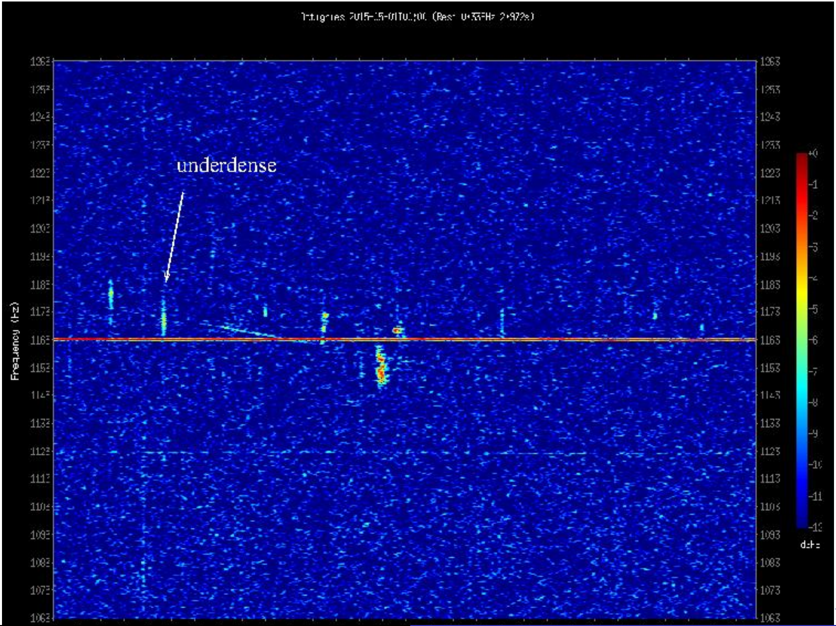
```
xd = wden(puissance,'heursure','s','one',7,'db9');
```

Si on reprend le premier exemple, on obtient $\tau = 67.9ms$ au lieu de $61.6ms$ obtenu par la méthode du filtrage

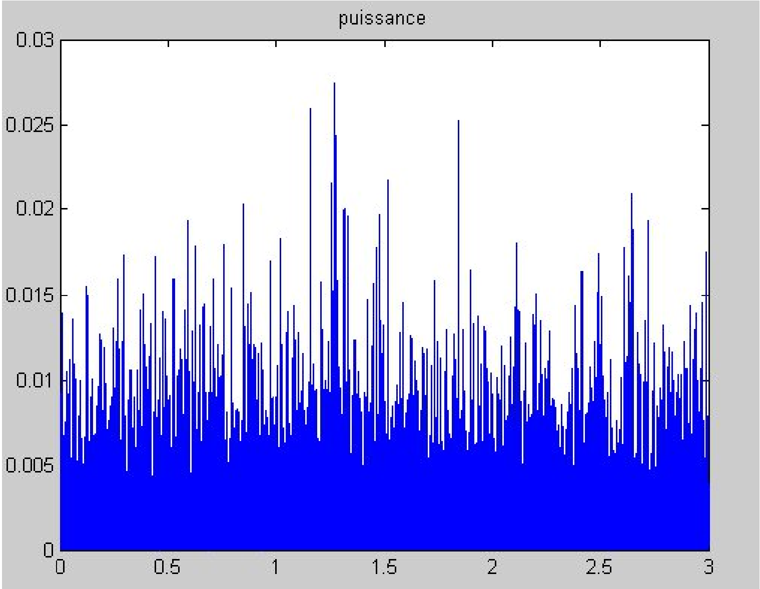


Cette méthode est de loin plus rapide car elle ne demande pas de calculer le spectrogramme ni de déterminer un gabarit de filtre.

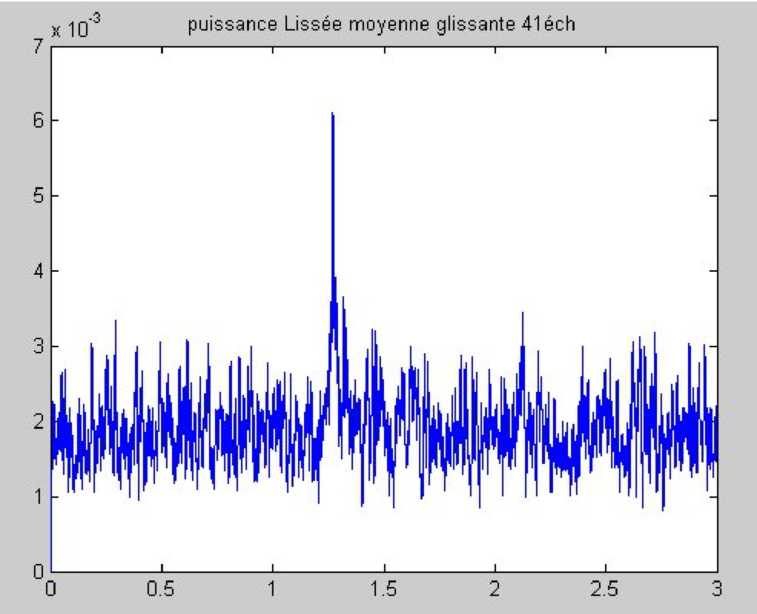
synthèse : RAD_BEDOUR_20150501_0000_BEOTTI_SYS001



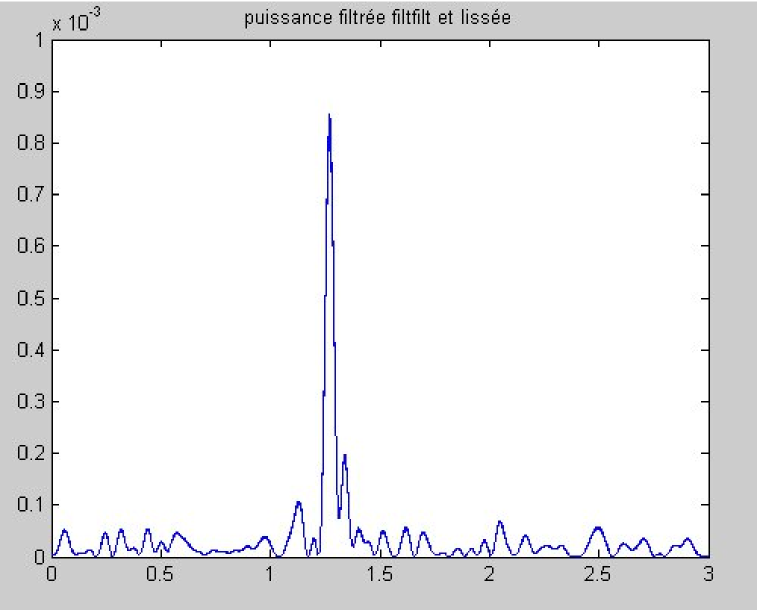
puissance de l'écho



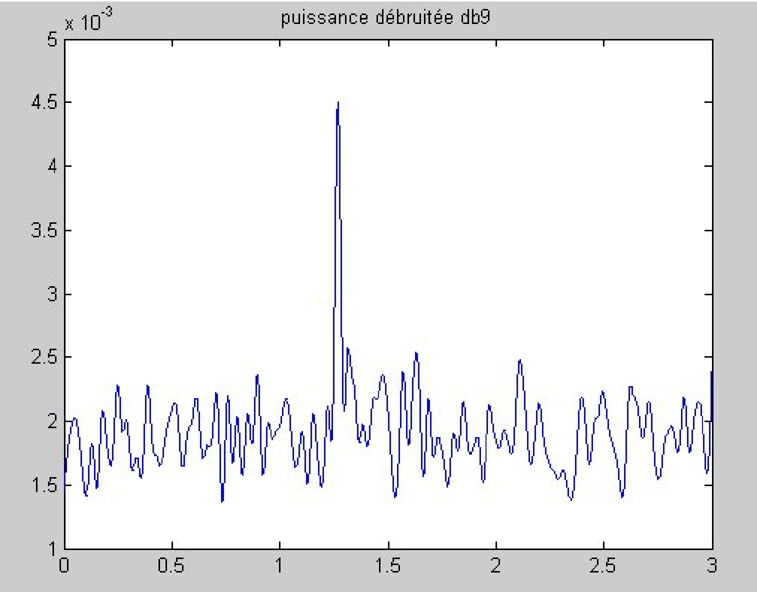
puissance lissée avec une moyenne glissante de 41échantillons.



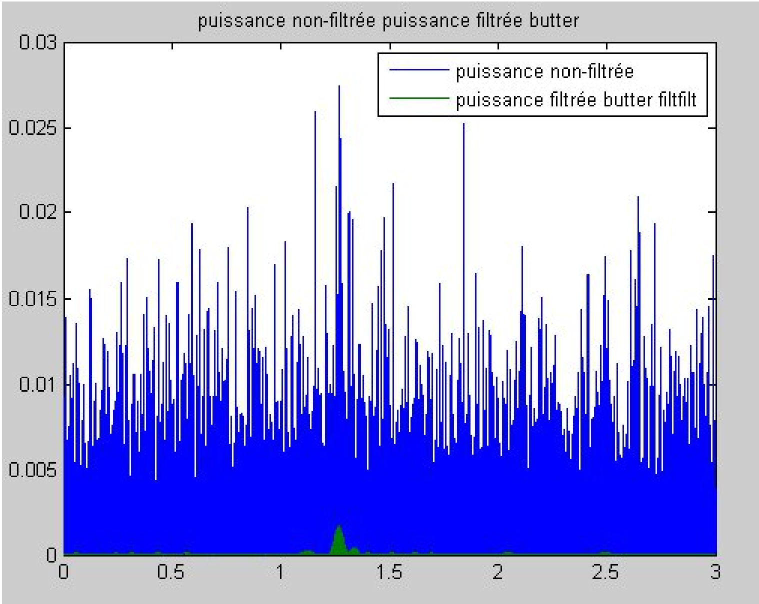
puissance filtréee (filtfilt) et lissée.



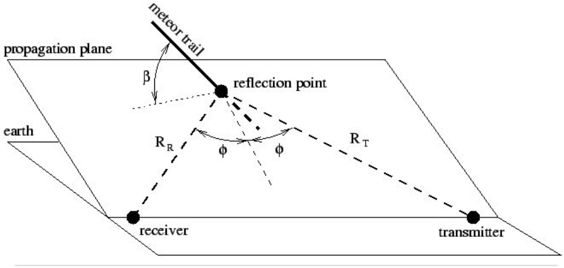
puissance débruitée niveau 7 db9.



puissance et puissance filtrée.



Avec la mesure de τ, si on connaît la hauteur h, on peut déduire l'angle φ qui est la moitié de l'angle sous lequel le point de réflexion spéculaire voit le segment Emetteur-Recepteur.



On utilise pour cela les formules (McKinley Meteor Science and Engineering p240) :

$$\tau = \frac{\lambda^2 sec^2\varphi}{32\pi^2 D_a}$$

où λ est la longueur d'onde de la balise et D_a est le coefficient ambipolaire de diffusion.

Le coefficient ambipolaire de diffusion varie avec la hauteur avec la relation suivante (Proceedings IMC 1993 Cis Verbeeck)

$$\log_{10} Da = 0.086h - 7.23$$

On peut aussi conclure que, puisque $\cos\varphi \geq 1$, τ n'est pas quelconque :

$$\tau \geq \frac{\lambda^2}{32\pi^2 D_a}$$

pour h=90km Da=3.2359 m^2/s et $\tau \geq 35.2ms$
pour h=95km Da=8.7096 m^2/s et $\tau \geq 13.1ms$

De plus, on peut calculer que, dans l'exemple précédent où $\tau = 61.6ms$
pour h=95km Da=8.7096 m^2/s et $\varphi = 62.6^\circ$
pour h=90km Da=3.2359 m^2/s et $\varphi = 40.9^\circ$
pour h=87.5km Da=1.9724 m^2/s et $\varphi = 14.4^\circ$
pour h=87km Da=1.7865 m^2/s et $cos\varphi = 1.0177$ ce qui est impossible

Problème : suivant une suggestion de Felix Verbelen, pour une réflexion se produisant à la verticale de la balise :

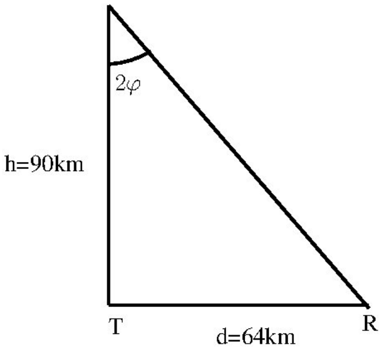
$Arctg 2\varphi = \frac{d}{h}$ avec d=64km pour la station BEOTTI.

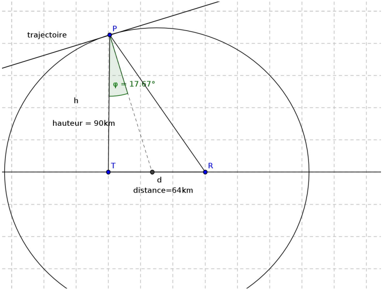
Pour h=90km $\varphi = 17.7°$

Pour h=95km $\varphi = 17°$

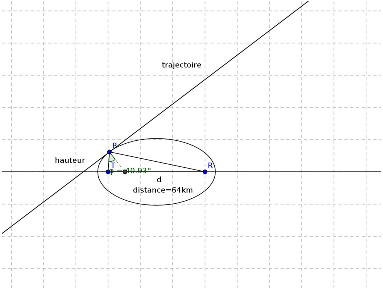
Les φ calculés par cette géométrie diffèrent très peu en fonction de la hauteur h.

De plus, il faudra une hauteur très faible pour avoir des angles de 41° à 62.6°





$\varphi = 17.7^{\circ}$ $h = 90km$



$\varphi = 41^{\circ}$ $h = 15km$ environ