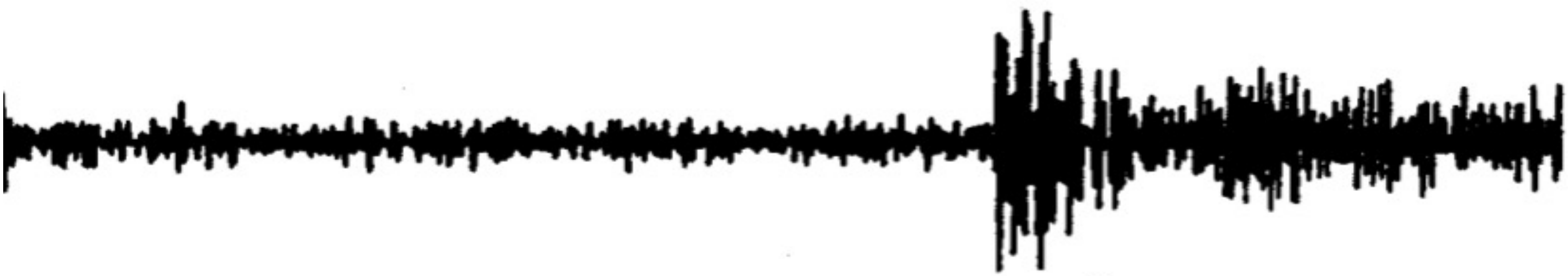
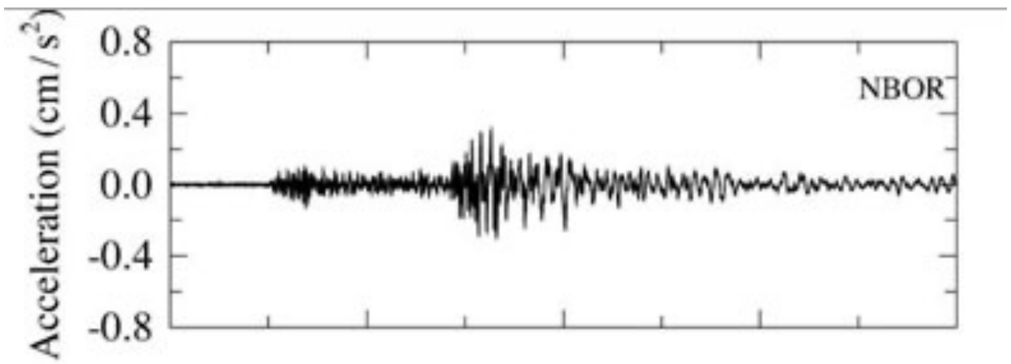
Traitement du signal



Signal?



- Fonction d'une ou plusieurs variables
- Quantité mesurable porteuse d'une information
- Un signal est donc la représentation d'une grandeur physique

Electrique, acoustique, sismique, température…

Traitemant su signal : séparer le message d'un bruit

- Quel est le message recherché?
- Quel est le bruit à éliminer?

==> Considérations à priori sur la problématique / la question pour un traitement des données efficaces et pertinents

Signal?

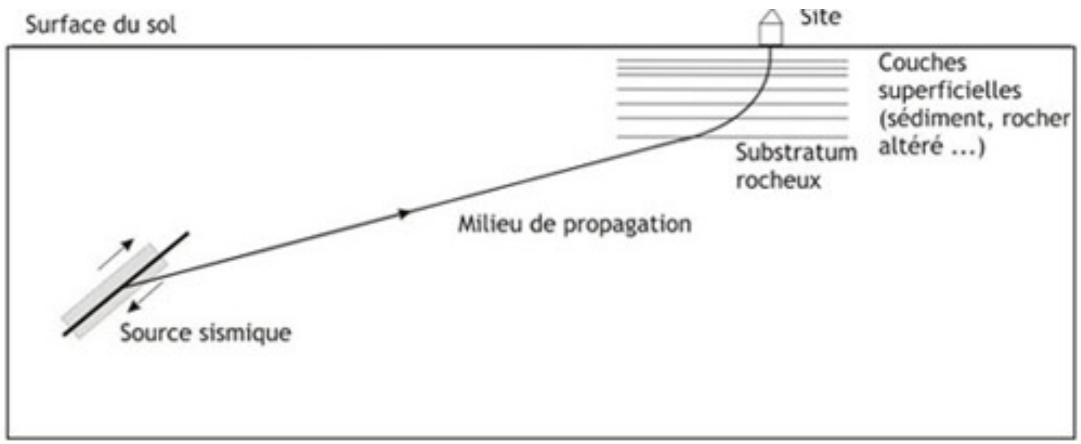
<u>Traitement du signal</u> : séparer le message d'un bruit

Quel est le message recherché? ROUTES/FAILLES

==> Avoir la méthode de traitement du signal adaptée pour faire ressortir l'information plus clairement

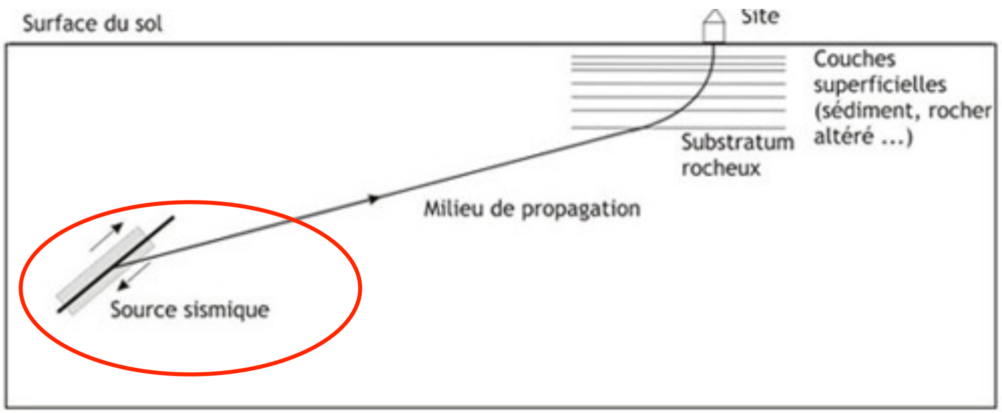
« Trouver les lunettes adaptées » pour visualiser, quantifier et caractériser

Signal?



Le signal contient une ou plusieurs information.

Signal?



Effet de la source sismique.

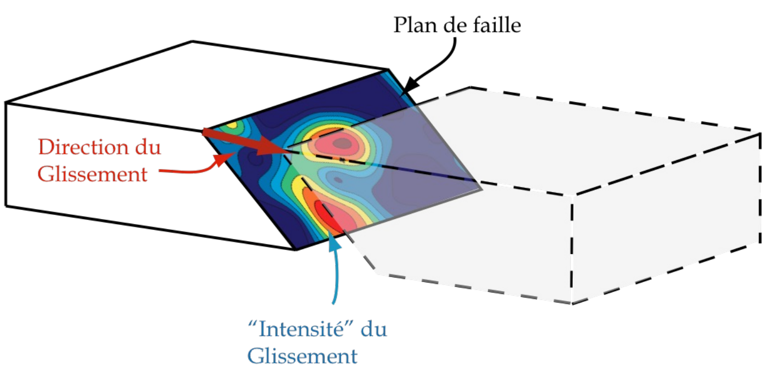
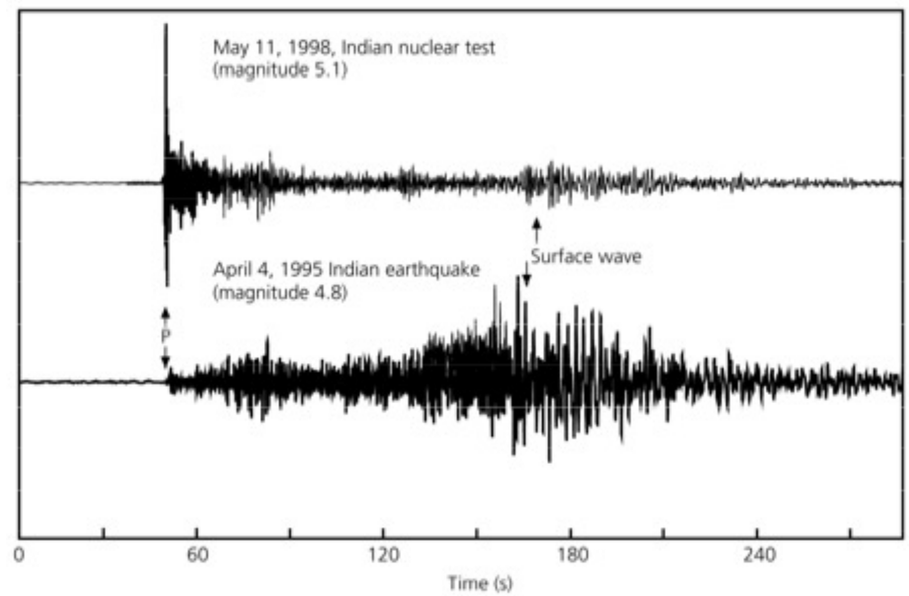
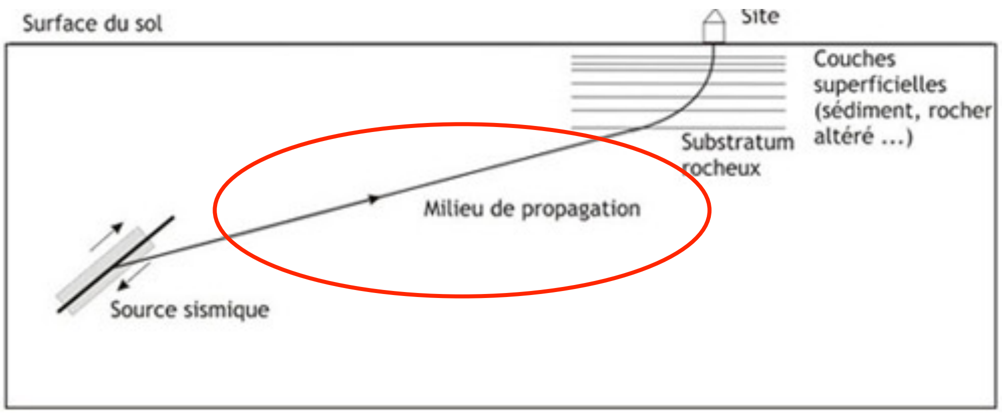
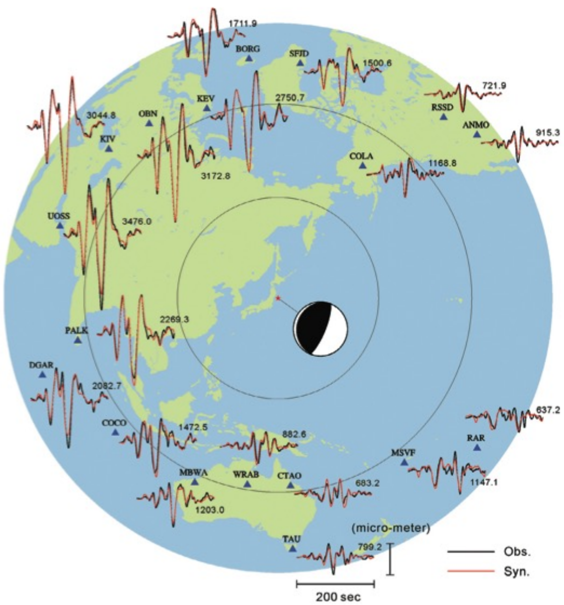


Figure 1.2-19: Differences is seismic waves from an earthquake and explosion.

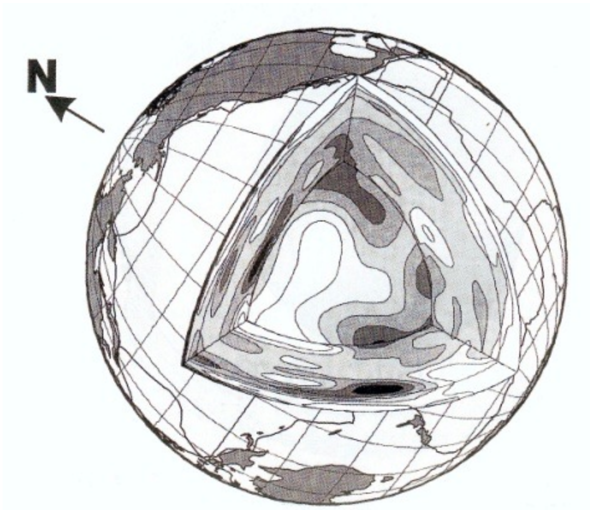


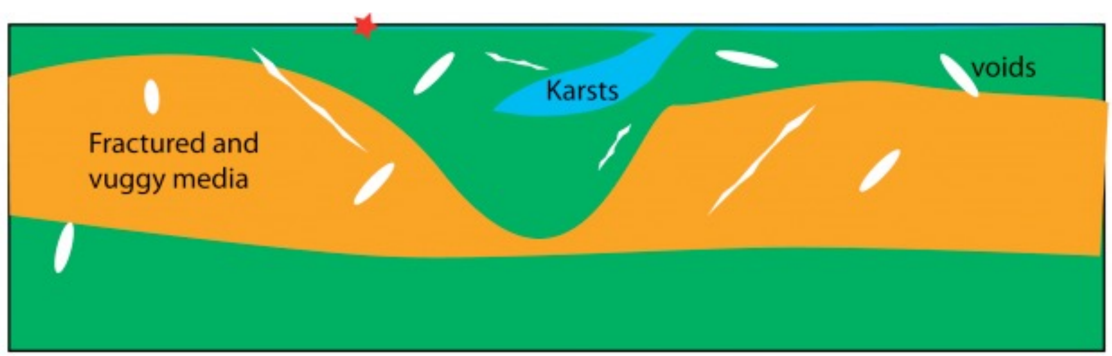
Signal?



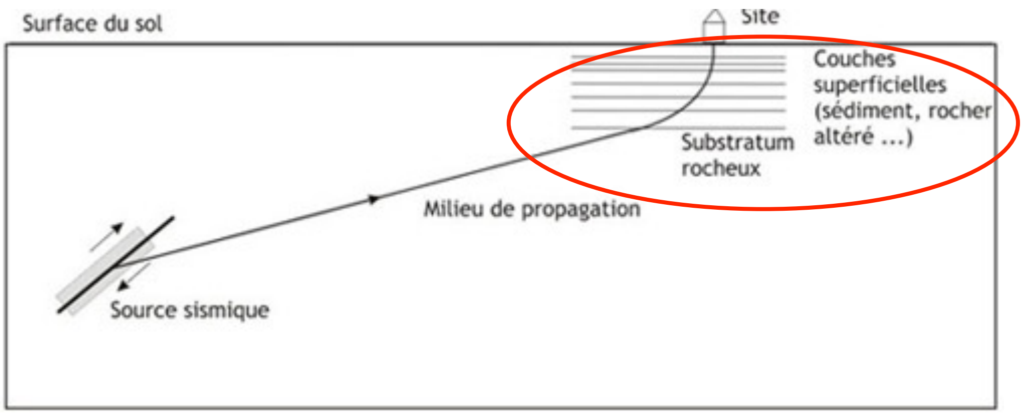


Effet du milieu de propagation.

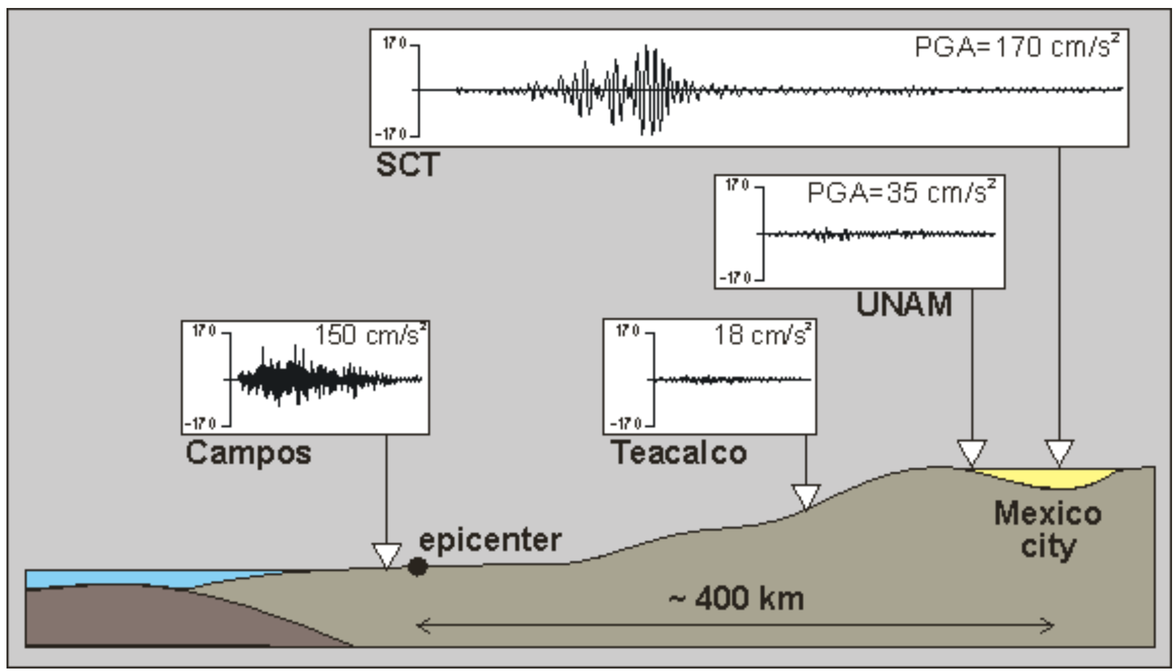




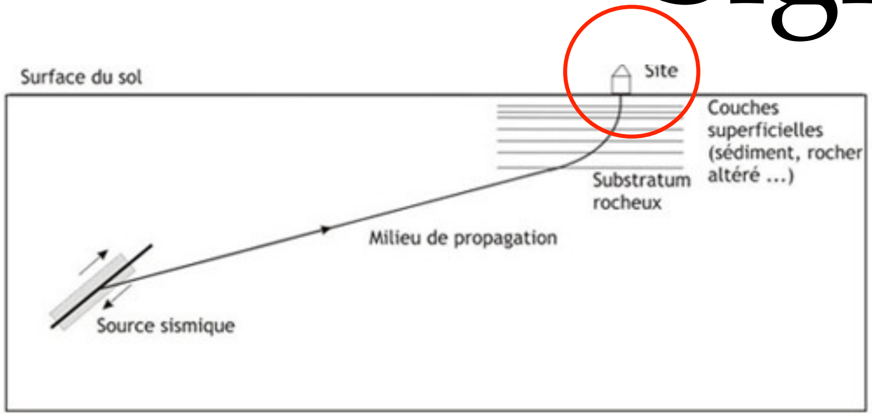
Signal?



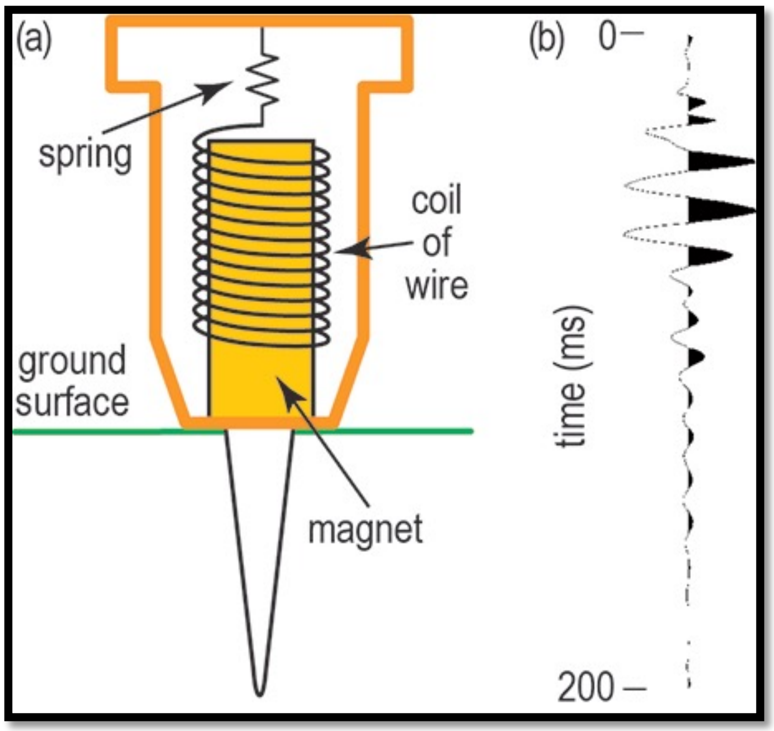
Effets de site.

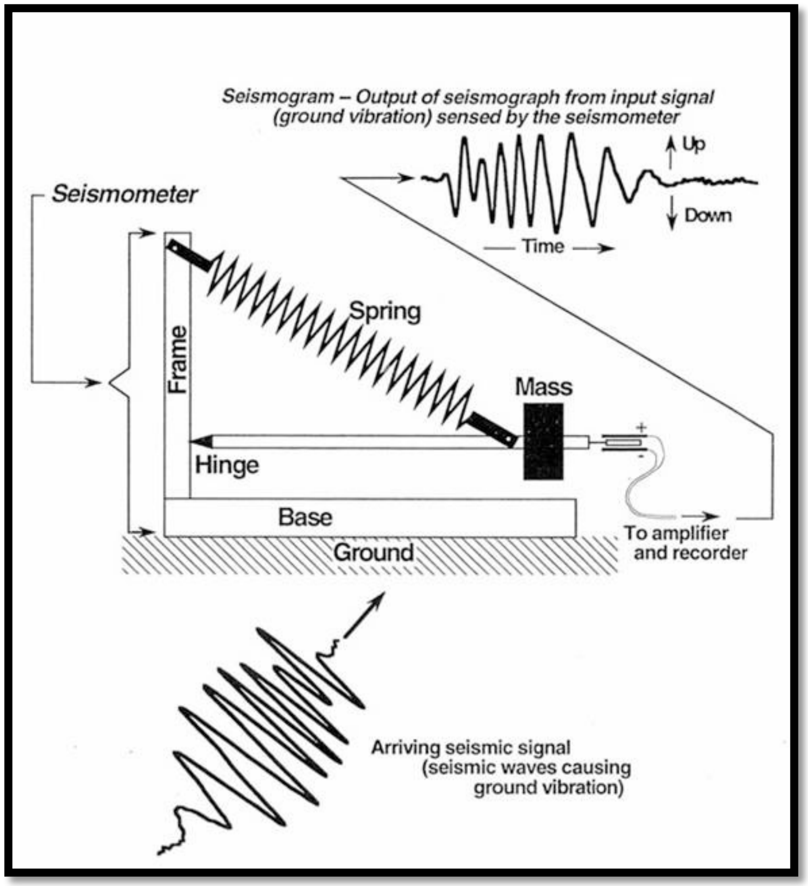


Signal?



Effets de l'appareil de mesure.



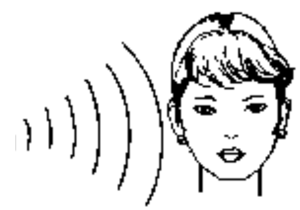


Signal?

Effets de l'appareil de mesure
= Fonction de transfert.

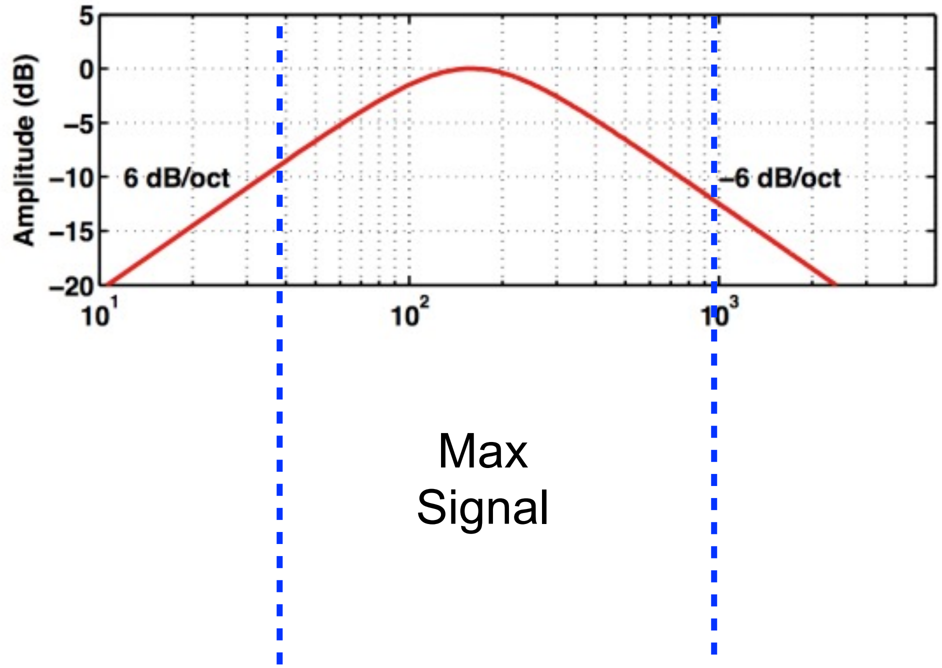




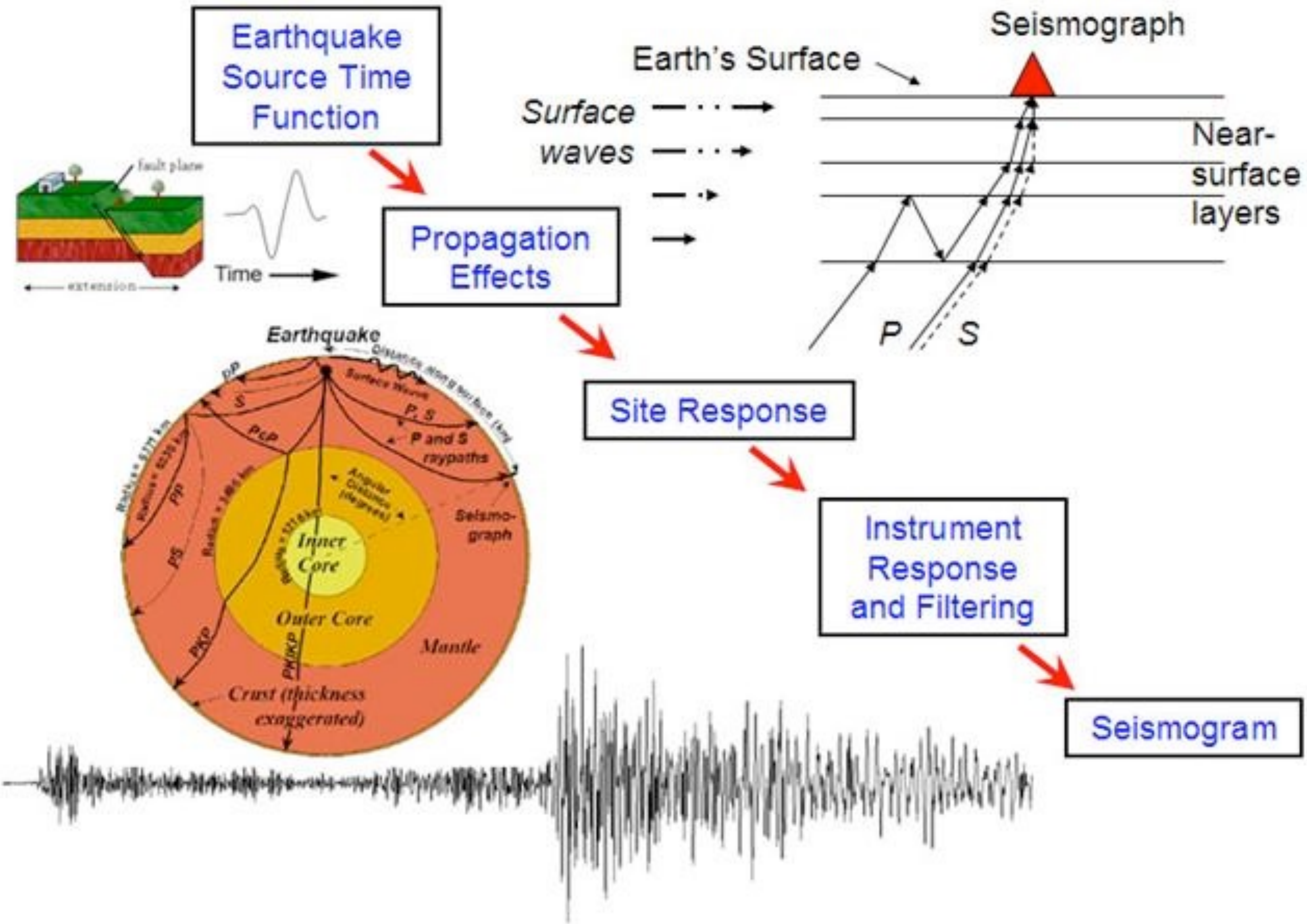


Signal?

Effets de l’appareil de mesure
= Fonction de transfert
Bande passante de l’appareil



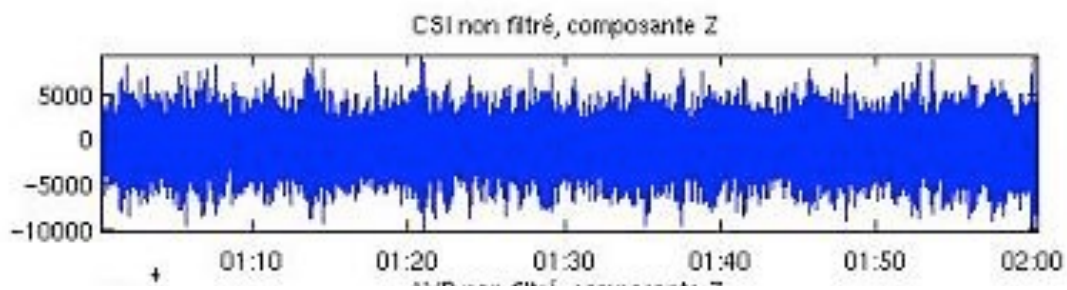
Le signal contient une ou plusieurs informations.



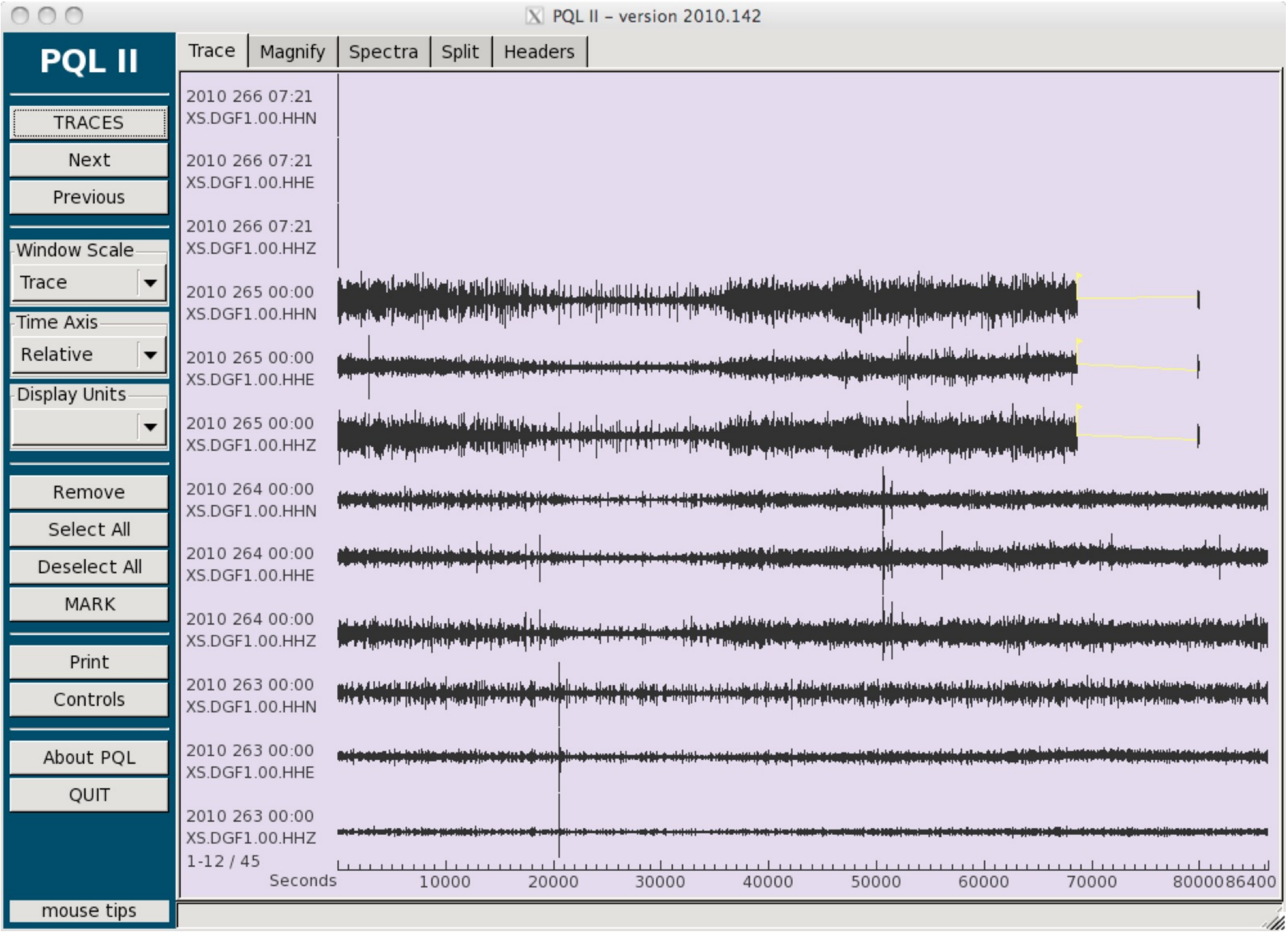
Notion de bruit

<u>Définition</u>: Tout phénomène perturbateur pouvant gêner la perception ou l'interprétation du signal numérique.

Bruit sismique	Mouvement magmatique Vent, marée...	Bruit «culturel»: circulation de véhicules, machines…



Notion de bruit



Le signal contient une ou plusieurs informations.

SOURCE SISMIQUE

PROPAGATION

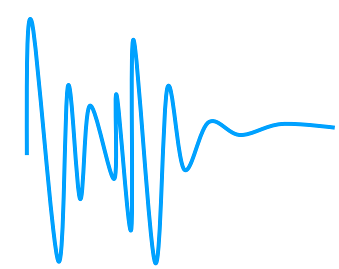
BRUITS

DONNÉES GÉOPHYSIQUES:
Sismologique
Géodésique
Electromagnétique
Mesure de Gravité
Photo Aérienne
Image Satellite
....

Signal physique

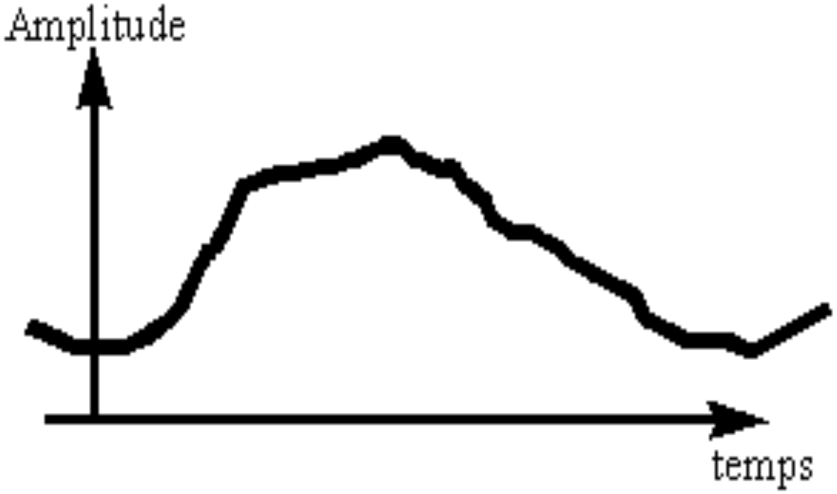
SISMOMETRE

Signal numérique/digital
Données sismologiques



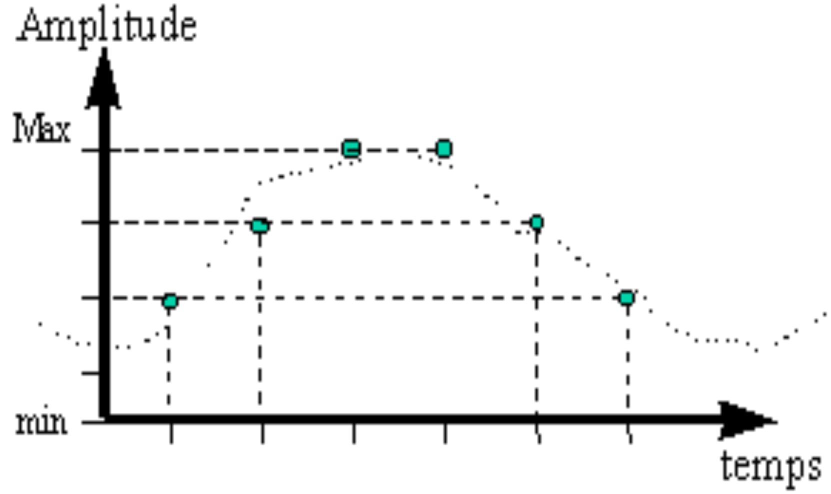
Notion de signal physique / signal digital

Signal physique



Domaine continu

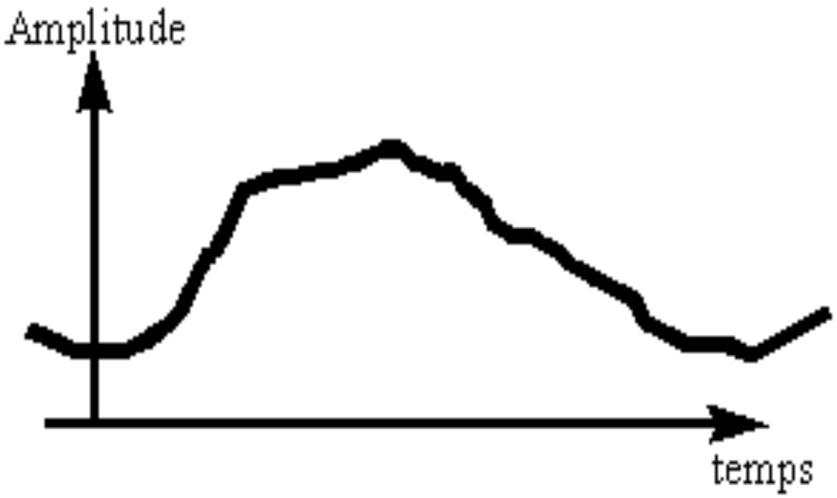
Signal enregistré



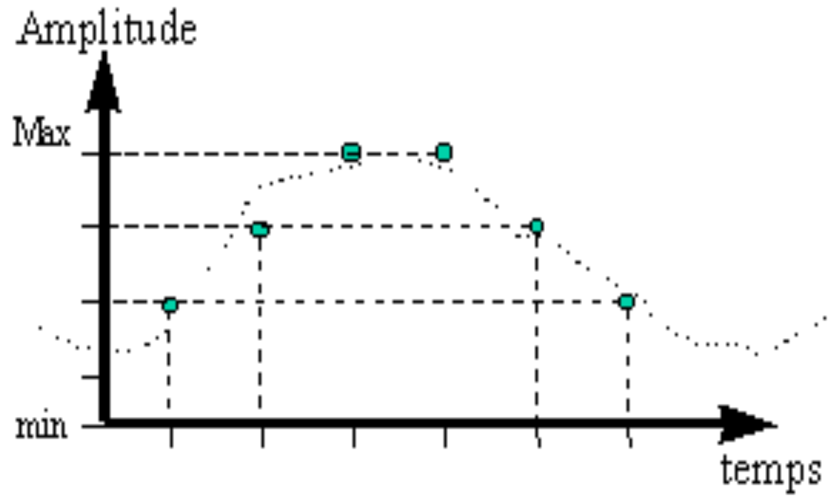
Domaine discret

Notion de signal physique / signal digital

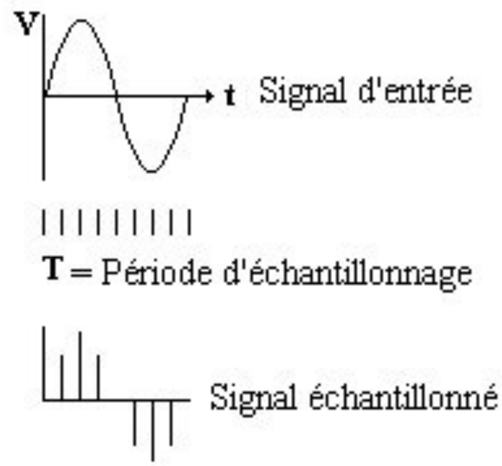
Signal physique



Signal enregistré

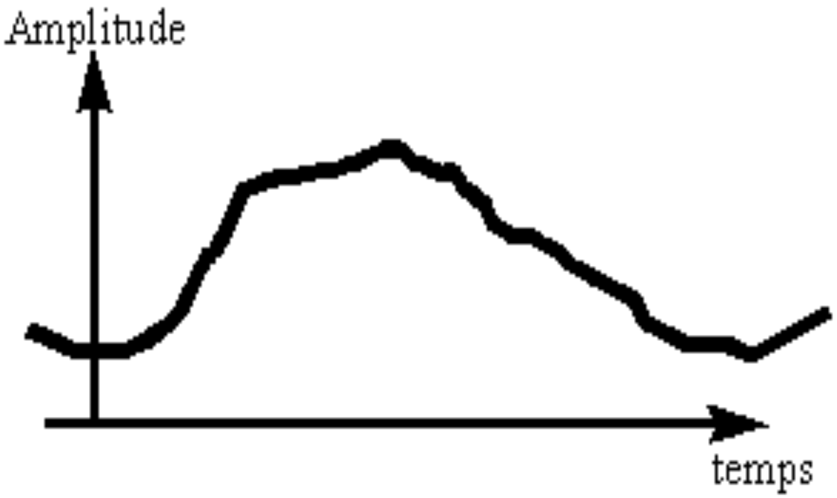


Temps = échantillonnage

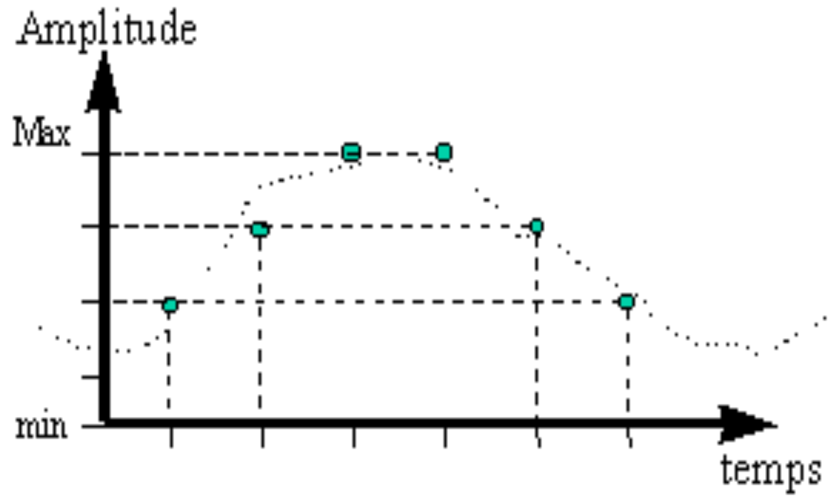


Notion de signal physique / signal digital

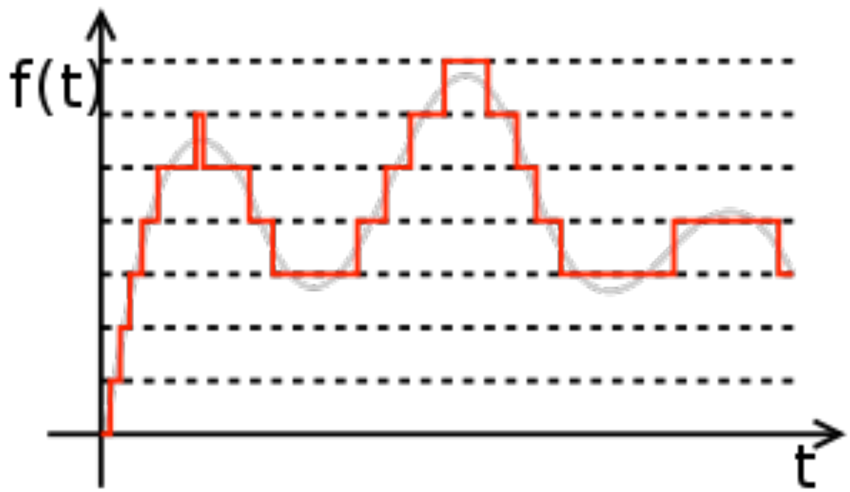
Signal physique



Signal enregistré

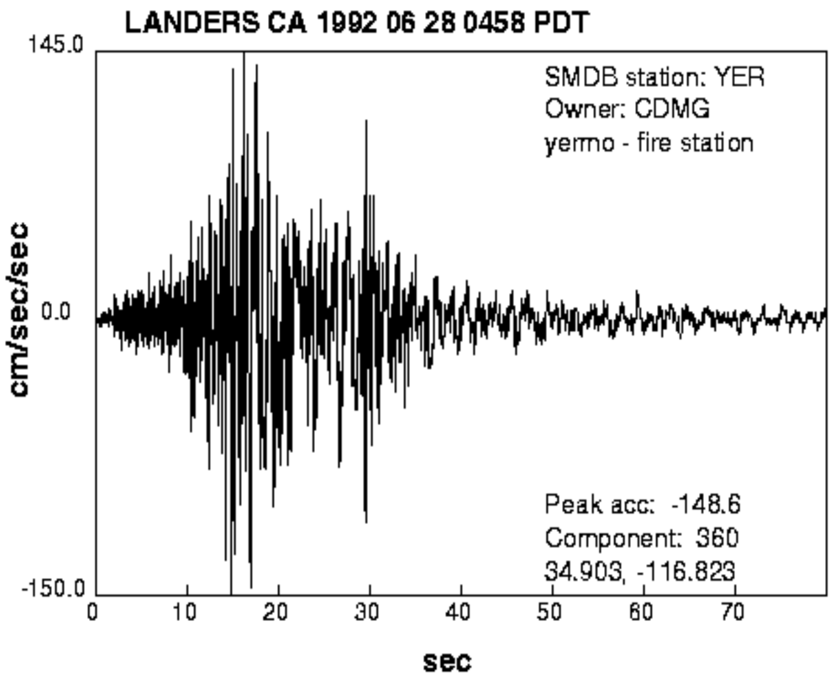


Quantification=amplitudes



SISMOGRAMMES :

Enregistrements des vibrations du sol au passage des ondes sismiques



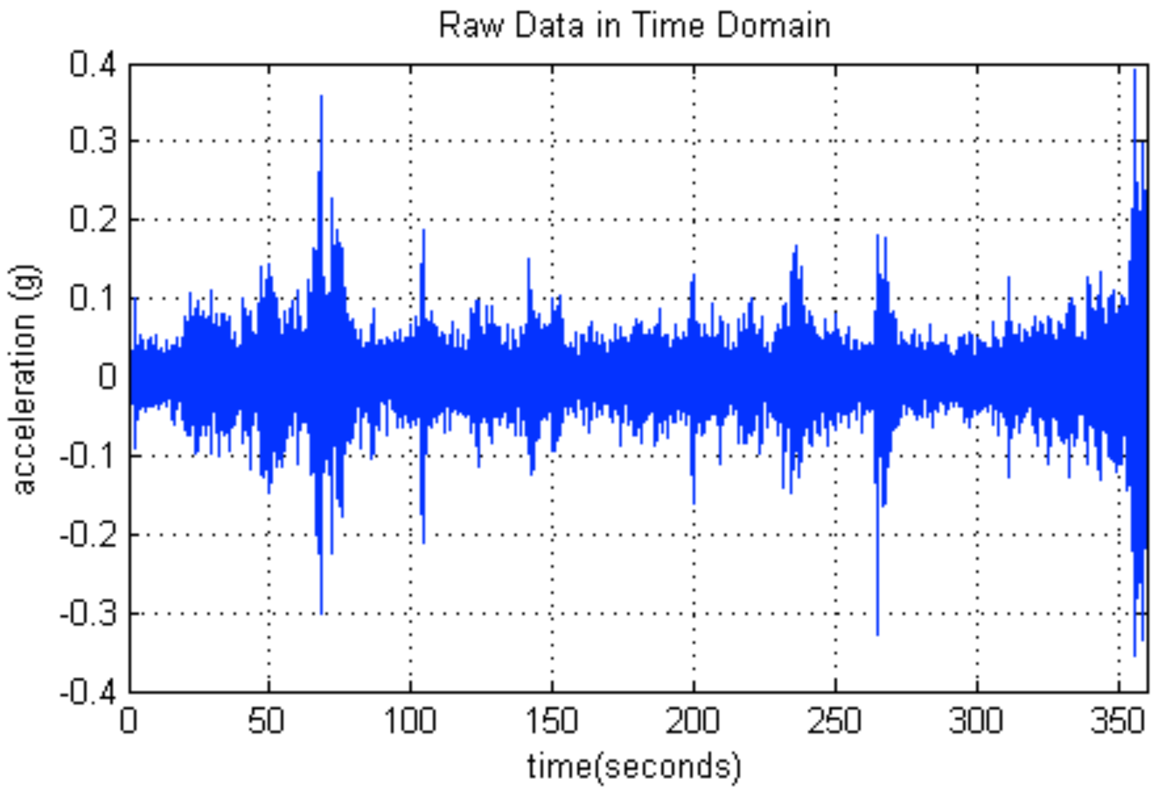
SIGNAL ENREGISTRÉ u(t) :

$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t) + b(t)$$

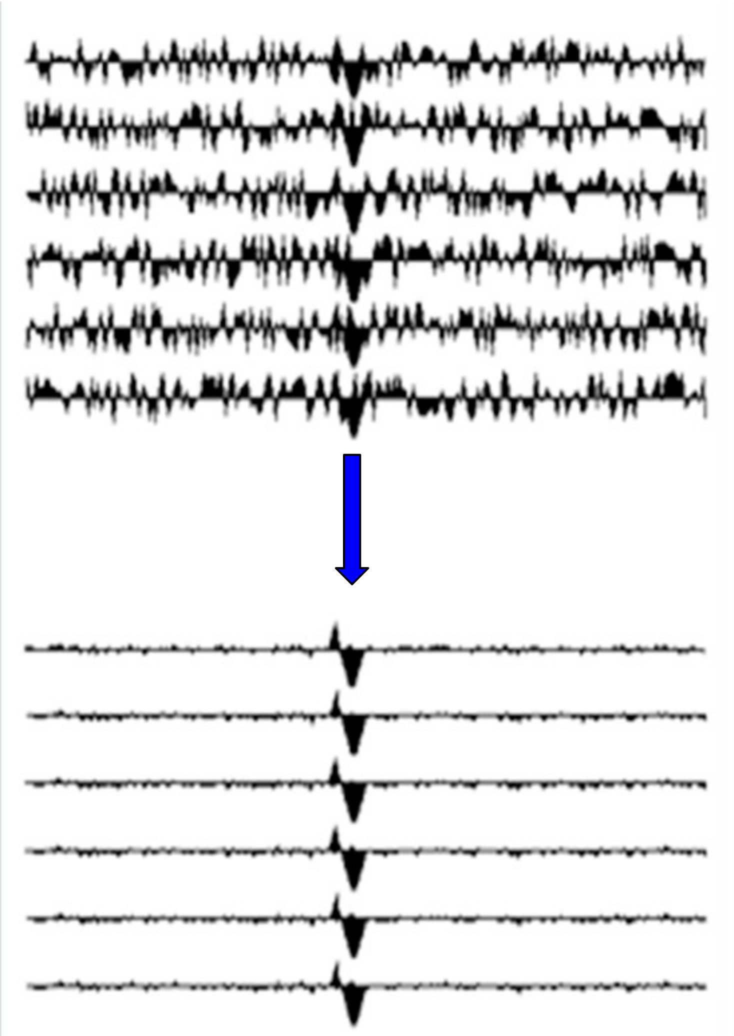
AVEC :
- s(t) LA SOURCE
- g(t) LA PROPAGATION
- i(t) L'INSTRUMENT

Comment extraire de L’INFORMATION UTILE (séisme par exemple) au milieu de BRUIT?

-> TRAITEMENT DU SIGNAL



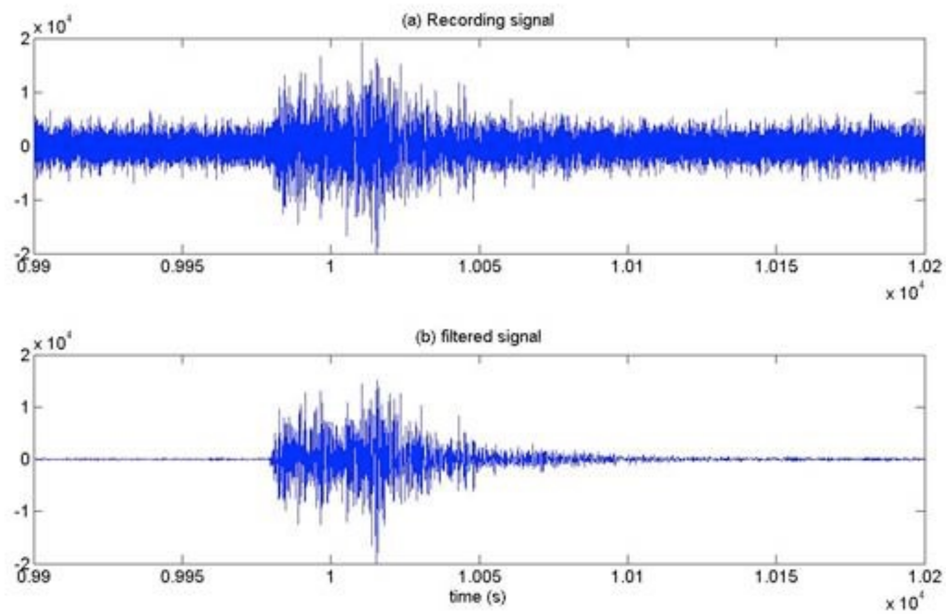
TRAITEMENT DU SIGNAL

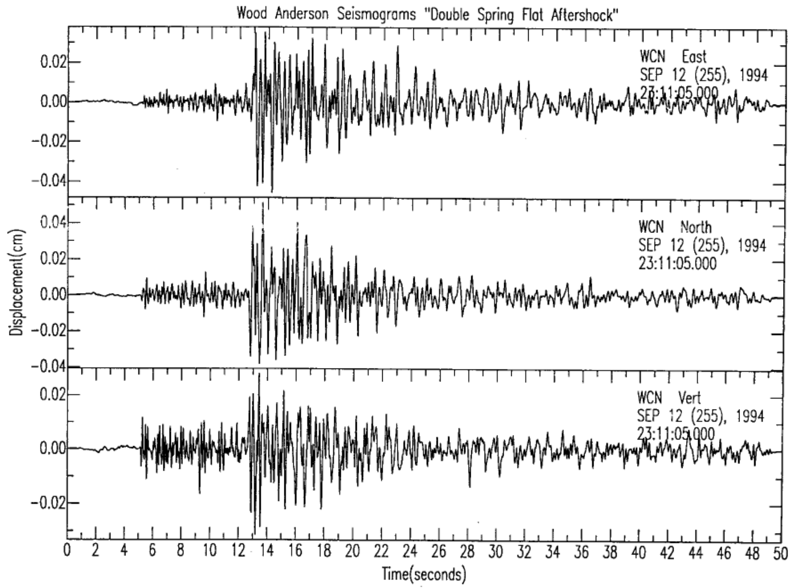


Ensemble de techniques permettant d'analyser et de transformer les signaux en vue de leur exploitation

1. Extraire le signal du bruit.

2. Isoler les informations utiles d'un signal complexe.

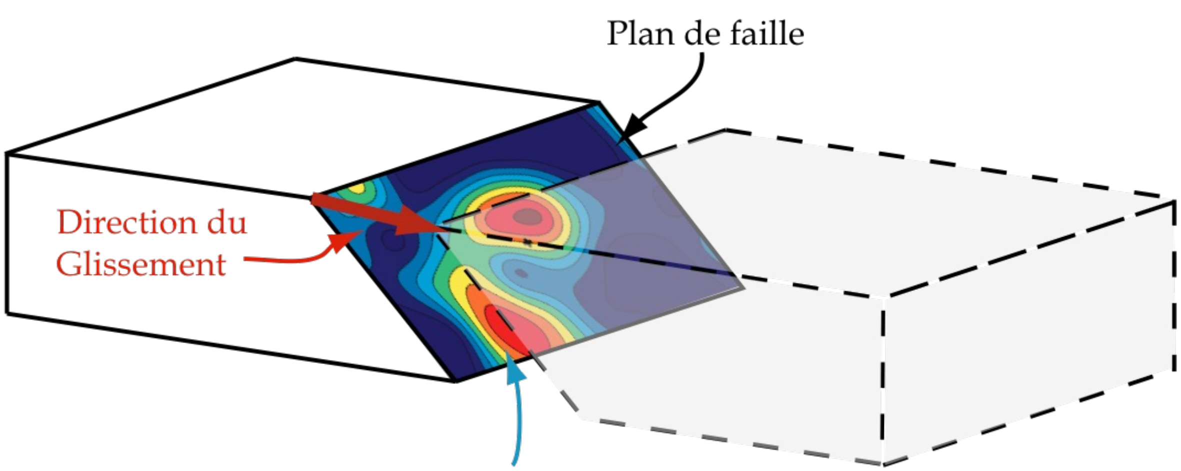


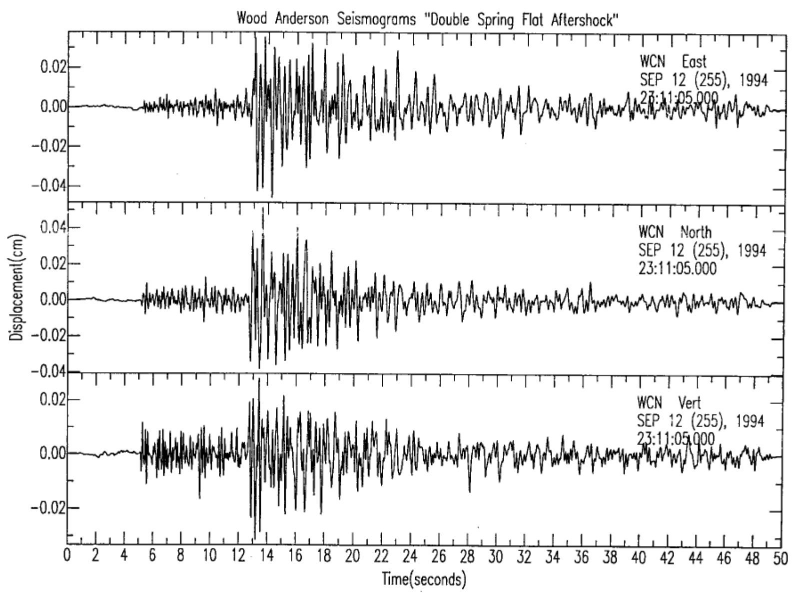


$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t)$$

RETIRER EFFET DE LA PROPAGATION,
DE L'INSTRUMENT
ET DU BRUITS.

$$u(t) = s(t)$$

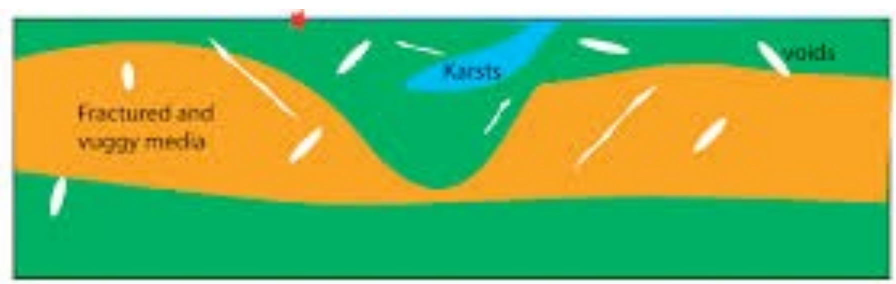




$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t)$$

Retirer effet de la source,
de l'instrument
Et du bruits.

$$u(t) = g(t)$$



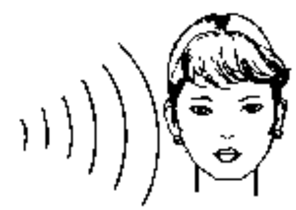
Convolution

$$f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)\,g(t-\tau)\,d\tau$$

Réponse d'un système f(t) à un signal d'entrée g(t).

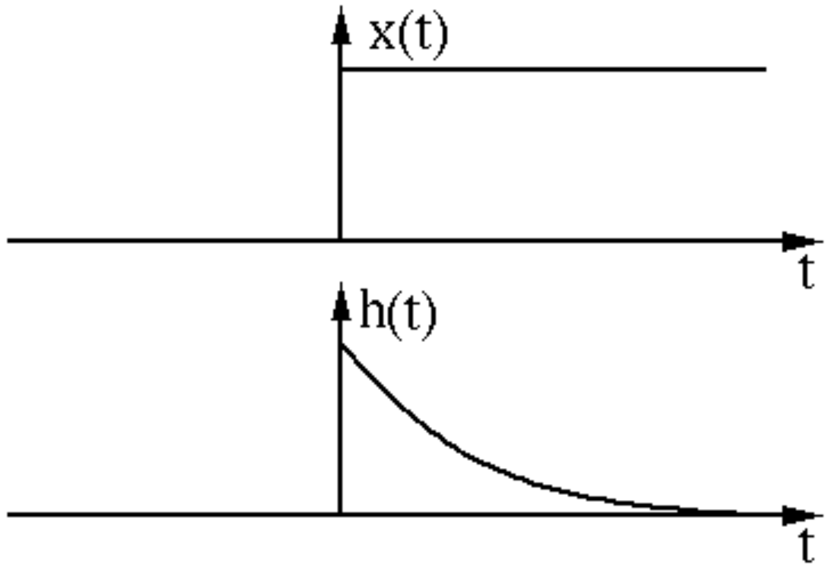
Voix=g(t)

Micro=f(t)



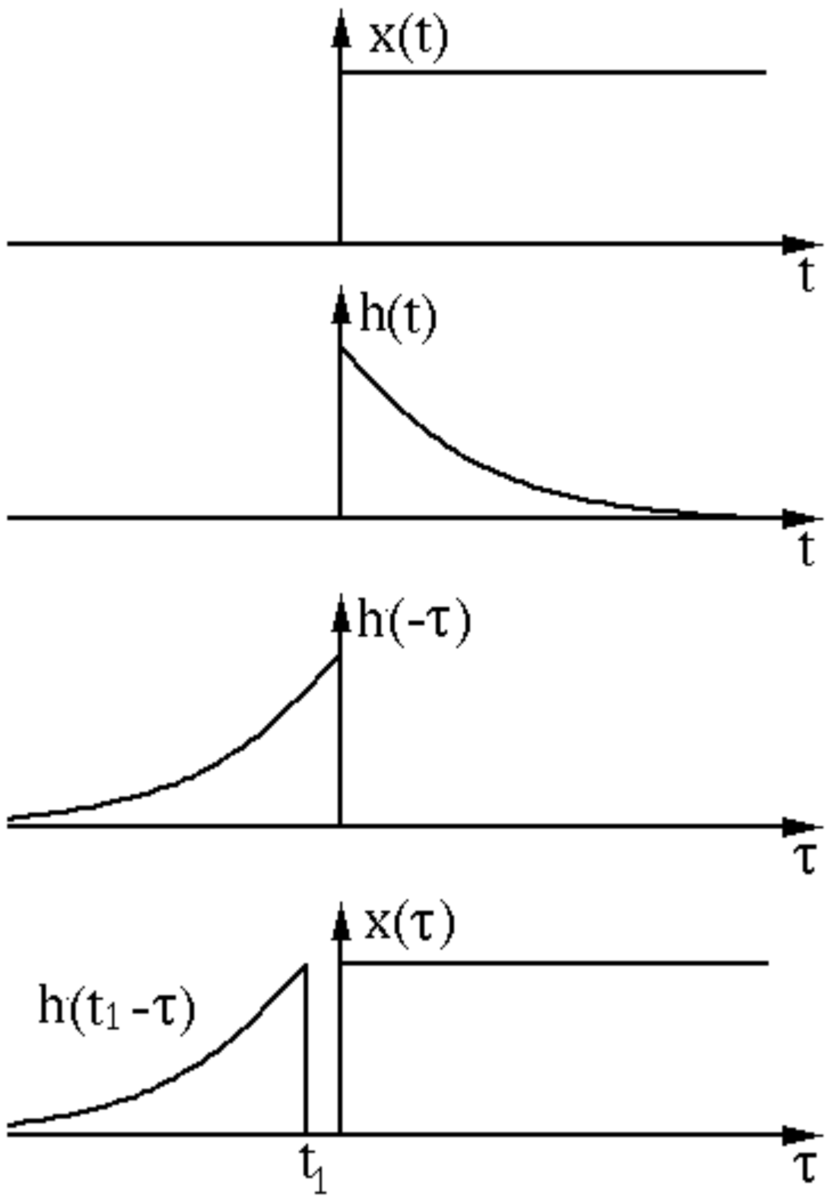
Réponse=f*g

Convolution



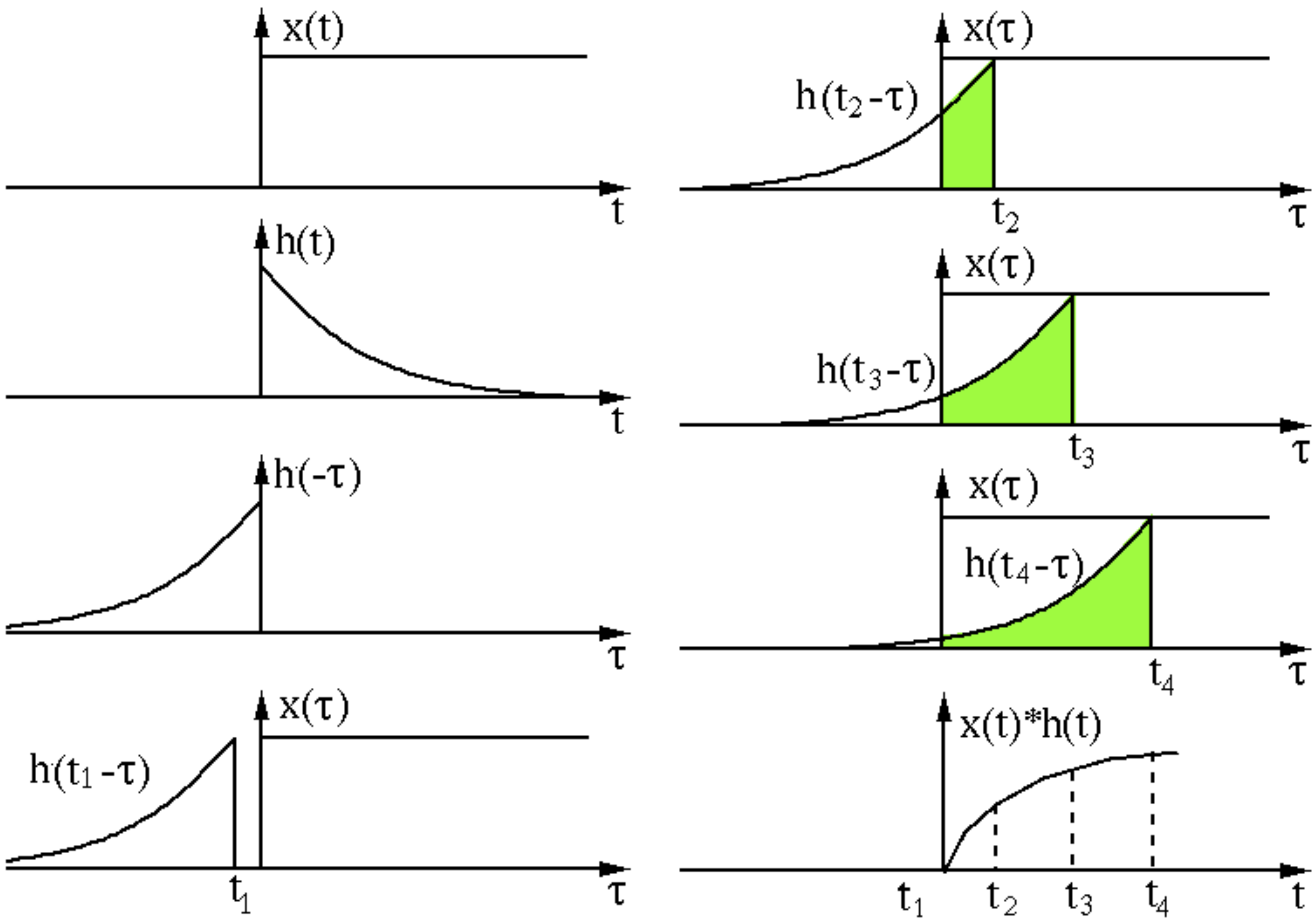
$$f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau$$

Convolution



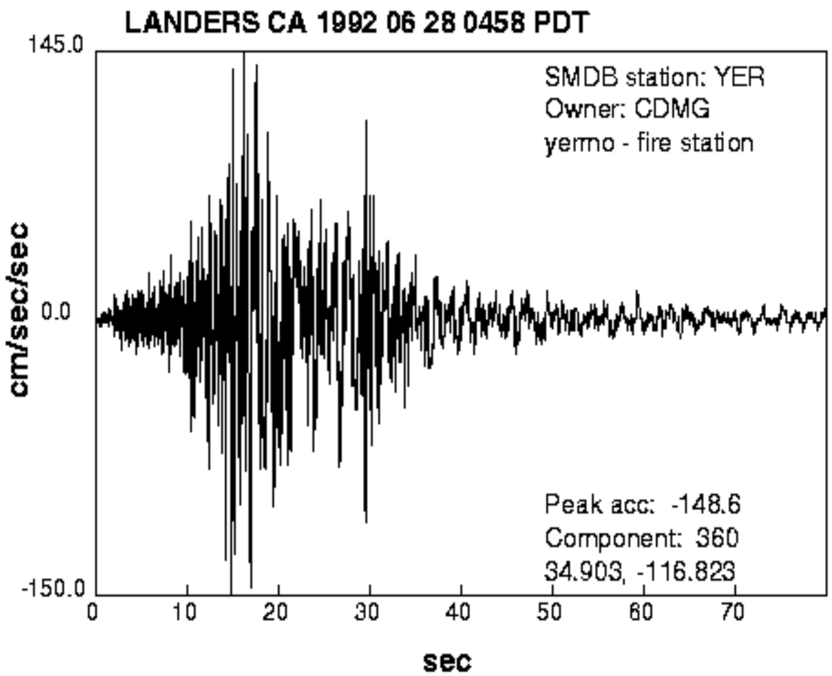
$$f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)\, g(t-\tau)\, d\tau$$

Convolution



SISMOGRAMMES :

Enregistrements des vibrations du sol au passage des ondes sismiques



SIGNAL ENREGISTRÉ u(t) :

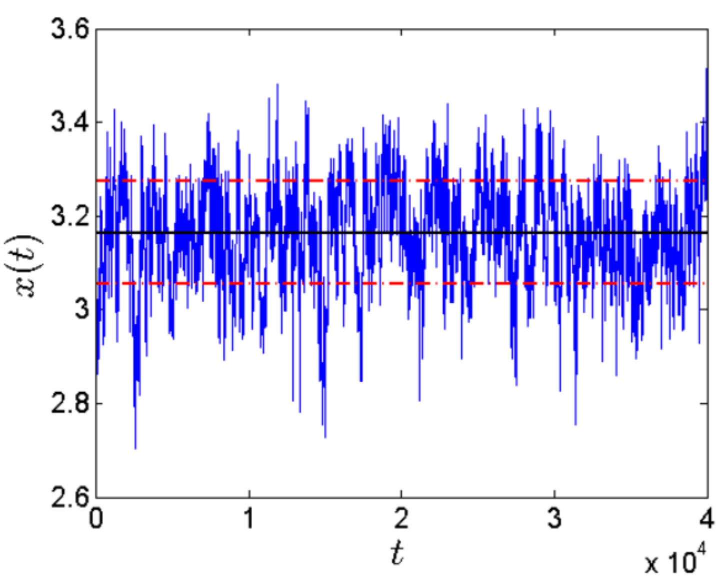
$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t) + b(t)$$

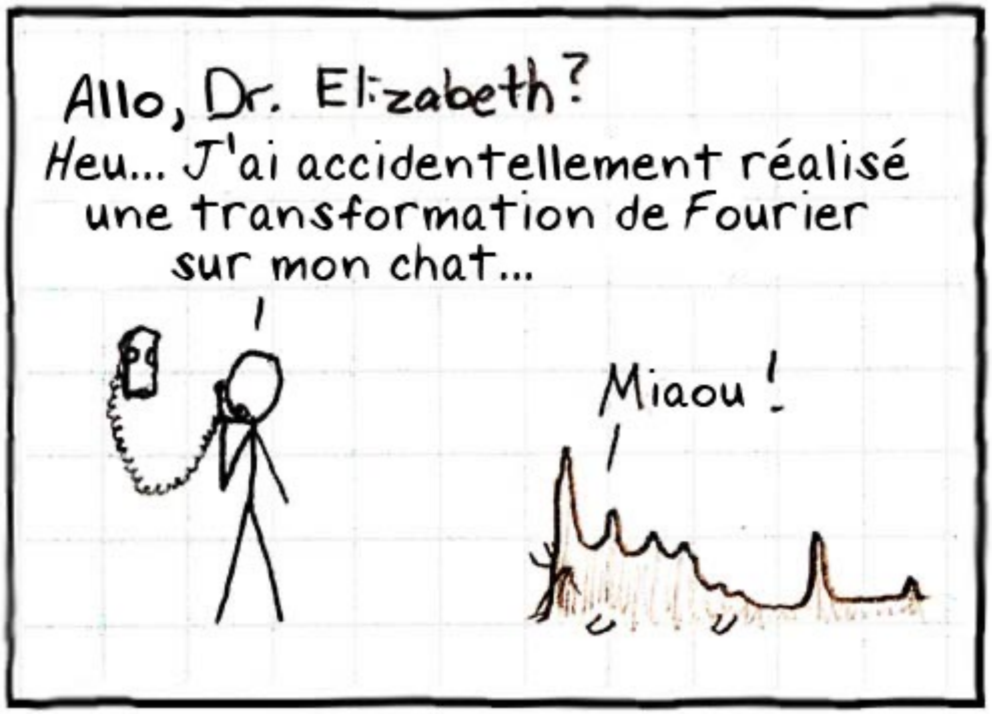
AVEC : - s(t) LA SOURCE
- g(t) LA PROPAGATION
- i(t) L'INSTRUMENT

Signal à analyser…

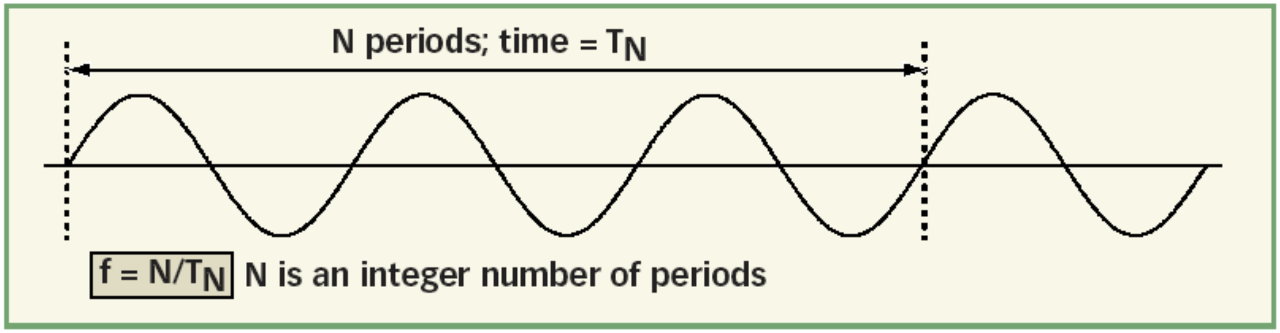
Ou transporter le signal dans un autre monde où
l'information apparaît plus clairement…

Bienvenus dans la 4ème dimension!!!





Amplitude / fréquence

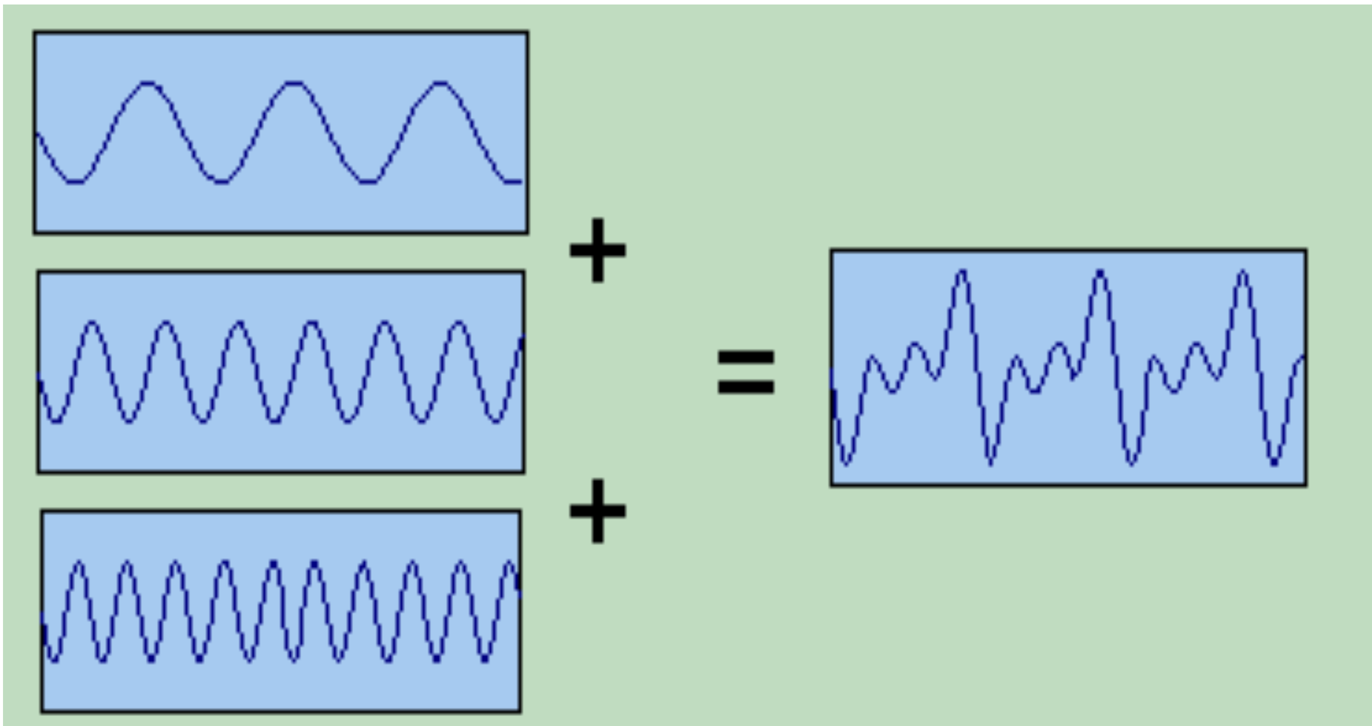


1. This graphical representation shows how a counter calculates frequency from a measurement of period time.

- <u>PÉRIODE</u> : temps entre deux crêtes (ou deux creux) consécutives.
- Equivalence spatiale: <u>longueur d'onde</u> est la distance parcourue par l'onde au cours d'une période $\lambda = c\ T$
- <u>FRÉQUENCE</u> (exprimée en Hertz - Hz -) : nombre de cycles par seconde.

Signal à analyser…

Un signal peut se décrire comme une addition de signaux élémentaires.



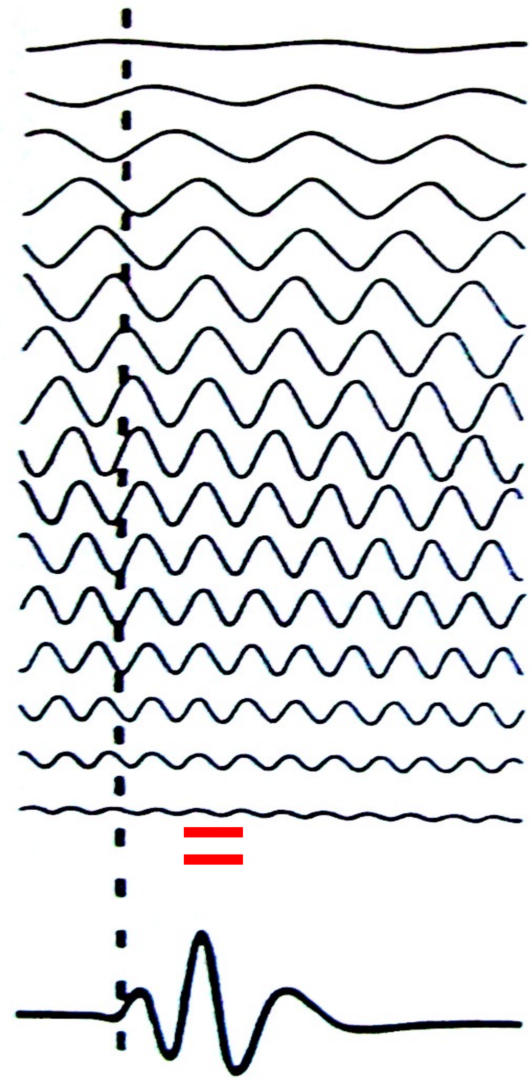
Signal à analyser…

Un signal peut se décrire comme une addition de signaux élémentaires périodiques.

=

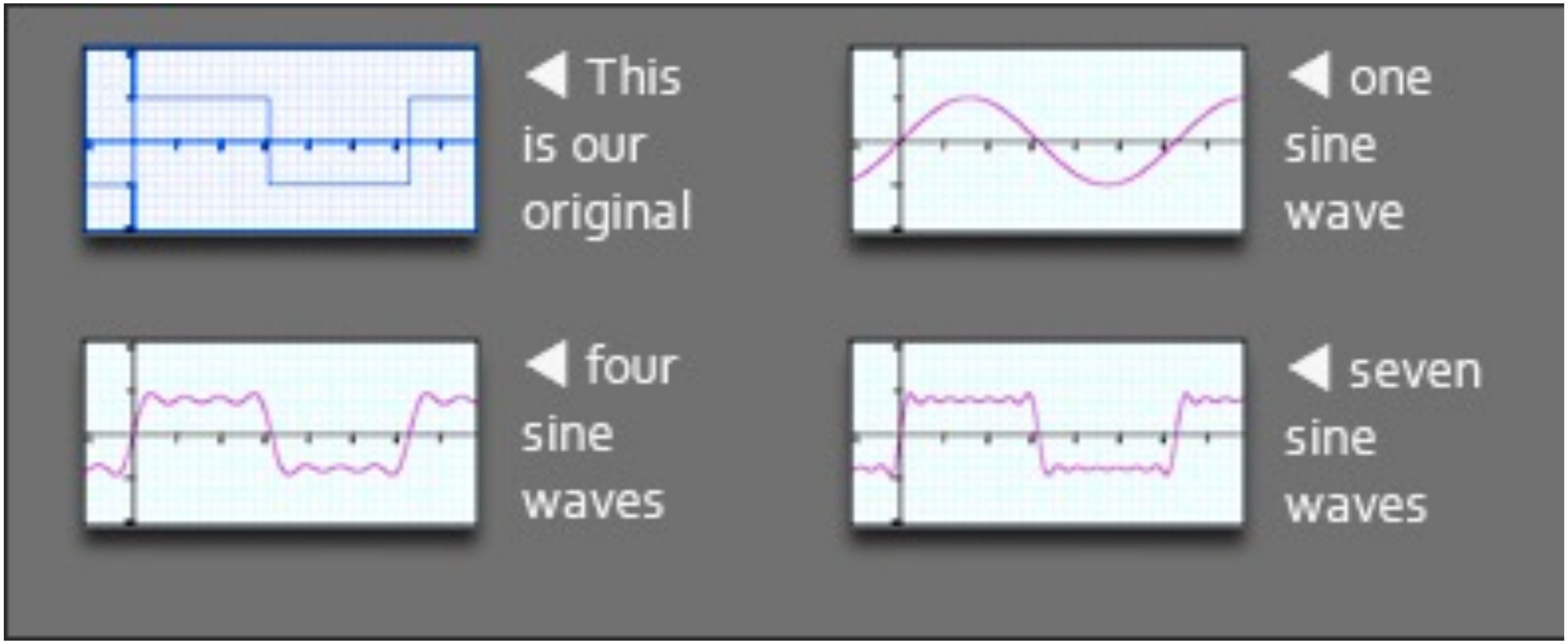
Somme infinie de sinus et cosinus

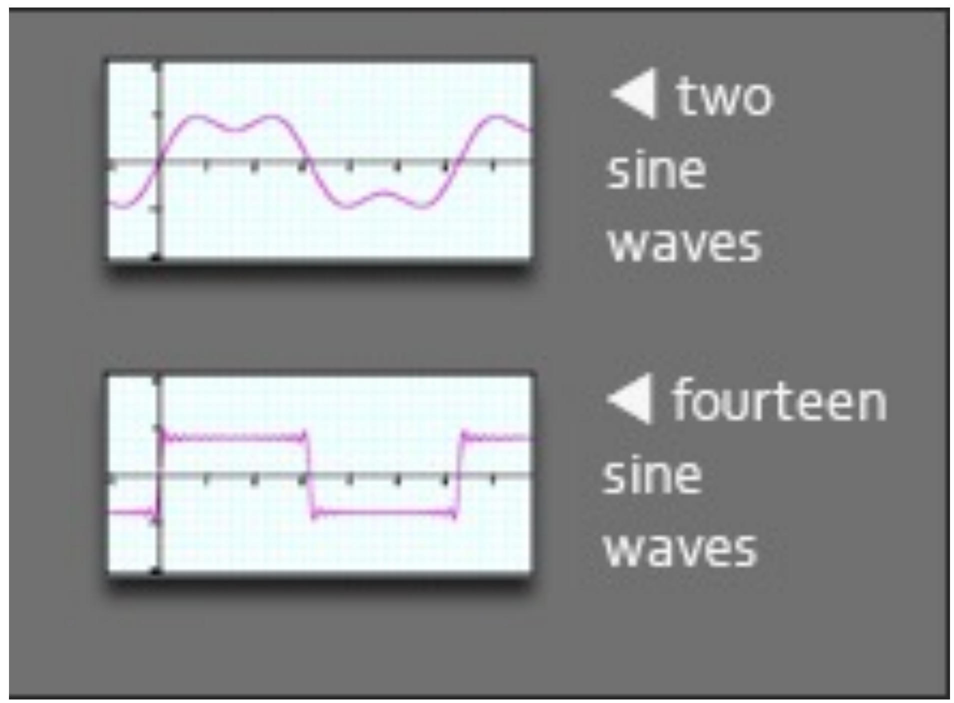
(différentes périodes et amplitudes)



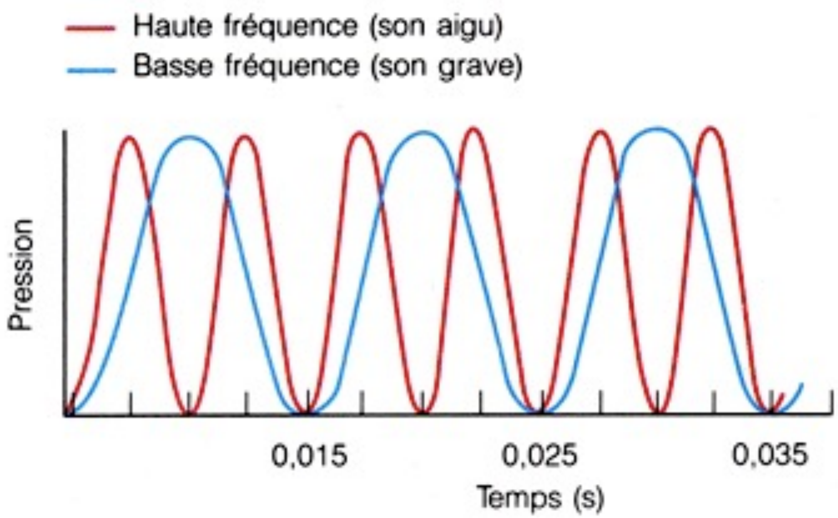
-> Analyse de Fourier

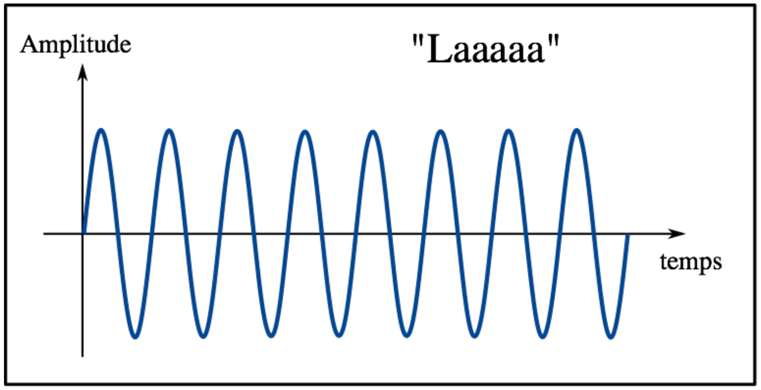
Lay and Wallace

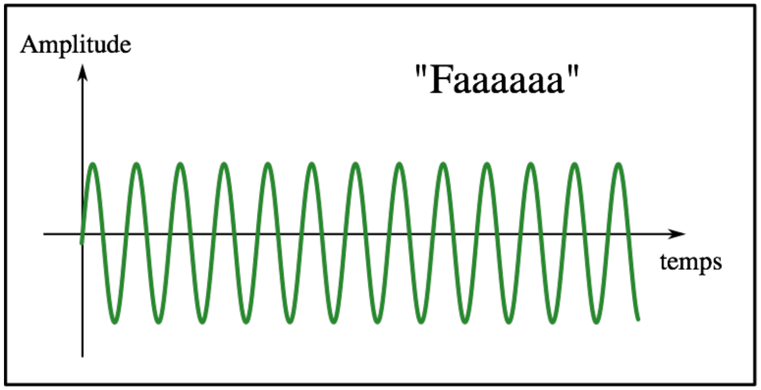

◀ This is our original
◀ one sine wave
◀ four sine waves
◀ seven sine waves

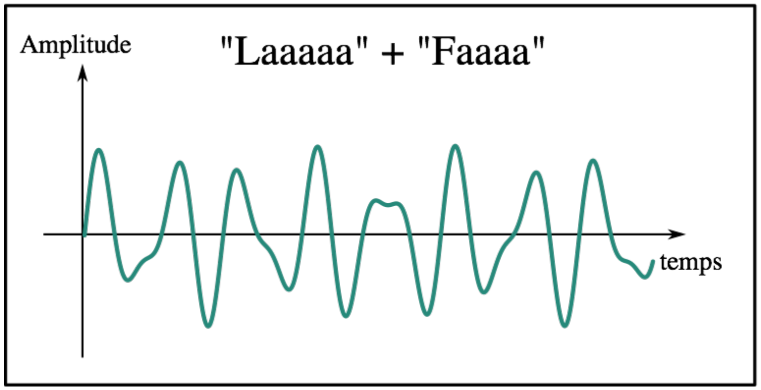

◀ two sine waves
◀ fourteen sine waves

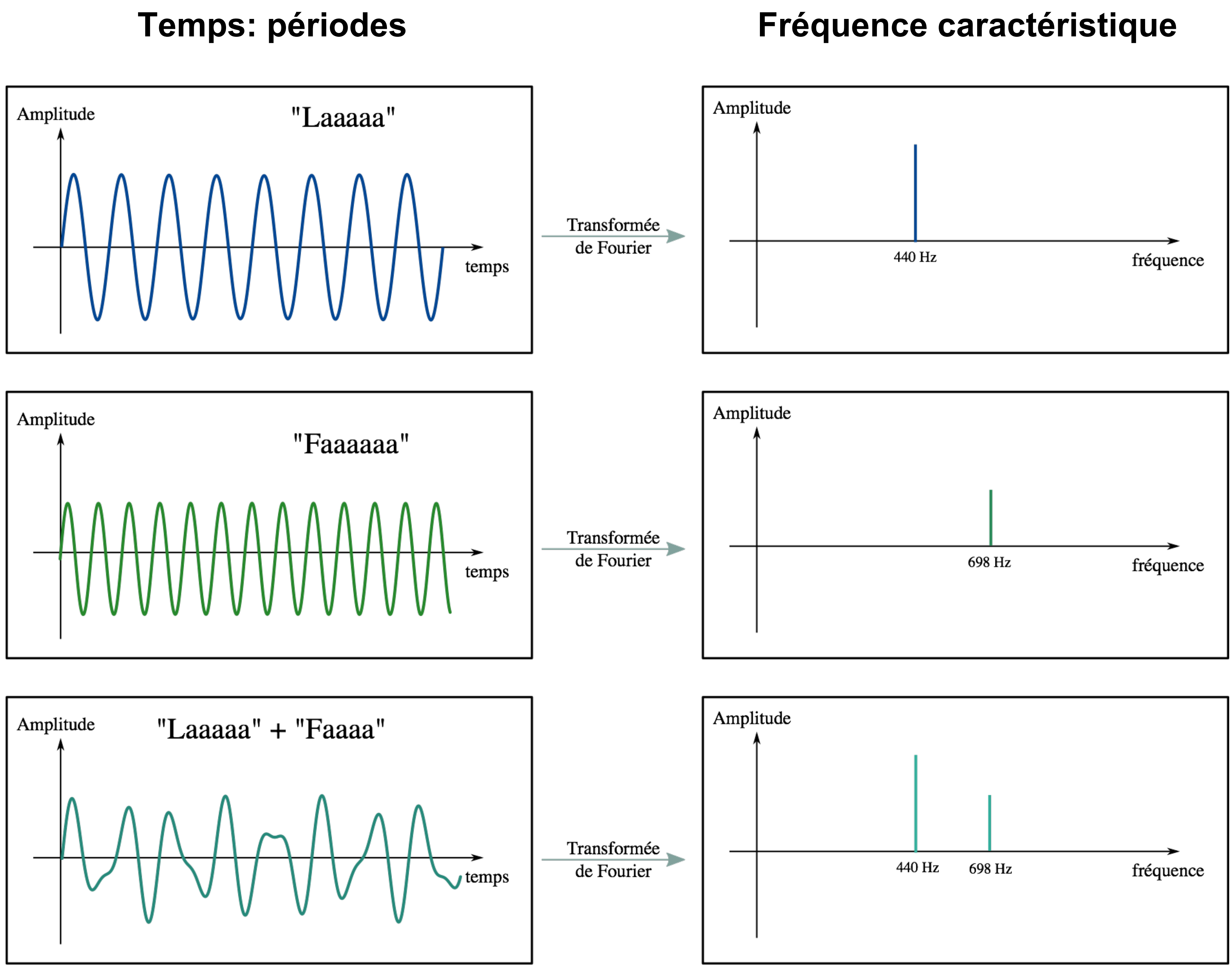
Exemple du son:



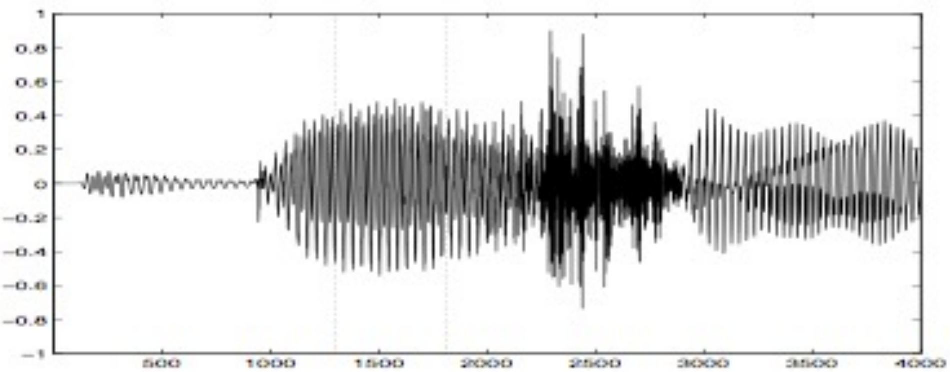


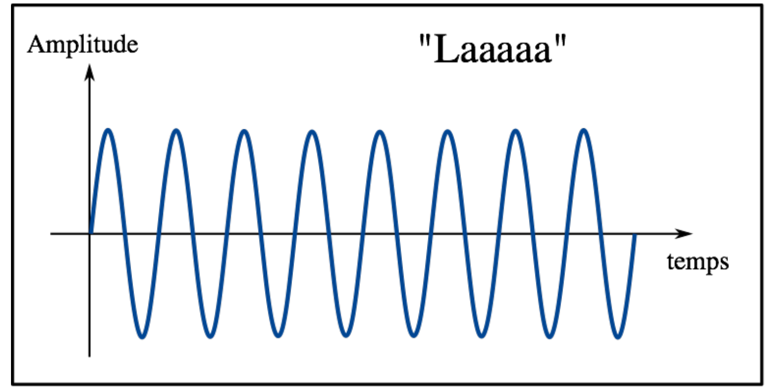


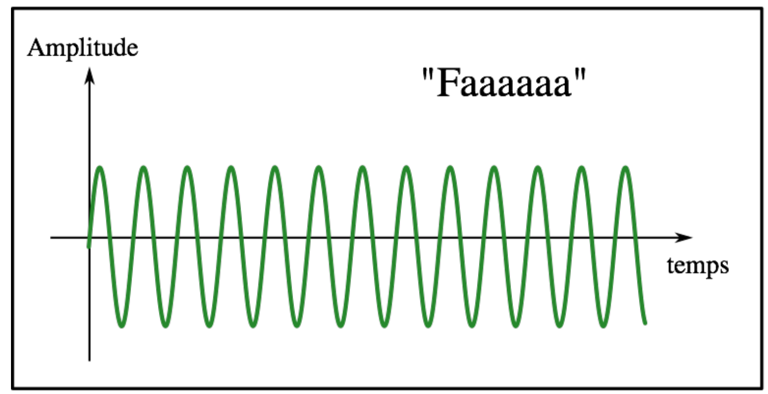


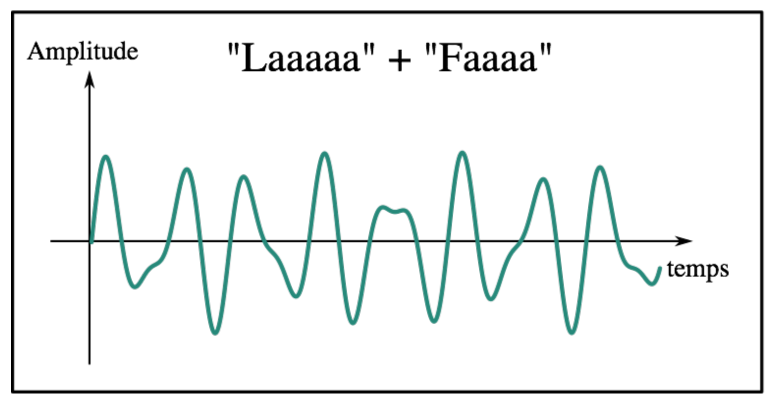

Temps: périodes
Fréquence caractéristique
Amplitude
"Laaaaa"
temps
Transformée de Fourier
Amplitude
440 Hz
fréquence
Amplitude
"Faaaaaa"
temps
Transformée de Fourier
Amplitude
698 Hz
fréquence
Amplitude
"Laaaaa" + "Faaaa"
temps
Transformée de Fourier
Amplitude
440 Hz
698 Hz
fréquence

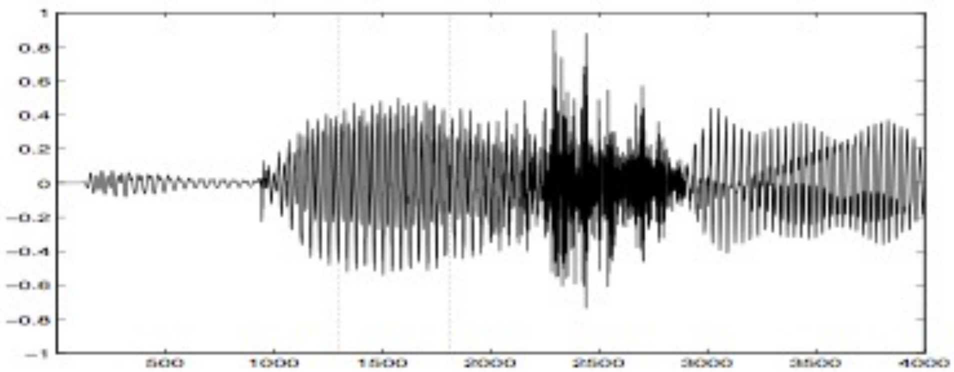
Exemple de la voix:

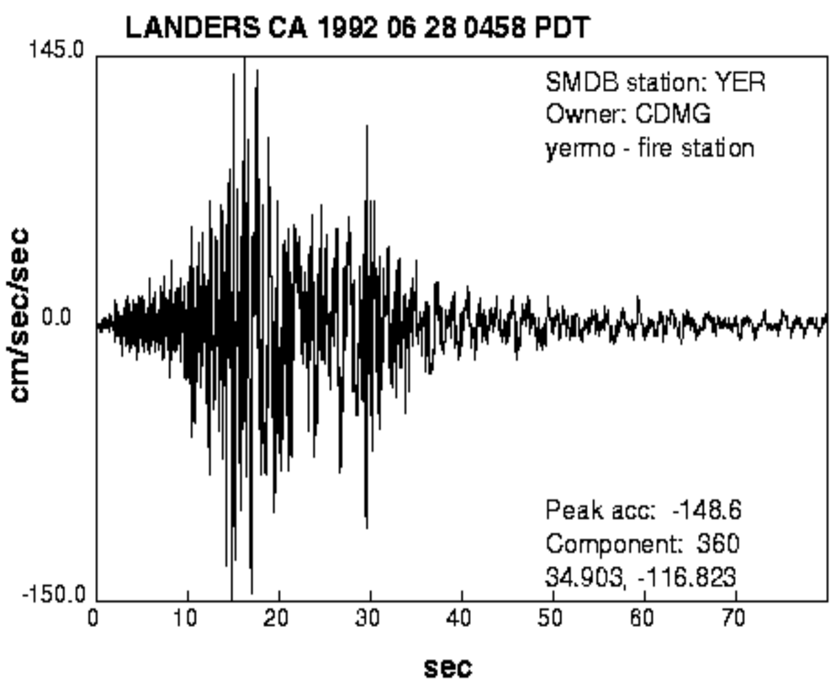












<u>Signal = somme sinus et cosinus</u>

Plusieurs périodes
Plusieurs fréquences

Amplitudes varient / modulées

SIGNAL?

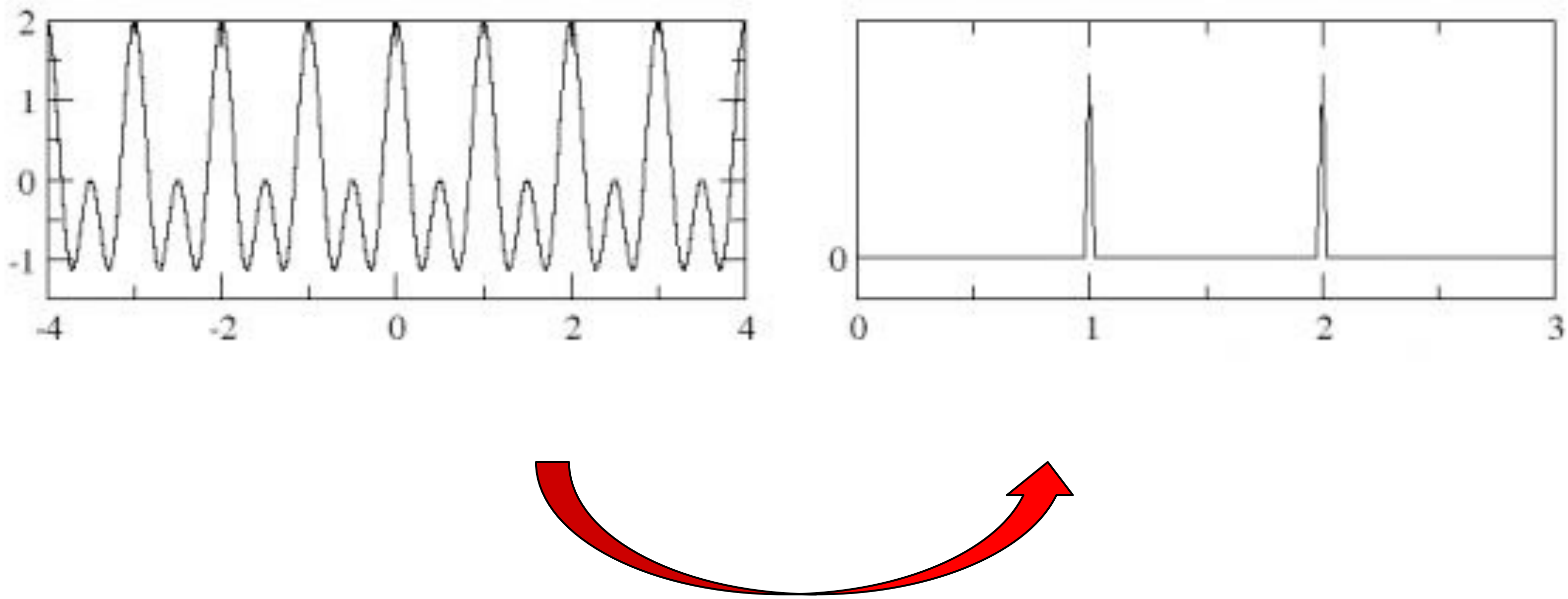
Tous les signaux ont comme caractéristiques inhérentes ==> Fréquences et Amplitudes

- Dans le domaine temporel, il est difficile de séparer les différentes périodes (différents signaux).

- Dans le domaine fréquentiel, il est plus facile d'extraire l'information pertinente en séparant les fréquences.

DONC?

Il est utile de représenter un signal temporel par son équivalent dans le domaine fréquentiel.



Transformée de Fourier

Transport du signal domaine temporel aux domaines des fréquences

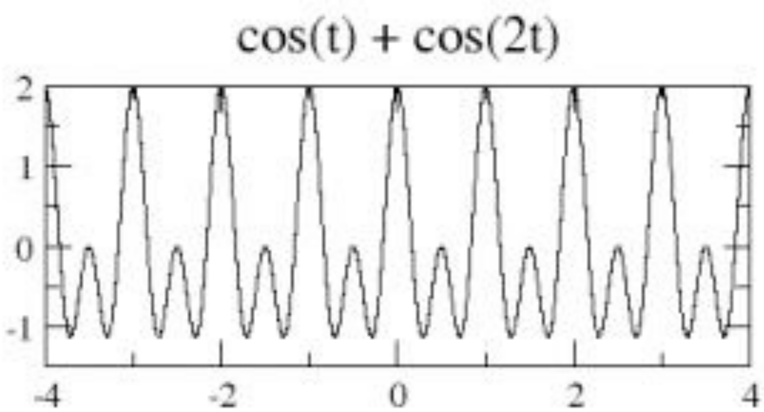
Question: je veux isoler le signal haute fréquence?

Très difficile à faire dans le domaine temporel…

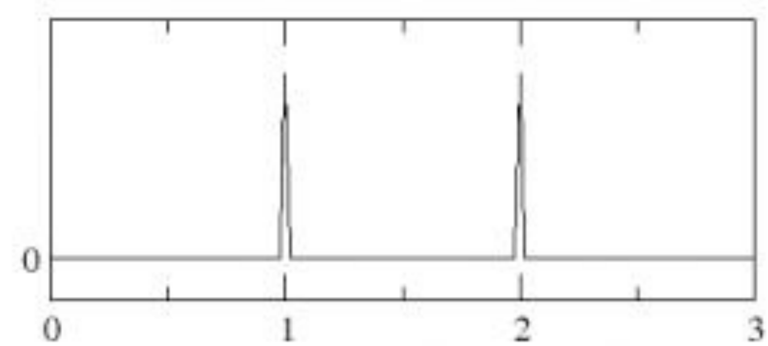
Donc Transformée de Fourier!

TF

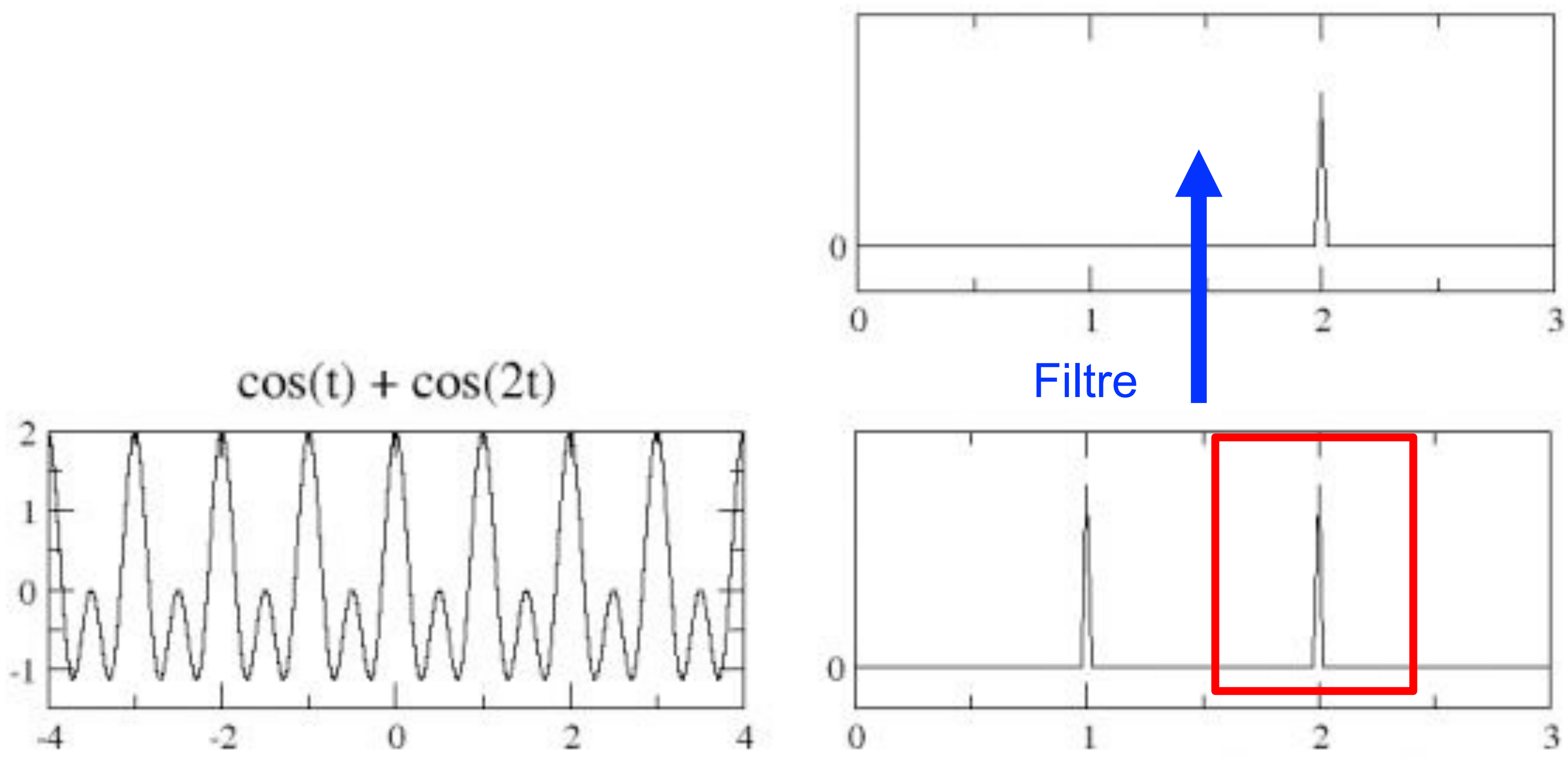
2 périodes différentes



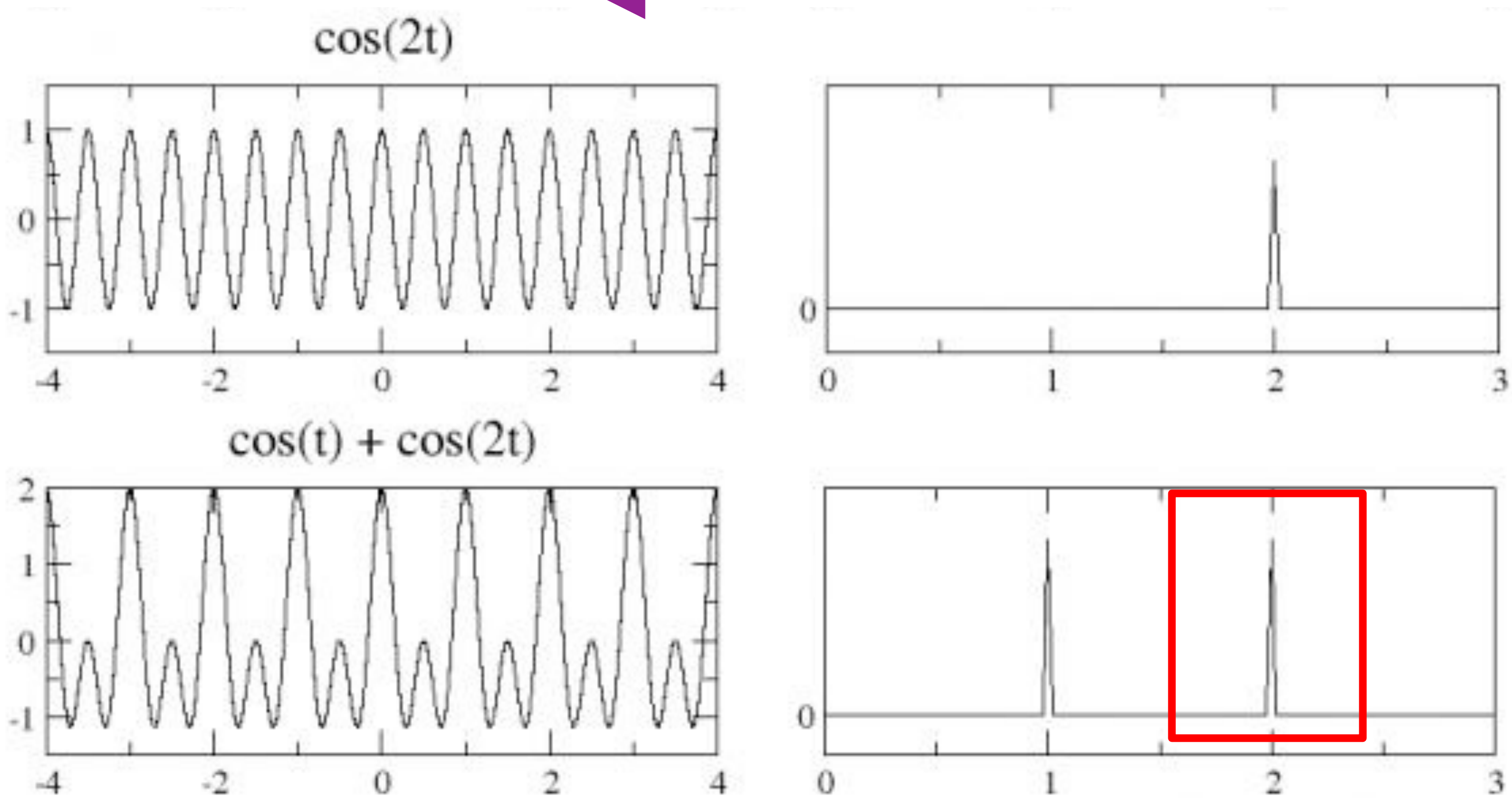
2 fréquences identifiées



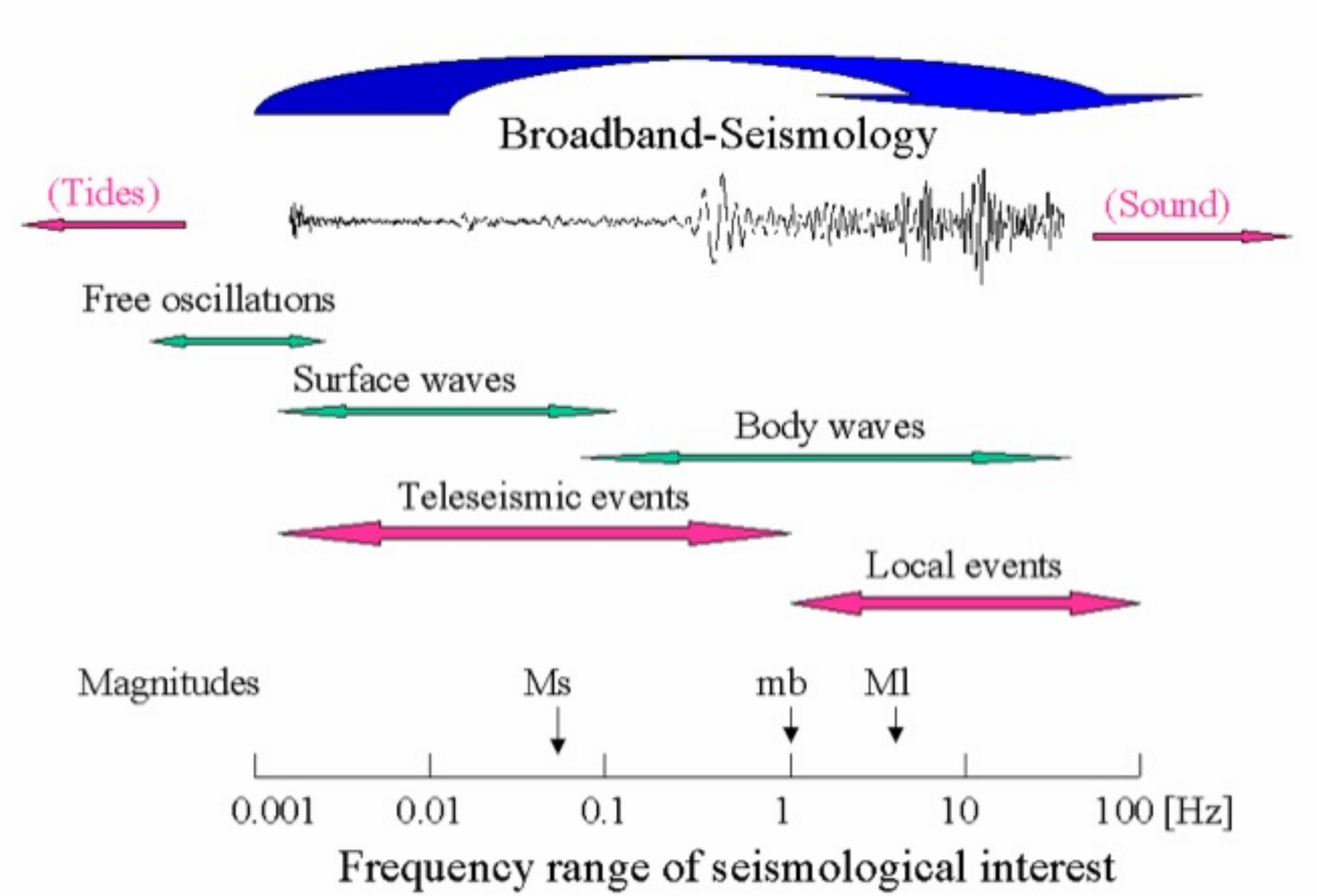
Transformée de Fourier



TF inverse

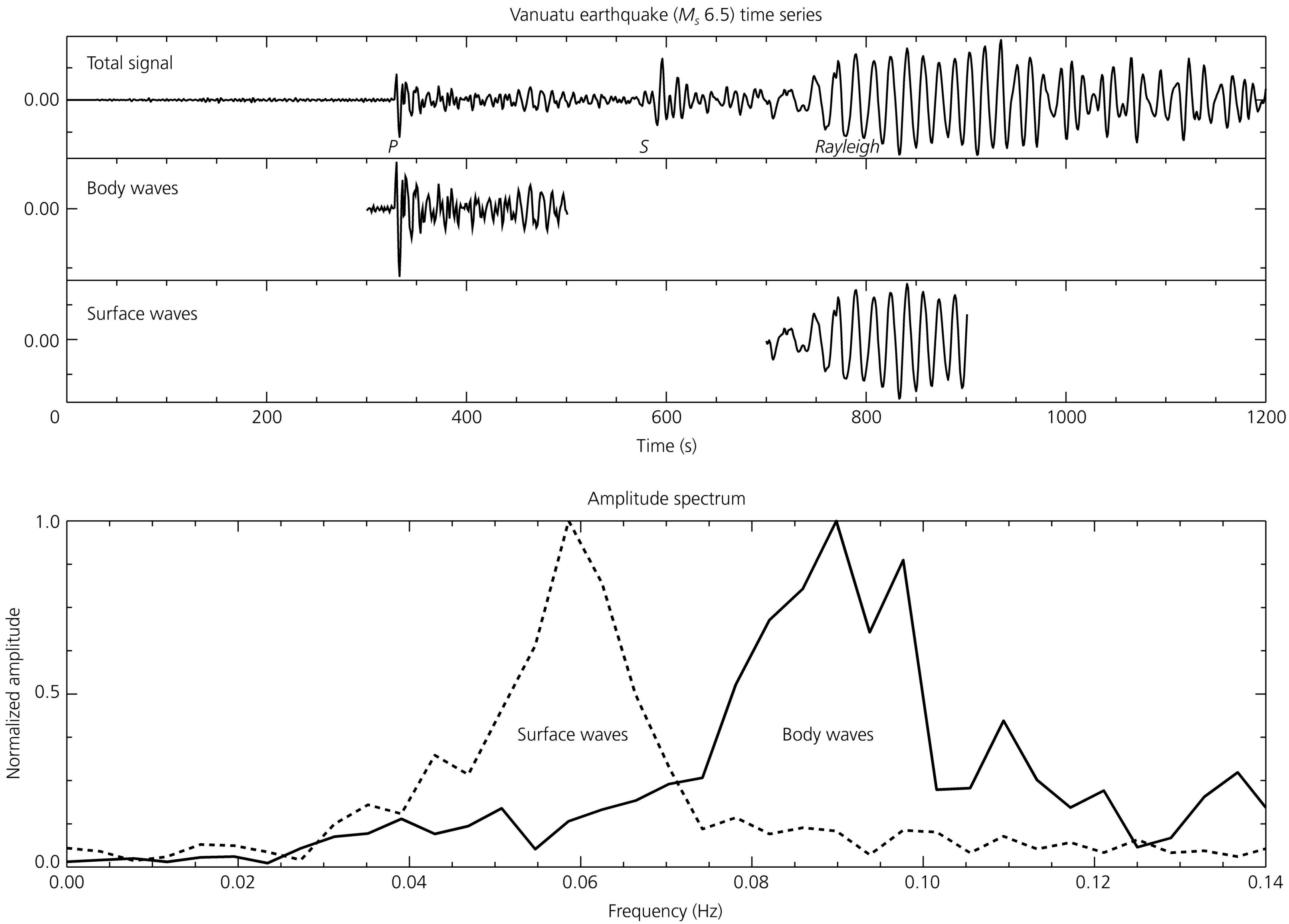


FRÉQUENCES DES ONDES ENREGISTRÉES



F = 100 Hz : Industrial vibrations
F = 10 Hz : Near explosions
F = 1 Hz : Distant explosions

Figure 6.2-3: Amplitude spectra for the body and surface wave segments from a large earthquake.



Comment passe-t-on du domaine temporel
au domaine fréquentiel ?

Transformée de Fourier

$$\boxed{F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-2i\pi ut}dt}$$

Cette fonction représente le spectre du signal f(t)

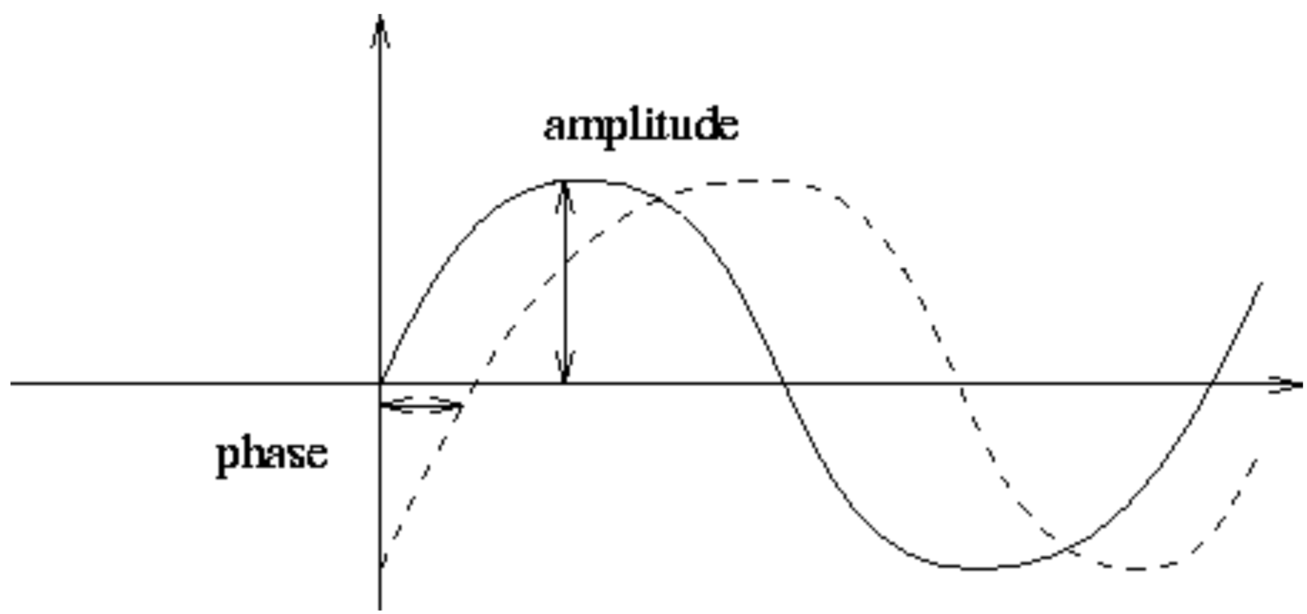
Transformée de Fourier Continue

$$F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-2i\pi ut}dt$$

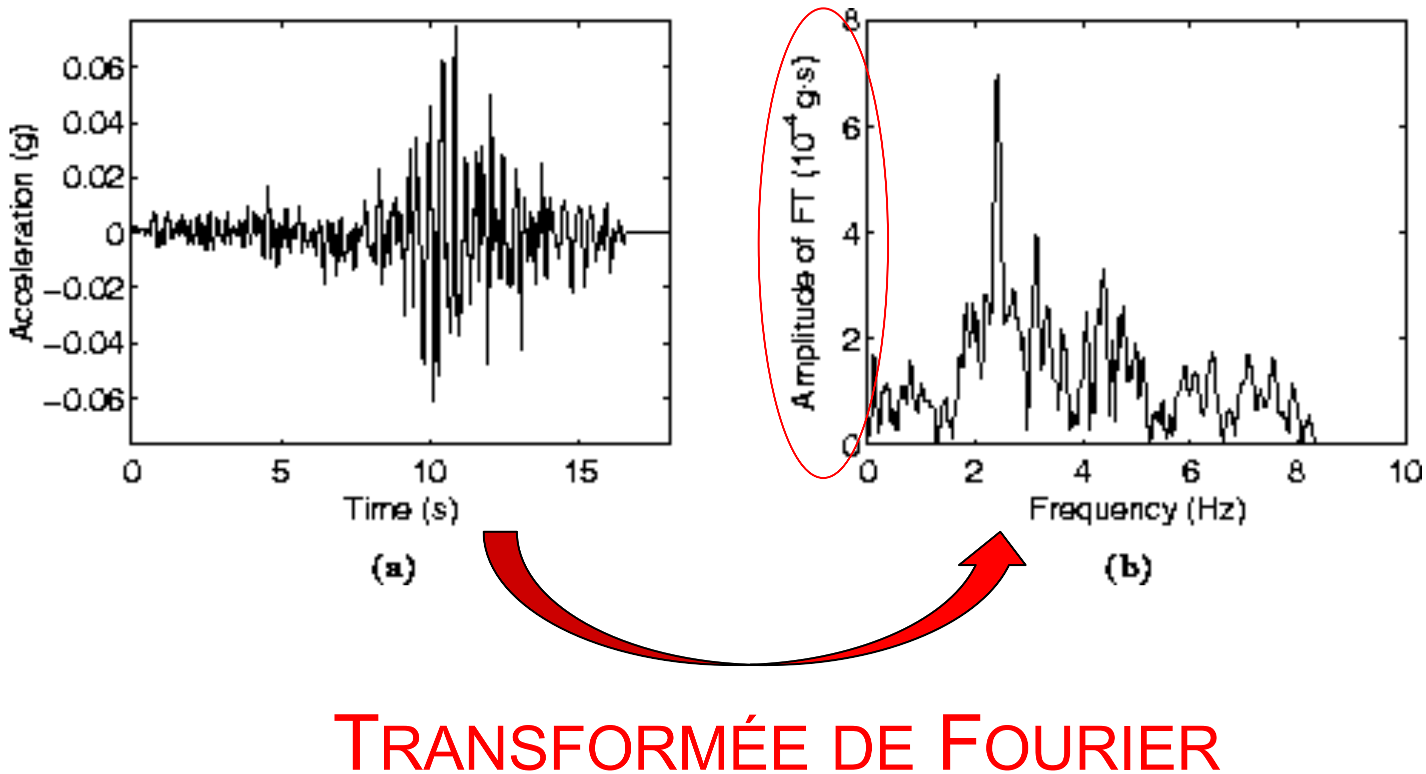
$$F(u) = A(u)e^{i\Phi(u)}$$

u fréquence
A(u) Amplitude
Φ(u) la Phase

Amplitude=|F(u)|=A(u)
Phase=arg(F(u))=$\Phi(u)$

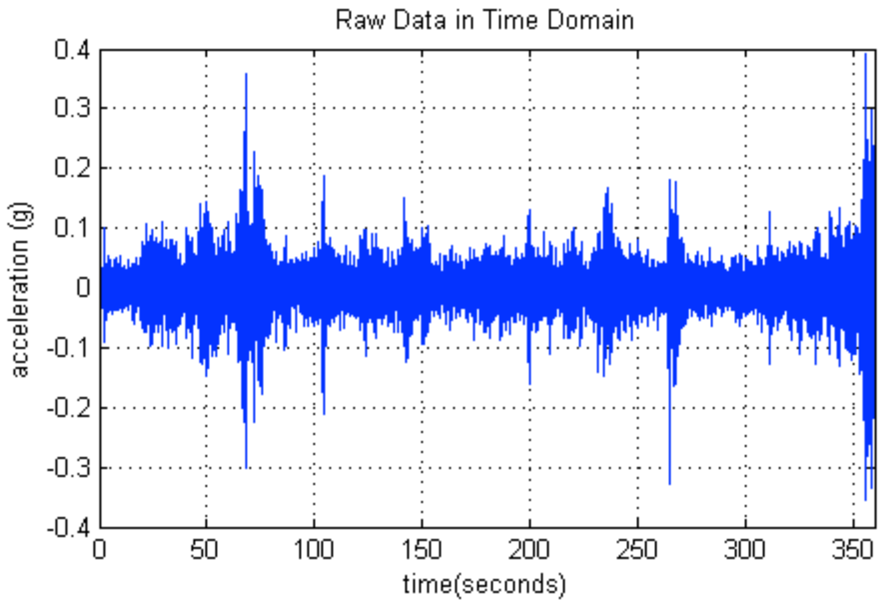


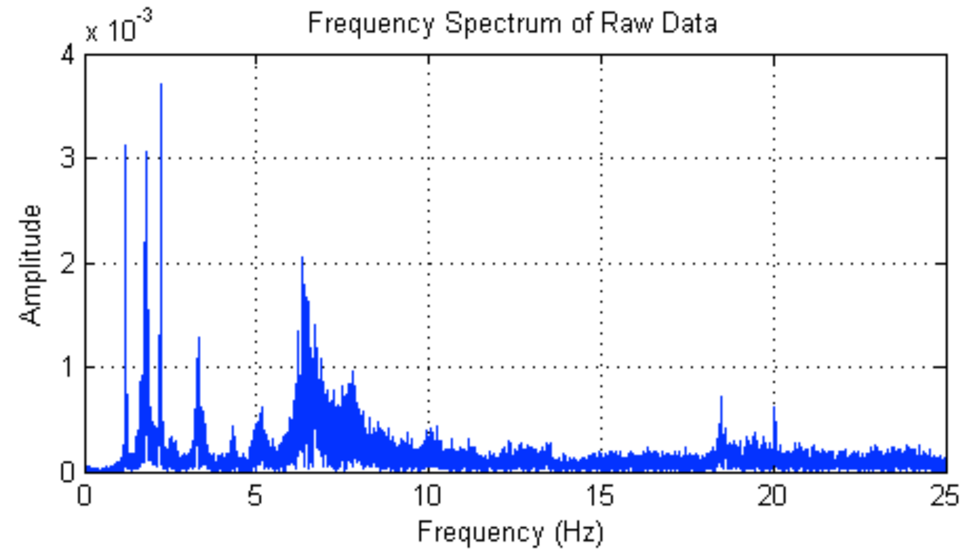
SIGNAL?



Amplitude=|F(u)|=A(u)

TF : temps —> fréquence : je représente la valeur absolue de la TF
TF inverse : fréquence —> temps : je représente la partie réelle de la TF inverse





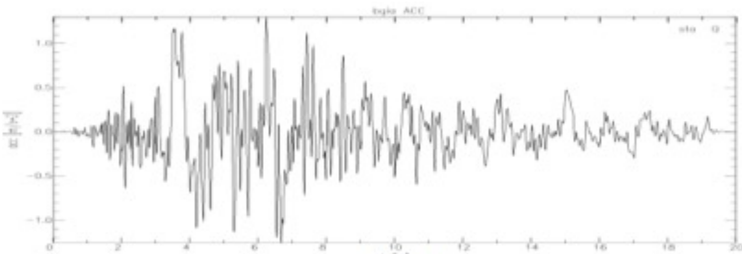
Ce signal est la réponse d'un bâtiment pendant un séisme

Spectre: 2 pics d'amplitudes plus importantes ->

fréquences de résonnance du bâtiment -> dommages plus importants à ces fréquences

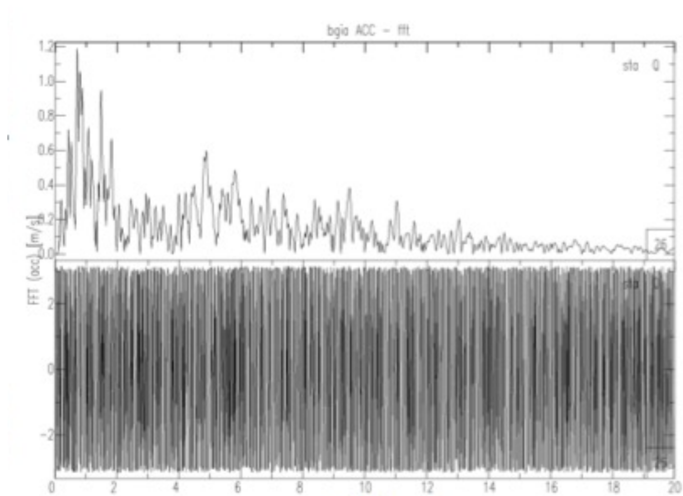
Domaine Temporel -> Domaine Fréquentiel

Série temporelle



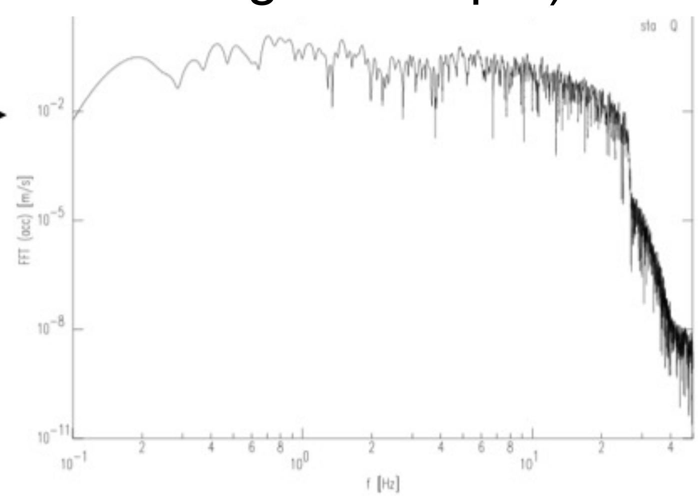
t [s]

Spectre (Amplitude et Phase)



f [Hz]

Spectre (Echelle Logarithmique)



$$\text{Domaine Temporel} \xrightarrow{\text{TF}} \text{Domaine Fréquentiel}$$

$$\text{Domaine Temporel} \xleftarrow{\text{???}} \text{Domaine Fréquentiel}$$

Transformée de Fourier Inverse:

$$\boxed{\mathrm{f}(\boldsymbol{t}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}\boldsymbol{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \boldsymbol{F}(\boldsymbol{u})\boldsymbol{e}^{\mathbf{2}\boldsymbol{i\pi ut}}\boldsymbol{du}}$$

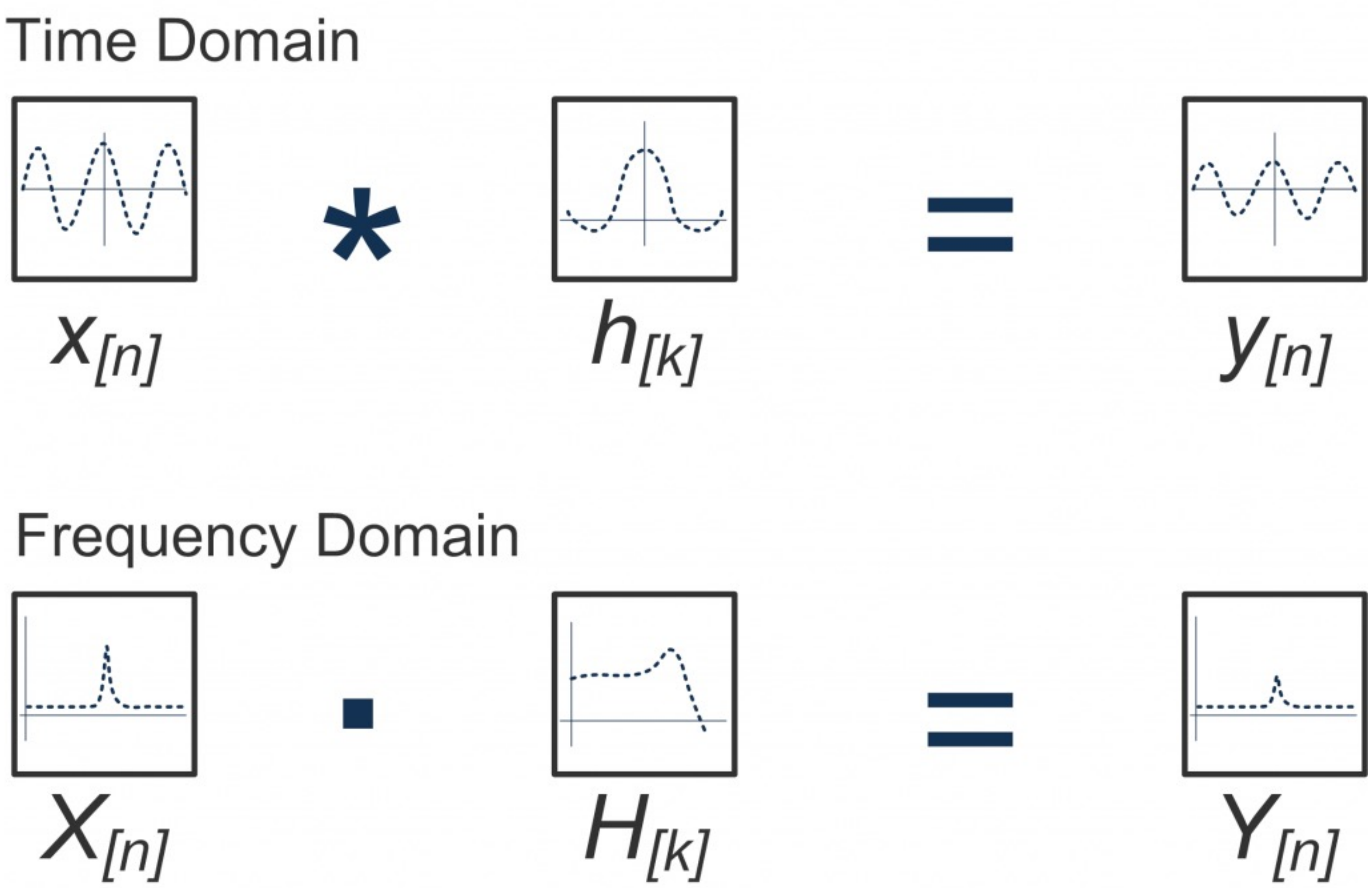
Transformée de Fourier

$$F(\omega) = \hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad , \quad \omega = 2\pi f$$

Transformée de Fourier inverse

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Théorème de Plancherel



<u>Théorème de Pancherel</u>

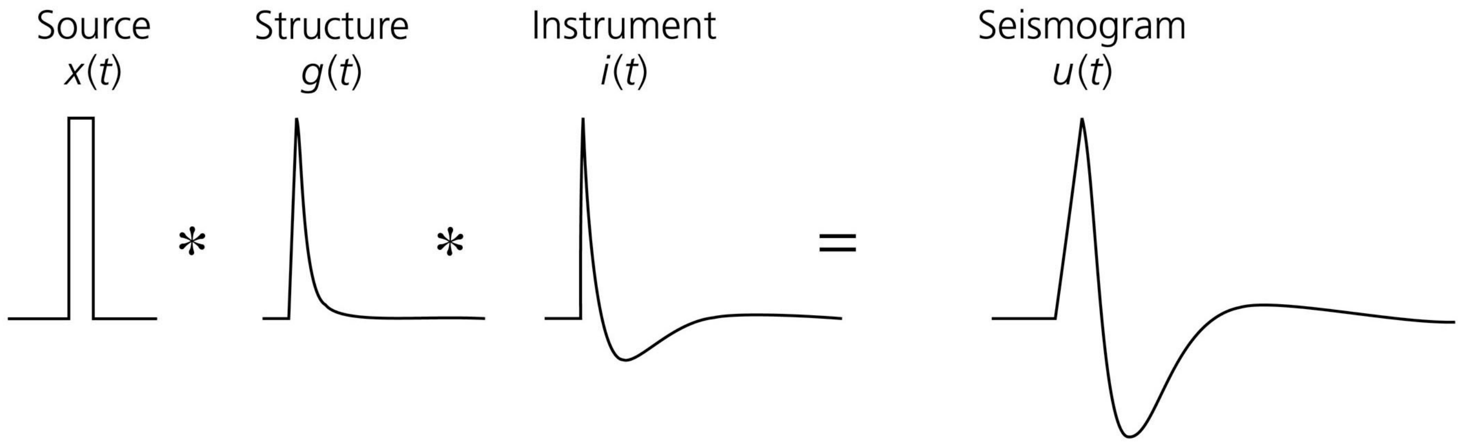
<u>(ou théorème de la Convolution):</u>

$F[f*g]=F.G$

$F[f.g]=F*G$

Convolution

Figure 6.3-5: Seismogram as the convolution of the source, structure, and instrument signals.



$$u(t) = s(t) * g(t) * i(t) + b(t)$$

Filtre

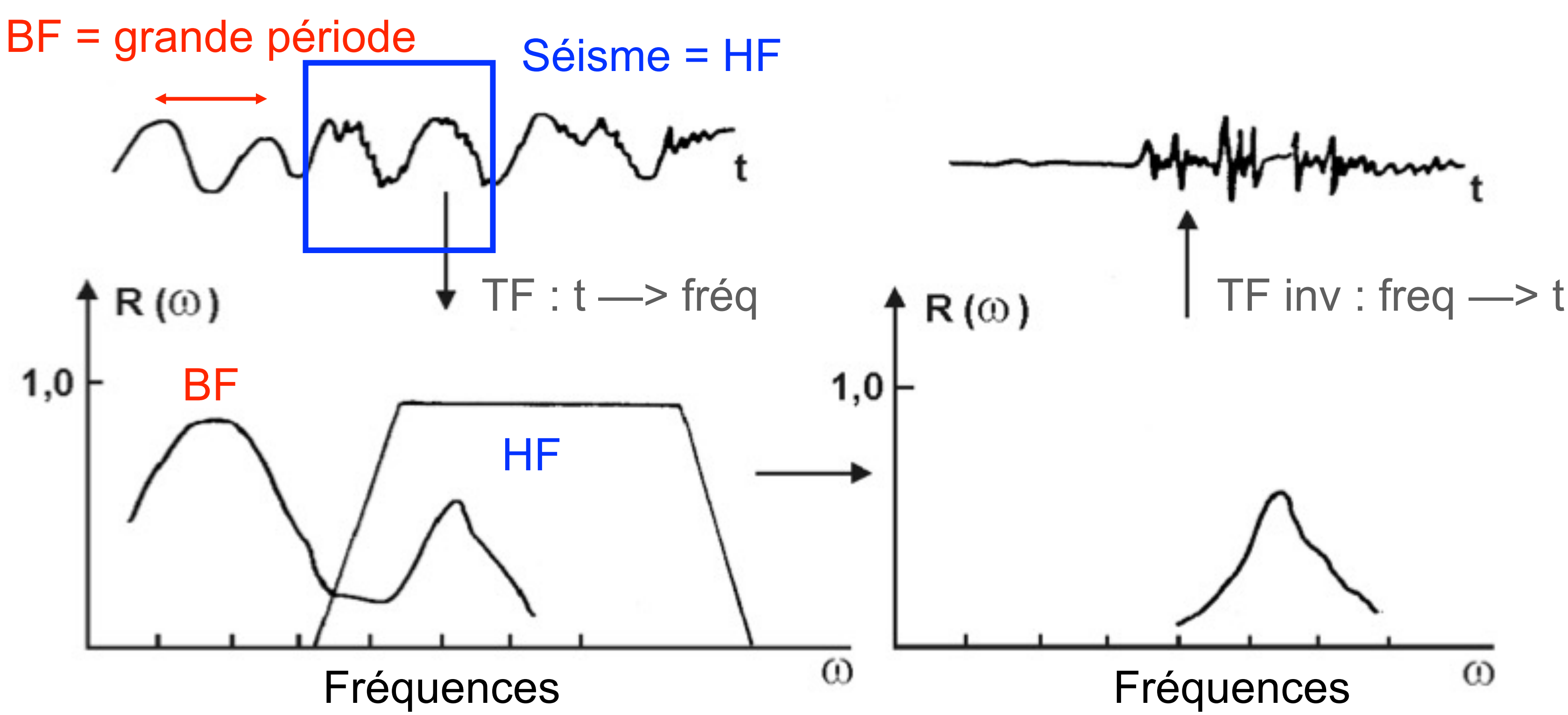


Fig. 4.26 Principle of FOURIER transform and bandpass filtering of a seismic record.

Filtre

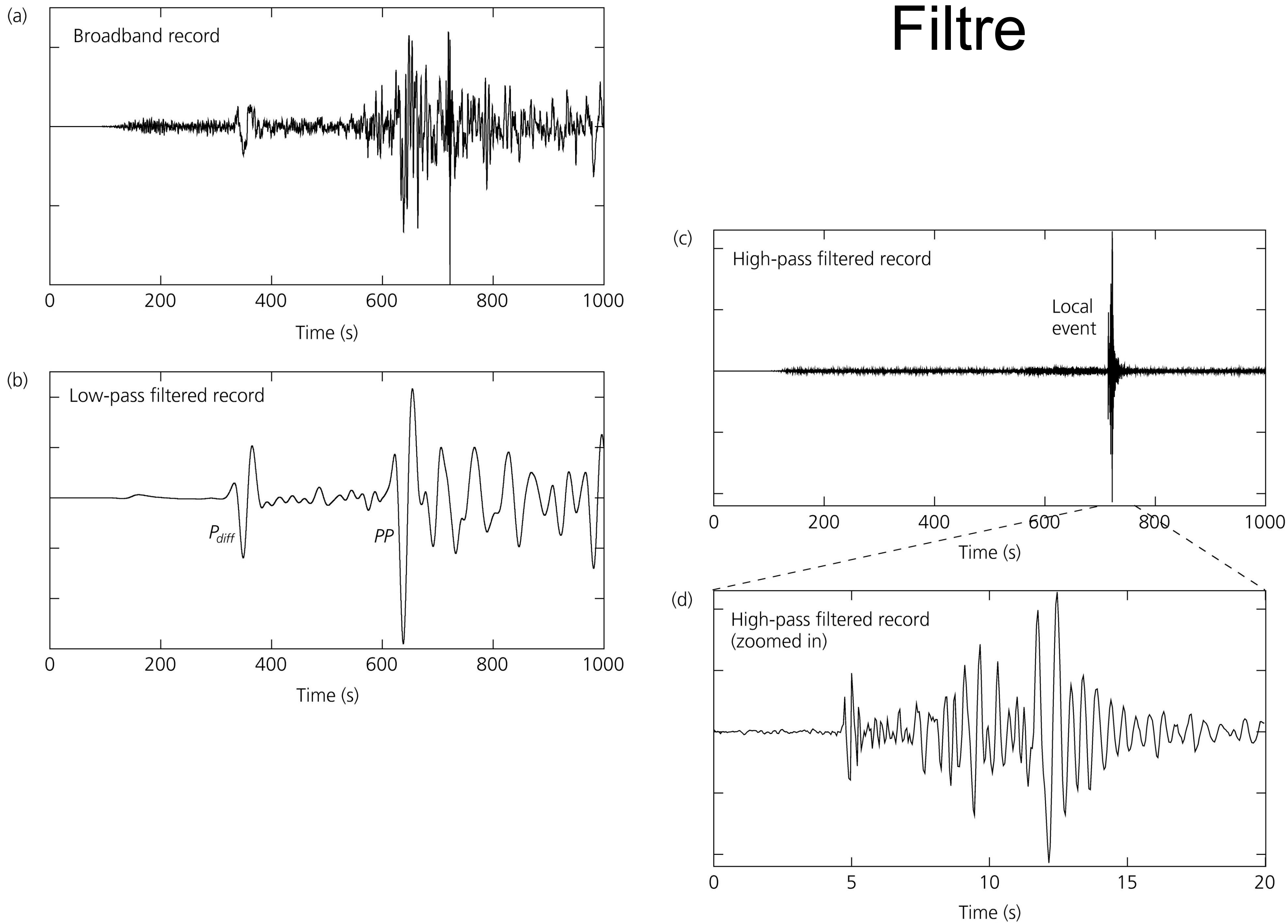


Figure 6.6-11: Use of filtering to enhance different frequency bands of a single seismogram.

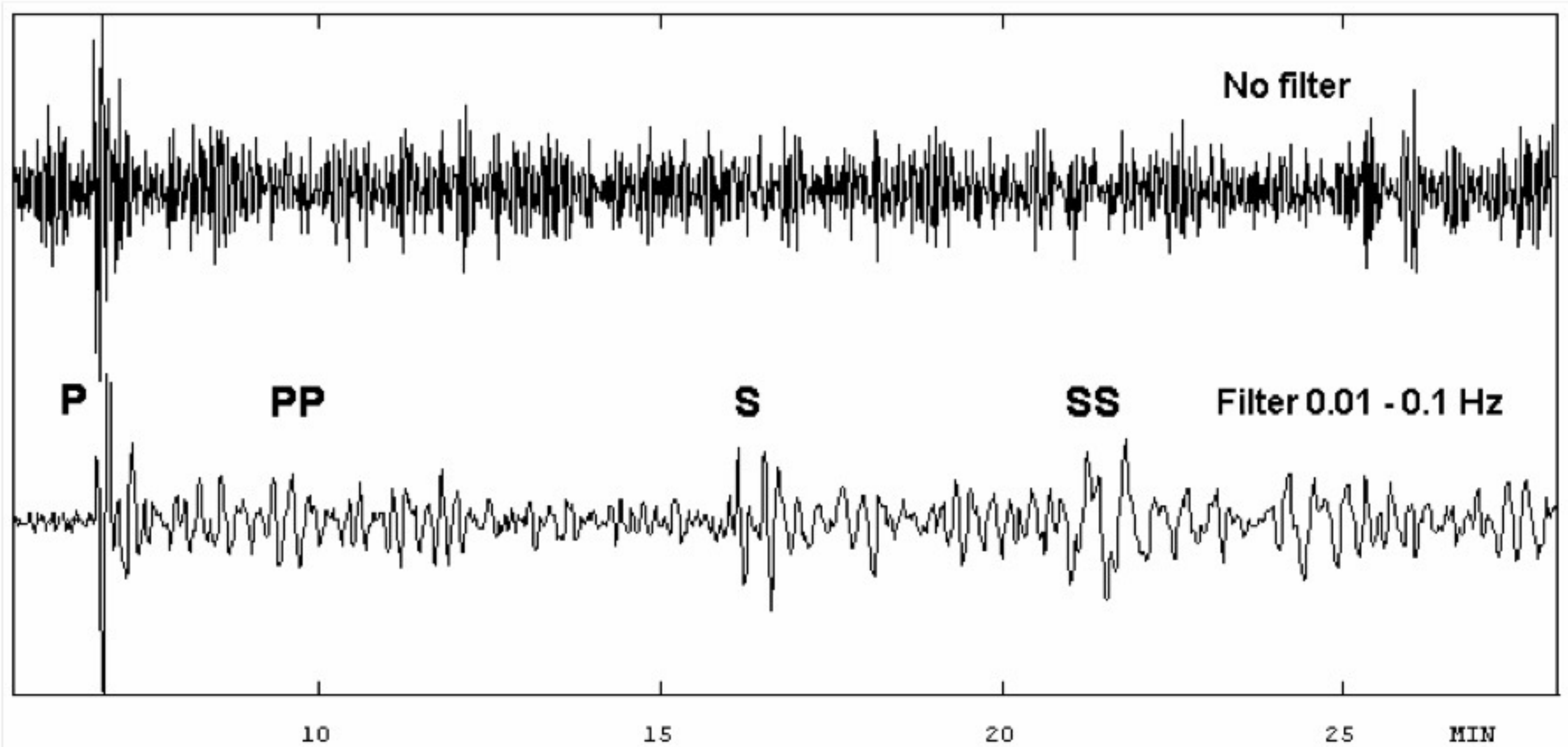
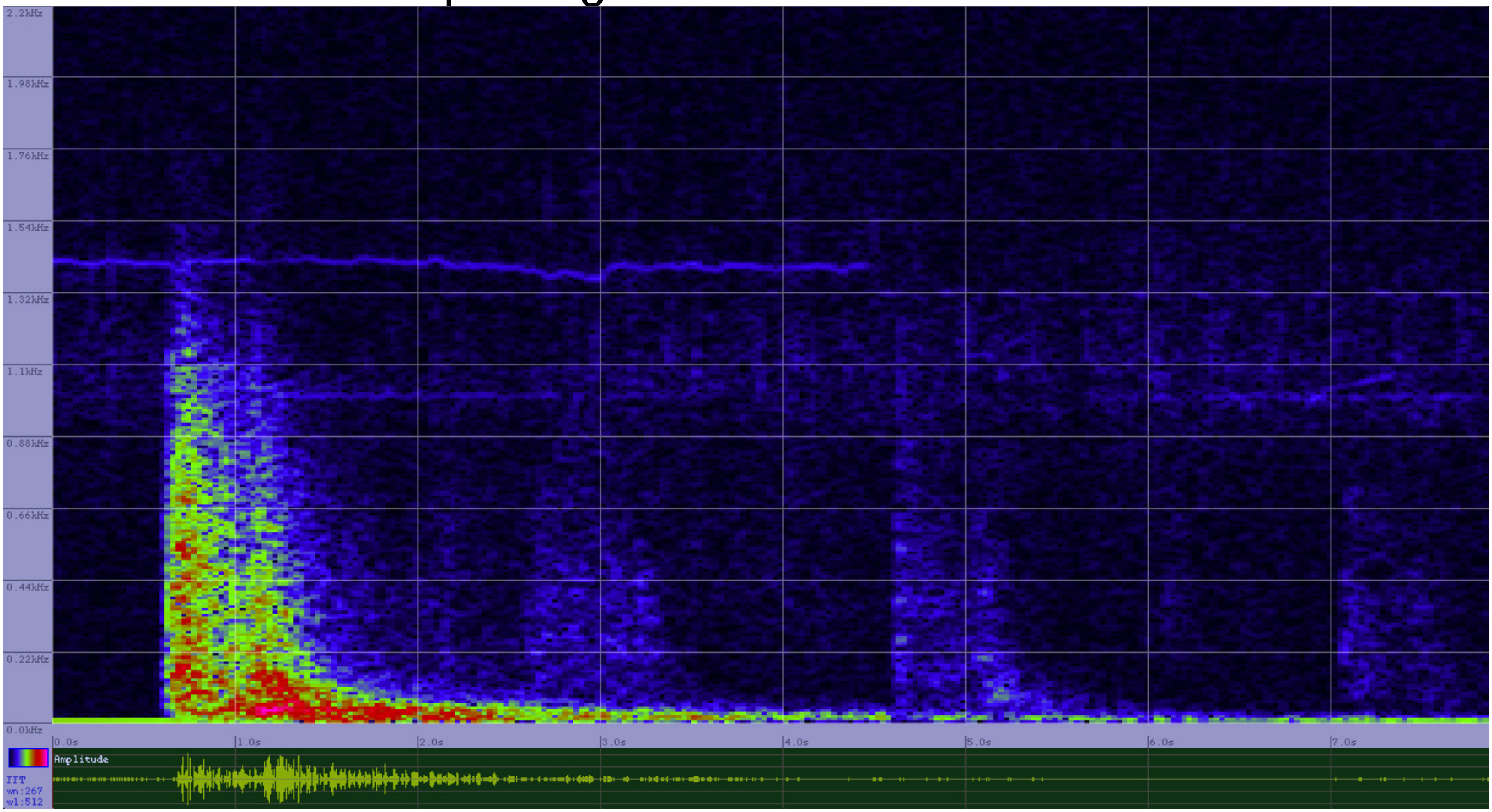


Fig. 4.27 Recording of a LP trace at a broadband station. The LP trace has a flat velocity response from 360 s to 0.5 s. On the unfiltered trace (top), only the P-phase might be identified, while on the filtered trace (bottom), the signal-to-noise ratio is much improved and several later phases are clearly recognizable since the microseisms have been removed by filtering (courtesy of J. Havskov, 2001).

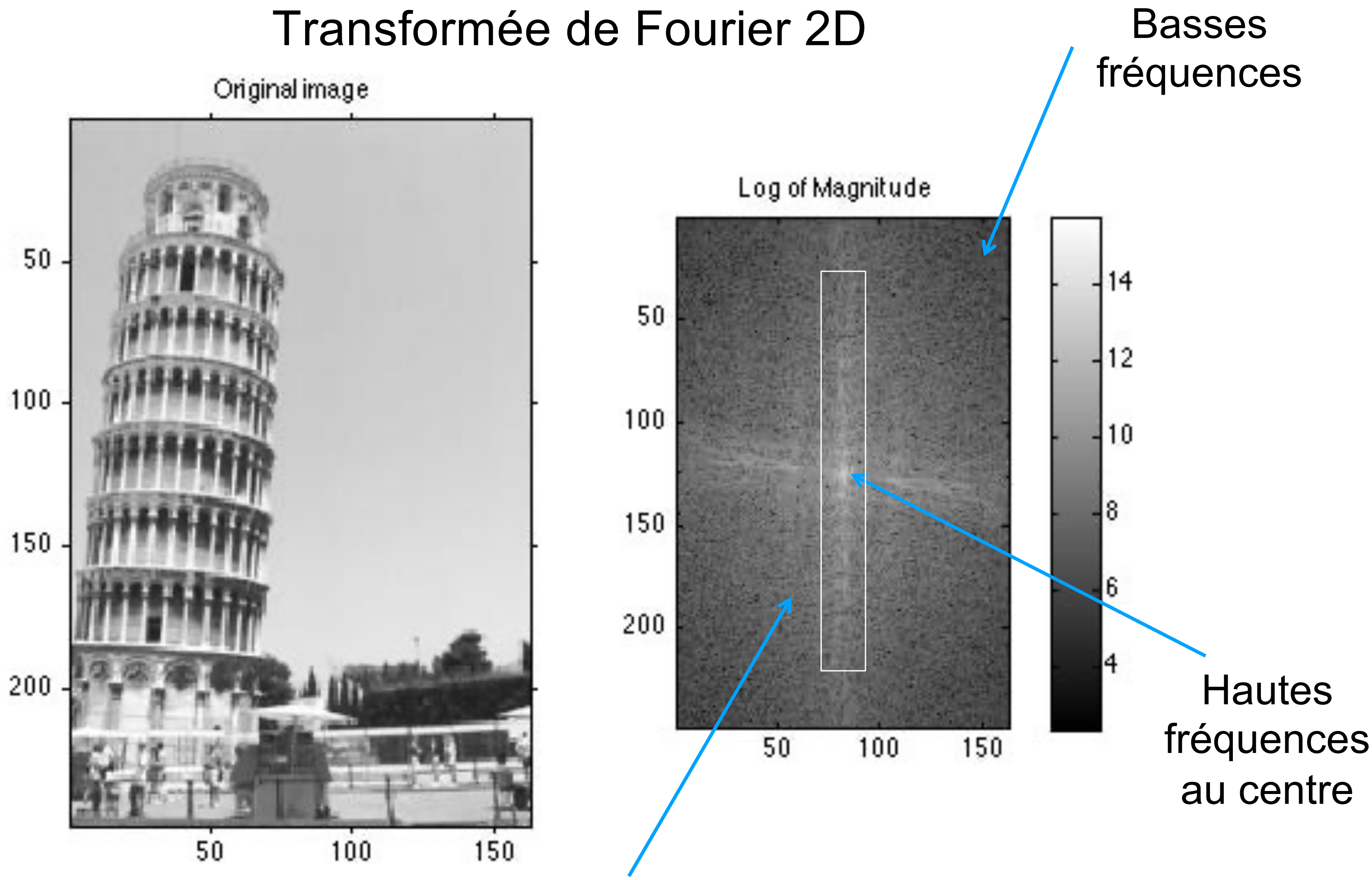
Spectrogramme d’un séisme



Le spectrogramme est une représentation à chaque instant t d'un signal, de son spectre de fréquence.

Utilisé: identifier des sons (animaux, musique), reconnaissance de la parole….
Volcanologie….

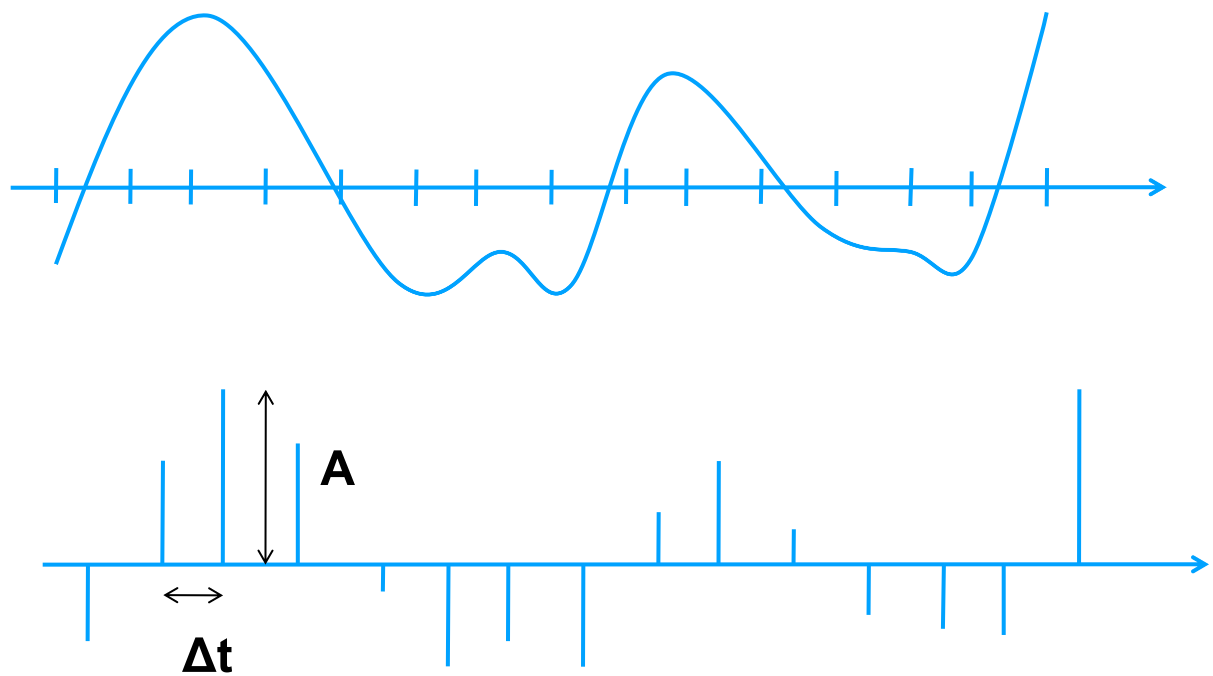
Transformée de Fourier 2D



On peut filtrer directement l'image dans l'espace de Fourier par exemple, en annulant les coefficients complexes correspondant à certaines fréquences.

La problématique des Signaux digitaux

- **Le signal créé par la terre est continu (analogue)**
- **Le signal enregistré est discrétisé (digital)**
- **Comment passe-t-on d'un domaine à l'autre?**



- <u>Signal analogue</u> $f(t)$
- <u>Signal numérique</u> $f(k,\Delta t)$

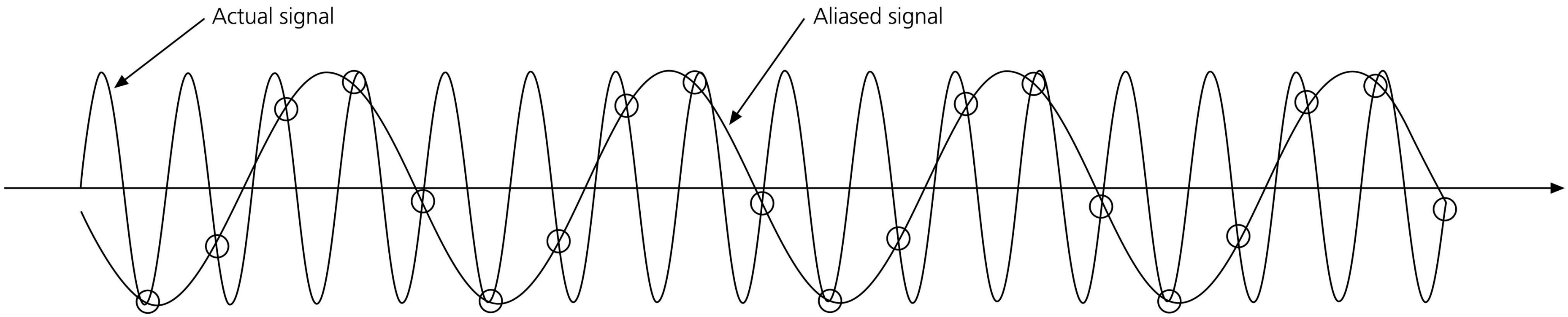
A : amplitude

Δt : échantillonage

- <u>Problème:</u>

COMMENT CHOISIR Δt CORRECTEMENT POUR RESTITUER LE SIGNAL?

Figure 6.4-3: Example of aliasing in sampling a time signal at less than two samples per wavelength.

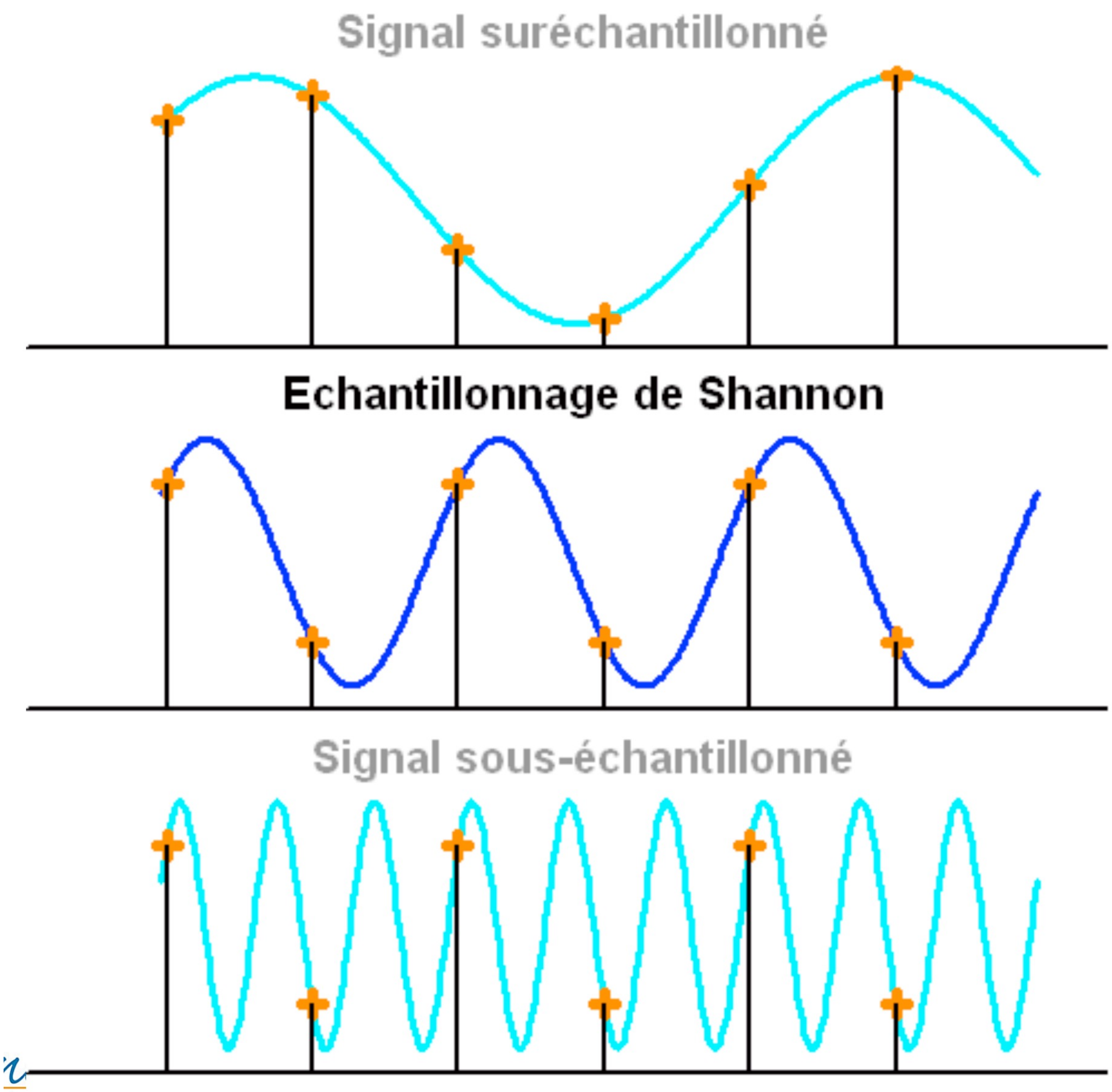


THÉORÈME DE SHANNON:

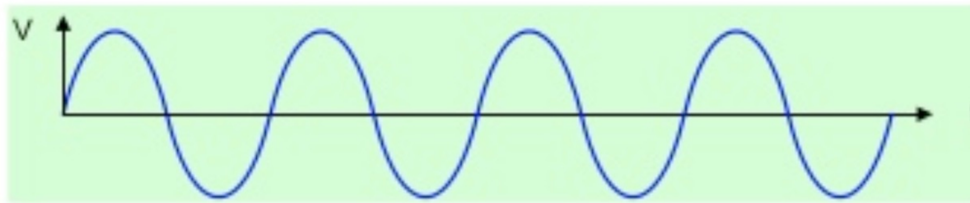
On ne peut pas retrouver $f > F_N = 1/(2\Delta t)$

F_N est la fréquence Nyquist

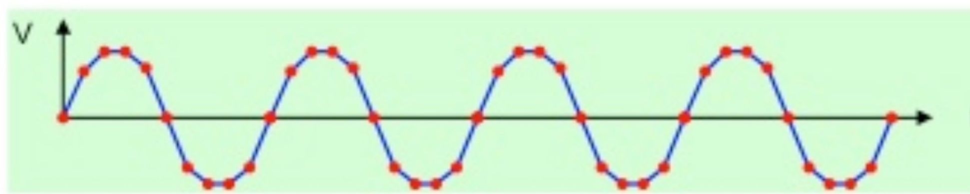
Δt est le pas d'échantillonnage


Signal suréchantillonné
Echantillonnage de Shannon
Signal sous-échantillonné

Considérons un signal sinusoïdal de fréquence f (fig. 7a) :



Avec $f_E = 10f$ (10 échantillons par période) :
échantillonnage correct.
Après restitution par interpolation linéaire (fig. 7b) :



Avec $f_E < 2f$, l'échantillonnage est incorrect (fig. 7c) :

-> Vous verrez ça en TP….