

# La détection synchrone : application

(Anglais: lock-in amplifier)

La cigale chante

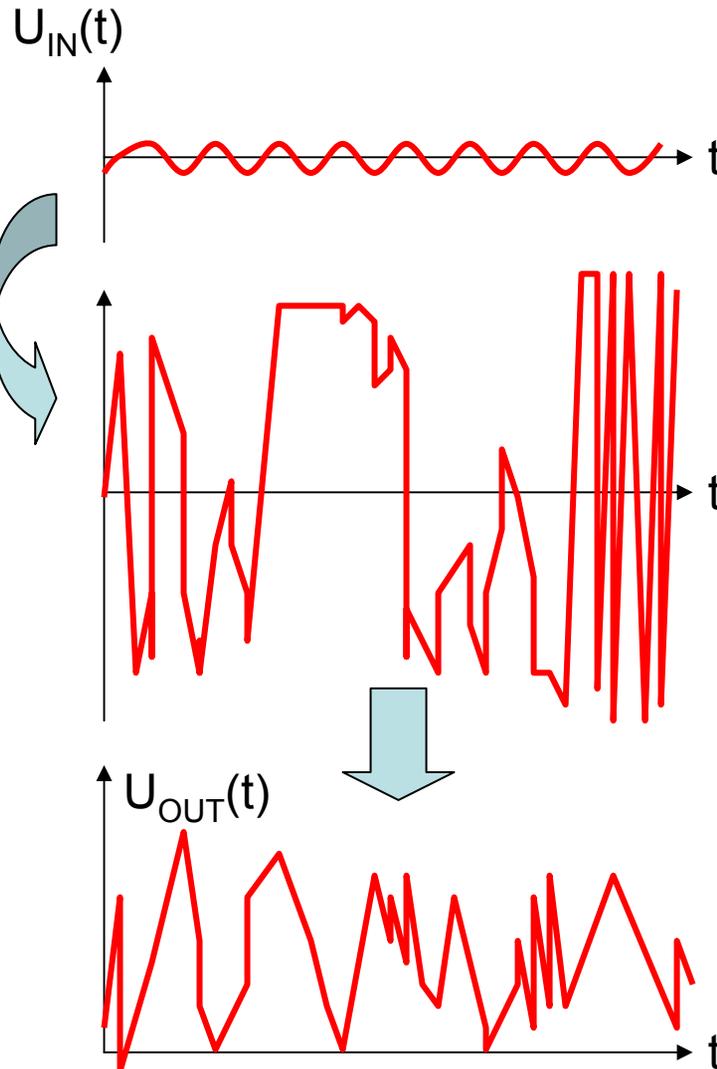


Mais il y a du bruit...



... beaucoup de bruit.

Quelle est l'amplitude du chant de la cigale ?

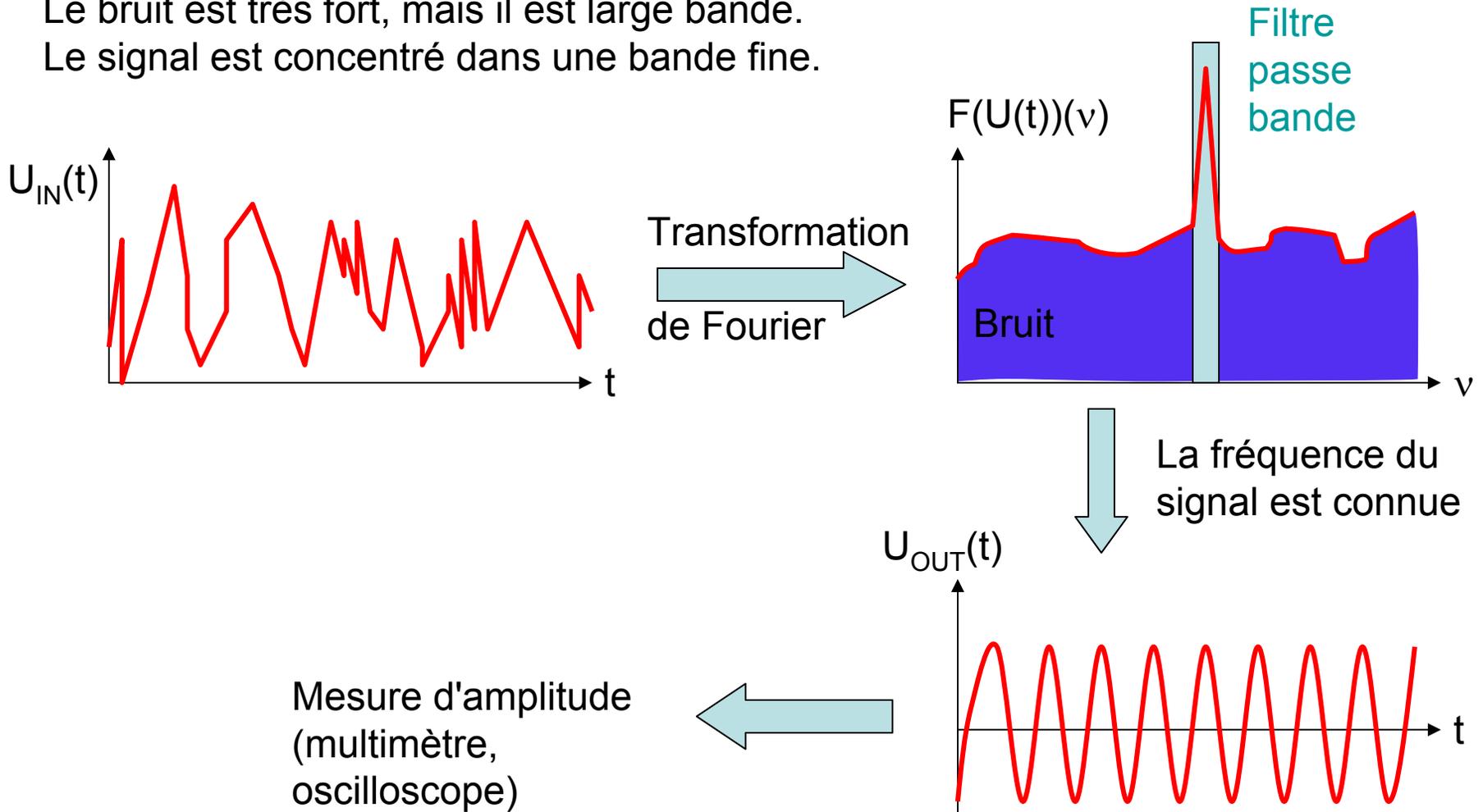


Comment extraire le signal intéressant d'une mesure bruitée ?

# L'idée : étape #1

Faire comme notre oreille

Le bruit est très fort, mais il est large bande.  
Le signal est concentré dans une bande fine.



# L'idée : étape #2

Le bruit est généré par beaucoup d'événements aléatoires

➔ Le bruit se distingue du signal également par la distribution aléatoire de sa **phase**.

➔ **Profiter de la relation de phase constante du signal.**

La mesure qui rejette un maximum de bruit prend en compte seulement la composante de  $U_{IN}(t)$  qui a à la fois **la bonne fréquence ET la bonne phase** (réglable).

(La condition de la bonne phase inclut la condition de la bonne fréquence)

# Principe de fonctionnement des détections synchrones (lock-in amplifiers)

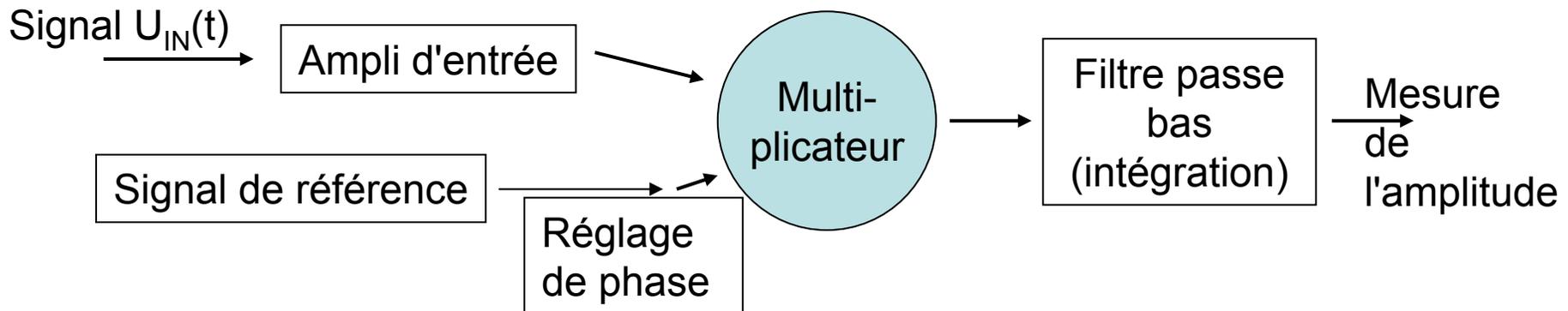
## Le principe

1.)  $\sin(a) * \sin(b) = 1/2 * (\cos(a-b) - \cos(a+b))$       $a, b$  complexes

(Une manière de faire) 2.)  $\int_0^{t_1} C \gg \int_0^{t_1} C \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt$      Si  $t_1 \gg T$

En multipliant le signal à mesurer ( $\sin(a)$ ) avec une référence ( $\sin(b)$ ), et en intégrant le signal résultant sur "longtemps", on mesure principalement la partie de  $\sin(a)$  qui à la même fréquence (et la même phase) que  $\sin(b)$ .

## Schéma de principe:



# Application: mesures photothermiques

## Le but de la mesure

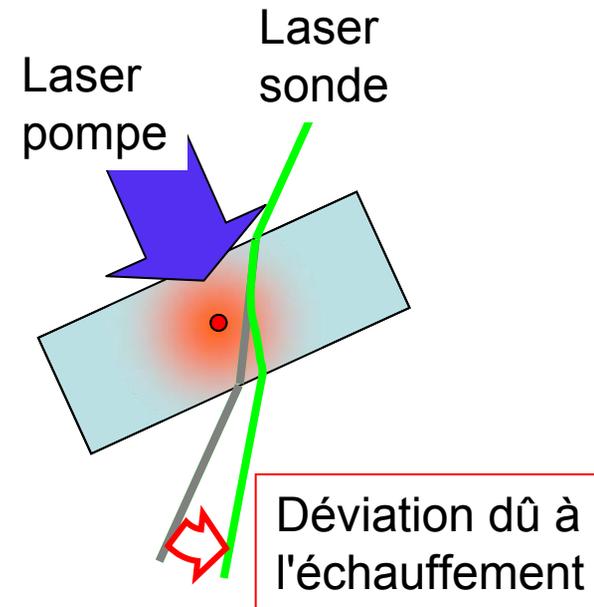
Mesurer une absorption optique faible (niveau ppm)

## Le principe de mesure

1. Un laser pompe est absorbé par une impureté
2. L'impureté chauffe, et par cela chauffe le matériau hôte
3. Le matériau hôte se dilate et change donc son indice de réfraction
4. Le faisceau sonde, qui rase la zone chauffée, est dévié grâce au gradient de l'indice de réfraction.

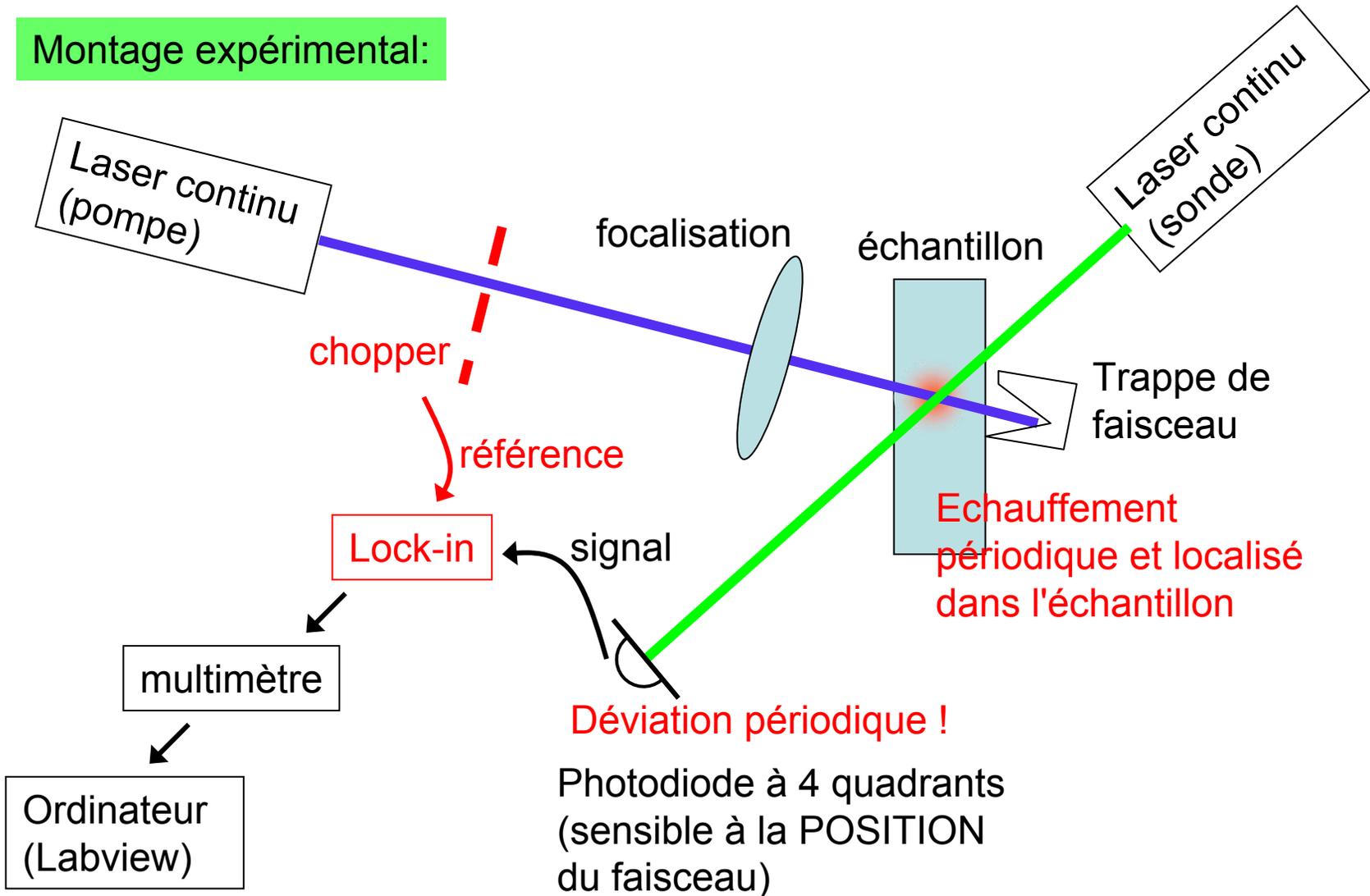
## Sources de bruit

- Fluctuations du laser sonde
- courants d'air
- vibrations de la table, du bâtiment...
- bruit du capteur



# Application: mesures photothermiques

## Montage expérimental:



# Performances typiques



Rejection du bruit: (dynamic reserve) > 60 dB

Rapport toléré entre, l'amplitude du signal le plus fort qu'on ne veut pas mesurer, et le "full scale", avant que la précision de mesure ne soit réduite.

60 dB:  $V_{\text{eff}}(\text{bruit}) \leq 1000 * V_{\text{eff}}(\text{signal})$

(plus si assez éloigné de la fréquence à mesurer)

## Signal Input

Input Impedance	50 $\Omega$ or 1 M $\Omega$    30 pF.
Damage Threshold	$\pm 5$ V (DC+AC)
Bandwidth	25 kHz to 200 MHz.
Full Scale Sensitivity	100 nV to 1V rms
Gain Accuracy	< 50 MHz $\pm 0.25$ dB < 200 MHz $\pm 0.50$ dB
Gain Stability	0.2%/°C
Coherent Pickup from reference channel	
f < 10 MHz	< 100 nV (typical)
f < 50 MHz	< 2.5 $\mu$ V (typical)
f < 200 MHz	< 25 $\mu$ V (typical)



# La bande de détection d'une détection synchrone

La largeur de la bande de détection dépend du temps d'intégration. Si  $\nu_S$  est la fréquence du signal (chopper), la bande de détection associée au temps d'intégration  $T_i$  est:

$$[ \nu_S - 1/(2 \cdot T_i) , \nu_S + 1/(2 \cdot T_i) ]$$

Un bruit dont l'amplitude est mille fois supérieure à celle du signal et dont la fréquence est en dehors de la bande de détection n'empêche pas la mesure du signal avec la précision indiquée.

**Une idée des prix: 3'000 – 9'000 \$**

# Les analyseurs de spectres

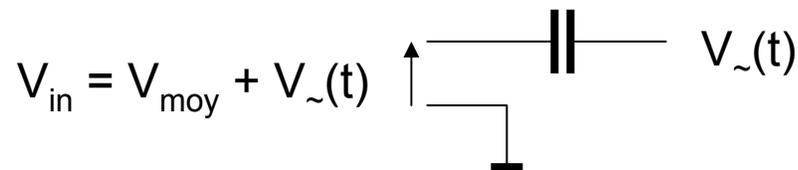
**But:** Caractériser le spectre d'un signal radiofréquence

**Les différents types d'analyseurs de spectres:**

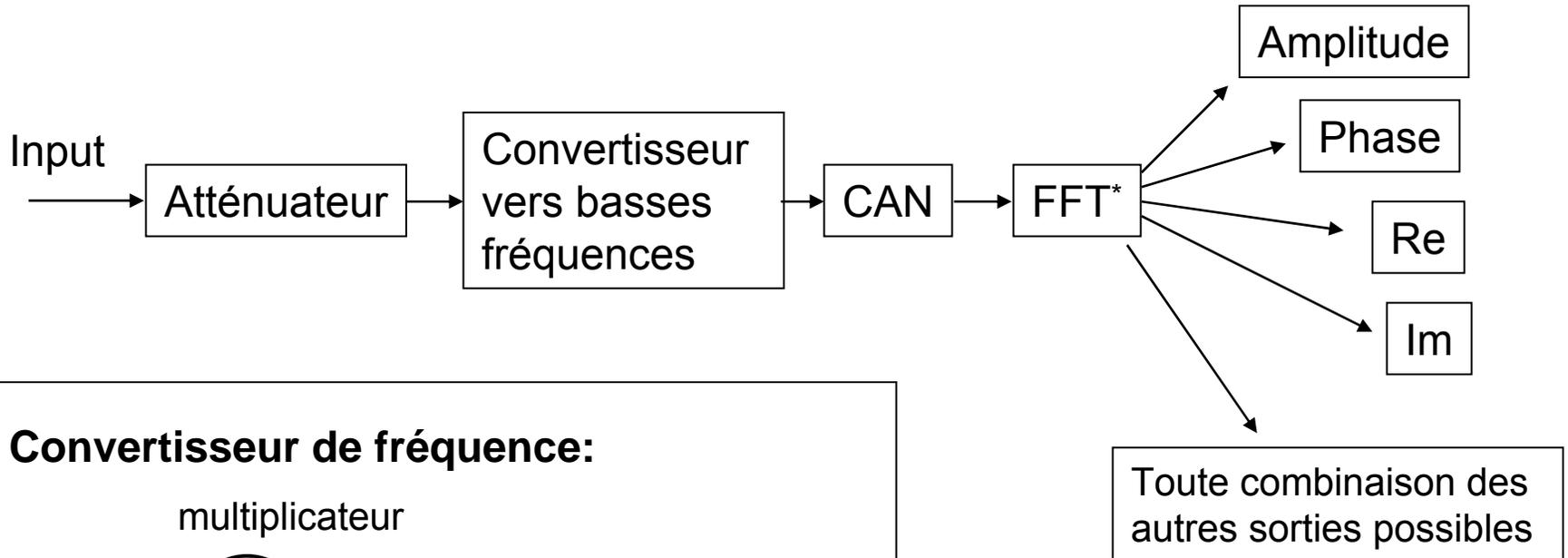
1. Analyseurs de Fourier
  2. Analyseurs vectoriels
  3. Analyseurs de balayage
- } Deux noms pour la même approche

**Première étape (commune à tous les types)**

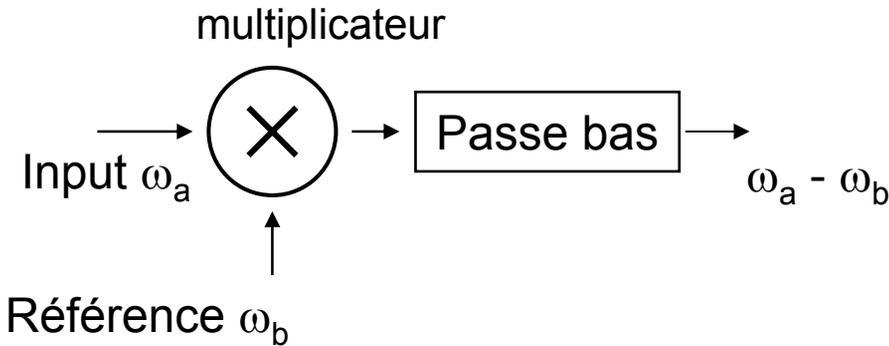
On s'intéresse uniquement à la partie variable des signaux. L'entrée est donc câblée en AC.



# Analyseurs de spectres type 1 et 2



## Convertisseur de fréquence:

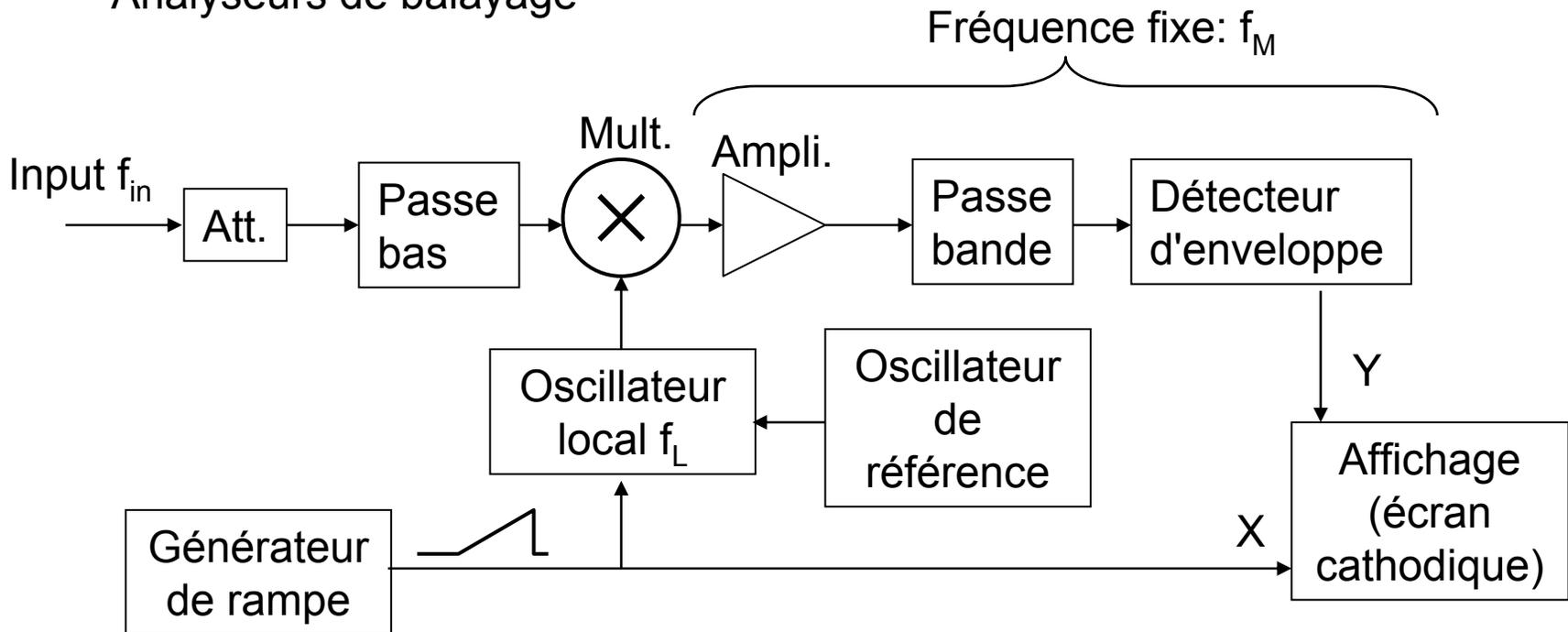


$$\sin(a) * \sin(b) = 1/2 * ( \cos(a-b) - \cos(a+b) )$$

\* FFT = Fast Fourier Transform

# Analyseurs de spectres type 3

Analyseurs de balayage



L'oscillateur balaye (en fonction de la tension de rampe) des fréquences de  $f_{L, \min} = f_M + f_{in, \min}$  à  $f_{L, \max} = f_M + f_{in, \max}$

Souvent les instruments on plusieurs étapes de conversion (vers le bas)

C'est un montage de type *super hétérodyne*, comme il est aussi utilisé en radio AM.

# Comparaison analyseurs de spectres

## Analyseurs de Fourier et Analyseurs vectoriels

Fonctionne avec des impulsions

Limité à < 6 GHz

Très cher si haute fréquence

Caractérisation complète du signal

## Analyseurs à balayage

Nécessite un signal stable pendant un balayage

Disponible en version microonde jusqu'à 26 GHz

Pour les appareils purement analogiques seulement sortie en amplitude ou puissance

La limite pour la résolution en fréquence est toujours donnée par le temps d'acquisition  $\Delta f = 1/T_{acq}$