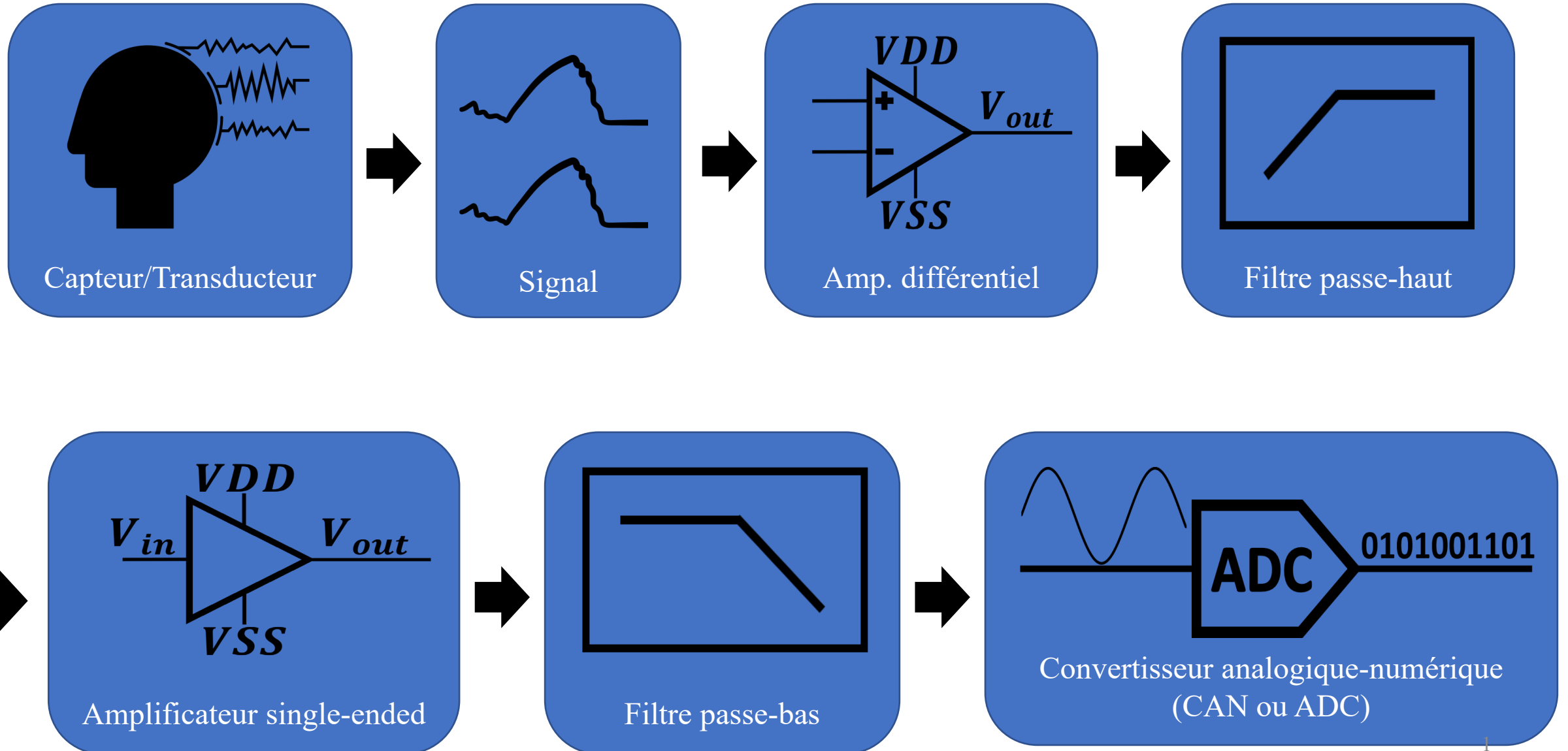


Chaine d'acquisition typique



Caractéristiques des différents blocs

Amp.
Différentiel

gain

bruit

Filtre
passe-haut

f_c

ordre

Ampli

gain

bruit

Filtre
passe-bas

f_c

ordre

CAN

F_s

résolution

Caractéristiques des différents blocs

Amp.
Différentiel

gain

bruit

CMRR

GBW

Slew rate

Filtre
passe-haut

f_c

ordre

bruit

Optimisation

Topologie

Ampli

gain

bruit

CMRR

GBW

Slew rate

Filtre
passe-bas

f_c

ordre

bruit

Optimisation

Topologie

CAN

F_s

résolution

Input range

noise

Comment choisir un CAN et un ampli ?

Spécifications
Cahier des
charges

gain

bruit

CMRR

résolution

Signal frequency
input range
power supply

....

Amp.
Différentiel

gain

bruit

CMRR

GBW

....

CAN

bruit

résolution

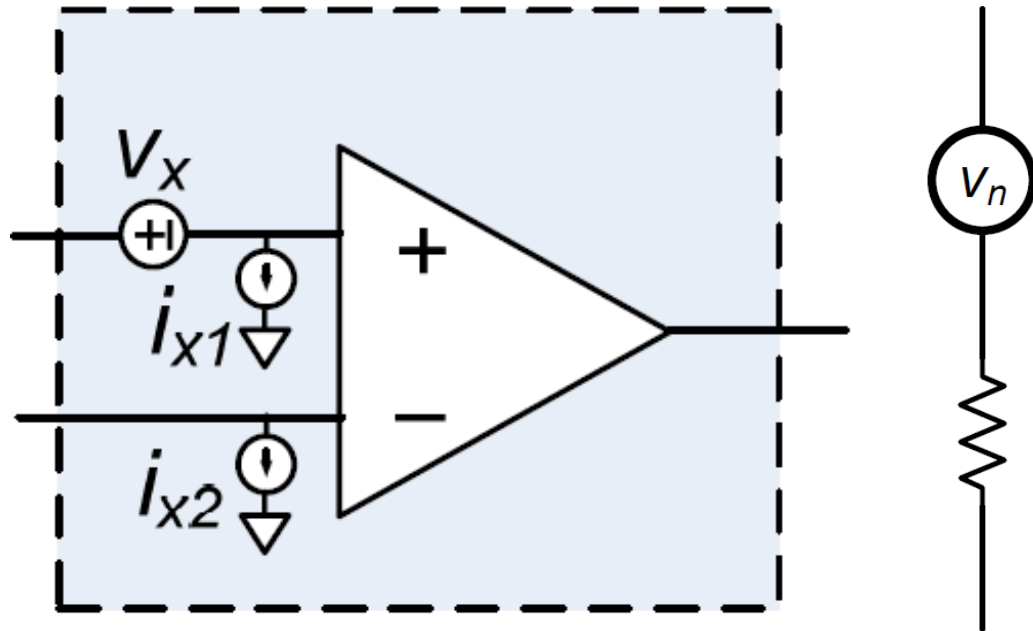
F_S

input range

....

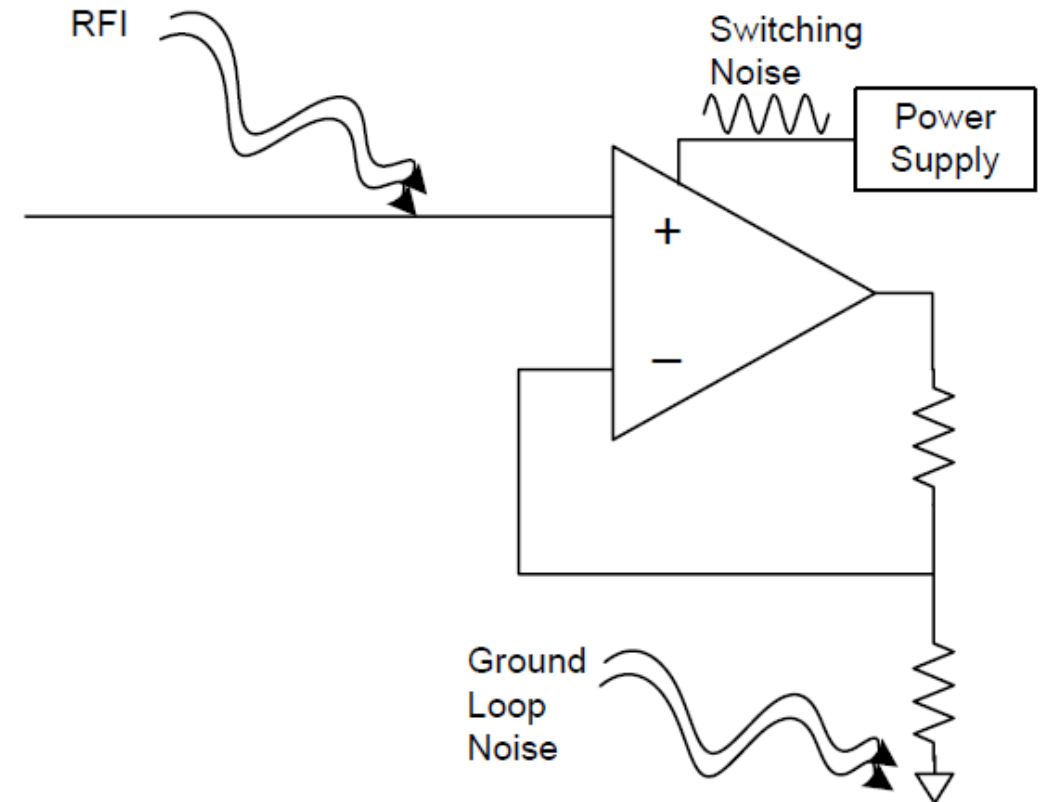
Bruit

Le **bruit** (sens strict) = origine **interne** **Parasites** (sens strict) = origine **externe**



Bruit dans un ampli

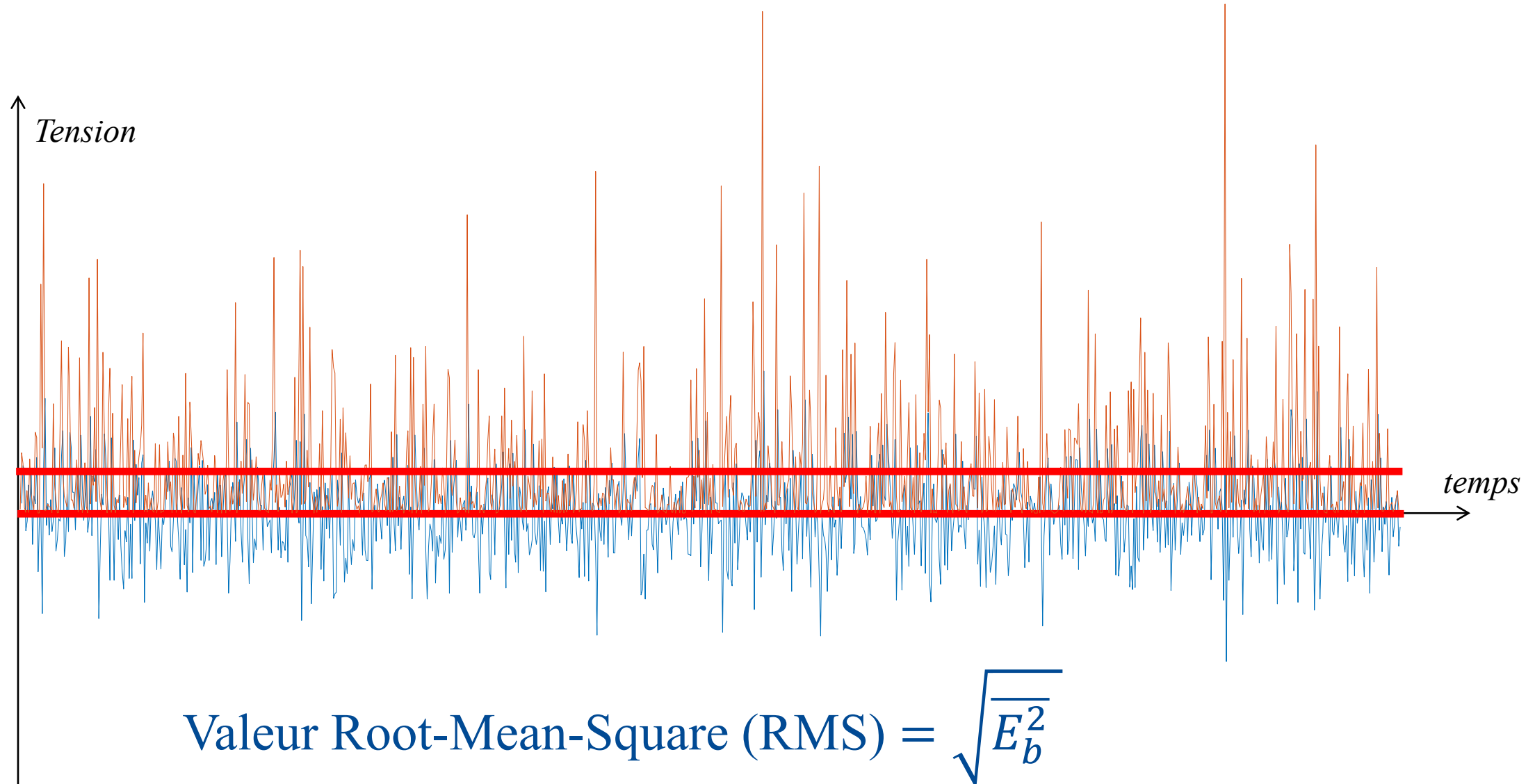
Bruit d'une résistance



Interférences EM

Bruit

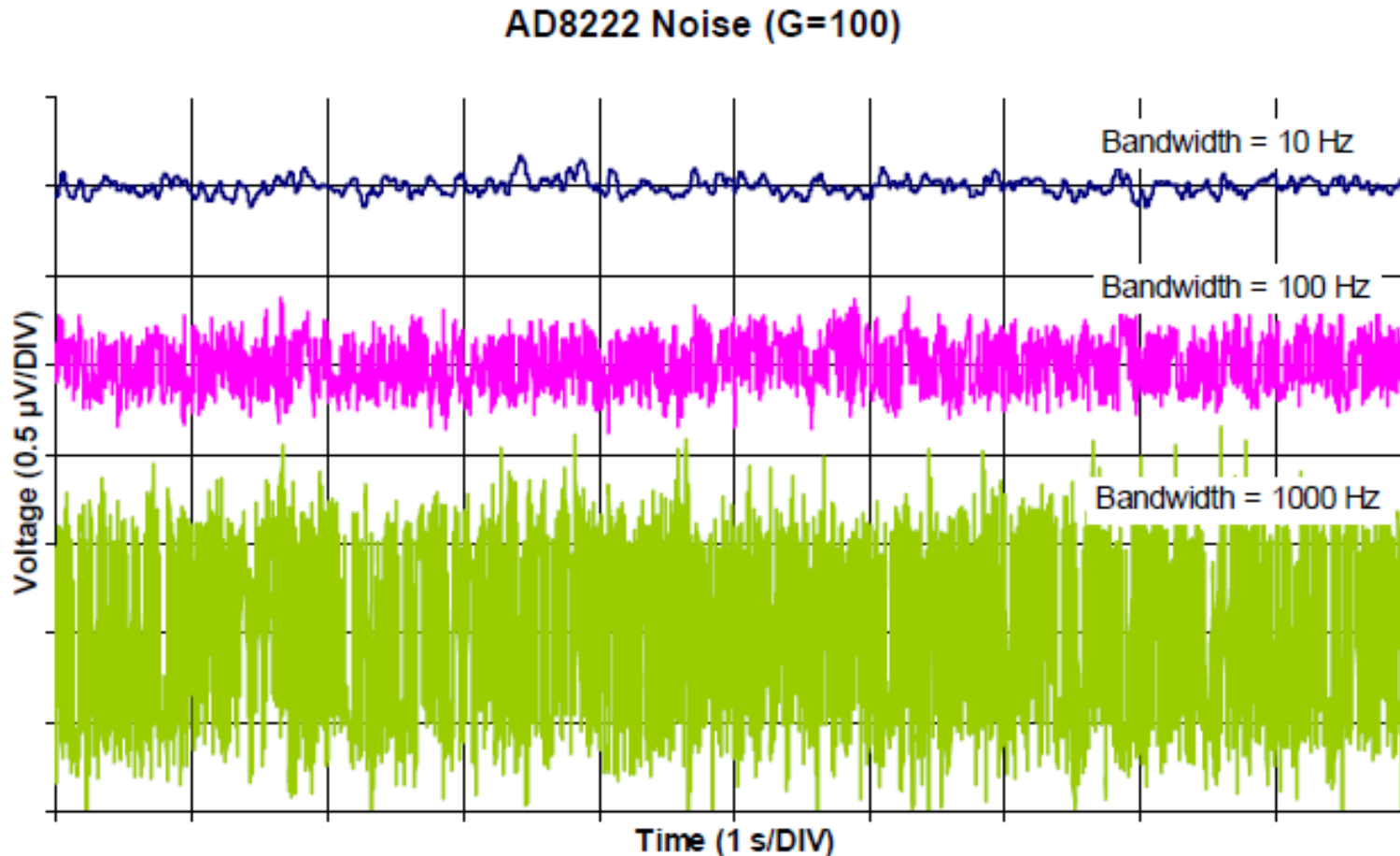
Le bruit est un signal temporel $\coloneqq E_b(t)$...Avec des fluctuations aléatoires: $\overline{E_b(t)} = 0$ MAIS $\overline{E_b^2(t)} \neq 0$



Densité spectrale de bruit

Le bruit augmente avec la bande-passante:

$$\text{densité spectrale de bruit} = (e_b)^2(f) \left[\frac{V^2}{Hz} \right] \rightarrow e_b(f) \left[\frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right]$$



Bande-passante ↗
=
Bruit ↗

Types de bruit

Bruit thermique d'une resistance:

$$E_b = \sqrt{4kRT(\Delta f)}$$

Bruit RMS

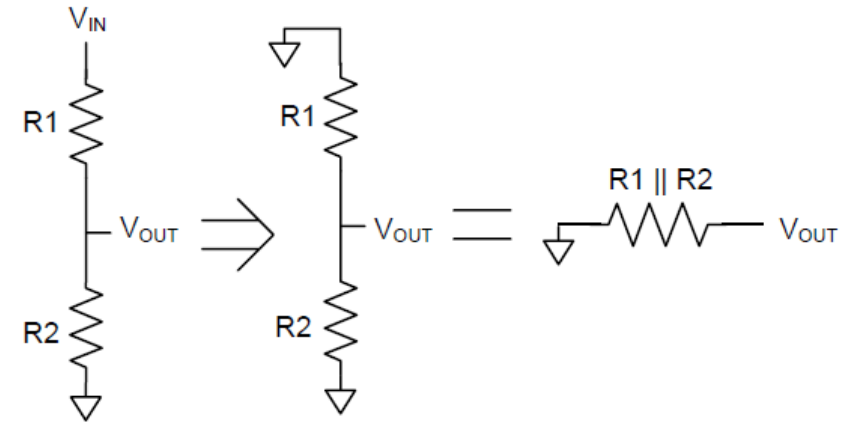
Constante

Résistance

Température (K)

Bande-passante

Gagnez du temps !



Première approximation ($T = 25\text{ °C}$):

$$1k\Omega = 4 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

Le bruit augmente avec la racine carrée de la résistance:

$$4k\Omega = 8 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

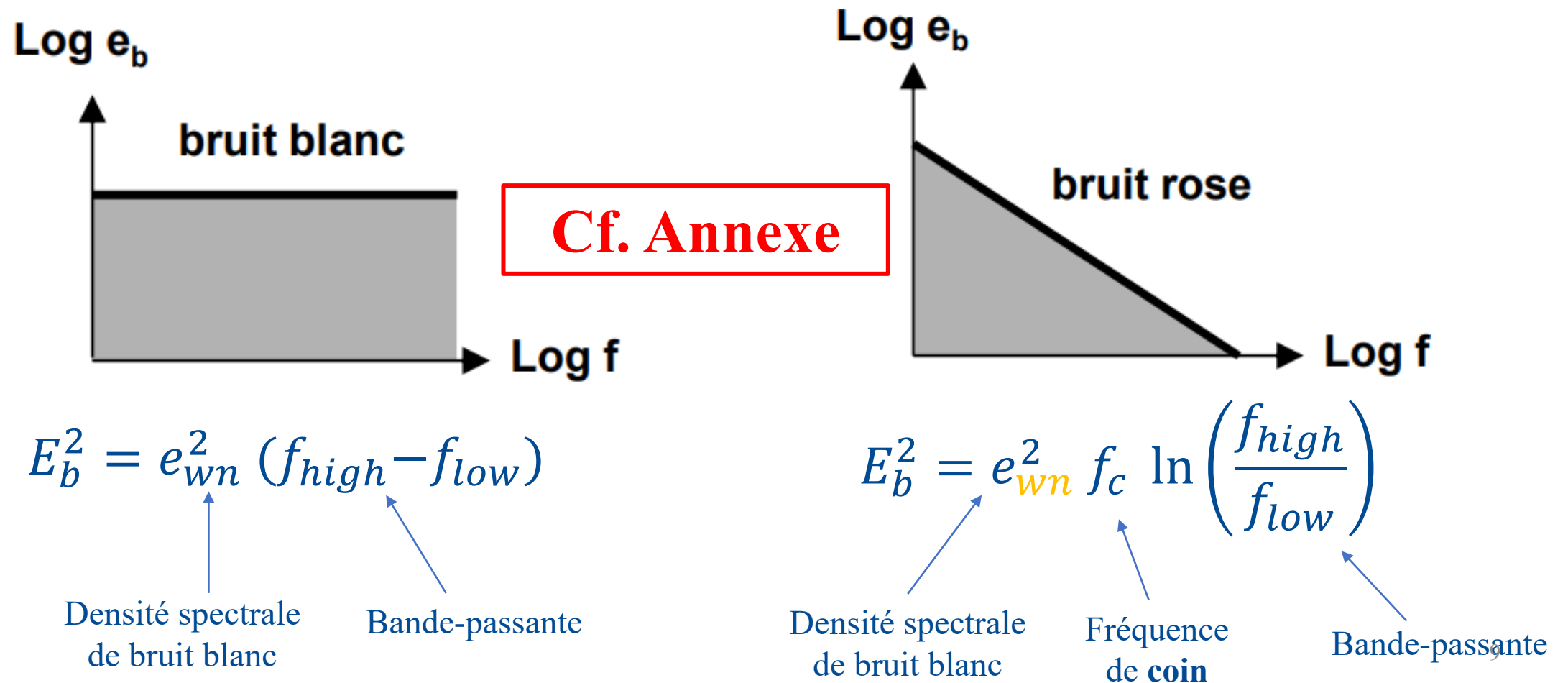
$$9k\Omega = 12 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

$$16k\Omega = 16 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

...

Bruit dans un ampli

Bruit blanc & bruit rose



Bruit total

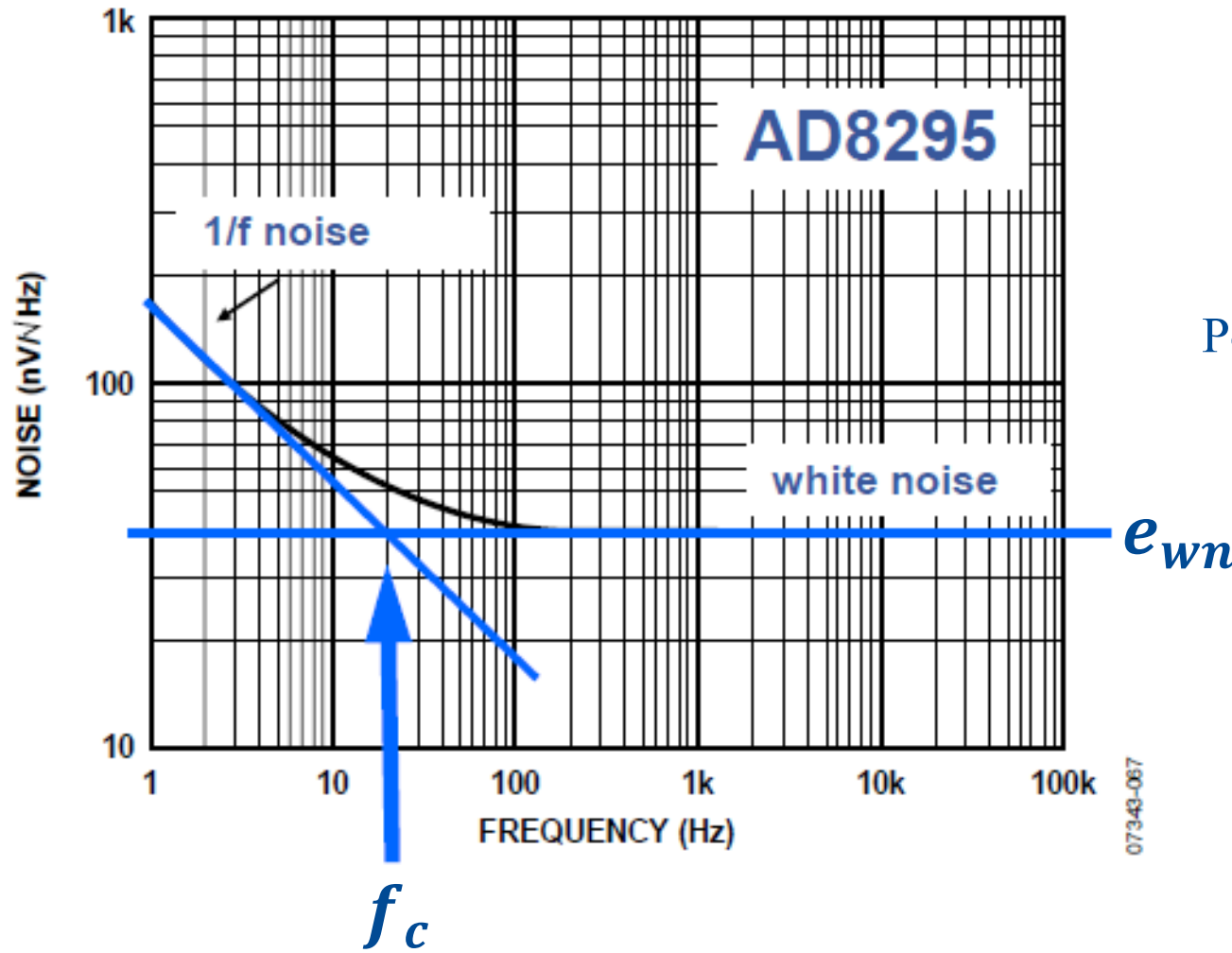
Somme quadratique: $E_{tot}^2 = E_1^2 + E_2^2 \rightarrow E_{tot} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$

Combinons le bruit blanc et le bruit rose:

$$E_b^2 = e_{wn}^2 \left((f_{high} - f_{low}) + f_c \ln \left(\frac{f_{high}}{f_{low}} \right) \right)$$

Cf. Annexe

Example



$$E_b^2 = e_{wn}^2 \left((f_{high} - f_{low}) + f_c \ln \left(\frac{f_{high}}{f_{low}} \right) \right)$$

Pour une BW de 5 Hz \rightarrow 1 kHz:

$$E_b^2 = (40 \cdot 10^{-9})^2 \left((1000 - 5) + 20 \ln \left(\frac{1000}{5} \right) \right)$$

$$E_b^2 = 1,76 \text{ pV}^2 \text{ RMS}$$

$$E_b = 1,33 \text{ } \mu\text{V RMS}$$

Example

Les valeurs de bruit peuvent aussi être obtenues depuis les tables:

NOISE Voltage Noise, RTI $f = 1\text{kHz}$ $f_B = 0.1\text{Hz to } 10\text{Hz}$ Current Noise $f = 1\text{kHz}$	$G = 1000, R_S = 0\Omega$	28 2 0.1	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\mu\text{Vp-p}$ $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
--	---------------------------	----------------	--

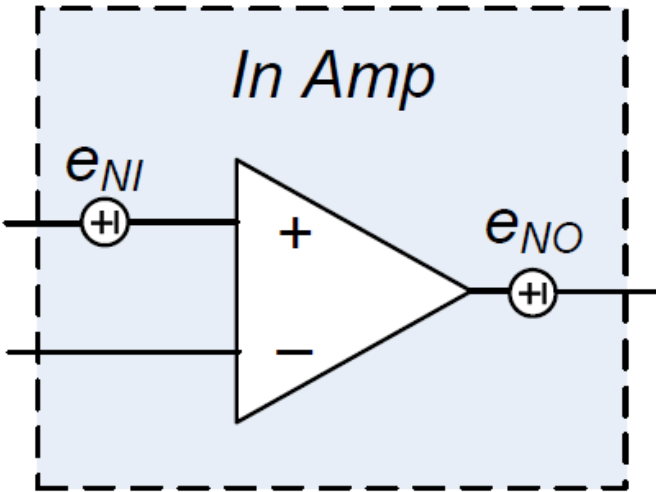
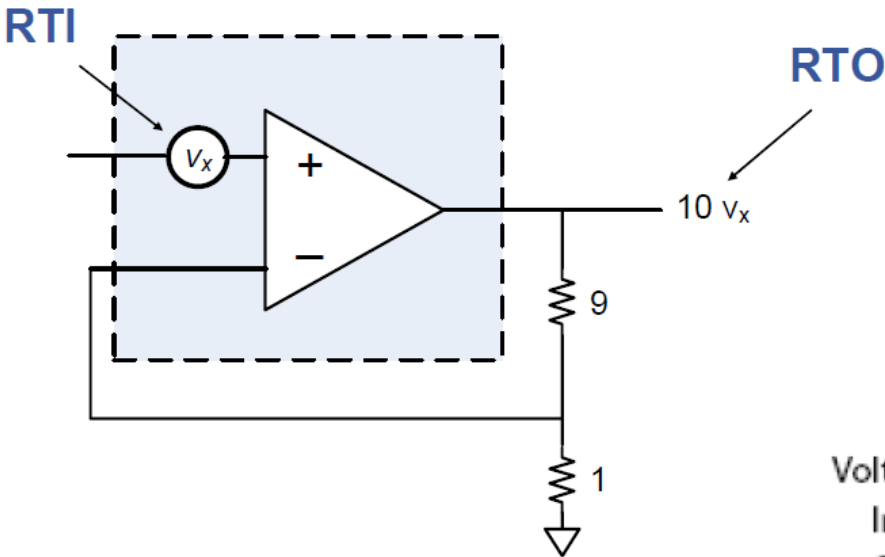
e_{wn}

Bruit mesuré entre 0.1Hz et 10Hz

Bruit en courant

RTI = Referred to input (référé à l'entrée)

Si non précisé → RTI



$RTI\ noise$

$$= \sqrt{e_{ni}^2 + \left(\frac{e_{no}}{G}\right)^2}$$

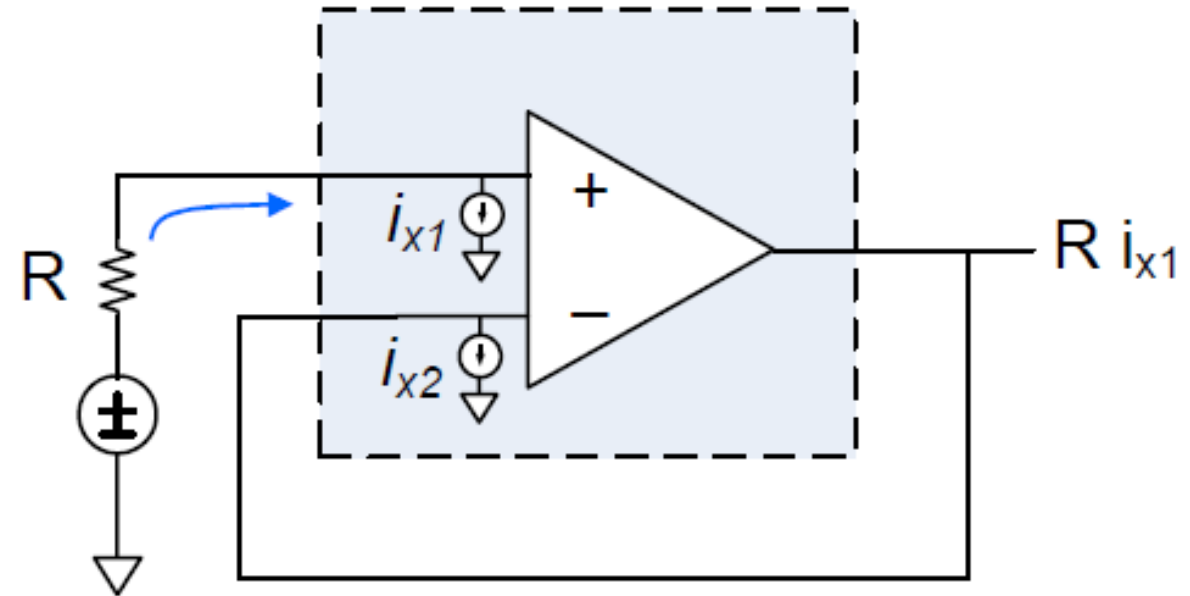
Voltage Noise, 1 kHz	RTI Noise = $\sqrt{(e_{ni})^2 + (e_{no}/G)^2}$	8	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Voltage Noise, e_{ni}	$V_{IN+}, V_{IN-}, V_{REF} = 0\text{ V}$	75	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Output Voltage Noise, e_{no}	$V_{IN+}, V_{IN-}, V_{REF} = 0\text{ V}$		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$

Bruit en courant

Un bruit avec un comportement similaire existe aussi en courant.
Le courant traverse la resistance de source et induit du bruit en tension

$$E_{tot}^2 = E_{tension}^2 + (E_{courant} \cdot R)^2$$

$$E_{tot} = \sqrt{E_{tension}^2 + (E_{courant} \cdot R)^2}$$

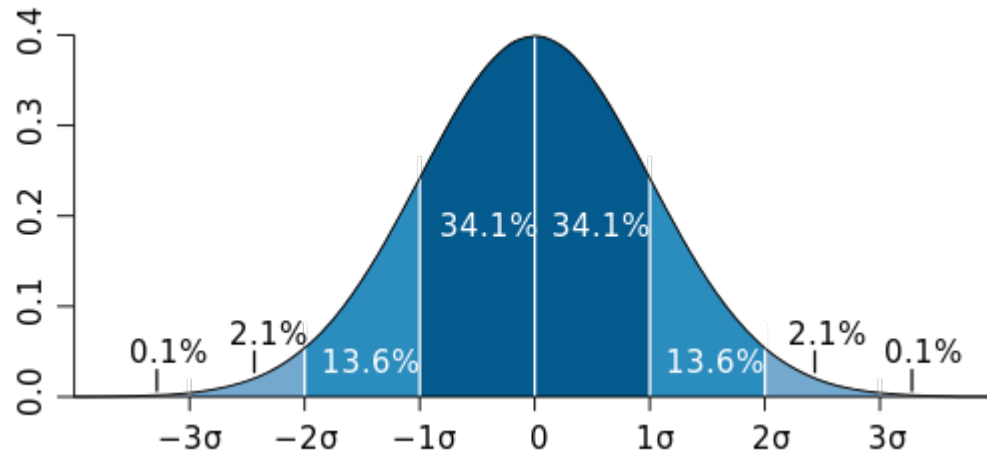


Conversion RMS-V_{pp}

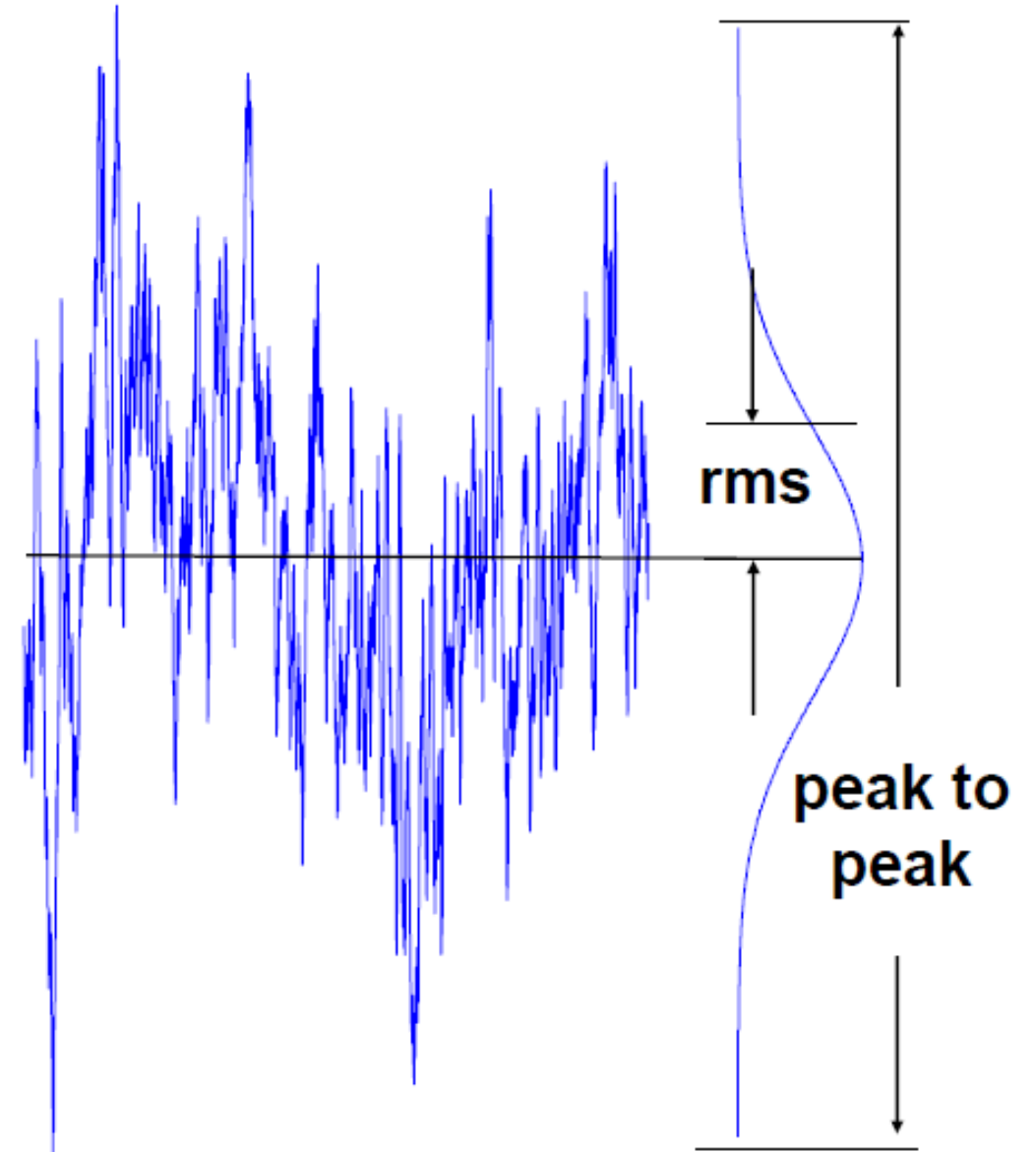
Le bruit étant aléatoire, si on mesure le bruit sur une longue durée, le bruit crête-à-crête augmente.

En théorie: $V_{pp} = \infty$

Le bruit blanc suit une distribution normale



6.6 σ couvre 99.9% des valeurs crête-à-crête.
Approximation usuelle: $V_{pp} = 6.6 * V_{RMS}$



Conversion RMS-V_{pp}

Valeur crête-à-crête:

- Distance entre les max et min sur une acquisition.
- Dépend de seulement deux points de mesure (precision faible) et est très sensible à des variations entre deux mesures: acquisition longue → V_{pp} ↗
- Facile à mesurer et à calculer

Valeur RMS:

- Représente l'écart-type
- Dépend de tous les points de l'acquisition
- Plus long à calculer mais représente mieux le bruit, peu importe la durée d'acquisition

Et le bruit des autres composants ?

Les autres composants (ADC, filtres, ...) génèrent un bruit important.

Mais leur placement en fin de chaîne (ou après un amplificateur de tête) implique un faible impact sur le SNR.

$$\text{Rappel: } SNR = 10 \log \frac{E_{signal}^2}{E_{bruit}^2} = 20 \log \frac{E_{signal}}{E_{bruit}}$$

Comment limiter le bruit d'un ampli ?

Quelques bonnes pratiques:

- Limiter la bande-passante
- Minimiser e_{wn} et i_{wn} en choisissant le composant adéquat
- Minimiser f_{coin} si la bande passante comporte des fréquences au sein du bruit rose.

Quelques conseils:

- Chaque datasheet est différente mais les informations sont présentées de manière similaire.
- Si certaines données (f_c, \dots) ne sont pas présentes, ne les inventez pas ! Travaillez avec un modèle sans ces données mais en gardant en tête que les résultats obtenus seront moins fiables.
- Utilisez le bruit mesuré par le fabricant (0.1 – 10 Hz) pour valider et améliorer votre modèle.