

INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE (ou ELECTRONIQUE ?)

F. Wagner

6 * 3h de cours + 1h d'exam écrit

Introduction

↳ Bref Historique de l'instrumentation

- Science relative à la conception et l'utilisation rationnelle d'instruments

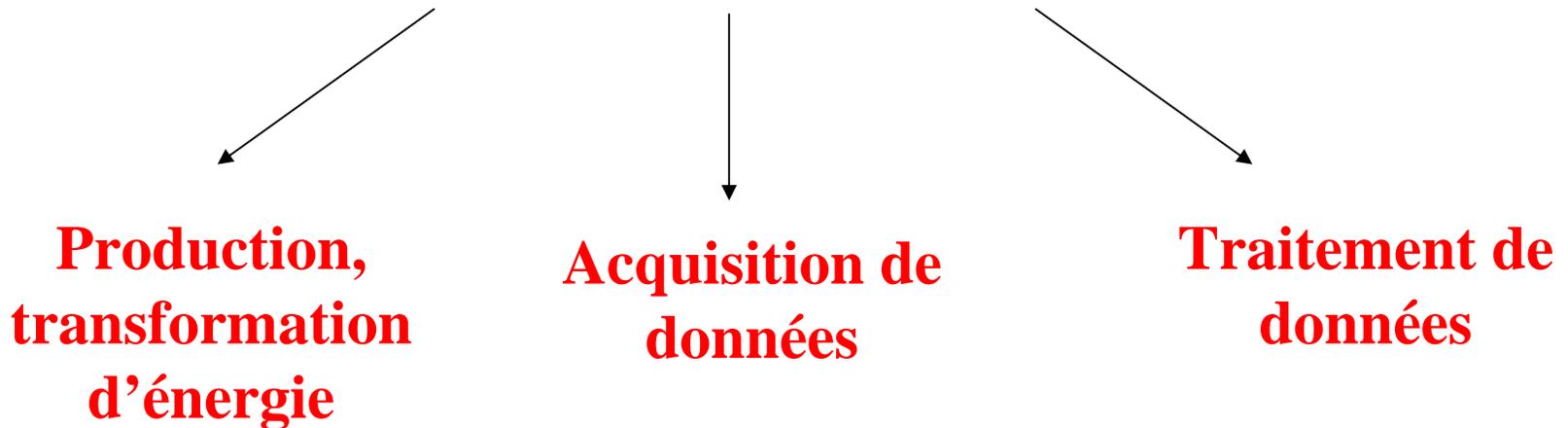
↓ ↓
Outils de production Instruments de mesure

- Science qui a l'âge de l'humanité et qui couvre tous les secteurs de l'activité humaine
- Évolution étroitement liée aux progrès techniques

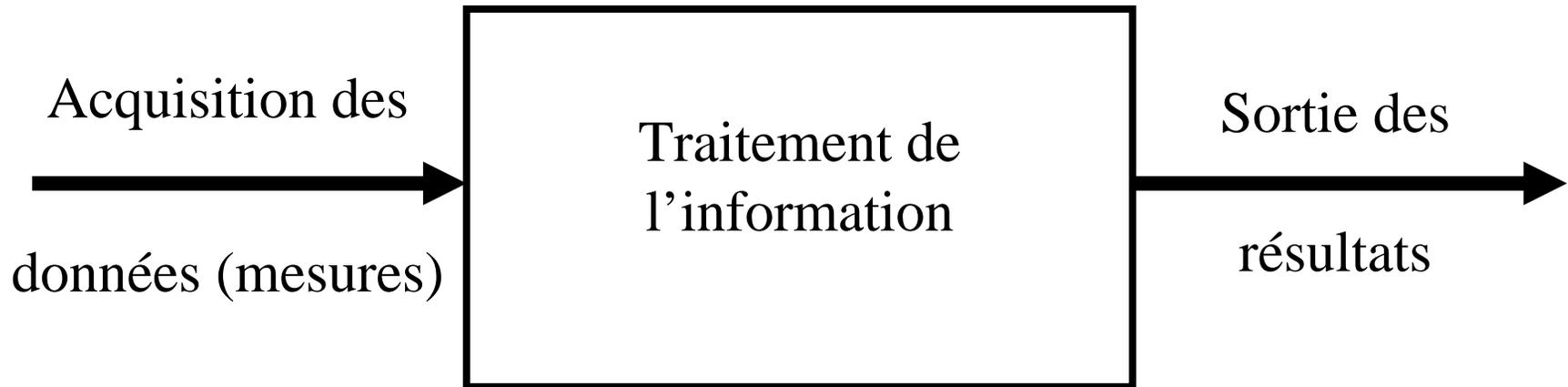
Ex: Silex taillé, roue, télégraphe, moteur à explosion, composants semi-conducteurs

↳ Domaines d'application de l'instrumentation Scientifique

- Médecine
- Chimie
- Biologie
- Mathématiques
- Agronomie
- Physique (optique, électricité, thermodynamique...)



↳ Mesure et traitement de l'information : **La chaîne de mesure**



Chaque fonction est assurée par des appareils particuliers :

Mesure : -Capteur / Sonde

-Conditionneur

Traitement: -Composant électronique

-Automate

-Micro-ordinateur

-Centre de calcul

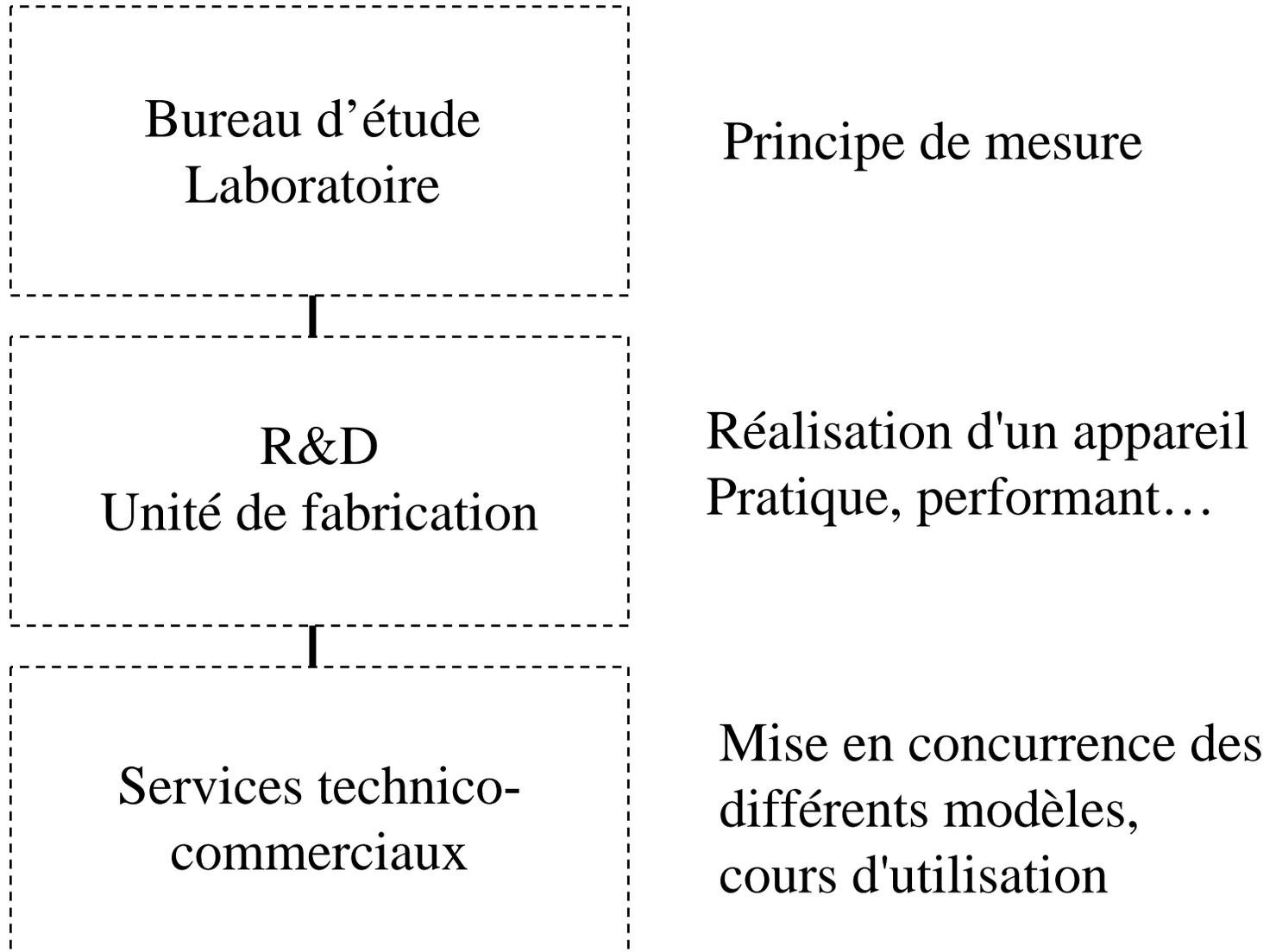
Résultats : -Afficheur

-Actionneur-contrôleur

-Génération d'un signal

-Alarme

↳ Élaboration d'un instrument scientifique



Organisation de la métrologie

Autorités de Métrologie légale

SDM

Sous direction de la métrologie



DRIRE

Direction régionale de
l'industrie de la recherche et de
l'environnement

Laboratoires agréés



Création et conservation
d'étalons

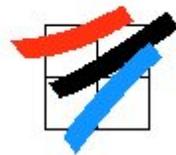



S.A. affiliée groupe Véritas

EMITECH

Laboratoire privé
Compatibilité électromagnétique,
sécurité électrique, radio...

UTAC



Domaine automobile



Bureau national de
métrologie

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.1 Le courant électrique

Flux de charges ((-) ou (+)) traversant un conducteur

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Charge électrique	Q	Coulomb	C = A s
Intensité du courant	I	Ampère	A
Densité de courant	J	Ampère/m ²	A/m ²

Porteur de charge élémentaire : électron $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ($= e = q$)

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.2 La tension électrique

Force qui assure le déplacement des charges
Force électromotrice (f.e.m) ou potentiel

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Tension	U, V, E	volt	V

Le générateur de tension est un dispositif qui délivre une tension et permet la circulation d'un courant dans un circuit connecté à ses bornes.

Polarité: Le courant a le sens des potentiels décroissants.

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.3 La résistance électrique

Composant conducteur qui vérifie la loi d'Ohm :

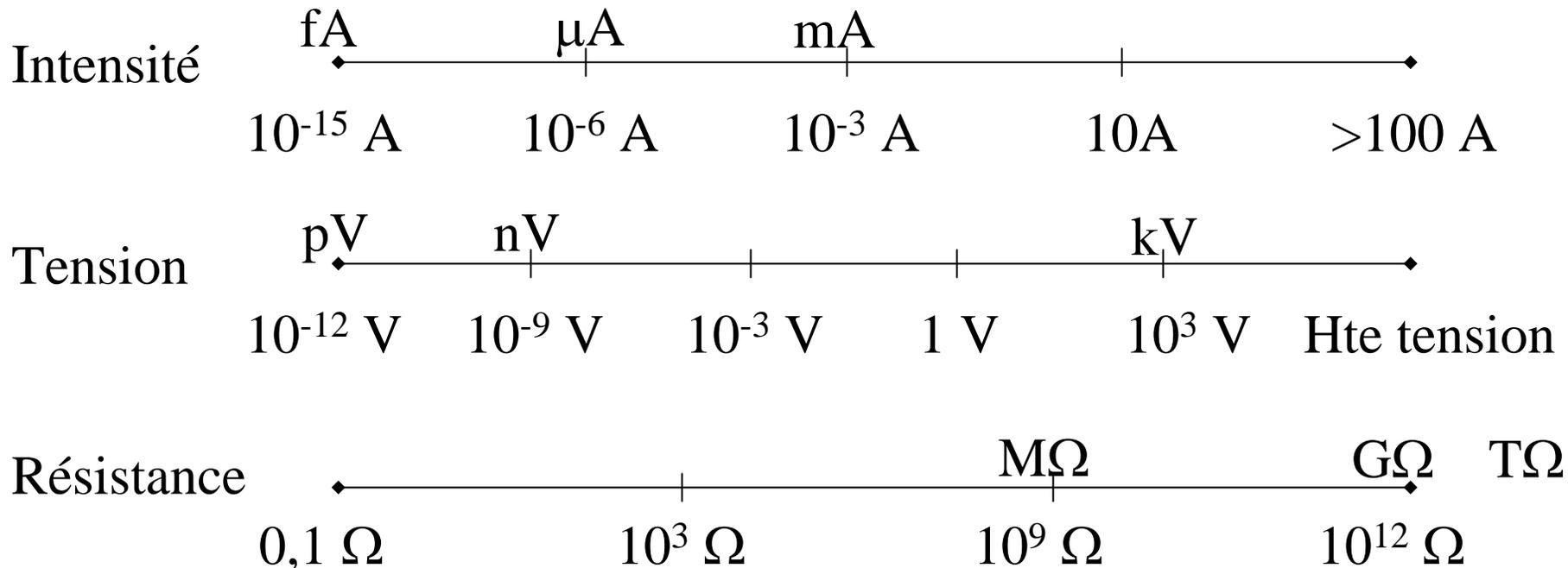
$$U = R I$$

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Résistance	R	Ohm	$\Omega = V / A$
Conductance	$G = 1/R$	Siemens	$S = 1 / \Omega$

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.4 Valeurs couramment utilisées

Les plages de mesures sont trop grandes, il n'existe pas d'appareil universel \implies faire le bon choix



Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

1.5 Circuits de mesure

Tension : montage //

Courant : montage série

Régime continu (Direct current - DC)

Intensité constante dans le circuit, et tension délivrée par les générateurs constantes.

2. Puissance électrique en régime continu

Grandeur	Abréviation	Unité	Symbole
Puissance	P	watt	W

- Pour un générateur : $P = V I$
- Pour une résistance : $P = R I^2$

Ordres de grandeurs : - Four ou chauffage : 1kW à 10kW
- Circuits microélectroniques : nW à qq W

Grandeur	Dénomination	Symbole	Définition
	Dénomination	Symbole	Multiples et sous-multiples ayant une dénomination particulière et valeur en SI, ou unité hors système (h.s.).
Intensité de courant électrique	ampère	A	Intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces deux conducteurs une force de $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.
Force électromotrice et différence de potentiel (ou tension)	Volt	V	Différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un conducteur parcouru par un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces deux points est égale à 1 watt.
Résistance électrique	ohm	Ω	Résistance électrique entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de 1 ampère ledit conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.
Intensité de champ électrique	Volt par mètre	V/m	Intensité d'un champ électrique exerçant une force de 1 newton sur un corps chargé d'une quantité d'électricité de 1 coulomb.
Conductance électrique	siemens	S	Conductance électrique d'un conducteur ayant une résistance électrique de 1 ohm.
Quantité d'électricité, charge électrique	coulomb	C	Quantité d'électricité (charge) transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.
	ampère-heure (h.s.)	Ah	Quantité d'électricité (charge) transportée en 3600 secondes par un courant de 1 ampère.
Capacité électrique	farad	F	Capacité d'un condensateur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel de 1 volt lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité de 1 coulomb.
Inductance électrique	henry	H	Inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.
Flux d'induction magnétique	weber	Wb	Flux d'induction magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une force électromotrice de 1 volt si on l'annule en 1 seconde par décroissance uniforme.
Induction magnétique	tesla	T	Induction magnétique uniforme qui, répartie normalement sur une surface de 1 mètre carré, produit à travers cette surface un flux d'induction magnétique total de 1 weber.
Intensité de champ magnétique	ampère par mètre	A/m	Intensité de champ magnétique produite dans le vide le long de la circonférence d'un cercle de 1 mètre de circonférence par n courant électrique d'intensité 1 ampère maintenu dans un conducteur rectiligne de longueur infinie, de section circulaire négligeable, formant l'axe du cercle considéré.
Force magnéto-motrice	ampère	A	Force magnéto-motrice produite le long d'une courbe fermée quelconque qui entoure une seule fois un conducteur parcouru par un courant électrique de 1 ampère.

Régime alternatif (Alternating current - AC)

Le courant circulant dans le circuit est alternatif, le signal se répète après chaque cycle de période (temporelle) T .

$$\mathbf{I(t)=I_0 \cdot \sin(\omega t + \Phi) \text{ et } V(t)=V_0 \cdot \sin(\omega t + \Phi)}$$

Avec I_0 , V_0 les amplitudes,

ω la pulsation ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) $\omega = 2 \cdot \pi / T = 2 \pi \cdot f$

Φ la phase (radian ou degré)

Représentation complexe :

Régime alternatif (Alternating current - AC)

3.1 Valeur moyenne (average value)

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

Représente le décalage du signal par rapport à l'origine.

3.2 Valeur efficace (Root Mean Square – RMS Value)

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

NB : bien différencier les appareils RMS et TRMS

3.3 Facteur de crête – crest factor

$$F_c = V_m / (2 V_{eff})$$

Transmission hertzienne d'une information

Propagation d'une onde hertzienne $\implies f > 30 \text{ kHz}$

Ondes acoustiques (16Hz à 15kHz) pas de transmission hertzienne possible

 Utilisation d'une onde **PORTEUSE**

Radio: 30kHz à 300MHz & TV : 50MHz à 1GHz

L'information est transformée en signal électrique qui module un des paramètres de la porteuse

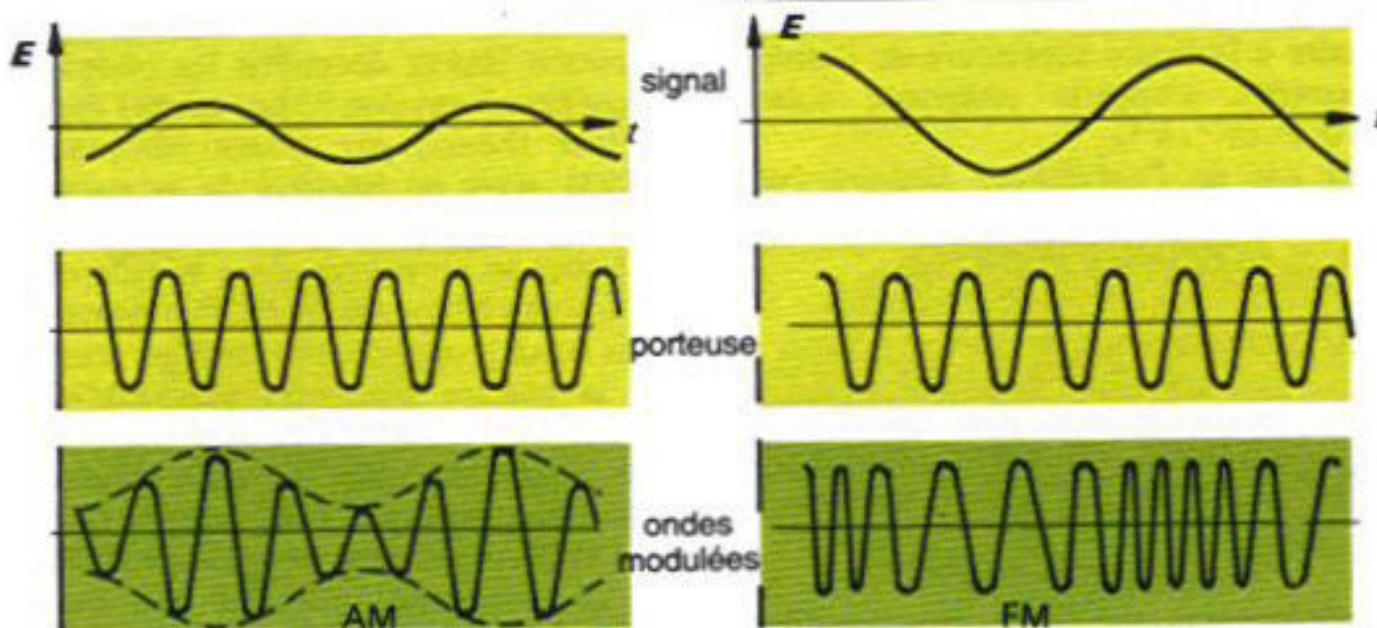
Transmission hertzienne d'une information

Modulation d'amplitude (AM)

$$I = (I_0 + I_{S_{\max}} \sin \omega_S t) \sin \omega_0 t$$

Modulation de fréquence (FM)

$$I = I_0 \sin(\omega_0 t + \beta \sin \omega_S t)$$



Transmission hertzienne d'une information

Radio diffusion sonore

Ondes longues : 150kHz - 285kHz

Ondes moyennes : 525kHz – 1605kHz

Ondes courtes : 6,1MHz – 26MHz

Ondes ultra-courtes : 87,5MHz – 104MHz

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

8.1 La précision

Propriété d'un appareil à indiquer une valeur comprise dans un domaine spécifié la plus proche de la vraie valeur.

Exemple :

Un multimètre numérique d'une précision de 1% indique 5,01V

$$V=5,01V \quad \Delta V/V=0,01 \quad \Delta V=0,0501V$$

$$\Longrightarrow 4,96V < V < 5,06V$$

On écrit alors : $V = 5,01 \pm 0,05 V$

Principe concernant la mesure des grandeurs électriques

8.2 La résolution

Plus petite variation détectée par l'appareil.

NB: Pour les appareils à affichage numérique la résolution peut être exprimée en nombre de digits (nombre de chiffre) ou en nombre de points d'affichage.

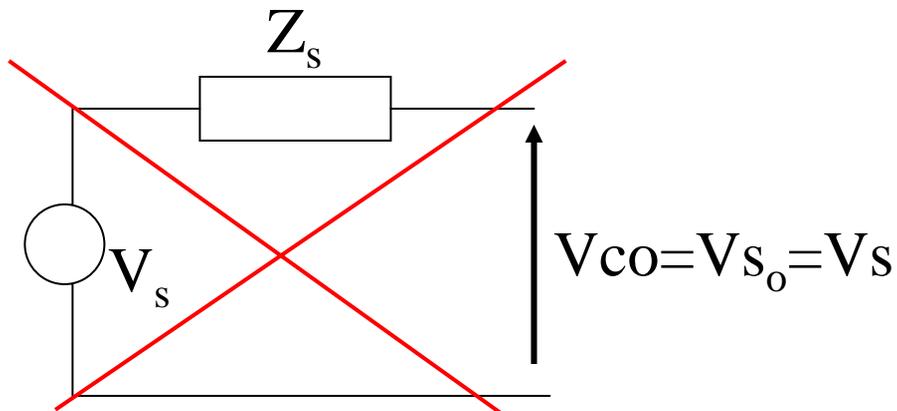
Nombre digits	Affichage	Nombre de points
3 digits	000-999	1000
3 digits 1/2	0000-1999	2000
4 digits	0000-9999	10000
6 digits 1/2	000000-199999	200000

1/2 digit: affichage "0" ou "1"

Mesures de tension

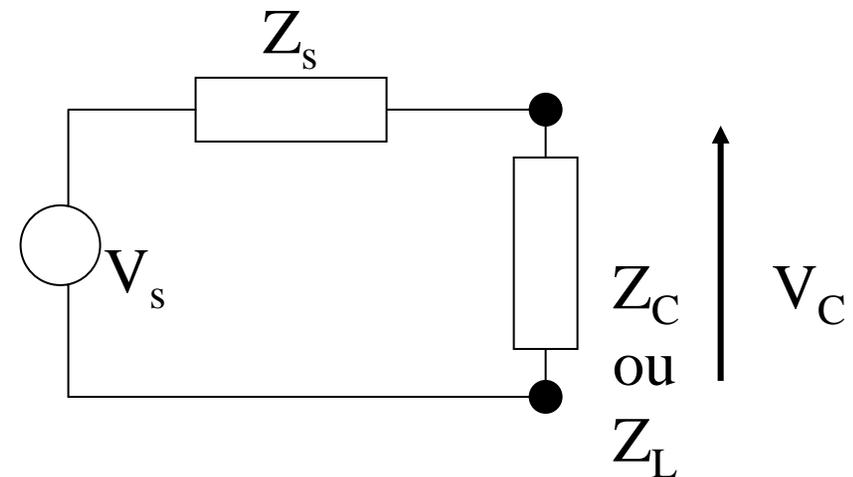
8.3 Influence du courant : modèle de Thèvenin

- ~~Sans charge~~ on mesure la tension du générateur de Thèvenin
Avec



V_s = tension de sortie à vide

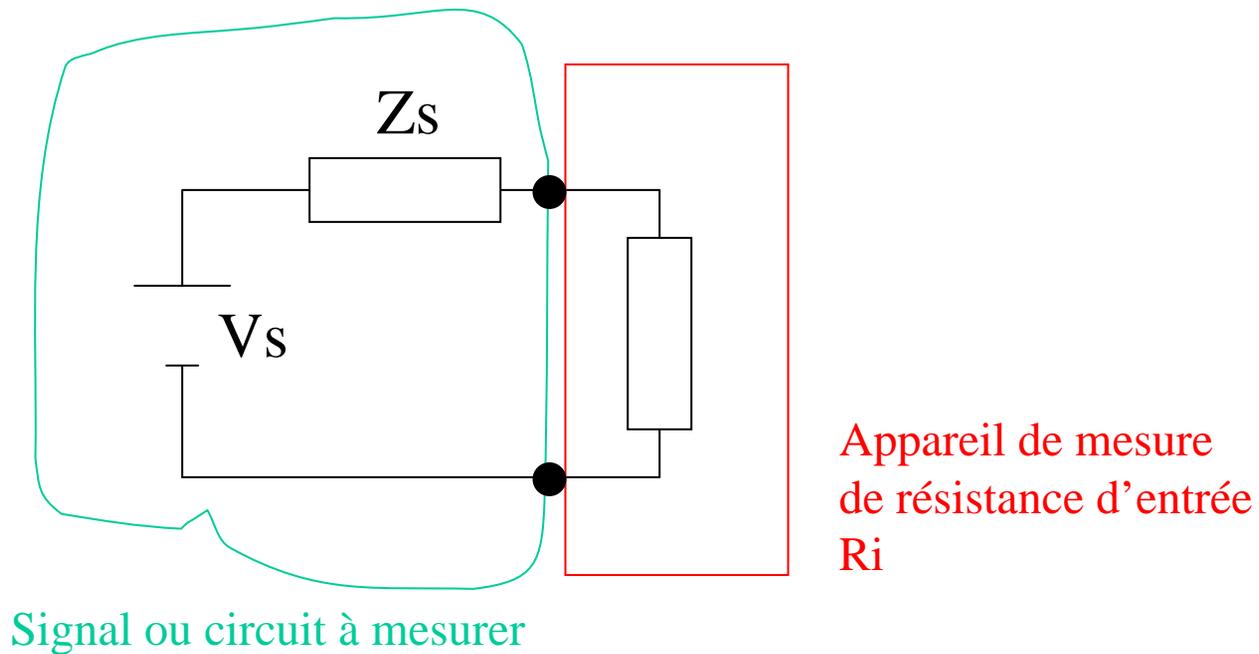
Z_s = impédance de sortie



$$V_C = \frac{Z_C}{Z_s + Z_C} V_s$$

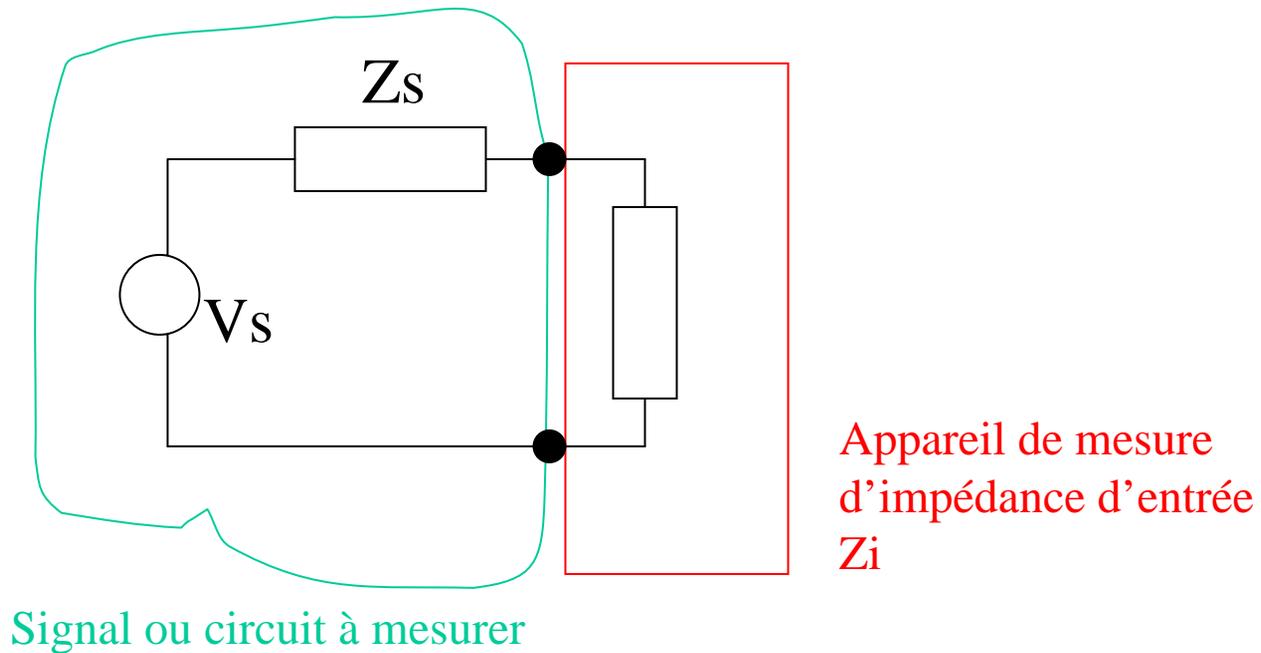
8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.1 Mesure d'une grandeur continue :

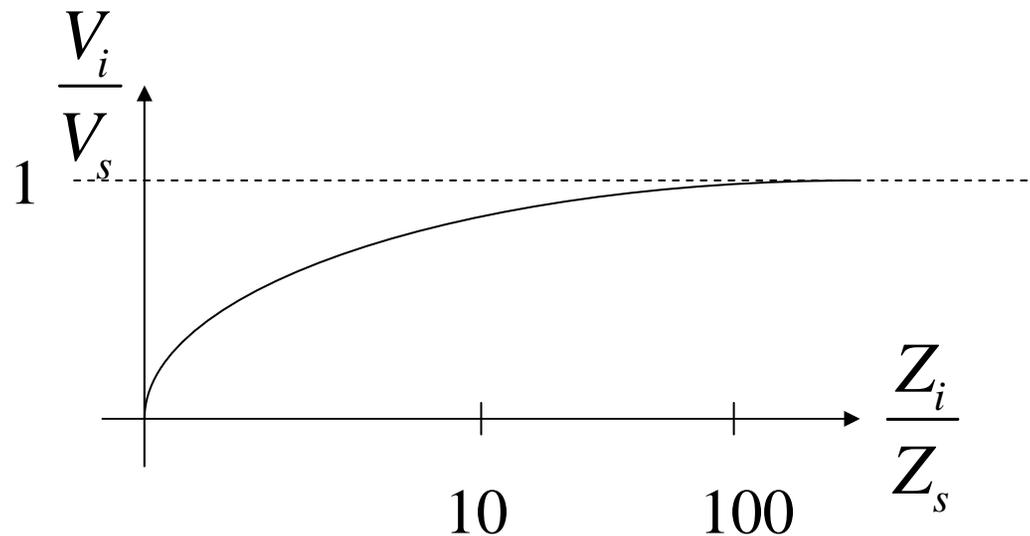


8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.2 Mesure d'une grandeur variable :



Mesures de tension

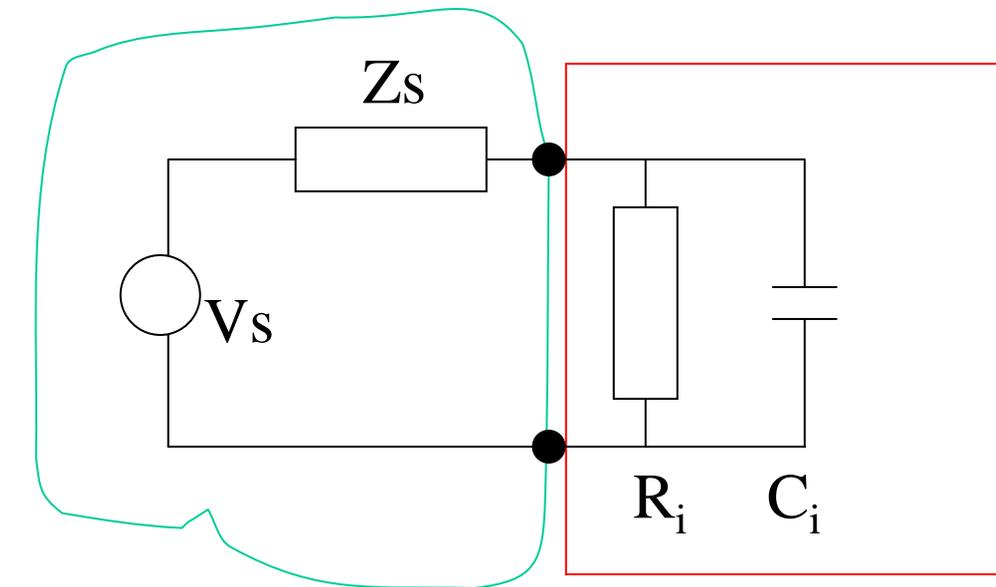


$V_i \sim V_s$ si $Z_i/Z_s \gg 1$ donc pour une impédance
d'entrée « infinie »

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{Z_i}{Z_s + Z_i}$$

8.5 Configuration de l'entrée d'un instrument de mesure

8.5.3 Mesure d'une grandeur variable et **impédance d'entrée complexe**



Signal ou circuit à mesurer

Appareil de mesure
d'impédance d'entrée
 Z_i

$$Z_i = \frac{R_i}{1 + jR_i C_i \omega}$$

8.6 Entrée haute impédance

La haute impédance optimise le transfert de tension.

La valeur typique d'impédance d'entrée d'un appareil est:

$$10 \text{ k}\Omega < Z_i < 1 \text{ M}\Omega$$



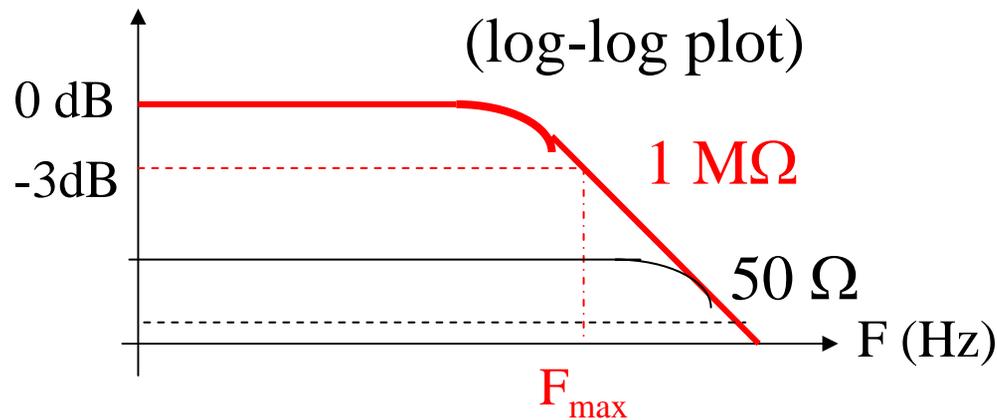
Cas des hautes fréquences:

$$Z_i = \frac{R_i}{1 + jR_i C_i \omega} \implies |Z_i| = \frac{R_i}{\sqrt{1 + R_i^2 C_i^2 \omega^2}}$$

Donc en hautes fréquences $|Z_i| \longrightarrow 0$ (filtre passe-bas)

9. Bande passante (Bandwidth)

Tous les appareils présentent une limite en fréquence, au delà de laquelle les mesures effectuées ne sont plus valables.



Ex :

- * multimètre AC $F_{\max} \sim 300\text{kHz}$
- * millivoltmètre AC $F_{\max} \sim 2\text{MHz}$
- * Oscilloscope $F_{\max} \sim 100\text{MHz}$

} \implies Faire le bon choix

8.7 Entrée 50 ohms

La plupart des appareils de mesures ou sources de signaux présentent une impédance de 50ohm.

De même l'impédance caractéristique des câbles coaxiaux est souvent de 50 ohm.

(attention ils existent aussi des câbles 75ohm -> réflexions si les deux types de câbles sont utilisées.)

Ex: Transfert optimal de puissance en émission radio