



JMM 2019
LE SYSTÈME INTERNATIONAL
D'UNITÉS, FONDAMENTALEMENT
MEILLEUR
« AMPÈRE »



DEFNAT



PLAN

I

- Définition de l'Ampère

II

- Effet Josephson, effet HALL quantique

III

- Impact du nouveau S.I à l'échelle international et national



Définition de l'Ampère unité de base en E.M

L'ampère

L'ampère, symbole **A**, est l'unité de courant électrique du SI. Il est défini en prenant la valeur numérique fixée de la charge élémentaire, e , égale à $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ lorsqu'elle est exprimée en C, unité égale à A s, la seconde étant définie en fonction de $\Delta\nu_{Cs}$.



Cette définition implique la relation exacte $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ A s. En inversant cette relation, l'ampère est exprimé en fonction des constantes e et $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\text{A} = \left(\frac{e}{1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1}$$

relation identique à

$$1\text{A} = \frac{1}{(9\ 192\ 631\ 770)(1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19})} \Delta\nu_{Cs} e \approx 6,789\ 687 \times 10^8 \Delta\nu_{Cs} e$$

Il résulte de cette définition qu'un ampère est le courant électrique correspondant au flux de $1/(1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19})$ charges élémentaires par seconde.



Définition de l'Ampère unité de base en E.M

En pratique, dans les laboratoires de métrologie on réalise l'étalon de courant électrique à partir de deux étalons de tension et de résistance. Leurs unités – le volt et l'ohm – peuvent en effet être réalisées à 10^{-9} près grâce à deux effets quantiques (l'effet Josephson et l'effet Hall quantique) qui ne dépendent que de « e » et de la constante de Planck. L'ampère est alors réalisé en appliquant la loi d'Ohm qui relie tension, courant et résistance. Néanmoins, concrètement, on applique cette loi à des dispositifs physiques qui, bien qu'étalonnés à partir d'étalons quantiques, dérivent dans le temps. Ainsi, l'incertitude relative sur l'ampère est typiquement de 10^{-6} .



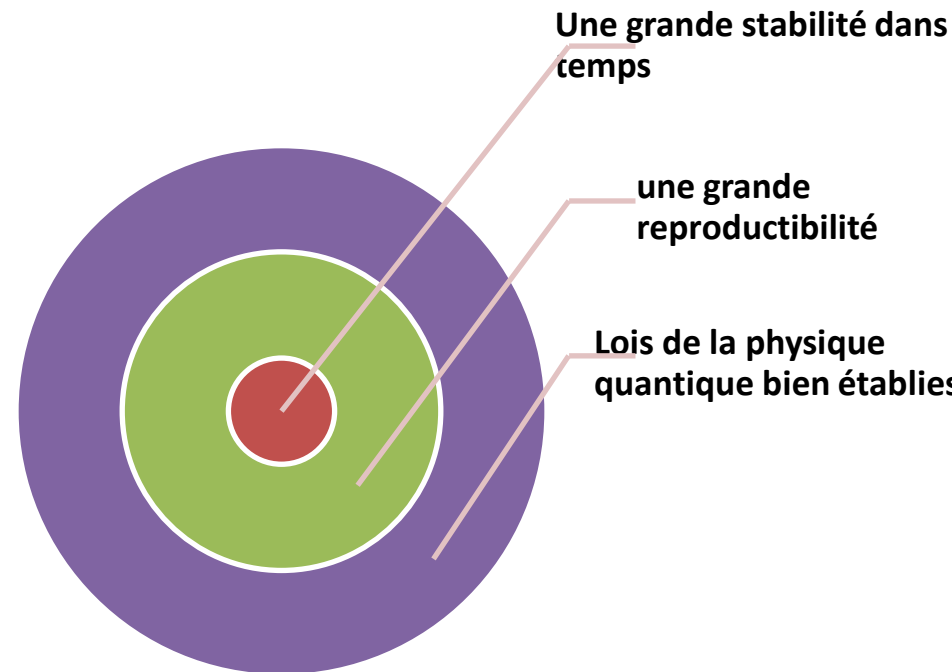
Définition de l'Ampère unité de base en E.M

Métrieologie quantique

Étalons
quantiques

Effet Hall
quantique

Effet
Josephson



Mise en jeu de constantes fondamentales ($h, e \dots$) qui revêtent un caractère universel...

Effet Josephson, effet HALL quantique



Effet Josephson

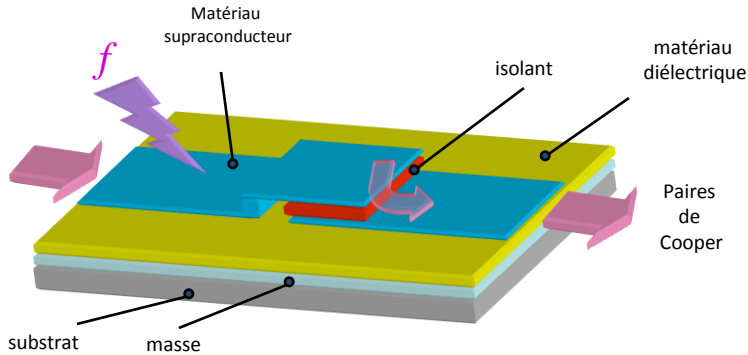
Détermination du volt au moyen de **l'effet Josephson**, en utilisant « constante de Josephson » et K_J comme nom et symbole du quotient de la fréquence par la tension et d'utiliser K_J comme symbole de la valeur conventionnelle recommandée pour ce quotient

$$T=4.2 \text{ K} \quad N=189 \quad f=11,578 \text{ GHz} : V=4,5 \text{ mV}$$

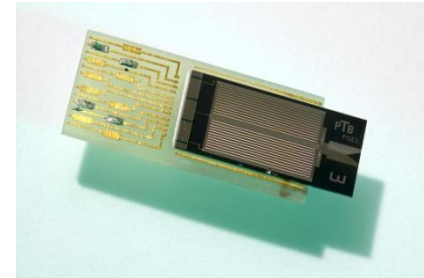
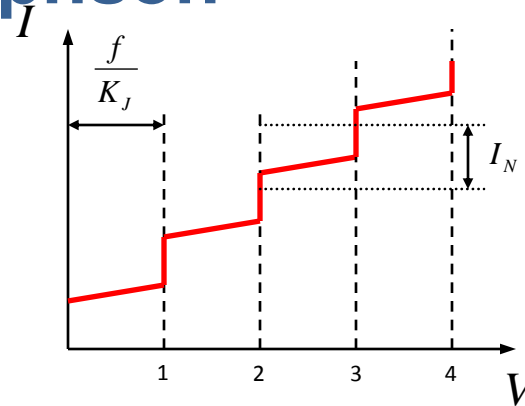




Effet Josephson



Jonction Josephson à couche minces



Lorsque cette jonction est soumise à un rayonnement électromagnétique de fréquence f (qqes GHz), le courant de paires a tendance à se synchroniser avec cette fréquence et il apparaît une tension continue aux bornes de la jonction. Cette synchronisation se révèle dans les **caractéristiques courant-tension** par l'apparition de marches de tension à des multiples entiers de la valeur

$$V = N \cdot \frac{1}{K_J} \cdot f \quad \text{appelées marches de Shapiro} \quad \blacktriangleright$$

$$K_J = \frac{2e}{h} \quad K_{J-90} = 483597,9 \text{ GHz/V}$$

$\sim 10^{-8}$ / Zener
 $\sim 10^{-10}$ / autre réseau

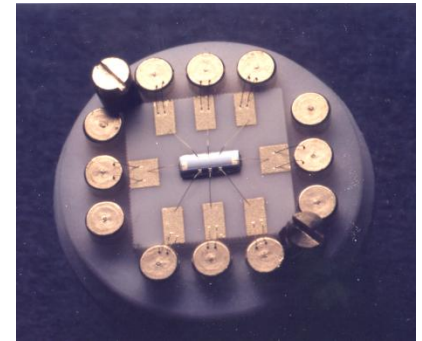
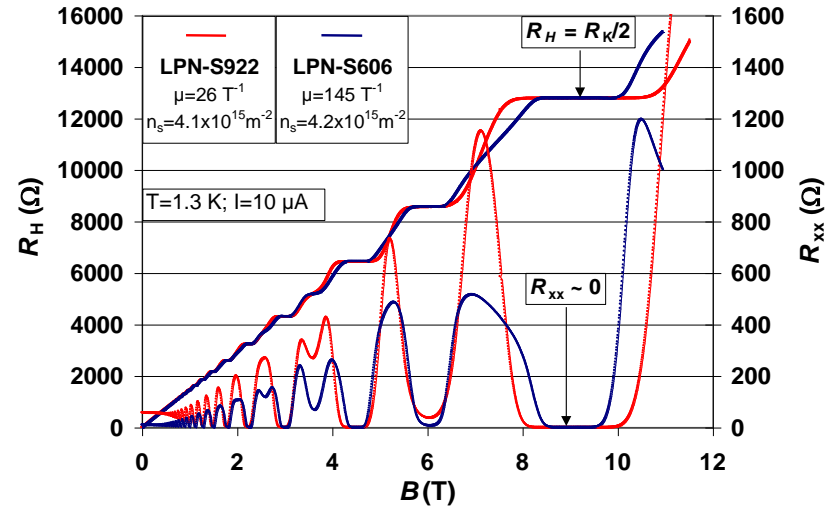
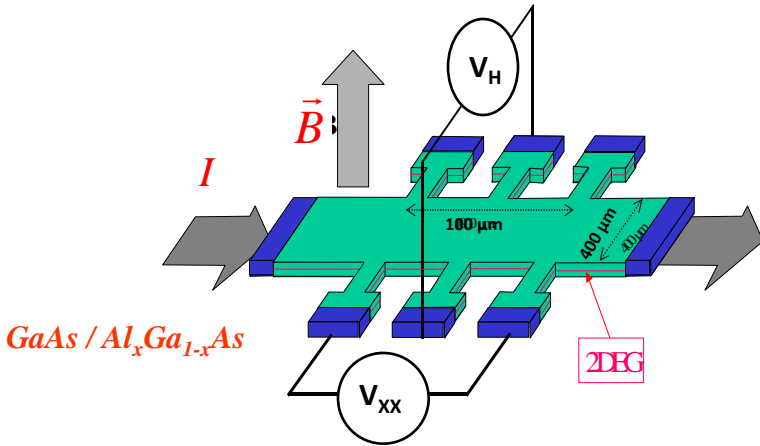


Effet hall quantique

Détermination de l'ohm au moyen de l'effet Hall Quantique» on utilisant « constante de von Klitzing » et RK comme nom et symbole de la résistance de Hall quantifiée correspondant au plateau de nombre quantique $i = 1$ et d'utiliser RK_{-} comme symbole de la valeur conventionnelle recommandée pour cette résistance.



Définition de l'Ampère unité de base en E.M



A basse température (1,5 K), si l'échantillon est soumis à un champ magnétique très intense (8 à 12 T), observation d'une série de plateaux où la résistance transversale de Hall, R_H , est parfaitement constante.

Quantification de la résistance transverse

$$R_{xy} = R_H = R_K/i \text{ (i}^{\text{ème}} \text{ plateau)} \quad R_{xx} \rightarrow 0$$

$$R_K \equiv h/e^2 \quad \text{constante de von Klitzing (1980)}$$

$$R_{K-90} = 25\,812,807 \, \Omega \pm 2.10^{-7}$$

$$\text{Pour } i = 1 \quad R_H(1) = 25\,812,8 \, \Omega$$

$$\text{Pour } i = 2 \quad R_H(2) = 12\,906,4 \, \Omega$$

Incertitude
 10^{-10}

Effet Josephson, effet HALL quantique



Définition de l'Ampère unité de base en E.M

Les étalons de tension Josephson et les étalons de résistance à effet Hall quantique doivent avoir leurs valeurs de référence pour $2e/h$ et h/e^2 remises à jour

$$2e/h = K_J = 483\,597,848\,416\,984 \text{ GHz/V}$$

$$h/e^2 = R_K = 25\,812,807\,459\,3045 \text{ } \Omega$$

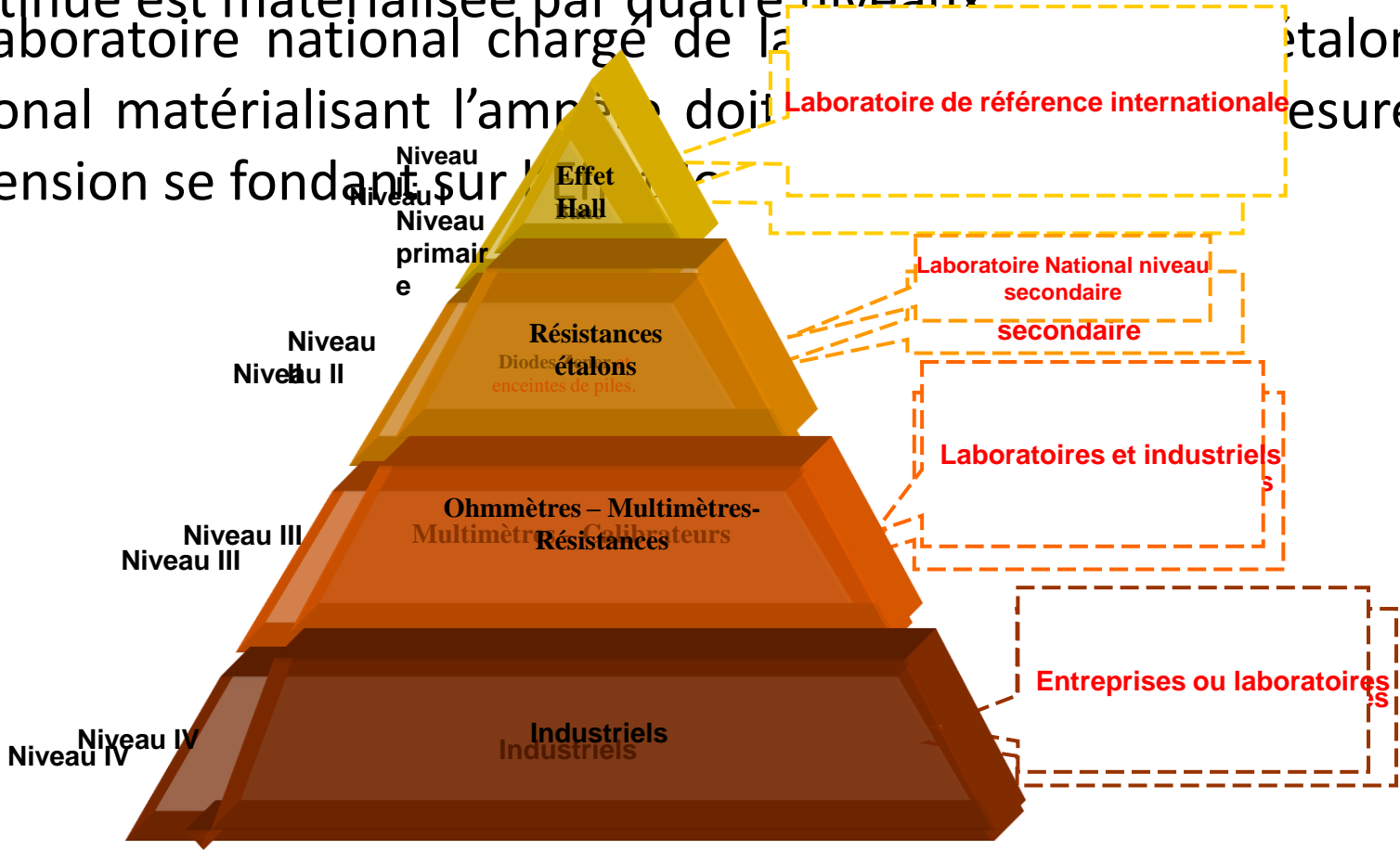
à compter du 20 mai 2019



Définition de l'Ampère unité de base en E.M

La chaîne de traçabilité nationale dans le domaine de la résistance est matérialisée par quatre niveaux
La chaîne de traçabilité nationale dans le domaine de la tension continue est matérialisée par quatre niveaux

Le laboratoire national chargé de la métrologie doit être un étalon national matérialisant l'ampère doit être un étalon de tension se fondant sur l'effet Hall





Définition de l'Ampère unité de base en E.M

Mettre à jour le système qualité et les documents associés pour supprimer les références relatives aux "valeurs conventionnelles de 1990"

Les termes « constante de von Klitzing » et « constante de Josephson » sont acceptables.

à compter du 20 mai 2019

- Procédures
- Modes opératoires
- Feuilles de mesure
- Programmes
- Fonds de certificat d'étalonnage



Modification des certificats d'étalonnage émis

Résistance

Note A : La valeur R de la résistance est raccordée à la valeur $R_{K-90} = 25\,812,807\ \Omega$ de la constante de von Klitzing, valeur adoptée par le 9^{ème} congrès international, à partir du 1^{er} janvier 1990, par tous les laboratoires qui utilisent l'effet Hall quantique comme étalon de référence de résistance.

Note A : La valeur R de la résistance est raccordée à la valeur $R_K = 25\,812,807\,459\,3045\ \Omega$ de la constante de von Klitzing valeur adoptée par la 26^{ème} Conférence générale des poids et mesures, à partir du 20 mai 2019, par tous les laboratoires qui utilisent l'effet Hall quantique comme étalon de référence de résistance.



Définition de l'Ampère unité de base en E.M

Modification des certificats d'étalonnage émis par la DMEF

Tension

Note A:

La valeur de la constante de ~~Josephson~~ utilisée pour l'étalonnage est $K_{J-90} = 483597,9$ GHz/V, valeur adoptée par consensus international en novembre 1990, par tous les laboratoires qui utilisent l'effet Josephson comme étalon de force électromotrice.

Note A :

La valeur U de la force électromotrice est raccordée à la valeur $K_J = 483\,597,848\,416\,984$ GHz/V de la constante de Josephson, valeur adoptée par 26^{ème} Conférence générale des poids et mesures, à partir du 20 mai 2019, par tous les laboratoires qui utilisent l'effet Josephson comme étalon de référence de force électromotrice.



REMISE À JOUR DES VALEURS D'ÉTALONNAGE

Les changements des valeurs d'étalonnage seront:

$\delta = + 1,067 \cdot 10^{-7}$ pour les tensions

$\delta = + 1,779 \cdot 10^{-8}$ pour les résistances

$\delta = - 1,779 \cdot 10^{-8}$ pour les capacités si elles sont raccordées par rapport à l'EHQ

$\delta = 0$ pour les capacités raccordées à un étalon de Lampard

$\delta = + 1,956 \cdot 10^{-7}$ pour les puissances

Bien que toutes les valeurs d'étalonnage devraient en principe être mises à jour à compter du 20 mai 2019, il existe quelques exceptions pratiques.



REMISE À JOUR DES VALEURS D'ÉTALONNAGE

Si l'incertitude relative élargie $u_r \geq 2,5 \times |\delta|$

soit:

$u_r \geq 2,668 \cdot 10^{-7}$ pour les tensions

$u_r \geq 4,448 \cdot 10^{-8}$ pour les résistances

$u_r \geq 4,448 \cdot 10^{-8}$ pour les capacités si elles sont raccordées par rapport à l'EHQ

$u_r \geq 4,890 \cdot 10^{-7}$ pour les puissances

la valeur d'étalonnage existante peut continuer à être utilisée jusqu'au prochain étalonnage.



**Merci pour votre
attention**