

## Electrocinétique : courant continu

### Système international (S.I.)

Les unités fondamentales de la mécanique sont :

- La longueur : le mètre [m] ;
- La masse : le kilogramme [kg] ;
- Le temps : la seconde [s] ;
- L'intensité : l'ampère [A].

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans 2 conducteurs rectilignes parallèles, de longueur infinie et placés dans le vide à un mètre l'un de l'autre, produirait entre ces fils une force d'interaction de  $10^{-7}$  N par mètre de longueur.

L'unité du système international de quantité d'électricité est la quantité fournie à un récepteur par un courant d'un ampère pendant une seconde ; c'est le Coulomb [C].

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

Une unité peut être mal adaptée à la grandeur qu'elle mesure. On utilise des préfixes qui sont des multiples ou des sous-multiples de 10.

Sous-multiples			Multiples		
$10^{-12}$	pico	p	10	déca	da
$10^{-9}$	nano	n	$10^2$	hecto	h
$10^{-6}$	micro	$\mu$	$10^3$	Kilo	k
$10^{-3}$	milli	m	$10^6$	méga	M
$10^{-2}$	centi	c	$10^9$	tera	T
$10^{-1}$	déci	d	$10^{12}$	peta	P

### Chapitre 1 : Notions fondamentales de mécanique

Frottons un bâton d'ébonite (ou de résine) à l'aide d'un tissu de soie, on constate que la partie frottée attire les corps légers (morceaux de papier, ...) ; le corps a été électrisé par frottement.

Dans le cas d'un pendule électrique, on peut constater que la balle est attirée par un corps électrisée. Si on laisse le toucher, elle est immédiatement repoussée, car elle a pris une partie de la charge du corps avec lequel elle est entrée en contact. Il y a eu électrisation par contact.

#### 1.1. Force

La force s'exprime en Newton [N] et est définie comme étant **toute cause capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps**.

Dans le cas d'une accélération :  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

Dans le cas de la gravitation :  $\vec{P} = \vec{G} = m \cdot \vec{g}$

#### 1.2. Travail

Le travail est une énergie qui s'exprime en Joule [J]. Quand une force se déplace (déplace son point d'application), elle réalise un travail. Le joule est le travail accompli par un coulomb quand il subit une chute de potentiel d'un volt.

$$W = \vec{F} \cdot d$$

A la notion de travail est associée la notion d'énergie potentielle et d'énergie cinétique.

**Energie potentielle :**  $m \cdot g \cdot h \rightarrow k \frac{m}{s^2} m$

**Energie cinétique :**  $\frac{m \cdot v^2}{2} \rightarrow k \frac{m}{s} \frac{m}{s}$

#### 1.3. Puissance

La puissance s'exprime en Watt [W].

$$P = \frac{W}{t}$$

## Chapitre 2 : Forces électriques

Un scalaire est un nombre (par exemple : la température ou l'altitude).

La force est un vecteur.

Un vecteur (= un champ magnétique ou une force) est défini par 4 choses :

- Le point d'application ;
- La direction ;
- Le sens ;
- L'intensité.

**Loi de Coulomb** (unité de charge) :  $\vec{f} = K \frac{q \cdot q'}{r^2}$

**Loi de Newton** :  $\vec{F} = \frac{G M \cdot M'}{r^2}$

**La permittivité (di)électrique** : c'est ce qui va permettre de déterminer la manière dont un milieu va se comporter dans un champ électrique.

Permittivité relative : du vide (1, par définition) ou de l'air ( $\epsilon_0 = 1/(36 \cdot \pi \cdot 10^9)$ ).

Permittivité absolu : permittivité du milieu par rapport à celle de l'air.  $E_T = E/\epsilon_0$ .

$\vec{f}$  et  $\vec{F}$  représentent la force.

$G = K$ , il s'agit de la constante de proportionnalité ( $9 \cdot 10^9 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ).

$\epsilon_0$  est la permittivité (di)électrique du vide.

$$\epsilon_{air} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r\ air}$$

1,00006

$$\epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi} = \frac{1}{36\pi 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Farad/m}$$

Distance entre la Terre et la Lune : 300 000 km.

La lumière met 1s à passer entre la Terre et la Lune.

La lumière met 8 minutes à passer entre la Terre et le soleil.

Un champ électrique est la distribution spatiale d'une grandeur physique.

### Structure de la matière

On appelle mole de molécules (ou molécule-gramme) d'un corps pur la quantité représentée par sa formule chimique. La masse correspondante est dite masse moléculaire.

Chaque mole de molécules d'un corps pur contient le même nombre N de molécules, N est appelé le nombre d'Avogadro :  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ .

### 2.1. Couches électroniques

La couche la plus extrême d'un atome, qu'on appelle couche périphérique, joue un rôle essentiel dans les propriétés chimiques et électriques de l'atome, on l'appelle aussi couche de valence.

Un corps comme le cuivre, dont la couche périphérique ne comporte qu'un seul électron, aura tendance à perdre cet électron. La partie restante de l'atome, appelée ion sera positive (ion positif). Les corps, qui possèdent cette propriété sont les métaux. Ils possèdent naturellement des électrons libres qui peuvent se déplacer sous l'action d'une force extérieure, si petite soit-elle.

En revanche un corps, dont la couche périphérique comporte 5, 6 ou 7 électrons aura tendance à capter des électrons, la partie restante de l'atome devenant un ion négatif.

Ces éléments, dont les électrons sont liés au noyau, n'ont pas d'électrons libres ; ce sont des isolants, c'est-à-dire des mauvais conducteurs.

### 2.2. Notion de champ électrique

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

Le champ existe, même si l'objet n'est pas là.

L'intensité du champ électrique en un point

est la force exercée sur l'unité de charge placée en ce point.  $\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$  (charge Q, énergie E).

$$F = \frac{k q q'}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q'}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{k q}{r^2}$$

$$\boxed{\vec{F} = q \vec{E}}$$

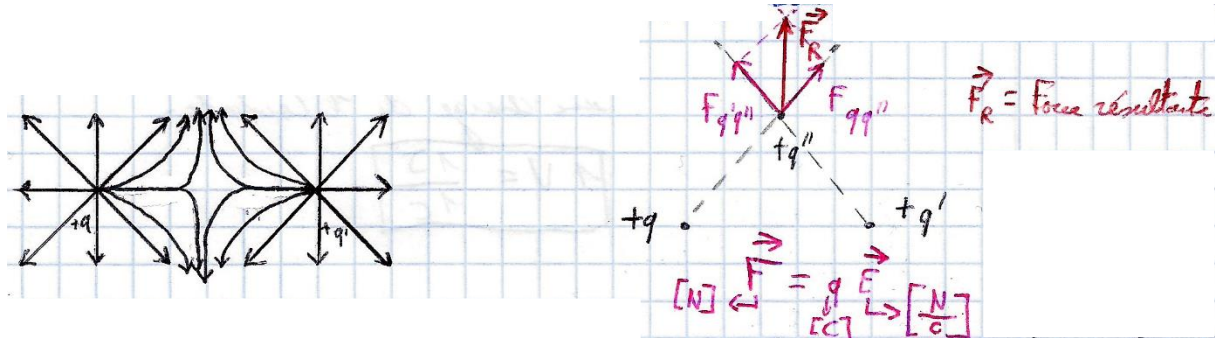
La notion de champ électrique très présente, donc importante.

### 2.3. Lignes de champ électrique

Les lignes de champ (ou lignes de force) sont des courbes qui sont, en chaque point de l'espace, tangentes au champ électrique. On les oriente dans le sens du champ.

2 lignes de champs ne peuvent pas se couper, tout comme les courbes de niveau.

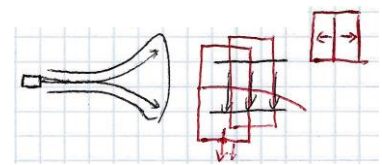
L'ensemble réalise un spectre électrique.



**Exemple :** l'écran cathodique utilise le procédé du champ électrique.

Balayage horizontal : 1 champ électrique.

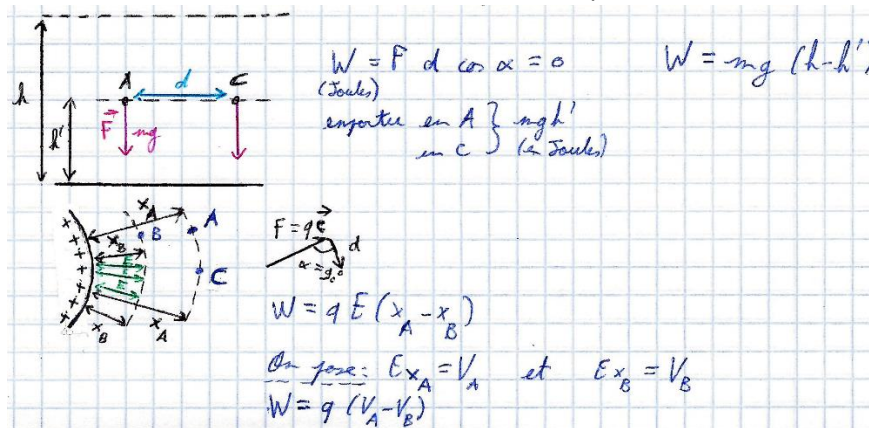
Balayage horizontal + vertical : plusieurs plaques pour plusieurs champs électriques.



### 2.4. Notion de potentiel

Les forces de pesanteur (ou forces électrostatiques) se déduisent d'un potentiel.

Un voltmètre est censé mesurer la différence de potentiel.



### 2.5. Relation champ-potentiel

Le champ électrique peut s'exprimer en volt par mètre [V/m].

$$\text{!} \quad E = \frac{-dv}{dl}$$

Du point de vue des actions extérieures, une boule métallique électrisée se comporte comme une charge ponctuelle.

**Niveau absolu  $\neq$  niveau local.**

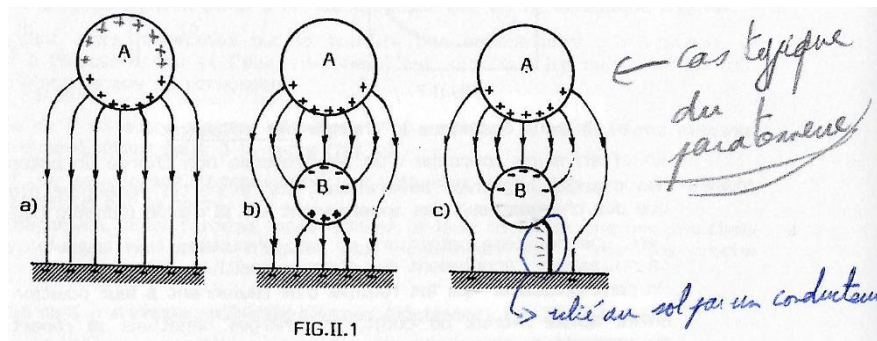
**Exemple :** l'Ephec est à 110m d'hauteur (absolu) et le L41 est à 4m (local).

Un meger permet de mesurer la masse absolue d'une fondation, d'un bâtiment.

**Définition du volt :** il faut fournir un travail de 1 Joule pour faire franchir une différence de potentiel de 1 Volt à une charge de 1 Coulomb.  $1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$ .

Une surface équipotentielle est une surface telle que le potentiel est identique en tout point. Elle est définie par :  $V(x, y, z) = V_0 = \text{constante}$ .

## Chapitre 3 : Electrification par influence



La somme des charges positives est égale à la somme des charges négatives.

Dans le cas du c), lorsqu'on éloigne B de A, celui-ci demeure chargé négativement. On dit qu'il a été chargé par influence.

### 3.1. Electroscope

Un électroscope est un appareil de laboratoire qui permet de mesurer des petites charges électriques. On peut le charger par contact mais également par influence.

## Chapitre 4 : Condensateurs

### 4.0. Condensation de l'électricité

Considérons un plateau métallique P, chargé d'électricité positive, à l'aide d'une batterie, le plateau étant relié à un électroscope par un fil métallique.

Les charges sont alors dispersées sur la totalité des conducteurs : le plateau, le fil de liaison à l'électroscope et l'électroscope. C'est ainsi que les 2 feuilles métalliques de l'électroscope se repoussent.

Approchons de P un autre plateau métallique P' parallèle à P, ce 2<sup>ème</sup> plateau, qui n'est pas chargé, étant relié à la terre.

Le plateau P' va se charger négativement par influence avec écoulement des charges positives par la terre. Les charges négatives ainsi formées, vont attirer, à leur tour, les charges positives du plateau P, charges qui seront d'autant plus nombreuses que P' est plus proche de P.

**On dit qu'il y a condensation de charges électriques sur le plateau P.**

Ce phénomène de condensation a pour effet de faire disparaître les charges dans la partie du plateau P qui n'est pas face à P'. C'est ainsi que les feuilles de l'électroscope ne divergent plus.

Si les 2 plateaux sont très proches l'un de l'autre, toutes les lignes de champs issues du plateau chargé positivement aboutissent sur l'autre plateau, on dit alors que l'influence est totale.

**Quand l'influence est totale, les 2 plateaux portent les charges +Q et -Q.**

### 4.1. Définition du condensateur

On appelle condensateur l'ensemble formé par 2 conducteurs dont les surfaces en regard, qui sont proches l'une de l'autre, sont séparées par un isolant.

Les 2 conducteurs sont les armatures et l'isolant est le diélectrique.

### 4.2. Relation entre la charge et la tension

La charge Q portée par un condensateur est proportionnelle à la différence de potentiel U existant entre ses armatures.



**Loi du condensateur :**  $Q = C * U$ .

Capacité [F]

Différence de potentiel [V]

charge [C]  
Le microfarad ( $10^{-6}$  F), le nano farad ( $10^{-9}$  F) et le picofarad ( $10^{-12}$  F).

#### 4.3. Capacité d'un condensateur plan

**Quel est la fréquence du courant continu ?** 0 car pas de sinusoïde, pas d'ondulation (c'est continu).

**Formule générale de la capacité d'un condensateur plan :**  $C = \varepsilon S/e$  avec  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

#### 4.4. Groupement de condensateurs

**En série :**  $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$

« Plus petit que le plus petit »

**En parallèle :**  $C = C_1 + C_2 + C_3$

« Plus grand que le plus grand »

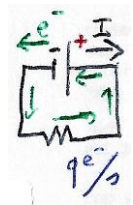
#### 4.5. Energie d'un condensateur

L'énergie nécessaire pour que le condensateur atteigne sa charge définitive Q, charge qui correspond à la tension U (avec  $Q = C * U$ ) :  $W = \int_0^Q u dq = C \int_0^U u du = C * U^2 / 2$

**Energie emmagasiné dans un condensateur :**  $W = C * U^2 / 2$

### Chapitre 5 : Lois générales

#### 5.1. Courant électrique



Par convention, le sens positif du courant électrique est celui qui va du potentiel le plus élevé au potentiel le plus bas.

En effet, le sens du courant n'a aucune conséquence sur les applications de l'électricité car ce qui importe, c'est de traiter le courant comme une grandeur algébrique.

#### 5.2. Expressions de l'énergie et de la puissance

$$\text{Joule} \leftarrow W = \frac{Q(V_A - V_B)}{V}$$

On pose  $U = V_A - V_B$ ,

**Energie :**  $W = Q * U$

**Puissance :**  $P = U * I$ , Watt [W]

Les unités d'énergie et de puissance sont le joule ( $1 J = 1 V.C$ ) et le watt ( $1 W = 1 V.A$ ). Toutefois, en électricité, on utilise parfois une unité d'énergie (hors système) : le kilowatt-heure.

#### 5.3. Loi d'Ohm – Cas d'un dipôle passif



On appelle dipôle passif (résistance pure ou résistance morte) un conducteur qui transforme en énergie calorifique la totalité de l'énergie qu'il reçoit.

Il est facile de vérifier, à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre que l'intensité dans une résistance est proportionnelle à la tension appliquée :  $U = R * I$  (Ohm [ $\Omega$ ],  $1 \Omega = 1 V/A$ ).

#### **Loi de Joule :**

Comme la puissance fournie à un récepteur est, dans tous les cas,  $P = U * I$ , que le récepteur soit passif ou actif, on en déduit la puissance dissipée par effet Joule :  $P = R * I^2$ .



## 5.4. Loi d'Ohm – Cas d'un générateur

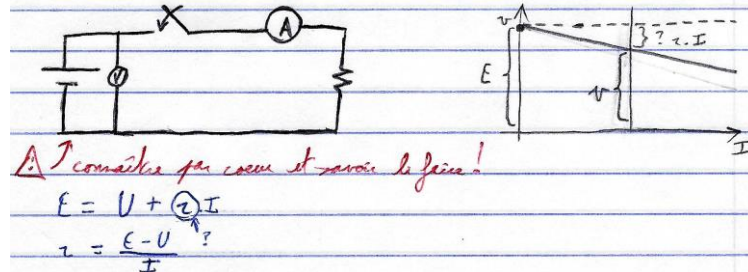
Un générateur est un appareil capable de fournir de l'énergie électrique.

**Exemple :** une pile est un générateur.

On appelle force électromotrice (f.é.m) d'un générateur la tension entre ses bornes à vide.

**Circuit équivalent :**  $U = E - r * I$

$r$ , qui est homogène à une résistance est la résistance interne d'un générateur.

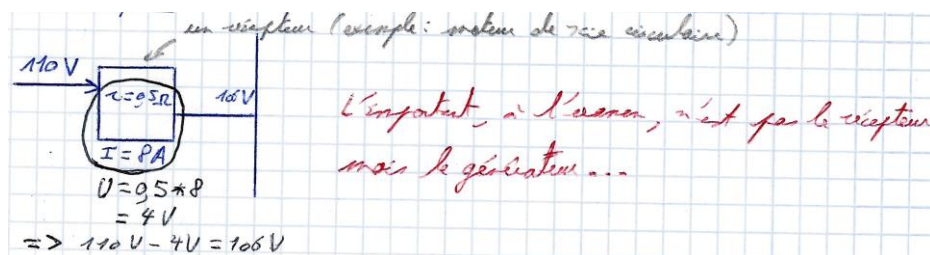


On peut également calculer le rendement électrique de la génératrice :  $\eta_e = P_U / P_e = U / E$ .

## 5.5. Loi d'Ohm – Cas d'un récepteur actif

**Circuit équivalent :**  $U = E' + r * I$

**Bilan des puissances :**  $U * I = E' + r * I^2$



## Chapitre 6 : Effets calorifiques

$$\left. \begin{aligned} P &= R * I^2 \\ W &= P * t = R * I^2 * t \end{aligned} \right\} \text{ Tout 2 des énergies}$$

Pour établir une relation d'équilibre, on définit une grandeur qu'on appelle chaleur massique.

La chaleur massique  $c$  d'une substance est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg de cette substance pour élever sa température de 1° C (ou 1 Kelvin). S'exprime en joule par kilogramme [J/kg].

Si on désigne par  $M$  la masse d'eau équivalente à l'eau du calorimètre et aux accessoires, pour une élévation  $\theta$  de la température, on a :  $R * I^2 * t = M * c * \theta$ .

## 6.1. Résistance d'un conducteur filiforme

**Loi de Pouillet :**

On peut vérifier, à l'aide de montages simples, l'influence de la longueur  $l$ , de la section  $s$  et de la nature d'un conducteur sur sa résistance, soit :  $R = \rho * l / s$

La nouvelle grandeur  $\rho$  est appelée résistivité de la substance [ $\Omega m^2 / m$ ] (ou  $\Omega - m$ ).

**Loi de Matthiessen :**

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

$\alpha$  varie avec chaque métal, typiquement 0,004 pour tous les métaux.

$\rho$ (résistivité) en $10^{-8} \Omega m$	
Cu	1,72
Al	2,8
Au	2,4
Ag	1,57
Fe	9,8



## (6.2. Résistance d'un conducteur de forme quelconque) \*

\* : à titre d'information

**Remarque :** Le corps humain est conducteur de courant, mais sa résistance est mal définie car elle dépend des surfaces de contact et de l'état de la peau (sèche ou humide). On peut admettre, qu'avec un contact franc, elle est de l'ordre de  $1000 \Omega$ . Par ailleurs, l'effet physiologique dépend essentiellement de l'intensité qui traverse le corps et de la partie du corps traversé. En effet, il est moins dangereux de toucher une prise de courant avec les 2 doigts d'une même main (le courant se ferme par la main) que de toucher la prise avec les doigts des 2 mains (le courant se ferme par le cœur). Dans le 1<sup>er</sup> cas, il y aura brûlure, alors qu'il suffit d'un courant supérieur à  $25 \text{ mA}$  pour provoquer l'arrêt du cœur. Si on admet la résistance de  $1000 \Omega$ , on arrive à cette conclusion : en courant continu, la tension peut devenir dangereuse à partir de  $25 \text{ V}$ .

**Le courant alternatif est encore plus dangereux que le courant continu.**

Avec le courant alternatif, la fréquence est entre  $50 - 60 \text{ Hz}$  et provoque la tétanie au niveau des muscles.

## 6.3. Association de conducteurs passifs

## 6.3.1. Résistances

**En série :**  $R_T = R_1 + R_2 + \dots$

**En parallèle :**  $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

## 6.3.2. Capacité

**En série :**  $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$

**En parallèle :**  $C_T = C_1 + C_2 + \dots$

## 6.4. Echauffement des conducteurs

**Rayonnement :** l'énergie est cédée par le corps sous la forme de radiations visibles (ou infrarouges).

**Conduction :** la chaleur passe d'un corps conducteur à toutes les pièces en contact avec lui.

**Convection :** il se produit autour d'un corps chaud des mouvements de fluide qui viennent lécher sa surface, facilitant ainsi l'évacuation de la chaleur.

## 6.5. Conséquences de l'effet Joule

Le dégagement de chaleur, produit par le passage du courant dans un conducteur est utilisé pour certaines applications mais, en général, il est nuisible.

**Inconvénients :**

- L'effet Joule diminue le rendement car l'énergie calorifique est de l'énergie perdue.
- L'élévation de température peut abrégé la durée de vie des machines.  
Quand une machine est surchargée, son échauffement est supérieur à la valeur normale, ce qui provoque la détérioration des isolants ; sa durée de vie est abrégée et la machine peut même être mise totalement hors d'usage, on dit qu'elle est « grillée ».
- L'élévation de température peut provoquer un incendie par court-circuit.

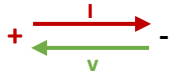
**Avantage :** on peut protéger simplement le matériel à l'aide de fusibles qui fondent dès que l'intensité dépasse une valeur fixée à l'avance.

Comme le fusible, qui le protège, doit supporter le courant de démarrage, il peut arriver, dans le cas d'une légère surcharge, que le moteur « grille » sans l'intervention du fusible.

En conséquence : la protection d'un moteur par fusible n'est pas suffisante. Il doit être protégé par un disjoncteur individuel muni d'un relais thermique.

Ce relais est constitué par une bilame qui, en se tordant sous l'influence de la température peut rompre un contact assurant la rupture du courant.

## Chapitre 7 : Réseaux linéaires



## 7.1. Lois de Kirchhoff

**Règle des nœuds :**  $\sum I = 0$ 

La somme des intensités des courants qui se dirigent vers un nœud est égale à la somme des intensités qui s'en éloignent.

**Règle des mailles :**  $\sum U = 0$ 

La somme algébrique des différences de potentiel, le long d'une maille est nulle.

## 7.2. Théorème de superposition

Le courant, qui traverse une branche quelconque du réseau, est la somme des courants que fournirait chacun des générateurs agissant isolément, les résistances des autres générateurs restant branchées dans le réseau.

Diviseur de courant

$$U = R_T I$$

$$U = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_T$$

$$R_1 \rightarrow I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_1} \cdot I_T$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_T$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{1}{R_2} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_T$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_T$$

Diviseur de tension

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_T = R_1 \cdot \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_T = R_2 \cdot \frac{U}{R_1 + R_2}$$