

# Circuits électriques dans l'ARQS

## Sommaire

<b>I Intensité et tension</b> . . . . .	<b>2</b>
I/A De la charge au courant . . . . .	2
I/B Du potentiel à la tension . . . . .	3
<b>II Circuits électriques</b> . . . . .	<b>4</b>
II/A Description d'un circuit . . . . .	4
II/B Dipôles électriques . . . . .	5
<b>III Lois fondamentales des circuits électriques dans l'ARQS</b> . . . . .	<b>7</b>
III/A L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) . . . . .	7
III/B Lois de KIRCHHOFF . . . . .	7

## Capacités exigibles

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. | <input type="checkbox"/> Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.                                |
| <input type="checkbox"/> Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge.  | <input type="checkbox"/> Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application. |
| <input type="checkbox"/> Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.                         | <input type="checkbox"/> Utiliser la loi des mailles et la loi des nœuds.  |
|  | <input type="checkbox"/> Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.           |

## L'essentiel

### Définitions

<input type="checkbox"/> E1.1 : Charge électrique . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.2 : Courant électrique . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.3 : Sens conventionnel . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.4 : Intensité d'un courant . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.5 : Potentiel et tension . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.6 : Masse d'un circuit . . . . .	4
<input type="checkbox"/> E1.7 : Circuit, schéma, dipôle . . . . .	4
<input type="checkbox"/> E1.8 : Nœud, branche, maille . . . . .	5
<input type="checkbox"/> E1.9 : Conventions récepteur et générateur . . . . .	5
<input type="checkbox"/> E1.10 : Puissance récepteur, générateur . . . . .	5
<input type="checkbox"/> E1.11 : Dipôles en série et parallèle . . . . .	6
<input type="checkbox"/> E1.12 : Voltmètre et ampèremètre . . . . .	6
<input type="checkbox"/> E1.13 : Régimes continu et variable . . . . .	7

### Propriétés

<input type="checkbox"/> E1.1 : Charge électrique et conservation . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.2 : Expression de l'intensité . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.3 : Conservation de l'énergie . . . . .	6

### Lois

<input type="checkbox"/> E1.1 : ARQS . . . . .	7
<input type="checkbox"/> E1.2 : Loi des branches . . . . .	8
<input type="checkbox"/> E1.3 : Loi des nœuds . . . . .	8
<input type="checkbox"/> E1.4 : Loi des mailles . . . . .	8

### Notations

<input type="checkbox"/> E1.1 : Représentation du sens . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.2 : Potentiel et tension . . . . .	3

### Ordres de grandeur

<input type="checkbox"/> E1.1 : Intensités . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.2 : Tensions . . . . .	4

### Interprétations

<input type="checkbox"/> E1.1 : Sens conventionnel du courant . . . . .	2
<input type="checkbox"/> E1.2 : Analogie hydraulique . . . . .	4

### Implications

<input type="checkbox"/> E1.1 : Signe et sens réel du courant . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.2 : Signe d'une tension . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.3 : ARQS et lois de Kirchhoff . . . . .	7

### Applications

<input type="checkbox"/> E1.1 : Débit et nombre d'électrons . . . . .	3
<input type="checkbox"/> E1.2 : Série ou dérivation ? . . . . .	6
<input type="checkbox"/> E1.3 : Validité de l'ARQS . . . . .	7
<input type="checkbox"/> E1.4 : Lois des nœuds, lois des mailles . . . . .	8

### Points importants

<input type="checkbox"/> E1.1 : Bilan sur les puissances . . . . .	5
--	---

# I Intensité et tension

## I/A De la charge au courant

### Définition E1.1 : Charge électrique

La **charge** électrique d'une particule, notée  $q$ , est une grandeur **scalaire**, caractérisant sa **sensibilité aux interactions électromagnétiques**.

#### Unités

Le Coulomb (C),  $1\text{ C} = 1\text{ A}\cdot\text{s}$ .

### ♥ Propriété E1.1 : Charge électrique et conservation

Un système électrique de charge totale  $Q$  possède les propriétés suivantes :

- 1)  $Q$  est **algébrique** : elle peut être  $\leq 0$  ;
- 2)  $Q$  est **additive** :  $N$  particules de charges  $q_1, \dots, q_N$  forment une charge  $Q = \sum_{i=1}^N q_i$  ;
- 3)  $Q$  est quantifiée :  $Q = k \cdot e$  avec  $k \in \mathbb{Z}$  et  $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$  ;
- 4) Si le système est isolé, alors  $Q$  est constante.

### Définition E1.2 : Courant électrique

Le courant électrique est un **mouvement d'ensemble** de particules chargées, appelées *porteurs de charges*, dû à une action extérieure, le champ électrique  $\vec{E}$ .

#### Types de porteurs

- 1) Les **électrons libres** dans les conducteurs métalliques ;
- 2) Les **ions en solutions** dites électrolytiques.

### Interprétation E1.1 : Sens conventionnel du courant

Les particules sont déplacées par un champ électrique  $\vec{E}$  selon le sens algébrique de leur charge, avec une force  $\vec{F} = q\vec{E}$  (voir mécanique première année) : les charges avec  $q > 0$  sont déplacées dans le même sens que  $\vec{E}$ , celles de  $q < 0$  dans le sens opposé. Ils apportent cependant la *même variation de charge* en valeur absolue. Avant de connaître quelles particules se déplaçaient dans les circuits électriques (les électrons), il a fallu choisir un sens conventionnel

### Définition E1.3 : Sens conventionnel

Le sens **conventionnel du courant** est le sens de déplacement des **porteurs charges positives** (réels ou hypothétiques). Les charges négatives se déplacent en sens contraire.

### ♥ Définition E1.4 : Intensité d'un courant

L'intensité électrique quantifie le **débit** de charges à travers une section orientée, c'est-à-dire un **nombre de charges par unité de temps** dans la section étudiée.

Une charge est comptée  $+q$  si elle traverse la section dans le même sens que son orientation (avec  $q \leq 0$ ), et  $-q$  sinon.

#### Unités

L'Ampère (A),  $1\text{ A} = 1\text{ C}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### Notation

Par convention,  $i$  si elle varie,  $I$  si elle est fixe.

### ♥ Propriété E1.2 : Expression de l'intensité

Soit un système électrique de **section orientée**  $S$  traversée par des charges électriques. Si une quantité de charge  $\delta q$  (discontinue puisque quantifiée par  $e$ ) la traverse entre deux instants  $t$  et  $t + \delta t$ , l'intensité  $i$  du courant sera  $i = \delta q / \delta t$ . En prenant la limite continue

$$i(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta q}{\delta t} = \frac{dq}{dt}$$

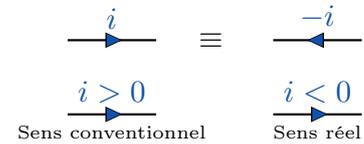
**Implication E1.1 : Signe et sens réel du courant**

Si  $i > 0$ , alors  $\delta q > 0$  : pendant  $dt$ , il y a eu une traversée de charges avec résultante positive *dans le sens orienté*. Comme le sens conventionnel est **celui des charges positives**, on retiendra

- ◇ si  $i > 0$ , le sens conventionnel est respecté ;
- ◇ si  $i < 0$ , le sens conventionnel est opposé à l'orientation choisie.

**Notation E1.1 : Représentation du sens**

En représentant un fil électrique par un trait rectiligne, on oriente la section avec une flèche. La grandeur ainsi définie peut être  $\leq 0$ . Si on la flèche dans l'autre sens, sa valeur est opposée.



**Remarque E1.1 : Courant et intensité**

Il vous faut savoir différencier le courant et l'intensité du courant :

Le courant est le *phénomène physique*.

L'intensité est la *quantification algébrique*.

**Ordre de grandeur E1.1 : Intensités**

- ◇  $\approx 1$  mA pour l'électronique du quotidien (téléphone) ;
- ◇ [1 ; 10] A pour l'électroménager (four, aspirateur...);
- ◇  $\approx 10^2$  A pour l'électrotechnique (TGV : [500 ; 1000] A).

**Application E1.1 : Débit et nombre d'électrons**

Un générateur délivre une intensité  $I = 3,0$  A. Quel est le nombre d'électrons émis chaque seconde ? Quelle durée faut-il à ce générateur pour émettre 1000 électrons ?

Par définition,  $I = \Delta Q / \Delta t$ , et  $\Delta Q = Ne$  avec  $N$  le nombre d'électrons et  $e$  la charge élémentaire. Ainsi,

$$N = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{I \Delta t}{e} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} I = 3,0 \text{ A} \\ \Delta t = 1 \text{ s} \\ e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \end{cases} \quad \text{A.N. : } \underline{N \approx 1,9 \times 10^{19}}$$

On inverse la relation pour trouver

$$\Delta t = \frac{1000e}{I} = \underline{5,3 \times 10^{-17} \text{ s}}$$

**I/B Du potentiel à la tension**

**♥ Définition E1.5 : Potentiel et tension**

On appelle **potentiel** électrique la grandeur physique quantifiant la *capacité d'un point de l'espace à attirer les charges négatives* : plus le potentiel est élevé plus il les attire.

On appelle **tension** ou **différence de potentiel** entre deux points la *différence entre les valeurs du potentiel* en chacun des points. En pratique, **seules les tensions se mesurent**.

**Unités**

Le Volt (V)

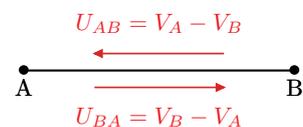
**Notation**

Potentiel  $V$ , tension  $u$  si variable,  $U$  sinon.

**Notation E1.2 : Potentiel et tension**

Il est convenu d'écrire le potentiel en un point A :  $V_A$ , et la tension **entre les points** A et B :  $U_{AB} = V_A - V_B$ . Sur un schéma, la tension est représentée par une flèche partant du **second potentiel vers le premier**.

**Attention**, la flèche est opposée au sens usuel pour un vecteur  $\vec{AB}$ .



**Implication E1.2 : Signe d'une tension**

- ◇  $U_{AB} > 0 \Leftrightarrow V_A > V_B$  ;
- ◇  $U_{AB} = -U_{BA}$  ;
- ◇  $U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$ .

### Ordre de grandeur E1.2 : Tensions

- ◇  $\approx [0,100 ; 5]$  V pour l'électronique du quotidien (téléphone);
- ◇  $\approx 220$  V pour l'électroménager (four, aspirateur...);
- ◇  $\approx [100 ; 1000]$  kV pour l'électrotechnique (lignes hautes tensions).

### ♥ Définition E1.6 : Masse d'un circuit

Puisqu'on ne mesure que des différences de potentiel, il faut forcément **décider d'une référence** : l'**origine des potentiels** d'un circuit est appelée la **masse** du circuit. C'est le point où  $V = 0$ .

#### Représentation



### Interprétation E1.2 : Analogie hydraulique

Considérons une analogie hydraulique : dans une conduite d'eau horizontale entre deux récipients, l'eau ne s'écoulera pas. Un courant d'eau apparaîtra si on surélève l'un des récipients par rapport à l'autre, et ce courant sera **vers le plus bas**. Le récipient surélevé va finir par se vider et le courant d'eau cessera. C'est la **différence d'altitude** entre les deux récipients qui permet la **circulation du courant**. Les deux sens ne sont pas équivalents, le courant d'eau ne se produit spontanément que vers le bas.

Par analogie avec la **différence d'altitude**  $h$  de la canalisation, on définit le **potentiel** électrique  $V$ . Ainsi, un courant électrique apparaît spontanément dans le sens des **potentiels décroissants**. Pour que le courant remonte les potentiels, il faut « pomper » les charges à l'aide d'un générateur. L'équivalent électrique du dénivelé (différence d'altitudes) en hydraulique est la tension (différence de potentiels). Voir [ce site](#) et l'animation flash.

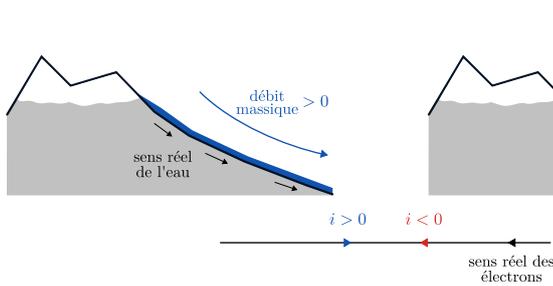


FIGURE E1.1 – Analogie courant-débit

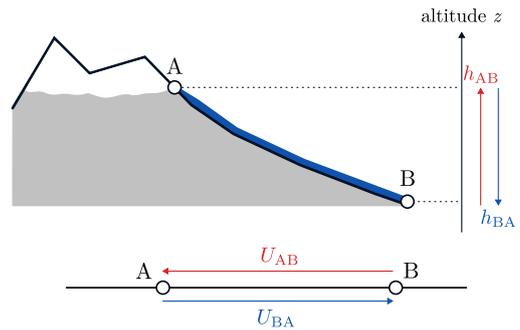


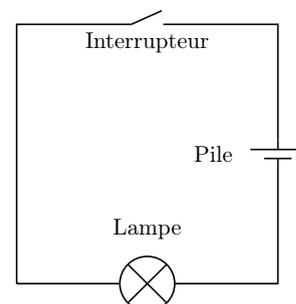
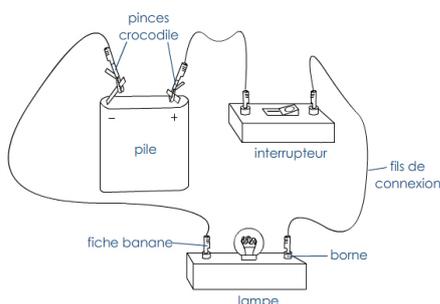
FIGURE E1.2 – Analogie hauteur-tension

## II Circuits électriques

### II/A Description d'un circuit

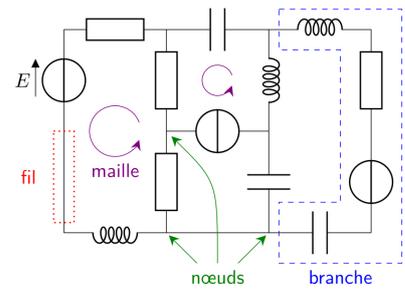
#### Définition E1.7 : Circuit, schéma, dipôle

- ◇ **Circuit électrique** : ensemble de composants électriques reliés par des fils conducteurs.
- ◇ **Schéma électrique** : représentation simplifiée d'un circuit avec des symboles standardisés
- ◇ **Dipôle** : composants électriques avec deux bornes sur lesquelles sont branchés des fils conducteurs.



**Définition E1.8 : Nœud, branche, maille**

- ◇ **Nœud** : point où se rejoignent au moins 3 fils.
- ◇ **Branche** : portion du circuit entre deux nœuds voisins.
- ◇ **Maille** : succession de branches partant et retournant au même point.



**II/B Dipôles électriques**

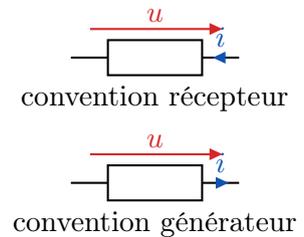
**II/B) 1 Conventions générateur et récepteur**

Chacune des orientations de l'intensité et de la tension est arbitraire. Pour étudier le comportement d'un dipôle, il nous faut choisir une dernière convention donnant l'orientation relative de la tension  $u$  à ses bornes et de l'intensité  $i$  du courant la traversant. Celle-ci dépend de la nature génératrice ou réceptrice d'un dipôle afin de respecter leurs physiques respectives.

**♥ Définition E1.9 : Conventions récepteur et générateur**

En convention **récepteur**, l'intensité  $i$  traversant un dipôle et la tension  $u$  à ses bornes sont orientées en **sens contraires**.

En convention **générateur**, l'intensité  $i$  traversant un dipôle et la tension  $u$  à ses bornes sont orientées en **dans le même sens**.



**♥ Définition E1.10 : Puissance récepteur, générateur**

**Récepteur**

Un dipôle **fonctionne comme récepteur** s'il **reçoit de l'énergie** du reste système. Dans ce cas-là, sa puissance *en convention récepteur* est

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = u \cdot i > 0$$

Si, après calcul, une puissance reçue est négative, c'est que le dipôle est en fait générateur.

**Générateur**

Un dipôle **fonctionne comme générateur** s'il **fournit de l'énergie** au reste système. Dans ce cas-là, sa puissance *en convention générateur* est

$$\mathcal{P}_{\text{fournie}} = u \cdot i > 0$$

Si, après calcul, une puissance fournie est négative, c'est que le dipôle est en fait récepteur.

**Important E1.1 : Bilan sur les puissances**

	Dipôle récepteur	Dipôle générateur
<b>Convention récepteur</b> $\mathcal{P}_{\text{reçue}}$		
<b>Convention générateur</b> $\mathcal{P}_{\text{fournie}}$		

**Propriété E1.3 : Conservation de l'énergie**

L'énergie est une **grandeur conservative**. Elle ne peut être créée ou détruite. Elle ne peut qu'être convertie d'une forme en une autre et/ou transférée d'un système à un autre. Il en découle que dans une maille, **les puissances reçues sont égales aux puissances émises**, c'est-à-dire

$$\sum \mathcal{P}_{\text{fournies}} = \sum \mathcal{P}_{\text{reçues}}$$

**II/B) 2 Relation entre dipôles****♥ Définition E1.11 : Dipôles en série et parallèle****Dipôles en série**

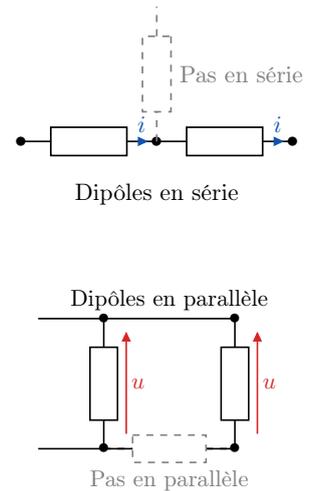
Deux dipôles sont dits **en série** s'ils **appartiennent à une même branche**, pas interrompue par un nœud.

Deux dipôles **en série** sont traversés par la **même intensité**.

**Dipôles en parallèle**

Deux dipôles sont dits **en dérivation/en parallèle** s'ils partagent leurs **deux bornes**.

Deux dipôles **en parallèle/dérivation** ont la **même tension** à leurs bornes.

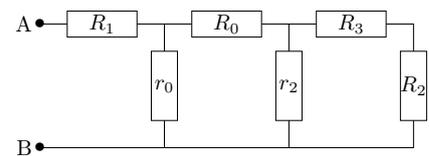
**Remarque E1.2 : Série et dérivation**

Le plus souvent, deux dipôles ne sont ni en série, ni en dérivation entre eux.

**Application E1.2 : Série ou dérivation ?**

Pour le schéma ci-contre, indiquer si les couples de dipôles suivants sont en série, en parallèle ou ni l'un ni l'autre :

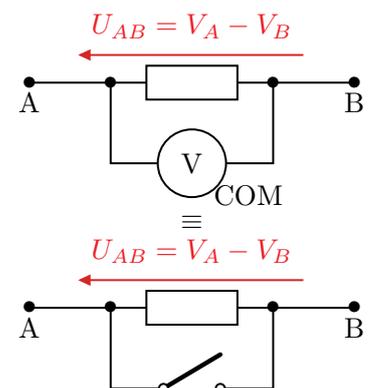
$(R_1 \text{ et } R_0)$ ;  $(r_0 \text{ et } r_2)$ ;  $(R_2 \text{ et } R_0)$ ;  $(R_3 \text{ et } R_2)$ .



$(R_1 \text{ et } R_0)$  : rien.  $(r_0 \text{ et } r_2)$  : rien.  $(R_2 \text{ et } R_0)$  : rien.  $(R_3 \text{ et } R_2)$  : série.

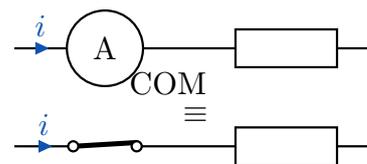
**II/B) 3 Mesures de tensions et d'intensités****♥ Définition E1.12 : Voltmètre et ampèremètre****Voltmètre**

- ◇ Mesure une **tension**, donc se monte en **parallèle**.
- ◇ Pour mesurer la tension  $U_{AB}$  il faut placer la borne COM au point B.
- ◇ Un voltmètre idéal a une résistance interne infinie : il est équivalent à un interrupteur ouvert.



**Ampèremètre**

- ◇ Mesure une **intensité**, donc se monte en **série**.
- ◇ Le sens du courant affiché par l'ampèremètre est relié au sens de branchement.
- ◇ Un ampèremètre idéal a une résistance interne nulle : il est équivalent à un fil conducteur.



**III Lois fondamentales des circuits électriques dans l'ARQS**

**III/A L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)**

**Loi E1.1 : ARQS**

L'approximation des régimes quasi-stationnaires correspond à considérer que les **variations des grandeurs** électriques se propagent **instantanément dans la totalité** d'un circuit. Soit  $L$  sa longueur totale et  $f$  la fréquence de variation du signal électrique (ou temps de variation  $T$ ) ; alors, l'ARQS est applicable si :

$$L \ll \frac{c}{f} \Leftrightarrow [L \ll cT] \Leftrightarrow T \gg \frac{L}{c}$$

**Preuve E1.1 : ARQS**

Dans un fil, les électrons sont mis en mouvement par un champ électrique. La théorie électromagnétique nous montre que le champ électrique est une onde qui se déplace à la célérité  $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Ainsi, la variation du potentiel dans un fil se fait à vitesse finie et il y a en général un **retard à la propagation**.

Si le champ varie dans le temps avec une période  $T$ , il varie dans l'espace avec une période  $\lambda = cT$ . On peut alors considérer que le champ électrique est le même le long d'un fil si sa taille est beaucoup plus petite que la longueur d'onde  $\lambda$ .

**Application E1.3 : Validité de l'ARQS**

Vérifier si l'ARQS est valable pour les 3 cas suivants :

- ◇ En travaux pratiques avec  $f = 1 \text{ kHz}$  ;
- ◇ Sur une ligne à haute tension de 100 km à basse fréquence (50 Hz) ;
- ◇ À l'intérieur d'une carte mère d'un ordinateur de 10 cm à  $f \approx 1 \text{ GHz}$ .

Oui, si  $L \ll 300 \text{ km}$  ; oui, si  $L \ll 6000 \text{ km}$  ; non,  $Lf = 1 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \ll c$ .

**Définition E1.13 : Régimes continu et variable**

**Régime continu**

Toutes les intensités et les tensions du circuit sont constantes au cours du temps.

**Régime variable**

Au moins une tension ou une intensité du circuit varie au cours du temps.

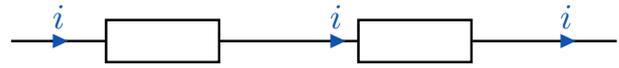
**III/B Lois de KIRCHHOFF**

**Implication E1.3 : ARQS et lois de Kirchhoff**

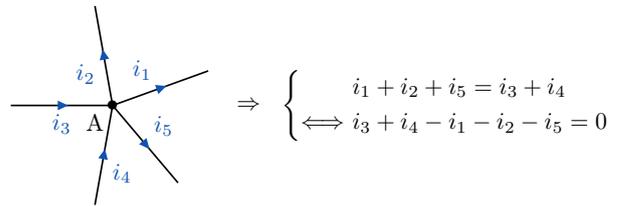
Dans le cadre de l'ARQS, il ne peut y avoir d'accumulation de charges en un point du circuit : toutes les charges apportées par un courant doivent immédiatement être évacuées par un autre courant, donnant lieu aux lois dites de KIRCHHOFF.

**Loi E1.2 : Loi des branches**

L'intensité est la même le long d'une branche.

**Loi E1.3 : Loi des nœuds**

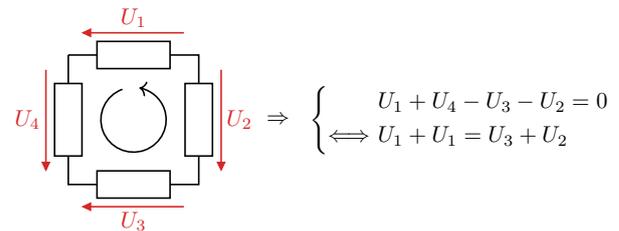
La somme des intensités dirigées vers un nœud est égale à la somme de celles dirigées à l'opposé, ou la somme algébrique des intensités en un point est nulle.



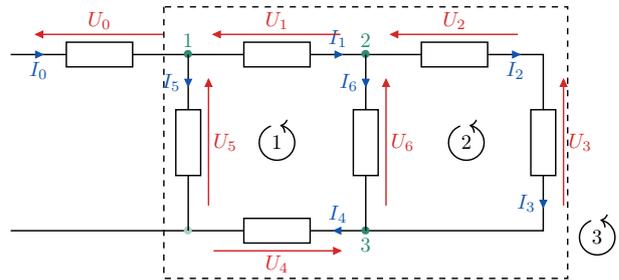
Avec le principe d'additivité des tensions, on en déduit la loi des mailles.

**Loi E1.4 : Loi des mailles**

Dans une maille orientée, la somme algébrique des tensions est nulle, ou la somme des tensions dans le sens de la maille est égale à la somme des tensions dans le sens opposé.

**Application E1.4 : Lois des nœuds, lois des mailles**

Pour le circuit ci-contre, établir les liens entre les différents courants et les différentes tensions.

**Lois des nœuds**

- ◇  $I_2 = I_3$  par unicité à droite ;
- ◇  $I_0 = I_1 + I_5$  par LdN 1 ;
- ◇  $I_1 = I_2 + I_6$  par LdN 2 ;
- ◇  $I_3 + I_6 = I_4$  par LdN 3.

Le dernier nœud, non numéroté, donne une relation redondante avec les autres.

**Lois des mailles**

- ◇  $U_4 + U_6 + U_1 = U_5$  par LdM 1 ;
- ◇  $U_3 + U_2 = U_6$  par LdM 2 ;

La LdM 3 donne une relation redondante avec les deux premières :  $U_4 + U_2 + U_3 + U_1 = U_5$  est la somme des deux.