

Circuits électriques dans l'ARQS

Sommaire

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

Capacités exigibles

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. ☐ Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. ☐ Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. | <ul style="list-style-type: none"> ☐ Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. ☐ Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application. ☐ Utiliser la loi des mailles et la loi des nœuds. ☐ Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. |
|---|--|

L'essentiel

Définitions

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

Propriétés

☐ E1.1 : Charge électrique et conservation	2
☐ E1.2 : Expression de l'intensité	2
☐ E1.3 : Conservation de l'énergie	6

Lois

☐ E1.1 : ARQS	7
☐ E1.2 : Loi des branches	8
☐ E1.3 : Loi des nœuds	8
☐ E1.4 : Loi des mailles	8

Notations

☐ E1.1 : Représentation du sens	3
☐ E1.2 : Potentiel et tension	3

Ordres de grandeur

☐ E1.1 : Intensités	3
☐ E1.2 : Tensions	4

Interprétations

☐ E1.1 : Sens conventionnel du courant	2
☐ E1.2 : Analogie hydraulique	4

Implications

☐ E1.1 : Signe et sens réel du courant	3
☐ E1.2 : Signe d'une tension	3
☐ E1.3 : ARQS et lois de Kirchhoff	7

Applications

☐ E1.1 : Débit et nombre d'électrons	3
☐ E1.2 : Série ou dérivation ?	6
☐ E1.3 : Validité de l'ARQS	7
☐ E1.4 : Lois des nœuds, lois des mailles	8

Points importants

☐ 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 ≤ 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 δq (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

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

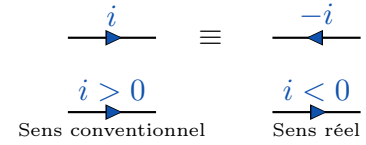
Implication E1.1 : Signe et sens réel du courant

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 ≤ 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

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

Application E1.1 : Débit et nombre d'électrons

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

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

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)

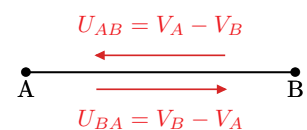
Notation

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 $\overrightarrow{AB}$.

**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);
- ◇ ≈ 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.

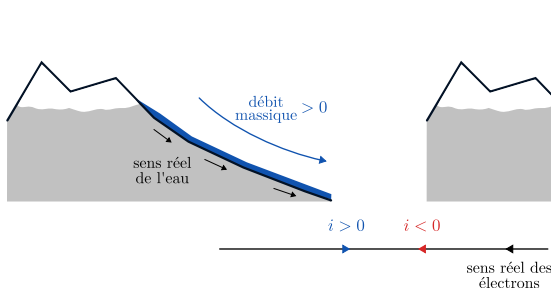


FIGURE E1.1 – Analogie courant-débit

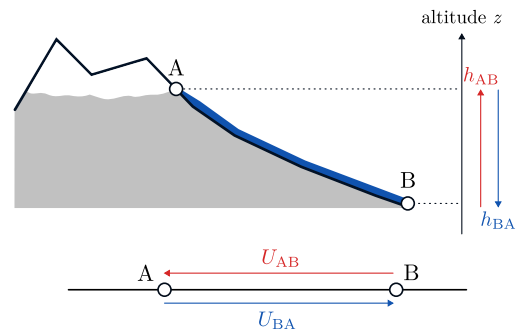


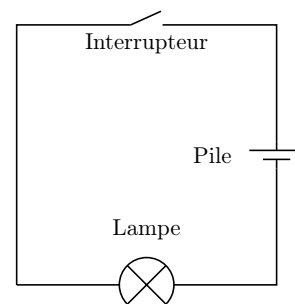
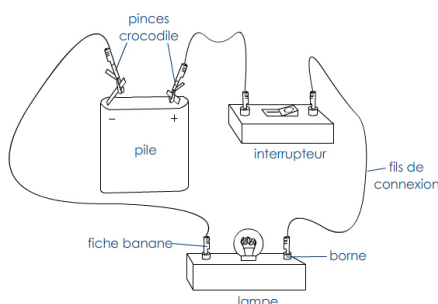
FIGURE E1.2 – Analogie hauteur-tension

II Circuits électriques

II/A Description d'un circuit

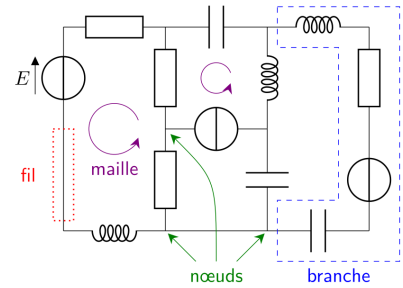
Définition E1.7 : Circuit, schéma, dipôle

- ◇ **Circuit électrique** : ensemble de composants électriques reliés par des fils conducteurs.
- ◇ **Schéma électrique** : représentation simplifiée d'un circuit avec des symboles standardisés
- ◇ **Dipôle** : composant électrique 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.

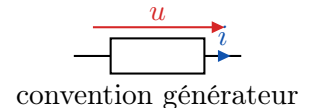
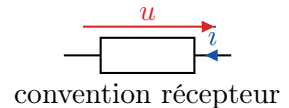
**II/B Dipôles électriques****II/B) 1 Conventions générateur et récepteur**

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
Convention récepteur $\mathcal{P}_{\text{reçue}}$	$\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$	$\mathcal{P}_{\text{reçue}} < 0$
Convention générateur $\mathcal{P}_{\text{fournie}}$	$\mathcal{P}_{\text{fournie}} < 0$	$\mathcal{P}_{\text{fournie}} > 0$

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**

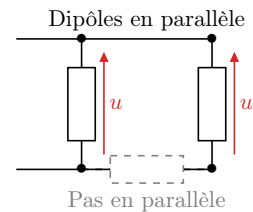
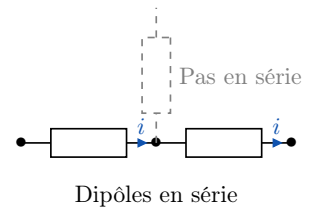
Deux dipôles sont dits **en série** s'ils **appartiennent à une même branche**, pas interrompue par un nœud.

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**.

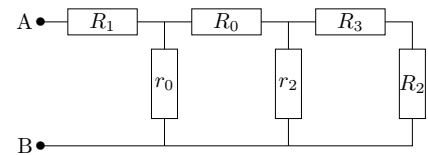
Deux dipôles **en parallèle/dérivation** ont la **même tension** à leurs bornes.

**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 ?

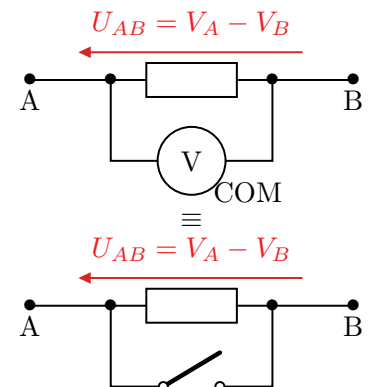
Pour le schéma ci-contre, indiquer si les couples de dipôles suivants sont en série, en parallèle ou ni l'un ni l'autre :
 $(R_1 \text{ et } R_0)$; $(r_0 \text{ et } r_2)$; $(R_2 \text{ et } R_0)$; $(R_3 \text{ et } R_2)$.



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

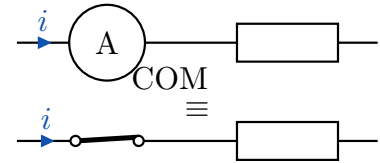
II/B) 3 Mesures de tensions et d'intensités**♥ Définition E1.12 : Voltmètre et ampèremètre****Voltmètre**

- ◇ 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 :

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

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 λ .

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, $Lf = 1 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \not\ll c$.

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

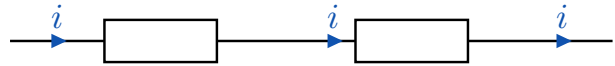
Au moins une tension ou une intensité du circuit varie au cours du temps.

III/B Lois de KIRCHHOFF**Implication E1.3 : ARQS et lois de Kirchhoff**

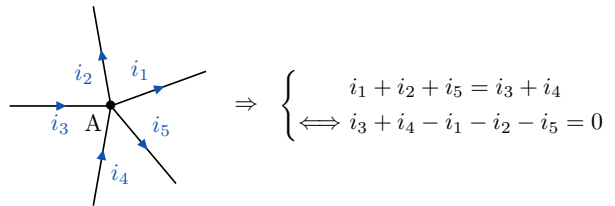
Dans le cadre de l'ARQS, il ne peut y avoir d'accumulation de charges en un point du circuit : toutes les charges apportées par un courant doivent immédiatement être évacuées par un autre courant, donnant lieu aux lois dites de KIRCHHOFF.

Loi E1.2 : Loi des branches

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

**Loi E1.3 : Loi des nœuds**

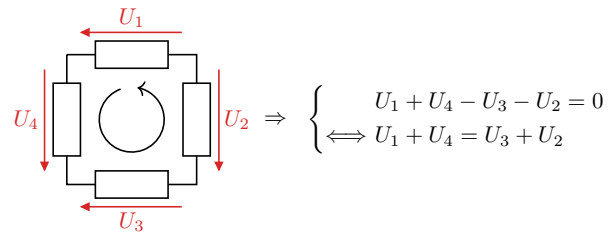
La somme des intensités dirigées vers un nœud est égale à la somme de celles dirigées à l'opposé, ou la somme algébrique des intensités en un point est nulle.



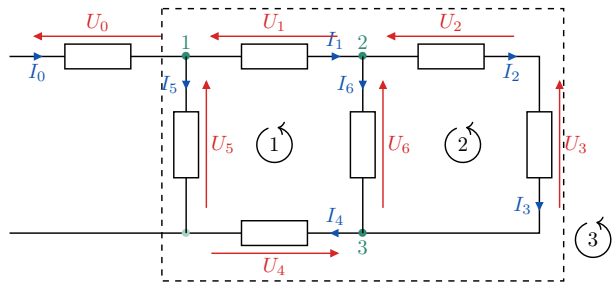
Avec le principe d'additivité des tensions, on en déduit la loi des mailles.

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.