

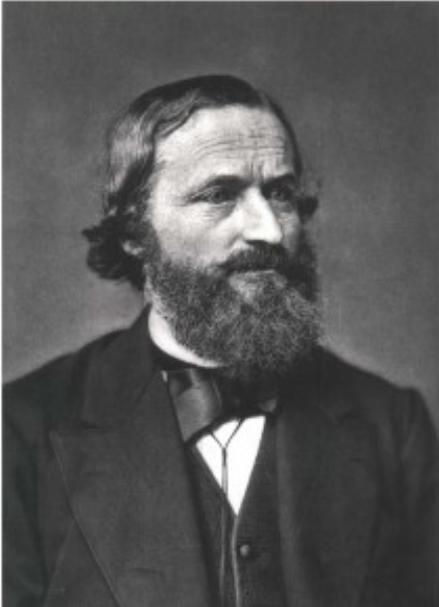
Chap III

Fondements de l'électrocinétique

Lycée Louis Thuillier - Physique-Chimie - PCSIB

Table des matières

- 1 Le courant électrique** **3**
- 1.1 Charge et porteurs de charges. 3
- 1.2 L'intensité électrique 4
- 2 Le potentiel électrique** **6**
- 2.1 Potentiel et tension. 6
- 2.2 Notion de masse (IMPORTANT EN TP!!). 8
- 2.3 La puissance électrique. 8
- 3 L'étude des circuits électriques** **10**
- 3.1 Le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) 10
- 3.2 Description des circuits 10
- 3.3 Les lois de Kirchhoff 11



Savoirs ♥

- ▷ ♥ Notion de charge électrique ; lien courant électrique et charge électrique ; intensité électrique et sens de mesure
- ▷ ♥ Potentiel électrique et mouvement des charges positives et négatives
Notion de masse et de Terre.
- ▷ ♥ Mesure d'une tension ; mesure d'une intensité ; appareils de mesures
- ▷ ♥ Notion de dipôle électrique. Convention récepteur et générateur ; puissance électrique fournie et reçue.
- ▷ ♥ Approximation des Régimes Quasi-Stationnaire (ARQS)
 - ▷ condition d'application
 - ▷ Loi de Kirchhoff : loi des mailles et loi des nœuds

Savoir Faire

-  *Savoir justifier si un circuit électrique est dans le cadre de l'ARQS*
-  *Reconnaître deux dipôles branchés en série / en parallèle / aucun des deux*
-  *Reconnaître dans un circuit les mailles et les nœuds ; savoir appliquer la loi des mailles et la loi des nœuds*
-  *Orienter les tensions et les courants en convention générateur et récepteur. Calculer une puissance (reçue ou fournie) et justifier si un dipôle est générateur ou récepteur*

L'électricité est omniprésente : on peut décomposer son usage en deux grands domaines :

- ▷ **domaine de l'électrotechnique** : on utilise l'électricité en tant que source d'énergie (machines outils, moteurs,...)
- ▷ **domaine des communications** : on utilise l'électricité en tant que support de l'information (calculatrice, ordinateurs, traitement du son ...)

Définition. Electrocinétique

C'est le domaine de la physique qui étudie le mouvement des électrons et des charges, autrement dit les courants électriques, dans le cadre de l'ARQS.

1 Le courant électrique

Objectif : définir les grandeurs macroscopiques à travers lesquelles se manifestent la tension électrique (la cause) et le mouvement des charges électriques (conséquence).

1.1 Charge et porteurs de charges

Définition. Charge électrique Q

La charge électrique Q mesurée en Coulombs (C) est un nombre algébrique qui caractérise la sensibilité d'une particule à l'interaction électromagnétique.

Q est toujours un multiple entier de la charge élémentaire notée e :

$$Q = \pm Ze \text{ avec } e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Théorème.

La charge électrique se conserve. Il n'y a pas de disparition ou de création de charges. C'est une grandeur extensive (les charges s'ajoutent).

⚠ ⚠ ⚠ **Attention !** Une lampe ne consomme pas de charges électriques!!!

► Postulat fondamental de l'électrocinétique

André Marie Ampère en 1820 pour décrire la décharge de la pile Volta :

Le courant électrique est le résultat d'un déplacement d'ensemble, ordonné, de particules chargées, sous l'effet d'actions extérieures (en général un champ électrique).

Définition. Courant électrique

Le **courant électrique** correspond au déplacement **ordonné** d'un ensemble de porteurs de charges mobiles.

Les **porteurs de charges** peuvent être de natures très différentes :

- ▷ dans un métal conducteur (comme les fils électriques en cuivre) : les électrons libres (ou de conduction) qui se déplacent.

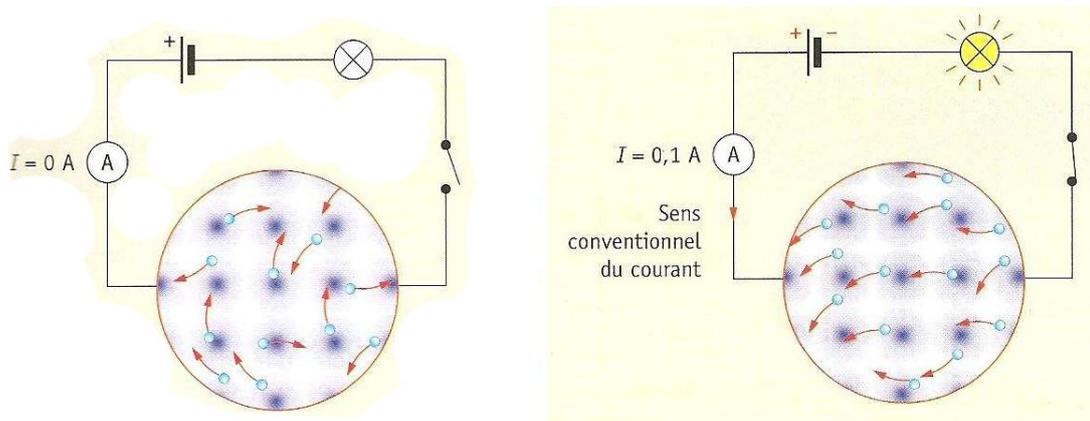


Fig. 1 – Schéma du mouvement désordonné (absence de courant) ou ordonné (présence de courant) des électrons dans un circuit.

▷ dans une solution ionique (comme les neurones ou les piles) : il s'agit des ions (figure 2) ;

Exemple 1 : L'eau salée est une solution ionique, les ions en mouvements sont les ions Na^+ (charge $+e$) et les ions Cl^- (charge $-e$).

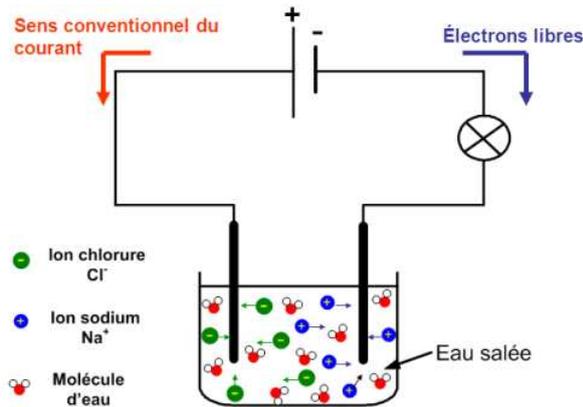


Fig. 2 – Conduction électrique par des ions en solution

1.2 L'intensité électrique

► Définition

L'intensité électrique quantifie l'importance du courant électrique. Elle mesure le débit de charges à travers la section du conducteur, autrement dit le nombre de charges qui traverse la surface transverse du conducteur par unité de temps.

Définition. L'intensité électrique

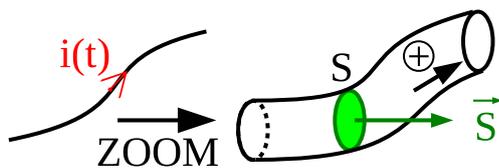
L'intensité du courant électrique qui traverse une section S de conducteur est égale à la quantité de charge dq qui la traverse par unité de temps dt :

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

Elle s'exprime en ampère (A)

Notion de sens de mesure

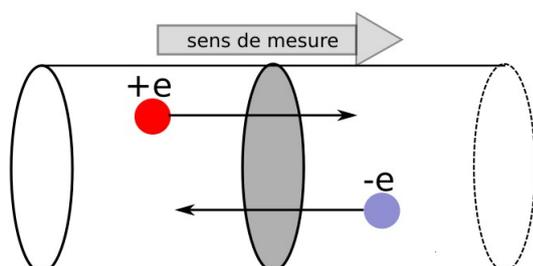
Pour définir l'intensité algébrique $i(t)$ on compte le nombre de charges traversant une surface S à l'instant t .



- ▷ on choisit une surface S : ici le diamètre du fil
- ▷ on choisit un sens de mesure : de droite à gauche, ou de gauche à droite
- ▷ puis on compte les charges qui passent pendant un instant dt :
 - ▷ $+q$ si la charge passe dans le sens choisi
 - ▷ $-q$ si la charge passe dans le sens opposé

⚠ ⚠ ⚠ **Attention !** q peut être positif ou négatif!!

Exemple d'un courant : pendant 2s deux charges traversent la surface



Des charges positives se déplacent dans le sens de mesure : $+ \times (+q)$ et des charges négatives se déplacent dans le sens contraire $- \times (-q)$, contribueront de façon positive à l'intensité $i(t)$ positive.

► Représentation et sens conventionnel du courant

Le courant est algébrique, il peut être positif ou négatif. On le représente par :

1. une flèche sur les fils électriques qui définit le sens de mesure
2. une valeur $i(t)$ qui dépend du sens de mesure

$$\overrightarrow{\quad i \quad} = \overleftarrow{\quad -i \quad}$$

Exemple 2 : On choisit de mesurer le courant de la droite vers la gauche. On mesure une intensité : $I = 2\text{A}$. Dans quel sens se déplacent les charges ?

Dans le cas d'un fil électrique, les charges q sont dues aux électrons de charges négatives. Par conséquent les électrons se déplacent de gauche à droite.

$$\overrightarrow{\quad \text{Sens des électrons} \quad} \quad I > 0 \quad \overleftarrow{\quad}$$

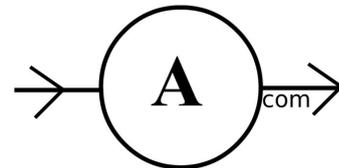
► Mesure d'une intensité électrique

Appareil :

un ampèremètre ;

Branchement : en série

Il mesure l'intensité du courant qui le traverse, intensité compté positivement dans le sens sortant de l'appareil par sa borne "com".



► Ordres de grandeurs

Courant	Composants ou appareils
10 mA	DEL commune
100 mA	Risque d'électrocution
0.5 A	ampoule à incandescence sous 230 V
10 A	Four/Chauffage/Chauffe-eau sous 230 V
100 A	Démarrreur automobile
10 kA–100 kA	Foudre

| *Application 1* : Calculer le nombre d'électrons traversant le circuit sous 1 A pendant 1 s.

2 Le potentiel électrique

2.1 Potentiel et tension

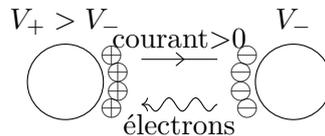
► Le potentiel

Le **potentiel électrique** V quantifie la façon dont un point de l'espace attire les charges électriques.

Propriété. Potentiel électrique et charges

Plus un point de l'espace est à un potentiel élevé, plus il va attirer les charges négatives.

Le potentiel s'exprime en Volts (V).

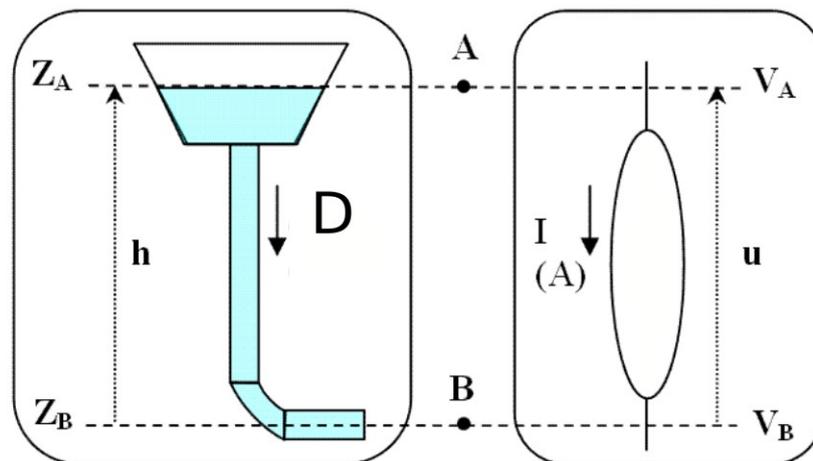


Dans un circuit :

Les charges électriques (négatives dans un circuit) se déplacent spontanément vers les potentiels les plus élevés, le courant positif se mesure en sens inverse et se dirige vers les potentiels les plus faibles.

► Analogie hydraulique

On peut se faire une bonne image des phénomènes électriques en raisonnant par analogie. Un liquide va s'écouler dans un tuyau sous l'effet de la pesanteur g s'il est incliné, : il existe une différence de hauteur entre l'entrée A et la sortie B.



- ▷ l'eau (en kg) \iff la charge (en C)
- ▷ l'altitude z \iff le potentiel électrique V
- ▷ différence de hauteur h \iff la différence de potentiel ΔV
- ▷ le débit $D(t)$ (en kg/s) \iff l'intensité $i(t)$ du courant électrique (en A=C/s)
- ▷ moulin/pompe à eau entre deux points \iff composants électriques

► La tension ou différence de potentiel (ddp)

C'est la différence de potentiel électrique entre deux points qui était à l'origine de la circulation des charges entre ces deux points.

Définition. Tension électrique

La **tension électrique** entre deux points A et B correspond à la différence de potentiel électrique entre ces points. On la note

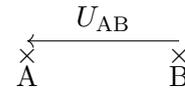
$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Elle s'exprime en Volts (V).

Représentation sur un circuit électrique

Dans les schémas électrique, les tensions se représentent par des flèches allant du point initial (B) vers le point final (A).

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

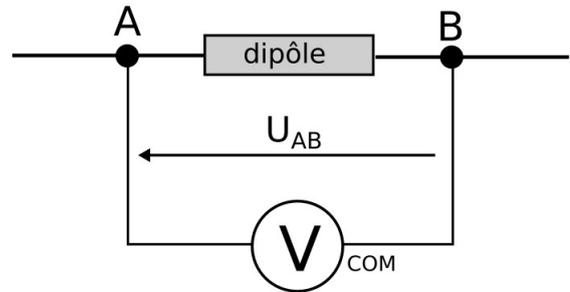


► **Mesure d'une tension stationnaire**

Appareil : un voltmètre

Branchement : en parallèle, on mesure U_{AB} en reliant borne "COM" du voltmètre au point B.

⚠️ ⚠️ ⚠️ **Attention !** Si on branche le voltmètre dans l'autre sens, on mesure $U_{BA} = -U_{AB}$.



► **Ordres de grandeurs**

Tension	Provenance
230 V	EDF (délivrée)
plusieurs kV	Industrielle
225 kV à 400 kV	Lignes haute tension
quelques V	Piles



2.2 Notion de masse (IMPORTANT EN TP!!)

Pour mesurer une altitude, il existe un niveau zéro : le niveau de la mer. De la même façon, il existe un niveau zéro pour les potentiels électriques.

Définition. Masse d'un circuit

Le potentiel de référence est appelé **la masse**. On l'assimile au potentiel du sol qui est fixé à 0 V. On parle alors indifféremment de masse ou de Terre.

Symbole :



Utilité pratique de la Terre : le trop plein de courant est réorienté vers la terre pour éviter d'endommager les appareils. On relie le plus souvent un circuit à la Terre. En cas de court circuit (~ un trop grand débit de charge),

Propriété. La règle d'or de la masse

Dans un même circuit électrique, il ne peut y avoir deux niveaux zéro. En TP lorsqu'on utilise deux appareils alimentés par une prise (GBF + oscilloscope), on relie **TOUJOURS** une masse de l'un des appareils à la masse de l'un autre!!

Exemple 3 : On veut brancher en série un générateur et un moteur. Chacun de ses deux appareils possède une de ses deux bornes reliées à la Terre. Préciser les branchements.

2.3 La puissance électrique

La grandeur physique coûteuse d'un dipôle électrique n'est ni le courant, ni la tension, mais la puissance électrique.

Définition. Dipôle électrique

Un dipôle électrique est un composant électronique ayant deux branchements : une entrée et une sortie.



Définition. Puissance électrique

La puissance électrique \mathcal{P} est : $\mathcal{P} = u \times i$

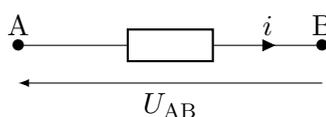
Question :

- ▷ quel courant : compter de $A \rightarrow B$ ou $B \rightarrow A$?
- ▷ quelle tension : $u = u_{AB}$ ou u_{BA} ?

► La convention récepteur et la puissance reçue

Définition. Dipôle en convention récepteur

Lorsque l'on dessine la tension et le courant en sens opposé, on parle de **convention récepteur**.



Propriété. Puissance reçue

La **puissance reçue** par un dipôle AB, lorsque le courant i et la tension U_{AB} sont en convention **récepteur**, est

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = U_{AB} i .$$

La puissance s'exprime en Watts (W).

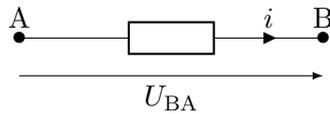
Intérêt de la convention :

Prenons le cas où la tension est positive $U_{AB} > 0$ donc $V_A > V_B$. Si le dipôle est passif, le courant se dirige naturellement du potentiel le plus fort vers celui le plus faible, donc de A vers B . Ainsi $i > 0$. Dans ce cas, $\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$: le dipôle reçoit de l'énergie.

Analogie : le dipôle reçoit de l'énergie du flux électrique, comme un moulin reçoit de l'énergie de la rivière.

► La convention générateur et la puissance fournie**Définition. Dipôle en convention générateur**

Lorsque l'on dessine la tension et le courant dans le même sens, on parle de **convention générateur**.

**Propriété. Puissance fournie**

La **puissance fournie** par un dipôle AB, lorsque le courant i et la tension U_{AB} sont en convention **générateur**, est :

$$\mathcal{P}_{\text{fournie}} = U_{BA} i$$

Si la puissance fournie est positive, cela veut dire que le courant ne se déplace pas dans le sens "naturel" : les électrons remontent la pente. Il y a un système qui permet ce mouvement : le dipôle est actif.

Analogie : le dipôle fournit de l'énergie au flux électrique, comme une pompe permet de faire remonter la pente à de l'eau.

► Lien puissance fournie-puissance reçue

La puissance fournie par un dipôle est l'opposé de sa puissance reçue.

$$\mathcal{P}_{\text{fournie}} = U_{BA} i = -U_{AB} i = -\mathcal{P}_{\text{reçue}} .$$

► Caractère récepteur et générateur

🚫🚫🚫 **Attention !** les conventions ne décident en rien de la réalité physique !!

En effet, il ne s'agit que d'un dessin sur un schéma.

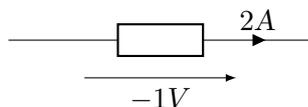
Propriété.

Pour savoir si un dipôle est **physiquement** récepteur de courant ou générateur de courant, il faut calculer **sa puissance reçue $\mathcal{P}_{\text{reçue}}$ en convention récepteur**.

- ▷ Si $\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$ ou $\mathcal{P}_{\text{fournie}} < 0$, le dipôle est **réellement** récepteur de puissance électrique (par exemple des résistances).
- ▷ Si $\mathcal{P}_{\text{reçue}} < 0$ ou $\mathcal{P}_{\text{fournie}} > 0$ le dipôle est **réellement** générateur de puissance électrique (par exemple une pile).

Lorsque c'est possible, on fera en sorte que les conventions et les caractères soient en accord.

Exemple 4 : Donner la convention d'orientation du courant ? Le dipôle est-il générateur ? Récepteur ? Calculer la puissance fournie. La puissance reçue.



Le sens de mesure de la tension et de l'intensité sont dans le même sens : le dipôle est en convention **générateur**.

On calcule la puissance fournie :

$$\mathcal{P}_{\text{fournie}} = -1 \times 2 = -2W$$

Le dipôle est un récepteur.

3 L'étude des circuits électriques

3.1 Le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

► Hypothèse de l'ARQS

Dans un circuit électrique, les porteurs de charges se déplacent très peu. Il faut considérer le circuit comme une grande chaîne de charge côte à côte.

$$\text{temps de propagation} = \frac{\text{distance parcourir}}{\text{vitesse de propagation}} = \frac{L}{c}$$

L'approximation des régimes quasi-stationnaires fait l'hypothèse ce temps de propagation est négligeable devant la durée caractéristique T des variations temporelles de ces phénomènes.

$$\frac{L}{c} \ll T = \frac{1}{f}$$

avec f la fréquence typique du système électrique.

Propriété. Domaine d'application de l'ARQS

La durée caractéristique T des variations temporelles des phénomènes électriques est très longues devant le temps parcourus de l'onde électrique :

$$T = \frac{1}{f} \gg \frac{L}{c}$$

Propriété. Fil électrique dans l'ARQS

Dans l'ARQS l'intensité du courant et le potentiel électrique sont donc les mêmes le long d'un fil électrique.

🚫🚫🚫 **Attention !** DANS UN FIL!!!

Application 2 : Vérifier si on se situe en ARQS dans chacun des trois exemples ci-dessous :

- ▷ une ligne à haute tension de 300km de long, parcourue par une fréquence de 50Hz
- ▷ un circuit électrique de $L = 10\text{cm}$ qui travaille à une fréquence $f = 10\text{MHz}$
- ▷ une antenne radio FM de 2m, alimentée par un courant de fréquence $f = 100\text{MHz}$

3.2 Description des circuits

► Vocabulaire du circuit électrique

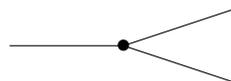
▷ Un fil :



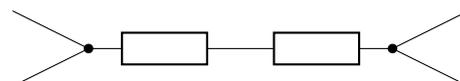
▷ Une résistance ou un dipôle quelconque :



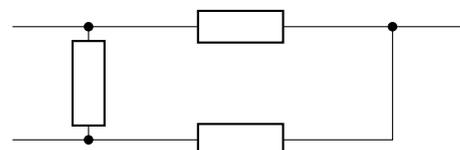
▷ Un nœud - point auquel est connecté au moins 3 fils :



▷ Une branche - portion entre deux nœuds parcourue par le même courant :

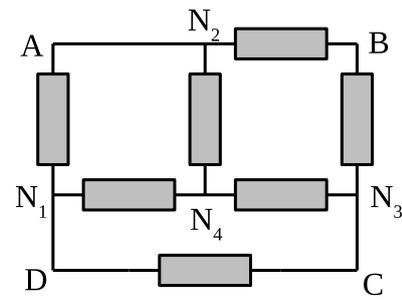


▷ Une maille - portion de circuit fermée (succession de branches qui retournent au nœud de départ) :



| *Application 3 :*

Repérer les nœuds, mailles et branches sur le circuit suivant :



► Association en parallèle ou en série

Définition. Branchement en série

Deux dipôles sur une même branches sont **en série**.



Ils sont parcourus par le même courant.

Définition. Branchement en parallèle

Deux dipôles reliés à deux mêmes nœuds sont **en parallèle** (ou en dérivation).

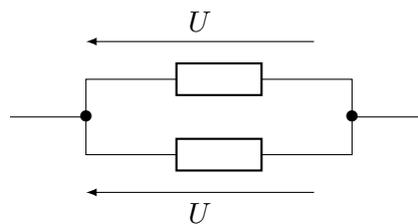


Fig. 3 – Deux dipôles en parallèle.

Ils sont soumis à la même tension.

| *Application 4* : Sur le circuit de l'application 3, y a-t-il des dipôles en série et en parallèle ?

3.3 Les lois de Kirchhoff

ARQS dans la pratique :

Dans l'ARQS, il n'y a pas d'accumulation de charges dans un circuit électrique : les charges apportées par un courant doivent immédiatement être évacuées par un autre courant.

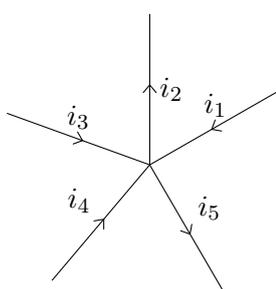
► La loi des nœuds

Théorème. Loi des nœuds

Dans un nœud d'un circuit, on a

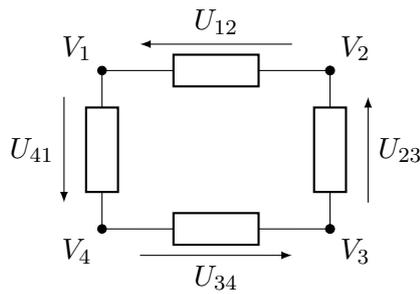
$$\sum i_{\text{entrant}} = \sum i_{\text{sortant}} .$$

Exemple 5 :



► **La loi des mailles**

Soit la maille ci-dessous. Les notations V_i représentent les potentiels électriques en chacun des points.



$$\begin{aligned} & \text{Écrivons } U_{12} + U_{23} + U_{34} + U_{41} \\ &= (V_1 - V_2) + (V_2 - V_3) + (V_3 - V_4) + (V_4 - V_1) \\ &= (V_1 - V_1) + (V_2 - V_2) + (V_3 - V_3) + (V_4 - V_4) \end{aligned}$$

$$U_{12} + U_{23} + U_{34} + U_{41} = 0$$

Théorème. Loi des mailles

La somme algébrique des tensions le long d'une maille dans un sens de parcours donné est nulle, soit

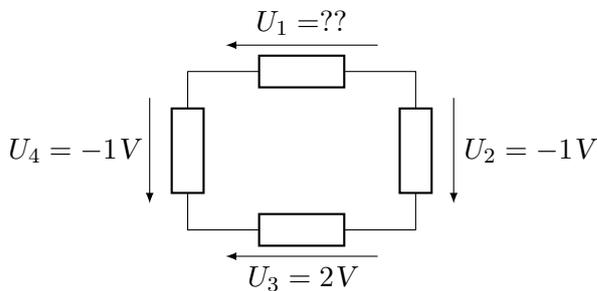
$$\sum_k \pm u_k = 0 .$$

où ± 1 selon que la tension u_k est orienté dans le même sens que le sens de parcours la maille (+1) ou non (-1).

Pour appliquer cette loi fondamentale, il faut

- ▷ choisir un sens de parcours de la maille ;
- ▷ sommer toutes les tensions en mettant un signe + si la tension est orientée dans le sens de la maille, moins sinon ;

Exemple 6 :



Les tensions U_1 et U_4 vont dans son sens et les tensions U_2 et U_3 vont en sens inverse. On a donc

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3 .$$

$$\text{Soit : } U_1 = U_2 + U_3 - U_4 \Rightarrow U_1 = -1 + 2 - (-1) = 2V$$

► **Application**

Application 5 : Dans le circuit ci-dessous, orienter puis préciser les valeurs des tensions et des courants manquants puis préciser le caractère récepteur ou générateur de chaque dipôle. On prend $U_1 = -2V$, $U_4 = -3V$, $i_2 = -1mA$, $i_4 = 1mA$ et $i_5 = 0mA$.

