Circuits électriques dans l'ARQS

Au programme



Savoirs

- ♦ 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.
- ♦ 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.



Savoir-faire

- ♦ Utiliser la loi des mailles et la loi des nœuds
- \diamond Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.



Sommaire

I Courant électrique et intensité	2
A Charge électrique	2
B Courant électrique	2
C Sens conventionnel du courant	3
D Intensité du courant	3
II Tension et potentiel	4
A Définition	4
B Référence du potentiel : la masse	5
III Analogie électro-hydraulique	5
IV Vocabulaire des circuits électriques	6
A La base	6
B Décrire un circuit	7
C Conventions générateur et récepteur	7
D Relation entre dipôles	7
E Mesures de tensions et d'intensités	8
V Lois fondamentales des circuits électriques dans l'ARQS	9
A L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)	9
B Loi des nœuds	9
C Loi des mailles	10
D Puissance électrocinétique	11

Pendant toute cette année nous nous plaçons dans un cadre particulier pour l'étude de l'électrocinétique, celui de l'approximation des régimes quasi-stationnaires, ou ARQS. Dans ce premier chapitre, nous nous attachons à définir ce cadre et donnons les lois générales des circuits électriques que nous pouvons alors établir.

Courant électrique et intensité

A Charge électrique

Charge électrique

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

Unités



Matière ordinaire -

La matière ordinaire est constituée d'atomes, formés par :

- \Diamond
- \Diamond
- \Diamond



Charge électrique et conservation

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

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)

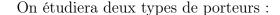
B Courant électrique



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 \overrightarrow{E} .

Porteurs de charges -



- 1)
- 2)



C Sens conventionnel du courant

Les particules sont déplacées par un champ électrique \overrightarrow{E} selon le sens algébrique de leur charge, avec une force $\overrightarrow{F}=q\overrightarrow{E}$ (voir mécanique première année) : les charges avec q>0 sont déplacées dans le même sens que \overrightarrow{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 :

Sens conventionnel



D Intensité du courant

Intensité d'un courant

Unités

Notation

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



Expression de l'intensité

Soit un système électrique de **section orientée** S traversée par des charges électriques. Si une quantité de charge δq la traverse entre deux instants t et $t + \delta t$, l'intensité i du courant sera $i = \delta q/\delta t$, d'où en prenant la limite



Signe et sens réel -

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

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



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.



Courant et intensité

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

Lycée Pothier 3/11 MPSI – 2023/2024



Intensités

Les valeurs mesurées sont :

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

Le seuil létal pour le corps dépend de la durée de traversée, mais est **très faible** : 40 mA pendant 3 secondes, ou 300 mA pendant 0,1 seconde.



Exercice d'application —

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

II | Tension et potentiel

$\left[\mathbf{A} \right] \mathbf{I}$

Définition



Potentiel et tension

On appelle **potentiel** électrique la grandeur physique reliant la capacité d'un point 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. Unités

Notation

u si variable, U sinon.

En pratique

Seules les tensions se mesurent.



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**.

Lycée Pothier 4/11 MPSI – 2023/2024



Signe d'une tension

 \Diamond

<

 \Diamond

Attention cependant, la flèche est opposée au sens usuel pour un vecteur \overrightarrow{AB} .



Tensions

Les valeurs mesurées sont :

Masse d'un circuit

- $\diamond \approx (0,100;5) \text{ V pour l'électronique du quotidien (téléphone)};$
- $\diamond \approx 220 \,\mathrm{V}$ pour l'électroménager (four, aspirateur...);
- $\diamond \approx (100; 1000) \,\mathrm{kV}$ pour l'électrotechnique (lignes hautes tensions).



Référence du potentiel : la masse

Dans un circuit électrique, elle est représentée par l'un de ces deux symboles



III Analogie électro-hydraulique

Les phénomènes régissant la tension et le courant électrique sont en tous points semblables à ceux régissant le dénivelé et le courant dans un circuit hydraulique. Cette vision permet de mieux comprendre le vocabulaire employé.

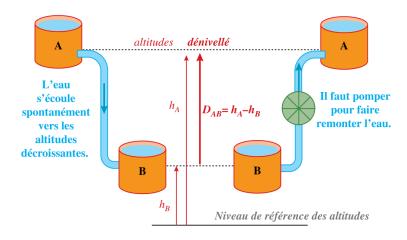
Considérons une analogie hydraulique : dans une conduite d'eau horizontale entre deux récipients, l'eau ne s'écoulera pas. Un courant d'eau apparaîtra si on surélève l'un des récipients par rapport à l'autre, et ce courant sera **vers le plus bas**. Le récipient surélevé va finir par se vider et le courant 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.

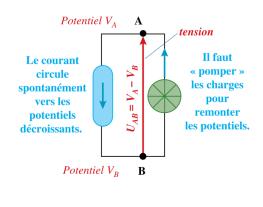
Par analogie avec l'altitude h de la canalisation, on définit le **potentiel** électrique V. Ainsi, un courant électrique apparaît spontanément dans le sens des **potentiels décroissants**. Pour que le courant remonte les potentiels, il faut « pomper » les charges à l'aide d'un générateur. L'équivalent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

On définit de la même manière la puissance : pour l'hydraulique, la puissance d'un courant est égal au produit du dénivelé et du débit, en électrocinétique on aura donc

$$|P| = U \cdot I$$

Nous discutons de son signe dans la section suivante.





IV Vocabulaire des circuits électriques

A La base



Base

Circuit électrique

Ensemble de composants électriques reliés entre eux par des fils métalliques conducteurs.

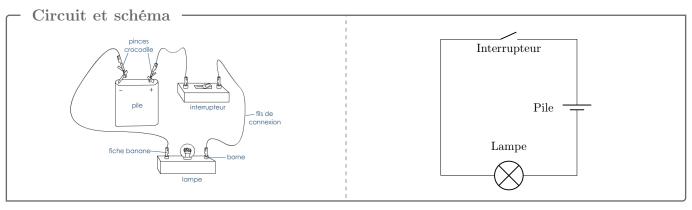
Schéma électrique

Représentation simplifiée d'un circuit dans laquelle les composants sont représentés par des symboles standardisés et les fils les reliant par des traits.

Dipôle

Composant électriques comportant deux bornes sur lesquelles sont branchés des fils conducteurs.





Lycée Pothier 6/11 MPSI – 2023/2024

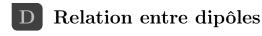
Décrire un circuit Description Nœud: Branche: Maille: Conventions générateur et récepteur Chacune des orientations de l'intensité et de la tension est arbitraire. Pour étudier le comportement d'un dipôle, il nous faut choisir une dernière convention donnant l'orientation relative de la tension u à ses bornes et de l'intensité i du courant la traversant. Celle-ci dépend de la nature génératrice ou

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**.

réceptrice d'un dipôle afin de respecter leurs physiques respectives.

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





Série

Deux dipôles sont dits **en série** s'ils partagent **une et une seule borne** qui **n'est pas un nœud** (de laquelle ne part aucune autre branche).



Série

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



Dérivation

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



Dérivation

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



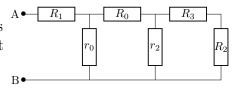
Série et dérivation

Deux dipôles peuvent n'être ni en série, ni en dérivation.



Exercice d'application -

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



$oxed{\mathbf{E}}$

Mesures de tensions et d'intensités



Voltmètre et ampèremètre

Une **tension** se mesure à l'aide d'un **voltmètre**.

Un voltmètre se monte en parallèle.

Pour mesurer la tension U_{AB} il faut placer la borne COM au point B.

Une intensité se mesure à l'aide d'un ampèremètre.

Un ampèremètre se monte en **série**.

Le sens du courant affiché par l'ampèremètre est relié au sens de branchement.



Lois fondamentales des circuits électriques dans l'ARQS



L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)



ARQS



ARQS



Application

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

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



Régimes continu et variable -

Régime continu

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

Régime variable

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



Loi des nœuds

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 des branches et des nœuds :



Loi des branches

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



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.



Loi des mailles

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



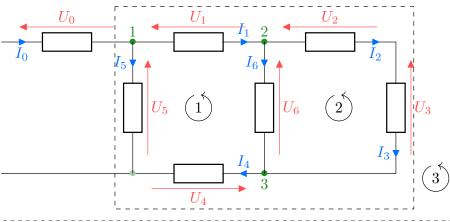
Loi des mailles

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



Exercice d'application -

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



Lois des nœuds

Lois des mailles

D Puissance électrocinétique

– Puissance récepteur, générateur	
Récepteur	Générateur

A

Puissances

	Dipôle récepteur	Dipôle générateur
Convention récepteur $\frac{P_{\text{reçue}}}{}$		
Convention générateur $P_{\rm fournie}$		



Conservation de l'énergie