

Chapitre 3 - Signaux électriques dans l'ARQS

Table des matières

Introduction	1
I. Circuits électriques et grandeurs électriques	2
1. Électrocinétique	2
2. Vocabulaire	2
3. Courant électrique	3
4. Tension électrique	4
5. Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires	5
II. Lois fondamentales	6
1. Loi des nœuds	6
2. Loi des mailles	8
III. Dipôles électriques linéaires fondamentaux	9
1. Définitions autour des dipôles	9
2. Conventions et puissance électrique	9
3. Fil et interrupteur	10
4. Conducteur ohmique	10
5. Condensateur	11
6. Bobine	13
7. Générateurs	15
IV. Outils d'étude d'un circuit électrique	16
1. Association série de deux résistances	16
2. Association parallèle de deux résistances	17

Guide de révision de chapitre 3	
Avant le TD	Savoir et Savoir faire du chapitre 3 + exercices du cours
Avant la khôlle	Savoir et Savoir faire du chapitre 3 + exercices du cours + TD : ex 1 à 7
Avant le DS	Savoir et Savoir faire du chapitre 3 + exercices du cours + TD : ex 8 à 11

Introduction

Dans cette leçon, nous introduisons les notions et loi fondamentales de l'étude des circuits électriques dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires. Ces concepts fondamentaux seront réinvestis dans les chapitres suivants concernant des circuits plus proches de ceux rencontrés en pratique.

I. Circuits électriques et grandeurs électriques

1. Électrocinétique

. Définition

L'électrocinétique constitue l'étude des systèmes matériels dans lesquels des charges électriques sont en mouvement.

- On distinguera l'électrocinétique de l'électrostatique (cf 2e année) qui concerne l'étude des champs électriques ne dépendant pas du temps dont les effets sont visibles dans le tonnerre ou l'interaction entre ses cheveux et un pull en laine.
- Au sein de l'électrocinétique, on distinguera deux sous-catégories dont les applications sont particulièrement importantes :
 - l'électrotechnique qui s'intéresse au transport de la puissance électrique (alimentation d'un TGV, générateur dans une centrale électrique...).
 - l'électronique qui s'intéresse au transport de l'information par des signaux électriques (ordinateur, smartphone...)

. Régime permanent et régime variable

Dans le **régime permanent** (ou stationnaire ou continu), les grandeurs électriques (intensité, tension, potentiel électrique) du circuit sont indépendantes du temps. Les grandeurs électriques sont alors notées avec une lettre majuscule : I , U . Dans le **régime variable**, les grandeurs électriques (intensité, tension, potentiel) du circuit dépendent du temps. Les grandeurs électriques sont alors notées avec une lettre minuscule : $i(t)$, $u(t)$.

2. Vocabulaire

- **Dipôle** : composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes.
- **Nœud** : borne commune à plus de deux dipôles.
- **Branche** : portion d'un circuit entre deux nœuds consécutifs.
- **Maille** : parcours fermé, constitué de branches successives, qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds rencontrés.

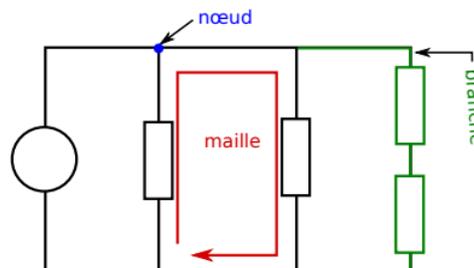
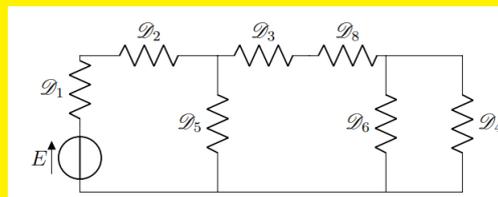


FIGURE 1 – Résumé en schéma

- **Dipôles en série** : ils appartiennent à une même branche, ils ne sont séparés par aucun nœud.
- **Dipôles en parallèle** (ou en dérivation) : les dipôles sont connectés aux deux mêmes nœuds.

Exercice 1

Enoncé : Dans le circuit ci-dessous, quels sont les dipôles en série ? en parallèle ?



Correction : En série : \mathcal{D}_1 et \mathcal{D}_2 ; \mathcal{D}_3 et \mathcal{D}_8 . En parallèle : \mathcal{D}_6 et \mathcal{D}_4 .

3. Courant électrique

. Charge électrique

Savoir - La charge électrique est quantifiée

La **charge électrique**, notée q , est une propriété intrinsèque d'une particule ou d'un ensemble de particules qui caractérise sa propriété à en attirer une autre par l'intermédiaire des forces électriques. **L'unité de la charge électrique est le coulomb, noté C .**

La charge électrique possède certaines **propriétés** remarquables :

- La charge électrique est une grandeur algébrique (positive ou négative).
- La charge électrique est quantifiée : les charges q observées sont toujours des multiples entiers de la charge élémentaire $e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$, soit $q = k \times e$ avec $k \in \mathbb{Z}$.
- La charge électrique se conserve, c'est-à-dire elle ne peut être ni créée ni détruite mais peut être échangée.

. Courant électrique

Un **courant électrique** est un **déplacement d'ensemble de particules chargées** sous l'action de forces électriques. Dans un fil électrique, ce sont les électrons libres qui se déplacent, dans une solution électrolytique il y a déplacement des anions et des cations.

Le sens conventionnel du courant électrique est celui des charges positives.

Remarque : au niveau microscopique, les particules chargées sont animées en permanence d'un mouvement aléatoire sous l'effet de l'agitation thermique. Cependant la moyenne temporelle de ce mouvement est nulle ce qui ne donne pas lieu à un courant électrique.

. Intensité du courant électrique

Savoir - Relier l'intensité du courant au débit de charge

L'**intensité du courant électrique**, notée i , est une **mesure algébrique** (positive ou négative) du débit de charges électriques à travers une surface S , dans un sens choisi, indiqué par une flèche.

On définit l'intensité du courant électrique par :

$$i = \frac{\delta q}{dt},$$

avec δq la quantité de charges qui traverse la surface S , dans le sens choisi, durant le temps dt . Elle s'exprime en **ampère** de symbole **A**.

Remarque : ne pas confondre le courant électrique qui est le mouvement d'ensemble de particules chargées et la grandeur physique qui sert à le décrire : l'intensité du courant électrique.

L'**intensité du courant** est une **grandeur algébrique** dont le **signe dépend du sens du mouvement des particules chargées et de l'orientation choisie du circuit.**

Quand on commence l'étude d'un circuit, le sens réel de circulation du courant dans les fils n'est pas connu a priori. On choisit **arbitrairement un sens pour l'intensité**, que l'on **indique par une flèche sur le schéma** :



FIGURE 2 – Orientation arbitraire du circuit

— Si $i > 0$, alors les charges positives se déplacent dans le sens d'orientation du fil et les charges négatives se déplacent dans le sens opposé au sens d'orientation du fil ;

— Si $i < 0$, alors les charges positives se déplacent dans le sens opposé au sens d'orientation du fil et les charges négatives se déplacent dans le sens d'orientation du fil.

Exercice 2

Enoncé :

- Calculer l'intensité du courant électrique créé par un flux constant de $1,0 \cdot 10^{20}$ électrons par seconde dans un circuit. On rappelle la valeur de la charge élémentaire $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- Combien d'électrons traversent un fil parcouru par un courant d'intensité constante $I = 1,0 \text{ A}$ pendant 1,0 minute ?

Correction :

$$1. \quad I = \frac{N \times e}{dt} = \frac{1,0 \cdot 10^{20} \times 1,602 \cdot 10^{-19}}{1} = \boxed{1,602 \cdot 10^1 \text{ A}}$$

- La quantité de charges totale traversant une section de fil pendant une durée τ est $Q = \int \delta q = \int_{t=0}^{t=\tau} I dt$. Comme I est constante, alors $Q = I \times \tau$. Par ailleurs, $Q = N' \times e$ soit finalement :

$$\boxed{N' = \frac{I\tau}{e}} \quad \text{A.N : } \boxed{N' = \frac{1,0 \times 60}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,7 \cdot 10^{20} \text{ électrons}}$$

Ce nombre considérable d'électrons justifie que l'on traite l'intensité (et plus généralement les grandeurs électriques) comme une grandeur continue du temps (les détecteur font des moyennes).

. Mesure de l'intensité

Savoir - Ordres de grandeur de l'intensité du courant

circuits électriques habituels, téléphones portables, ordinateurs	$\simeq \text{mA}$
courants domestiques (four, chauffage, chauffe-eau)	qq A
TGV, usines, lignes hautes tension	500 à 1000 A
éclairages d'orages	10^4 A (durée très brève)

Savoir - Mesurer l'intensité du courant

L'intensité du courant électrique se mesure avec un **ampèremètre** que l'on branche en série avec le dipôle à travers lequel on souhaite mesurer l'intensité du courant.

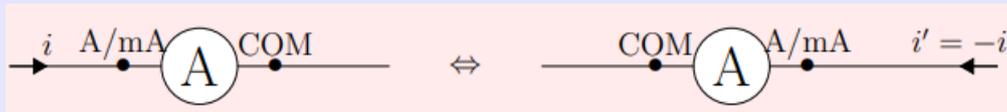


FIGURE 3 – Mesure de l'intensité du courant électrique

L'ampèremètre mesure l'intensité du courant qui entre par la borne A/mA.

Dans la situation présentée, si i mesurée est positive, alors i' est négative et de valeur opposée à celle de i .

4. Tension électrique

. Potentiel électrique

Savoir - Unité du potentiel électrique

On admet l'existence d'une grandeur appelée **potentiel électrique** définie en tout point de l'espace. Elle est couramment notée V et s'exprime en volt (V).

. Tension électrique

Savoir - Relier tension électrique et différence de potentiel électrique

La **tension électrique** U_{AB} entre deux points A et B d'un circuit est égale à la différence de potentiel entre ces deux points : $U_{AB} = V_A - V_B$, avec V_A le potentiel au point A et V_B le potentiel au point B . L'unité de la tension et du potentiel est le **volt**, de symbole **V**.

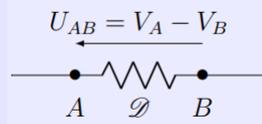


FIGURE 4 – Représentation de la tension U_{AB} aux bornes d'un dipôle

La tension U_{AB} est représentée, sur un schéma électrique, par une flèche allant de B vers A .

Remarques :

- Le sens de la flèche est capital. si la flèche pointe vers le point A , alors $U_{AB} = V_A - V_B$, si la flèche pointe vers le point B , alors $U_{BA} = V_B - V_A$.
- Le choix de la convention du sens de la tension ne présume pas du signe de sa valeur réelle.
- Pour avoir accès au potentiel électrique en un point donné, on doit mesurer la tension avec un certain potentiel de référence. Ce potentiel de référence est généralement noté la masse. Le potentiel de ce point est fixé

à 0 V. Dans un schéma électrique, la masse est représentée comme ceci :



. Mesure de la tension

Savoir - Ordres de grandeur de la tension électrique

Coups de foudre (moyens à forts)	100 à 600 MV
Ligne de transport d'énergie électrique	20 à 400 kV
Distributeur basse tension d'EDF	220 V et 380 V
Batterie d'accumulateurs	12 V
Pile électrochimique	1 à 9 V

Savoir - Mesurer la tension électrique

Une tension électrique se mesure à l'aide d'un **voltmètre** que l'on branche en dérivation (en parallèle) du dipôle dont on mesure la tension à ses bornes.



FIGURE 5 – Mesure de la tension électrique

La tension mesurée à l'aide du voltmètre est la tension dont la pointe de la flèche est au niveau de la borne V et le bout de la flèche au niveau de la borne COM.

5. Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires

Lors de l'allumage d'un générateur de tension branché dans un circuit, il y a propagation du courant et de la tension sous forme d'onde électrique ($u(x, t), i(x, t)$) à une vitesse proche de celle de la lumière dans le vide

$c = 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$ (comme toute onde électromagnétique).

L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) consiste à considérer que dans un circuit électrique, le temps de propagation du signal est négligeable (c'est-à-dire très faible) devant le temps de variation caractéristique de ce signal.

Exemple : soient T le temps de variation d'une source de tension (ex : un GBF délivre $e(t) = E_0 \cos(\frac{2\pi}{T}t)$) et τ le temps de propagation de i et de u dans un circuit de longueur L .

L'ARQS est valide si $\tau \ll T$ (propagation instantanée).

Or $\tau = L/c$ et $T = 1/f$ donc l'ARQS est valable si $\frac{L}{c} \ll \frac{1}{f}$ soit $f \ll \frac{c}{L}$.

Savoir - Exprimer la condition de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence

Un circuit de taille caractéristique L alimenté par un signal de fréquence f peut être étudié dans le cadre de l'ARQS si :

$$f \ll \frac{c}{L} \Leftrightarrow f \ll \frac{c}{L}$$

Exercice 3

Enoncé :

- Rappeler la fréquence de la tension délivrée par EDF sur le réseau électrique. Une ligne électrique de 300 km peut-elle être étudiée dans le cadre de l'ARQS ?
- On considère un circuit électrique étudié en TP. La longueur des fils du circuit est d'un mètre environ. Quelle est la condition sur la fréquence des signaux pour que l'on soit dans l'ARQS ?

Correction :

- EDF délivre une tension de 220 V avec une fréquence $f = 50 \text{ Hz}$. On est dans l'ARQS (donc on peut négliger les phénomènes de propagation) si $L \ll \frac{c}{f}$. Or ici $c/f = 6000 \text{ km}$, donc on est dans l'ARQS tant que $L \ll 6000 \text{ km}$. C'est bien le cas ici avec $L = 300 \text{ km}$.
- On est dans l'ARQS si $f \ll \frac{c}{L}$. Or ici $c/L = 3 \times 10^8 \text{ Hz} = 300 \text{ MHz}$, donc on est dans l'ARQS tant que $f \ll 300 \text{ MHz}$.

Dans la suite de la leçon, on considère que les conditions de l'ARQS sont réalisées.

II. Lois fondamentales

1. Loi des nœuds

Savoir faire - Relier l'intensité unique dans un fil et le postulat de la conservation de la charge

Raisonnons en régime permanent :

— Dans une branche donnée, entre deux sections S_1 et S_2 du conducteur, la charge totale reste constante en régime permanent. La charge δQ_1 entrant à travers la section S_1 pendant dt est égale à la charge sortant δQ_2 à travers la section S_2 pendant dt :

$$\delta Q_1 = \delta Q_2$$

En divisant par rapport à dt :

$$\frac{\delta Q_1}{dt} = \frac{\delta Q_2}{dt} \text{ soit } I_1 = I_2$$

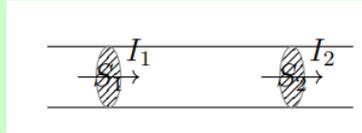


FIGURE 6 – Conservation de la charge entre deux sections d'un fil

En régime permanent, l'intensité est la même partout dans un fil électrique. On admettra que ce résultat se généralise dans l'ARQS.

Savoir faire - Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge

Raisonnons en régime permanent :

— Au niveau d'un nœud, la charge située entre les sections S_1 , S_2 et S_3 est constante. La charge δQ_1 entrant à travers la section S_1 pendant dt est égale à la charge sortant δQ_2 à travers la section S_2 plus la charge sortant δQ_3 à travers la section S_3 pendant dt :

$$\delta Q_1 = \delta Q_2 + \delta Q_3$$

En divisant par rapport à dt :

$$\frac{\delta Q_1}{dt} = \frac{\delta Q_2}{dt} + \frac{\delta Q_3}{dt} \text{ soit } \boxed{I_1 = I_2 + I_3}$$

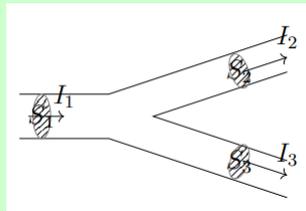


FIGURE 7 – Conservation de la charge au niveau d'un nœud électrique

On obtient la loi des nœuds qui traduit la conservation de la charge. On admettra que cette loi s'applique dans l'ARQS.

Savoir - Loi des nœuds

Loi des nœuds : la somme algébrique des intensités des courants électriques arrivant en **un nœud** est nulle :

$$\boxed{\sum \epsilon_k \cdot i_k = 0 \Leftrightarrow \sum_{\text{entrant}} i = \sum_{\text{sortant}} i}$$

avec $\epsilon_k = +1$ si la flèche du courant i_k est dirigée vers le nœud et $\epsilon_k = -1$ si la flèche du courant i_k part du nœud.

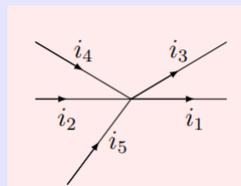


FIGURE 8 – Conservation de la charge au niveau d'un nœud électrique

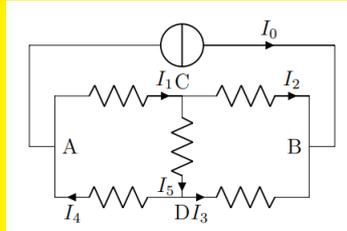
Attention : la valeur de $\epsilon_k(\pm 1)$ n'est pas liée au signe de l'intensité i_k mais uniquement au sens de la flèche par rapport au nœud.

Savoir faire - Utiliser la loi des nœuds

1. Sur le schéma du circuit, placer une intensité dans chaque branche reliée au nœud étudié et les nommer (i_1, i_2, \dots).
2. Appliquer la loi des nœuds en mettant :
 - un « + » devant les noms des intensités des courants qui arrivent au nœud ;
 - un « - » devant les noms des intensités des courants qui partent du nœud.

Exercice 4

Énoncé : On considère le circuit ci-dessous constitué de dipôles inconnus.



Le symbole  est celui d'un générateur idéal de courant, qui délivre un courant d'intensité I_0 .
On donne $I_0 = 4,0 \text{ A}$; $I_1 = 1,0 \text{ A}$ et $I_3 = 2,0 \text{ A}$.

1. Écrire la loi des nœuds en chacun des nœuds du circuit.
2. En déduire la valeur de tous les courants inconnus.

Correction :

1. $I_0 + I_2 + I_3 = 0$, $I_5 = I_4 + I_3$, $I_1 = I_5 + I_2$, $I_4 = I_1 + I_0$
2. $I_2 = -I_0 - I_3 = -6 \text{ A}$, $I_5 = I_1 - I_2 = 7 \text{ A}$, $I_4 = I_5 - I_3 = 5 \text{ A}$

2. Loi des mailles

Savoir - Loi des mailles

Loi des mailles : Dans une **maille orientée**, la somme algébrique des tensions est nulle :

$$\sum \epsilon_k \cdot u_k = 0$$

avec $\epsilon_k = +1$ si la tension u_k est dans le sens de parcours de la maille, et $\epsilon_k = -1$ dans le cas contraire.

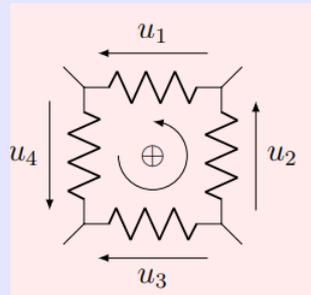


FIGURE 9 – Maille orientée

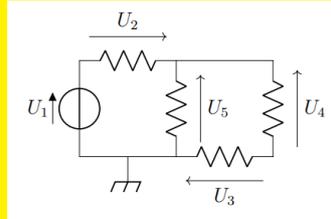
Attention : la valeur de $\epsilon_k (\pm 1)$ n'est pas liée au signe de la tension u_k mais uniquement au sens de la flèche par rapport au sens de parcours de la maille.

Savoir faire - Utiliser la loi des mailles

1. Sur le schéma du circuit, mettre une flèche orientée aux bornes de TOUS les dipôles présents et nommer les tensions.
2. Orienter la maille dans un sens positif choisi et l'indiquer sur la maille étudiée.
3. Appliquer la loi des mailles en mettant :
 - un « + » devant les noms des tensions situées dans le sens positif choisi ;
 - un « - » devant les noms des tensions situées dans le sens opposé au sens positif choisi.

Exercice 5

Enoncé : On donne $U_1 = 2,0 \text{ V}$; $U_2 = -3,0 \text{ V}$; $U_3 = -5,0 \text{ V}$.



1. Écrire deux lois des mailles.
2. Déterminer les tensions inconnues.

Correction :

1. $U_1 + U_2 - U_5 = 0$, $U_1 + U_2 - U_4 + U_3 = 0$.
2. $U_5 = -1 \text{ V}$, $U_4 = -6 \text{ V}$.

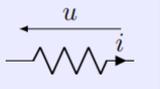
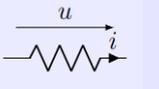
III. Dipôles électriques linéaires fondamentaux

1. Définitions autour des dipôles

- On appelle **caractéristique** d'un dipôle la courbe représentant les variations de l'intensité le traversant en fonction de la tension à ses bornes. Tout point sur cette courbe correspond à un couple (I, U) possible pour ce dipôle.
- Un dipôle sera dit **actif** lorsque sa caractéristique ne passe pas par l'origine.
- Un dipôle sera dit **passif** si sa caractéristique passe par l'origine.
- Un dipôle sera dit **linéaire** si sa caractéristique est une droite ou si la relation qui lie l'intensité et la tension est une équation différentielle linéaire à coefficients constants (cf cours de maths et chapitres suivants) .

2. Conventions et puissance électrique

Savoir - Utiliser les conventions récepteur et générateur

Convention récepteur	Convention générateur
 <p>La flèche de i et la flèche de u sont en sens opposé.</p>	 <p>La flèche de i et la flèche de u sont de sens sens.</p>
$\mathcal{P}_r = u \times i$ <p>est la puissance algébriquement reçue par le dipôle.</p>	$\mathcal{P}_g = u \times i$ <p>est la puissance algébriquement cédée par le dipôle.</p>
<p>\mathcal{P}_r est algébrique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $\mathcal{P}_r > 0$, le dipôle reçoit de la puissance ; • Si $\mathcal{P}_r < 0$, le dipôle cède de la puissance, il cède la puissance $-\mathcal{P}_r$. 	<p>\mathcal{P}_g est algébrique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $\mathcal{P}_g > 0$, le dipôle cède de la puissance ; • Si $\mathcal{P}_g < 0$, le dipôle reçoit de la puissance, il reçoit la puissance $-\mathcal{P}_g$.

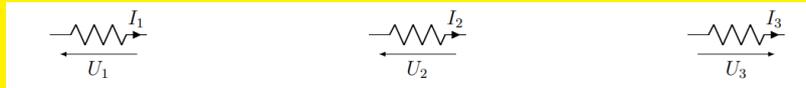
Le choix de la convention pour chacun des dipôles d'un circuit électrique est un choix arbitraire qui doit être fait dès le début de l'exercice et conservé tout au long de l'exercice.

Une **énergie** s'exprime en **joule (J)**, et une **puissance** s'exprime en **watt (W)**, avec $1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$.

- ✓ En convention récepteur : l'énergie reçue par le dipôle entre les instants t_1 et t_2 (avec $\Delta t = t_2 - t_1$) est :
 - Si $\mathcal{P}_r = \text{cste}$, alors : $\mathcal{E}_r = \mathcal{P}_r \times \Delta t$;
 - Cas général (\mathcal{P}_r dépend du temps) : $\mathcal{E}_r = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_r(t).dt$.
- ✓ En convention générateur : l'énergie cédée par le dipôle entre les instants t_1 et t_2 (avec $\Delta t = t_2 - t_1$) est :
 - Si $\mathcal{P}_g = \text{cste}$, alors : $\mathcal{E}_g = \mathcal{P}_g \times \Delta t$;
 - Cas général (\mathcal{P}_g dépend du temps) : $\mathcal{E}_g = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_g(t).dt$.

Exercice 6

Énoncé : Dans les trois cas suivants, déterminer la puissance reçue ou fournie par les dipôles et commenter le signe. On a $I_1 = 5,0 \text{ mA}$; $I_2 = -1,0 \text{ A}$; $I_3 = 1,0 \text{ mA}$; $U_1 = 5,0 \text{ V}$; $U_2 = 7,0 \text{ V}$; $U_3 = 10 \text{ V}$.



Correction :

$\mathcal{P}_{r1} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ W} \Rightarrow$ de la puissance est reçue; $\mathcal{P}_{r2} = -7 \text{ W} \Rightarrow$ de la puissance est cédée; $\mathcal{P}_{g3} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W} \Rightarrow$ de la puissance est cédée.

3. Fil et interrupteur

Savoir - Intensité du courant et tension électrique aux bornes d'un fil

- La tension électrique aux bornes d'un fil parfait (de résistance nulle) ou d'un interrupteur fermé est nulle.
- L'intensité du courant électrique à travers un interrupteur ouvert (symbole :) est nulle.

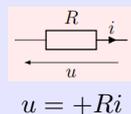
4. Conducteur ohmique

. Loi d'Ohm

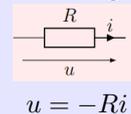
Savoir - Relation entre l'intensité du courant et la tension pour un conducteur ohmique et ordres de grandeur de résistances

Un **conducteur ohmique** est un dipôle qui vérifie la **loi d'Ohm**, avec R la résistance en ohm (Ω). On définit la **conductance** par $G = \frac{1}{R}$, qui s'exprime en siemens (S).

En convention récepteur



En convention générateur



résistance voltmètre ou oscilloscope	résistance électronique	résistance ampèremètre	résistance fer à repasser
qq $\text{M}\Omega$	1 à 10 $\text{M}\Omega$	qq Ω	environ 40 Ω

Remarques :

— La résistance est une propriété qui ne dépend pas du courant électrique traversant le conducteur ohmique ou de la tension aux bornes de ce dernier. En revanche, elle dépend de la nature du matériau, de sa géométrie, de sa température, de la fréquence, . . .

— On peut montrer que pour un conducteur cylindrique homogène, la résistance est proportionnelle à la longueur du conducteur l et inversement proportionnelle à sa section S : $R = \rho \times \frac{l}{S}$.

ρ est la résistivité, en $\Omega.m$, qui est l'inverse de la conductivité σ , en $S.m^{-1}$ (cf chimie). Le cuivre, qui constitue les câbles électriques, est un des meilleurs conducteurs et est de résistivité $\rho = 1,7.10^{-8} \Omega.m$.

. Effet Joule

Exercice 7

Énoncé : Les résistances sont souvent étudiées en convention récepteur. On note u la tension aux bornes de la résistance, i l'intensité du courant à travers.

1. Exprimer la puissance instantanée reçue par la résistance en fonction de R et de i , puis de R et de u .
2. Quel est le signe de cette puissance ? La résistance reçoit-elle ou cède-t-elle réellement de la puissance au reste du circuit ? En quoi est transformée la puissance reçue ? Dans quelles applications de la vie courante utilise-t-on ce phénomène ? Dans quelles applications ce phénomène est-il néfaste ?
3. Exprimer l'énergie reçue par une résistance R , traversée par un courant I permanent (c'est-à-dire indépendant du temps) pendant une durée Δt .

Correction : 1. $\mathcal{P}_r = u \times i = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$

2. $\mathcal{P}_r > 0$ donc la résistance reçoit bien de la puissance électrique. La puissance reçue est transformée en puissance thermique. Exemple d'application : radiateur, four, bouilloire... Exemple d'effets néfastes : surchauffe, détérioration de composant électroniques...

3. $\mathcal{E}_r = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_r dt = \mathcal{P}_r \int_{t_1}^{t_2} dt = RI^2 \Delta t$

Savoir - Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance

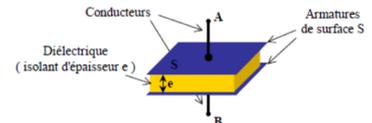
La puissance dissipée par effet Joule dans une résistance R , traversée par un courant d'intensité i et dont la tension à ses bornes est u , s'écrit :

$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

5. Condensateur

. Caractéristique

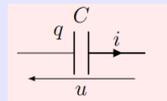
Un condensateur est un composant constitué de deux armatures métalliques, pouvant être chargées, séparées par un isolant électrique. Les deux armatures portent des charges opposées. Ils sont présents dans presque tous les circuits électriques en régime variable (ordinateur, tél. portable).



Savoir - Relation entre l'intensité du courant et la tension pour un condensateur et ordres de grandeur de capacités C

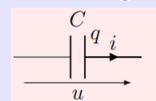
Un **condensateur** est caractérisé par sa **capacité** C qui est un scalaire positif s'exprimant en **farad** (F). L'armature du condensateur située à la pointe de la flèche de la tension u porte la charge : $q = Cu$.

En convention récepteur



$$i = C \frac{du}{dt}$$

En convention générateur



$$i = -C \frac{du}{dt}$$

électronique	électrotechnique	en TP
10^{-12} F à 10^{-6} F	10^{-6} F à 1 F	1 nF à $1 \mu\text{F}$

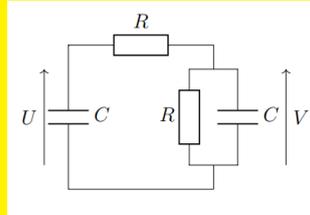
. Condensateur en régime permanent**Savoir - Comportement d'un condensateur en régime permanent**

En régime permanent, u ne dépend pas du temps, donc $i = C \frac{du}{dt} = 0$.

En régime permanent, le condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert.

Exercice 8

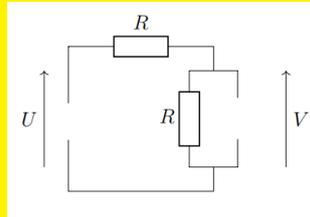
Enoncé : On considère le circuit ci-contre.



1. Représenter le circuit équivalent en régime continu.
2. En déduire rigoureusement les valeurs des tensions U et V .

Correction :

1.



2. $V = \frac{U}{2}$

. Énergie emmagasinée dans un condensateur**Méthode mathématique**

Il est souvent très utile de mettre le produit entre une fonction et sa dérivée première, $f'(x) \times f(x)$, sous la

forme de la dérivée d'une fonction : $f'(x) \times f(x) = \frac{1}{2} \frac{d(f^2(x))}{dx}$. En effet : $\frac{d(f^2(x))}{dx} = 2f'(x) \times f(x)$.

Exercice 9

Enoncé : On considère un condensateur étudié en convention récepteur.

1. Exprimer la puissance reçue par un condensateur. Puis en utilisant la méthode ci-dessus, l'écrire sous la forme de la dérivée temporelle de l'énergie stockée dans le condensateur dont on en donnera l'expression.
2. On suppose qu'à $t = 0$, le condensateur est déchargé. Quelle est l'expression de l'énergie stockée dans le condensateur à un instant t quelconque ?
3. Sachant que l'énergie est une fonction continue (au sens mathématique du terme), quelle grandeur électrique du condensateur est également une fonction continue du temps ?

Correction :

1. $\mathcal{P}_r = u \times i = Cu \times \frac{du}{dt} = \frac{1}{2} C \frac{du^2}{dt}$

2. $\mathcal{E}_r = \int_0^t \mathcal{P}_r(t) \cdot dt = \frac{1}{2} C (u^2(t) - u^2(0)) = \frac{1}{2} C u^2(t)$

3. Si la puissance est continue, son expression impose que la tension u aux bornes du condensateur est également une fonction continue du temps.

Savoir - Exprimer la puissance reçue par un condensateur

La puissance reçue par un condensateur en convention récepteur s'écrit :

$$\mathcal{P}_C = u \times i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u^2 \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2C} \right)$$

Savoir - Exprimer l'énergie stockée par un condensateur

L'énergie électrique stockée dans un condensateur de capacité C et soumis à une tension u s'écrit :

$$\mathcal{E}_C = \frac{1}{2}Cu^2$$

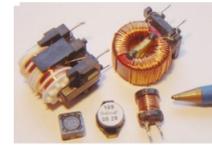
Savoir - Interpréter la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur

L'énergie étant une fonction nécessairement continue **la tension aux bornes du condensateur ne peut pas subir de discontinuité**, c'est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme).

6. Bobine

. Caractéristique

Une bobine est un enroulement de fils conducteurs en cuivre entourés d'une gaine isolante. Elle se présente de différentes formes ou tailles.



Savoir - Savoir - Relation entre l'intensité du courant et la tension pour une bobine et ordres de grandeur d'inductances L

Une **bobine idéale** est caractérisée par son **inductance L** , scalaire positif s'exprimant en **Henry (H)**.

En convention récepteur

$$u = L \frac{di}{dt}$$

En convention générateur

$$u = -L \frac{di}{dt}$$

1 m de câble TV	Haut-parleur	en TP
10^{-7} H à 10^{-3} H	10^{-6} H à 1 H	$1 \mu\text{H}$ à 100 mH

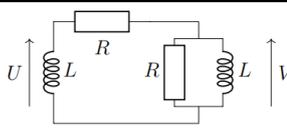
. Bobine en régime permanent

Savoir - Comportement d'une bobine en régime permanent

En régime permanent i ne dépend pas du temps, donc $u = L \frac{di}{dt} = 0$. **En régime permanent, la bobine idéale est équivalente à un fil conducteur (ou à un interrupteur fermé).**

Exercice 10

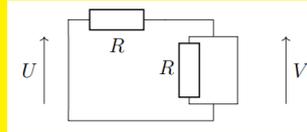
Enoncé : On considère le circuit ci-contre



1. Représenter le circuit équivalent en régime continu.
2. En déduire rigoureusement les valeurs des tensions U et V .

Correction :

1.

2. $V = U = 0$ **. Énergie stockée dans une bobine****Exercice 11****Énoncé :** On considère une bobine étudiée en convention récepteur.

1. Exprimer la puissance reçue par une bobine idéale. Puis l'écrire sous la forme de la dérivée temporelle de l'énergie stockée par la bobine dont on en donnera l'expression.

2. Sachant que l'énergie est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme), quelle grandeur électrique de la bobine idéale est également une fonction continue du temps ?

Correction :

$$1. \mathcal{P}_r = u \times i = Li \times \frac{di}{dt} = \frac{1}{2}L \frac{di^2}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)}{dt} = \frac{d\mathcal{E}_r}{dt}$$

2. $\mathcal{E}_r = \frac{1}{2}Li^2(t)$. Si la puissance est continue, son expression impose que l'intensité i aux bornes de la bobine est également une fonction continue du temps.

Savoir - Exprimer la puissance reçue et l'énergie stockée par une bobine

- La puissance reçue par une bobine idéale en convention récepteur s'écrit :

$$\mathcal{P}_L = u \times i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2}Li^2 \right)$$

- L'énergie magnétique stockée dans une bobine idéale d'inductance L et traversée par un courant d'intensité i s'écrit :

$$\mathcal{E}_L = \frac{1}{2}Li^2$$

Savoir - Interpréter la continuité du courant traversant une bobine

L'énergie étant une fonction nécessairement continue, **l'intensité du courant à travers une bobine ne peut pas subir de discontinuité**, c'est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme).

. Bobine réelle

Une bobine est constituée d'une très grande longueur de fil conducteur, dont la résistance n'est souvent pas négligeable par rapport aux autres résistances du circuit. On modélise une bobine réelle par l'association série d'une bobine idéale d'inductance L et d'une résistance r .

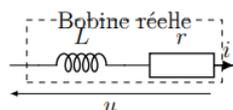


FIGURE 10 – Schématisation d'une bobine réelle

Exercice 12**Énoncé :** Établir la relation courant/tension d'une bobine réelle en convention récepteur.**Correction :**

$$u_L = ri + L \frac{di}{dt}$$

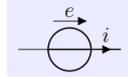
7. Générateurs

. Source idéale de tension

Une **source idéale de tension** impose à ses bornes une tension e appelée **force électromotrice** indépendante du courant qui la traverse.

e étant une tension, elle s'exprime en Volt (V).

On schématise la source idéale de tension comme ceci :



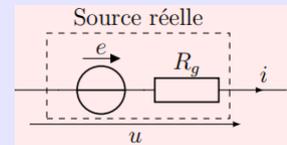
. Source réelle de tension

En pratique lorsqu'on relève la caractéristique courant-tension d'une source réelle de tension, on constate que la tension délivrée diminue lorsque l'intensité du courant débitée augmente.

Savoir - Modèle de Thévenin d'une source de tension non idéale

Modèle de Thévenin d'une source non idéale de tension : une source réelle de tension est modélisée par l'association série d'un générateur idéal de force électromotrice e (ou tension à vide) et d'une résistance R_g .

En convention générateur, la source réelle de tension est schématisée comme :



La relation courant/tension est : $u = e - R_g \times i$

. Source idéale de courant

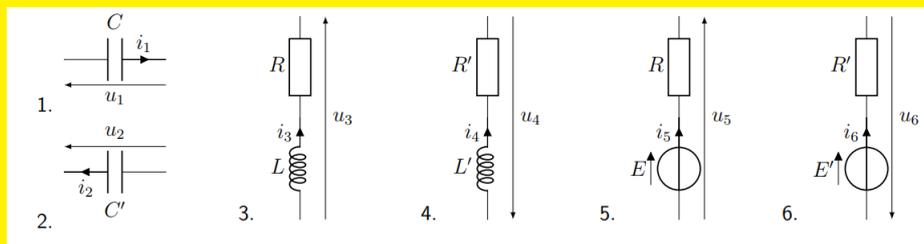
Une **source idéale de courant** délivre un courant d'intensité I_0 , indépendante de la tension à ses bornes. I_0 étant une intensité, elle s'exprime en ampère (A).

On schématise la source idéale de courant par :



Exercice 13

Énoncé : Pour chacun des dipôles ci-dessous, préciser si le courant le traversant et la tension à ses bornes sont orientés en convention générateur et récepteur, puis donner la loi de comportement entre la tension et l'intensité, impliquant éventuellement leurs dérivées.



Correction : 1. récepteur, $i_1 = C \frac{du_1}{dt}$; 2. générateur, $i_2 = -C' \frac{du_2}{dt}$; 3. générateur, $u_3 = -Ri_3 - L \frac{di_3}{dt}$; 4. récepteur, $u_4 = Ri_4 + L' \frac{di_4}{dt}$; 5. générateur, $u_5 = E - Ri_5$; récepteur, $u_6 = -E + Ri_6$

IV. Outils d'étude d'un circuit électrique

1. Association série de deux résistances

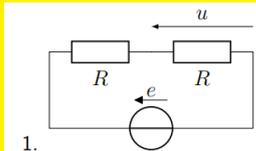
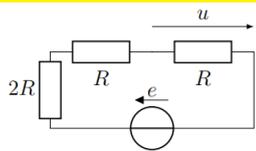
. Résistance équivalente en série

Savoir faire - Exercice 14	
Remplacer une association série de deux résistances par une résistance équivalente	
<p>Énoncé : On considère deux résistances R_1 et R_2 en série. On note u_1 la tension aux bornes de R_1 et u_2 la tension aux bornes de R_2. La tension aux bornes de l'ensemble est notée u, et l'intensité du courant à travers les deux résistances est notée i. On se place en convention récepteur.</p>	
<p>1. Établir la relation entre u et i en faisant intervenir R_1 et R_2 uniquement.</p> <p>2. En déduire que l'association des deux résistances R_1 et R_2 en série est équivalente à une unique résistance R_S dont on donnera l'expression.</p>	
<p>Correction :</p> <p>1. $u = u_1 + u_2 = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i$</p> <p>2. $u = (R_1 + R_2) i = R_S i$ avec $R_S = R_1 + R_2$.</p>	

. Pont diviseur de tension

Savoir faire - Exercice 15	
Établir la relation du pont diviseur de tension	
<p>Énoncé : On reprend la situation précédente avec deux résistances en série. On cherche à exprimer la tension aux bornes d'une des résistances (u_1, u_2) en série en fonction de la tension aux bornes de l'ensemble (u) et des deux résistances.</p>	
<p>1. Exprimer u_1 en fonction de i et de la résistance R_1. Exprimer u en fonction de i et des deux résistances.</p> <p>2. En déduire l'expression de u_1 en fonction de u et des résistances. Que dire de u_2 en fonction de u ?</p>	
<p>Correction :</p> <p>1. $u_1 = R_1 \times i$ et $u = R_S \times i$; 2. $u_1 = \frac{R_1}{R_S} u$ et $u_2 = \frac{R_2}{R_S} u$.</p>	

Savoir faire	
Utiliser la relation du pont diviseur de tension	
<p>1. Reconnaître un pont diviseur de tension : deux résistances en série et on souhaite déterminer la tension aux bornes de l'une d'elle.</p> <p>2. Nommer la tension aux bornes de la résistance que l'on souhaite déterminer et la tension aux bornes de l'ensemble des deux résistances.</p> <p>3. Écrire la relation du pont diviseur de tension, en faisant attention aux sens des deux tensions et donc au signe.</p>	

Exercice 16	
<p>Énoncé : Pour chaque circuit ci-dessous, donner la tension u en fonction de e.</p>	
 <p>1.</p>	 <p>2.</p>
<p>Correction : 1. $u = \frac{e}{2}$; $u = -\frac{e}{4}$</p>	

2. Association parallèle de deux résistances

. Résistance équivalente en parallèle

Savoir faire - Exercice 17

Remplacer une association parallèle de deux résistances par une résistance équivalente

Énoncé : On considère deux résistances R_1 et R_2 en parallèle. On note i_1 l'intensité du courant à travers R_1 et i_2 l'intensité du courant à travers R_2 . La tension aux bornes de l'association parallèle est notée u , et l'intensité du courant qui arrive en entrée de l'association parallèle est notée i . Tous les composants sont en convention récepteur.

1. En utilisant une loi des nœuds, établir l'expression de i en fonction de u .

2. Montrer que cette expression peut s'écrire sous la forme $i = \frac{u}{R_{||}}$, où on exprimera $\frac{1}{R_{||}}$ en fonction de R_1 et R_2 .

Correction :

$$1. \boxed{i} = i_1 + i_2 = u \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

$$2. i = u \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{u}{R_{||}} \text{ avec } \frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

. Pont diviseur de courant

Savoir faire - Exercice 18

Établir la relation du pont diviseur de courant

Énoncé : On reprend la situation précédente. On cherche à exprimer l'intensité du courant à travers une des deux résistances en parallèle en fonction de l'intensité qui arrive sur l'association.

1. Exprimer i_1 en fonction de u et de R_1 . Exprimer i en fonction de u et des deux résistances.

2. En déduire l'expression de i_1 en fonction de i et des résistances. Que dire de i_2 en fonction de i ?

On obtient la **relation du pont diviseur de courant**.

Correction :

$$1. \boxed{i_1 = \frac{u}{R_1}} ; \boxed{i} = \frac{u}{R_{||}} = u \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

$$2. \boxed{i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i} \text{ et } \boxed{i_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i}$$

Savoir faire

Utiliser la relation du pont diviseur de courant

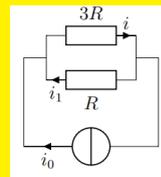
1. Reconnaître un pont diviseur de courant : deux résistances en parallèle et on souhaite déterminer l'intensité à travers de l'une d'elle.

2. Nommer l'intensité à travers la résistance que l'on souhaite déterminer et l'intensité qui arrive sur l'association des deux résistances en parallèle.

3. Écrire la relation du pont diviseur de courant, en faisant attention aux sens des deux intensités et donc au signe.

Exercice 19

Enoncé :

Exprimer les intensités i et i_1 en fonction de i_0 sans faire de calculs.

Correction : $i = \frac{1}{\frac{1}{3R} + \frac{1}{R}} i_0 = \frac{1}{4} i_0$ et $i_1 = -\frac{1}{\frac{1}{3R} + \frac{1}{R}} i_0 = -\frac{3}{4} i_0$

Savoir - Résistance équivalente en série, en dérivation, pont diviseur de tension et de courant

Série	Dérivation
Résistance équivalente : $R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$	Résistance équivalente : $\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{\text{éq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Pont diviseur de tension : $u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$	Pont diviseur de courant : $i_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i$

Chapitre 3 - Signaux électriques dans l'ARQS		
Savoir	☺	☹
- La charge électrique est quantifiée (I.3)		
- Relier l'intensité du courant au débit de charge (I.3)		
- Ordres de grandeur de l'intensité du courant (I.3) et de la tension électrique (I.4) dans différents domaines d'application		
- Mesurer l'intensité du courant (I.3) et la tension électrique (I.4)		
- Unité du potentiel électrique (I.4)		
- Relier tension électrique et différence de potentiel électrique (I.4)		
- Exprimer la condition de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence (I.5)		
- La loi des noeuds (II.1) et la loi des mailles (II.2)		
- Utiliser les conventions récepteur et générateur (III.2)		
- Intensité du courant et tension électrique aux bornes d'un fil (III.3)		
- Relation entre l'intensité du courant et la tension pour un conducteur ohmique (III.4), pour un condensateur (III.5) et pour une bobine (III.6)		
- Ordres de grandeurs de résistances R (III.4), de capacités C (III.5) et d'inductances L (III.6) dans différents domaines		
- Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance (III.4), la puissance reçue et l'énergie stockée par un condensateur (III.5) et par une bobine (III.6)		
- Comportement d'un condensateur (III.5) et d'une bobine (III.6) en régime permanent		
- Interpréter la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur (III.5) et du courant traversant une bobine (III.6)		
- Modèle de Thévenin d'une source de tension non idéale (III.7)		
- Résistance équivalente en série, en dérivation, pont diviseur de tension et de courant (IV.2)		
Savoir faire		
- Relier l'intensité unique dans un fil, et la loi des noeuds, au postulat de la conservation de la charge (II.1)		
- Utiliser la loi des noeuds (II.1) et la loi des mailles (II.2)		
- Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente (IV.1 : ex 14 et IV.2 : ex 17)		
- Établir la relation du pont diviseur de tension (IV.1 : ex 15) et du pont diviseur de courant (IV.2 : ex 18)		
- Utiliser la relation du pont diviseur de tension (IV.1) et du pont diviseur de courant (IV.2)		