

Ce document résume les points essentiels du programme de 1<sup>re</sup> année concernant les circuits électroniques. Il ne contient certainement pas tout, et votre cours de 1<sup>re</sup> année reste donc précieux.

**Travail à faire :** une semaine avant la rentrée, lire le document, et à l'aide du document et de votre cours de 1<sup>re</sup> année répondre aux questions notées par des flèches  $\rightsquigarrow$ .

<b>I</b>	<b>Les briques des circuits : les composants et leurs caractéristiques</b>	<b>1</b>
I.1	Dipôles passifs	2
I.2	Sources de tension et de courant	3
I.3	Notations en régime sinusoïdal forcé (RSF)	3
<b>II</b>	<b>Méthodes pour étudier un circuit électrique</b>	<b>4</b>
II.1	Étapes	4
II.2	Exprimer une tension en fonction des potentiels	4
<b>III</b>	<b>Lois de Kirchhoff et autres théorèmes</b>	<b>4</b>
III.1	Lois des nœuds	4
III.2	Loi des mailles	4
III.3	Autres lois déduites, en particulier : le diviseur de tension	5
III.4	Impédances équivalentes	6
III.5	Exemples	6
<b>IV</b>	<b>Association de blocs, adaptation d'impédance</b>	<b>8</b>
IV.1	Influence de la résistance de sortie du GBF	8
IV.2	Influence de la résistance d'entrée des appareils de mesures	8
IV.3	Conclusions à retenir	8

## I Les briques des circuits : les composants et leurs caractéristiques

Dans tout ce texte nous nous plaçons dans l'ARQS (approximation des régimes quasi-stationnaires). Ceci est valable lorsque les circuits sont "assez petits" : il faut que le temps de propagation des signaux électriques dans le circuit (qui est  $t = L/c$  avec  $L$  la taille du circuit et  $c$  la vitesse de la lumière) soit court devant le temps de variation des grandeurs électriques (qui est  $1/f$  avec  $f$  est la fréquence du signal électrique). Il faut donc que  $L/c \ll 1/f$ , soit encore :

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

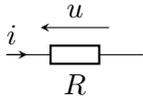
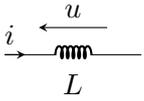
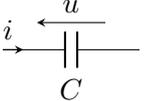
On peut facilement retrouver ceci par analyse dimensionnelle.

Pour un circuit de longueur 1 m, on trouve qu'il faut  $f \ll 3 \times 10^8 \text{ Hz} = 300 \text{ MHz}$ .

$\rightsquigarrow_1$  En TP, un GBF fournit des fréquences jusqu'à quelques MHz. Conclusion ?

Nous reviendrons sur l'ARQS et ses limites dans le chapitre sur les ondes électromagnétiques en fin d'année.

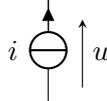
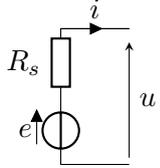
## I.1 Dipôles passifs

Propriété	Résistance	Bobine	Condensateur
Symbole normalisé			
Loi de comportement	$u = Ri$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
Impédance complexe $\underline{Z} = \underline{U}/\underline{I}$ en RSF	$\underline{Z}_R = R$	$\underline{Z}_L = jL\omega$	$\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega}$
Dipôle équivalent en basses fréquences ( $\omega \sim 0$ )	Résistance $R$	Fil	Interrupteur ouvert
Dipôle équivalent en hautes fréquences ( $\omega \rightarrow +\infty$ )	Résistance $R$	Interrupteur ouvert	Fil
Puissance reçue $P = ui$	$P = Ri^2 = u^2/R$		
Énergie stockée	aucune	$E = \frac{1}{2}Li^2$	$E = \frac{1}{2}Cu^2$
Grandeur physique nécessairement continue	aucune	$i$	$u$

Remarques importantes :

- Les lois de comportement et les impédances complexes sont valables uniquement en convention récepteur (la flèche du potentiel va à contre-courant !). Dans le cas contraire, il faudrait mettre un moins dans la loi de comportement.
- Les impédances complexes sont valables en régime sinusoïdal forcé à la pulsation  $\omega$ . Elles se démontrent à partir de la loi de comportement en effectuant la substitution :  $\frac{d}{dt} \leftrightarrow \times(j\omega)$ .
- La grandeur physique nécessairement continue est avant tout l'énergie stockée. On en déduit ensuite que pour une bobine, comme  $E \propto i^2$ , alors  $i$  est continue. Pour un condensateur, comme  $E \propto u^2$ , alors  $u$  est continue. Enfin, une résistance ne stockant aucune énergie,  $i$  ou  $u$  peuvent être discontinus.
- Pour le condensateur, on a également la relation  $Cu = Q$ , avec  $Q$  la charge totale portée par l'armature positive, c'est-à-dire l'armature de gauche sur le schéma du tableau.
- On peut également mentionner comme dipôle important la diode, qui vous étudiez en SI. Dans un énoncé de physique son fonctionnement devra être rappelé. On peut aussi mentionner le transistor et le thyristor, mais qui ne sont pas au programme de physique.

## I.2 Sources de tension et de courant

Source de courant idéale	Source de tension idéale	Source de tension réelle
		 (modèle de Thévenin)
$i$ est fixé, et $u$ est quelconque (imposé par le reste du circuit)	$e$ est fixé, et $i$ est quelconque (imposé par le reste du circuit)	

- ▶ Une source de tension réelle possède une résistance de sortie  $R_s$  non nulle.  
Par exemple  $R_s = 50\ \Omega$  sur la plupart des GBF (ordre de grandeur à connaître).
- ▶ De même, une source de courant réelle possède une résistance de sortie non nulle que l'on place en parallèle de la source idéale (modèle de Norton, non représenté ici).

→ Compléter le schéma de la source de tension réelle avec l'expression de la tension  $u$  délivrée en fonction de  $e$ ,  $i$  et  $R_s$ .

## I.3 Notations en régime sinusoïdal forcé (RSF)

Le régime sinusoïdal forcé a lieu lorsque les sources de tensions et/ou de courants délivrent des signaux du type  $e(t) = e_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ . Une fois le régime permanent atteint, et si le système est linéaire, toutes les autres grandeurs du circuit sont du même type (du type  $e'_0 \cos(\omega_0 t + \varphi')$  avec le même  $\omega_0$  mais une amplitude et un déphasage différents).

On peut alors utiliser la notation complexe :

$$e(t) = e_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \begin{array}{c} \xleftarrow{\text{soit en représentation}} \\ \text{complexe} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \underline{e}(t) = e_0 \exp\{j(\omega_0 t + \varphi)\} \\ \Leftrightarrow \\ \underline{e}(t) = \underline{E} \exp\{j\omega_0 t\} \quad \text{avec } \underline{E} = e_0 \exp\{j\varphi\} \end{array} \right.$$

On a donc  $e(t) = \mathcal{R}e(\underline{e}(t))$  (partie réelle de  $\underline{e}(t)$ ).

En RSF à la pulsation  $\omega$ , dériver revient à multiplier par  $j\omega$ , et intégrer à diviser par  $j\omega$ .

## II Méthodes pour étudier un circuit électrique

### II.1 Étapes

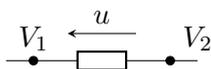
**Méthode : étapes de base.**

- ▶ S'appropriier le problème (ou "poser le problème") : sur le schéma du circuit, noter les courants, noter les flèches de tension aux bornes des composants (en convention récepteur pour les récepteurs, donc les flèches sont à contre-courant!).
- ▶ Analyser, ou établir une stratégie de résolution : identifier ce que l'on cherche et ce que l'on connaît. Va-t-on utiliser une loi des mailles, des nœuds, un diviseur de tension, une loi des mailles exprimée en terme de potentiels ?
- ▶ Réaliser ou mettre en œuvre la stratégie : en clair, faire les calculs et les mener au bout.
- ▶ Valider : vérifier l'homogénéité des résultats.

### II.2 Exprimer une tension en fonction des potentiels

On verra qu'il faut souvent travailler avec les potentiels pris en un point du circuit ( $V_1$ ,  $V_2$ , etc.) plutôt qu'avec les tensions.

- ▶ Une tension est la différence de potentiels entre deux points :  $u = V_1 - V_2$  par exemple.



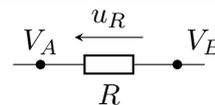
- ▶ Le potentiel est défini en un point du circuit. C'est en fait la tension entre ce point et la masse du circuit.

**Méthode : exprimer une tension en fonction des potentiels.**

On commence par tracer la flèche de la tension (en convention récepteur si c'est aux bornes d'un récepteur).

On a alors tension  $u =$  potentiel au bout de la flèche  $-$  potentiel au pied de la flèche.

↪<sub>3</sub> Par exemple ci-contre  $u_R =$

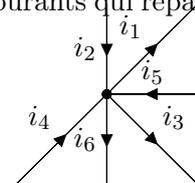


## III Lois de Kirchhoff et autres théorèmes

### III.1 Lois des nœuds

Il s'agit d'une loi fondamentale, qui traduit la conservation de la charge électrique. En un point quelconque d'un circuit, la somme des courants qui arrivent est égale à la somme des courants qui repartent.

Par exemple dans le cas ci-contre, on a :  $i_2 + i_5 + i_4 = i_1 + i_3 + i_6$ .

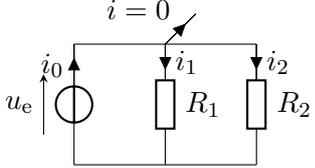
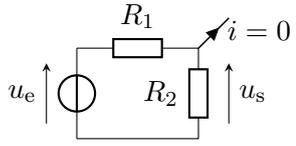


### III.2 Loi des mailles

La loi des mailles traduit le fait que lorsque l'on suit un chemin dans un circuit et que l'on revient au même endroit, le potentiel est le même. La somme des chutes ou des gains de potentiels le long d'une boucle fermée est donc nulle.

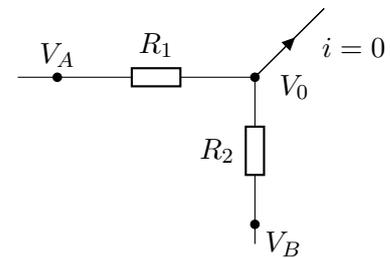
### III.3 Autres lois déduites, en particulier : le diviseur de tension

De la loi des nœuds et des mailles et des relations tension-courant des différents dipôles, on en déduit d'autres lois, qui peuvent être plus pratiques à appliquer. La plus importante cette année est celle du diviseur de tension.

Diviseur de courant	Diviseur de tension
 $i_2 = i_0 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$	 $u_s = u_e \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

**Méthode : diviseur de tension.** On sera amené à souvent utiliser le diviseur de tension dans le cas plus général présenté ci-contre à droite.

→<sub>4</sub> Appliquer un diviseur de tension pour trouver la relation qui donne le potentiel  $V_0$  en fonction de  $V_A$  et  $V_B$ . On l'écrira sous la forme  $V_0 = \alpha V_A + \beta V_B$ .

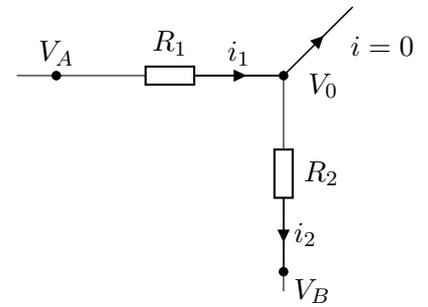


**Méthode : loi des nœuds exprimées avec les potentiels (équivalent au théorème de Millman).** Une autre méthode, plus générale, est la suivante :

- ▶ toujours commencer par noter les courants et les flèches des tensions dans le bon sens ;
- ▶ on écrit la loi des nœuds au point où l'on veut le potentiel ;
- ▶ pour chacun des courants, on l'exprime en faisant intervenir potentiel et impédance (typiquement  $i = (V_1 - V_2)/Z$  en prenant garde aux conventions) ;
- ▶ on résout l'équation pour trouver ce que l'on cherche.

C'est d'ailleurs comme ceci que l'on démontre la formule du diviseur de tension.

↪<sub>5</sub> Reprendre l'exemple précédent en utilisant cette méthode.



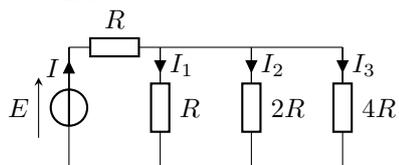
### III.4 Impédances équivalentes

- Pour des impédances en série : on somme les impédances,  $Z_{\text{eq}} = Z_1 + Z_2 + \dots$
- Pour des impédances en dérivation : l'inverse de l'impédance équivalente est égale à la somme des inverses des impédances,  $\frac{1}{Z_{\text{eq}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots$  (Si on note  $A = 1/Z$  l'admittance, ce sont en fait les admittances que l'on somme.)

### III.5 Exemples

↪<sub>6</sub> Redémontrer la relation du diviseur de courant  $i_2 = i_0 \times R_1 / (R_1 + R_2)$  (voir schéma partie III.3).

~>7 Dans le circuit suivant, trouver la relation qui donne  $I_1$  en fonction de  $E$  et  $R$ . (On doit trouver  $I_1 = \frac{4}{11} \frac{E}{R}$ .)



## IV Association de blocs, adaptation d'impédance

### IV.1 Influence de la résistance de sortie du GBF

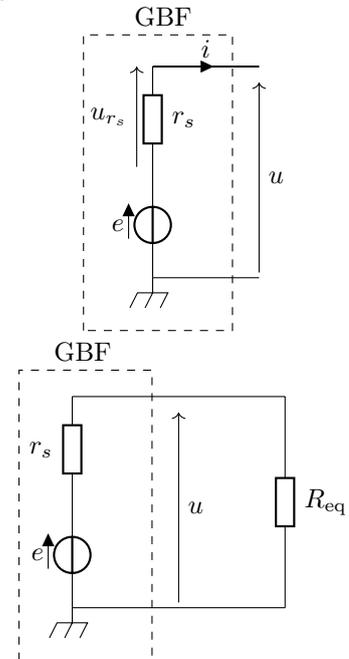
Un GBF possède une résistance de sortie  $r_s = 50 \Omega$  (environ). On peut donc le schématiser comme une source idéale de tension  $e$ , en série avec la résistance  $r_s$ .

Ce qui est affiché sur l'écran du GBF est la tension  $e$ , et non pas la tension totale  $u$ !

Supposons donc qu'on alimente un circuit qui se comporte comme une résistance  $R_{eq}$ . On a donc le schéma ci-contre.

→ Donner l'expression de la tension  $u$  qui est envoyée au circuit, en fonction de la tension  $e$  affichée sur le GBF, de  $r_s$  et de  $R_{eq}$ .

À quelle condition a-t-on bien  $u \simeq e$ ?

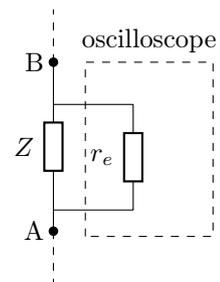


### IV.2 Influence de la résistance d'entrée des appareils de mesures

Lorsque l'on branche un appareil de mesure sur un circuit, il peut en modifier le comportement. Cette modification est d'autant plus faible que la résistance d'entrée de l'appareil est grande. Par exemple celle d'un voltmètre est de  $10 M\Omega$ , celle d'un oscilloscope est de  $1 M\Omega$ .

Considérons le morceau de circuit ci-contre : on veut mesurer la tension aux bornes de l'impédance  $Z$ . On branche l'oscilloscope aux bornes de la résistance.

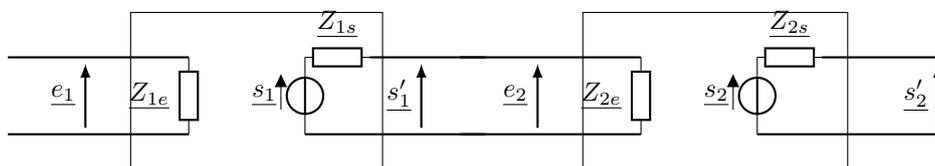
→ Donner l'expression de l'impédance équivalente entre  $A$  et  $B$  en fonction de  $Z$  et de  $r_e$ . Quelle est la condition pour que cette impédance reste environ égale à  $Z$ ?



### IV.3 Conclusions à retenir

#### Adaptation d'impédances :

- ▶ Pour que la tension délivrée par un GBF soit bien celle affichée, il faut que la résistance globale du circuit alimenté soit très grande devant l'impédance de sortie du GBF ( $r_s = 50 \Omega$ ).
- ▶ Pour qu'un appareil de mesure branché en parallèle (voltmètre, oscilloscope) ne perturbe pas le circuit auquel il est connecté, il faut que son impédance d'entrée soit très grande devant l'impédance de ce qu'il mesure.
- ▶ De façon plus générale, lorsque l'on connecte un bloc 1 de fonction de transfert  $\underline{H}_1$  à un bloc 2 de fonction de transfert  $\underline{H}_2$ , il n'y a pas de modifications inattendues à condition que l'impédance de sortie du bloc 1 soit petite devant l'impédance d'entrée du bloc 2 :  $R_{1\text{sortie}} \ll R_{2\text{entrée}}$ .  
C'est seulement à cette condition que la fonction de transfert totale est  $\underline{H}_2 \times \underline{H}_1$ .



Association d'un bloc 1 avec un bloc 2. On s'attend à avoir  $\underline{s}_2 = \underline{H}_1 \underline{H}_2 e_1$ , mais c'est le cas seulement si  $|Z_{2e}| \gg |Z_{1s}|$ .