

**LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE**

**Exercice 1: Loi des nœuds**

Objectif :

Appliquer les lois de Kirchhoff dans des circuits simples.

Déterminer la valeur de  $i_4$  sur tous les schémas suivants.

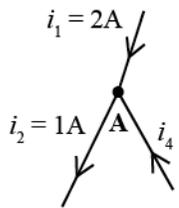


Figure 1

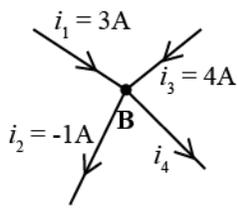


Figure 2

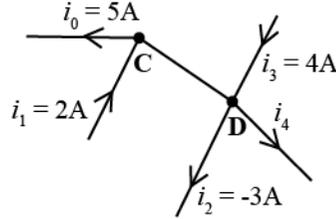
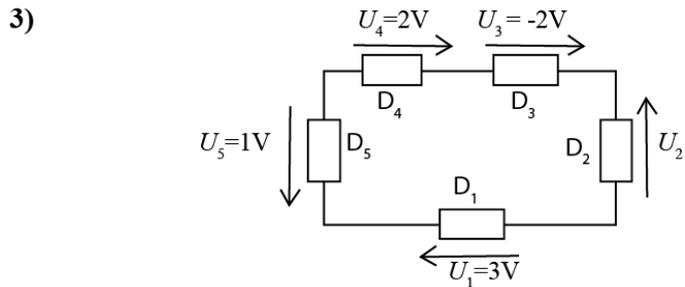
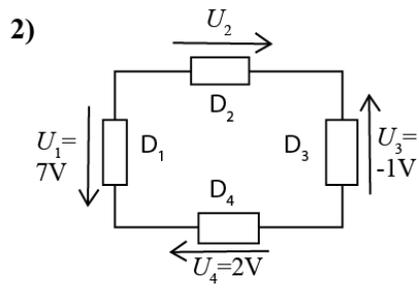
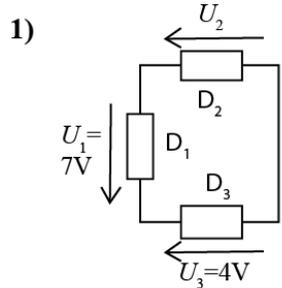


Figure 3

**Exercice 2: Loi des mailles**

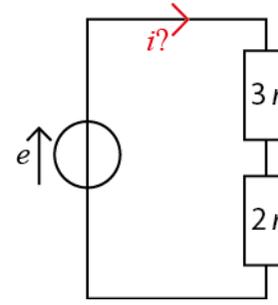
Calculer les valeurs des tensions  $U_2$ .



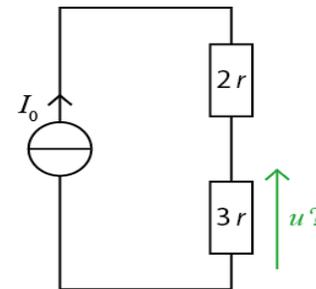
**Exercice 3: Etude de circuits simples par les lois de Kirchhoff**

Déterminer la grandeur électrique demandée dans chacun des cas suivants. On vérifiera la pertinence du résultat : dimension, signe, ordre de grandeur.

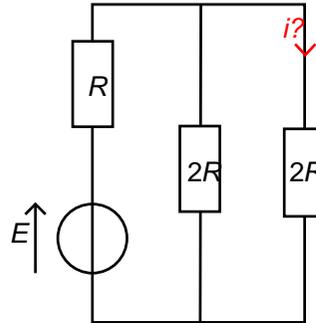
**Ex.1**



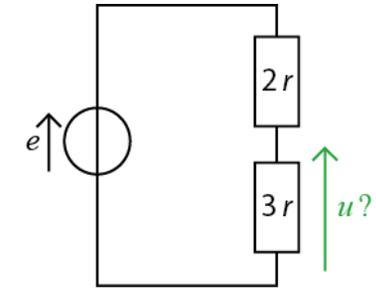
Ex.2



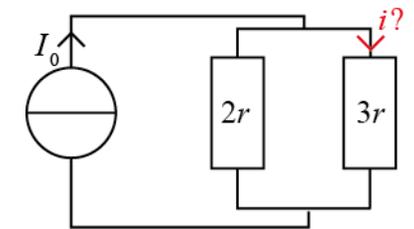
**Ex.3**



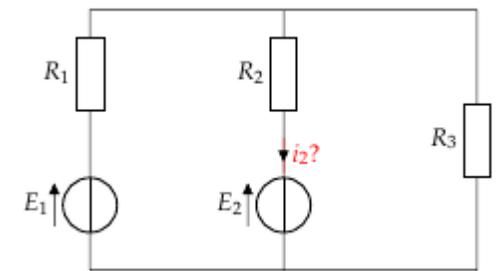
**App.1**



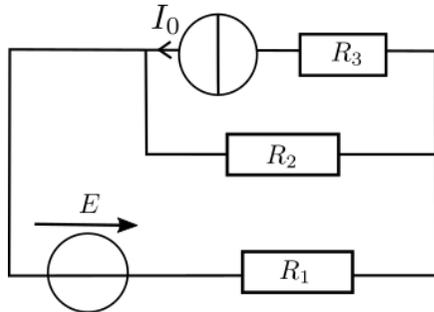
App.2



**App.3**



**Exercice C1: Etude d'un circuit comportant plusieurs générateurs**



On étudie le circuit ci-dessus constitué d'une source de tension de fém  $E$ , d'une source de courant de courant électromoteur  $I_0$  (avec  $E > 0$  et  $I_0 > 0$ ) et de trois résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

- 1) Identifier les nœuds, les branches et les mailles dans ce circuit (Colorier les branches sur un schéma puis les mailles sur un autre schéma).
- 2) Flécher la tension aux bornes de la source de courant. Ecrire les lois des nœuds et les lois des mailles pour chaque nœud et pour chaque maille. Combien d'équations indépendantes obtient-on ?
- 3) Donner l'expression littérale de cette tension. Vérifier l'homogénéité du résultat.
- 4) Pour la suite de l'exercice, on prendra  $R_1=R_2=R$  et  $R_3=2R$   
Déterminer le caractère générateur ou récepteur de chacun des dipôles du circuit. Indiquer pour chacun si vous calculez la puissance absorbée ou fournie et vous explicitez les différents cas selon les valeurs des paramètres du problème.
- 5) *Application numérique* :  $E=5V$ ,  $I_0=5\text{ mA}$ ,  $R=100\ \Omega$   
Calculer la puissance absorbée par chaque résistance.

**Exercice 4: Mesures d'intensité et de tension**

*Objectif : Savoir brancher des appareils de mesure électrique.*

On s'intéresse au montage **Ex3** de l'exercice 3.

- 1) Où positionner l'ampèremètre pour mesurer l'intensité du courant  $i$  dans la résistance  $2R$  ? dans le générateur de fém  $E$  ?
- 2) Où positionner le voltmètre pour mesurer la tension aux bornes de la résistance  $R$  ? de la résistance  $2R$  extérieure ?

**Exercice 5: Incertitudes en électricité**

*Objectif : Evaluer des incertitudes, comme il sera pratiqué en TP.*

On mesure une résistance par deux méthodes.

Deux types d'erreur entachent cette mesure : l'erreur systématique et l'erreur aléatoire. Le calcul d'incertitude n'évalue pas l'erreur systématique.

Voici deux méthodes d'évaluation de l'incertitude associée à l'erreur aléatoire.

*1<sup>ère</sup> méthode : Incertitude sur une mesure*

*On mesure  $U$ , on mesure  $I$ . On en déduit  $R$  sans arrondis. Le calcul d'incertitudes va nous permettre de déterminer le bon nombre de chiffres significatifs.*

*A l'aide de la notice, on détermine les incertitudes  $\Delta U$  et  $\Delta I$ .*

*Par la formule de propagation des incertitudes, on en déduit  $\Delta R$ .*

*On conclut en faisant la synthèse des résultats tenant compte du bon nombre de chiffres significatifs.*

Application : Le voltmètre APPA97 indique tension (en volts) : 

1	5	.	6	8
---	---	---	---	---

  
L'ampèremètre M9803R indique intensité (en mA) : 

2	2	3	.	8
---	---	---	---	---

Les notices indiquent :

	Calibre	Précision
APPA97	32 V	$\pm (0.5\% \text{ rdg} + 2d)$
M9803R	400 mA	$\pm (0.8\% \text{ rdg} + 5d)$

Calculer  $R$  et son incertitude.

2<sup>ème</sup> méthode : Incertitude déterminée à partir de plusieurs mesures  $n$  groupes de TP font chacun une mesure de  $U$  et  $I$  pour une même résistance. On calcule ainsi  $n$  valeurs de  $R$ . On constate une dispersion des résultats. On écarte les valeurs aberrantes. La valeur expérimentale affectée à  $R$  est la moyenne des  $n$  mesures :  $R = \bar{R}$ . L'incertitude de répétabilité associée à la mesure  $\bar{R}$  - pour un niveau de confiance de 95 % - est :  $\Delta R = 2 \frac{s_R}{\sqrt{n}}$ , où  $s_R$  est l'estimateur de l'écart-type de la série de mesures (voir cours de mathématiques). Synthèse des résultats.

Application : Tableau des 14 mesures et valeurs statistiques

Binôme	1	2	3	4	5	6	7
$U$ (V)	4,525	8,332	12,35	0,436	1,025	2,036	3,587
$I$ (A)	0,06490	0,1190	0,1738	0,006228	0,01430	0,02856	0,07254
$R$ ( $\Omega$ )	69,723	70,017	71,059	70,006	71,678	71,289	49,449
Binôme	8	9	10	11	12	13	14
$U$ (V)	5,243	6,287	7,853	8,003	9,451	10,57	11,26
$I$ (A)	0,07502	0,08979	0,1116	0,1168	0,1301	0,1523	0,1611
$R$ ( $\Omega$ )	69,888	70,019	70,367	68,519	72,644	69,402	69,894
<b>R moyenne</b>							68,854
<b>Estimateur écart-type ECARTTYPE.S.</b>							5,6795637

Calculer  $R$  et préciser l'intervalle et le niveau de confiance de ce résultat.

A rédiger pour la semaine 39

**Préparation du TP 1 « Mesures de résistance »**

Semaine 39- Séance 3

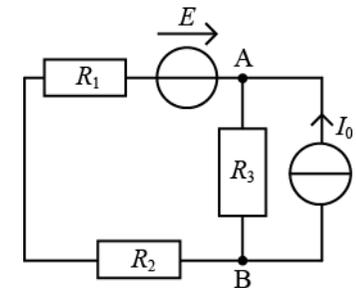
**Exercice 6: Réseau ramifié**

Le circuit ci-dessous est constitué d'une source de tension de force électromotrice  $E$ , d'une source de courant de courant électromoteur  $I_0$  et de trois résistances.

Données numériques :  $E = 39$  V  $I_0 = 200$  mA  
 $R_1 = 10$   $\Omega$   $R_2 = 20$   $\Omega$   $R_3 = 30$   $\Omega$

Analyse qualitative (sans calculs) :

- 1) Combien y-a-t-il de valeurs d'intensité ?
- 2) Combien y-a-t-il de valeurs de potentiel ?
- 3) Quels sont les sens conventionnels des différents courants ?
- 4) Classer (autant que possible) les différents potentiels.



Analyse quantitative :

- 5) Déterminer en fonction d'une partie des paramètres :  $R_1, R_2, R_3, E, I_0$  l'intensité du courant dans chaque composant.
- 6) Choisir une masse, puis exprimer en fonction d'une partie des paramètres :  $R_1, R_2, R_3, E, I_0$  les différents potentiels dans le circuit.
- 7) Les résultats obtenus sont-ils bien en accord avec l'analyse qualitative ?

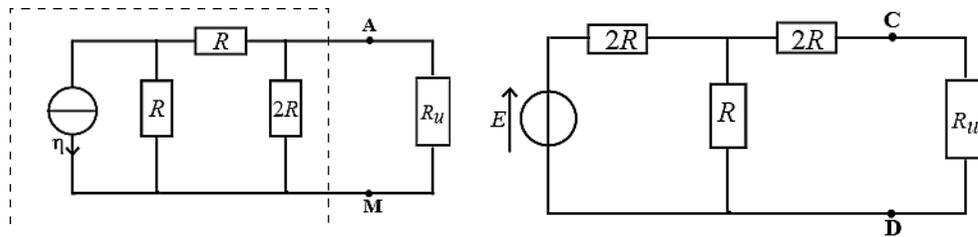
**Exercice 7: Théorème de l'équivalence Thévenin / Norton**

Le modèle de Norton convient bien aux calculs d'intensité. Le modèle de Thévenin convient bien aux calculs de tension.

Dans les deux montages ci-dessous,  $R_u = R$ .

A l'aide de ce théorème, déterminer :

- dans le réseau 1, l'intensité dans  $R_u$  ;
- dans le réseau 2, la tension aux bornes de  $R_u$ .



Réseau n°1

Réseau n°2

Semaine 40- Séance 4

**RESEAUX LINEAIRES**

**Exercice 8: Autour du panneau photovoltaïque**

Dans les stratégies pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique mondial, l'énergie solaire occupe une place en constante progression. L'énergie solaire peut être convertie en énergie électrique grâce à l'effet photo-électrique mis en œuvre dans les panneaux solaires. En 2021, la production d'électricité d'origine photovoltaïque représentait 15,1 TWh avec une puissance installée de 13990 MWc (Données 2022 sur les énergies renouvelables en France, Ministère de la transition écologique). Un des inconvénients de l'énergie photovoltaïque est son facteur de charge faible (un panneau solaire produit sur une certaine durée seulement entre 6% et 21 % de l'énergie qu'il aurait pu produire à sa puissance nominale sur la même durée). Par ailleurs, la technologie des panneaux photovoltaïques, solution permettant de décarboner la production d'électricité mondiale, peut néanmoins avoir un impact important sur l'environnement et les ressources.

Cet exercice est une étude des caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque. Après avoir défini les grandeurs pertinentes à partir de la caractéristique du panneau, l'exercice en propose une modélisation à l'aide des dipôles électrocinétiques. Enfin, une dernière partie permettra de revenir sur les impacts des panneaux solaires.

**Partie A. Caractéristique du panneau solaire**

La figure 1 présente la caractéristique d'un panneau photovoltaïque  $i(U)$  en convention générateur ainsi que la puissance fournie par ce panneau. La surface du panneau est  $1,50 \text{ m}^2$ .

- 1) Proposer un protocole expérimental permettant de tracer ces courbes. Faire un schéma du circuit.
- 2) Dans les conditions d'utilisation du panneau, quels pourraient être les différents paramètres qui peuvent influencer sur la puissance fournie par le panneau à l'installation électrique qu'il alimente ?
- 3) Donner la définition du rendement.
- 4) Calculer les rendements maximaux pour les différents éclairagements. Calculer le rendement lorsque le panneau est sous un éclairage de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  et qu'il délivre une intensité de 2, 4, 6 et 8 A. Quelles conclusions pouvez-vous tirer ?
- 5) On caractérise souvent les panneaux par leur puissance crête notée  $W_c$ . Un  $W_c$  (Watt-crête) représente la puissance fournie sous un ensoleillement standard de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  à  $25^\circ\text{C}$ . Donner la valeur pour le panneau étudié avec son unité. Que peut-on conclure en lien avec la question 2 ?

Sur le panneau sont affichées les données suivantes :

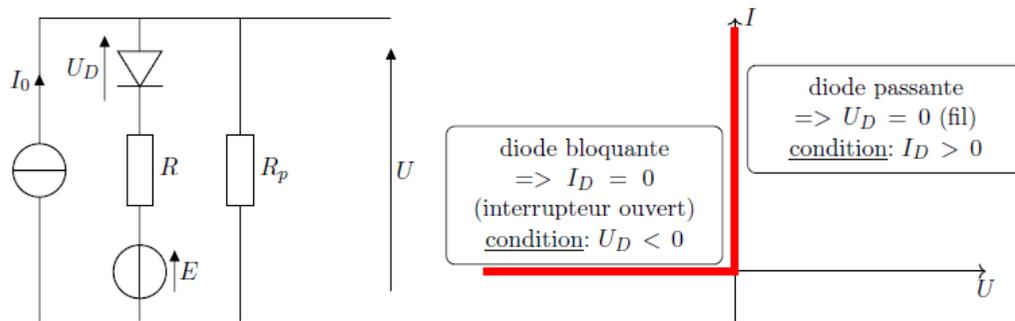
Peak Power	220 W
Voltage ( $V_{mp}$ )	28 V
Current ( $I_{mp}$ )	7,8 A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	35 V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	8,4 A

- 6) Identifier les données précédentes sur le graphique.

**Partie B. Modélisation électrocinétique du panneau solaire**

Pour une première modélisation du panneau photovoltaïque, on peut remarquer sur la caractéristique deux zones de fonctionnement. Pour les basses tensions, le panneau a un comportement proche d'un générateur idéal de courant puis au-delà d'une certaine tension, il a un comportement proche d'un générateur idéal de tension. En première approximation, on peut donc modéliser une cellule photovoltaïque par le circuit comportant une diode (figure 2) avec les valeurs suivantes pour un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$  :  $R = 0,5 \text{ } \Omega$ ;  $R_p = 100 \text{ } \Omega$ ;  $I_0 = 8,4 \text{ A}$ ;  $E = 30 \text{ V}$ . On donne aussi la caractéristique de la diode idéale.

- 1) Rappeler le comportement d'un générateur idéal de tension et d'un générateur idéal de courant.
- 2) Dans un premier temps, on considère que la diode est bloquante. Refaire le schéma dans ce cas et déterminer le générateur de Norton équivalent au panneau photovoltaïque. Donner l'expression littérale puis numérique de la caractéristique  $i(U)$  du panneau photovoltaïque.
- 3) La diode devient passante quand  $V_d > 0$ . A partir du schéma avec la diode, déterminer l'expression de  $U$  en fonction de  $V_d$  et  $E$ . A quelle condition sur  $U$  la diode devient passante ? Quelle est alors la valeur de l'intensité  $I$  ?



**Figure 2 :** Gauche : circuit équivalent à un panneau photovoltaïque  
Droite : Caractéristique d'une diode idéale en convention récepteur.

- 4) Déterminer le générateur de Thévenin équivalent au panneau photovoltaïque quand la diode est passante. Donner l'expression littérale puis numérique de la caractéristique  $i(U)$  du panneau photovoltaïque.
- 5) Tracer l'allure de la caractéristique obtenue. Relier les différents paramètres du modèle aux caractéristiques du panneau de la partie A. En particulier, que peut-on dire du courant  $I_0$  ?
- 6) Dans ce modèle, quelle est la puissance maximale fournie par le panneau ? Comparer à la valeur de la partie A. Quelles sont les limites du modèle utilisé ici ?

A rédiger pour la semaine 41

**Préparation du TP 2 « Etude d'une cellule photovoltaïque »**

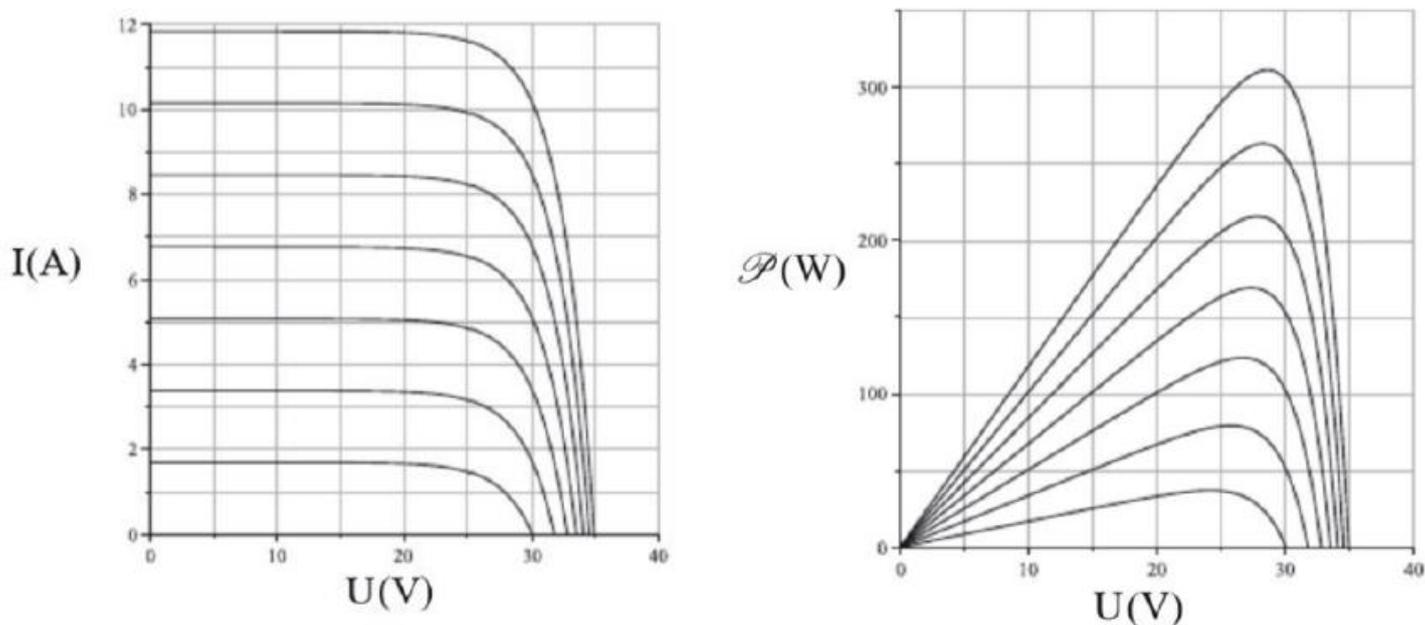
Semaine 41 – Séance 5

**Suite de l'exercice 8 : Autour du panneau photovoltaïque**

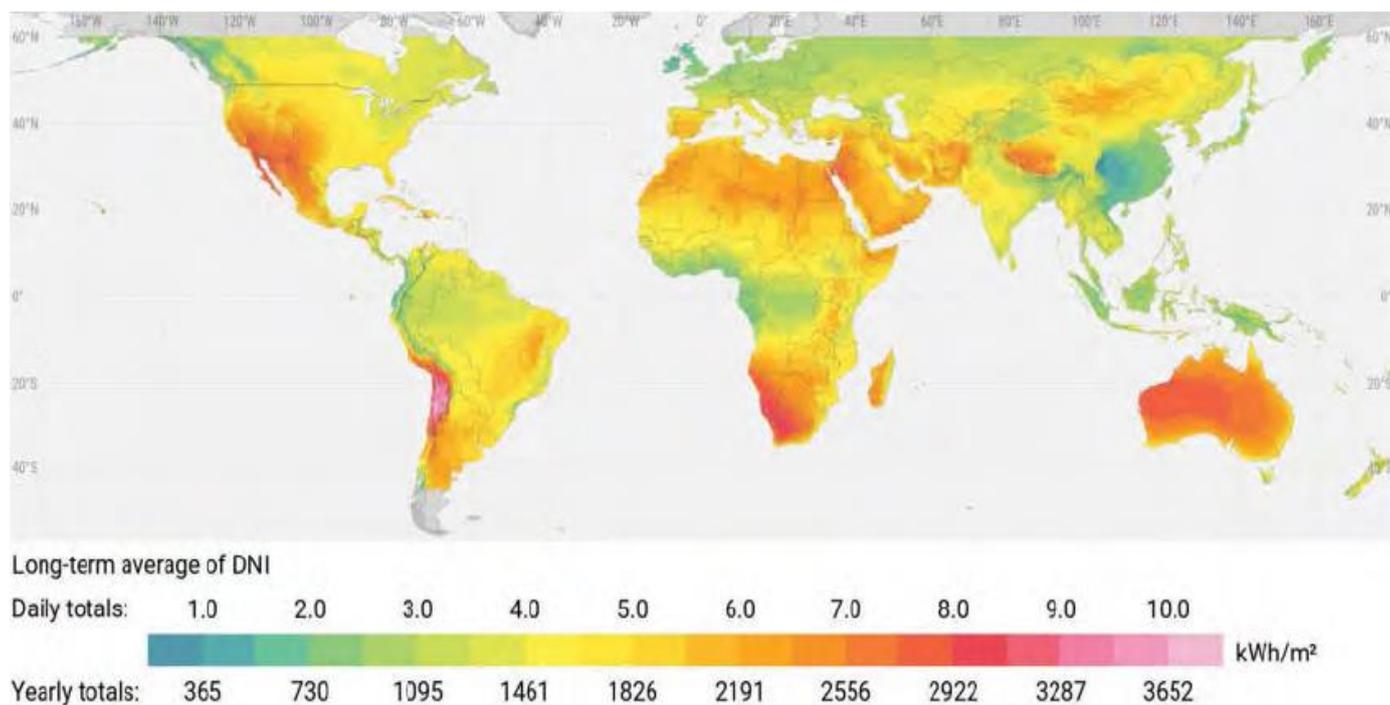
**Partie C. Utilisation du panneau solaire**

Le flux lumineux vaut  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  et le panneau a une surface de  $1,5 \text{ m}^2$ . On branche aux bornes du panneau une résistance utile  $R_{ul}$ .

- 1) On veut avoir une puissance maximale fournie par le panneau à la résistance. Déterminer graphiquement la valeur numérique de la résistance  $R_{ulmax}$ .
- 2) On choisit une résistance  $R_{ul}$  plus petite. Tracer la caractéristique de la résistance sur le même graphe que la caractéristique du panneau (partie A). En déduire le point de fonctionnement de l'ensemble.
- 3) Donner le rendement du panneau photovoltaïque dans les deux cas, avec  $R_{ulmax}$  et avec  $R_{ul}$ . Commenter.



**Figure 1 :** *Gauche* : caractéristique d'un panneau photovoltaïque en convention générateur. *Droite* : Puissance délivrée par le panneau. Dans les deux cas, les différentes courbes correspondent à des flux lumineux  $\phi$  variant de  $200 \text{ W.m}^{-2}$  à  $1400 \text{ W.m}^{-2}$  avec un pas de  $200 \text{ W.m}^{-2}$ .



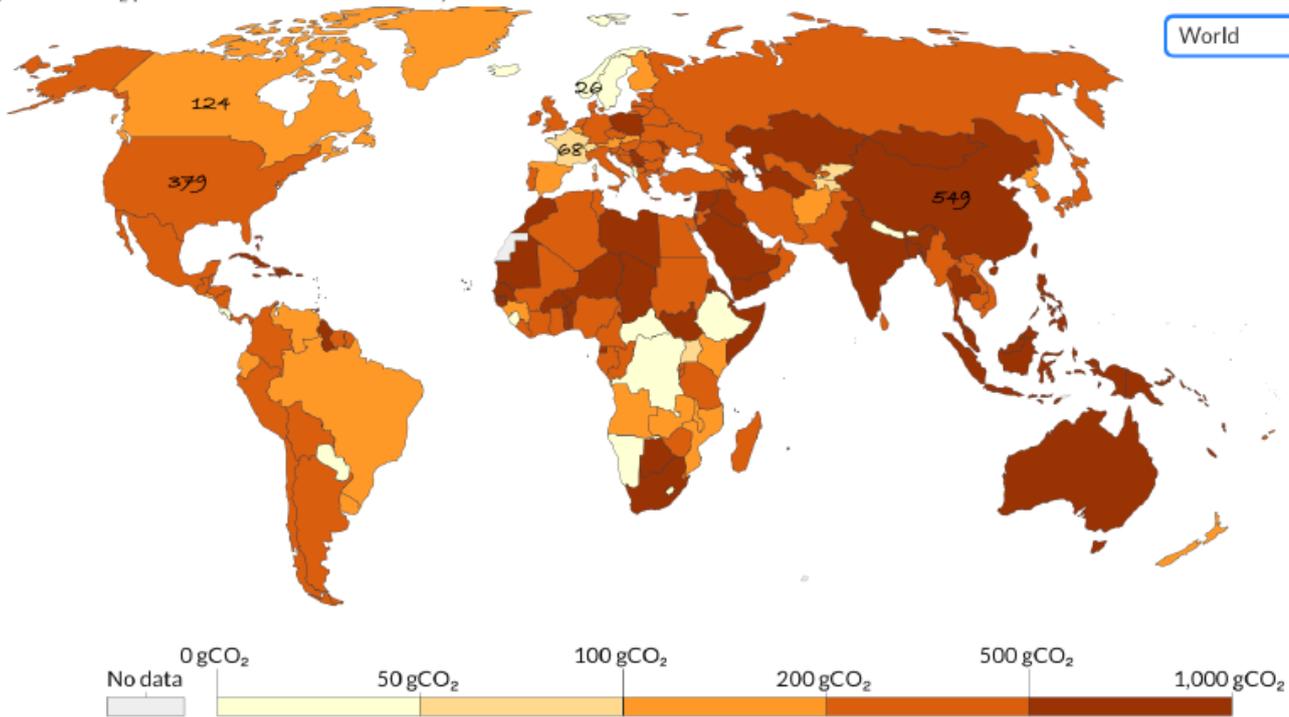
**Figure 3** En 2020, l'Energy Sector Management Assistance Program, publiait la carte du potentiel énergétique photovoltaïque moyen. Elle représente l'énergie moyenne que recevrait un panneau photovoltaïque s'il était déployé dans telle ou telle zone du globe.

## Carbon intensity of electricity, 2021

Carbon intensity measures the amount of greenhouse gases emitted per unit of electricity produced. Here it is measured in grams of CO<sub>2</sub> per kilowatt-hour of electricity.



World



Source: Ember Climate (from various sources including the European Environment Agency and EIA)

OurWorldInData.org/energy • CC BY



**Figure 4** Intensité carbone de l'électricité fabriquée dans différents pays (quantité de carbone émise pour produire un kWh d'électricité).

### Partie D. Impact de la fabrication du panneau solaire

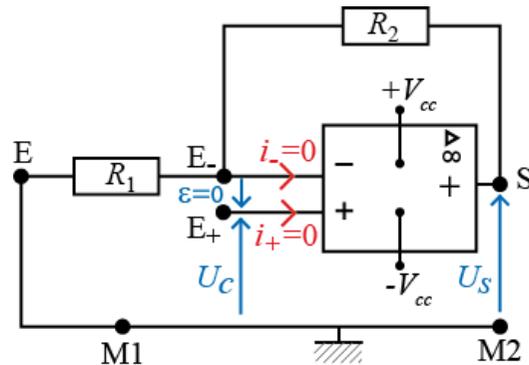
Les panneaux photovoltaïques sont basés sur la technologie des semi-conducteurs au silicium dont la fabrication nécessite une très grande énergie. Cette énergie, appelée énergie grise est en quelque sorte une dette énergétique que le panneau doit « rembourser » au cours de sa durée de vie.

On appelle temps de retour énergétique, le temps nécessaire à rembourser cette dette. On considère que l'énergie grise d'un panneau solaire vaut :  $E_g = 583 \text{ kWh/m}^2$ . On donne la carte de la puissance potentielle photovoltaïque moyenne (figure 3) et la carte de l'intensité carbone de l'électricité (figure 4)

- 1) Quel est le temps de retour énergétique d'un panneau solaire installé dans différentes zones du globe (on prendra comme exemple, la France, la Norvège, la Chine et les Etats-Unis) ?
- 2) Quel est le temps de retour concernant les émissions de CO<sub>2</sub> d'un panneau solaire installé dans différentes zones du globe (on prendra comme exemple, la France, la Norvège, la Chine et les Etats-Unis) et fabriqué dans différentes zones du globe (prendre les mêmes pays et présenter les résultats sous forme de tableau croisé) ?

**Exercice 9: Montage amplificateur non inverseur**

Le montage ci-après est constitué d'un amplificateur opérationnel et de deux résistances. L'amplificateur est alimenté sous les potentiels  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ . Les courants d'entrée  $i_+$  et  $i_-$  sont nuls ; et la tension différentielle  $\varepsilon = V_+ - V_-$  est également nulle.



- 1) *Analyse qualitative* : Comparer les courants dans  $R_1$  et dans  $R_2$ . Combien y a-t-il de valeurs de potentiel dans le montage ?
- 2) Appliquer la loi des mailles au parcours : M1,E,E-,E+,M1
- 3) Appliquer la loi des mailles au parcours : M1,E,E-,S,M2,M1
- 4) Des questions précédentes, déduire que  $U_s = K U_c$ , où  $K$  ne dépend que de  $R_1$  et  $R_2$ . Vérifier l'homogénéité du résultat.
- 5) Justifier le nom du montage

A rédiger pour la semaine 42 – Séance 6

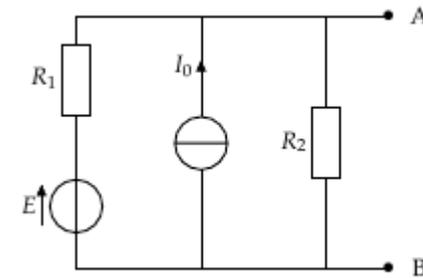
**Exercice C2: Point de fonctionnement**

**Partie A**

On considère le générateur réel ci-contre constitué de deux sources, une source de tension de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $R_1$  et une source de courant de courant électromoteur  $I_0$  et de résistance  $R_2$ .

Données numériques :

$E = 10 \text{ V}$ ,  $I_0 = 10 \text{ mA}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$



Déterminer, en fonction de  $E$ ,  $I_0$ ,  $R_1$  et  $R_2$ , le modèle de Thévenin ( $e_T, R_T$ ) du réseau à gauche de A et B. Vérifier l'homogénéité du résultat obtenu. Réaliser l'application numérique.

**Partie B**

On souhaite allumer avec ce générateur une ampoule d'intensité nominale 100 mA et de tension nominale 6V. Pour un fonctionnement optimal de l'ampoule, il faut se placer autour de la tension et de l'intensité nominale. En dessous, la lampe n'éclairera pas suffisamment, au-dessus la lampe risquera de griller. On donne dans le tableau ci-dessous les mesures de la caractéristique de l'ampoule en convention récepteur :

$U$ (V)	8,0	6,1	4,3	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1	0
$I$ (mA)	119	101	86,4	77,5	71,7	63	58,2	48,5	40,7	0

Pour faire ces mesures, on dispose d'une alimentation continue, d'une résistance variable et de plusieurs multimètres.

B1) Faire un schéma du montage permettant d'obtenir ces mesures.

B2) Tracer la caractéristique de l'ampoule. Commenter les caractéristiques de ce dipôle. Peut-on modéliser l'ampoule par un modèle de Thévenin ou de Norton ?

**Partie C**

On connecte le générateur de la partie A avec l'ampoule de la partie B.

C1) Faire un schéma du montage en connectant la lampe au générateur équivalent de Thévenin trouvé en partie A.

C2) Trouver le point de fonctionnement du circuit. Commenter.

C3) Modifier le circuit de la question C1) pour placer le point de fonctionnement au point d'intensité et de tension nominale de la lampe.

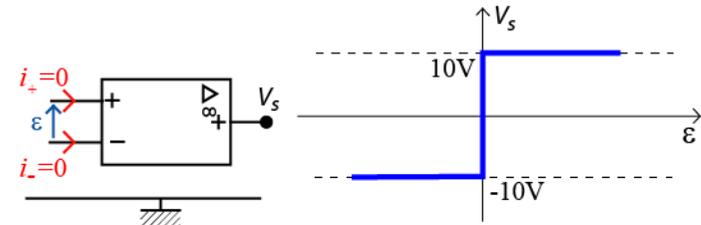
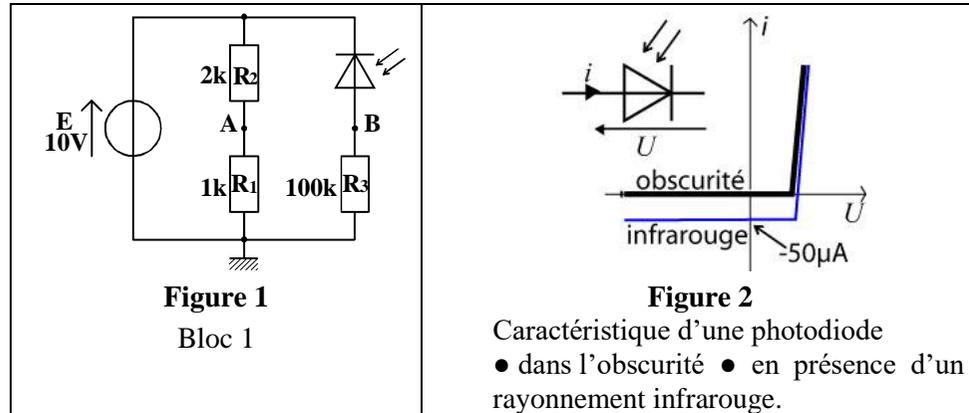
Semaine 42 - Séance 6

**Exercice 10: Détecteur de flamme**

Objectif: Concevoir un détecteur de flamme. Les composants seront choisis par étude de leur caractéristique.

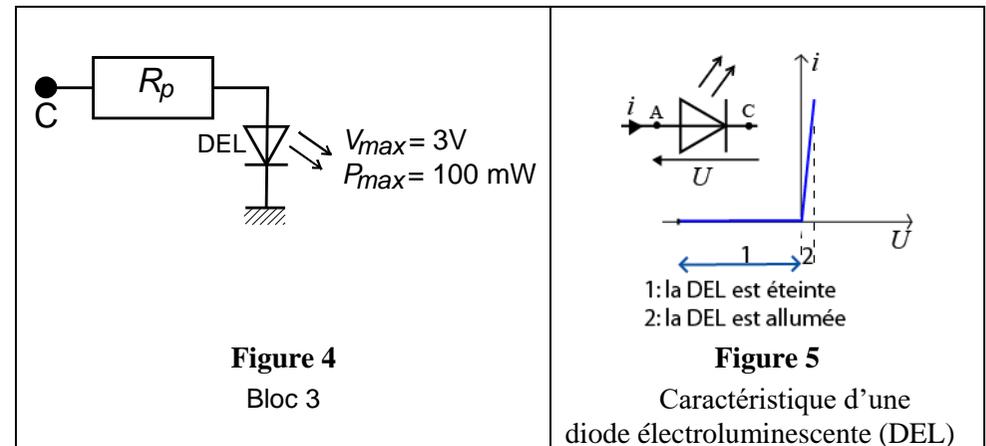
« Comme d'habitude », on prévoira le comportement du montage avant tout calcul ; puis, après ceux-ci, on contrôlera la cohérence des résultats : dimension, ordres de grandeur.

**Documents :**



**Figure 3**

Bloc 2 et Caractéristique de transfert d'un comparateur simple



**Questions :**

- Bloc 1 (figures 1 et 2) : Comparer  $V_A$  et  $V_B$  :
  - dans l'obscurité
  - en présence d'infrarouge.
- Bloc 2 (figure 3) : A partir de la figure 3, expliquer le fonctionnement du comparateur.
- Bloc 3 (figures 4 et 5) : Que se passe-t-il
  - si  $V_C = +10\text{ V}$  ?
  - si  $V_C = -10\text{ V}$  ?
 Quel est le rôle de  $R_P$  ? Quelle valeur peut-on lui donner ?

- 4) Un détecteur de flamme déclenche un signal (sonore ou lumineux) en présence d'une source infrarouge anormale. Comment agencer nos trois blocs ci-dessus afin de réaliser un tel système ? Expliquer en quelques lignes.

A rédiger pour la semaine 43 – Séance 7

Préparation du TP 3 « Montages avec amplificateur opérationnel »

Semaine 43 - Séance 7

RÉSEAUX LINEAIRES EN RÉGIME SINUSOIDAL FORCÉ

Exercice 11: Tension, intensité, impédance et déphasage (2)

Trois dipôles  $R = 820 \Omega$  ;  $L = 0,300 \text{ H}$  et  $C = 0,470 \mu\text{F}$  sont associés en série.

L'intensité a pour équation horaire :  $i = 7,00 \cdot 10^{-3} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$ .

La fréquence vaut 800 Hz.

- Déterminer :
- 1) l'impédance  $Z$  du dipôle RLC ;
  - 2) le déphasage  $\varphi$  de  $u$  par rapport à  $i$  ( $u$  est la tension aux bornes du dipôle RLC) ;
  - 3) la tension  $u$  aux bornes du dipôle RLC.

Exercice 12: Etude d'un oscillogramme

On réalise le montage représenté sur la **figure 1**, qui comporte un résistor de résistance  $10 \Omega$ , une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable, et un condensateur de capacité  $C$ . L'ensemble est alimenté par un générateur fournissant une tension alternative sinusoïdale de fréquence  $f$ .

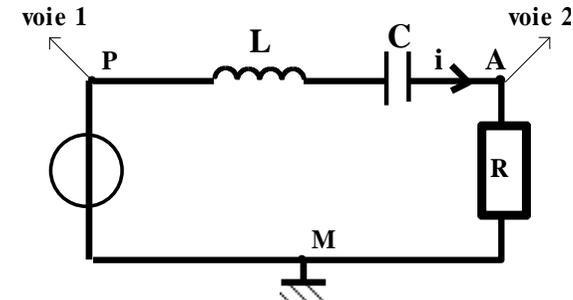


Figure 1

L'oscillogramme obtenu est reproduit **figure 2**.

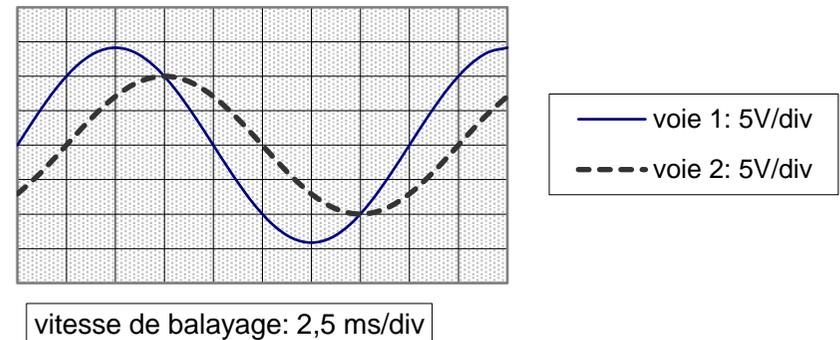


Figure 2

- 1) Déduire de l'oscillogramme les valeurs de la fréquence  $f$ , de l'impédance  $Z$  du dipôle (P,M) et du déphasage  $\psi$  de l'intensité  $i$  par rapport à la tension appliquée aux bornes de tout le circuit.
- 2) Donner l'expression numérique de l'intensité instantanée  $i(t)$  et de la tension instantanée  $u_{PM}(t)$  en fonction du temps.
- 3) Déterminer en fonction de  $R, L, C, \omega$ , les expressions littérales de l'impédance complexe  $\underline{Z}$  et de  $\psi$ .  
 $C = 20 \mu\text{F}$ . En déduire la valeur de  $L$

## Semaine 46 - Séance 8

## TD numérique n°1

Apporter votre ordinateur après avoir installé Latis Pro (version découverte).

Télécharger le fichier d'installation sur moodle dans l'onglet Documents de TD et installer la version découverte.

**Exercice 13: Spectre avec Latis Pro**

- 1) On choisit une tension  $u_e$  de forme sinusoïdale avec une fréquence entre 100 Hz et 200 Hz et une amplitude entre 1 V et 10 V.

Nous allons créer dans Latis Pro les deux variables : *Temps* et  $u_e$ .

Créer la variable *Temps* (en précisant son unité) dans *Tableur / onglet Variables / Nouvelle*.

La variable *Temps* se remplit en utilisant les commandes *Tableur / onglet Variables / Remplir avec une rampe*.

Proposer une durée et un nombre de points à utiliser pour créer la variable *Temps*.

Donner l'expression littérale de la tension  $u_e(t)$ . Ecrire cette expression dans la feuille de calcul et exécuter (F2).

Représenter la courbe  $u_e$  en fonction du *Temps* dans une fenêtre.

Dans l'onglet *Traitements/Calculs spécifiques/Analyse de Fourier*, représenter le spectre de la fonction. Vérifier que vous obtenez bien la fréquence et l'amplitude choisies au début.

- 2) Faire maintenant la somme de deux signaux sinusoïdaux. Vous choisirez une fréquence entre 1 kHz et 2 kHz et une amplitude entre 1 V et 10 V pour le deuxième signal. Représenter le signal en fonction du temps ainsi que son spectre.

- 3) Rajouter à l'expression de la question précédente une valeur continue. Quelle est la valeur moyenne du signal ?

Effectuer l'analyse de Fourier. Commenter.

- 4) On va maintenant créer un signal rectangulaire. Recopier dans la feuille de calcul le code suivant :

```
Vo=5 //Amplitude du signal
fo=100 //fréquence du fondamental
```

```
Vm=4*Vo/pi //Amplitude du fondamental
e=0*Temps/Temps //initialisation de e
```

```
N=-1 // initialisation n° harmonique
```

```
REPETER 5 // partie répétée 5 fois
N=N+1 // incrément n° harmonique
cosN=Vm/(2*N+1)*cos(2*pi*fo*(2*N+1)*Temps+pi/2) // harmonique N
e=e+cosN
FIN
```

Commenter. Modifier le programme  
Effectuer l'analyse de Fourier.

A rédiger pour la semaine 47 – Séance 9

### Préparation du TP 4 « Spectre d'un signal – Application à l'analyse et à la transformation d'un son »

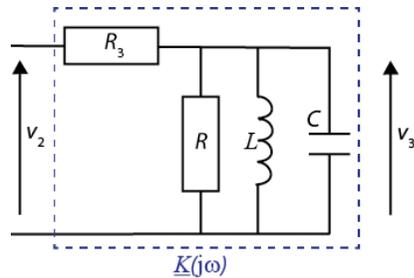
Semaine 47 – Séance 9

### FILTRAGE

#### Exercice 14: Phénomène de résonance

*BUT* : Lien entre filtrage et résonance.

Soit l'opérateur ci-dessous, constitué de composants parfaits. Le montage est alimenté par une tension sinusoïdale  $v_2$  de pulsation  $\omega$ .



- 1) Déterminer la fonction de transfert  $\underline{K}(j\omega) = \frac{v_3}{v_2}$  en fonction de  $R, R_3, L, C, \omega$ .
- 2) Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme canonique  $\underline{K} = \frac{A_0}{1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)}$ .

$x$  est la pulsation réduite ;  $A_0$  un réel ; et  $Q$  le facteur de qualité du système. On déterminera les expressions de  $A_0, Q$  et  $x$ .

En déduire l'ordre de l'opérateur et la pulsation propre  $\omega_0$  du système, qu'on définit par :  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ .

- 3) Montrer que  $|\underline{K}|$  passe par un maximum pour une valeur de  $x$  que l'on déterminera. On dit alors que l'opérateur est à la résonance.
- 4) Tracer l'allure des variations de  $|\underline{K}|$  en fonction de la pulsation  $\omega$ . Quelle est la nature du filtre ?
- 5) On s'intéresse à la bande passante du filtre  $\Delta\omega$  exprimée en pulsations. Déterminer  $\Delta\omega$  en fonction de la pulsation propre  $\omega_0$  et du facteur de qualité  $Q$  du système.

*Méthode : on ne cherchera pas à déterminer les deux pulsations de coupure, mais, directement la différence  $\omega'_c - \omega_c$ .*

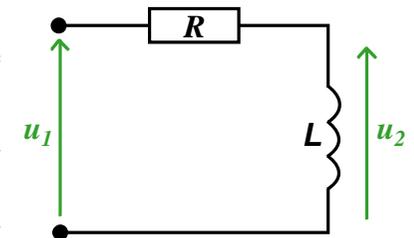
- 6) Commenter l'allure de la courbe tracée au 4) en fonction des valeurs de  $Q$ .

**Exercice 15: Filtre inductif**

*BUT : Déterminer les propriétés d'un filtre.*

Le dipôle  $R, L$  ci-dessous fonctionne en régime sinusoïdal forcé.

- 1) Déterminer sa fonction de transfert  $\underline{H}(j\omega) = \frac{u_2}{u_1}$  en fonction de  $R, L$  et  $\omega$ . Quel est l'ordre de cet opérateur ?
- 2) Déterminer la bande passante à  $-3$  dB de ce filtre. En déduire la nature de celui-ci.
- 3) La nature de ce filtre n'aurait-elle pas pu être identifiée plus simplement, sans calcul ?



Semaine 48 – Séance 10

**TD numérique n°2**

*Apporter votre ordinateur après avoir installé Latis Pro (version découverte).*

**Exercice 16: Filtrage avec Latis Pro**

On veut modifier un signal avec un filtre. Le signal de sortie du filtre est  $u_s$ , tel que  $u_s = \underline{H} u_e$   $\underline{H}$  est la fonction de transfert du filtre.

- 1) On commence par étudier un filtre du premier ordre caractérisé par la fonction de transfert suivante :

$$\underline{H} = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_c}}$$

avec la fréquence de coupure  $f_c = 100$  Hz.

- 1a) Préciser la nature de ce filtre.
  - 1b) Donner l'expression du module et de l'argument de  $H$ .
  - 1c) Tracer sur LatisPro le diagramme de Bode en gain et en phase de ce filtre. Faire varier les paramètres du filtre.
  - 2) On veut comparer un filtre passe-bas du premier ordre avec un filtre passe-bas du deuxième ordre.
    - 2a) Donner la fonction de transfert de ce type de filtre en fonction de la fréquence. Donner l'expression du module et de l'argument de  $H$ .
    - 2b) Tracer sur LatisPro le diagramme de Bode en gain et en phase de ce filtre pour plusieurs valeurs des paramètres du filtre. Mettre en évidence le phénomène de résonance.
  - 3) On va maintenant appliquer ces deux filtres au signal rectangulaire de l'exercice 13. On cherche à obtenir un signal de sortie sinusoïdal.
    - 3a) Expliquer en quoi les filtres précédents permettent d'obtenir le signal de sortie voulu.
    - 3b) Recopier le code donné à l'exercice 13. Compléter le code pour obtenir les tensions  $u_{s1}(t)$  à la sortie du filtre du premier ordre et  $u_{s2}(t)$  à la sortie du filtre du deuxième ordre. Répéter la boucle un nombre de fois suffisant.
- Vous choisirez vous-même les paramètres de chacun des filtres et vous justifierez du caractère sinusoïdal ou non du signal obtenu en faisant une analyse de Fourier.

A rédiger pour la semaine 49 – Séance 11

**Préparation du TP 5 « Diagramme de Bode »**

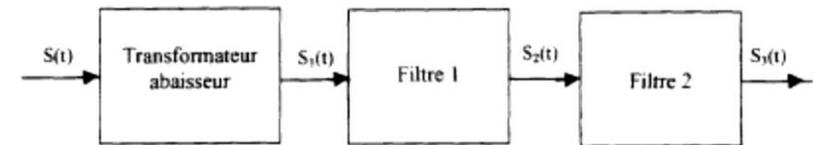
**Exercice 17: Gestion économique de la distribution de l'énergie électrique**

EDF propose plusieurs types d'abonnement aux usagers de l'énergie électrique, dont l'abonnement « EDF Tempo ».

Dans ce cadre, l'abonné se voit facturer l'énergie au prix fort pendant les périodes de grande consommation, tandis qu'il bénéficie d'un tarif réduit pendant le reste du temps. EDF prévient l'utilisateur d'un changement de tarif en injectant un signal, dit « signal d'alerte », sur le réseau.

A la tension simple du secteur  $u(t)$ , de valeur efficace 240 V et de fréquence 50 Hz, EDF superpose pendant un bref instant, un signal  $s(t)$  dit signal d'alerte, de fréquence 175 Hz et d'amplitude égale à 1% de l'amplitude du signal de 50 Hz,  $u(t)$ . Ce procédé avertit l'utilisateur que le tarif du kWh va changer dans les heures qui suivent.

Le problème porte sur le traitement de la tension  $S(t) = u(t) + s(t)$  délivrée de façon à détecter le signal d'alerte.



**I Etude du transformateur**

Un transformateur est un appareil permettant de modifier la tension efficace du signal reçu, avec un rendement énergétique proche de 100%.

Données : Relation entre la valeur efficace d'une tension sinusoïdale et son

$$\text{amplitude : } U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Rapport de transformation du transformateur : } m = \frac{S_{1\,eff}}{S_{eff}} = \frac{1}{30}$$

Si on néglige le signal d'alerte  $s(t)$ , la valeur efficace de  $S(t)$  est égale à 240 V. Calculer la valeur efficace de  $S_1(t)$ .

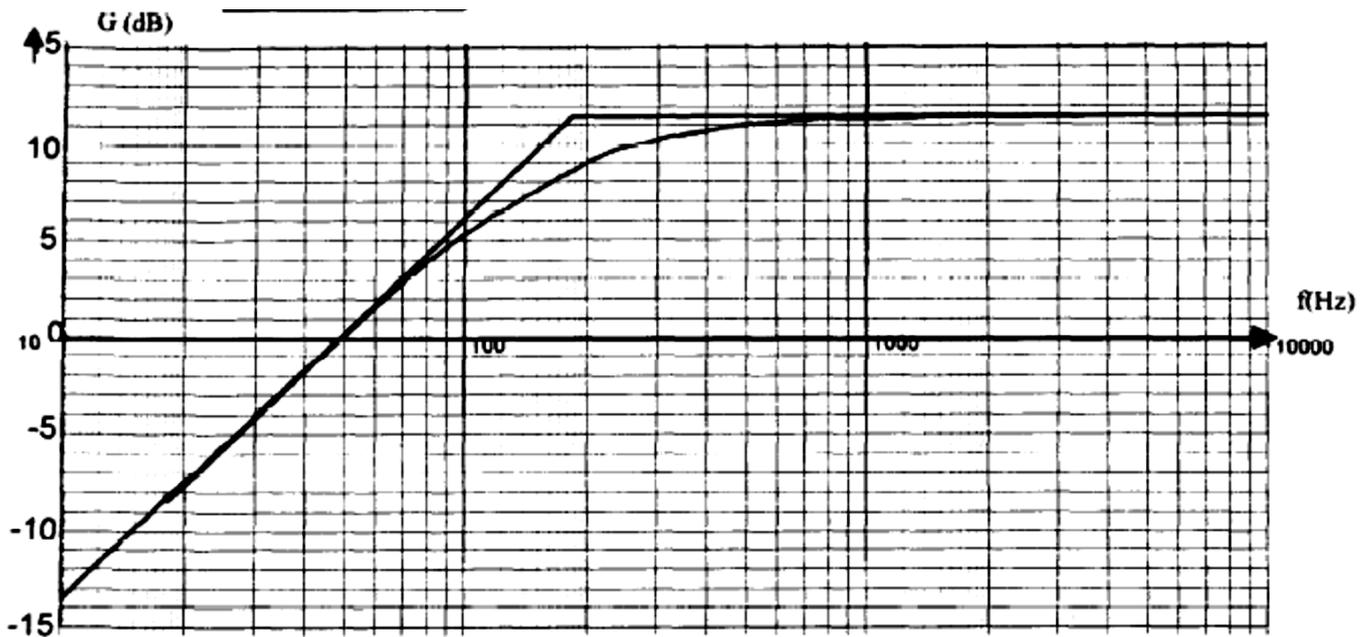
**II Etude du FILTRE 1**

On pose :  $S(t) = A \cos(100\pi t) + B \cos(350\pi t)$  et  $S_I(t) = A_I \cos(100\pi t) + B_I \cos(350\pi t)$

1) Calculer numériquement  $A_I$  et  $B_I$  ; puis représenter le spectre du signal  $S_I(t)$ .

2) La fonction de transfert complexe du filtre 1  $\underline{T}(j\omega) = \frac{\underline{s}_2(j\omega t)}{\underline{s}_1(j\omega t)}$  est de type :  $\underline{T}(j\omega) = \frac{Kj \frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_1}}$ .

- 2.1 A l'aide des diagrammes pages 10 et 11 du chapitre 5, identifier l'ordre et la nature du filtre. Que représente  $\omega_l$  pour ce filtre ?
- 2.2 Le diagramme de Bode  $G_{dB}(f)$  est représenté ci-dessous. Déterminer graphiquement la valeur de la pulsation de coupure à -3 dB, et en déduire la bande passante.



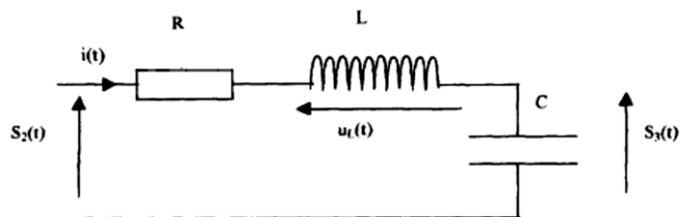
2.3 Après filtrage, la tension de sortie s'écrit :  $S_2(t) = A_2 \cos(100\pi t + \Phi_{A2}) + B_2 \cos(350\pi t + \Phi_{B2})$ .  $\Phi_{A2}$  et  $\Phi_{B2}$  sont les termes de phase à l'origine, non étudiés ici. Déterminer les amplitudes des différentes composantes du signal de sortie  $S_2(t)$ , puis représenter le spectre des amplitudes en sortie.

2.4 Calculer le rapport  $\frac{B_2}{A_2}$ .

**III Etude du filtre 2 (réalisation analogique)**

1) Exprimer en fonction de  $R, L, C, \omega$ , la fonction de transfert  $\underline{T}_2(j\omega)$  du filtre 2, définie par :

$$\underline{T}_2(j\omega) = \frac{\underline{S}_3(j\omega t)}{\underline{S}_2(j\omega t)}$$



2) A l'aide des diagrammes pages 10 et 11 du chapitre 5, identifier l'ordre et la nature du filtre. Déterminer, en fonction de  $R, L, C$ , une pulsation  $\omega_2$  caractérisant ce filtre, ainsi que deux autres paramètres remarquables de celui-ci.

- 3) On donne ci-dessous les abaques de ce type de filtre. On y porte en abscisse la pulsation réduite  $x = \frac{\omega}{\omega_2}$  et en ordonnée le gain en décibels.

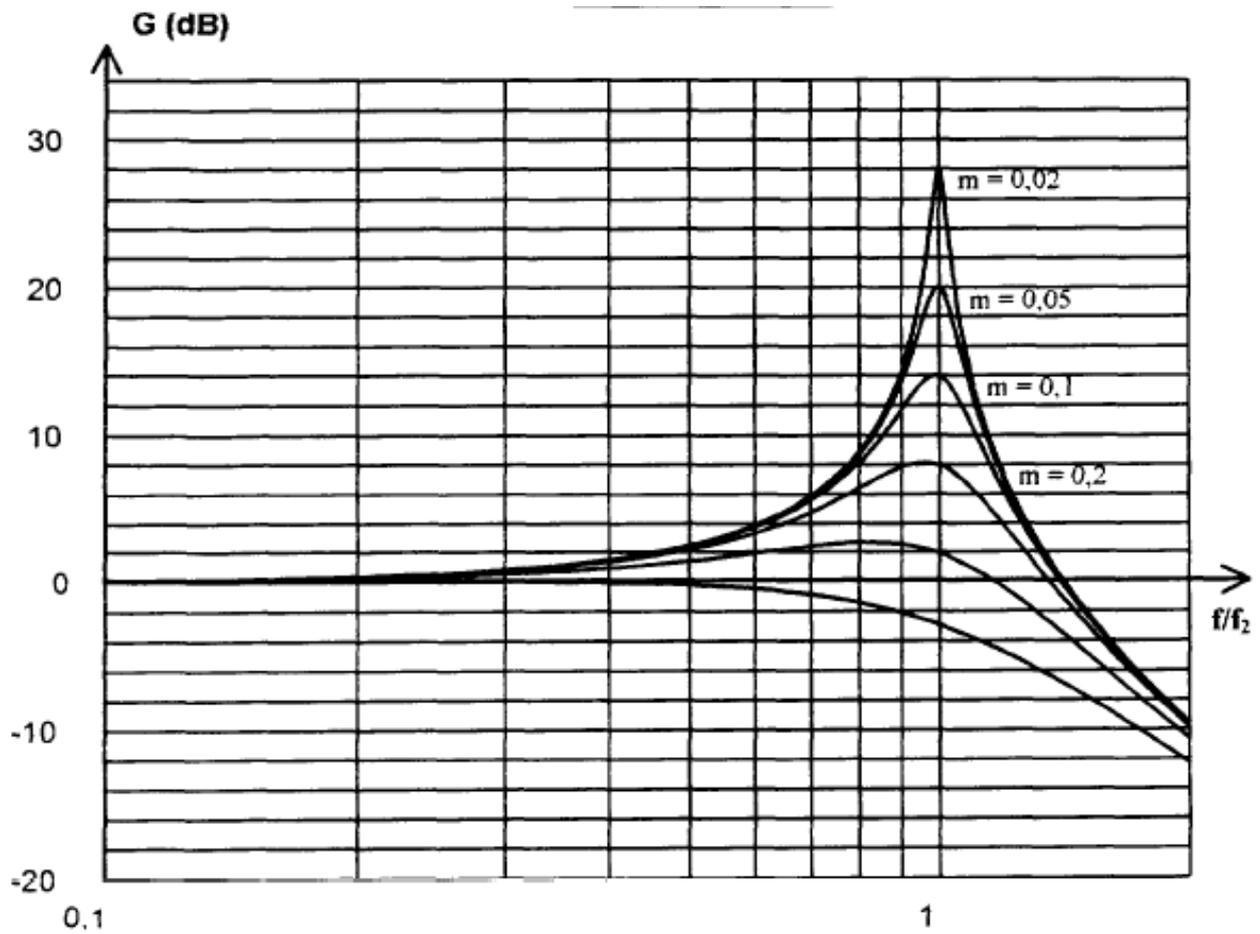
$m$  est un paramètre lié au facteur de qualité par :  $m = \frac{1}{2Q}$ .

On choisit  $m = 0,05$  et  $f_2 = 175$  Hz.

Après filtrage, la tension de sortie s'écrit :  $S_3(t) = A_3 \cos(100\pi t + \Phi_{A3}) + B_3 \cos(350\pi t + \Phi_{B3})$ .

Déterminer les amplitudes des différentes composantes du signal de sortie  $S_3(t)$ , puis représenter le spectre des amplitudes en sortie.

- 4) Calculer le rapport  $\frac{B_3}{A_3}$ .
- 5) Par rapport à la problématique : Rendre le signal d'alerte détectable, expliquer le sens du traitement effectué.



## A rédiger pour la semaine 50– Séance 12

**Exercice C3: Détection d'un signal**

Pour transmettre un signal, on mélange le signal à transmettre (appelé signal modulateur) avec une porteuse de très haute fréquence.

Soit le signal modulateur :  $u(t) = U_0 + U \cos(\omega t)$  et la porteuse  $s(t) = S \cos(\omega_p t)$ .

Le signal modulé est le résultat de la multiplication de ces deux signaux  $v(t) = u(t)s(t)$ . C'est ce signal qui est transmis.

On donne la relation :  $\cos(a) \cos(b) = \frac{1}{2} (\cos(a + b) + \cos(a - b))$

1) Tracer les spectres de  $u(t)$ ,  $s(t)$  et  $v(t)$ . Expliquer pourquoi il est impossible de récupérer le signal modulateur  $u(t)$  avec un simple filtre.

2) Une des techniques utilisées est de multiplier  $v(t)$  de nouveau par la porteuse à réception du signal. Soit  $y(t) = v(t)s(t)$ .

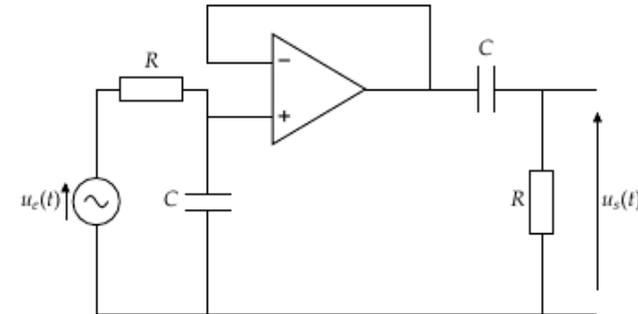
2a) Tracer le spectre de  $y(t)$ .

2b) Quel type de filtre peut-on utiliser pour récupérer seulement le signal de pulsation  $\omega$  ?

2c) La fréquence du signal est  $f = 5$  kHz et celle de la porteuse  $f_p = 500$  kHz. Nommer les paramètres caractéristiques du filtre choisi et donner les valeurs numériques permettant récupérer seulement le signal de pulsation  $\omega$ .

3) On propose le circuit ci-dessous pour réaliser le filtre.

Pour un amplificateur opérationnel,  $i_+ = i_- = 0$  et en régime linéaire,  $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$ .



3a) Par une analyse qualitative, montrer que ce filtre peut convenir pour réaliser l'opération demandée.

3b) Déterminer la fonction de transfert du filtre. Préciser les expressions des paramètres du filtre.

3c) Tracer l'allure du diagramme de Bode en gain et en phase de ce filtre. Indiquer les caractéristiques du filtre sur le diagramme.

3d) Peut-on choisir ces paramètres pour réaliser l'opération souhaitée ?



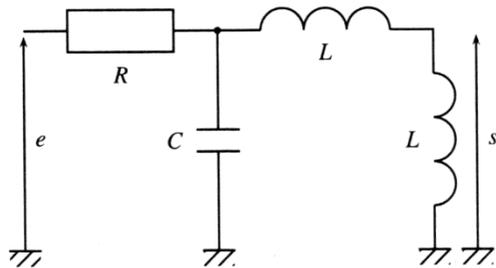
A rédiger pour la semaine 51 – Séance 13

**Préparation du TP 6 « Filtre ADSL »**

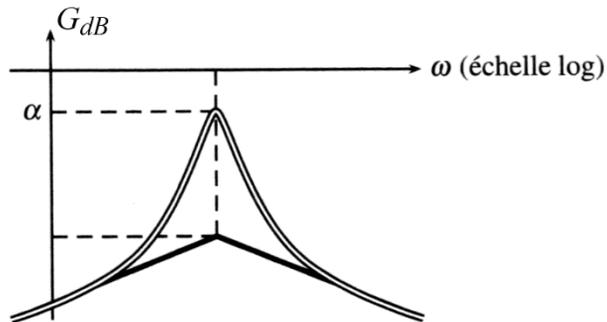
Semaine 51– Séance 13

**Exercice 19: Filtre de Hartley**

On réalise le montage ci-dessous :



- 1) Etablir sa fonction de transfert  $H(j\omega) = \frac{s(j\omega)}{e(j\omega)}$  en fonction de  $R, L, C, \omega$ .
- 2) A l'aide des diagrammes en annexe du chapitre 5, identifier l'ordre et la nature du filtre. Déterminer, en fonction de  $R, L, C$ , une pulsation  $\omega$  caractérisant ce filtre, ainsi que deux autres paramètres remarquables de celui-ci.
- 3) La courbe de gain du diagramme de Bode a l'allure représentée ci-dessous.



- 3.a Par une étude asymptotique, déterminer les pentes des portions linéarisées de la courbe.

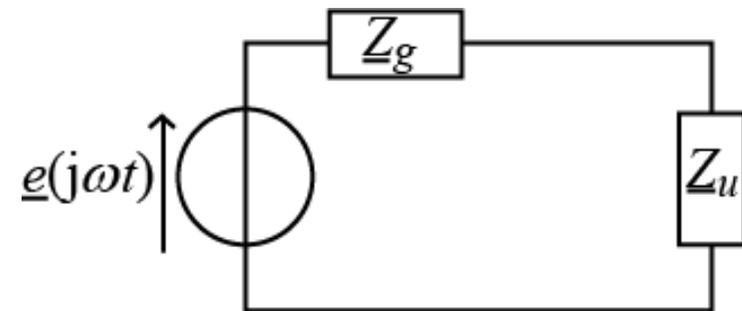
- 3.b Dans le cas où  $L = 1,0$  mH,  $C = 100,0$  nF,  $R = 100$  kΩ, déterminer les valeurs numériques des coordonnées du maximum.
- 3.c Déterminer la largeur de la bande passante à  $-3$  dB du filtre.

**PUISSANCES EN RÉGIME SINUSOIDAL FORCÉ**

Semaine 02 – Séance 14

**Exercice 20: Adaptation d'impédance**

- I. Un générateur de force électromotrice  $e(t) = E\sqrt{2}.\cos \omega t$  et d'impédance complexe  $Z_g = R_g + j.X_g$  alimente une charge  $Z_u = R_u + j.X_u$ .

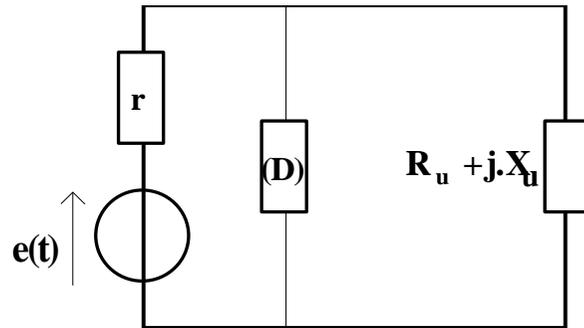


- 1) Déterminer, en fonction de  $E, R_u, R_g, X_u, X_g$ , l'expression de la puissance électrique moyenne absorbée par  $Z_u$ .
- 2) Pour quelle valeur de  $(R_u, X_u)$  la puissance moyenne absorbée par  $Z_u$  est-elle maximale?

**II. Application :** Dans le montage étudié ci-dessus, le générateur a une impédance de sortie purement résistive :  $Z_g = r$ .

*DONNEES NUMERIQUES :*  $E = 18 \text{ V}$  ;  $r = 25 \Omega$  ;  $Z_u = 5 - 10.j$  (en ohms).

- 1) Calculer la puissance moyenne absorbée par  $Z_u$ .



- 2) Pour transmettre une puissance maximale du générateur ( $e$ ,  $r$ ) à la charge  $Z_u$ , on branche en parallèle avec celle-ci un dipôle passif  $(D)$  à déterminer. Déterminer l'admittance complexe du dipôle  $(D)$  pour que l'adaptation d'impédance soit réalisée. En déduire la nature et la valeur des éléments constituant ce dipôle, sachant que la fréquence vaut 100 Hz.
- 3) Comparer les puissances moyennes absorbées par  $Z_u$  avant et après adaptation d'impédance.