

Travaux Pratiques de l'UE 2E102

« Sources d'énergie électrique et capteurs »



1. Conversion et utilisation de l'énergie solaire	4
2. Conversion d'énergie mécanique en énergie électrique : éoliennes.....	9
3. Conversion d'énergie mécanique, thermique et électrique : piézoélectricité et effet Peltier	17
4. <i>Cool & quiet</i>	21
5. Un opacimètre pour Beer & Lambert.....	27

Les textes de TP sont à préparer avant la séance.

Apporter en TP calculatrice et petit matériel (crayon, règle, etc.).

Le TP3 peut se dérouler avant ou après le TP2, selon les groupes (voir « Enchaînement » dans Moodle/2E102/Organisation).

Il y a un compte-rendu à rédiger mais pas à rendre. Vous en disposerez lors des interrogations de TP (en fin d'ER2 et d'ER3).

Conseils

Critique

Soyez critique envers vos résultats : est-ce qu'ils vous paraissent logiques, en accord avec la théorie ou avec votre bon sens ? Si non, pourquoi (incertitude sur les composants, erreur dans le montage, erreur de lecture sur les appareils, perturbation de la mesure par l'appareil de mesure, erreur dans les calculs théoriques, limite de la théorie, limite de votre bon sens, hypothèses posées dans la théorie non vérifiées dans la pratique, etc.).

Auto-dépannage

Avant d'appeler à l'aide, *cherchez à résoudre votre problème par vous-même*. Par exemple, si votre montage utilise un générateur 10 V, vérifiez au voltmètre qu'il délivre bien 10 V.

Compte-rendu, généralités

Votre compte-rendu doit être *compréhensible et facile* à lire : mettre une introduction et une conclusion générales, reprendre la numérotation de l'énoncé et les principaux titres des différentes parties, faire des tableaux, encadrer ou souligner les résultats importants, etc.

Décrivez l'expérience si ce n'est pas fait (ou partiellement fait) dans l'énoncé : schéma de principe, référence de l'objet caractérisé (par exemple dans le TP1 : quel modèle de panneau solaire, parmi la demi-douzaine à votre disposition, caractérisez-vous ?), grandeurs influentes (par exemple : la température ambiante). Sans ce type d'information, l'enseignant ne pourra pas apprécier vos résultats.

Quand vous donnez un résultat numérique, *dites si c'est un résultat expérimental (une mesure) ou théorique*. N'indiquez que les chiffres significatifs. *N'oubliez pas les unités* : dire que le courant vaut 10 ne donne aucune information sur le courant (10A ? 10mA ?). Utilisez l'unité la mieux adaptée (1 mA plutôt que 0,001 A par exemple). *Respectez la casse des symboles* : A en majuscule pour ampère (ampère avec un a minuscule bien que ce soit une personne, idem pour toutes les unités sauf le Kelvin), M pour méga et m pour mètre, S pour siemens et s pour seconde, etc.

Commentez vos résultats : écart en % avec la théorie quand elle existe ($100[\text{mesure} - \text{théorie}]/\text{théorie}$), explication de l'écart, etc. Pour les résultats les plus importants : explication du phénomène, enseignements à tirer.

Tracés de courbe

Choisissez *l'échelle et l'orientation* (« paysage » : le plus grand côté de la feuille est horizontal, ou « portrait » : le plus grand côté de la feuille est vertical) les mieux adaptées : celles où la courbe tracée est la plus grande possible.

Le graphique doit avoir un *titre* explicite (« Gain G en fonction de la fréquence pour le montage X »), des *libellés d'axes avec unité* (« fréquence [Hz] »), des *échelles* clairement indiquées (généralement sur les axes), une *légende* pour chaque courbe (« gain : en bleu pour R = 10 kΩ, en rouge pour R = 100 kΩ »), les *caractéristiques importantes* de la courbe (un courant maximum, une fréquence de coupure, etc.).

TP1. CONVERSION ET UTILISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE (4h)

L'objectif de ce TP est de caractériser des panneaux solaires et aussi de prendre conscience de la consommation électrique d'appareils utilisés tous les jours. Pour se faire, nous allons les alimenter avec des modules photovoltaïques. Plus la consommation sera importante, plus le module sera grand... Sont disponibles, pour ce TP, différents modules et mini-modules photovoltaïques ainsi que différents appareils. Leurs besoins électriques sont connus. Il faudra caractériser le matériel photovoltaïque afin de connaître la puissance électrique disponible et faire le couplage adéquat entre le générateur et la charge et ainsi éviter un surdimensionnement.

Nous verrons également le principe de fonctionnement de capteurs de rayonnements.

1. Précautions particulières



Le matériel utilisé en TP est très fragile. Il faut le manipuler avec PRECAUTION !

Limitez vos déplacements : les pieds des lampes sont encombrants.



N'éteignez pas les lampes avec l'interrupteur de droite si le ventilateur n'est pas arrêté. Utilisez seulement l'interrupteur de gauche.



Eteignez la lampe lorsque les mesures sont terminées (avec l'interrupteur de gauche), sinon ça chauffe ! Les panneaux peuvent se fendre si trop exposés ! **Ne restez pas sous la lampe (main ou autres).**



Avant de brancher les appareils électriques, vérifiez bien le (+) et le (-) avec un multimètre !

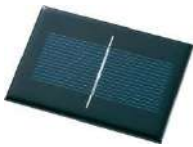





2. Matériel nécessaire

- Modules et mini-modules photovoltaïques
- Lampe
- Appareils électriques
- 2 multimètres
- Potentiomètres et rhéostats

3. Modules photovoltaïques

Nous désignerons par le terme général « panneaux », les modules photovoltaïques, indépendamment de leur taille. Les « mini-modules » sont des panneaux de petite dimension, inférieure à 100 cm². Les « modules » sont des panneaux de plus grande dimension.

a. Mini-modules photovoltaïques

<i>Type</i> <i>Caract.</i> <i>Surface</i>			
	Silicium monocristallin	Silicium polycristallin	Silicium amorphe
	$I_m = ?$ $I_m = ?$ $7,2 \times 9,6 \text{ cm}^2$	$I_m = ?$ $I_m = ?$ $6,6 \times 9,6 \text{ cm}^2$	$I_m = 130 \text{ mA}$ $V_m = 5 \text{ V}$ $17,1 \times 10,0 \text{ cm}^2$
<i>Type</i> <i>Caract.</i> <i>Surface</i>			
	Silicium polycristallin	Silicium monocristallin	Silicium cristallin flexible
	$I_m = ?$ $I_m = ?$ $6,6 \times 9,6 \text{ cm}^2$	$I_m = ?$ $I_m = ?$ $8,0 \times 8,0 \text{ cm}^2$	$I_m = 400 \text{ mA}$ $V_m = 6 \text{ V}$ $18,0 \times 20,0 \text{ cm}^2$


b. Modules photovoltaïques

<i>Type</i> <i>Caract.</i> <i>Surface</i>			
	Silicium monocristallin	Silicium polycristallin	Silicium polycristallin
	$I_m = 290 \text{ mA}$ $V_m = 17,4 \text{ V}$ $21,6 \times 30,6 \text{ cm}^2$	$I_m = 560 \text{ mA}$ $V_m = 18 \text{ V}$ $35,0 \times 26,0 \text{ cm}^2$	$I_m = 290 \text{ mA}$ $V_m = 17,4 \text{ V}$ $20,7 \times 35,0 \text{ cm}^2$
<i>Type</i> <i>Caract.</i> <i>Surface</i>			
	Silicium amorphe	Silicium amorphe	Silicium monocristallin
	$I_m = 500 \text{ mA}$ $I_m = 130 \text{ mA}$ $31,5 \times 46,7 \text{ cm}^2$	$I_m = 100 \text{ mA}$ $V_m = 15 \text{ V}$ $15,0 \times 30,0 \text{ cm}^2$	$I_m = 560 \text{ mA}$ $V_m = 18,0 \text{ V}$ $21,6 \times 30,6 \text{ cm}^2$

4. Appareils électriques

Pour ce TP, nous disposons des appareils suivants :

a. Éclairage

Matériel			
Conso.	4,5 V 5 W	12 V 12 W	12 V 14 20 W

b. Jouets électriques

Matériel			
Conso.	3 V 1,5 W	3 V 0,3 W	12 5 W

c. Informatique

Matériel			
Conso.	15 V 75 W	9 V 12 W	5 V 4 W

d. Musique

Matériel			
Conso.	6 V 6 W	5 V 4 W	9 V 12

5. Manipulation - 1^{ère} partie : Caractérisation des panneaux photovoltaïques

Dans cette partie, nous allons tracer les caractéristiques courant-tension et puissance-tension des panneaux photovoltaïques sous différents éclairagements.

Une lampe va être utilisée, en parallèle, par deux groupes d'étudiants. Éteignez-la entre deux mesures.

Panneau seul

- Mesurer la tension à vide V_{OC} (R infinie sur la figure 1) et le courant de court-circuit I_{SC} ($R = 0$ sur la figure 1) du panneau pour la lampe allumée en position maximale (elle délivre alors $1\,000\text{ W/m}^2$). Comparer aux données-constructeur (si disponibles). Etudier rapidement l'influence des ombrages (cf. TD2). **Attention : ne pas mettre votre main ou un objet en plastique sous la lampe !**
- Calculer une valeur approchée de la charge qui permettrait d'avoir un fonctionnement optimal pour le module à caractériser (vous considérerez que $V_m \approx V_{OC}$ et $I_m \approx I_{SC}$, voir figure 2). Choisir le rhéostat (résistance variable) permettant de relever la caractéristique courant-tension du panneau (figure 2). NB : si vous ne pouvez pas tracer toute la caractéristique avec le rhéostat choisi, vous pourrez compléter en prenant un autre rhéostat (de plus forte résistance maximale ou alors en le plaçant en série au 1^{er}).

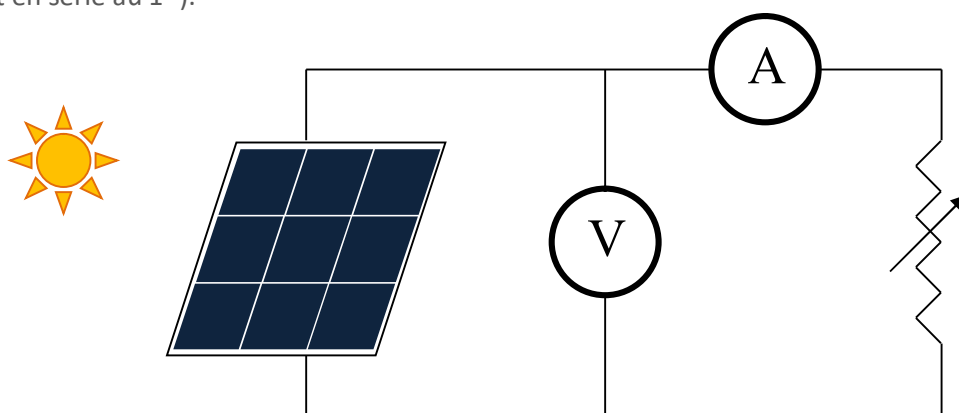
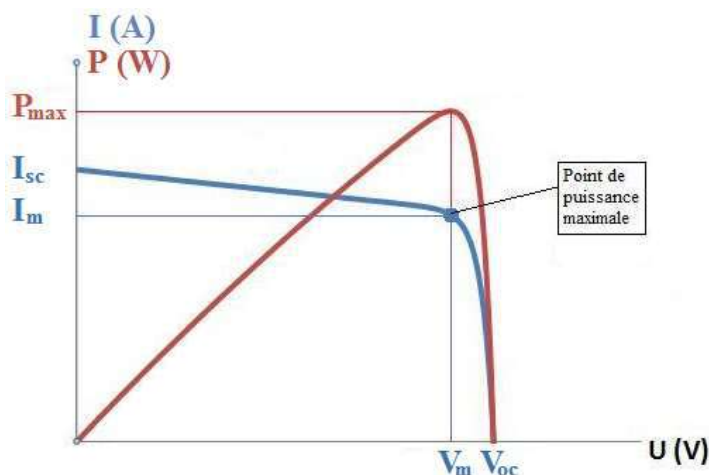


Fig. 1 - Montage électrique pour la caractérisation de panneaux photovoltaïques

- Réaliser le montage ci-dessus. Faire varier la charge aux bornes du panneau photovoltaïque, du court-circuit au circuit-ouvert. Relever la tension et le courant générés.
- Tracer la caractéristique courant-tension du panneau photovoltaïque (au besoin changer/ajouter le/un rhéostat pour accéder aux points $I < I_m$).
- Tracer la caractéristique puissance-tension du panneau photovoltaïque.
- En déduire le courant de court-circuit I_{SC} , la tension en circuit-ouvert V_{OC} , la puissance maximale P_{max} , le courant I_m , la tension V_m et le facteur de forme FF (cf. fig.2).



$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

$$\eta = \frac{I_m \times V_m}{E \times S}$$

Fig. 2 - Caractéristique courant-tension typique d'un panneau photovoltaïque, avec les points importants.

- g. Connaissant l'éclairement, calculer le rendement η du module photovoltaïque.
- h. Retrouve-t-on les données du constructeur ? Expliquer.
- i. Recommencer à partir de la question c pour différents éclairagements, y compris l'éclairement ambiant, c'est-à-dire avec la lampe éteinte.
- j. Qu'en déduisez-vous quant à la variation du courant de court-circuit avec l'éclairement ? Qu'en est-il pour la tension à vide et le rendement ?

Association en série

- k. Monter en série deux mini-modules ou modules photovoltaïques identiques. Mesurer le courant de court-circuit et la tension à vide sous éclairement maximum. En déduire *approximativement* les caractéristiques courant-tension et puissance-tension.
- l. Comment peut-on déduire de ces caractéristiques celles d'un panneau seul ?

Association en parallèle

- m. Monter en parallèle deux mini-modules ou modules photovoltaïques identiques. Mesurer le courant de court-circuit et la tension à vide sous éclairement maximum. En déduire *approximativement* les caractéristiques courant-tension et puissance-tension.
- n. Comment peut-on déduire de ces caractéristiques celles d'un panneau seul ?

Association de mini-modules différents (facultatif : à faire en fin de séance si possible)

- o. Monter, en série ou en parallèle, deux mini-modules ou modules photovoltaïques différents et tracer les caractéristiques courant-tension et puissance-tension en reprenant la procédure précédente.
- p. Que constate-t-on ?
- q. A votre avis, comment est constitué un panneau photovoltaïque (nombre de cellules, montage série, parallèle...) ?

6. Manipulation - 2^{ème} partie : Capteurs d'éclairement

Brancher le panneau photovoltaïque sur l'ampèremètre et le capteur d'éclairement sur le voltmètre. Vérifier que les stores de la salle sont bien fermés.

- a. Pour différents éclairagements, relever la valeur du courant de court-circuit du panneau photovoltaïque et la tension aux bornes du capteur d'éclairement.
- b. Tracer le courant de court-circuit en fonction de la tension du capteur. Que constatez-vous ?
- c. Tracer un deuxième axe des ordonnées à ce graphique représentant l'éclairement. Pour ce faire, vous pouvez vous aider des observations faites dans la 1^{ère} partie, en particulier 5a (rappelez-vous que le courant de court-circuit est proportionnel à l'éclairement).
- d. En déduire la valeur de l'éclairement ambiant.
- e. A votre avis, comment est constitué un capteur d'éclairement ?

7. Manipulation - 3^{ème} partie : Alimentation des appareils électriques

- a. Définir les associations de panneaux photovoltaïques qui permettraient d'alimenter l'ampoule ou la guirlande de LED dont vous disposez.
- b. Faire le montage et demander à l'enseignant de vérifier.
- c. Tester en allumant la lampe, si besoin.
- d. Que se passe-t-il si une ombre passe, si la lumière diminue, si l'angle d'incidence change... ?
- e. Choisir un appareil à alimenter. Mettez-vous d'accord entre les groupes de TP.
- f. Définir les associations de modules photovoltaïques qui permettraient de l'alimenter.
- g. Faire les montages et demander à l'enseignant de vérifier.
- h. Tester.

TP2. CONVERSION D'ENERGIE MECANIQUE EN ENERGIE ELECTRIQUE : EOLIENNES (4h)

Des éoliennes miniatures et domestiques seront étudiées, des capteurs utilisés (anémomètre, capteur à effet Hall, capteur optique).

A. Précautions particulières



Le matériel utilisé en TP est très fragile. Il faut le manipuler avec PRÉCAUTION !
Limitez vos déplacements : les ventilateurs sont encombrants.



Attention aux cheveux longs, foulards, cravates qui pourraient se prendre dans les pales des éoliennes et des ventilateurs.

B. Matériels nécessaires

- Éolienne miniature, éolienne domestique et ventilateur,
- capteur à effet Hall (champ magnétique) et anémomètre (vitesse du vent),
- plaquette Labdec, alimentation DC et oscilloscope,
- composants électroniques (résistances, condensateurs, LED, ampoules).

C. Convertir l'énergie du vent en énergie électrique : théorie

Il y a deux types de conversion à l'œuvre dans une éolienne, auxquelles on associe un rendement :

Ené. mécanique du vent → Ené. mécanique récupérée par l'éolienne → Ené. électrique en sortie de l'éolienne

rendement: $\eta_{MV \rightarrow ME}$ rendement: $\eta_{\text{ME} \rightarrow \text{EE}}$

rendement : $C_p = \eta_{MV \rightarrow ME} \times \eta_{ME \rightarrow EE}$

Conversion énergie mécanique du vent \rightarrow énergie récupérée par l'éolienne :

Le vent est de l'air en mouvement. On peut lui associer l'énergie cinétique suivante :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

où m est la masse du volume d'air (kg), v la vitesse instantanée (m/s) du vent et E_c son énergie cinétique (J). Si on considère que ρ , la masse volumique de l'air, est constante (on supposera : $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$), on peut écrire :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2$$

où V est le volume d'air considéré (m^3).

La puissance du vent traversant le **rotor** (partie tournante : ici, les pales de l'éolienne) correspond à la quantité d'énergie cinétique le traversant en une seconde. En faisant l'hypothèse que la vitesse du vent est identique en chaque point de la surface S balayée par le rotor, on peut écrire :

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

La puissance mécanique récupérée est inférieure puisque cela reviendrait sinon à arrêter le vent. L'allemand Albert Betz a démontré en 1919 que la puissance récupérée *maximale* (i.e. pour une éolienne idéale) est :

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3$$

Le rendement $\eta_{MV \rightarrow ME}$ maximal théorique est donc, d'après les 2 équations précédentes, égale à 16/27, soit environ 59%.

Conversion énergie mécanique récupérée par l'éolienne → énergie électrique en sortie de l'éolienne :

La pièce centrale est ici l'alternateur qui convertit l'énergie mécanique fournie au rotor en énergie électrique à courant alternatif.

Le schéma de la figure 1 est celui d'un **alternateur synchrone triphasé** dont nous allons résumer le principe.

L'aimant permanent est fixé au rotor et est ainsi indirectement entraîné par le vent : le champ magnétique créé par l'aimant est donc aussi tournant. L'alternateur est dit **synchrone** car le champ magnétique a la même fréquence de rotation que celle de l'arbre moteur (l'aimant créant le champ est relié mécaniquement au rotor). Comme le champ magnétique varie avec le temps, il crée un courant électrique dans chacune des 3 bobines (par induction électromagnétique : cf. L3).

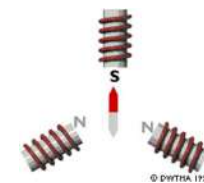


Fig. 1 – Un alternateur triphasé.
L'aiguille est un aimant permanent.

Pour les alternateurs synchrones, la fréquence du signal généré est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'aimant et donc du rotor. Cette vitesse de rotation est appelée n (en tours/s). Le signal dans un des bobinages a une pulsation ω (en rad/s) et une fréquence f (en Hz) telle que :

$$\omega/2\pi = f = n \times p$$

où p est le nombre de paires de pôles du rotor (une paire de pôles est un aimant avec un pôle Nord et un pôle Sud). Dans l'exemple de la figure 1 $p = 1$ puisqu'il n'y a qu'un aimant (ce qui ne sera pas le cas pour les éoliennes étudiées dans le TP) : la fréquence de rotation du rotor (et donc de l'aimant) et la fréquence des signaux électriques générés dans les 3 bobines sont donc, dans ce cas, identiques ($f = n$).

Les 3 bobines sont décalées de 120° les unes par rapport aux autres. Ainsi, les 3 tensions générées sont déphasées de $2\pi/3$:

$$\begin{aligned} V_1 &= V\sqrt{2} \times \sin(\omega t) \\ V_2 &= V\sqrt{2} \times \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_3 &= V\sqrt{2} \times \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

où V est la valeur efficace des tensions. On parle de système de tension (ou de courant) **triphasé** : il y a 3 « phases » (V_1 , V_2 et V_3).

Généralement, afin d'obtenir un signal DC, un redressement triphasé à double alternance est réalisé en utilisant un montage en pont de Graetz (cf. figure 2). V_1 , V_2 et V_3 sont par exemple les 3 tensions disponibles aux bornes des 3 bobines de l'alternateur de la figure 1. Ce type de redresseur sera approfondi dans les UE d'électronique analogique.

Résumons sur la figure 3 la réponse de ce redresseur avec un système triphasé sinusoïdal en entrée.

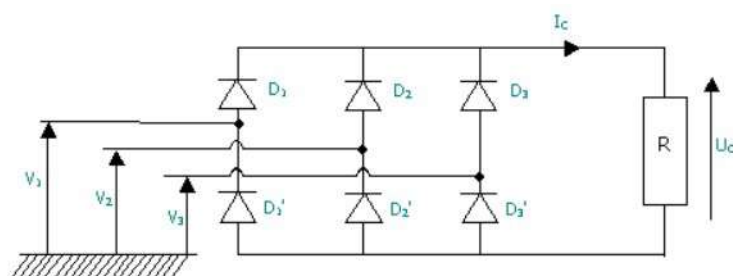


Fig. 2 – Montage du redresseur triphasé :
3 signaux sinusoïdaux déphasés de 120° en entrée, 1 signal DC en sortie. © ?

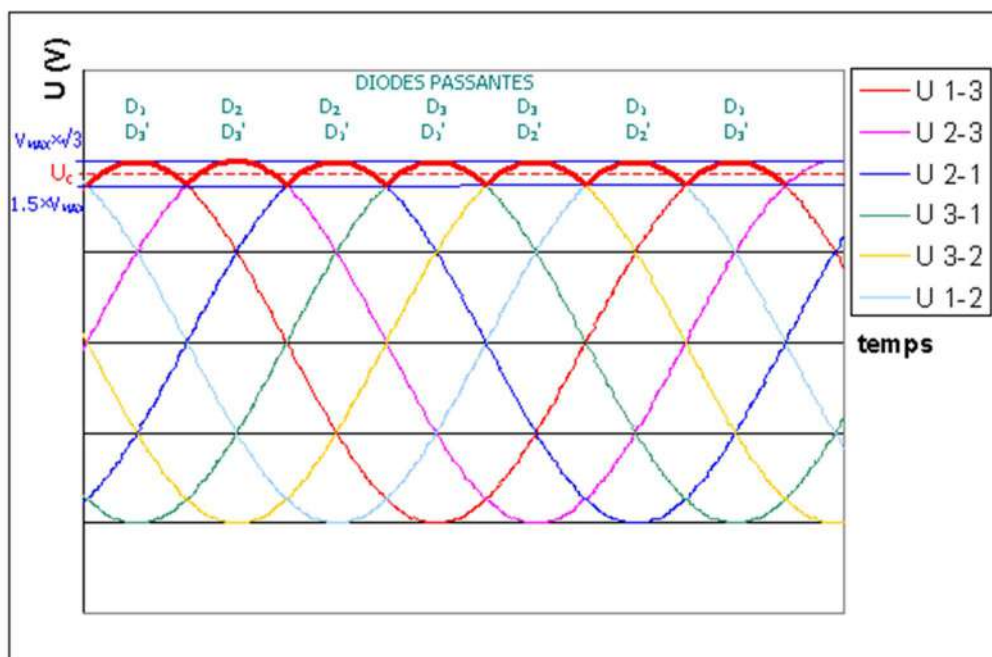


Fig. 3 – Représentation des phases et du signal redressé. $U_{1-3} = V_1 - V_3$, etc. © ?

La tension de sortie DC, appelée sur les figures 2 et 3 U_c , s'approche d'une tension continue constante et peut être caractérisée par 4 valeurs : fréquence, tension minimale, tension moyenne et tension crête (maximale).

Le rendement $\eta_{ME \rightarrow EE}$ est bien sûr inférieur à 100% : il dépend en particulier de l'alternateur (pertes, monophasé/triphasé...), du type de redresseur et de la charge en sortie.

Bilan :

Le rendement total (énergie électrique en sortie/énergie mécanique du vent) est usuellement appelé **Cp pour coefficient de puissance ou coefficient de performance**. Il indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie mécanique du vent en électricité : il est donc toujours inférieur à 59% puisque c'est le produit de $\eta_{MV \rightarrow ME}$ par $\eta_{ME \rightarrow EE}$.

D. Manipulations

1. Atelier 1 : Mini éolienne

Cet atelier exploite une éolienne miniature équipée d'un **alternateur synchrone triphasé**. Dans le cadre de l'atelier, le vent est créé par un ventilateur de bureau.

Le dispositif expérimental est le suivant (figure 4).

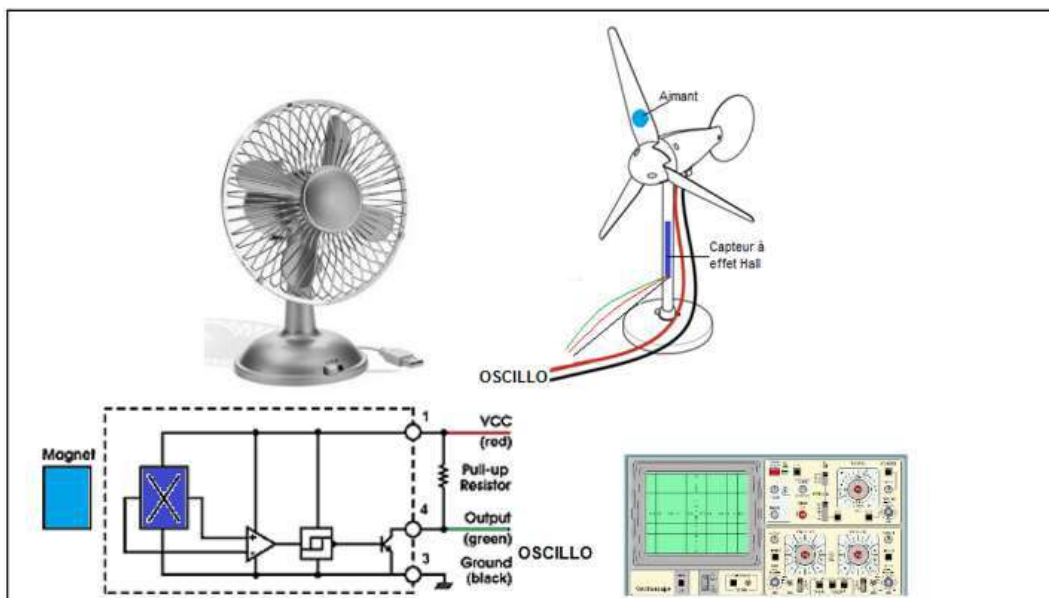


Fig. 4 – Dispositif expérimental : ventilateur, éolienne, capteur à effet Hall, oscilloscope.

- Placez le ventilateur de façon que, pour un régime donné de celui-ci, la tension générée par l'éolienne soit maximale (à visualiser sur l'oscilloscope). Vous garderez par la suite cette distance optimale.
- Vous allez mesurer la vitesse de rotation du rotor avec l'aide d'un capteur à effet Hall. Le capteur à effet Hall permet de détecter des variations de champ magnétique. Pour générer un champ magnétique, on utilise un aimant miniature fixé sur le rotor. Le passage du capteur devant l'aimant génère une transition vers un niveau bas et en définitive un signal périodique dépendant de la vitesse de rotation du rotor. **Attention : ce capteur et cet aimant ne doivent pas être confondus avec les aimants servant à générer une tension en sortie de l'éolienne (aimants de l'alternateur) ou avec cette tension !**

Câblez sur la Labdec le capteur suivant le schéma de la figure 4 et avec l'aide de la documentation (Cherry MP1014 – Annexe 2). Vous l'alimenterez en $VCC = 5V$. La valeur de résistance de Pull-up (« pull-up resistor » sur la fig.4) est à relever dans l'annexe 2.

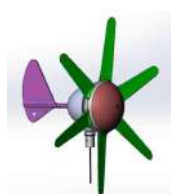
Relevez simultanément le signal de sortie du capteur à effet Hall (entre Output, fil vert et la masse) et la tension délivrée par l'éolienne (sortie de l'alternateur : fil rouge et fil noir). Vous mesurerez la fréquence des deux signaux ainsi que la valeur moyenne de la tension délivrée par l'éolienne pour différentes vitesses du vent.

Cette éolienne comprend-elle, en plus de l'alternateur, un redresseur ? Quelle est la fréquence d'une phase de l'alternateur (vous vous aiderez de la figure 3). En déduire le nombre de paires de pôles du rotor.

- Branchez successivement aux bornes de la sortie de l'éolienne, par l'intermédiaire de la Labdec, une résistance dite « de charge » de 47Ω , 100Ω , $1k\Omega$ puis $10k\Omega$. Relevez la fréquence des pales et la tension moyenne obtenue en fonction de la vitesse du vent. En déduire la puissance électrique fournie par l'éolienne et un ordre de grandeur de son coefficient de puissance C_p pour la résistance donnant le maximum de puissance électrique et pour les différentes vitesses de vent. Concluez sur la qualité de cette éolienne purement pédagogique ou ludique. Commentez l'évolution de la fréquence avec la résistance. A quoi ce phénomène pourrait servir dans la pratique ?

- d. A la place de la résistance de charge ajoutez maintenant une DEL ou LED (Diode ElectroLuminescente ou Light-Emitting Diode) permettant de visualiser le passage du courant et symbolisant un dispositif alimenté par l'éolienne sur la sortie du redresseur (attention au sens de passage de la DEL) et faites varier la vitesse du vent. Estimez l'ordre de grandeur de la tension de seuil de la LED.
- e. Pour améliorer le redressement vous pouvez lisser le signal en ajoutant en parallèle à la résistance de charge (par exemple celle de 100Ω) un condensateur (attention au sens du courant s'il est polarisé). Observez le résultat avec des différentes capacités, par exemple 220nF et $330\mu\text{F}$ (ordres de grandeur). Estimez le taux d'ondulation $[(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})/V_{\text{moy}}]$ avec et sans condensateur.
- f. Montez deux éoliennes en série et sans charge. Expliquez.
- g. Quels dispositifs pourraient par exemple être alimentés par cette (ces) mini-éolienne(s) ?

2. Atelier 2 : Eoliennes réalistes horizontale (90W)



L'étude d'une éolienne réaliste pour usage domestique, servant par exemple à recharger une batterie, est l'objet de cet atelier. Classiquement, une éolienne à usage personnel de faible puissance est reliée à une batterie (ou à un réseau de batteries) qui servent à alimenter un onduleur ($12\text{V DC} \rightarrow 220\text{V AC}$) ou directement des appareils électriques fonctionnant en 12V . Dans le cadre du TP, la tension nominale de 12V n'étant pas atteinte pour les faibles résistances (trop peu de vent), la recharge d'une batterie 12V ne sera pas traitée. La documentation constructeur est donnée en annexe 3. Le vent est fourni par un puissant ventilateur à 2 vitesses. **La sortie est monophasée**, en opposition au triphasé vu de l'atelier 1.



La vitesse de rotation des pales peut blesser. Attention donc aux cheveux longs, cravates, foulards, bras, mains qui pourraient se prendre dans les pales. Ne pas rester trop près de l'éolienne en fonctionnement. Attention aussi aux courants produits.

- a. Placez le ventilateur de façon que, pour un régime donné de celui-ci, la tension générée par l'éolienne soit maximale (tension entre le plot rouge et le plot noir à visualiser sur l'oscilloscope). Vous garderez par la suite cette distance optimale.
- b. Relevez la vitesse du vent au niveau de l'éolienne (avec toutes les incertitudes de la méthode) pour les deux régimes du ventilateur. En déduire les puissances du vent associées.
- c. La vitesse des pales est mesurée grâce à un capteur optique dont la sortie est entre les plots vert et noir (le capteur est aussi alimenté en 5V : entre le plot rouge et le plot noir du capteur). Déduire de l'observation de ce capteur son principe de fonctionnement. Visualisez à l'oscilloscope le signal issu de ce capteur.
- d. Dans un premier temps on fera des mesures à vide (sans charge). Visualisez la tension avant (entre les 2 plots jaunes) puis (pas en même temps car la masse des 2 signaux n'est pas commune) après (plots rouge et noir) le boîtier de régulation de l'éolienne : en déduire le rôle de ce boîtier. Relevez la fréquence des signaux (tension générée par l'éolienne et sortie du capteur optique). En déduire le nombre de pôles de l'éolienne et le type de redressement. Relevez le taux d'ondulation $[(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})/V_{\text{moy}}]$ obtenu. Ajoutez en sortie de l'éolienne (plot rouge-masse) un condensateur de capacité $330\mu\text{F}$ (ordre de grandeur) (attention au sens : condensateur polarisé). Le taux a-t-il été amélioré ? Vous garderez par la suite ce condensateur.

- e. Éolienne en charge. Vous utiliserez une résistance variable supportant de forts courants (rhéostat) (ou si ce n'est pas disponible des résistances supportant de fortes puissances). Avec l'ohmmètre, vérifiez la plage de résistance possible. Branchez la résistance sur la sortie de l'éolienne (donc en parallèle avec le condensateur). **FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT AVANT D'ACTIVER LE VENTILATEUR.** Faites des relevés de résistance, tension moyenne, puissance électrique moyenne (déduite), fréquence des pales, vitesse du vent, pour les deux régimes du ventilateur. Expliquez en particulier l'évolution de la fréquence avec la résistance (cf. Atelier 1 §c). Pour le régime maximal du ventilateur, tracez la puissance électrique moyenne pour différentes valeurs de résistances. Observez-vous une valeur optimale ? Concluez.
- f. Évaluez l'ordre de grandeur du coefficient de puissance C_p pour la résistance donnant le maximum de puissance électrique et pour les deux vitesses de vent. Comparez aux C_p déduits de la courbe caractéristique de la documentation fournie en annexe 3. Commentez.
- g. Branchez différentes ampoules 12V (1W, 10W, 20W). Expliquez.

Annexe 1 : Éolienne miniature BE-MINIEOL-A

Livrée en kit (temps de montage : 5 minutes, sans soudage).

Hauteur : 26 cm.
Envergure : 30 cm.

Pales d'hélices en polypropylène.
Le moyeu permet d'accueillir jusqu'à 6 pales.
Carte électronique de redressement incluse.
Fonctionne avec un véritable mini-alternateur.
- A 2 000 tr/mn : 1 W ; 10 V ; 100 mA.
- A 1 000 tr/mn : 5 V ; 50 mA.
- Démarrage de l'éolienne à vent 1,6 m/s.
- Production d'électricité à partir de vent 2,2 m/s.



Annexe 2 : Documentation sur le capteur à effet Hall

MAGNETIC SENSOR

MP1014 Series

Digital Hall-effect proximity sensor in low-profile flange mount housing.

Features

- Capable of millions of operations.
- Meets IEC529 IPx5 for water protection.
- Reverse batter protection to -24VDC.
- MP101402 provides highly sensitive unipolar switching.
- MP101403 latches in presence of south pole and unlatches in presence of north pole magnet.
- ESD protected to +/- 6kV
- MP101401 and MP101402 interface with AS10001 magnet

Applications:

- Door position sensing
- Flow sensing
- Pedal Switch

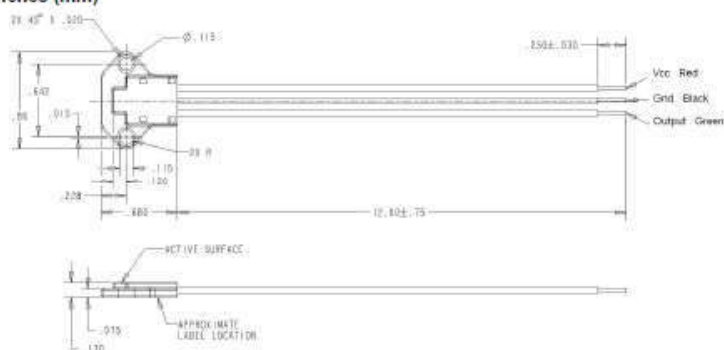


Specifications

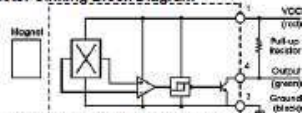
Part Number	Operating Voltage Range (VDC)	Supply Current (mA max)	Output	Output Saturation Voltage (mV max)	Output Current (mA max)	Operating Temperature Range (°C)	Function	Operate Point Gauss (max)	Release Point Gauss (min)
MP101401	4.5 - 18	5.2	3-wire sink	400	20	-40 to 85	Unipolar Switch	139	47
MP101402	4.5 - 24	5.2	3-wire sink	400	20	-40 to 85	Unipolar Switch	70	50
MP101403	4.5 - 24	5.2	3-wire sink	400	20	-40 to 85	Bipolar I prob.	100	-100 (tst/tst)

Notes: These sensors require the use of an external pull-up resistor, the value of which is dependent on the supply voltage. Pull-up resistor should be connected between output (Green) and Vcc (Red).

Dimensions inches (mm)



Open Collector Sinking Block Diagram



Specifications subject to change without notice.

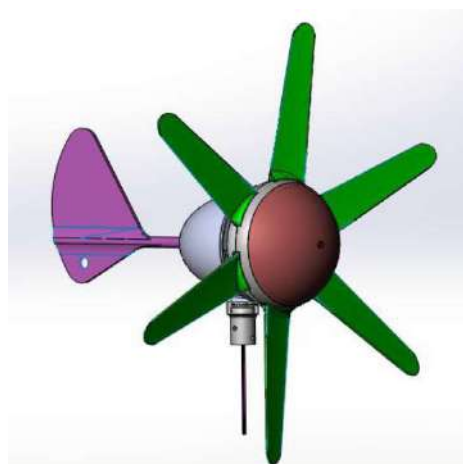
Recommended pull-up resistor values:

Volt DO	5	9	12	15	24
Ohms	1K	1.8K	2.4K	3K	3K

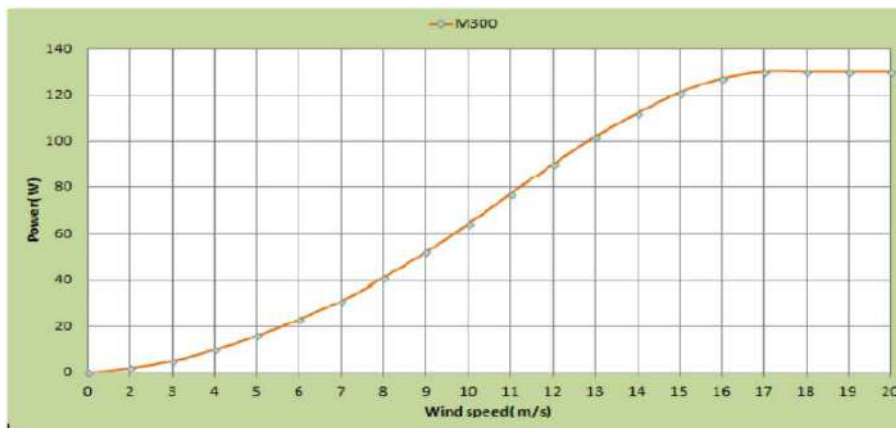
Last Updated 072612

Annexe 3 : Eolienne M300 - Caractéristiques constructeur.

Modèle M-300
Marque GUANGMANG
Puissance nominale (W) 90
Puissance maximale (W) 300
Tension nominale(DCV) 12/24
Vitesse du vent démarrage (m/s) 1.5
Vitesse de mise en sécurité 45
Type de génératrice PMG
Diamètre du rotor 0.82
Nombre de pales 6



Puissance électrique disponible (W) en fonction de la vitesse du vent (m/s)

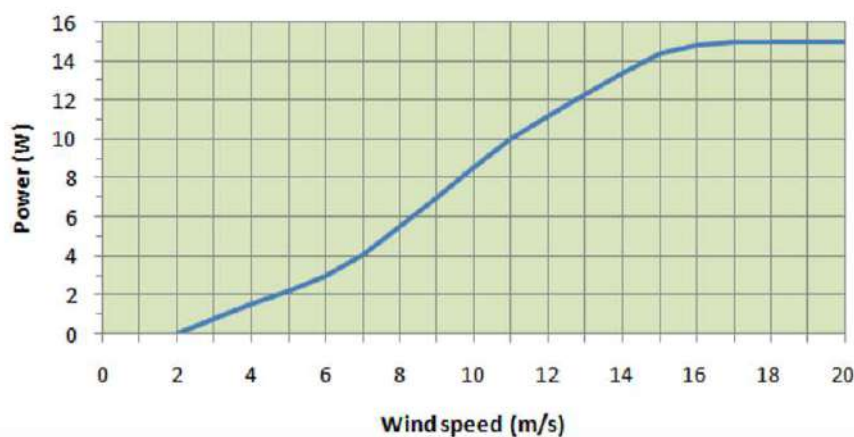


Annexe 4 : Eolienne verticale SAV 15W - Caractéristiques constructeur.

Technical Specification:

Performance	
Rated power	10W @10m/s
Peak power	15W
Start-up wind speed	2m/s
Working wind speed	3-20m/s
Survival wind speed	35m/s
Noise	≤40dB
Rotor	
Rotor diameter	310mm
Swept area	0.1m ²
Blade	5pcs aluminium alloy
Blade length	300mm
Shell material	Erosion resistant aluminum
Rated RPM	400
Weight	2.3KG
Others	
Generator type	3-phase AC PM, gearless
Speed regulation & protection	overvoltage charge controlling
Controller rated voltage	DC 12V
Suggested battery capacity	1pcs 7AH/12VDC
Suggested tower	3-4m guyed cable tower
Working temperature	-30-50°C

SAV-15W Power curve



TP3. CONVERSION D'ÉNERGIES MÉCANIQUE, THERMIQUE ET ÉLECTRIQUE : PIEZOELECTRICITE ET EFFET PELTIER (2h)

Un seul des deux thèmes à traiter (soit piézoélectricité, soit effet Peltier).

Les deux autres heures se passent en séance de tutorat pour la recherche bibliographique.

Des exemples de conversion de l'énergie électrique en énergie thermique et inversement (module Peltier) et de l'énergie mécanique en énergie électrique (système piézoélectrique) seront étudiés.

1. Modules Peltier

Un module thermoélectrique à effet Peltier est constitué de «couples» connectés en série électriquement et en parallèle thermiquement. Chacun des couples, ou thermo-élément, est constitué de barreaux de matériau semi-conducteur de type p et de type n. Les branches (p et n) des couples composant le module sont jointes par une soudure et un matériau conducteur, et fixées entre deux substrats céramiques qui présentent deux faces, l'une dite froide et l'autre chaude. La figure 1 représente la composition d'un module Peltier.

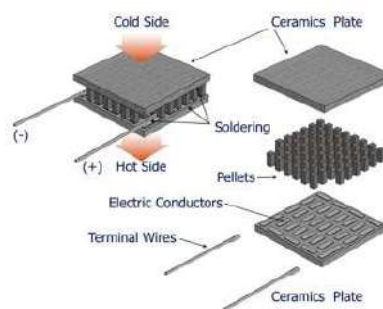


Fig. 1 – Module thermo-électrique à effet Peltier.

Ces modules thermoélectriques peuvent être étudiés :

- soit comme des générateurs thermoélectriques, comme nous le verrons dans la partie A,
- soit comme des modules réfrigérants ou chauffants lorsqu'ils sont alimentés, dans la partie B.

Rappels sur l'effet Seebeck:

Dans le cas d'un thermo-élément unique, on a :

$$\Delta V_1 = V_P - V_N = \int_{T_F}^{T_C} S_{PN}(T) dT$$

où T_C est la température de la face chaude et T_F celle de la face froide.

En définissant un coefficient de Seebeck relatif moyen $S_1 = \overline{S_{PN}}$ dans l'intervalle de température ($\Delta T = T_C - T_F$) exploré, on a :

$$S_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta T}$$

et la mesure de la différence de potentiel ΔV aux bornes du module qui comprend 127 thermo-éléments (127 barreaux N et 127 barreaux P) donne ainsi :

$$S_1 = \frac{\Delta V}{127 \Delta T}$$

Partie A : Générateur thermoélectrique, mise en évidence de l'effet Seebeck.

a. Installez le kit démonstrateur (cf. la figure 2) :

- Enduisez les deux faces du module Peltier de pâte thermique.
- Coincez le module Peltier entre les deux plaques d'aluminium à l'aide de la pince.
- Positionnez les deux plaques d'aluminium de façon que chacune soit dans un bac en plastique.
- Connectez les fils connectés au module Peltier à ceux du moteur – ventilateur
- Versez de l'eau froide et quelques glaçons dans l'un des bacs.
- Versez de l'eau chaude dans l'autre bac.

Décrivez ce qui se passe.

b. Sortez le kit de l'eau et retournez-le : les côtés froid et chaud du module Peltier seront inversés. Décrivez et expliquez ce qui se passe.

c. Mesure de la tension générée par l'effet Seebeck :

- Déconnectez le moteur du module Peltier.
- Connectez le module au voltmètre afin de mesurer la tension aux bornes du module. Qu'observez-vous ?
- Remettez de l'eau bien froide et de l'eau bien chaude pour revenir à un écart de température le plus grand possible au moment de débiter vos mesures.
- Vous mesurerez la température des deux faces du module Peltier à l'aide du thermomètre infrarouge en visant la plaque d'aluminium en contact avec chaque face. Vous marquerez ces plaques d'aluminium d'un point noir au feutre et vous viserez cette surface noire pour une meilleure mesure.

Complétez un tableau, tel le tableau 1, en prenant régulièrement des mesures au fur et à mesure que la différence de température entre les deux faces décroît.

Tracez une courbe $\Delta V = f(\Delta T)$ sur papier libre.

Quelle allure a-t-elle ? Pourquoi ?

Calculez le coefficient Seebeck relatif moyen des thermo-éléments.



Fig. 2 – Montage démonstrateur : générateur thermoélectrique.

ΔV	T1	T2	ΔT

Tab. 1 – Tableau de mesures pour le générateur Seebeck.

Partie B : Modules réfrigérants.

Dans cette partie, on va alimenter le module Peltier afin de refroidir l'une de ses faces. Ce genre de module est utilisé pour refroidir des processeurs d'ordinateur par exemple ou pour des applications biomédicales (maintien d'un tissu à une température basse). Un exemple fréquent est également la glacière se branchant sur la prise allume-cigare d'une voiture.

- a. - Démontez le montage précédent.
- Remettez de la pâte thermique sur une des faces du module et placez-la sur un radiateur (dissipateur thermique). Ce dissipateur sera placé dans un bac.
 - Le bac doit ensuite être rempli d'eau froide de manière que le niveau d'eau arrive un peu en dessous de la face supérieure du radiateur (cf. la figure 3).

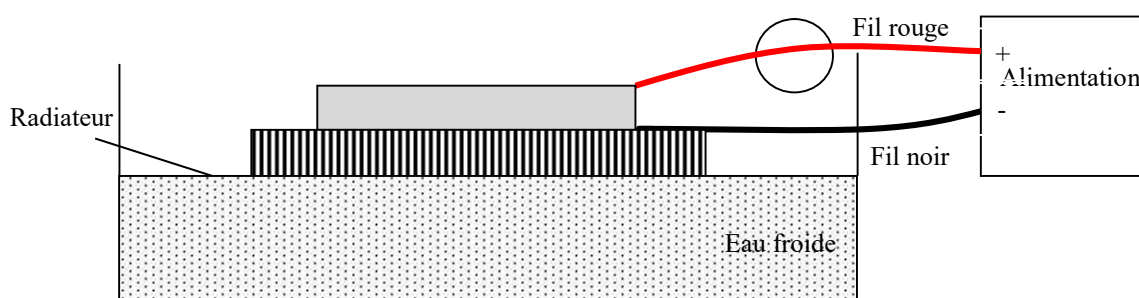


Fig. 3 – Montage du module Peltier.

- Connectez le fil rouge du module à l'entrée « + » d'une alimentation, le fil noir à l'entrée « - ». Insérez un ampèremètre pour mesurer le courant passant dans le module Peltier.

Pour chaque couple de valeurs (tension V , courant I) alimentant le module Peltier, vous devrez mesurer la température des deux faces du module. Pour cela, vous viserez avec le thermomètre infrarouge le milieu de la face supérieure (en ayant fait un point noir au feutre) puis la surface du dissipateur thermique en contact avec la seconde face du module. Pour chaque valeur de courant, attendez l'équilibre thermique, c'est-à-dire quand la température de la face supérieure ne varie plus (quelques minutes).

Remplissez un tableau, tel le Tableau 2, avec vos valeurs de mesures.

Tracez la courbe $\Delta T = f(I)$ sur papier libre.

Que remarquez-vous ?

I (A)	V (V)	T1	T2	ΔT

Tab. 2 – Tableau de mesures pour le module Peltier.

2. Conversion d'énergie par matériau piézoélectrique

Afin de récupérer l'énergie vibrationnelle pour alimenter un dispositif autonome miniature, on utilise une masse inertielle reliée à une poutre en résonance de flexion sur laquelle une céramique piézoélectrique fine est déposée. Pour ce TP, on utilisera un dispositif macroscopique comparable.

Fixer le socle du dispositif sur la table à l'aide de serre-joints. Attention : tout au long de la séance, ne pas brutaliser le dispositif.

- Brancher l'oscilloscope aux bornes de la céramique piézoélectrique. Observer le signal lorsque vous mettez la poutre en mouvement (enfoncer la masse jusqu'à toucher le socle puis relâcher la poutre d'un coup sec). Mesurer la fréquence f_0 , la pulsation ω_0 , l'amplitude initiale V_{MAX} (amplitude maximale) et l'amortissement des oscillations (écart en % entre deux tensions maximales séparées d'une période).
- Brancher une résistance de charge R aux bornes de la céramique piézoélectrique. La résistance totale aux bornes de la céramique sera appelé R_{eq} , résistance équivalente à R en parallèle à R_{OSC} , la résistance de l'oscilloscope. Relever l'amplitude V_{MAX} des oscillations pour $R = 10\text{ k}\Omega$ et $220\text{ k}\Omega$, en appuyant toujours de la même façon (toucher le socle avec la masse, relâcher d'un coup sec). En déduire une estimation de la capacité apparente C_0 de la céramique piézoélectrique.

Méthode :

Soit P la puissance fournie à R_{eq} . En régime sinusoïdal

$$P = |V|^2 / 2R_{eq}$$

avec $|V| = V_{MAX}$ (cf. cours n°5 de Marc Hélier).

Vous admettez (démonstration sur demande) que

$$P = KR_{eq}\omega_0^2 / (1 + (R_{eq}C_0\omega_0)^2)$$

où K est un coefficient de proportionnalité **dont vous déterminerez l'unité en S.I.**

Les deux inconnues sont C_0 et K : vous avez donc besoin de 2 points de mesure pour les déterminer.

Placez-vous d'abord à $R = 10\text{ k}\Omega$, on a alors $1 \gg (R_{eq}C_0\omega_0)^2$ (hypothèse à vérifier quand vous aurez trouvé C_0) : vous pouvez alors déterminer K . Placez-vous ensuite à $R = 220\text{ k}\Omega$, la seule inconnue est alors C_0 .

Réaliser maintenant le circuit de la figure 4 pour obtenir une tension continue à peu près constante (redressement + filtrage). Vous prendrez $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ et dans un 1^{er} temps R infinie.

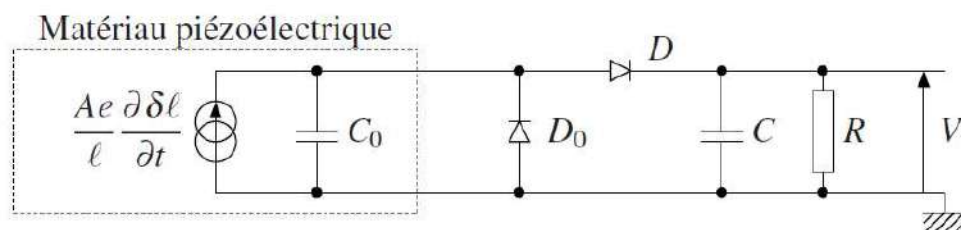


Fig. 4 – Conversion d'une énergie mécanique en une énergie électrique.

- Mettre la poutre en mouvement (enfoncer la masse jusqu'à toucher le socle puis relâcher la poutre d'un coup sec). Observer le signal V . En déduire l'énergie transférée à C en considérant que $V = V_{MAX} = \text{constante}$ (en fait V n'est pas constante car l'oscilloscope a une résistance interne qui n'est pas infinie : le condensateur se décharge donc dans R_{OSC}). On rappelle que l'énergie emmagasinée dans le condensateur vaut dans ce cas $CV_{MAX}^2/2$. Sachant que la raideur de la poutre $k = 860\text{ N/m}$ et que l'énergie mécanique emmagasinée dans la poutre au moment du relâchement est $ky_0^2/2$ (y_0 est l'excursion maximale de la poutre : à mesurer), déterminer le coefficient de conversion du dispositif (rapport de l'énergie électrique stockée dans C et de l'énergie mécanique emmagasinée dans la poutre). Commenter.
- Ajouter une résistance de charge $R = 100\text{ k}\Omega$ (représentant l'impédance d'entrée du circuit à alimenter). Quelle est la constante de temps du circuit RC ? Est-elle appropriée ? Représenter $V(t)$ et commenter.
- En présence de R , comment pourrait-on garder la tension constante aux bornes de la résistance ? Faire l'expérience. Dans quel contexte pourrait-on mettre en œuvre ce dispositif ?

TP4. COOL & QUIET (4h)

L'objectif est de réaliser un montage pour refroidir un circuit électronique grâce à un ventilateur. Un exemple d'utilisation de ce type de montage est le refroidissement du microprocesseur d'un PC (ici « représenté » par une résistance chauffante). Pour éviter que le ventilateur génère un bruit de fond désagréable en fonctionnant en permanence, un système de régulation sera mis en place pour démarrer le ventilateur lorsque la température dépasse un certain seuil et l'arrêter lorsque celle-ci est acceptable.

NB : la courbe $R(T)$ de la CTN (voir fascicule de TD) sera nécessaire.

Le synoptique est le suivant (fig.1) ainsi que la schématique du circuit de détection (fig.2). Ce circuit sera réalisé progressivement, chaque partie testée avant de passer à la suivante.

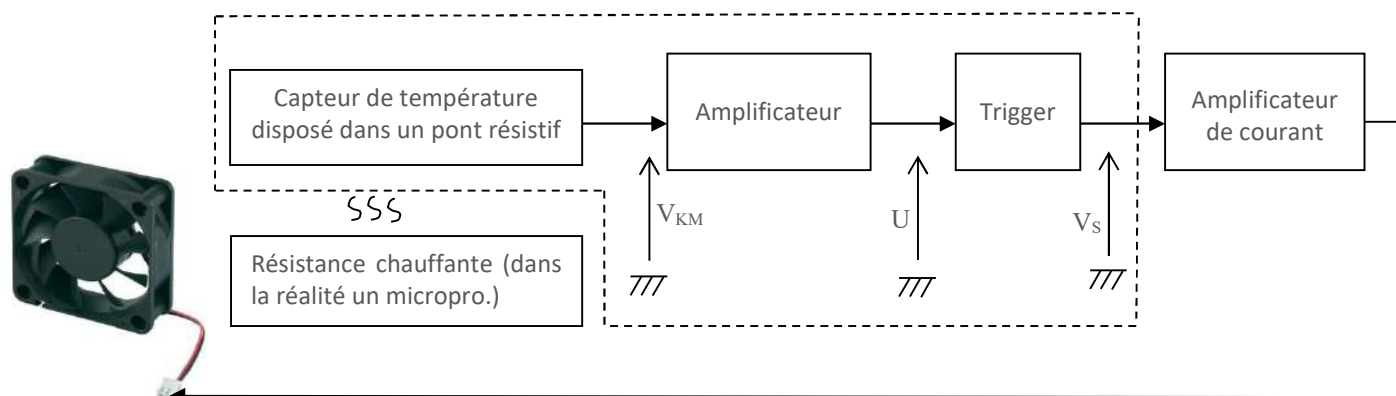


Fig. 1 – Montage complet ; entouré de pointillés : le circuit de détection présenté sur la fig.2.

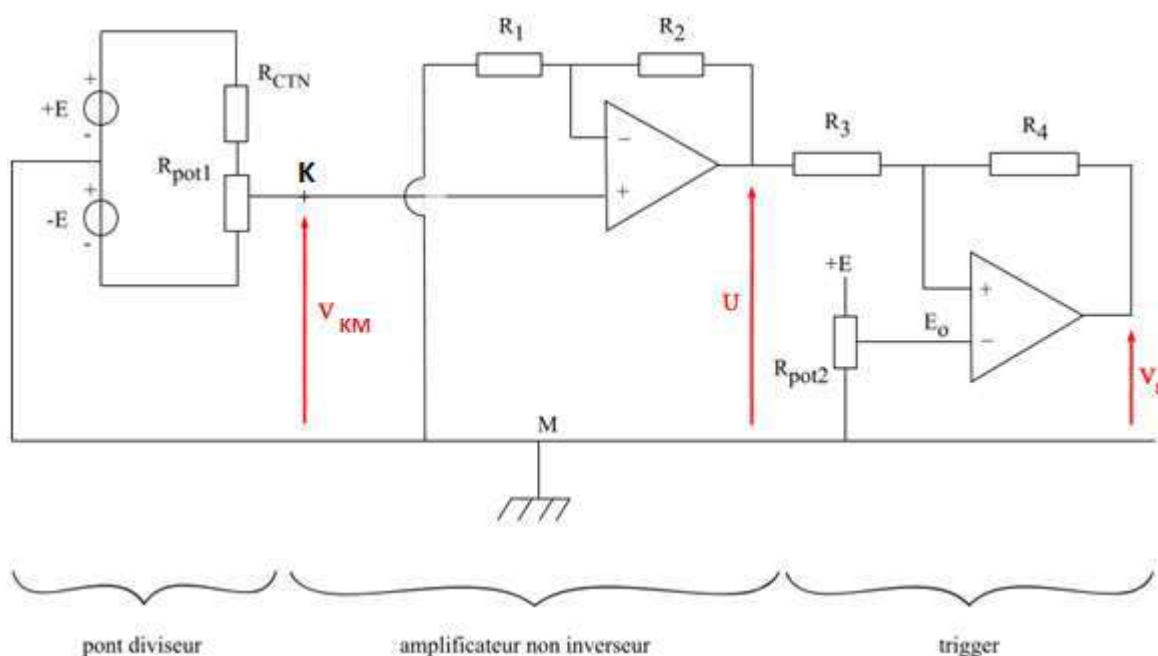


Fig. 2 – Circuit de détection.

1. Rôle des modules de la fig.1 (rappel)

Capteur de température disposé dans un pont résistif et Résistance chauffante

Le capteur utilisé est une thermistance CTN (thermistance à Coefficient de Température Négatif). La CTN et le dispositif de chauffage, une résistance de $100\ \Omega$ supportant $1\ \text{W}$, sont solidaires. La température de l'air mesurée par le capteur sera augmentée par le passage dans cette résistance d'un courant délivré par une alimentation continue (effet Joule). Le refroidissement sera assuré par le ventilateur placé à proximité de l'ensemble CTN - dispositif de chauffage. La CTN est placée dans un pont diviseur de tension. L'augmentation de température va engendrer une diminution de la valeur de la thermistance et une augmentation de V_{KM} . De manière arbitraire, V_{KM} sera réglée à $0\ \text{V}$ à la température ambiante (les calculs du TD sont faits en imposant cette condition).

Amplificateur non inverseur

Les variations de V_{KM} pour des températures allant d'environ 20°C à 50°C sont faibles. Elles doivent donc être amplifiées pour être exploitables. La connexion du pont résistif à l'amplificateur ne modifie pas V_{KM} car l'amplificateur non inverseur présente une impédance d'entrée infinie.

Trigger

La tension de sortie U de l'amplificateur *pourrait* être utilisée : le ventilateur serait actionné quand une valeur seuil de U serait atteinte. Le ventilateur positionné au voisinage de la thermistance la refroidirait immédiatement ce qui provoquerait de suite son arrêt. Or, le chauffage pouvant être permanent, la température d'enclenchement du ventilateur serait de nouveau atteinte très rapidement : le ventilateur changerait alors de régime (marche/arrêt) constamment. Il convient donc de choisir une température de mise en route (40°C par exemple) et une température d'arrêt du ventilateur (35°C par exemple) suffisamment éloignées pour éviter ces changements de régime incessant. La plage de températures est alors définie par des seuils (35°C - 40°C). Le circuit électronique qui permet d'introduire cette notion de seuils est un montage trigger.

Amplificateur de courant et ventilateur

Le trigger ne délivre pas en sortie un courant suffisant pour le ventilateur. Il est donc nécessaire d'amplifier ce courant. Le ventilateur se met en route lorsqu'il est soumis à une tension minimale de $6\ \text{V}$. Ainsi, quand la sortie du trigger vaut environ $-12\ \text{V}$ le ventilateur est à l'arrêt et quand elle vaut $+12\ \text{V}$ il est activé.

2. Matériels

Un ensemble « CTN + résistance chauffante » (1 par étudiant).

La CTN (composant bleu avec bout orange ou composant tout bleu) est placée à proximité de la résistance chauffante de $1\ \text{W}$ - $100\ \Omega$ (composant noir). Notons que « $1\ \text{W}$ » signifie que la puissance dans cette résistance ne doit pas dépasser $1\ \text{W}$. En appliquant directement une tension allant de 0 à $8\ \text{V}$ aux bornes de la résistance chauffante, la température mesurée par la CTN variera de la température ambiante à 80°C environ (il ne faudra donc pas toucher ces deux résistances sous peine de brûlure).

Un circuit « Amplificateur de courant commandant le ventilateur ».

L'amplificateur de courant est commandé par V_s (tension de sortie du trigger): V_s est sur la fiche « A », le ventilateur entre la fiche « C » et la fiche « + ». Le circuit est également à alimenter : fiche « + » à $+12\ \text{V}$ et fiche « - » à $-12\ \text{V}$. La fiche « M » est à la masse. Une LED verte s'allume lorsque le ventilateur fonctionne (i.e. quand $V_s = V_{\text{SAT}+}$).

Un ventilateur.

Remarque : Les composants devront être placés de manière ordonnée. Il faudra en particulier laisser de la place pour brancher à la fin l'amplificateur de courant.

3. Polarisation du circuit TL082

Le circuit intégré TL082 comprenant deux AOP doit avant tout être alimenté (en ± 10 V dans ce TP), ceci quelque soit le montage envisagé par la suite.

Brochage du circuit intégré TL082

Le circuit intégré TL082, dont le brochage est donné ci-dessous (fig. 3), contient deux amplificateurs opérationnels avec alimentation commune.

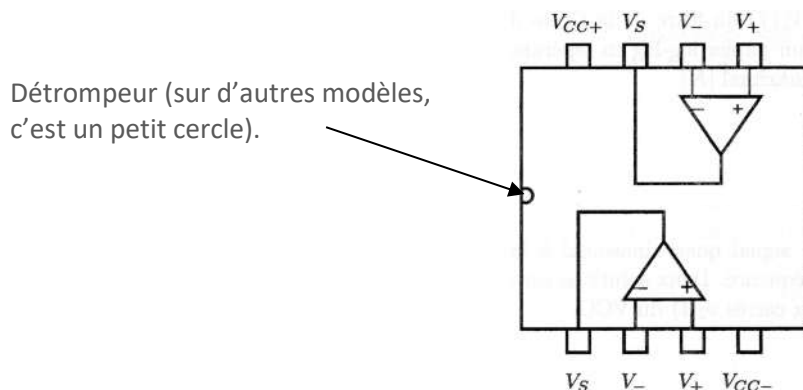


Fig. 3 – Brochage du TL082 (vue de dessus).

Utilisation des générateurs de tension continue

Les sources continues sont utilisées pour réaliser des lignes sur la plaquette à 12 V et -12 V par rapport à la masse (utiles pour l'alimentation du circuit intégré contenant l'AOP) ainsi que E_1 pour le montage trigger.

- Limitier si la fonction est disponible le courant pour les générateurs à 0,1 A (ainsi, si on impose 12 V avec ce générateur aux bornes d'une résistance $50\ \Omega$, le courant ne vaudra pas $12/50 = 0,24$ A mais 0,1 A et la tension vaudra donc 5 V et non 12 V). On ne touchera plus par la suite les réglages des limiteurs de courant.

Réalisation des lignes +12 V, -12 V et masse. Respect du code des couleurs

- Vous réaliserez sur la plaquette une ligne à +12 V par rapport à la masse, une ligne à -12 V et deux lignes de masse comme indiqué sur la fig. 4. **Par convention, tout ce qui est à -12 V sera bleu (plots, petits fils, gros fils), tout ce qui est à +12 V sera rouge, tout ce qui est à la masse sera noir.** Lors du câblage, ce code de couleur sera **impérativement** respecté (par exemple : fil bleu pour aller de la ligne -12 V à l'entrée V_{CC-} de l'AOP). Fixer également la longueur des fils au minimum pour obtenir un montage clair et pour limiter les parasites.

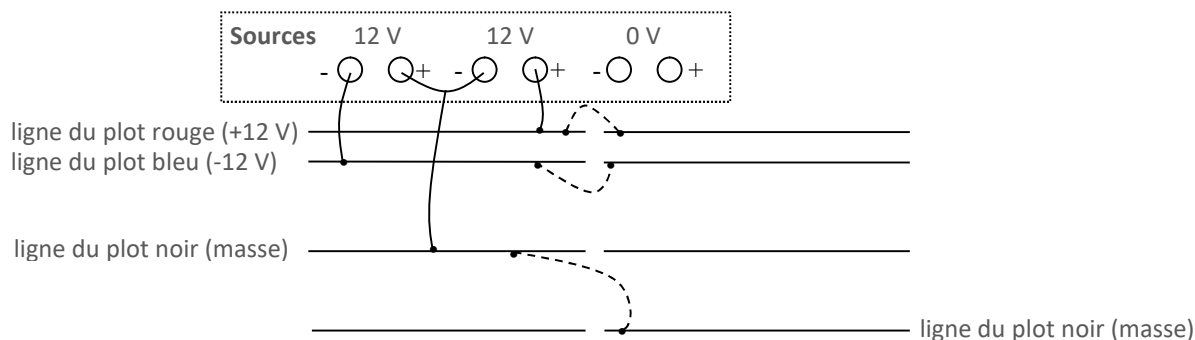


Fig. 4 – Lignes de +12 V, -12 V et masse sur la plaquette. Comme elles sont utiles pour l'ensemble du circuit, elles sont reliées à d'autres lignes par les petits fils pointillés (que vous devrez donc ajouter).

Polarisation du TL082

- c. Réaliser le circuit de polarisation à l'aide des lignes +12 V et -12 V précédemment réalisées. Vous imposerez : $V_{cc}^+ = +12\text{ V}$ et $V_{cc}^- = -12\text{ V}$.

Ce circuit de polarisation sera conservé dans la suite du TP. A noter que la ligne de la plaquette +12 V sert pour les alimentations des AOP V_{CC+} et aussi pour le +E utilisé dans le pont diviseur et le trigger. De même, la ligne -12 V sert pour V_{CC-} des AOP et pour le -E du pont diviseur.

4. Mesure de la température ambiante et câblage du pont diviseur seul

- a. Mesurer à l'ohmmètre R_{CTN} (seule, c'est-à-dire en dehors du circuit). En déduire la température ambiante (c'est-à-dire quand la CTN n'est pas chauffée) en utilisant l'annexe 1 de la Séance 7 de TD.
- b. Câbler le pont diviseur de tension (R_{CTN} , R_{pot1}) avec $R_{pot1} = 100\text{ k}\Omega$ et $E = 12\text{ V}$.

5. Ajout de l'amplificateur non inverseur

- a. Ajouter le montage amplificateur non inverseur en prenant $R_2 = 100\text{ k}\Omega$, et R_1 calculé de manière à avoir un gain d'amplification de 26.
- b. Sachant que les AOP sont alimentés en $\pm 12\text{ V}$, déterminer la valeur maximale de V_{KM} pour que l'AOP ne sature pas. Vérifier que le gain U/V_{KM} est alors correct à 5% près (on pourra faire varier V_{KM} en agissant sur la vis du potentiomètre en faisant attention de ne pas saturer l'AOP).
- c. Régler R_{pot1} pour que la tension U soit nulle quand la CTN n'est pas chauffée.

Attention : on ne touchera plus par la suite à la vis de ce potentiomètre.

6. Câblage du trigger seul

Le trigger est ici câblé de manière indépendante du reste du montage. L'entrée U est une tension sinusoïdale de fréquence 500 Hz avec $U^{crête \text{ à } crête} > 2 \text{ fois } V_H$ où V_H est le seuil haut (pour pouvoir parcourir tout le cycle).

- a. Câbler le trigger de la fig. 2 en utilisant les paramètres suivants : $R_{pot2} = 100\text{ k}\Omega$, R_3 , R_4 et E_0 étant déterminées à l'aide du tableau de l'annexe 1 ou 2 en prenant comme température ambiante celle trouvée précédemment (question 4a). NB : E_0 est réglé à l'aide du potentiomètre R_{pot2} .
- b. Visualiser à l'oscilloscope en mode XY sur les deux voies la tension de sortie V_s en fonction de celle d'entrée U . (Attention : mesurer en mode DC sur les deux voies, régler le zéro en mode XY.)
- c. Mesurer les seuils haut et bas V_H et V_B et comparer aux valeurs théoriques du tableau de l'annexe 1 ou 2.
- d. Ajuster les résistances et E_0 si l'écart entre les valeurs théoriques et expérimentales est de plus de 5%.

7. Montage complet

- a. Remplacer l'entrée sinusoïdale du trigger par la tension de sortie de l'amplificateur inverseur (le montage est alors complet). C'est le montage de la fig. 2.

Pour tester le bon fonctionnement du montage complet, nous allons placer la CTN à une température de $44^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Rappelons en effet que le circuit a été dimensionné pour que le ventilateur démarre à 40°C et s'arrête quand la température redescend à 35°C . Nous allons donc déterminer dans un premier temps la tension à appliquer aux bornes de la résistance chauffante pour que la température soit de 44°C environ.

- b. La résistance chauffante vaut $100\ \Omega$ et supporte une puissance maximale de 1 W. En déduire la tension maximale pouvant être appliquée à ses bornes.

La partie encadrée est à faire seulement par l'enseignant.

- c. Pour alimenter la résistance chauffante, on utilise un générateur de tension continue (0-10V).

* Régler à l'aide du voltmètre numérique ce générateur à $V_G = 0\text{ V}$. La résistance 1 W (composant noir) est ensuite connectée aux bornes de ce générateur. On augmentera très progressivement la tension V_G (**SANS JAMAIS DÉPASSER 8 V**) jusqu'à ce que la valeur de R_{CTN} corresponde à une température de $44^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

* Noter alors la valeur de cette tension V_{G44} .

- * Régler la source de tension 0 – 10 V (la source pas encore utilisée) à $V_G = 0\text{ V}$. Relier les bornes de la résistance chauffante 1W (résistance noire sous la CTN) aux bornes de ce générateur. **Attention : vous ne devez jamais dépasser une tension de 8 V.** La CTN est quant à elle toujours dans le circuit global (fig. 2).
- d. Faites varier V_G de 0 à V_{G44} tout en mesurant à l'oscilloscope les tensions U et V_S (mode DC). Constater l'augmentation de U et le basculement de V_S (passage de V_{SAT-} à V_{SAT+}). Diminuer V_G et constater le basculement de V_{SAT+} à V_{SAT-} . Vérifier les valeurs des seuils de basculement.
- e. Tester le circuit avec le ventilateur en fixant V_G à V_{G44} . **ATTENTION : LES SOURCES DC (FIG.4) NE DOIVENT PAS ÊTRE TROP LIMITÉES EN COURANT AFIN D'ALIMENTER CONVENABLEMENT LE VENTILATEUR.** Le ventilateur peut être positionné de deux façons différentes : face grillagée vers le composant ou l'inverse. Déterminer à l'aide de mesures temporelles la position la plus efficace pour refroidir le circuit. Commentez.

Annexe 1 – Valeurs pour différentes températures ambiantes si $\beta(\text{CTN}) = 3700/\text{K}$ (CTN bleue/orange)

T_{amb} [°C]	x	R_{POT} [k Ω]	G	R_2 [k Ω]	R_1 [k Ω]	T_S [°C]	T_M [°C]	$R_{\text{CTN}}(T_S)$ [k Ω]	$R_{\text{CTN}}(T_M)$ [k Ω]	V_B [V]	V_H [V]	R_4 [k Ω]	R_3 [k Ω]	E_0 [V]
20	0,531	100	26	100		35	40	3,34	2,76	8,6	10,4	10	0,84	8,8
21	0,530									7,8	9,6			8,0
22	0,528									7,0	8,9			7,3
23	0,527									6,3	8,1			6,7
24	0,526									5,7	7,5			6,1
25	0,525									5,0	6,8			5,5
26	0,524									4,4	6,2			4,9
27	0,523									3,8	5,6			4,4
28	0,522									3,3	5,0			3,9
29	0,521									2,7	4,5			3,4
30	0,520									2,2	4,0			2,9

Annexe 2 – Valeurs pour différentes températures ambiantes si $\beta(\text{CTN}) = 3917/\text{K}$ (CTN bleue)

T_{amb} [°C]	x	R_{POT} [k Ω]	G	R_2 [k Ω]	R_1 [k Ω]	T_S [°C]	T_M [°C]	$R_{\text{CTN}}(T_S)$ [k Ω]	$R_{\text{CTN}}(T_M)$ [k Ω]	V_B [V]	V_H [V]	R_4 [k Ω]	R_3 [k Ω]	E_0 [V]
20	0,531	100	26	100		35	40	3,26	2,66	9,0	10,9	10	0,86	9,2
21	0,530									8,2	10,1			8,4
22	0,529									7,4	9,3			7,7
23	0,527									6,7	8,5			7,0
24	0,526									5,9	7,8			6,3
25	0,525									5,2	7,1			5,7
26	0,524									4,6	6,4			5,1
27	0,523									4,0	5,8			4,5
28	0,522									3,4	5,2			4,0
29	0,521									2,8	4,7			3,5
30	0,520									2,3	4,1			3,0

NB1 : ces valeurs sont trouvées grâce au même raisonnement que celui développé dans le TD préparatoire pour le cas $T_{\text{ambiante}} = 25^\circ\text{C}$.

NB2 : x doit être réglé avec la vis du potentiomètre n°1 de façon que la tension U soit égale à 0 V à T_{ambiante} . La température ambiante (c'est-à-dire la température quand la résistance de 1 W n'est pas chauffée) au moment du réglage de x doit être connue pour dimensionner le trigger. Remarquons que si la température ambiante change au cours du TP, les seuils de température T_S et T_M (ici 35°C et 40°C) seront toujours respectés (cf. TD).

TP5. UN OPACIMÈTRE POUR BEER & LAMBERT (4h)

L'objectif est de vérifier expérimentalement une partie de la loi de Beer-Lambert, loi caractérisant l'absorption d'un signal lumineux suivant le milieu traversé. Pour cela, un opacimètre sera réalisé : il permet de mesurer l'opacité d'un matériau à un rayonnement. Cela nécessite la génération et la mesure d'un rayonnement qui passe à travers le matériau à analyser. Dans notre cas le rayonnement sera une lumière rouge de longueur d'onde 625 nm émise par une LED et mesurée, après avoir traversée le milieu à caractériser, par une photodiode (fig. 1). En bonus : application en détecteur de fumée ou de vapeur d'eau.

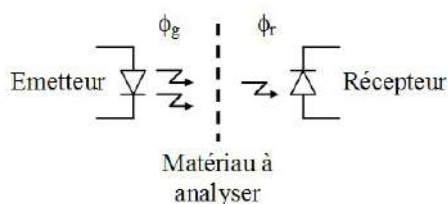


Fig. 1 – Principe d'un opacimètre.

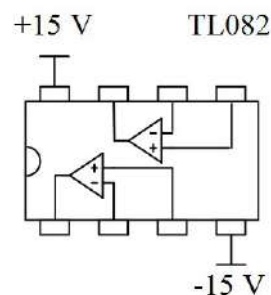


Fig. 2 – Brochage du TL082.

1. Polarisation du circuit TL082

En tout premier lieu, reprendre l'ensemble du paragraphe 3 du TP3 mais avec une tension d'alimentation de ± 15 V à la place de ± 12 V.

2. Emission d'une lumière rouge

Une diode électroluminescente de couleur rouge, polarisée en direct, est utilisée pour générer la lumière (fig. 3). Le flux généré ϕ_g est proportionnel au courant I_d traversant la diode : $\phi_g = K I_d$.

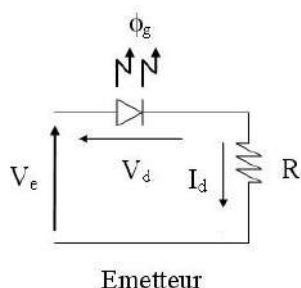


Fig. 3 – Circuit d'émission.

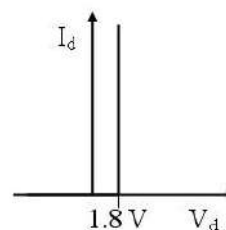


Fig. 4 – Caractéristique simplifiée de la LED rouge.

- La diode ayant une tension seuil de 1,8 V (fig. 4), déterminer la résistance série R à ajouter pour que le courant passant dans la diode soit de l'ordre de 2 mA lorsque V_e est de 6 V. Vérifier la bonne émission de lumière.

Enlever pour la suite cette source continue : la polarisation sera faite avec l'OFFSET du générateur basse fréquence.

- Le signal mesuré contient des composantes dues à des parasites lumineux de très basse fréquence (f_p). Pour éviter ces parasites, le signal V_e alimentant la diode électroluminescente est modulé :

$V_e(t) = V_0 + v_e \cos(2\pi f_0 t)$. Pour simplifier, on utilisera la fonction OFFSET du générateur basse fréquence pour fournir à la fois V_0 et la tension sinusoïdale (avec f_0 de l'ordre de 20 kHz), réalisant ainsi la source composite $V_e(t)$ qui alimente la diode émettrice. Prendre par exemple $V_0 = 6 \text{ V}$, $v_e = 1 \text{ V}$ (soit 2 V crête à crête). Ces valeurs pourront être ajustées ; ainsi, vous pourrez augmenter v_e si le signal en réception est trop faible ou le diminuer si le signal de sortie n'est plus une sinusoïde.

3. Mesure de la lumière

Une photodiode, polarisée en inverse, est utilisée pour mesurer le rayonnement lumineux.

- Réaliser le montage de la fig. 5 pour la mesure du flux lumineux. On prend $E = 15 \text{ V}$ et $R_m = 100 \text{ k}\Omega$. Compte tenu de la grande valeur de R_m , il est nécessaire d'interposer un étage suiveur à amplificateur opérationnel entre cette résistance et l'oscilloscope dont l'impédance d'entrée est constituée de $1 \text{ M}\Omega$ en parallèle avec environ 100 pF (en tenant compte du câble coaxial) : en effet, sans le suiveur, l'oscilloscope constituerait un filtre passe-bas gênant dès 30 kHz .
- Observer le signal V_m . Identifier en particulier l'influence du soleil, des néons et du signal modulé (LED). Pour cela, observer en l'absence et en présence de l'émission lumineuse de la diode électroluminescente. Régler dans un premier temps l'oscilloscope en mode DC pour observer l'ensemble du signal, puis en AC pour mieux observer ses composantes alternatives. On pourra utiliser la synchronisation secteur (line) pour mieux observer les parasites. Expliquer vos observations et notamment la fréquence f_p des parasites.

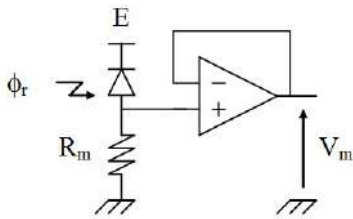


Fig. 5 – Récepteur, v1.

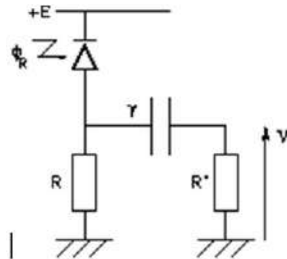


Fig. 6 – Récepteur, v2.

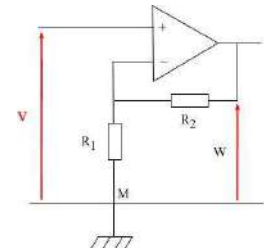


Fig. 7 – Ampli. non inverseur.

4. Filtrage

Pour éliminer les parasites basses fréquences et ne conserver que la partie modulée de la lumière émise, on utilise le montage de la fig. 6 avec $R = 100 \text{ k}\Omega$, $R' = 100 \text{ k}\Omega$ et $\gamma = 330 \text{ pF}$. Une fois la composante continue éliminée grâce au filtre passe-haut, il est possible d'amplifier sans saturer immédiatement la sortie de l'AOP.

- Réaliser le circuit de la fig.6 et compléter la chaîne de mesure avec un amplificateur non inverseur (fig. 7 ; la sortie V du circuit de la fig.6 est l'entrée du circuit de la fig. 7) en veillant à éviter la saturation (garder une sinusoïde en sortie) : résistances de $1 \text{ k}\Omega$ et $6,8 \text{ k}\Omega$ par exemple pour l'amplificateur non inverseur.
- Avant tout, vérifier le comportement de type passe-bande de l'ensemble du circuit de réception.** Tracer sur papier log.-log. la tension W crête à crête mesurée en sortie de l'amplificateur en fonction de la fréquence de modulation de l'émission dans le domaine $100 \text{ Hz} - 500 \text{ kHz}$. Aux basses fréquences ($< 500 \text{ Hz}$), on éteindra les néons (puisqu'alors le signal, non maîtrisé, provenant des néons s'ajouterait au signal, maîtrisé, du générateur : la courbe $W(f)$ serait alors faussée). Rechercher la fréquence f_0 pour laquelle V_e (circuit d'émission) et W sont en phase (en mode XY : l'ellipse devient une droite) ; f_0 doit aussi correspondre à la fréquence où W est maximum. Vérifier

le taux de réjection α des parasites dus aux néons par rapport à un signal à f_0 ($\alpha_{dB} = 20\log[W(f_0)/W(f_{\text{parasite}})]$).

5. Mesure d'opacité

Afin de déterminer l'opacité, on mesure le signal W à f_0 avec et sans le matériau à analyser placé entre l'émetteur et le récepteur. Le rapport du flux reçu avec le matériau sur le flux reçu sans le matériau est la transmission du matériau. Sous les conditions vues en TD, le rapport des flux est aussi le rapport des amplitudes de W avec et sans le matériau à analyser.

- Déterminer la transmission T en % dans le rouge des matériaux à votre disposition (papiers rouges, bleus et mauves) pour 0, 1, 2, 4, 8, 12 et 16 épaisseurs de chaque matériau. $T = 100.W(n \text{ épaisseurs})/W(0 \text{ épaisseur})$.
- Tracer T en % dans un diagramme semi-log en fonction du nombre d'épaisseurs et montrer que l'on obtient une droite dans un certain domaine. **Attention : se référer à la loi de Beer-Lambert pour déterminer la grandeur (T ou le nombre d'épaisseurs) à mettre sur l'échelle log.** Expliquer et commenter en fonction de la couleur des matériaux (bleu ou rouge) et de l'épaisseur. Pourquoi la fonction $T(\text{épaisseur})$ en semi-log n'est plus une droite quand l'épaisseur est trop importante ?