

# Petits watts et grandes rivières

## Analyser la consommation électrique de nos appareils électriques et électroniques

Rémy LUCAS — le 20/05/2020

Réduire notre consommation électrique est devenue un enjeu environnemental. Tout le monde a déjà remplacé ses ampoules à incandescences par des LED. Mais qu'en est-il des autres appareils ?

Je pensais avoir adopté les bons gestes, notamment en installant des multiprises à interrupteur pour éviter de laisser mes appareils en veille, et en limitant au maximum les appareils branchés en permanence.

Je pensais que chez moi il n'y avait plus grand-chose à économiser... je me trompais !

**Une seule façon de savoir : mesurer les consommations électriques !**

Mais encore faut-il les mesurer correctement...

Comme beaucoup de monde, j'ai acheté ce petit instrument de mesure :



Je me suis rendu compte que cet instrument avait **une précision médiocre**, en particulier pour les faibles puissances (moins de 50 Watts) et pour les appareils qui ne consomment pas un courant sinusoïdal ce qui est le cas de la quasi-totalité des appareils. **Beaucoup de monde croit faire de bonnes mesures de puissances avec cet instrument de mesure qui ne fait que nous tromper ! Je vois même des instruments de mesure de ce type dans des valises de mesures prêtées aux familles pour réaliser des économies d'énergie...**

Alors, comment mesurer une puissance de façon précise ?

Ce n'est pas simple, car nous sommes en courant alternatif. Ce qu'il faut mesurer est la **puissance active**.

La puissance apparente, notée S et exprimée en VA, est égale à la tension efficace multipliée par le courant efficace :  
 $S = U_{rms} \times I_{rms}$

Même ce calcul basique est difficile, car la mesure des valeurs efficaces (RMS) n'est pas simple, il faut un instrument de mesure « true RMS » de qualité professionnelle.

La puissance facturée par votre fournisseur d'énergie est la puissance active notée P, la puissance réactive notée Q n'est pas facturée, mais elle doit être aussi faible que possible, car elle occasionne des pertes dans les lignes électriques.

S, P et Q sont liées par la formule :  $S = \text{Racine}(P^2 + Q^2)$

Comment mesurer P, avec un courant qui n'est pas sinusoïdal ?

Il faut mesurer sur un nombre entier de périodes U et I en fonction du temps que l'on note U (t) et I (t)  
Ensuite il faut calculer la puissance instantanée  $P_i$  sur un nombre entier de périodes :  $P_i(t) = U(t) \times I(t)$   
En fonction de t, P varie, elle peut même être négative...

On calcule alors la puissance active P en calculant la valeur moyenne de la puissance instantanée sur un nombre entier de périodes :

$P = \text{Moyenne}(P_i)$

Pour obtenir la puissance réactive Q, il faut d'abord calculer la puissance apparente S, sachant que  $S = U_{rms} \times I_{rms}$

On calcule  $U_{rms}$  en fonction de U (t)

$U_{rms} = \text{Racine}(\text{Moyenne}(U(t)^2))$

En pratique, si on réalise 1000 mesures de U (t), la première étant U (t1) et la dernière U (t1000) on a

$U_{rms} = \text{Racine}((U(t_0)^2 + U(t_1)^2 + \dots + U(t_{1000})^2) / 1000)$

C'est le même principe avec  $I_{rms} = \text{Racine}(\text{Moyenne}(I(t)^2))$

Enfin, on calcule  $Q = \text{Racine}(S^2 - P^2)$

Tout ceci n'est pas simple... Il faut construire un instrument capable de mesure U (t) et I (t), et de faire tous les calculs...

La bonne nouvelle c'est qu'un oscilloscope numérique comme le SIGLENT SDS1204X-E est capable de faire les mesures et tous les calculs, moyennant un accessoire de mesure adapté, que j'ai construit.

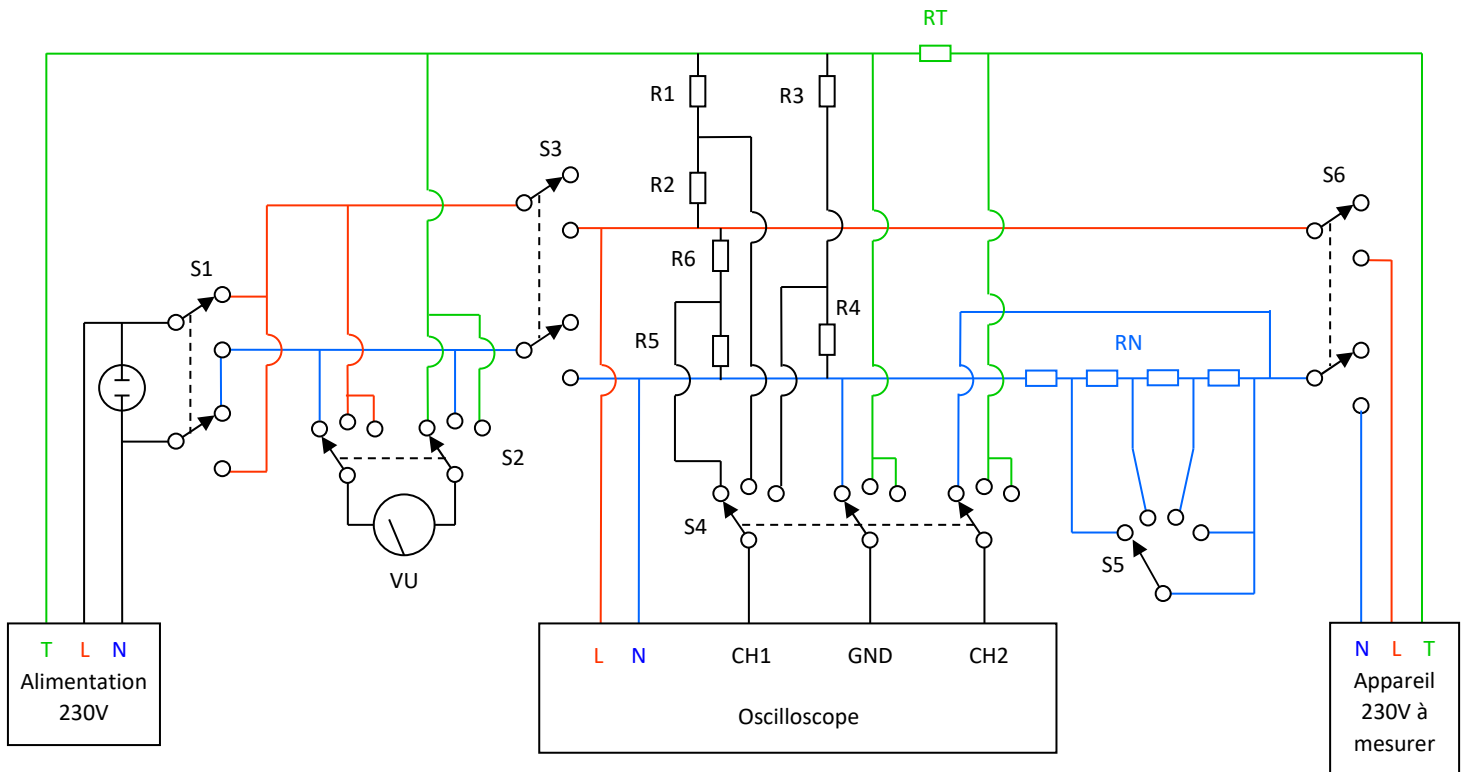
Ce dispositif de mesure permet également de mesurer les courants qui circulent dans le conducteur de terre, ce qui permet d'évaluer les courants parasites émis par l'appareil que l'on mesure.

**ATTENTION : ce qui suit concerne des mesures sur la tension du secteur qui est mortelle. Des précautions doivent être prises :**

- alimentation du montage via une prise de courant munie d'un disjoncteur différentiel haute sensibilité (10 mA)
- port de gants isolants et bottes isolantes ou tapis isolant
- travail sur un espace propre, dégagé et isolant.

Ces précautions doivent être habituelles pour tout électronicien confirmé qui fabrique, met au point et répare des appareils électroniques.

Voici le schéma de principe de mon accessoire de mesure pour oscilloscope :



La phase est en rouge, le neutre est en bleu, la terre est en vert.

Voyons le rôle des composants et la façon d'utiliser le montage, qui doit être scrupuleusement respectée !

Au début, les interrupteurs S3 et S6 doivent être en position arrêt (comme dessiné sur le schéma).

On branche l'alimentation. Le voyant au néon en amont de S1 doit s'allumer.

VU est un voltmètre 230V ; grâce à S2 il permet de mesurer les tensions :

- entre neutre et phase, elle doit être proche de 230V
- entre neutre et terre, elle doit être proche de 0V
- entre phase et terre, elle doit être proche de 230V

Si ces valeurs ne sont pas bonnes, peut-être que neutre et phase sont inversés sur la prise de courant qui alimente le montage... basculer l'inverseur S1 et refaire les mesures. Si ce n'est toujours pas bon, vérifier la prise de terre.

Tout est OK ? Si oui on peut brancher l'oscilloscope (alimentation, CH1, CH2 et GND) et basculer S3 sur « marche ».

**Attention ! En fonction de la position de S4, la masse de l'oscilloscope sera reliée au neutre au lieu d'être reliée à la terre, d'où l'importance d'avoir vérifié les tensions d'abord, et de prendre les précautions indiquées en début d'article (gants isolants, prise avec différentiel 10 mA...)**

S5 permet de choisir la valeur de RN qui est le shunt permettant de mesurer le courant dans l'appareil à mesurer. Si la puissance de l'appareil est inconnue, commencer par le plus fort calibre qui correspond à la plus petite valeur de RN. J'ai choisi des valeurs de RN de 22 Ohms, 2,2 Ohms, 0,22 Ohm et enfin 0,01 Ohm.

RT est le shunt qui permet de mesurer le courant de fuite occasionné par l'appareil à mesurer dans la terre. J'ai choisi une valeur de 22 Ohms.

Bien sûr les shunts devront être des résistances capables de dissiper la puissance correspondant au courant qui va les traverser.

Les résistances R1 à R6 permettent de mesurer les tensions entre neutre et phase, phase et terre et neutre et terre. R1, R3 et R5 valent toutes 20 K Ohms et sont composées de deux résistances de 10 K Ohms en série. Ne pas les remplacer par une résistance unique de 20 K Ohms.

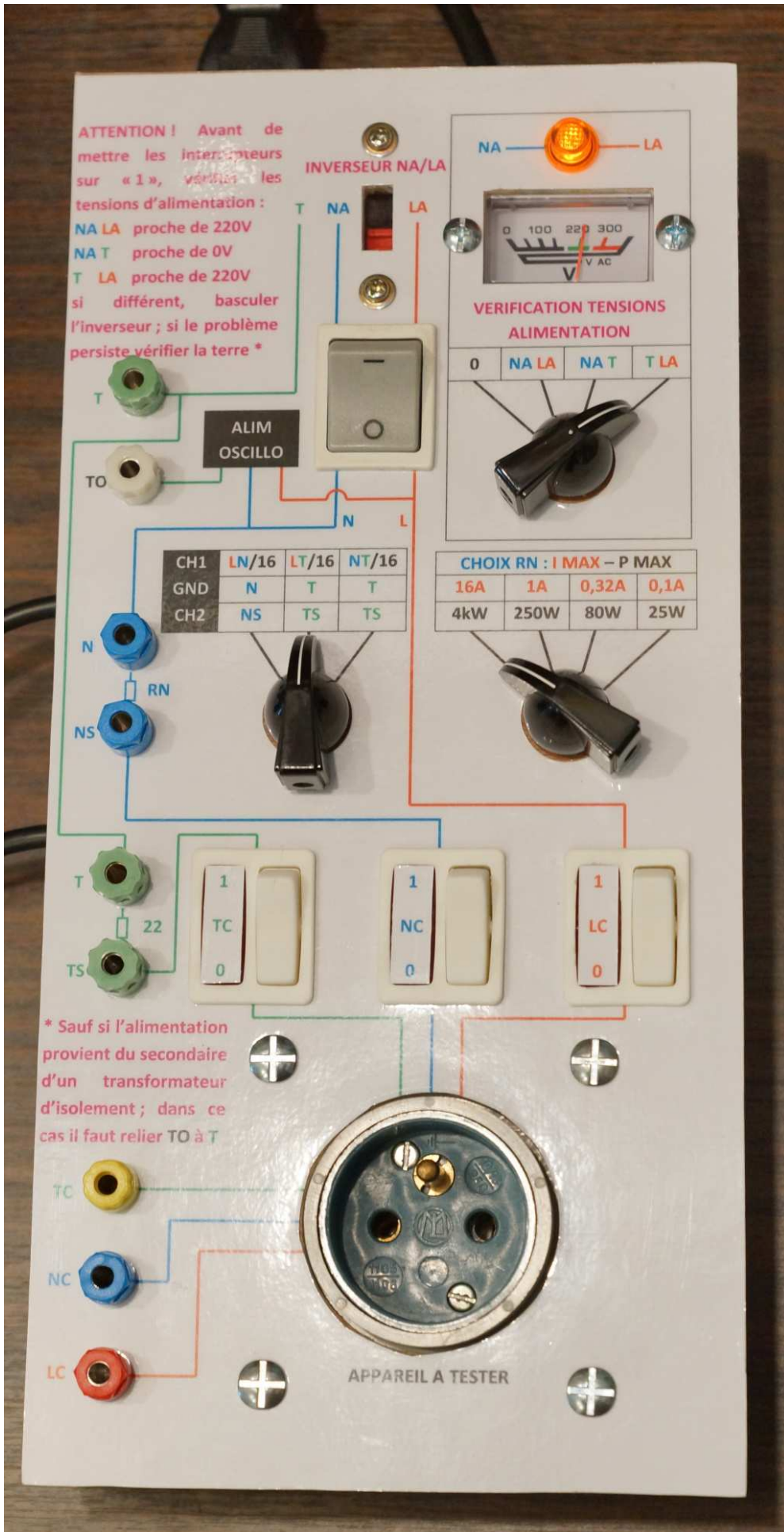
R2, R4 et R6 valent toutes 300 K Ohms et sont composées de trois résistances de 100 K Ohms en série. Ne pas les remplacer par une résistance unique de 300 K Ohms.

S4 permet de choisir le type de mesure :

- à gauche on mesure la tension phase neutre avec CH1 et le courant dans le neutre avec CH2
- au centre on mesure la tension phase terre avec CH1 et le courant dans la terre avec CH2
- à droite on mesure la tension neutre terre avec CH1 et le courant dans la terre avec CH2

S6 permet d'alimenter ou de couper l'appareil à mesurer.

Voici une photo de mon prototype :



Le coffret est en matière isolante. Le design de la face avant rappelle la fonction des sélecteurs, le câblage interne et les consignes d'utilisation de façon explicite.

L'inverseur phase/neutre S1 ne peut être commuté qu'à l'aide d'un tournevis ce qui évite toute manœuvre accidentelle.

J'ai ajouté des douilles banane qui peuvent être utiles ; ces douilles auraient dû être des modèles de sécurités, mais impossible d'en recevoir dans un délai raisonnable à cause du confinement.

J'ai prévu une douille permettant de relier la carcasse de l'oscilloscope à la terre si on alimente l'ensemble avec un transformateur d'isolement.

S6 est en trois parties et il permet de couper la borne T de la prise sur laquelle alimenter l'appareil à tester, typiquement on peut mesurer le comportement d'un appareil dont la liaison à la terre serait rompue accidentellement, en prenant toutes les précautions nécessaires bien entendu.

Remarques importantes : avec l'oscilloscope

- CH1 ne mesure pas directement les tensions
- CH2 ne mesure pas directement les courants
- de plus il faut tenir compte de la chute de tension dans RT et dans RN, ainsi que dans les fils, pour trouver la tension exacte dans l'appareil à mesurer, ainsi que les bonnes valeurs de puissance.

L'accessoire de mesure s'utilise avec un **fichier Excel** à remplir avec les valeurs « brutes » relevées à l'oscilloscope. Ce fichier réalise tous les calculs et donne la valeur des tensions, des courants, de la puissance active, réactive et apparente, ainsi que le cos PHI de l'appareil à mesurer.

Avant d'utiliser cet accessoire de mesure, il faut l'étalonner, et saisir les valeurs mesurées dans la zone « paramètres — constantes étalonnage » du fichier Excel :

| Paramètres         |                       |         |
|--------------------|-----------------------|---------|
| Liste des calibres | Constantes étalonnage |         |
| 4kW                | RN1                   | 0,00957 |
| 250W               | RN2                   | 0,263   |
| 80W                | RN3                   | 2,104   |
| 25W                | RN4                   | 22,44   |
|                    | RT                    | 21,75   |
|                    | RPN                   | 0,01    |
|                    | RPL                   | 0,01    |
|                    | RPT                   | 0,01    |
|                    | K1                    | 15,65   |
|                    | K2                    | 15,94   |
|                    | K3                    | 16,11   |

K1 est égal au rapport du diviseur de tension formé par R5 et R6 (neutre phase)

K2 est égal au rapport du diviseur de tension formé par R1 et R2 (phase terre)

K3 est égal au rapport du diviseur de tension formé par R3 et R4 (neutre terre)

RT est la valeur du shunt RT pour mesurer le courant dans la terre ; RN1, RN2, RN3 et RN4 sont les valeurs de RN en fonction des positions de S5. Enfin, RPN, RPL et RPT sont les résistances du câblage entre les points de mesure de la tension et les bornes où brancher l'appareil à mesurer.

Il est plus facile, plus précis et plus sûr de faire ces mesures de résistance en très basse tension et en courant continu :

- l'accessoire de mesure est débranché (pas d'alimentation, pas d'oscilloscope, pas d'appareil à mesurer)
- avec une alimentation de laboratoire on envoi de la tension continue aux bornes des diviseurs de tension dont on mesure la tension de sortie sur la prise CH1 en fonction des positions de S4, on trouve alors K1, K2 et K3
- ensuite avec l'alimentation de laboratoire on fait circuler du courant entre les bornes T, on place S4 au centre, et on mesure la tension aux bornes de la prise CH2, on en déduit RT, on peut également mesurer la résistance de câblage RPT
- puis avec l'alimentation de laboratoire on fait circuler du courant entre les bornes N, on place S4 à gauche, et on mesure la tension aux bornes de la prise CH2, on en déduit les différentes valeurs de RN pour chaque position de S5, on peut également mesurer la résistance de câblage RPT
- il reste à mesurer la résistance RPL.

Ces mesures qui se basent sur la loi d'Ohm ne poseront aucun problème à un électronicien expérimenté, à qui se destine ce montage.

Voici le détail des calculs réalisés par le fichier Excel :

Comme on le verra ensuite, on règle l'oscilloscope pour qu'il calcule et affiche :

- la valeur RMS de la tension sur CH1
- la valeur RMS de la tension sur CH2
- la valeur moyenne de M, M étant égal à CH1 x CH2

Sélecteur S4 à gauche, on note :

- UCH1LN la valeur RMS de la tension sur CH1
- UCH2N la valeur RMS de la tension sur CH2
- MeanMLN la valeur moyenne de M, M étant égal à CH1 x CH2

Sélecteur S4 au centre, on note :

- UCH1LT la valeur RMS de la tension sur CH1
- UCH2T la valeur RMS de la tension sur CH2
- MeanMLT la valeur moyenne de M, M étant égal à CH1 x CH2

Sélecteur S4 à droite, on note :

- UCH1NT la valeur RMS de la tension sur CH1

Pour un appareil de classe II (juste phase et neutre), seules les mesures avec S4 à gauche sont utiles.

La valeur de RN dépend de la position du sélecteur S5

Le courant RMS dans le neutre est  $IN = UCH2N / RN$

Le courant RMS dans la terre est  $IT = UCH2T / RT$

Le courant RMS dans la phase est  $IL = IN + IT$

La tension phase neutre RMS dans l'appareil à mesurer est  $ULN = K1 \times UCH1LN - IL \times RPL - IN \times (RN + RPN)$

La tension phase terre RMS dans l'appareil à mesurer est  $ULT = K2 \times UCH1LT - IL \times RPL - IT \times (RT + RPT)$

La tension neutre terre RMS dans l'appareil à mesurer est  $UNT = K3 \times UCH1NT - IN \times (RN + RPN) - IT \times (RT + RPT)$

La puissance apparente est  $S = ULN \times IN + ULT \times IT$

La puissance active dans le neutre est  $PN = MeanMLN \times K1 / RN - IN^2 \times (RPL + RPN + RN)$

La puissance active dans la terre est  $PT = MeanMLT \times K2 / RT - IT^2 \times (RPL + RPT + RT)$

La puissance active est  $P = PN + PT$

La puissance réactive est  $Q = \text{Racine}(S^2 - P^2)$

Le facteur de puissance noté  $\cos \phi = P / S$

L'oscilloscope va faire le gros du travail. Une fois allumé, il faut afficher la trace de CH1 et CH2 en réglant correctement la sensibilité verticale, puis il faut régler l'échelle horizontale pour voir quelques périodes entières du 50 Hz, ce que tout électronicien expérimenté sait faire.

Il faut activer la fonction « MATH » et choisir :

- source A : CH1
- source B : CH2
- opération : multiplication (\*)

Il faut ensuite aller dans le menu « Mesure » de l'oscilloscope et demander l'affichage :

- de la valeur RMS de CH1
- de la valeur RMS de CH2
- de la valeur moyenne (Mean) de MATH

L'oscilloscope affiche, en plus des traces de CH1, CH2 et MATH, les trois valeurs demandées.

Brancher une clef USB dans l'oscilloscope et appuyer sur le bouton « Print », l'image est enregistrée. C'est nécessaire, car les valeurs fluctuent il est impossible de les noter à la volée, une copie d'écran résout le problème.

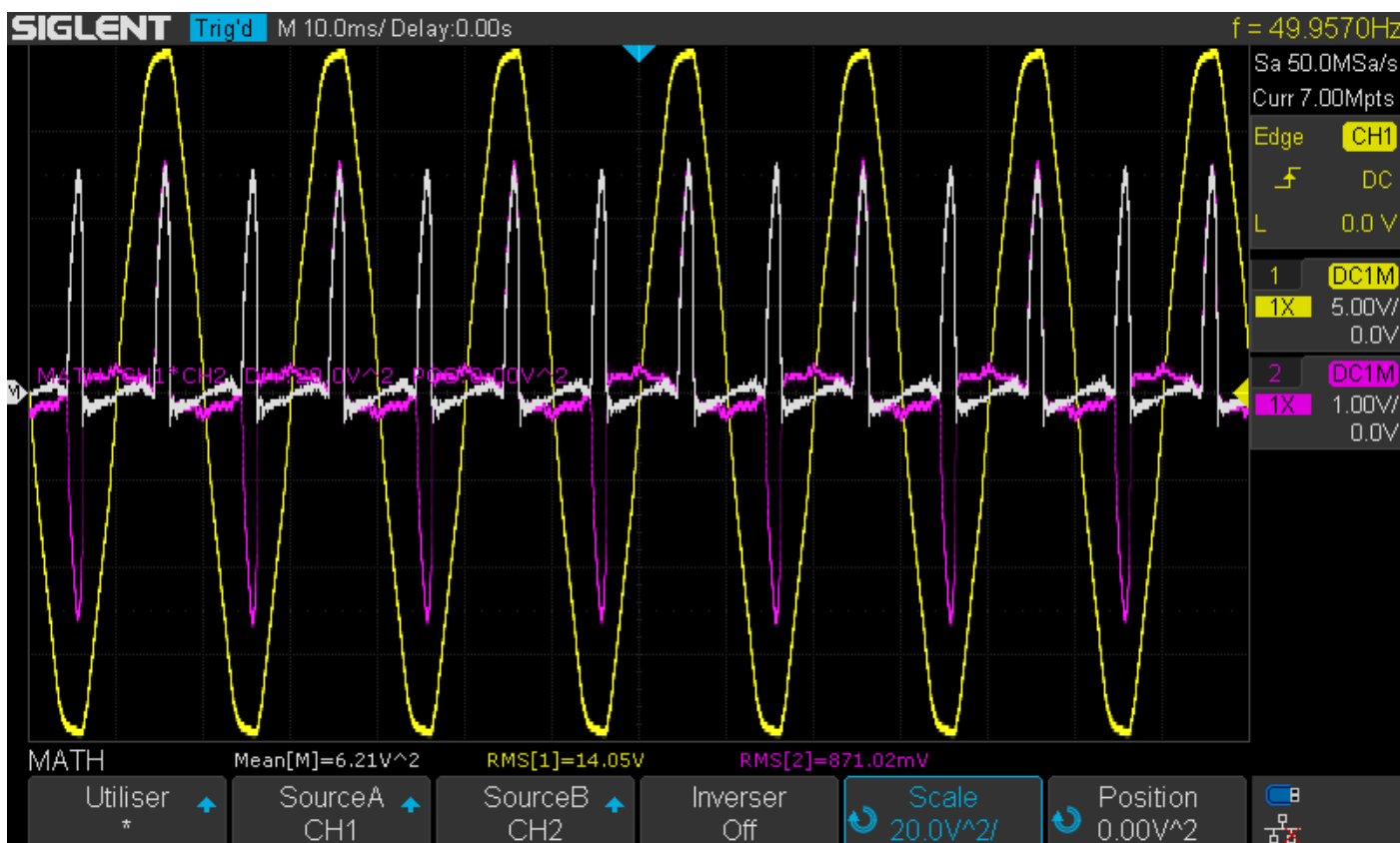
Pour les mesures, préparez un petit calepin avec les colonnes suivantes :

- appareil mesuré et son fonctionnement (en veille, en marche...)
- calibre (position de S5)
- type de mesure (position de S4)
- numéro de l'image enregistrée par l'oscilloscope, que l'oscilloscope affiche brièvement à chaque impression

Dans votre calepin, vous aurez une ligne par mesure. Soyez organisé, il est dommage recommencer ses mesures à cause d'un décalage en ayant loupé l'enregistrement d'une image.

Parfois, vous verrez que certains appareils consomment le courant par « salves ». Il faut alors agir sur la sensibilité horizontale pour avoir une mesure globale ou bien réaliser une série de mesures pour avoir les différentes valeurs correspondant à chaque salve.

Une fois votre série de mesure terminée, ouvrez les images depuis la clef USB avec un ordinateur pour recopier les valeurs dans le fichier Excel. Voici un exemple :



Cette image correspond à :

- Appareil : alimentation à découpage LENOVO 5V 3A, qui alimente en 5V une résistance qui consomme 564 mA
- Position de S4 : à gauche (mesure de tension entre neutre et phase, et courant dans le neutre)
- Position de S5 : calibre « 25W » (RN = RN4 = 22,44 Ohms)

Les valeurs à recopier dans le fichier Excel sont en bas sur la copie d'écran :

- Mean [M] = 6,21
- RMS [1] = 14,05
- RMS [2] = 0,87102

Attention :

- L'appareil peut afficher les valeurs en V, mais aussi avec des sous-multiples par exemple mV ou  $\mu\text{V}$  ; il faut en tenir compte et saisir dans le fichier Excel des valeurs en V
- Si l'appareil affiche « > » au lieu de « = », ses entrées saturent, il faut ajuster les sensibilités verticales de CH1 ou CH2 ou l'échelle (scale) de MATH ; sinon vos mesures ne seront pas bonnes.

Note : Mean [M] est en  $V^2$ , c'est normal, car M est la multiplication de CH1 et CH2.

Voilà ce que ça donne avec le fichier Excel :

| A B C                 |     |     | D                            |  | E F          |                | G H I J K L M  |         |         |         |         |            |       | N O P Q R S T U V W X Y Z |            |          |          |             |        |       |       |             |        |      |     |
|-----------------------|-----|-----|------------------------------|--|--------------|----------------|--|---------|---------|---------|---------|------------|-------|---------------------------|------------|----------|----------|-------------|--------|-------|-------|-------------|--------|------|-----|
| Numéro de fichier PNG |     |     | Description appareil mesuré  |  | A renseigner |                | Mesures à relever avec l'oscilloscope depuis copie d'écran USB |         |         |         |         |            |       | Résultats                 |            |          |          |             |        |       |       |             |        |      |     |
| LN LT NT              |     |     | P Utile (calcul N) W Calibre |  | LN           |                |  | LT      |         |         | NT      | Tensions V |       |                           | Courants A |          |          | Puissance W |        |       |       | COS PHI N % |        |      |     |
|                       |     |     |                              |  | CH1*CH2      | CH1            | CH2  | CH1*CH2 | CH1     | CH2     | CH1     | U LN       | U LT  | U NT                      | I L        | I N      | I T      | S           | PN     | PT    | P     | Q           |        |      |     |
| MEAN RMS RMS          |     |     | MEAN RMS RMS                 |  | MEAN RMS RMS | U LN U LT U NT | I L I N I T  | S       | PN PT   | P Q     |         |            |       |                           |            |          |          |             |        |       |       |             |        |      |     |
| 100                   | 101 | 102 | Alim Lenovo 5V 3A à vide     |  | 25W          | 1,29           | 14,06  | 0,3032  | 0,01025 | 13,79   | 0,00366 | 0,04865    | 219,7 | 219,8                     | 0,48       | 0,01368  | 0,013512 | 0,000168    | 3,006  | 0,896 | 0,008 | 0,903       | 2,867  | 0,30 |     |
| 103                   | 104 |     | Alim Lenovo 5V 3A 0,564A     |  | 2,82         | 25W            | 6,21   | 14,05   | 0,87102 | 0,00526 | 13,76   | 0,0047     | 219,0 | 219,3                     |            | 0,039032 | 0,038816 | 0,000216    | 8,548  | 4,297 | 0,004 | 4,301       | 7,388  | 0,50 | 66% |
| 105                   | 106 |     | Alim Lenovo 5V 3A 1,179A     |  | 5,895        | 25W            | 11,87  | 14,05   | 1,44    | 0,00698 | 13,76   | 0,00523    | 218,4 | 219,3                     |            | 0,064412 | 0,064171 | 0,00024     | 14,070 | 8,186 | 0,005 | 8,191       | 11,440 | 0,58 | 72% |

Avec l'oscillogramme précédent, j'ai donc rempli les colonnes G, H et I.

| A B C                 |     |     | D                            |  | E F          |                | G H I J K L M  |         |         |         |       |         |         |
|-----------------------|-----|-----|------------------------------|--|--------------|----------------|--|---------|---------|---------|-------|---------|---------|
| Numéro de fichier PNG |     |     | Description appareil mesuré  |  | A renseigner |                | Mesures à relever avec l'oscilloscope depuis copie d'écran USB |         |         |         |       |         |         |
| LN LT NT              |     |     | P Utile (calcul N) W Calibre |  | LN           |                |  | LT      |         |         | NT    |         |         |
|                       |     |     |                              |  | CH1*CH2      | CH1            | CH2  | CH1*CH2 | CH1     | CH2     | CH1   |         |         |
| MEAN RMS RMS          |     |     | MEAN RMS RMS                 |  | MEAN RMS RMS | U LN U LT U NT | I L I N I T  | S       | PN PT   | P Q     |       |         |         |
| 100                   | 101 | 102 | Alim Lenovo 5V 3A à vide     |  |              | 25W            | 1,29   | 14,06   | 0,3032  | 0,01025 | 13,79 | 0,00366 | 0,04865 |
| 103                   | 104 |     | Alim Lenovo 5V 3A 0,564A     |  | 2,82         | 25W            | 6,21   | 14,05   | 0,87102 | 0,00526 | 13,76 | 0,0047  |         |
| 105                   | 106 |     | Alim Lenovo 5V 3A 1,179A     |  | 5,895        | 25W            | 11,87  | 14,05   | 1,44    | 0,00698 | 13,76 | 0,00523 |         |

J'ai aussi fait, avec ce même appareil, deux autres mesures en utilisant les 2 autres positions du sélecteur S4. Cela m'a permis de remplir les colonnes J, K, L et M.

Le fichier Excel permet de saisir la puissance utile, pour calculer le rendement... justement, j'ai mesuré que mon alimentation LENOVO débitait 564 mA sous 5V dans une charge ; cela fait 2,82 W.

Le fichier affiche les résultats suivants :

| N O P Q R S T U V W X Y Z |       |      |            |          |          |             |       |       |       |             |      |     |
|---------------------------|-------|------|------------|----------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------|-----|
| Résultats                 |       |      |            |          |          |             |       |       |       |             |      |     |
| Tensions V                |       |      | Courants A |          |          | Puissance W |       |       |       | COS PHI N % |      |     |
| U LN                      | U LT  | U NT | I L        | I N      | I T      | S           | PN    | PT    | P     | Q           |      |     |
| 219,7                     | 219,8 | 0,48 | 0,01368    | 0,013512 | 0,000168 | 3,006       | 0,896 | 0,008 | 0,903 | 2,867       | 0,30 |     |
| 219,0                     | 219,3 |      | 0,039032   | 0,038816 | 0,000216 | 8,548       | 4,297 | 0,004 | 4,301 | 7,388       | 0,50 | 66% |
| 218,4                     | 219,3 |      | 0,064412   | 0,064171 | 0,00024  | 14,070      | 8,186 | 0,005 | 8,191 | 11,440      | 0,58 | 72% |

Le cos PHI est calculé à partir de P et de S, mais il n'a plus vraiment de signification lorsque le courant consommé n'est pas sinusoïdal. On devrait plutôt parler de « facteur de puissance ».

Cet accessoire de mesure et le fichier Excel qui l'accompagne sont très pratiques, les mesures obtenues sont complètes et précises, y compris pour les faibles puissances, ce qui est indispensable pour évaluer la consommation en veille des appareils.



De plus avoir les formes d'ondes des oscillogrammes est très pratique, on peut vraiment évaluer la qualité de l'alimentation d'un appareil.

Si des précautions d'emploi sont nécessaires, l'utilisation de cet accessoire de mesure est bien plus sûre que des montages temporaires à base de dominos ou autres pinces crocodiles.

Quelques mesures « test » faites avec des résistances ou des condensateurs de différentes valeurs compatibles avec le 230V alternatif prouvent que mon accessoire de mesure est précis même pour les petites puissances. L'erreur reste inférieure à 2 %.

**Maintenant que nous avons de quoi mesurer correctement les puissances, voyons ce que ça donne.**

Je me suis amusé à mesurer l'ensemble des appareils présents dans mon domicile, et en particulier ceux sous tensions pendant de longues périodes voire en permanence. Il y a de bonnes et de mauvaises surprises. Mais c'est très instructif et j'ai pu réorganiser mes branchements de façon plus rationnelle pour économiser presque 8 % de ma consommation électrique.

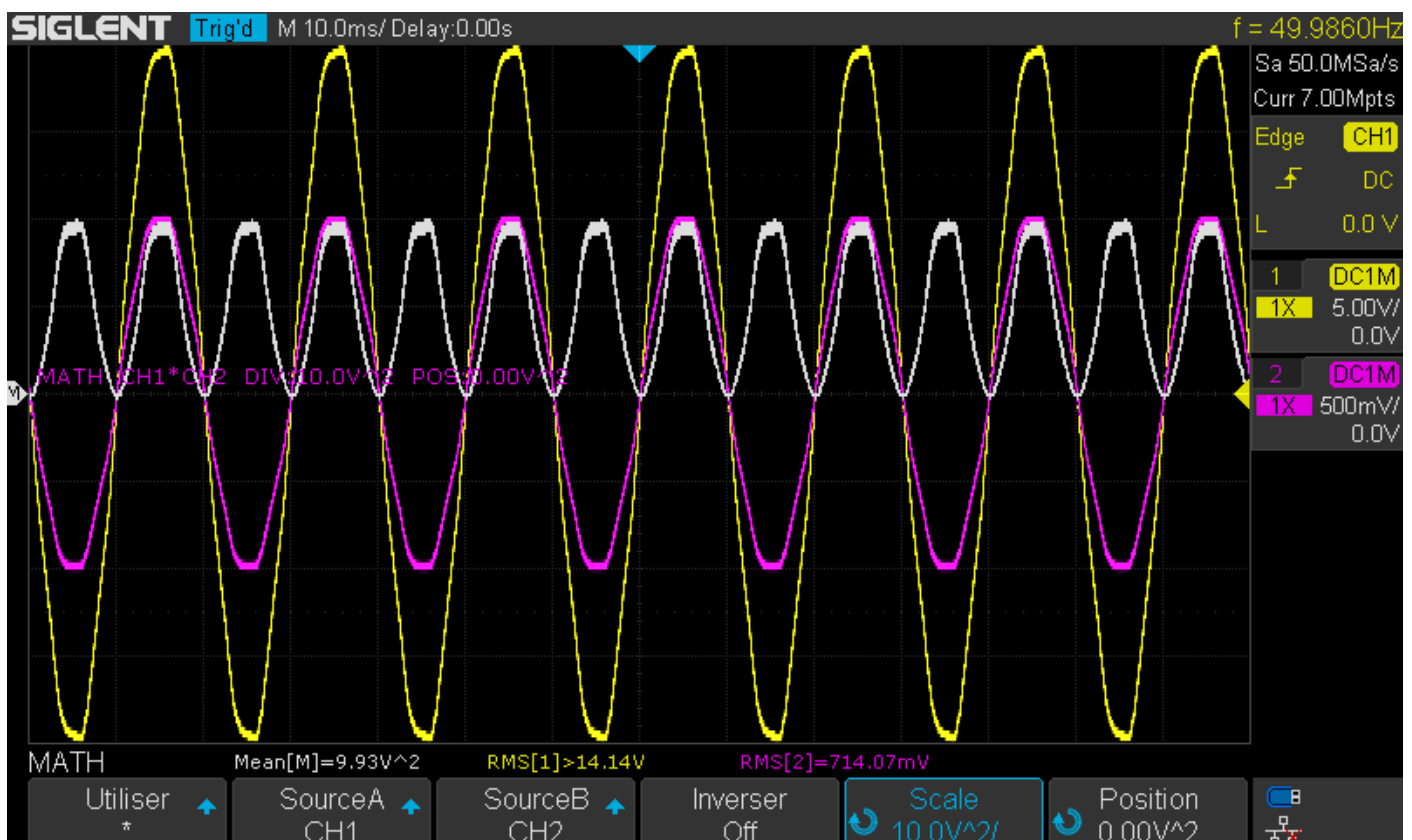
Deux paramètres sont particulièrement importants :

- Le rendement en marche
- La consommation en veille ou à vide

**Les mesures — Quelques charges simples**

| Quelques charges simples | S      | P      | COS PHI |
|--------------------------|--------|--------|---------|
| Resistance 22K 10%       | 2,296  | 2,264  | 0,99    |
| Condensateur 0,1μ 20 %   | 1,888  | 0,000  | 0,00    |
| Deux ampoules 40W        | 74,859 | 73,617 | 0,98    |
| Ampoule led 6W eq 40W    | 10,435 | 5,734  | 0,55    |
| Ampoule led 2,8W eq 25W  | 4,272  | 2,481  | 0,58    |
| Ampoule led 5,5W eq 40W  | 10,237 | 5,674  | 0,55    |

Les courbes des charges « passives » sont caractéristiques, l'image suivante concerne les ampoules à incandescence :



Le condensateur :



Celles des ampoules LED nous renseignent sur la qualité de leur alimentation à découpage :



## Les mesures — Les blocs d'alimentations

Passons maintenant en revue nos fameuses alimentations servant à fournir une tension continue de 5 à 12V à différents appareils électroniques.

| Les alimentations                  | S      | P      | COS PHI | N %  |
|------------------------------------|--------|--------|---------|------|
| Alim 12V/5V éteinte                | 8,780  | 0,051  | 0,01    |      |
| Alim 12V/5V à vide                 | 6,230  | 3,258  | 0,52    |      |
| Alim 12V/5V 0,568 A sous 5V        | 17,952 | 13,975 | 0,78    | 20 % |
| Alim 12V/5V 1,015 A sous 5V        | 27,956 | 22,584 | 0,81    | 22 % |
| Alim Lenovo 5V 3A à vide           | 3,006  | 0,903  | 0,30    |      |
| Alim Lenovo 5V 3A 0,564A           | 8,548  | 4,301  | 0,50    | 66%  |
| Alim Lenovo 5V 3A 1,179A           | 14,070 | 8,191  | 0,58    | 72%  |
| Alim Lenovo 5V 3A 1,928A           | 20,962 | 12,589 | 0,60    | 77%  |
| Freeplug rouge à vide              | 5,162  | 1,563  | 0,30    |      |
| Freeplug rouge 1,305 A             | 29,619 | 17,420 | 0,59    | 90 % |
| Freeplug rouge 2,285 A             | 46,186 | 29,130 | 0,63    | 94 % |
| Freeplug vert à vide               | 3,119  | 0,383  | 0,12    |      |
| Freeplug vert 1,308 A              | 28,402 | 16,457 | 0,58    | 95 % |
| Freeplug vert 2,292 A              | 46,321 | 29,339 | 0,63    | 94 % |
| Freeplug vert 2,721 A              | 53,834 | 34,767 | 0,65    | 94 % |
| Freeplug vert boîtier TV allumé    | 28,817 | 16,948 | 0,59    |      |
| Freeplug vert boîtier TV en veille | 4,474  | 1,190  | 0,27    |      |
| Freeplug vert boîtier Serveur      | 29,999 | 17,445 | 0,58    |      |
| Filtre Sprague à vide              | 26,781 | 0,000  | 0,00    |      |

Sans surprise, le rendement des alimentations linéaires est mauvais, mais il y a aussi de grandes différences entre les alimentations à découpage.

L'alimentation Lenovo qui a une dizaine d'années n'a pas un très bon rendement.

Les « freeplugs » sont les alimentations fournies pour le boîtier serveur et le boîtier TV de la Freebox Révolution. En plus de l'alimentation, ils intègrent une fonction « CPL » qu'on peut utiliser si on n'a pas la possibilité de relier les deux boîtiers avec un câble Ethernet. Ils comportent un voyant qui est rouge au démarrage (les boîtiers CPL essaient de se synchroniser) et passe ensuite au vert.

Les freeplugs ont un bon rendement et une consommation à vide faible ; je précise que je n'utilise pas leur fonction CPL qui est donc assez sobre lorsqu'elle ne fonctionne pas.

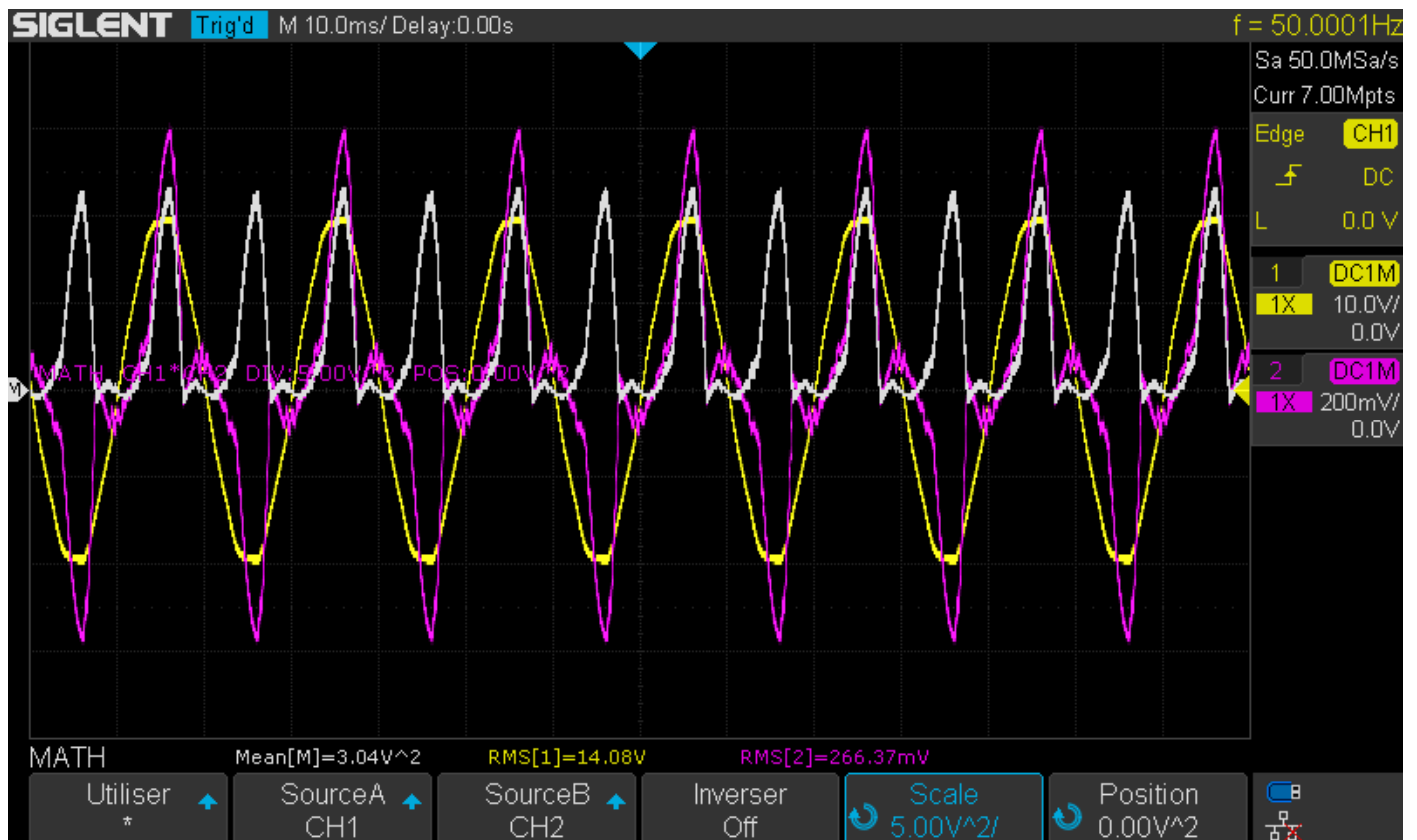
De façon générale, il ne faut pas surdimensionner une alimentation, car son rendement chute lorsqu'elle ne débite qu'un faible courant de sortie. Utiliser une alimentation 12V 5A pour alimenter un appareil qui ne consomme que 1,7A au maximum n'est pas une bonne idée.

Le filtre antiparasite Sprague à deux étages JN17-5672A prévu pour 230V 5A ne consomme pas de puissance active, mais une puissance réactive non négligeable. De façon générale, les courants réactifs élevés, correspondant à un facteur de puissance bien inférieur à 1, peuvent poser problème à des sources d'alimentation 230V de faible puissance (par exemple réseau d'un camping-car ou d'un habitat « alternatif » alimenté par batterie et panneau solaire).

Si les rendements et les consommations à vide de certaines alimentations peuvent être bons, les facteurs de puissances sont en revanche assez mauvais.

Voyons les courbes en détail :

L'alimentation linéaire, chargée à 1015 mA sous 5V :



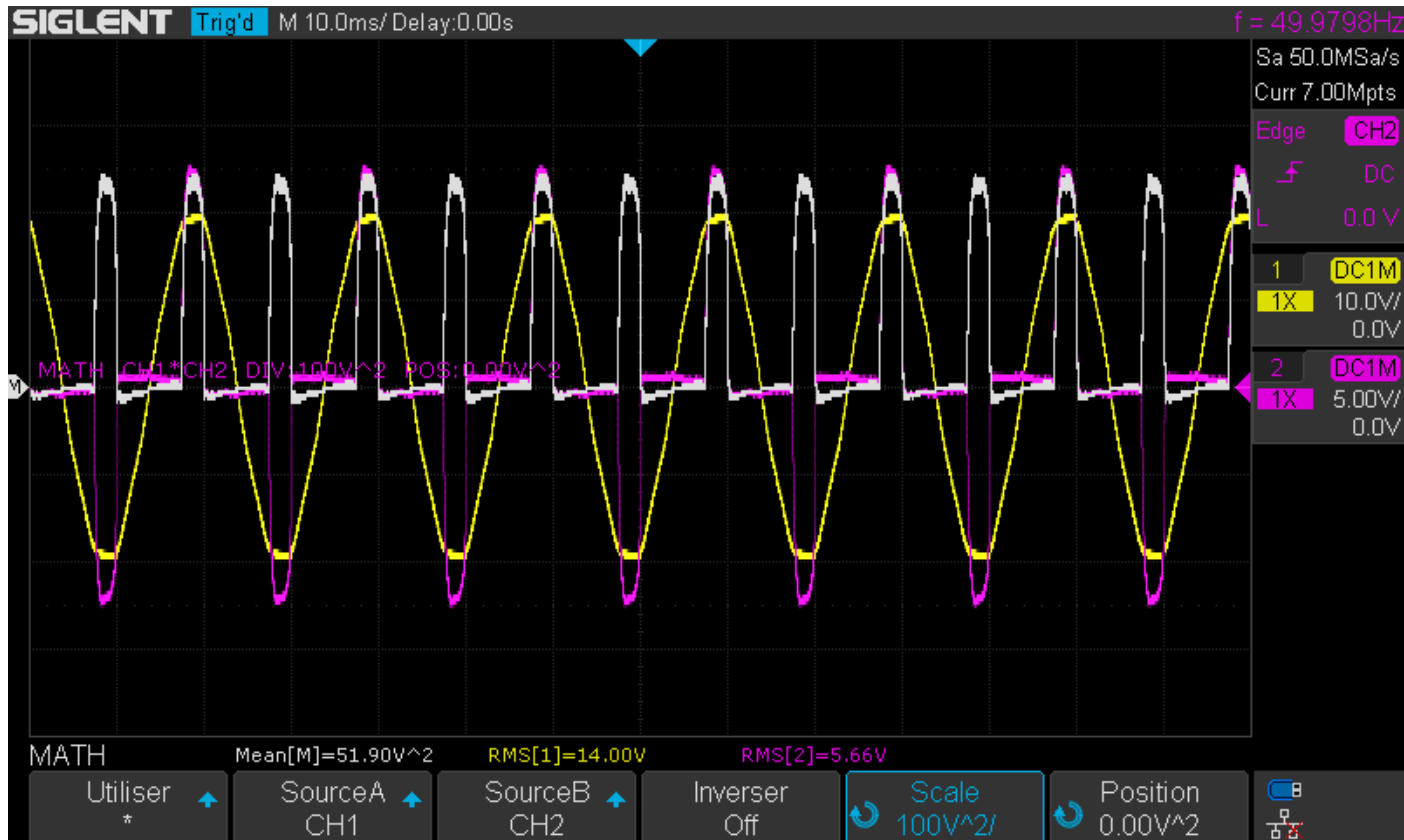
L'alimentation 5V 3A Lenovo, chargée à 1,928 A :



Un freeplug, voyant vert, à vide :



Un freeplug, voyant rouge, chargé à 2,721 A :



## Les mesures — Les petits appareils USB et autres

Ils sont partout, ces petits chargeurs USB et ces petits blocs d'alimentation. Là aussi, il y en a des bons et des mauvais.

| Petits appareils USB et autres    | S      | P      | COS PHI |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|
| Chargeur Samsung à vide           | 0,057  | 0,009  | 0,16    |
| Chargeur Samsung en charge        | 22,832 | 14,116 | 0,62    |
| Chargeur Conrad à vide            | 0,383  | 0,085  | 0,22    |
| Chargeur Conrad en charge         | 20,708 | 12,111 | 0,58    |
| Siemens Gigaset à vide            | 0,324  | 0,102  | 0,31    |
| Siemens Gigaset à vide avec socle | 0,327  | 0,103  | 0,32    |
| Siemens Gigaset en charge         | 1,687  | 0,738  | 0,44    |
| Siemens Gigaset chargé 1/2        | 0,521  | 0,160  | 0,31    |
| Siemens Gigaset chargé 2/2        | 1,641  | 0,710  | 0,43    |
| Station météo à vide              | 1,423  | 0,329  | 0,23    |
| Station météo Rétroéclairage 0    | 1,421  | 0,330  | 0,23    |
| Station météo Rétroéclairage 1    | 1,417  | 0,376  | 0,27    |
| Station météo Rétroéclairage 2    | 1,481  | 0,738  | 0,50    |
| Alim RPI à vide                   | 0,081  | 0,022  | 0,27    |
| RPI HifiDAC allumé en route       | 4,049  | 1,868  | 0,46    |
| RPI HifiDAC allumé Linux éteint   | 1,646  | 0,635  | 0,39    |
| Pretzel Nano ESP chargeur Samsung | 1,974  | 0,807  | 0,41    |

Le chargeur USB Samsung est excellent ; c'est le modèle EP-TA200, il peut délivrer 2A sous 5V ou 1,67 A sous 19 V.

Le Raspberry Pi est très performant aussi ; les mesures sont faites avec :

- Un Raspberry Pi 3B+
- Un HifiDAC
- Le wifi activé
- Une distribution Linux RuneAudio, écoute de radio en streaming
- L'alimentation « officielle » 5.1V 2,5 A

Le HiFiDAC n'utilise pas toutes les broches GPIO, il reste des ports USB de libres ainsi que le port Ethernet. Le Raspberry Pi pourrait être utilisé pour gérer d'autres choses dans la maison sans impacter la facture d'électricité de façon significative.

L'Arduino Nano ESP est très sobre, pourtant il alimente plusieurs LED et le rétroéclairage d'un afficheur LCD. Un système domotique basé sur des Arduinos est une solution économe.

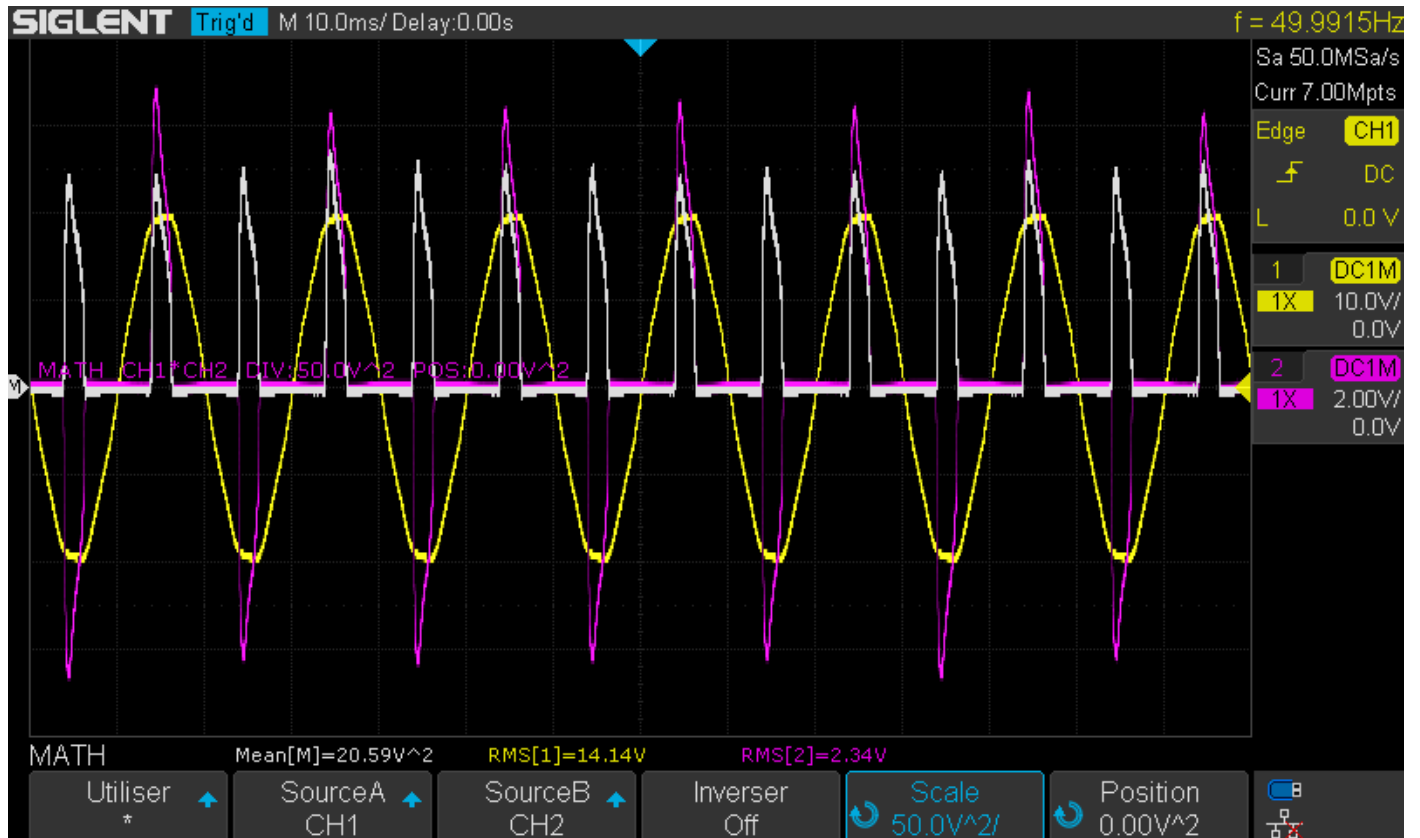
Le cas de la station météo est édifiant : la consommation à vide de son bloc d'alimentation gâche tout.

Voyons les courbes :

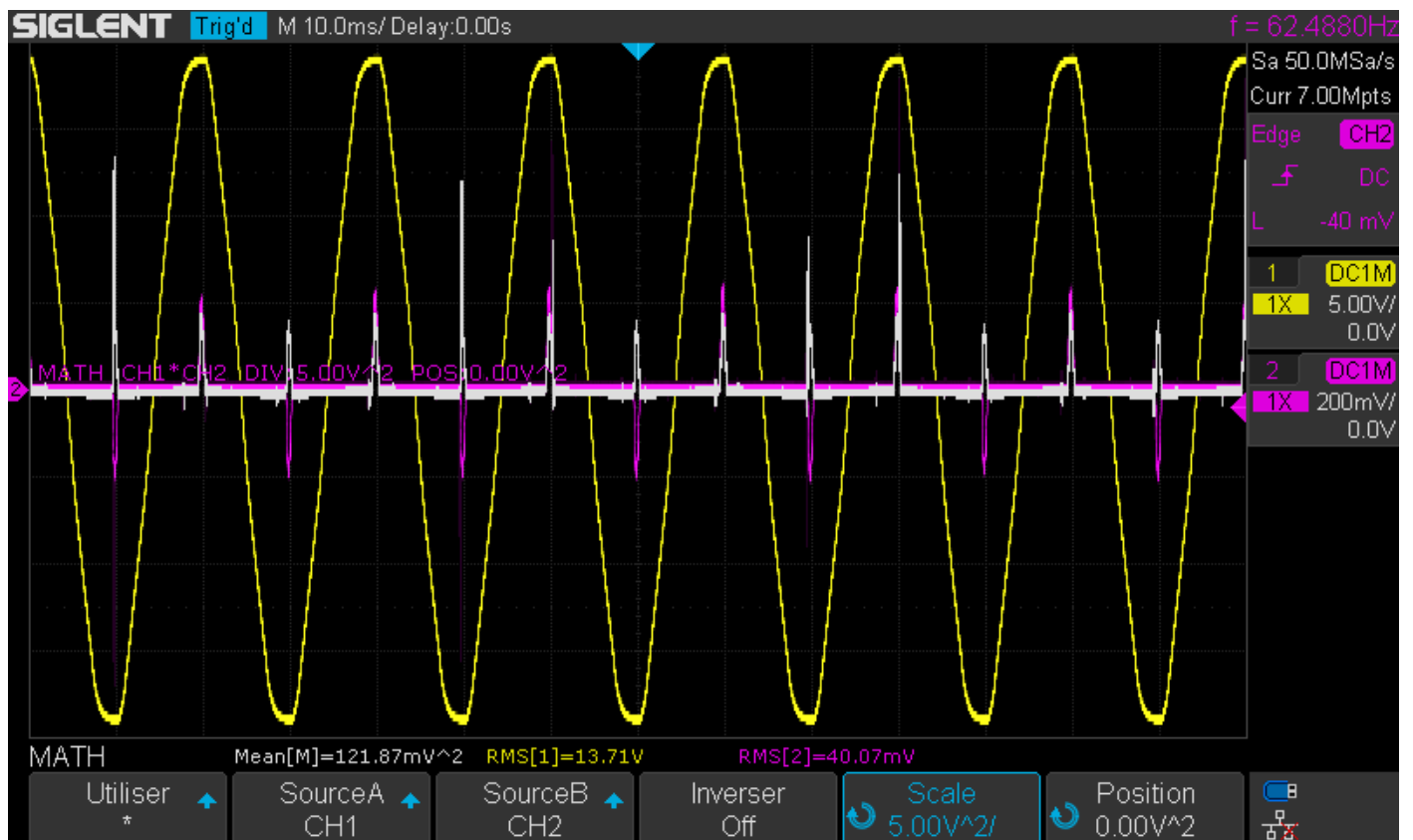
### Chargeur Samsung à vide :



### Chargeur Samsung en charge :



Chargeur Conrad à vide :

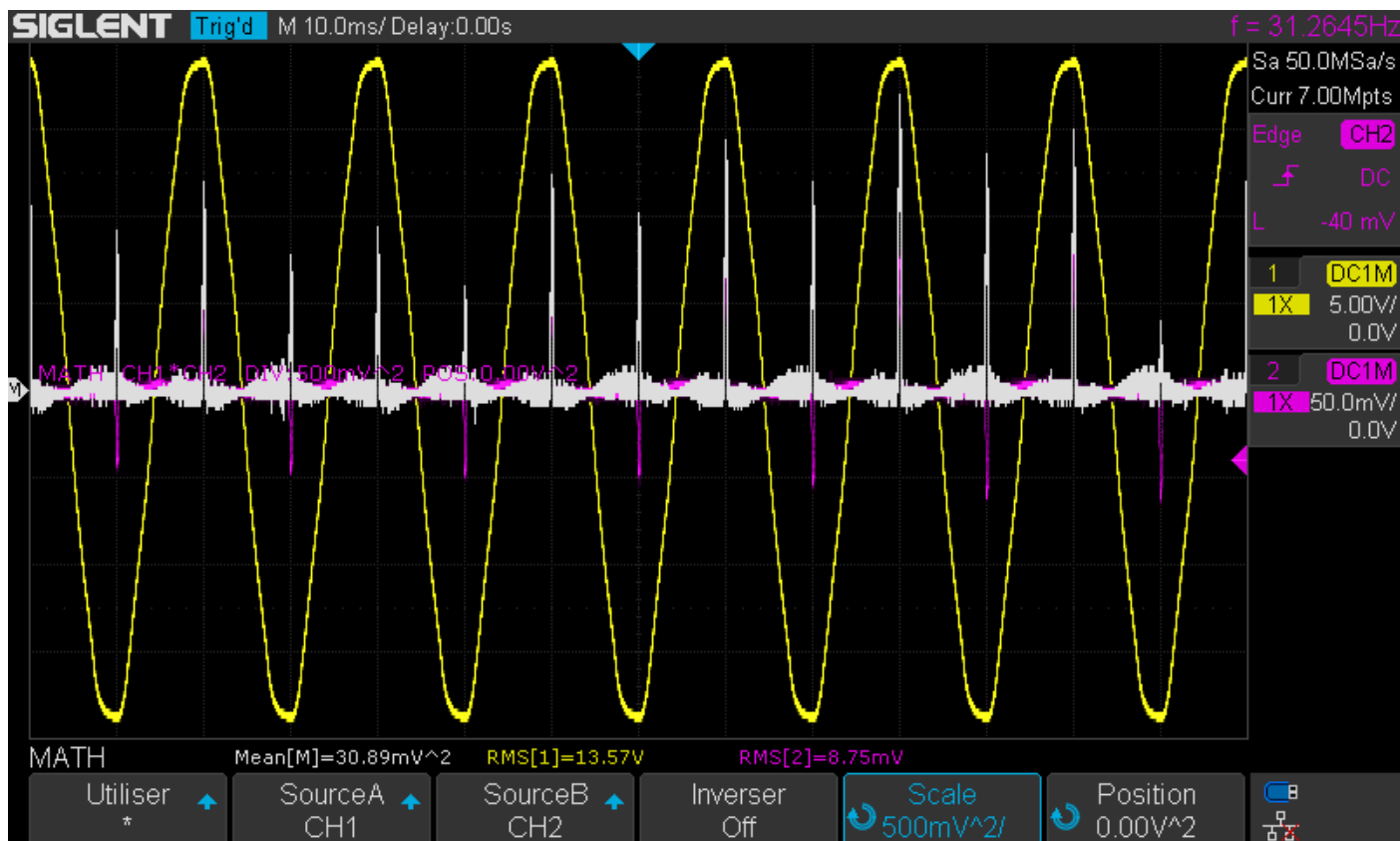


Chargeur Conrad en charge :

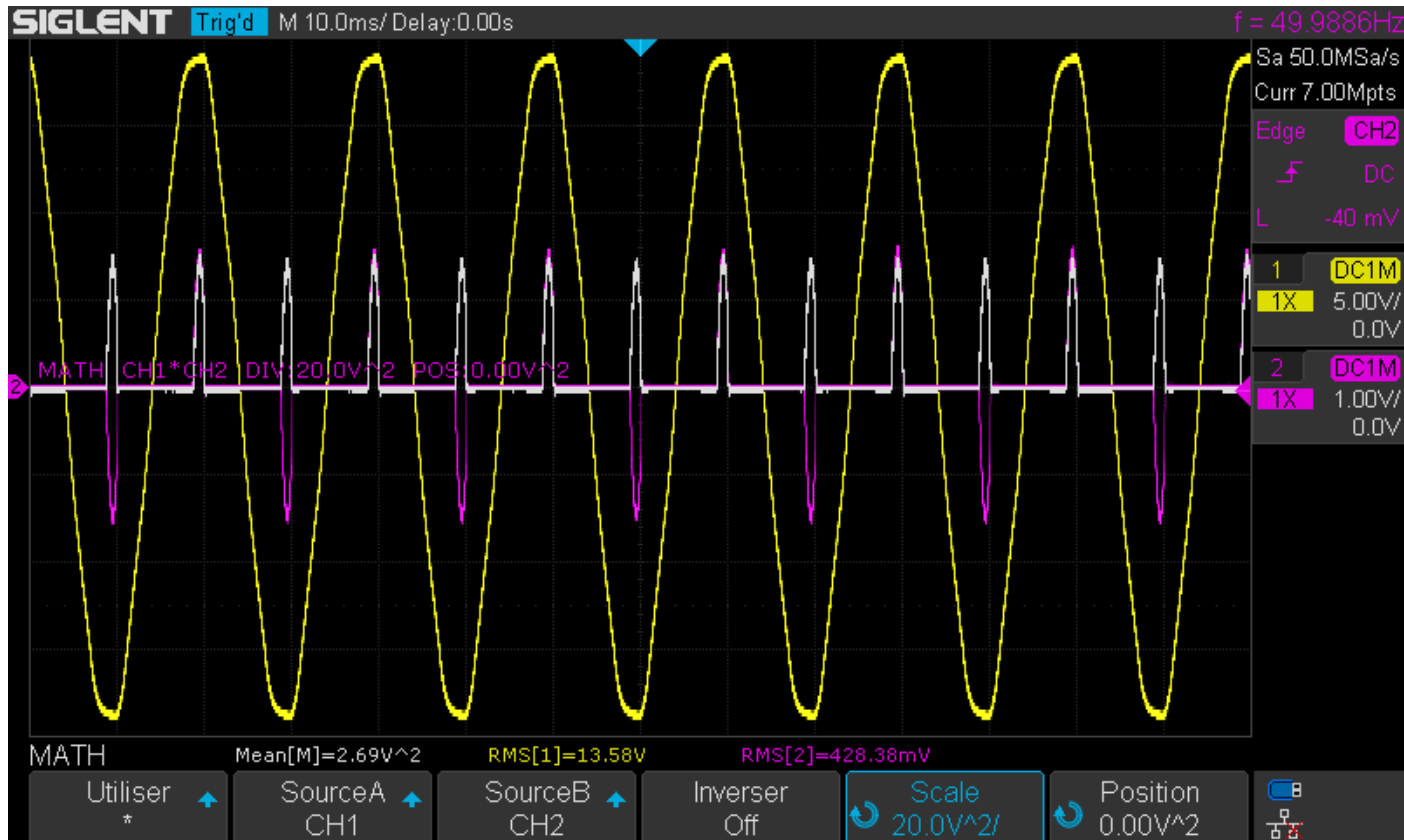




Alimentation Raspberry PI à vide :



Alimentation Raspberry PI avec PI 3B+, Hifi DAC et Rune Audio en streaming :



## Les mesures — Informatique

| Informatique                         | S       | P       | COS PHI |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Alimentation Portable Toshiba à vide | 5,143   | 0,017   | 0,00    |
| Portable Toshiba allumé en charge    | 56,450  | 30,292  | 0,54    |
| Unité centrale PC Fixe éteint        | 23,620  | 0,763   | 0,03    |
| PC fixe allumé avec 2 écrans         | 253,907 | 198,383 | 0,78    |
| HDD Ext Éteint                       | 1,540   | 0,329   | 0,21    |
| HDD Ext Allumé                       | 14,072  | 8,280   | 0,59    |

Il n'y a pas photo : un PC portable consomme beaucoup moins qu'un ordinateur fixe. Cependant, le PC portable n'a que 3 ans alors que l'ordinateur fixe a 10 ans et qu'il est plus performant (beaucoup plus de mémoire vive, deux disques durs, très bonne carte vidéo).

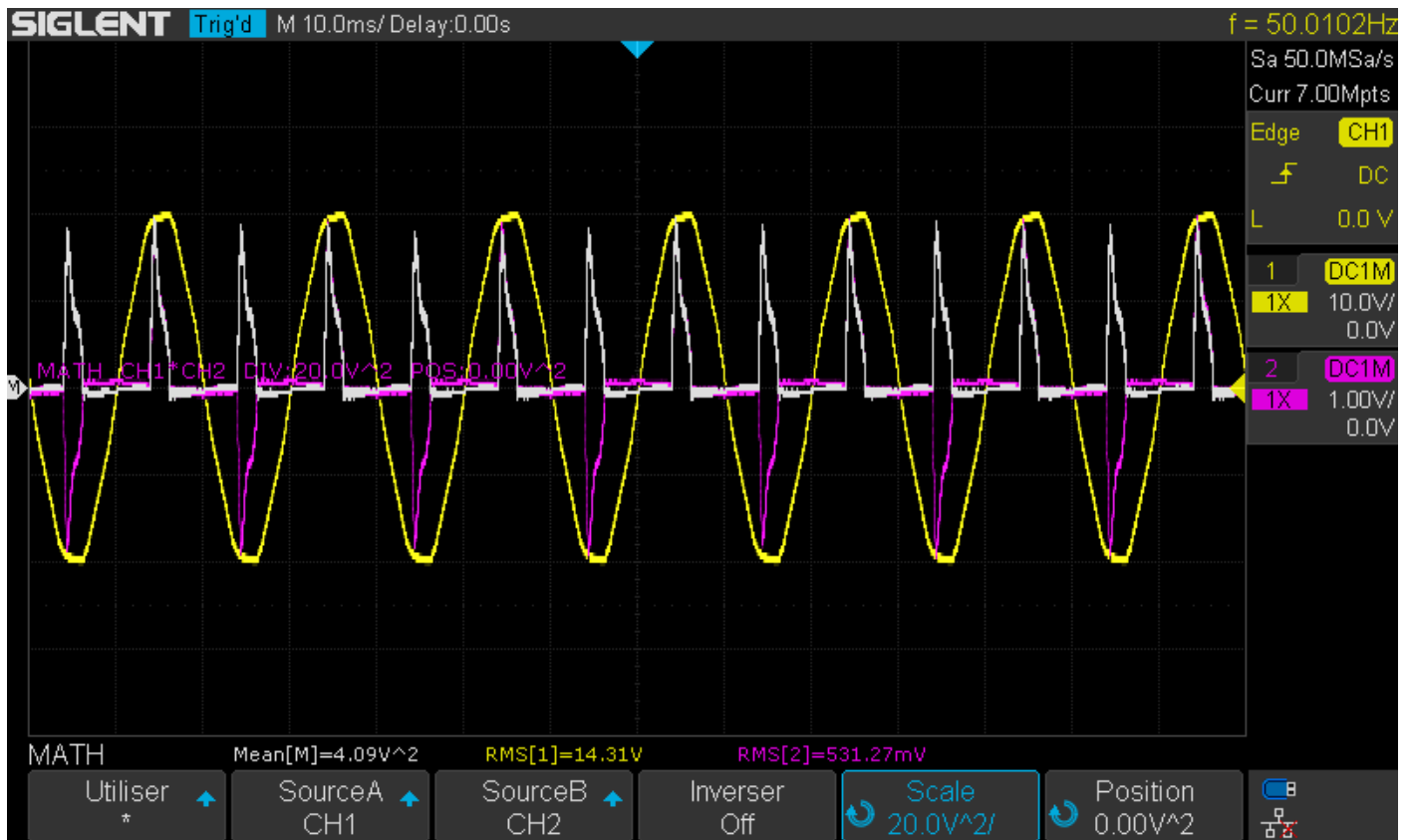
Moralité : quand on doit passer une journée à envoyer des mails et travailler avec Word et Excel, il vaut mieux utiliser le portable, quitte à lui adjoindre un second écran. L'ordinateur fixe est à réserver à la CAO ou au montage vidéo.

Voyons les courbes de mesure :

Alimentation Portable Toshiba à vide :



Alimentation Portable Toshiba allumé et en charge :



## Les mesures — TV et Hifi

| TV et HIFI   | S       | P              | COS PHI |
|--|---------|----------------|---------|
| Ampli Yamaha Éteint  | 0,922   | <b>0,126</b>   | 0,14    |
| Ampli Yamaha Veille  | 1,427   | <b>0,488</b>   | 0,34    |
| Ampli Yamaha Allumé Musique                                    | 31,080  | <b>19,008</b>  | 0,61    |
| Ampli Yamaha Allumé HP coupés                                  | 26,891  | <b>14,659</b>  | 0,55    |
| Platine CD éteinte   | 0,096   | <b>0,000</b>   | 0,00    |
| Platine vinyle éteinte   | 0,332   | <b>0,000</b>   | 0,00    |
| Platine vinyle marche  | 14,068  | <b>10,166</b>  | 0,72    |
| K7 éteint  | 0,103   | <b>0,005</b>   | 0,05    |
| K7 marche  | 12,151  | <b>10,002</b>  | 0,82    |
| Répéteur télécommande IR                                       | 1,002   | <b>0,394</b>   | 0,39    |
| Splitter HDMI  | 3,941   | <b>2,050</b>   | 0,52    |
| Vidéoprojecteur marche   | 198,719 | <b>152,097</b> | 0,77    |
| Vidéoprojecteur après marche<br>(refroidissement avant veille) | 30,569  | <b>14,709</b>  | 0,48    |
| Vidéoprojecteur veille   | 9,622   | <b>1,057</b>   | 0,11    |
| VHS en veille  | 6,993   | <b>2,898</b>   | 0,41    |
| Ampli Home Ciné Sony Veille                                    | 0,402   | <b>0,087</b>   | 0,22    |
| Ampli Home Ciné Sony Mute                                      | 48,545  | <b>32,515</b>  | 0,67    |
| Ampli Home Ciné Sony Musique                                   | 56,320  | <b>38,957</b>  | 0,69    |

On ne le dira jamais assez : vive les interrupteurs marche/arrêt mécaniques ! Grâce à eux, il n'y a aucune consommation en veille.

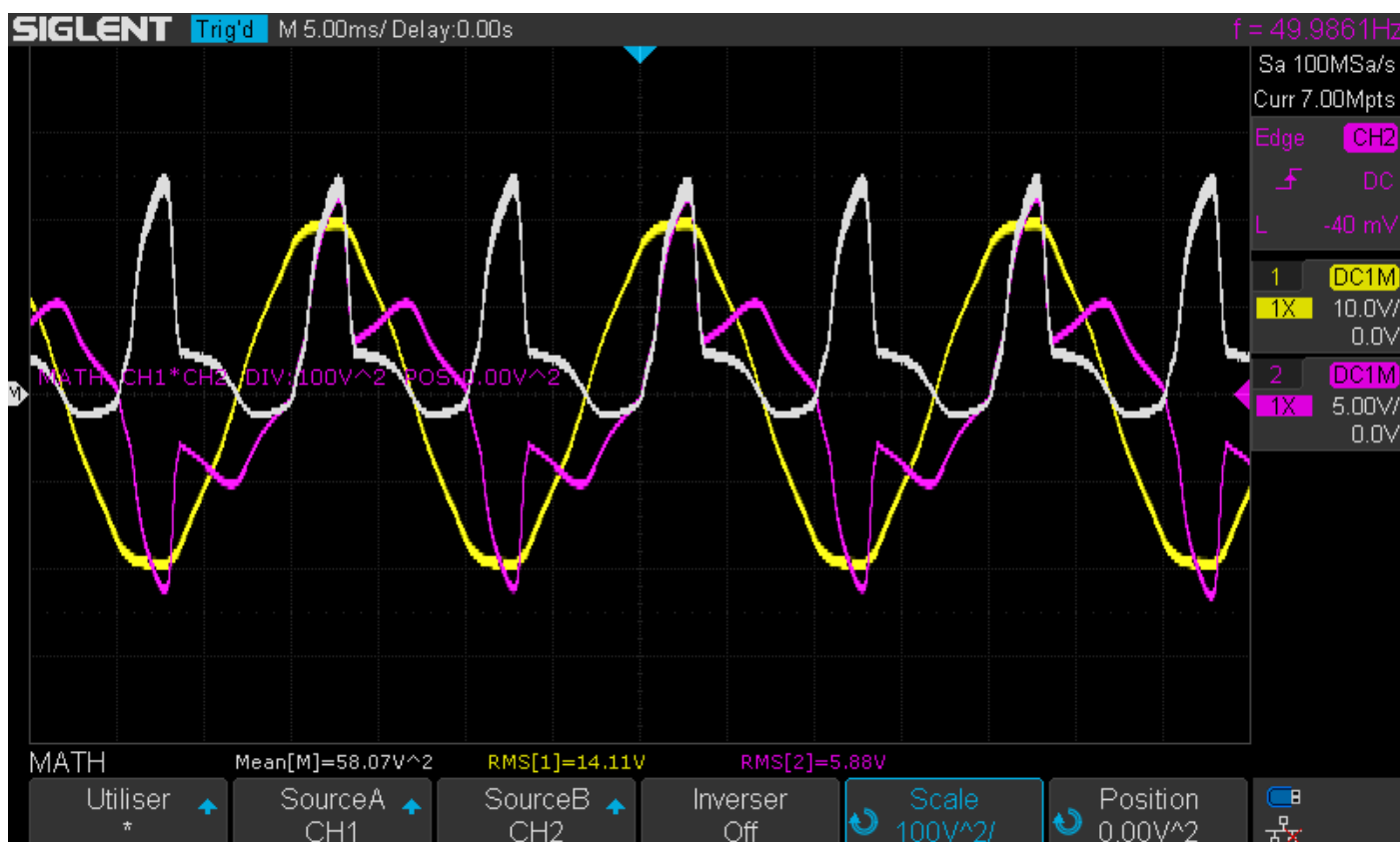
Bizarrement, certains appareils qui possèdent un interrupteur mécanique (l'ampli Yamaha, le lecteur de K7) consomment un peu de courant lorsqu'ils sont éteints. Leur interrupteur mécanique ne coupe pas l'alimentation 230V, pour moi c'est un défaut de conception.

L'ampli home cinéma Sony à une consommation en veille très faible comparée à l'ampli Yamaha, en revanche, en fonctionnement, pour un volume sonore perçu identique l'ampli home cinéma Sony consommerait deux fois plus de puissance que l'ampli Yamaha.

Voyons les courbes de mesure - Ampli home cinéma en veille :



Ampli home cinéma en marche :



## Les mesures — Dans la maison

C'est là qu'on apprend le plus de choses... Il y a de bonnes, mais aussi de mauvaises nouvelles.

| Dans la maison                      | S        | P        | COS PHI |
|-------------------------------------|----------|----------|---------|
| Éclairage évier cuisine veille      | 1,206    | 0,732    | 0,61    |
| Éclairage évier cuisine marche      | 25,823   | 21,392   | 0,83    |
| Senseo veille                       | 4,112    | 0,144    | 0,04    |
| Four MO veille                      | 3,077    | 1,432    | 0,47    |
| Multiprise 6 néons                  | 1,575    | 1,533    | 0,97    |
| Nouvel adoucisseur                  | 1,488    | 0,532    | 0,36    |
| Chaudière juste avec circulateur    | 45,852   | 42,864   | 0,93    |
| Chaudière sans circulateur          | 7,900    | 3,744    | 0,47    |
| VMC Cave                            | 17,108   | 11,897   | 0,70    |
| VMC Vitesse 1 (résistance chutrice) | 37,775   | 36,945   | 0,98    |
| VMC Vitesse 2 (résistance chutrice) | 40,415   | 39,715   | 0,98    |
| VMC Vitesse 3                       | 47,203   | 45,493   | 0,96    |
| VMC Vitesse avec C 4 µF             | 40,680   | 28,383   | 0,70    |
| Onduleur Bureau éteint              | 10,909   | 8,515    | 0,78    |
| Onduleur Bureau Allumé zéro charge  | 13,652   | 10,992   | 0,81    |
| Onduleur Salon éteint               | 17,500   | 13,865   | 0,79    |
| Onduleur Salon Allumé zéro charge   | 17,448   | 13,588   | 0,78    |
| 3 alim volets roulants Velux        | 13,152   | 6,447    | 0,49    |
| 3 alim volets roulants 1 en marche  | 23,086   | 15,968   | 0,69    |
| Pompe à chaleur veille              | 130,688  | 25,729   | 0,20    |
| Pompe à chaleur marche              | 1853,670 | 1812,874 | 0,98    |

Les appareils qui ont une consommation en veille (le four MO et la cafetière) sont débranchés lorsque je ne m'en sers pas. Les puissances sont faibles, mais lorsqu'on a une dizaine d'appareils de type branchés en permanence le cumul n'est pas négligeable.

L'éclairage de l'évier de la cuisine est « sans contact », avec un détecteur d'approche infrarouge, pratique avec les mains mouillées, mais il y a une petite consommation de courant permanente.

L'adoucisseur est branché en permanence, et c'est une bonne nouvelle, il consomme très peu. L'ancien adoucisseur consommait 8 watts en permanence.

La consommation des voyants rouge « néon » des multiprises n'est pas négligeable. J'ai une multiprise avec un interrupteur pour chaque prise, soit 6 interrupteurs au total chacun avec un voyant. Si vous avez des multiprises avec interrupteurs laissées allumées en permanence, il vaut mieux utiliser des modèles sans voyant.

La chaudière murale au gaz de ville, qui assure chauffage et eau chaude, est particulièrement économique. Mon ancienne chaudière au fioul consommait 60 watts en permanence.

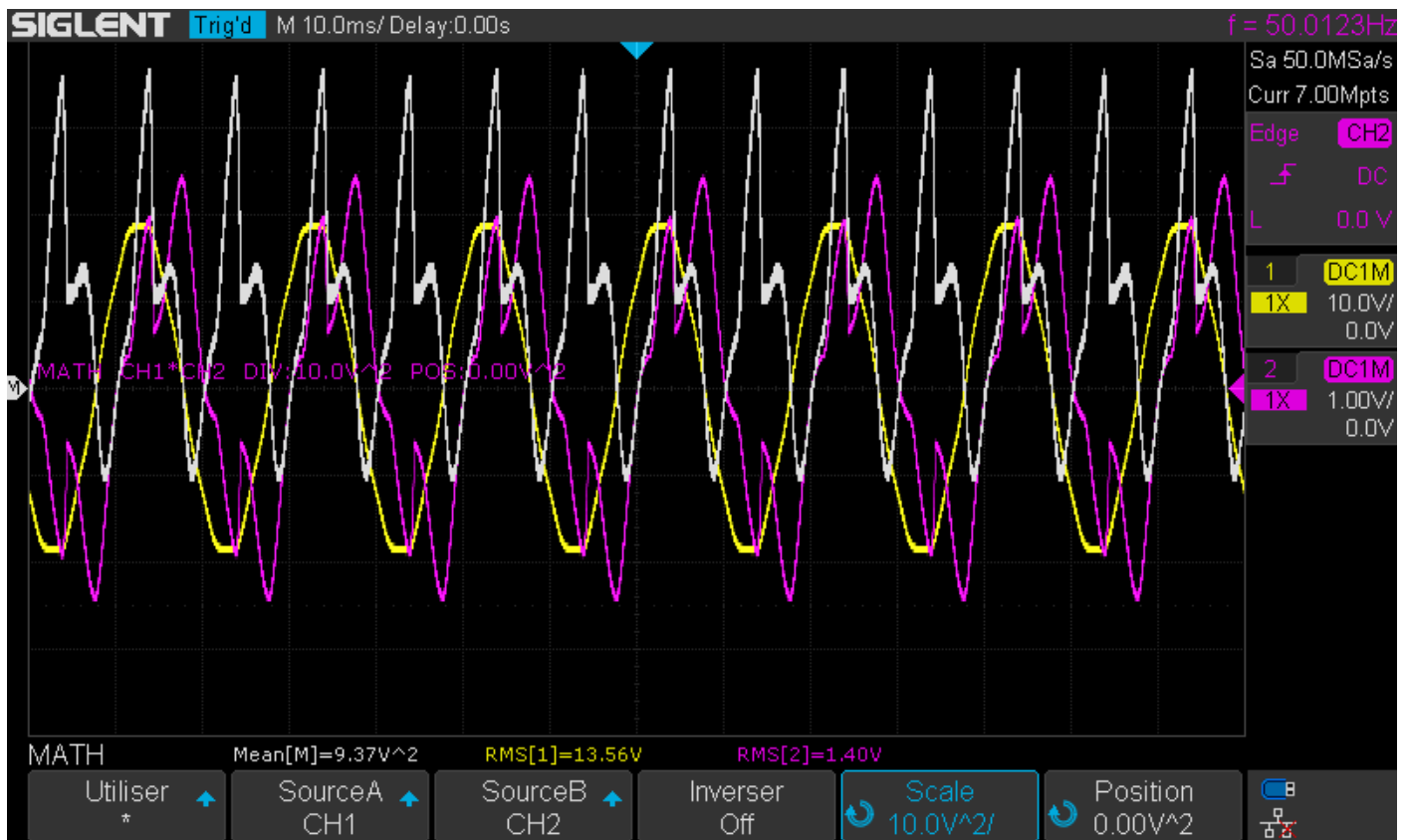
La consommation d'une VMC est importante, on peut réduire sa vitesse et sa consommation en intercalant un condensateur en série au lieu d'une résistance chutrice. Mais on constate que l'économie de courant n'est pas proportionnelle à la vitesse et au débit d'air correspondant.

Il ne faut surtout pas surdimensionner une VMC par rapport à la taille du logement. Mieux vaut une petite VMC adaptée à la taille du logement tournant à plein régime qu'une grosse VMC tournant au ralenti. Les VMC double flux consomment plus de courant, cette consommation annule en partie les économies de chauffage réalisées.

La mauvaise surprise vient des onduleurs. Ils sont indispensables pour protéger son matériel des surtensions et des microcoupures, mais ils consomment beaucoup à vide, même lorsqu'ils sont complètement éteints ! Je précise que les mesures ont été faites lorsque les batteries étaient complètement chargées. Il s'agit clairement d'un défaut de conception. Mes mesures m'ont permis de me rendre compte que, étant donné la consommation de mes appareils, je n'ai besoin finalement que d'un seul onduleur. Je vais conserver celui du bureau qui est à la fois le plus puissant, le plus économe et le plus ancien (il a 20 ans). Je l'avais payé assez cher à l'époque et je ne le regrette pas.

Les alimentations de mes volets roulants Velux ont une consommation en veille trop importante. C'est là aussi un défaut de conception, ces volets roulants n'ont que 6 ans. Inadmissible pour des appareils qui ne servent que 2 minutes par jour. La solution est simple : alimenter ces volets roulants depuis un interrupteur, qu'il faudra allumer lorsqu'on souhaite piloter un volet roulant avec sa télécommande. Heureusement, lorsqu'ils sont éteints, ces blocs d'alimentation Velux ne perdent pas l'association avec les télécommandes.

Voici la courbe des alimentations des volets roulants en veille :



Ma pompe à chaleur a, elle aussi, une consommation en veille trop importante. Presque 26 watts en permanence, cela représente 225 kWh par an ! Je ne me sers de cette pompe à chaleur que dans les cas suivants :

- En chauffage « de pointe » l'hiver, lorsque je rentre de déplacement, pour réchauffer la maison plus vite après avoir mis la chaudière au minimum ; en effet ma chaudière à condensation et les radiateurs qui lui sont associés ne sont pas prévus pour chauffer fortement et rapidement un logement.
- En climatisation lorsque je travaille dans mon bureau en période de fortes chaleurs

La solution est simple : couper l'alimentation de la pompe à chaleur lorsqu'elle ne sert pas, mais il faut le faire au niveau du tableau électrique.

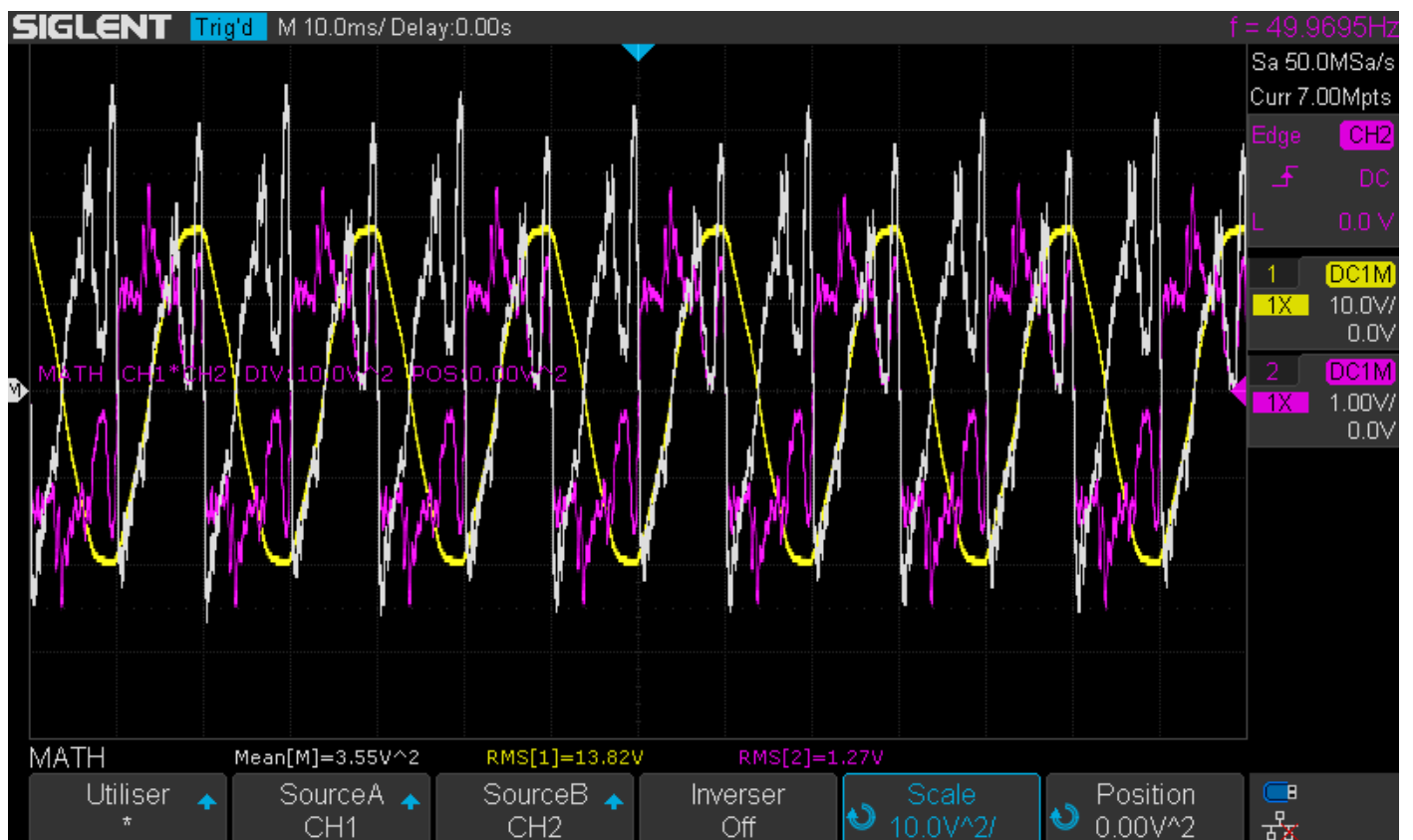
En fonctionnement :

- le facteur de puissance de la pompe à chaleur est très bon (presque pas de puissance réactive)
- il y a une forte émission de parasites à 10KHz sur le conducteur de terre ; si on utilise des câbles audios de mauvaise qualité, on entend un sifflement dans les haut-parleurs de la chaîne Hifi.

La consommation en veille de la pompe à chaleur et son émission de parasite sont clairement des défauts de conception de son alimentation, inadmissible pour un appareil censé permettre des économies d'énergie. Son alimentation semble avoir été conçue uniquement pour avoir un bon facteur de puissance en charge.

Voyons les courbes de la pompe à chaleur :

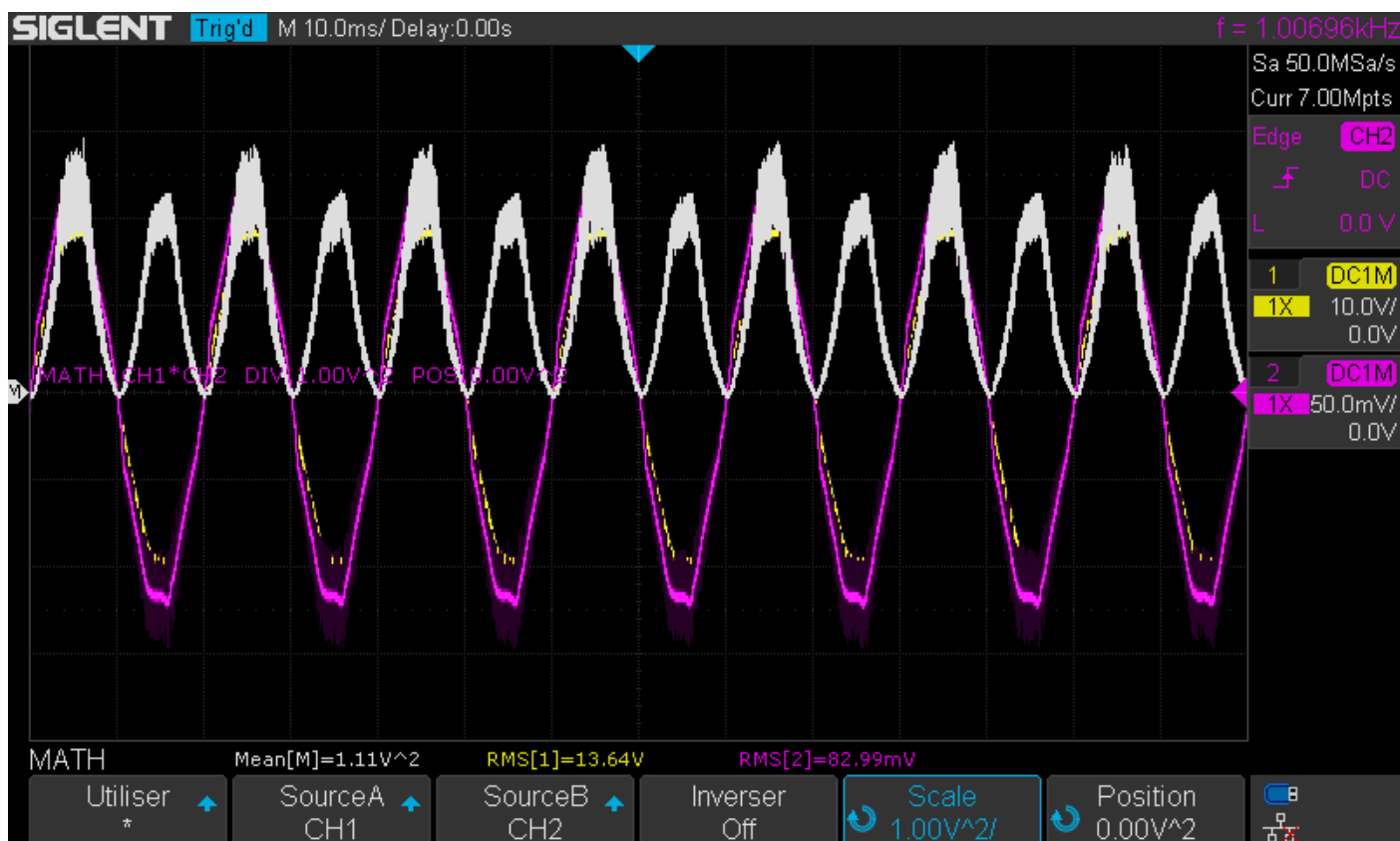
- En veille, phase neutre :



- En veille, phase terre :



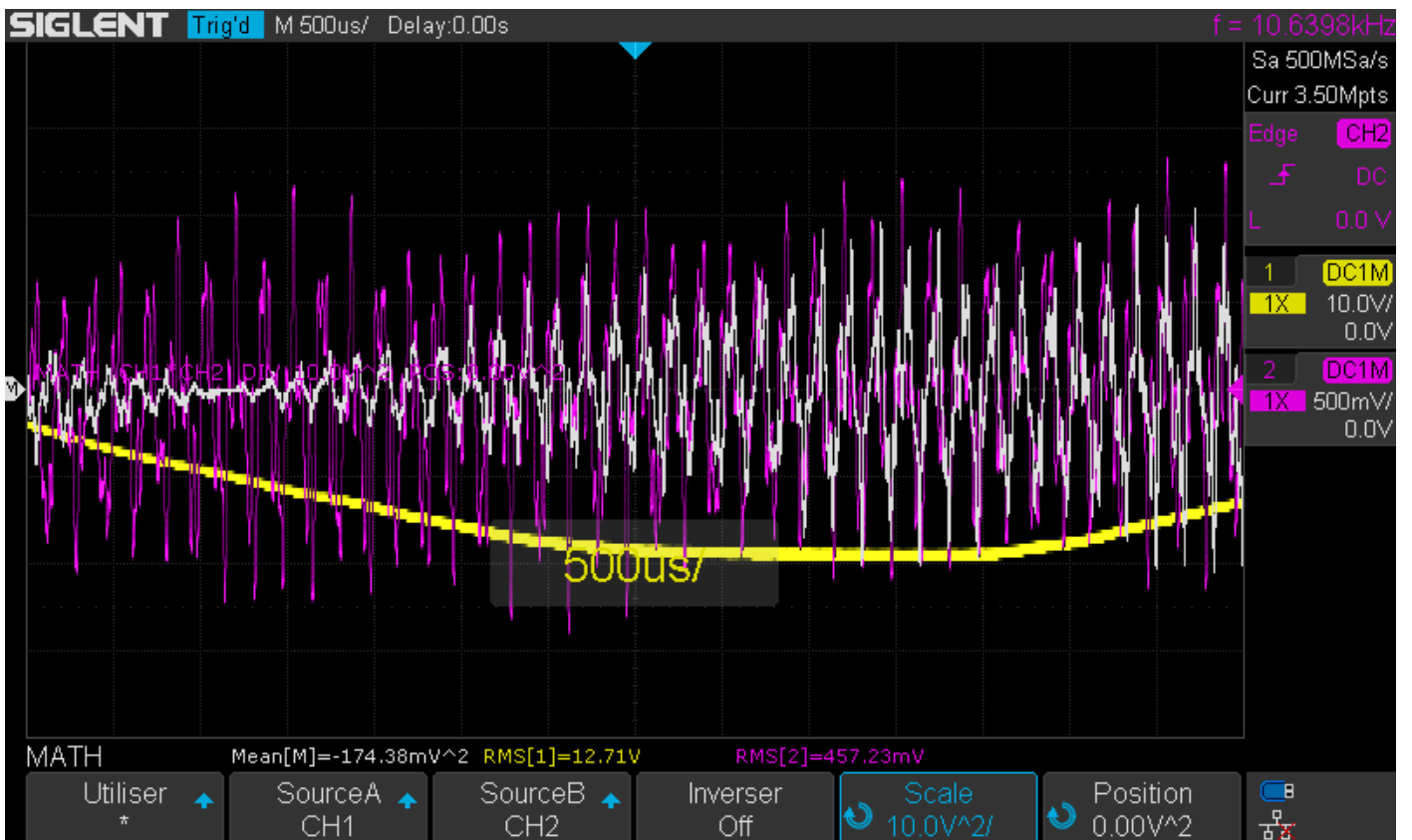
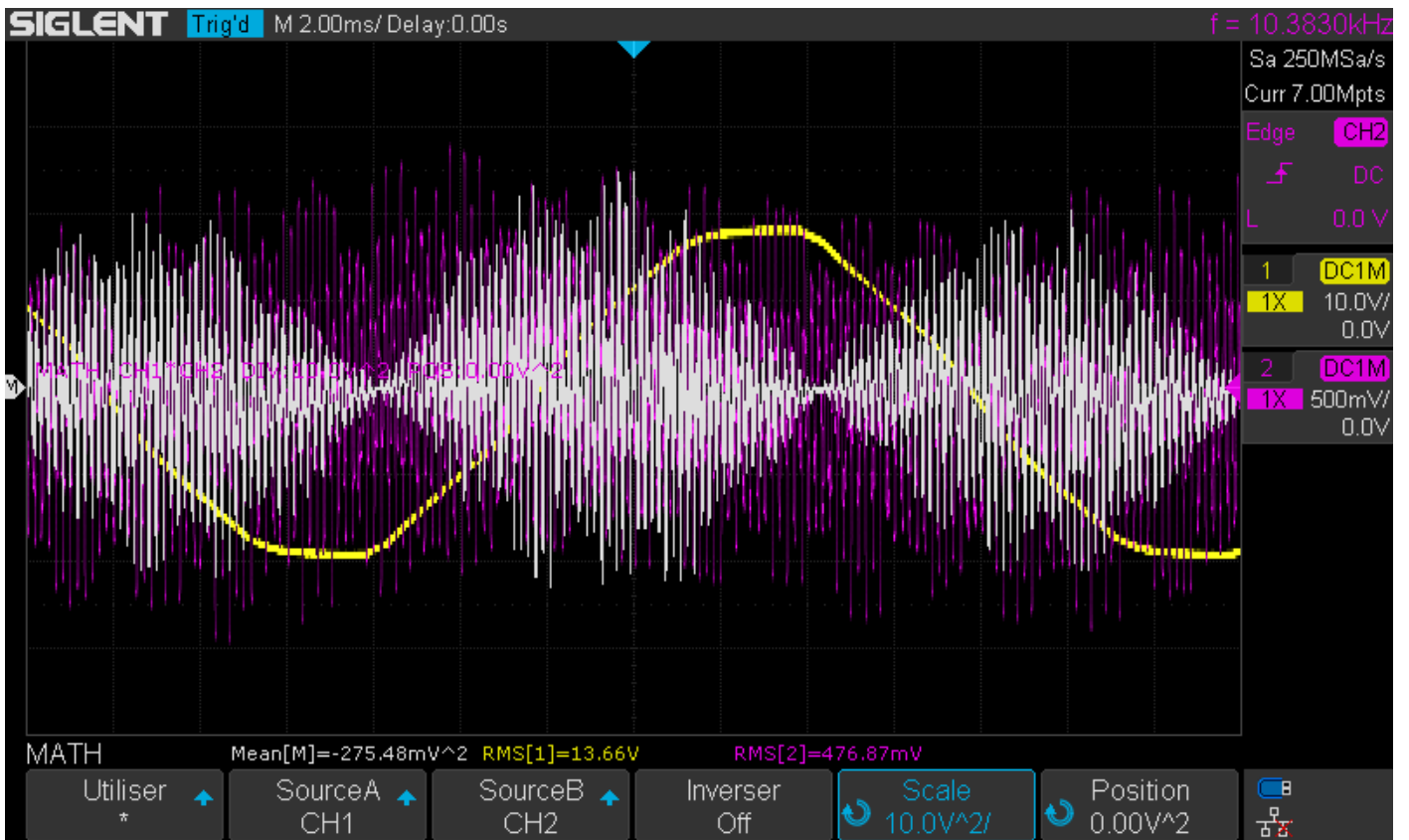
- En marche, phase neutre :



- En marche, phase terre, différentes sensibilités horizontales :







Toutes ces mesures permettent d'esquisser une première conclusion.

## Conclusion

J'ai calculé que la consommation des appareils allumés en permanence chez moi représentait 30 % de ma facture d'électricité ! Certes, beaucoup de ces appareils sont utiles et ne peuvent être coupés (adoucisseur, chaudière, VMC, téléphone...)

Mais la consommation permanente de certains appareils n'est pas justifiée. Cette consommation inutile représente 17 % de ma facture d'électricité ! J'ai pu éliminer une bonne partie de ces 17 % en supprimant ou en débranchant ces appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

C'est paradoxal, mais les appareils rudimentaires qui ne fonctionnent qu'en 230V et ont un interrupteur mécanique sont souvent meilleurs, car ils n'ont aucune consommation en veille. Un appareil qui fonctionne entièrement en très basse tension et qui doit être alimenté en permanence va consommer du courant même lorsqu'il ne sert pas ; il faut vraiment que son alimentation soit de très bonne qualité. De plus, ce fonctionnement en veille permanente va avoir un impact sur la durée de vie des composants de l'alimentation. Ces appareils auraient pu et auraient dû être équipés d'un interrupteur 230V marche/arrêt mécanique.

On voit que l'importance de limiter la consommation de nos appareils électriques et électroniques est encore loin d'être une évidence pour tous les fabricants. Certains appareils sont excellents et d'autres, pourtant récents, sont médiocres. Ce problème est aggravé par le fait que la puissance est quelque chose de difficile à mesurer, les instruments de mesure que l'on trouve dans le commerce à destination du grand public n'étant pas assez précis.

Il y a aussi la question du facteur de puissance (improprement appelé cos phi).

C'est un paramètre important, surtout pour les installations alimentées depuis une source d'énergie alternative ou de faible puissance (batteries, panneaux solaires...). Beaucoup d'appareils ont un facteur de puissance mauvais.

Les mesures semblent montrer que les fabricants ont énormément de mal à concevoir des appareils qui ont à la fois un bon facteur de puissance, une faible consommation en veille, un bon rendement et une faible pollution électromagnétique. Une bonne alimentation doit aussi être protégée contre les surtensions, et être convenablement protégée contre toute défaillance pour éviter un risque d'incendie. Ce dernier point n'est pas négligeable comme l'a montré un article du magazine Que Choisir de février 2020 consacré aux chargeurs de smartphones.

Les concepteurs d'alimentations ont encore de nombreux défis à relever, c'est un enjeu important pour la transition écologique et nos portemonnaies.

Rémy LUCAS