

Mieux connaître sa consommation électrique

MICHEL OURY

Professeur honoraire agrégé de génie électrique
Association ANTEC
135 Allée de Champlong, 38430 Moirans
michel.oury@tpline.fr

GIL AUBERT

Professeur certifié de génie électrique
Lycée de l'Essouriau, Les Ulis,
Académie de Versailles
aubert.cgil@free.fr

Résumé : le projet TPLine (« des TP sur des systèmes distants en temps réel ») est porté par des enseignants avec l'aide de partenaires du monde de l'entreprise. Il permet aujourd'hui à des élèves du secondaire et des étudiants d'exploiter des données issues de mesures sur des systèmes et installations en exploitation (bras manipulateur chez Schneider Electric et station anémométrique de mesure du Mistral le long de la ligne de TGV Lyon-Marseille).

Les nouveaux programmes de STIDD et de Ssi ont permis le développement d'un nouveau TP autour de la notion d'efficacité énergétique active dans le domaine domestique. Nous décrirons, tout d'abord, le matériel de mesure mis en œuvre et son association avec le serveur TPLine, puis nous présenterons les activités proposées à l'élève : estimation de la consommation énergétique d'un réfrigérateur en fonctionnement en temps réel et analyse concernant l'opportunité d'en changer pour un modèle moins énergivore.

1. Sciences de l'ingénieur et développement durable : enfin !

Contrairement à ce que pensait Jean-Baptiste Say, les ressources naturelles ne sont pas inépuisables. La plupart des scientifiques sont aujourd'hui d'accord pour reconnaître que les ressources fossiles sont en quantité limitée. Leur seule divergence concerne maintenant la date limite de leur disparition.

De nombreux ouvrages traitent aujourd'hui de ce sujet et l'on s'y reportera pour une analyse détaillée. Les documents d'accompagnement des nouveaux programmes des baccalauréats STIDD introduisent ainsi ce qui relève du domaine de l'énergie :

«Le Développement Durable suppose, entre autre, une **utilisation optimale et réfléchie des ressources énergétiques disponibles. Au cours de l'étude de systèmes techniques, un regard critique sera porté sur leur efficacité énergétique...**Un des enjeux essentiels est d'améliorer le rendement.»

L'utilisation réfléchie, sortant du cadre de l'enseignement des STI, n'est pas réellement abordée dans les programmes et pourtant c'est bien grâce à cette réflexion que les japonais ont pu réduire leur consommation d'énergie après l'accident de Fukushima, au point d'arrêter brusquement 52 réacteurs nucléaires sur 54. Il ne leur a pas été possible, dans un laps de temps aussi court, d'optimiser à ce point l'utilisation de l'énergie.

L'essentiel du programme de STIDD, pour sa partie énergétique, va donc se pencher essentiellement sur les moyens d'optimiser les divers flux énergétiques, de l'extraction à la consommation et au recyclage. On peut citer une fois de plus le document d'accompagnement du programme :

«L'Efficacité Énergétique Passive intègre l'utilisation de produits performants qui tendent à limiter les pertes ou consommer moins d'énergie (l'isolation des bâtiments, l'utilisation d'ampoules basse consommation, d'appareils technologiques économes...). L'Efficacité Énergétique Active propose des solutions pour réduire la facture énergétique (intégration de systèmes de régulation, d'automatismes, de mesures et contrôles...)».

L'efficacité énergétique passive pourra donc être analysée, estimée, et critiquée, alors que **l'efficacité énergétique active pourra de plus être mesurée**. Le consommateur final, particulier ou entreprise, s'intéressera à la consommation des bâtiments, des moyens de transports, etc., tout système qu'il n'est pas si simple d'instrumenter.

La plateforme TPLine (www.tpline.fr) propose des travaux pratiques en ligne pour permettre aux élèves d'effectuer des mesures à distance et en temps réel sur des systèmes réels. Les professeurs et les entreprises qui participent à TPLine vont donc instrumenter ces systèmes souvent inaccessibles ou d'accès difficile, voire dangereux et coûteux, et transmettre les résultats de ces mesures sur le serveur internet de TPLine où les élèves et leurs professeurs auront accès aux données brutes et à des travaux pratiques clés en main.

2. Mesure de l'énergie

Afin de pouvoir développer des Tps d'efficacité énergétique active sur des systèmes variés, nous avons retenu, après quelques essais, le matériel d'une entreprise anglaise, *CurrentCost*, pour les possibilités de gestion vers l'internet qu'il offre et son très faible coût. La mesure de l'énergie électrique consommée est en fait une mesure du courant appelé par une ligne

d'alimentation. L'énergie qui en découle est obtenu par une simple multiplication de la valeur efficace de l'intensité I_L de ce courant, par la tension efficace V_L entre cette ligne et le neutre et par le temps écoulé Δt . On obtient ainsi l'énergie consommée en kWh.

Nous entendons d'ici les puristes nous rétorquer que la tension efficace entre ligne et neutre n'est pas réellement tout à fait constante ni la même partout, et que, dans le cas d'un appareil réactif, le $\cos\phi$ n'est pas égal à 1. Nous considérerons donc qu'en première approximation les appareils grand public ne consomment que de l'énergie active. Dans le cas où un appareil aurait un $\cos\phi$ inférieur à 1, il sera possible de modifier les paramètres du calcul sur le site internet, ce que ne permet pas le matériel de CurrentCost et que nous avons donc ajouté.

2.1. Constitution de la sonde.



Figure 1 : pince ampèremétrique

La partie acquisition du matériel CurrentCost est constituée de pinces ampèremétriques (figure 1) pouvant se fixer autour d'un câble de $\varnothing 12$ mm maximum, parcouru par un courant alternatif sinusoïdal maximal de 80 A. La sensibilité de cette sonde est de 50 mA (données du fabricant).

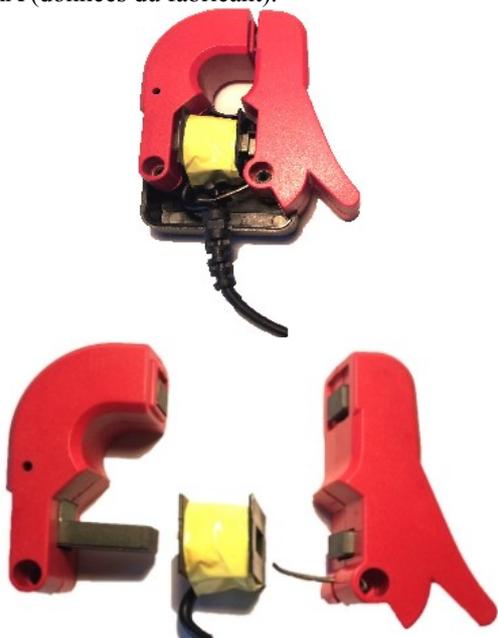


Figure 2 : constitution de la pince ampèremétrique

Cette sonde est constituée (figure 2) :

- d'un **circuit magnétique** fermé autour du câble (voir ses dimensions figure 3),

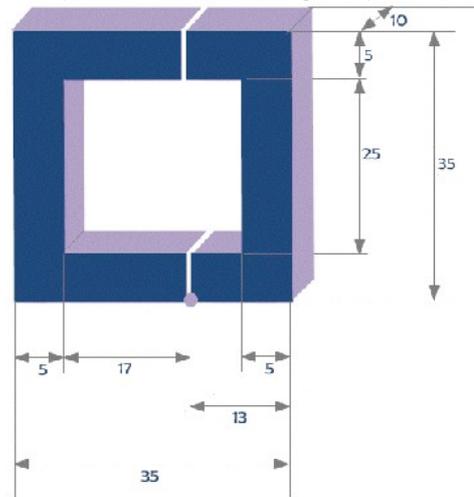


Figure 3 : dimensions du circuit magnétique

- d'une **bobine de fil** de 0,1 mm de diamètre placée autour du circuit magnétique dans un support rectangulaire en bakélite. Cette bobine a une dimension de $17,58 \times 12,58 \times 11,58$ mm (L×l×h). Le passage du circuit magnétique rectangulaire se faisant à travers une surface de $10,48 \times 5,33$ mm.
- d'une **résistance R1** en parallèle avec la bobine marquée du code couleur suivant : orange, bleu, noir, noir, marron, soit 360Ω à $\pm 1\%$ (figure 4).

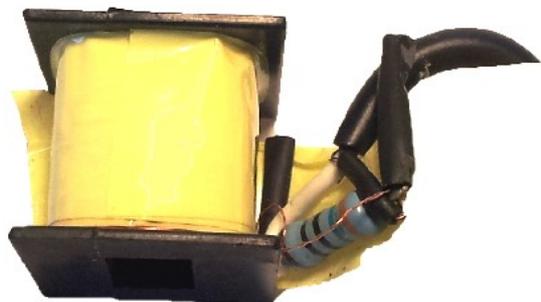


Figure 4 : une résistance R1 est placée en parallèle aux bornes de la bobine

2.2. Fonctionnement de la sonde.

Le courant électrique à mesurer I_L qui circule dans le câble crée un champ magnétique H dans le circuit en terre rare de la sonde (figure 5).

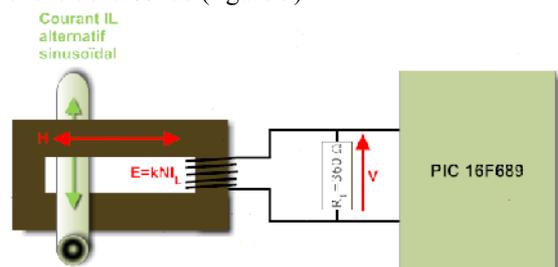


Figure 5 : association sonde et PIC

Wireless M-Bus est le standard de communication pour l'AMR (Automatic Meter Reading), permettant d'optimiser la lecture automatique et le contrôle à distance des compteurs (smart metering). C'est une norme radio à l'intérieur des systèmes M-Bus pour la lecture des compteurs d'eau, d'électricité et de gaz. La transmission des données se fait dans les bandes SRD 868 MHz ou ISM 433 MHz. Le module CurrentCost travaille donc dans la bande 433 MHz ISM (Industriel, Scientifique, Médical) dont l'un des principaux avantages est, outre le fait d'être autorisé sans obligation administrative, pour les modules qui l'utilisent, une très faible consommation d'énergie.

3.3. Fonctionnement du récepteur EnviR

Les informations transmises par radio sont collectées par le récepteur EnviR qui va afficher sur son écran à cristaux liquides la totalité des énergies consommées par chaque émetteur ainsi que le coût qu'elle représente. Pour arriver à ce résultat, il faut lui indiquer :

- la valeur efficace de la tension monophasée d'alimentation (par exemple 230 V),
- les horaires des tarifs jour et nuit. Ce boîtier mesure également la température de l'endroit où il est posé, et indique sous la forme d'un graphe à barres la somme des énergies consommées suivant certaines plages horaires (nuit, jour, soir), etc. (voir figure 8).



Figure 8 : le boîtier EnviR d'interface homme-machine

Le principal inconvénient de cette interface homme-machine est la grande difficulté à exploiter toute la précision des informations reçues et l'impossibilité de remonter dans le temps sur plusieurs jours, plusieurs semaines ou plusieurs mois.

En effet, un écran n'indique que la somme des énergies des sondes connectées à chaque émetteur pour les trois zones temporelles, nuit, jour et soir. Il est donc impossible de connaître la consommation énergétique d'une ligne d'un émetteur, à moins qu'elle ne soit la seule reliée à celui-ci. En outre le réglage de la tension efficace du réseau ne peut se faire que par pas de 10 volts.

Heureusement, ce boîtier est communicant : un cordon permet de le relier à un ordinateur. Côté EnviR, on dispose d'un connecteur RJ45 et côté ordinateur d'une entrée USB/RS232. Il est donc nécessaire d'installer sur l'ordinateur le pilote USB/RS232 qui fera apparaître cette liaison USB comme s'il s'agissait d'une entrée RS232 (pilote Prolific 2303). Toutes les informations nécessaires au téléchargement et à la mise en place du pilote sont disponibles sur le site de CurrentCost : <http://currentcost.com/software-downloads.html>

Une notice complète concernant l'installation de ce pilote est également téléchargeable (en anglais : [Installing the drivers for the CurrentCost Data Cable.pdf](#))

Un logiciel disponible en ligne permet alors de collecter les informations en provenance de tous les émetteurs et de les envoyer en mode ftp vers le serveur de votre choix.

L'ensemble ainsi installé permet la récupération des données de mesure de chaque ligne, mesures faites toutes les 6 secondes, avec un intervalle de collecte re-définissable, et que nous avons fixé à une minute (figure 9).

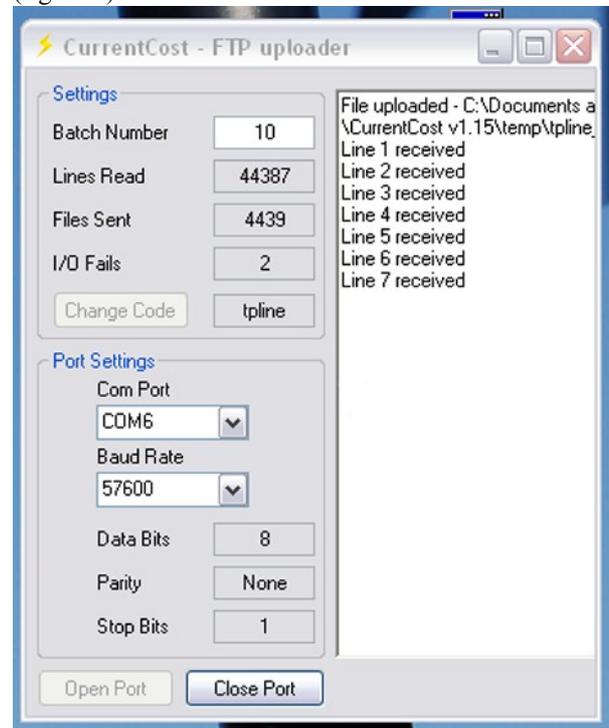


Figure 9 : collecte des informations toutes les 6 secondes via un port RS232 (COM6) à 57600 Bauds et envoi vers le serveur toutes les minutes en mode ftp.

Les données collectées sont des fichiers xml. Elles sont analysées par un programme php sur le serveur qui va ranger ces mesures dans une table accessible par

MySQL. Il est alors possible de mettre au point des pages de travaux pratiques pour internet qui utilisent ces mesures. On peut tracer une ou plusieurs lignes de mesures, dans un intervalle de temps modifiable, récupérer des données issues des journées précédentes, effectuer des bilans, etc (figure 10 par exemple).

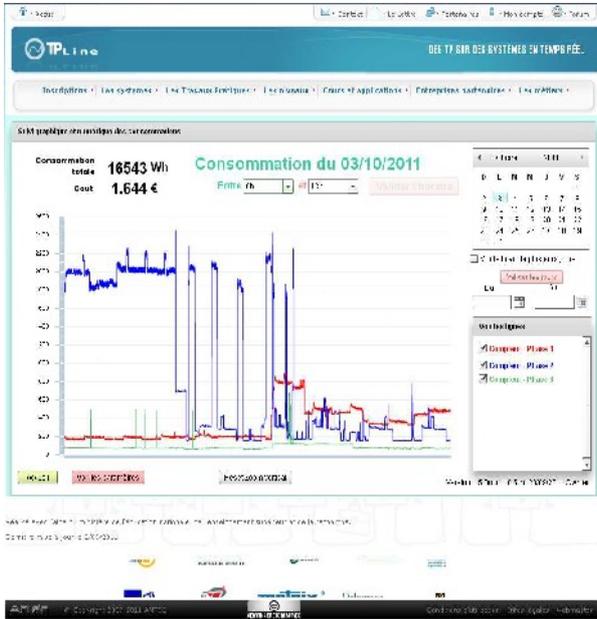


Figure 10 : exemple de tracé de plusieurs relevés sur un système avec alimentation triphasée

Un premier TP est d'ores et déjà disponible sur TPLine : <http://www.tpline.fr/fr/CC/tp9/index.php> L'objectif est ici de permettre aux élèves de mesurer en ligne, en temps réel, la consommation électrique d'un réfrigérateur afin de déterminer s'il est énergivore et s'il est économiquement rentable d'en changer.

4. TP « Ce réfrigérateur est-il énergivore ? »

Un particulier, domicilié dans un appartement au sud de l'Ile-de-France, souhaite savoir ce que lui coûte l'utilisation de son réfrigérateur afin d'envisager éventuellement son remplacement. Il installe donc sur la ligne d'alimentation de ce réfrigérateur une pince ampèremétrique *CurrentCost* reliée à un émetteur qui envoie les informations au transmetteur *EnviR*.

Ce dernier transmet par une liaison ftp (File Transfert Protocol) les données lues au serveur de TPLine. Il est alors possible au propriétaire du réfrigérateur de suivre, en temps réel, la consommation électrique de cet appareil et de récupérer les données archivées sur le serveur de TPLine les jours précédents.

Les mesures sont effectuées toutes les 6 secondes, regroupées dans le bloc *EnviR*, et envoyées au serveur de TPLine toutes les minutes (figure 14).

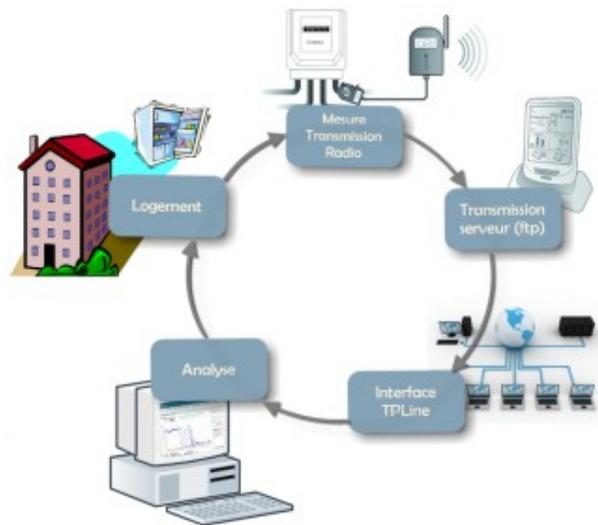


Figure 14 : transmission des données

L'utilisateur dispose également de la documentation technique de cet appareil, fournie par son fabricant.

On se propose donc d'analyser les performances du réfrigérateur, puis à partir des mesures faites en temps réel et en temps différé, d'estimer son coût d'usage et ainsi d'envisager son remplacement par comparaison avec des appareils plus récents.

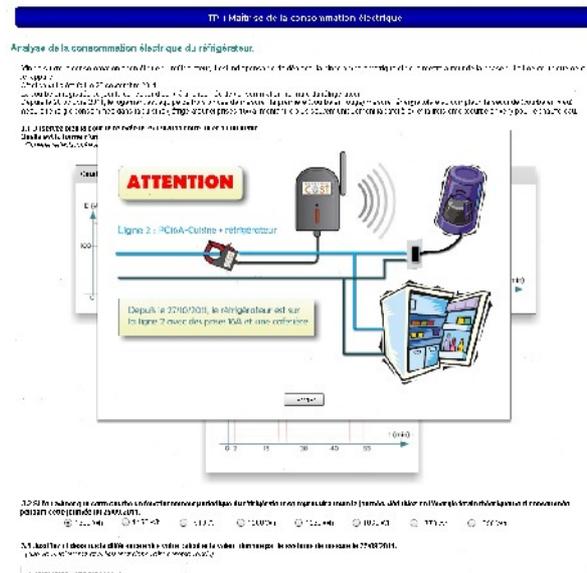


Figure 15_1 : exemple de page d'écran du TP en ligne.

Chaque page permet à l'élève de progresser dans ce travail pratique mis au point par un professeur de la spécialité. Après avoir analysé la consommation périodique du réfrigérateur distant, il doit calculer sa consommation moyenne annuelle et la comparer à celle indiquée sur la fiche technique du fabricant pour en tirer une conclusion.

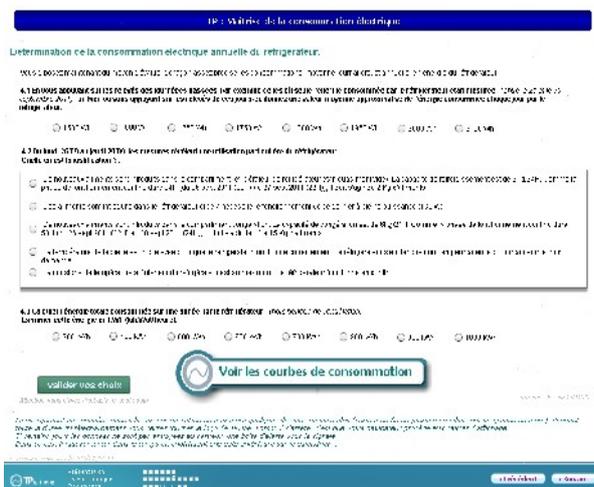


Figure 15_2 : exemple de page d'écran du TP en ligne.

Puis en se basant sur des comparatifs de consommation énergétique, il lui faut décider de remplacer ou non ce réfrigérateur par un modèle plus récent et moins énergivore, après avoir fait un calcul de retour sur investissement (figures 15_1, 2 & 3).

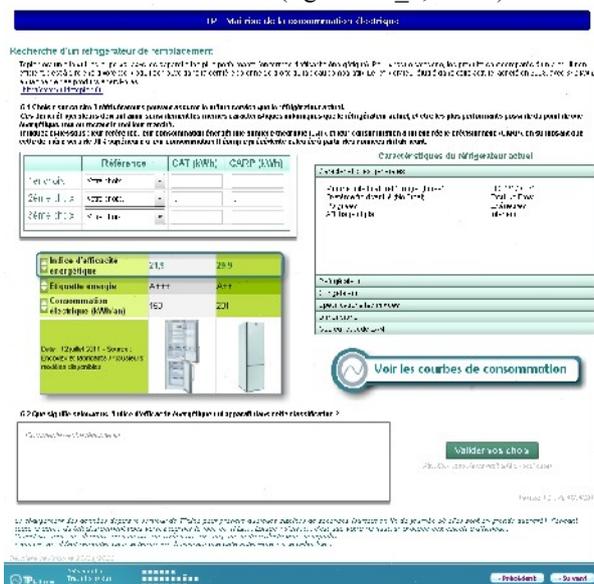


Figure 15_3 : exemple de page d'écran du TP en ligne.

Si l'élève n'a pas le temps de terminer ce TP pendant la séance en classe, il peut le finir chez lui ou à la bibliothèque puisque tout son travail reste enregistré dans la base de données de TPLine, comme pour tous les autres TPs.

A la fin du TP, dès qu'il validera son travail, il recevra un compte-rendu de celui-ci, ainsi qu'un corrigé type. Son professeur recevra également par courriel le compte-rendu de son travail.

Ce TP est disponible, gratuit, et sera sans doute amélioré grâce aux remarques de ses utilisateurs.

Un autre TP est en phase d'étude et portera sur l'analyse comparative d'un chauffage central mixte bois/fioul (figure 16). L'élève pourra accéder en temps réel au fonctionnement de la chaudière : consommation de la pompe à fioul, température de l'eau du circuit de

chauffage en trois points, sortie chaudière, retour du circuit de chauffage et sortie de la vanne mélangeuse vers les radiateurs. Il aura également accès à toutes les informations météorologiques en temps réel à proximité de ce pavillon, ainsi qu'à la température d'une pièce témoin.

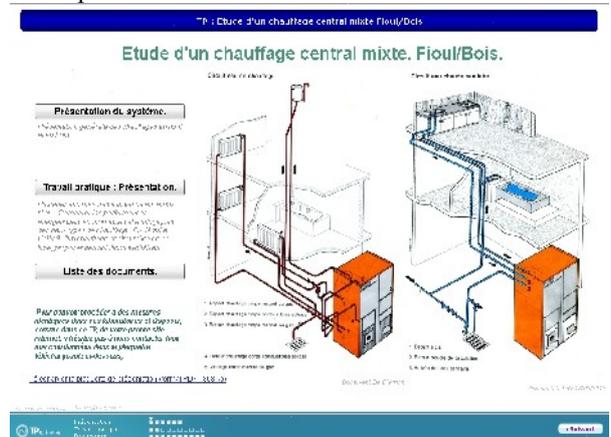


Figure 16 : un nouveau TP se met en place pour les élèves de terminale STIDD.

Si vous souhaitez participer à l'élaboration du scénario pédagogique pour les classes de première et de terminale STIDD, n'hésitez pas à contacter l'équipe de TPLine : pedago@tpline.fr

D'autres TPs sont également en étude pour les élèves du cycle primaire (deux écoles et une ferme pédagogique sont en train de travailler sur des scénarios) afin de sensibiliser les élèves aux problèmes d'économie d'énergie.