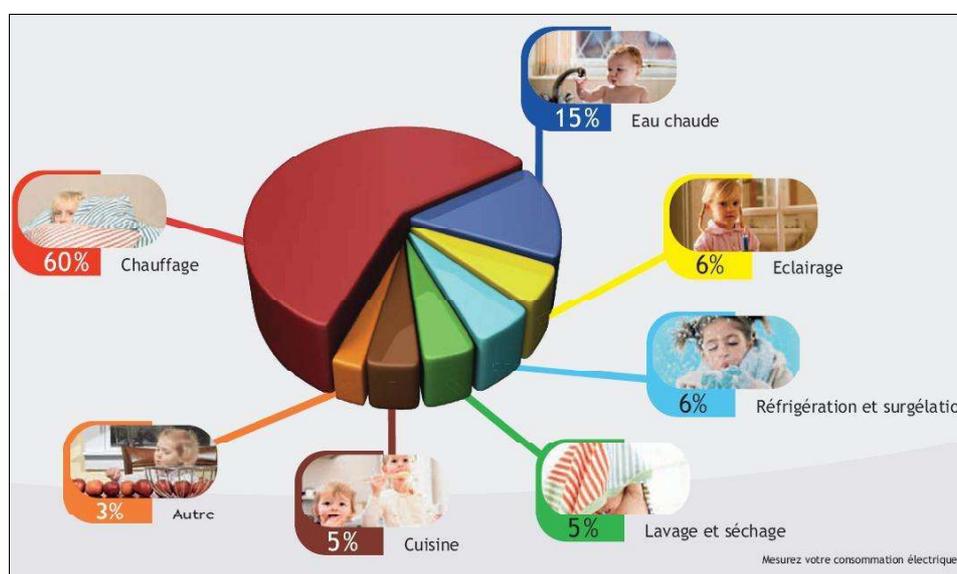


*Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2011 – Groupe 29*

Techniques de régulation de chauffage d'une habitation individuelle



Etudiants :
Jiannan DU
Adrien DUMAS
Jiaxi GAO

**Alexandre LAPEDRA
Axel MIERAL
Kevin POREE**

Enseignant-responsable du projet :
François GUILLOTIN



Date de remise du rapport : **18/06/2011**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – groupe 29**

Intitulé du projet : **Techniques de régulation de chauffage d'une habitation individuelle**

Type de projet : **Bibliographique et expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Ce projet a pour objectif de faire découvrir les différentes techniques de régulation existante dans une habitation individuelle, et de chercher à déterminer la meilleure d'entre elles. Nous devons aussi montrer comment s'opère cette régulation dans la pratique.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : **Régulation (centralisée et décentralisée) / Economie / Optimisation**

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	5
1 Les principes de la régulation.....	6
1.1 Les fonctions principales de régulation.....	6
1.2 La gestion des intermittences.....	7
1.3 Les trois aspects de la régulation.....	8
1.3.1 La température qu'il faut.....	8
1.3.2 Quand il faut.....	8
1.3.3 Où il faut.....	8
1.4 L'importance du confort.....	8
2 Quel système pour la régulation ?.....	9
2.1 Le chauffage central.....	9
2.1.1 Contrôle à la chaudière.....	9
2.1.2 Le principe des bi énergies.....	10
2.1.3 Les robinets thermostatiques.....	10
2.2 Le chauffage décentralisé.....	10
2.2.1 Le chauffage électrique.....	11
2.2.2 Le chauffage par rayonnement :.....	12
2.2.3 Pour une meilleure régulation.....	12
2.2.4 Les avantages de ce type de chauffage.....	13
2.3 Les pompes à chaleur.....	14
2.4 Tableau Bilan.....	15
3 L'installation pratique d'un système de régulation.....	15
3.1 De l'importance de la régulation.....	15
3.2 Le fil pilote.....	17
3.2.1 Qu'est ce que c'est ?.....	17
3.2.2 Fonctionnement.....	17
3.2.3 Installation.....	17
4 Conclusion.....	20
5 Glossaire.....	21
6 Bibliographie.....	22
6.1 Revues.....	22
6.2 Ouvrages.....	22
6.3 Sites internet.....	22
7 Annexe.....	23



Introduction

De nos jours, la question de la gestion des énergies est devenue primordiale. De par ses utilisations d'abord. Transport, chauffage, éclairage, électroménager, aucun domaine, quotidien ou industriel, n'échappe à l'énergie. Parce que d'autre part, nous sommes probablement au siècle du défi de l'énergie. La disparition programmée du pétrole et du gaz naturel entraîne la recherche de nouvelles sources d'énergie à la pelle: éolien, solaire, hydrogène, etc.

Le chauffage des habitations individuelles représente 60 % des dépenses électriques d'une famille. Il s'agit donc d'une dépense non négligeable. Depuis longtemps donc, les entreprises se sont penchées sur les moyens d'optimiser l'utilisation de la chaleur, en régulant la température de façon utile. On peut en effet facilement limiter les gaspillages.

Rechercher la température optimale, pour ne pas créer une ambiance étouffante inutile. Ne chauffer que les pièces occupées, quand elles sont occupées. Ce sont les fondements de la régulation. Quelles sont les meilleures techniques actuelles pour optimiser ces trois dimensions de la régulation ? Quelles énergies sont les plus à même de faciliter la régulation thermique ?

C'est ce que ce dossier cherche à présenter. Après avoir expliqué les principes d'une régulation efficace, nous détaillerons les différentes méthodes de régulation de la température de l'habitat individuel. Enfin, nous montrerons comment s'opère cette régulation dans la pratique. Nous ne nous intéresserons pas spécifiquement aux détails techniques, comme la communication entre les capteurs, ou le détail d'un circuit intégré, mais plutôt aux principes et aux grandes règles qui régissent la régulation. L'objectif est bien sûr économique, mais pensons aussi un petit peu à notre unique planète.



1 LES PRINCIPES DE LA RÉGULATION

La régulation est l'ensemble des fonctions d'automatisation de l'installation de chauffage qui doit adapter la puissance fournie au besoin en maintenant la température ambiante à une valeur choisie (la **consigne de température**) en prenant en compte les évolutions de la température extérieure et les apports gratuits de chaleur (soleil, appareils de cuisson, etc.). Pour ce faire, elle agit sur le fonctionnement de l'installation de chauffage.

Pour simplifier, la régulation :

- Pilote le chauffage, permet d'assurer le confort thermique.
- Contribue à limiter les émissions polluantes et les rejets de gaz à effet de serre.
- Permet aussi de réduire les consommations d'énergie grâce à une commande optimisée pouvant tenir compte des tarifs d'énergie, de l'occupation des pièces, des apports, des caractéristiques du système de chauffage et de l'immeuble.

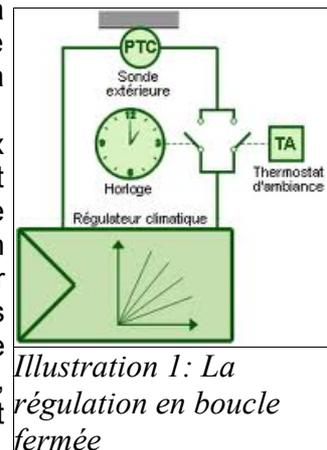
Rappelons les trois aspects principaux d'une telle régulation. Ce sont des dérivés bien sûr du but final de la régulation : réaliser des économies en respectant la Planète, et en s'assurant le confort. Après avoir étudié les principales fonctions de régulation qui permettent des économies, nous verrons les moyens spécifiques de réguler chaque aspect.

1.1 Les fonctions principales de régulation

- Réguler: Il existe deux grandes méthodes de régulation de la température. Ou l'on mesure la grandeur réglée, et l'on agit sur la fourniture de chaleur : c'est la régulation en boucle fermée. Cette méthode tient compte notamment des conditions internes à la maison, et de la température extérieure. Elle nécessite des capteurs de température (voir plus loin).

On peut aussi jouer sur la grandeur perturbatrice : c'est la régulation en boucle ouverte. Un modèle mathématique est élaboré pour calculer la température à partir d'un ou plusieurs paramètres, en mesurant ce paramètre on peut savoir comment réagir pour établir la température recherchée.

Quand on utilise la boucle fermée, on a encore deux possibilités : mesurer la température intérieure, pour être au fait des besoins actuels de la maison, ou mesurer la température d'extérieur, pour anticiper les changements à venir. Pour un appartement ou une maison individuelle, une régulation par l'intérieur est conseillée, car la dépendance thermique entre les pièces ne justifie pas une solution plus sophistiquée. Pour une maison de grand volume, surtout si elle comporte plusieurs étages, avec des locaux qui ne sont pas occupés en permanence, il est mieux de choisir une régulation extérieure.



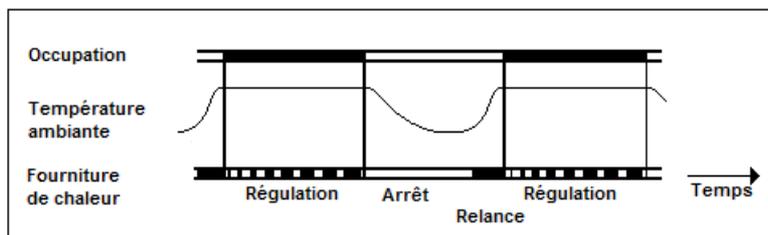
- Programmer: C'est une partie intégrante de la gestion automatisée du circuit. La programmation consiste en l'anticipation des temps et des lieux où le chauffage serait superflu, ou au moins important. Concrètement, cela consiste à prévoir l'arrêt ou le décalage de fonctionnement des machines. On peut citer pour exemple le ralenti de nuit du chauffage, la commande automatique d'arrêt en cas de non occupation des locaux, aux heures de travail par exemple.



- Optimiser: C'est le but final de la régulation, de minimiser la consommation d'énergie, plus globalement le coût de l'installation. D'autres paramètres rentrent alors en ligne de compte : la durée de vie des appareils, le confort des usagers... On cherche à optimiser notamment les intermittences, en démarrant le chauffage juste au bon moment pour atteindre la température voulue au moment voulu, ou celle des chauffages électriques en accumulant la chaleur aux heures creuses.
- Délester: Le délestage est l'interdiction de fonctionnement d'un équipement quand un certain seuil de consommation est atteint. C'est un moyen de régulation efficace, qui existe sous trois formes principales : à programme (une horloge contrôle le système) , à seuil (délestage des éléments non prioritaires pour ne pas dépasser la puissance maximale), ou intégrateur (un suivi continu de la consommation durant des périodes de 10 minutes, le délestage est d'une durée minimale, sans que le niveau de la puissance souscrite soit dépassé).
- Sécuriser: C'est un point non négligeable de la régulation. Un système ne peut être économiquement fiable s'il n'est pas sûr. Si la durée de vie des appareils a de l'importance, il faut que leur défaillance n'ait pas de conséquences fatales : on pense évidemment à un incendie. Des appareils de contrôle, des températures dans la chaudière, des pressions, ou des taux d'humidité, font donc partie de la régulation, en contribuant à la sécurité du système. Ces grandeurs doivent être limitées aux limites supportables pour les appareils.
- Compter: Pour calculer ses frais, faire des statistiques de besoins, ou pour contrôler l'état du système de chauffage, les compteurs sont indispensables. On peut citer des compteurs d'énergie thermique, par exemple.
- Répartir: Les coûts doivent être dispersés au pro rata de l'usage dans les différents lieux. Nous en reparlerons en détail en évoquant le dilemme chauffage central/individuel.

1.2 La gestion des intermittences

Les intermittences sont les moments de latence entre l'action et ses conséquences. Certaines fournitures, comme l'éclairage souvent, sont concomitantes à leur utilisation. Ce n'est pas le cas du chauffage : on est bien conscient que la température recherchée n'est pas atteinte sitôt qu'on tourne le robinet du chauffage. L'idéal est de réguler son chauffage pour obtenir la situation du schéma ci-dessous.



Nous verrons par la suite comment y parvenir efficacement. Ces méthodes servent deux principes, la mise à l'arrêt dès qu'il est possible, et la mise en marche au plus tard qu'il est nécessaire.



1.3 Les trois aspects de la régulation

La régulation a trois objectifs principaux. Nous allons voir ici comment influencer sur ces objectifs.

1.3.1 La température qu'il faut

La régulation, c'est aussi éviter une température trop haute, qui en plus d'être inconfortable est une source importante de gaspillage d'énergie. C'est un élément important de la question, détaillée plus bas, du choix entre un chauffage central et un chauffage décentralisé. Pour information, voilà les températures qui seraient idéales dans chaque pièce, au moment où elles sont occupées. Elles dépendent bien entendu des confort des personnes.

LOCAUX À CHAUFFER	température
Salles de séjour, cuisines, chambres d'études, ...	20°C
Salle de bain et douche	22-24°C
Chambre à coucher	16-18°C
Atelier	16°C
Corridors, cages d'escaliers et WC	16°C
Locaux que l'on veut garder à l'abri du gel, par exemple : le garage.	5°C

La seule façon de ne pas dépasser ces températures est de couper les machines au moment voulu, ou de limiter la puissance dégagée par les radiateurs. Une gestion intelligente des intermittences permet ici d'optimiser ce paramètre : en démarrant précisément au bon moment les chauffages, on économise celle utilisée qui aurait provoqué une excessive montée des températures.

1.3.2 Quand il faut

Le tableau utilisé précédemment prend ici tout son sens: on ne chauffe pas une salle de bains au même moment qu'une chambre à coucher. Pour gérer efficacement le facteur temporel de la température, il est nécessaire de disposer d'un système automatique de régulation. Un bon système de régulation doit éliminer les rejets d'énergie parasites à des heures indues.

1.3.3 Où il faut

N'est-ce pas un grand gaspillage de chauffer toutes les pièces à la fois ? Deux problèmes se posent: d'une part toutes les pièces ne sont pas occupées en permanence, d'autre part toutes ne nécessitent pas toutes la même température de confort optimale: l'écart visible entre l'atelier et la salle de bains monte à six degrés ! Soit une importante surconsommation inutile.

Pourtant, le chauffage central est encore très utilisé, il s'agit de déterminer pourquoi.

1.4 L'importance du confort

Au niveau de la température appréciable/ idéale, de la qualité et de l'humidité de l'air, l'énergie utilisée, et donc le type de régulation mis en place, a une importance que l'on ne peut négliger. En effet, si l'unique but de la régulation est de réaliser des économies, autant couper le chauffage purement et simplement. Il est donc intéressant, dans l'étude régulatrice, de ne pas négliger totalement le confort thermique. Le problème est loin d'être négligeable, puisque passer de 20°C à 19°C peut permettre une économie dans la consommation d'énergie d'au moins 7 %.



Deuxième exemple, l'humidité de l'air. Plus la température de la surface de contact de l'organe chauffant, augmente, plus l'air contient d'eau évaporée depuis notre corps, nous nous asséchons. En règle générale, mais pas systématiquement, les résistances électriques des radiateurs ont une plus petite surface d'échange que d'autres, elles sont donc plus chauffées, et provoquent un assèchement plus important. Au moment de concevoir son futur système de régulation, penser au confort personnel ne doit pas être oublié.

2 QUEL SYSTÈME POUR LA RÉGULATION ?

Alors que le chauffage central diffuse au moyen de caloporteurs la chaleur produite par une chaudière, principalement à gaz ou au fuel, le chauffage individuel, bien souvent basé sur l'énergie électrique, consiste en un chauffage dans chacune des pièces à chauffer.

Au premier abord, c'est bien entendu le deuxième système, plus souple, qui sert le mieux les intérêts d'une bonne régulation. Qu'en est-il réellement ?

2.1 Le chauffage central

Par chauffage central, il faut entendre tout procédé de chauffage qui consiste à distribuer de la chaleur dans un ou plusieurs locaux au moyen d'appareils multiples reliés à une source unique de chaleur. Les énergies utilisables pour le chauffage central sont, bien sûr le fuel et le gaz, mais aussi des énergies renouvelables comme le solaire, la géothermie, les pompes à chaleur ou le bois. La différence entre ces énergies réside dans leur pouvoir calorifique. La plupart du temps, la source de chaleur est donc une combustion du fluide utilisé, à l'intérieur d'une chaudière. La chaudière électrique est utilisable, mais déconseillée en cas de chauffage central, car plus chère.

La régulation du chauffage central dispose de deux niveaux de contrôle :

- Au niveau de la chaudière elle-même, en l'éteignant et l'allumant d'une part, sur les modèles les plus simples. On peut aussi parfois régler la température de l'eau distribuée en fonction des besoins. Il est bien inutile de maintenir l'eau à un niveau trop élevée si cette chaleur n'est pas utile.
- Au niveau des robinets thermostatiques, placés sur chacun des radiateurs.

2.1.1 Contrôle à la chaudière

Selon le modèle de la chaudière, deux cas sont encore à distinguer. Pour les chaudières en acier équipées d'un brûleur à fuel, ou pour celles équipées d'un ballon de production d'eau chaude sanitaire, l'eau à l'intérieur de la chaudière doit être maintenue à température constante, au moins à 55° C, pour des raisons de sécurité. Ce modèle est évidemment simple à réguler au niveau de la chaudière. Mais cette méthode est peu



économique en énergie, à cause de la puissance d'entretien utilisée pour combattre ses pertes.

L'intérêt pour la régulation est d'utiliser une chaudière à température variable. En effet, sur le principe, la température de 55°C n'est pas une obligation. Les chaudières modernes, pour être mieux régulées, peuvent fonctionner sans problèmes en deçà de cette température. Le premier intérêt de diminuer la température de l'eau est de diminuer la consommation d'énergie pour la chauffer, donc de diminuer les pertes thermiques. En général (dans les cas où la chaudière ne gère pas l'eau chaude sanitaire), la régulation la plus simple consiste à faire agir le thermostat d'ambiance sur le brûleur, pour nuancer la chaleur dégagée.

Dans le cas où l'on veut produire simultanément du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, le régulateur devient multifonction et pilote l'ensemble : la chaudière, l'eau chaude sanitaire, les vannes à trois voies, et l'arrêt de la pompe.

2.1.2 Le principe des bi énergies

Il est particulièrement utilisé dans les chaudières, donc dans le cas du chauffage central. Certaines énergies, notamment les énergies renouvelables, sont nettement moins chères que les autres, mais ne se suffisent pas à elles mêmes. Dans ce cas, on utilise une combinaison de deux énergies. Cela consiste à utiliser en priorité l'énergie la moins chère jusqu'à la limite de sa puissance disponible, puis à utiliser l'énergie la plus coûteuse durant les périodes de pointe de puissance. On peut utiliser par exemple, une chaudière à fuel avec une pompe à chaleur, ou une chaudière à bois.

2.1.3 Les robinets thermostatiques

C'est le deuxième degré de contrôle. Ils permettent de limiter les températures ambiantes au niveau requis, quels que soient les apports de chaleur, et d'individualiser les températures des différents pièces. Les chaleurs gratuites, soit non utilisées, sont récupérées. Cela permet donc de réduire la consommation.

Il agit sur le débit d'eau dans un émetteur : radiateur ou convecteur. Il est constitué de quatre éléments principaux.

Le détecteur de température ambiante est réalisé à partir d'un bulbe à dilatation de fluide. L'information est utilisée par l'élément d'affichage. Il s'agit d'un volant, marqué de repères, dont la rotation modifie soit la compression du ressort, soit la position du détecteur. Puis, un ressort, le comparateur, utilise l'information du détecteur, et la transforme en un équilibre de forces. Il détermine alors le déplacement du poussoir. Enfin, le corps du robinet, qui actionné par le poussoir, modifie le clapet de la vanne contrôlant le débit, donc le débit.

Ces robinets permettent une économie importante. Ainsi, l'installation de robinets thermostatiques permet une économie d'énergie de 3 à 7 %. Associé à un thermostat d'ambiance, la réduction peut monter jusqu'à 20 % de la consommation.

2.2 Le chauffage décentralisé

Le chauffage décentralisé est un système où les fonctions de génération et d'émission sont assurées conjointement au sein de chaque appareil. Il n'y a pas de fluide caloporteur, pas de réseau permettant d'acheminer ce fluide et donc pas de fonction de distribution. Le chauffage décentralisé est composé de différents générateurs de chaleur, répartis à travers les pièces de l'habitation. Ils sont gérés de manières individuelle ou à travers une régulation, selon les dispositifs installés.

Le chauffage décentralisé est appelé également chauffage direct ou chauffage



production-émission et s'oppose aux systèmes centralisés qui utilisent des fluides caloporteurs.

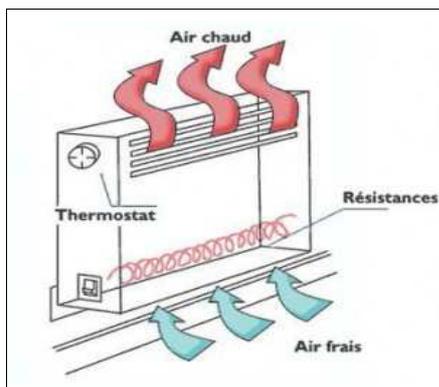
Ce mode de chauffage se révèle moins coûteux à l'installation comme à l'entretien qu'un système centralisé. Néanmoins, son prix de revient à l'utilisation est plus élevé. On préfère donc l'utiliser dans des habitations ayant des surfaces réduites.

Le chauffage décentralisé se décline sous ces techniques principales : l'air chaud et le rayonnement, mais la plus utilisée est l'électricité.

2.2.1 Le chauffage électrique

L'attrait principal de ce mode de chauffage réside dans le prix initial de l'investissement. En effet, il est bien moins élevé que l'investissement nécessaire pour une installation de chauffage centralisé. En revanche, son utilisation est bien plus coûteuse, il n'y a pas besoin de stocker du combustible, mais c'est une énergie non-renouvelable. Il faut donc veiller à limiter son utilisation, à travers un régulateur ou mettre son chauffage sur le mode « éco » ou « hors-gel » pendant les absences.

Le choix d'un appareil de chauffage électrique repose sur deux paramètres : le volume de la pièce ou du local et la qualité de son isolation. Les appareils de chauffage décentralisé à air chaud ou chauffage électrique sont de plusieurs types :



- Les convecteurs électriques classiques: Ce type de chauffage permet une vitesse de chauffe accrue, en quelques minutes la chaleur se fait sentir. Néanmoins, celle-ci est sèche et peu confortable. Les consommations engendrées par ce type de chauffage sont importantes, il faut donc lui adjoindre une régulation permettant de contrôler efficacement la température de la pièce. Le principe est similaire à celui du convecteur classique, auquel est greffé un système de soufflerie permettant de forcer le flux d'air.



- Les panneaux rayonnants ou radiants: Un générateur de chaleur de type panneau rayonnant ou radiant contient une plaque chauffée par une résistance. La chaleur fournie est semblable au rayonnement du soleil, et procure donc une sensation de confort agréable. La pièce est chauffée de façon homogène, mais la chaleur est un peu sèche. Cette chaleur se propage, aux parois et aux objets environnants qui réchauffent à leur tour l'air ambiant, au travers d'une protection (grille alvéolée ou façade en verre) qui laisse passer la chaleur. La régulation de ce type d'appareil est, en général précise, permettant de

s'adapter exactement à vos besoins et vous faire économiser de l'électricité. Son prix est néanmoins plus élevé qu'un convecteur classique. Ils peuvent être accrochés au mur comme des « cadres » ou même accrochés au plafond.



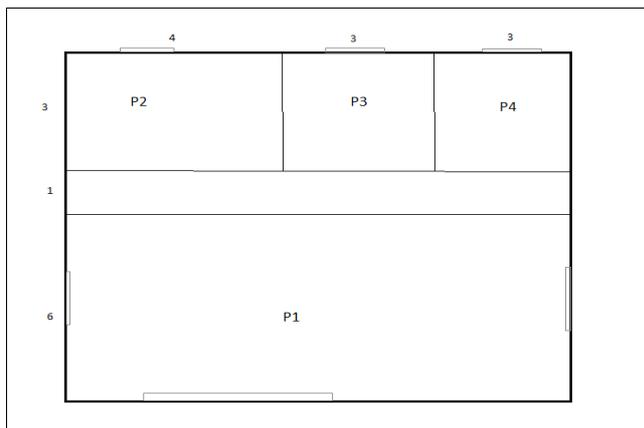
2.2.2 Le chauffage par rayonnement

Ils transmettent la chaleur par rayonnement, principalement dans les infrarouges (longueur d'onde de 0.7 et 400 micromètre). Ce type de chauffage n'utilise pas l'air comme vecteur de diffusion de la chaleur. De ce fait, il est particulièrement indiqué pour les applications présentant un renouvellement d'air important. Il ne chauffe pas l'air, mais les objets qui y sont directement exposés. Pour le chauffage des bâtiments, l'inertie thermique est plus grande, car les masses chauffées par le rayonnement restituent leur chaleur à l'ambiance peu à peu. Autre avantage, la température de confort ressentie étant plus élevée que la température de l'air, les pertes d'air chaud d'un bâtiment se font à une température moins élevée qu'avec un système à air chaud, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie. Pour la même raison, l'écart de température entre le haut et le bas du bâtiment (stratification) est réduit, ce qui limite les pertes en toiture.

Les appareils de chauffage décentralisés par rayonnement ou chauffage radiant sont, par exemple, les radiant lumineux et les panneaux catalytiques.

2.2.3 Pour une meilleure régulation

Pour étudier la régulation d'un tel type de chauffage, nous aurons besoin tout d'abord d'un modèle défini d'une maison.



Sur ce schéma on peut remarquer les cotations des quatre pièces ainsi que les fenêtres en gris et la baie vitrée. Chaque fenêtre mesure 1m² et la baie vitrée 6m². La hauteur de la maison est de 3m.

Pour pouvoir calculer la puissance à fournir pour chauffer la maison il faut déterminer la puissance des pertes thermiques. La formule pour calculer celle-ci est:

$$Pertes\ thermiques = S \cdot K / R$$

S: surface en contact avec l'air extérieur

K: différence de température avec l'extérieur

R: résistance thermique(pour les mur: 4m²K/W; pour les vitres: 2,9m²K/W)

Ainsi en considérant que le chauffage ne sert qu'à compenser ces pertes, on peut calculer la puissance à fournir en connaissant la température extérieure. Pour simplifier les calculs on prend une température moyenne par mois dans la région.

On calcule alors les pertes thermiques dans chaque pièce de la maison. Pour cela il faut connaître les différentes surfaces pour chaque pièce. On simplifie en considérant que le toit à les mêmes pertes thermiques que les murs(il devient donc une surface de mur). Après calcul on obtient :

P1 : surface de mur : 118m² ; surface de vitre : 8m²

P2 : surface de mur : 32m² ; surface de vitre : 1m²

P3 : surface de mur : 17m² ; surface de vitre : 1m²

P4 : surface de mur : 26m² ; surface de vitre : 1m²



On obtient alors le tableau suivant :

Mois	Température extérieure	P1	P2	P3	P4
Janvier	5	483,88	125,17	68,92	102,67
Février	5	483,88	125,17	68,92	102,67
Mars	7	419,36	108,48	59,73	88,98
Avril	9	354,84	91,79	50,54	75,29
Mai	12	258,07	66,76	36,76	54,76
Juin	15	161,29	41,72	22,97	34,22
Juillet	17	96,78	25,03	13,78	20,53
Aout	17	96,78	25,03	13,78	20,53
Septembre	15	161,29	41,72	22,97	34,22
Octobre	12	258,07	66,76	36,76	54,76
Novembre	8	387,1	100,14	55,14	82,14
Décembre	5	483,88	125,17	68,92	102,67

Les températures sont en degrés Celsius, les puissances en Watt.

Si on place un thermostat dans chaque pièce on obtient la puissance idéale à fournir pour garder la bonne température dans la pièce. Par contre si ne on place un thermostat que dans une pièce, par exemple dans la pièce 1, toutes les pièces seront alors chauffées avec la puissance des pertes de cette pièce, ce qui entrainerait donc une surchauffe des autres pièces. Ce phénomène est atténué avec l'usage de robinet thermostatique dans un chauffage centralisé mais ne peut être parfait car le réglage ne peut être précis. De plus pour les calculs nous avons négligé la puissance solaire qui réchaufferait une certaine pièce et pas les autres, une telle régulation permettrait de gagner cette puissance. Il est possible de faire la même régulation thermique avec un chauffage décentralisé, le principe est de faire une arrivée d'eau chaude indépendante pour chaque radiateur et non reliée entre elle. On atteindrait alors le même type de performance qu'avec un chauffage décentralisé. Cependant l'inertie de chauffage avec un chauffage central est beaucoup plus grande et demande de meilleures prévisions.

2.2.4 Les avantages de ce type de chauffage

- Le système étant dépourvu de distribution, les appareils sont situés à l'intérieur du volume à chauffer. Aussi, l'énergie des auxiliaires (pompes, ventilateurs...), ainsi que les pertes de chaleur au travers de l'enveloppe de l'appareil et de son système d'évacuation des produits de combustion, contribuent au chauffage de l'ambiance.
- Une inertie thermique limitée, la consigne de température est atteinte rapidement.
- De même, l'absence de fluide caloporteur permet d'offrir des émetteurs nécessitant des températures différentes sans avoir à maintenir le fluide caloporteur à la température maximale requise pour un type d'émetteur particulier.
- Un meilleur contrôle de la régulation qu'avec la plupart des systèmes de chauffage centralisé.

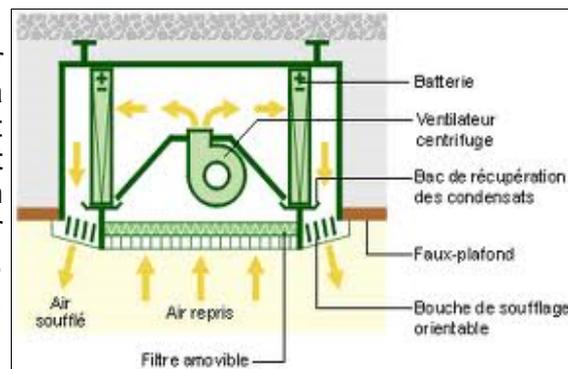


2.3 Les pompes à chaleur

De part leur fonctionnement très particulier, les pompes à chaleur ont une régulation à part également, que nous évoquons brièvement. Rappelons tout d'abord le principe des pompes à chaleur. Comme leur nom l'indique, elles sont capables d'extraire des calories à un milieu froid pour les restituer à un autre milieu, à la température plus élevée. Ces deux milieux sont respectivement appelés source froide et source chaude. Cette opération se fait grâce à un fluide, changeant d'état quand on modifie sa pression. L'énergie à dépenser est celle nécessaire à un compresseur pour modifier la pression. Sous son action, un gaz en se condensant dégage une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Contrairement aux autres sources de chauffage, elles ont aussi la compétence de jouer les climatiseurs, en produisant « du froid », l'état, par décompression. Les principaux fluides utilisés sont l'air et l'eau, mais les pompes à chaleur peuvent aussi être géothermiques, et pomper la chaleur du sol.

La régulation thermique par une pompe à chaleur dépend d'une part du fluide utilisé pour restituer les calories. En choisissant l'air, sa faible inertie permet un chauffage très rapide des pièces. Mais le revers de la médaille concerne la régulation. Tout d'abord, ce mode de chauffage rapide peut paraître brutal. Ensuite, la chaleur se répartit mal: il faut multiplier les ventilo-convecteurs pour alimenter chaque pièce, de plus l'air chaud a tendance à rester dans les hauteurs.

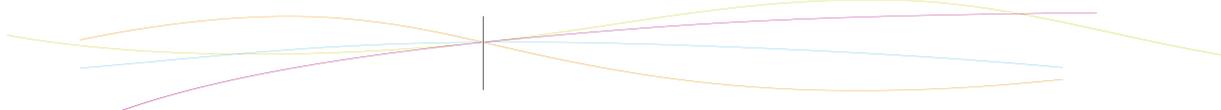
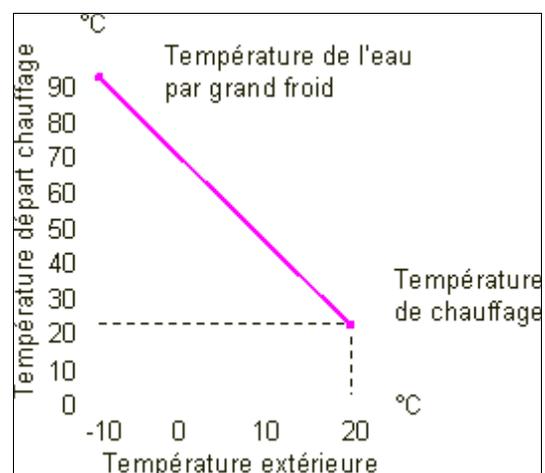
On peut aussi utiliser l'eau pour transmettre les calories. Cela ressemble alors à un chauffage centralisé classique où le transport de la chaleur dans chaque pièce devient beaucoup plus simple. De plus, la régulation d'ambiance grâce à un thermostat extérieur devient possible. Le prix d'une installation à eau, en contrepartie, est relativement élevé.



Le régulateur « loi d'eau » :

Dans le cadre d'un climat continental, l'air marin ne vient pas réfréner les écarts de température, qui peuvent donc se révéler brusques : dans ce cas, en se contentant d'un thermostat d'ambiance, on ne pourra contenter les utilisateurs les plus exigeants. On utilise alors une double régulation, externe d'une part, ajoutée à une correction d'ambiance, qui permet de prendre en compte les éventuels apports énergétiques éventuels : c'est le régulateur "loi d'eau".

Le fonctionnement de la pompe à chaleur est réglé par un régulateur dit "loi d'eau", qui effectue une mesure de température extérieure, une mesure de température de retour d'eau d'un radiateur, et éventuellement une mesure de température ambiante. On sait qu'il existe une relation linéaire entre la température du caloporteur et celle recherchée dans la pièce. Le but de ce régulateur est donc de déterminer la pente et l'ordonnée à l'origine dans notre relation. Ce régulateur est plus fiable, car il tient notamment compte des autres sources d'énergie souvent combinées avec une pompe à chaleur (voir les bi énergies).



2.4 Tableau Bilan

	Chauffage centralisé	Chauffage décentralisé
<u>Points positifs:</u>	Une seule chaudière: installation, entretien et régulation simplifiées. Couplage aisé avec production d'eau chaude et panneau solaire. Large choix de matériel.	Pas de gaspillage du combustible. Production de chaleur adaptée à la demande.
<u>Points négatifs:</u>	Différentes pertes d'énergie.	Pas de production d'eau chaude. Nécessité d'une cheminée d'évacuation pour chaque appareil. Régulation fastidieuse. Choix du combustible limité.

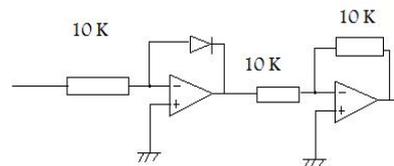
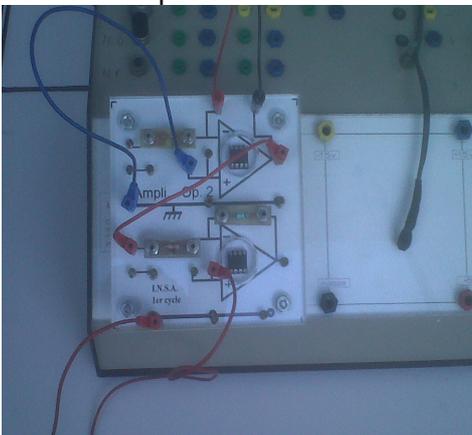
3 L'INSTALLATION PRATIQUE D'UN SYSTÈME DE RÉGULATION

3.1 De l'importance de la régulation

Au cours de ce projet nous essayons de trouver la meilleure solution pour chauffer une habitation individuelle. Prix, consommation et donc impact environnemental sont des critères à prendre en compte. Il est évident que si un système de chauffage comme un simple radiateur est en fonctionnement continu la température de la pièce ne va faire qu'augmenter jusqu'à atteindre un seuil. Mais si l'on veut stabiliser la température avant ce seuil il faut utiliser d'autres moyens : un thermostat par exemple.

Nous avons donc réalisé une expérience pour s'assurer de l'efficacité de cet outil. Le but de cette expérience était de montrer que l'on pouvait « forcer » le radiateur à chauffer en continu tant que la température globale de la pièce n'avait pas atteint la valeur que nous avons choisie (22°C dans notre cas).

Tout d'abord nous avons mis en place un capteur de température pour relever l'évolution de la température au cours du temps.



Le montage du capteur de température et son schéma.



En sortie nous obtenions une tension qu'il fallait convertir en température. Cette tension et température sont reliées par une relation affine. En étalonnant donc avec deux récipients d'eau de températures différentes on obtient l'ordonnée à l'origine et le coefficient directeur dans la relation tension-température.



D'un autre côté il a fallu installer un appareil capable de mettre en marche le radiateur ou dans le cas contraire de bloquer son fonctionnement afin de chauffer lorsque cela était nécessaire. Cet appareil était relié en plus du radiateur au thermostat. Ainsi lorsque le thermostat décelait une température ambiante supérieure à la température sur laquelle il était réglé, il arrêtait le fonctionnement du radiateur. Dans le cas contraire lorsque la température ambiante était en dessous de la valeur choisie et réglée sur le thermostat, le radiateur se remettait en marche.

A ce stade nous étions en mesure de réguler la température d'une pièce et de la fixer à une valeur constante. De plus nous pouvons faire l'acquisition de l'évolution de la température de la pièce.

Il était cependant aussi intéressant de relever les moments durant lesquels le radiateur fonctionnait. Nous avons donc branché sur notre précédent appareil une lampe qui allait s'allumer ou s'éteindre au rythme du fonctionnement du radiateur. Enfin en ajoutant une carte photosensible et en relevant ses variations sous synchronie nous mettions en évidence les instants de fonctionnement du radiateur.



Pour résumer : nous faisons l'acquisition de 2 courbes sous synchronie. La première représentait une tension qui variait en fonction de la température. Les fonctions de calcul du logiciel nous ont permis de visualiser la courbe de la température de la pièce en fonction du temps. La deuxième acquisition était celle de la cellule photosensible qui marquait les temps de fonctionnement du radiateur. En superposant les deux courbes nous obtenions le graphique en annexe.

L'acquisition a duré 13h30 et on peut remarquer une stagnation de la température (courbe du haut) autour de 22°C, c'est la valeur seuil que nous avons voulu imposer à la pièce. Cette expérience montre de plus l'utilité et l'efficacité des thermostats.



3.2 Le fil pilote

3.2.1 Qu'est ce que c'est ?

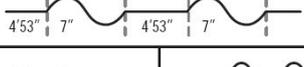
Le fil pilote est une technologie mise en place par le GIFAM afin d'aider à l'installation de système de régulation. Il permet plus particulièrement d'optimiser la consommation électrique dans une habitation sans pour autant perdre en confort. Aujourd'hui, la plupart des radiateurs électriques vendus sont équipés d'un fil pilote. Ce système est uniquement applicable aux radiateurs électriques car il permet de modifier leur fonctionnement grâce à un second courant en parallèle.

GIFAM: Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'équipement Ménager. C'est un rassemblement d'entreprises, grands groupes et PME dont le but est de défendre les intérêts et d'améliorer les services liés aux appareils ménagers.

L'utilisation du fil pilote permettant de diminuer la consommation de son équipement en fonction de la température et/ou du temps, il permet au final d'économiser de l'argent sur sa facture d'électricité. D'ailleurs, diminuer la température du thermostat de seulement 1°C permet de réduire la facture énergétique d'environ 8%.

3.2.2 Fonctionnement

Le fil pilote fonctionne grâce à un signal envoyé par le thermostat (ou par un programmeur). La tension efficace transmise peut aller jusqu'à 230 Volts en courant alternatif mais avec une intensité ne dépassant pas 2 Ampères. Il existe six signaux qui correspondent chacun à six ordres différents. Ces six ordres sont récapitulés dans le tableau ci-dessous ainsi que leur signal associé.

La commande par fil pilote		
Récapitulatif des six ordres standardisés et des signaux électriques correspondants		
Ordre	Signal électrique correspondant	
Confort	Pas de signal	
Confort - 1° C		
Confort - 2° C		
Eco ou réduit	230 V pleine alternance	
Hors gel	demi-alternance négative	
Arrêt	demi-alternance positive	

L'ordre Confort correspond à la température déterminée grâce au thermostat. L'ordre Eco correspond à une température égale à celle de l'ordre Confort mais diminuée de 3°C à 4°C. Les deux demi-alternances pour les ordres Hors-gel et Arrêt peuvent être obtenus soit directement grâce à un programmeur adapté soit à l'aide d'une diode placée entre le thermostat/programmeur et le radiateur.

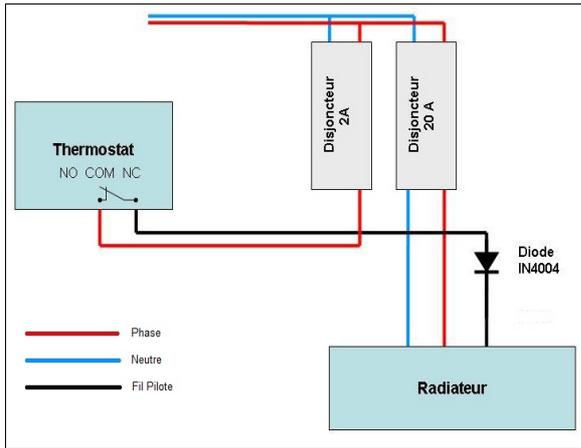
Le fil pilote est souvent utilisé lorsque l'on veut des zones de chauffage car il permet de relier chaque radiateur en particulier au programmeur. Grâce à un montage en série, on peut aussi associer plusieurs radiateurs à une même zone.

3.2.3 Installation

Schéma des montages par Carminas

En fonction de l'équipement possédé, l'utilisation du fil pilote sera différente. C'est pour cette raison qu'il existe plusieurs types d'installation d'un fil pilote.





Voici un montage qu'on pourrait qualifier de classique car il ne nécessite qu'un équipement de base. A noter que la diode ici, permet de modifier le signal envoyé par le thermostat. Sans signal de la part du thermostat, l'ordre Confort est appliqué par l'intermédiaire du fil pilote et le radiateur chauffe à la température demandée. Lorsque le thermostat s'enclenche, un signal continu sinusoïdal de tension efficace 230 V est transmis à la diode. Ce signal est modifié par la diode afin d'obtenir un signal de tension efficace 115 V en demi-alternance positive ou négative suivant le type de la diode. Ce signal

modifié aura pour effet d'obtenir l'ordre Arrêt ou Hors-gel du radiateur.

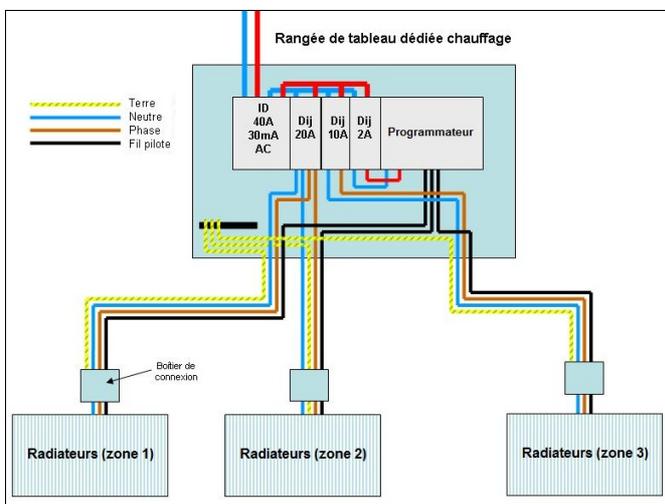
Cette installation peut être légèrement modifiée en enlevant simplement la diode sur le fil pilote. En effet, le signal transmis lors de l'enclenchement du thermostat ne sera donc pas modifié et l'ordre Eco sera alors transmis au radiateur. Sans cette diode, la consommation finale sera un peu plus importante mais la régulation mieux assurée puisque la variation de température sera plus petite.

Une installation semblable à la précédente pourrait être mise en place simplement en remplaçant le thermostat par un programmeur. Les programmeurs actuels intègrent les six fonctions du fil pilote ce qui permet d'avoir une utilisation optimale de ce dernier. De plus, la diode n'est plus nécessaire puisque c'est le programmeur seul qui envoie les signaux. Avec cette configuration, le plus pratique reste d'utiliser les thermostats internes aux radiateurs. Cette installation est souvent utilisée pour avoir différentes zones de chauffage.

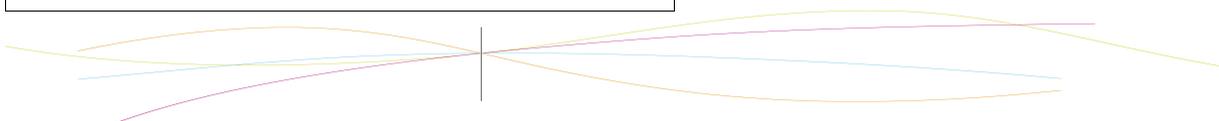
Programmeur:

Appareil permettant de contrôler la consommation des systèmes de régulation en fonction d'horaires prédéfinis.

Le schéma suivant représente l'installation possible pour l'utilisation d'un programmeur associé à différentes zone de chauffage. Ici, les boîtiers de connexion servent à relier les différents câbles des radiateurs entre eux avant de les renvoyer vers le programmeur ou les disjoncteurs. Les disjoncteurs servent à prévenir toutes surcharges ou court-circuits en interrompant le courant électrique, et ainsi protéger l'équipement et surtout l'utilisateur.



L'utilisation de différentes zones de chauffage à l'intérieur d'une maison peut être très pratique et faire faire des économies. En effet, avec un régulation centralisée, toutes les pièces sont chauffées également en permanence. Avoir plusieurs zones sur un programmeur permet d'associer à chacune des horaires durant lesquels les radiateurs fonctionneront suivant l'ordre défini. Prenons l'exemple d'une habitation à deux zones: une zone salle de vie et une zone chambre. Durant la journée, la maison étant vide, les deux



zones ont été programmées de façon à être sur l'ordre Arrêt. Un peu avant le retour des habitants, le programmeur met en route les radiateurs de la zone salle de vie en mode Confort. Les chambres ne sont en générale pas utilisées avant la soirée, les radiateurs n'ont pas besoin de fonctionner avant. A partir d'une certaine heure, le programmeur démarre les radiateurs de la zone chambre en mode Confort. Lorsque tout le monde est couché, la zone salle de vie n'a plus besoin d'être chauffée et le programmeur coupe tous les radiateurs, il ne les rallumera qu'au matin avant que les premières personnes se lèvent. Une fois que tout le monde est parti, le programmeur coupe à nouveau tous les radiateurs et recommence un cycle.

Cette méthode demande un investissement un peu plus important que l'installation d'un simple thermostat, mais elle permet d'économiser énormément d'énergie et ainsi de l'argent. C'est d'ailleurs dans ce but précis qu'a été inventé le fil pilote.



4 CONCLUSION

Le but du projet était de découvrir quelles étaient les principales méthodes de régulation du chauffage, quel impact elles ont sur la consommation d'énergie, et laquelle est la plus efficace. Nous avons pu voir que, quel que soit le type du chauffage, une régulation bien organisée permet de faire de substantielles économies.

Elle ne peut être la même en tout lieux. Le système de chauffage lui même dépend de façon importante de la température extérieure, mesurée en Degré Jour Unifié (DJU).

L'expérience nous a montré la relative simplicité du dispositif : un simple thermostat permet de faire des économies sur la facture de chauffage, en coupant la mise en marche de l'appareil dès que la température recherchée était atteinte.

Enfin, il nous paraît important de rappeler qu'au-delà d'une baisse de la facture, c'est un geste citoyen et écologiste de chercher à préserver nos ressources énergétiques pour les générations futures.



5 GLOSSAIRE

Aérotherme: appareil autonome servant à chauffer un espace spécifique.

Bilan thermique: C'est le calcul, en fonction de diverses caractéristiques de l'habitat (surface, hauteur de plafond, isolation, exposition, etc...) des besoins énergétiques pour le chauffage.

Chaleur latente: ou enthalpie de vaporisation, c'est la énergie nécessaire pour vaporiser l'eau utilisée dans la combustion. 2.511 KJ/kg sont nécessaires pour vaporiser 1 kg d'eau. Plus le rapport PCS/PCI se rapproche de 1, plus l'énergie est rentable du point de vue " chaleur latente". Elle est notée Q_L

Degré jour unifié (DJU): unité de variation de température d'un lieu par rapport à la température dite de référence (18° C). Elle es mesure en sommant les différences entre 18°C et la moyenne des deux températures extrémales du jour, sur la période de chauffe, soit les 232 jours entre le premier octobre et le 20 mai.

$$DJU = \sum_{j=1}^{232} (18 - (T_{j \min} + T_{j \max})/2)$$

Fluide caloporteur: Fluide chargé de transporter la chaleur entre deux sources de chaleur.

PCI: Pouvoir calorifique inférieur. C'est l'énergie dégagée par combustion sans tenir compte de la chaleur latente, par unité de temps et de masse. Elle s'exprime donc en Kwh/h/kg.

PCS: Pouvoir calorifique supérieur. Il s'agit de l'énergie dégagée par une combustion sous forme de chaleur, par unité de temps et de masse, dans l'hypothèse où l'on récupère la chaleur latente. Elle a donc la même unité que le PCI. On a la relation :

$$PCS = PCI + Q_L$$

Rappel : l'équivalence entre les unités d'énergie :

1 Joule : On la définit comme le travail d'une force d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force.

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$$

$$1 \text{ calorie} = 4,184 \text{ J}$$

$$1 \text{ Wattheure} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ J.s}^{-1}$$



6 BIBLIOGRAPHIE

6.1 Revues

Science et Vie, Hors Série numéro 241, décembre 2007

6.2 Ouvrages

Bruno Béranger, "Les pompes à chaleur", Eyrolles, 2008

René Cyssau, "Manuel de la régulation et de la gestion technique", PYC livre, 1995

6.3 Sites internet

Encyclopédie Wikipedia (*valide à la date du 17/06/2011*)

Ecobank.fr (*valide à la date du 17/06/2011*)

www.leguiededuchauffage.com (*valide à la date du 17/06/2011*)

oee.nrcan.gc.ca (*valide à la date du 16/06/2011*)

www.boisvivant.com (*valide à la date du 17/06/2011*)

thermexcel.com (*valide à la date du 16/06/2011*)

www.travaux.com (*valide à la date du 17/06/2011*)

objectif-habitat.com (*valide à la date du 16/06/2011*)

herve.silve.pagesperso-orange.fr/bilan_th.htm (*valide à la date du 16/06/2011*)

Site du ministère de l'environnement (*valide à la date du 17/06/2011*)

www.acteurdurable.org (*valide à la date du 16/06/2011*)

forums.futura-sciences.com/habitat-bioclimatique-isolation-chauffage (*valide à la date du 16/06/2011*)

laurent.deschamps.free.fr (*valide à la date du 16/06/2011*)

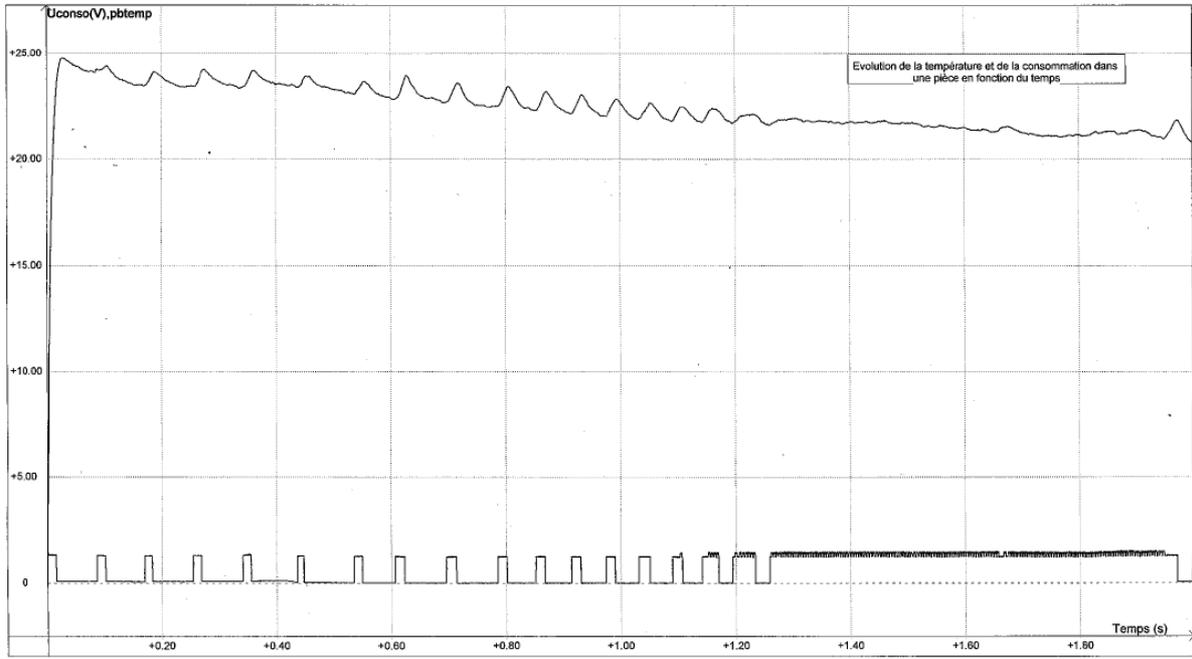
www.radiateur-electrique.org (*valide à la date du 16/06/2011*)

www.bricoleurdudimanche.com/forums/forums-bricolage/forum-electricite/expliquez-moi-fil-pilote-et-chauffage-svp-2128.html (*valide à la date du 16/06/2011*)



7 ANNEXE

Courbe expérimentale



Explication de la courbe dans la partie 3.1

