

POMPE A CHALEUR



AMZAIR 
pompes à chaleur haute technologie

11/12/2012

Sommaire

I) Principe de fonctionnement

- 1.1) Principe de fonctionnement
- 1.2) Diagramme FAST

II) Description technique de la pompe à chaleur

- 2.1) Schémas unifilaire
- 2.2) Matériel interne de la pompe à chaleur
- 2.3) Principaux éléments du circuit de transformation de l'énergie
- 2.4) Eléments de l'armoire électriques

III) Problématique

- 3.1) Etude économique et écologique
 - 3.1.1) Quelle est l'efficacité d'une pompe à chaleur ?
 - 3.1.2) Dans quelles conditions peut-on envisager un projet de pompe à chaleur pour un logement ?
 - 3.1.3) Que coûte l'installation d'une pompe à chaleur ?
 - 3.1.4) L'impact environnemental
 - 3.1.5) Amortissement sur le long terme
- 3.2) Dimensionnement de la pompe à chaleur
 - 3.2.1) Calcul de déperdition thermique
 - 3.2.1.1) Calcul résistance thermique
 - 3.2.1.2) Calcul de puissance thermique perdue
 - 3.2.1.3) Combien de temps pour chauffer la salle avec les deux systèmes d'isolation ?
- 3.3) Comment superviser sa pompe à chaleur
 - 3.3.1) Pompe à chaleur du lycée VAUBAN
 - 3.3.2) Comment superviser la pompe à chaleur d'un particulier
- 3.4) Notice d'utilisation

I) Fonctionnement

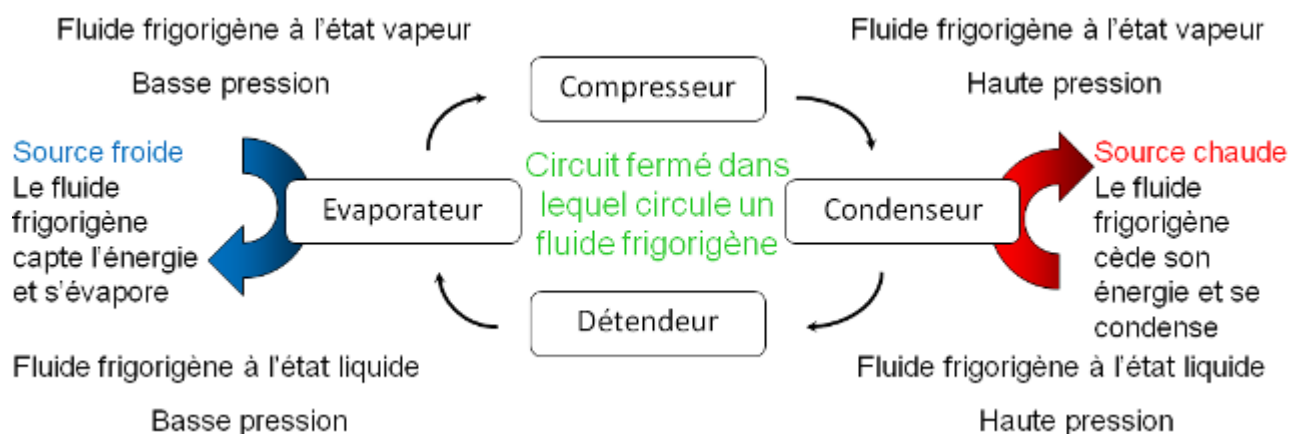
1.1) Notice d'utilisation

Pour faire fonctionner la pompe à chaleur, il faut que tous les disjoncteurs soient enclenchés et que la température de consigne fixée par le thermostat d'ambiance soit inférieure à la T° de la pièce.

1.2) Principe de fonctionnement

L'air, l'eau et le sol sont des sources d'énergie thermique gratuites et renouvelables, mais présentent un niveau de température inférieur à ce dont nous avons besoin pour nous chauffer. L'utilisation d'une pompe à chaleur, permet de valoriser cette énergie naturelle pour produire de la chaleur à l'intérieur d'un bâtiment.

Il existe 3 catégories de pompes à chaleur, les aérothermiques qui utilisent les calories contenues dans l'air, les géothermiques celles dans le sol et les aquathermiques celles dans l'eau.



Une pompe à chaleur est, comme un réfrigérateur, une machine thermodynamique constituée d'un circuit fermé dans lequel circule un fluide frigorigène. Ce circuit est composé de quatre éléments principaux : un compresseur, un détendeur, un condenseur et un évaporateur. Le but de cette machine est de transférer l'énergie d'un milieu froid à un milieu chaud.

Le fluide frigorigène utilisé ici est le R407C, il circule dans un circuit fermé et parcourt un cycle composé de quatre étapes. Lors de ces étapes, le fluide frigorigène va changer d'état et va se trouver à différentes pressions et températures.

1) Évaporation :

A l'entrée de l'évaporateur, le R407C est à l'état liquide et à basse pression.

En passant dans l'évaporateur, le fluide frigorigène qui est à basse température capte l'énergie thermique. De ce fait, il s'évapore et passe à l'état vapeur.

A la sortie de l'évaporateur, le fluide est à l'état vapeur et à basse pression.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, l'énergie thermique est captée à l'extérieur du bâtiment (dans l'air, l'eau ou le sol).

Dans le cas d'un réfrigérateur, cette énergie est captée à l'intérieur du réfrigérateur.

2) Compression :

A l'entrée du compresseur, le R407C est à l'état vapeur et à basse pression.

Le compresseur comprime le fluide frigorigène à l'état vapeur pour augmenter sa pression et sa température.

De plus, il permet de le faire circuler dans le circuit fermé.

A la sortie du compresseur, il est à l'état de vapeur et à haute pression.

3) Condensation :

A l'entrée du condenseur, le R407C est à l'état vapeur et à haute pression.

En passant dans le condenseur, le fluide qui est à haute température cède son énergie thermique. De ce fait, il se condense et passe à l'état liquide.

A la sortie du condenseur, le fluide frigorigène est à l'état liquide et à haute pression.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, l'énergie récupérée au condenseur est utilisée pour la production de chaleur à l'intérieur du bâtiment (pour le chauffage ou la production de l'eau chaude sanitaire appelée « ECS »).

Dans le cas d'un réfrigérateur, cette énergie est envoyée à l'extérieur du réfrigérateur.

4) Détente :

A l'entrée du détendeur, le R407C est à l'état liquide et à haute pression.

Lorsqu'il traverse le détendeur, sa pression ainsi que sa température diminuent.

Le détendeur permet également de régler le débit de fluide parcourant le circuit fermé.

A la sortie du détendeur, le fluide frigorigène est à l'état liquide et à basse pression.

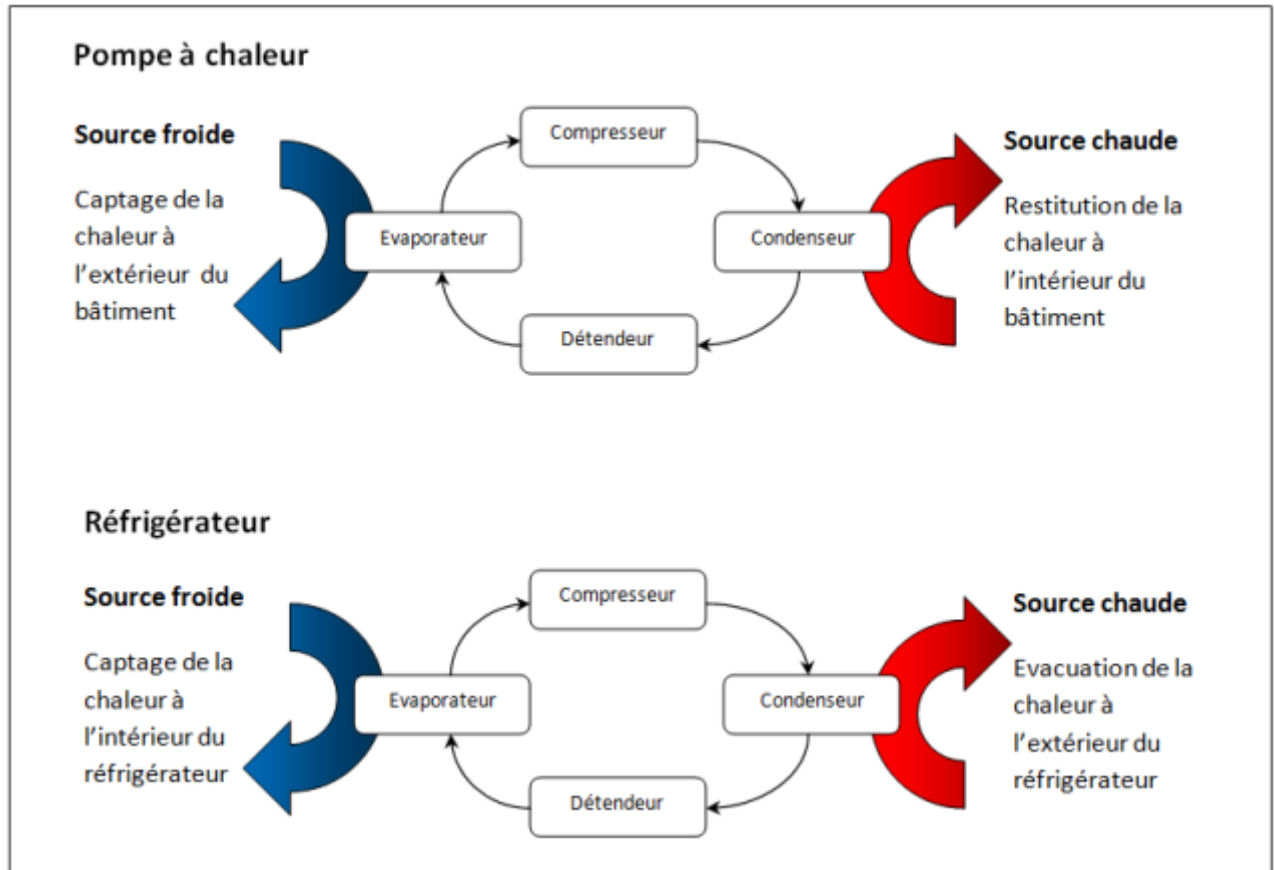
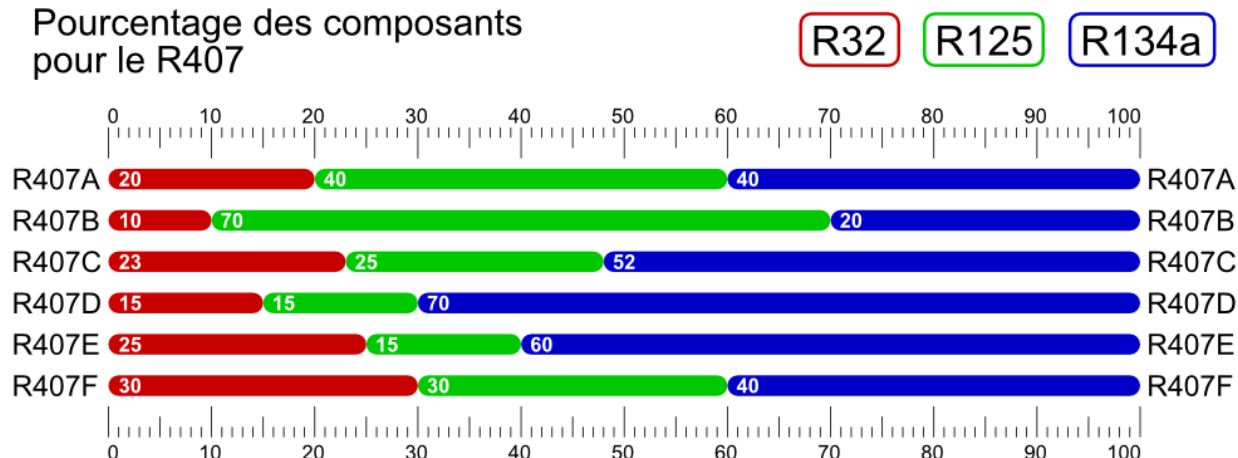


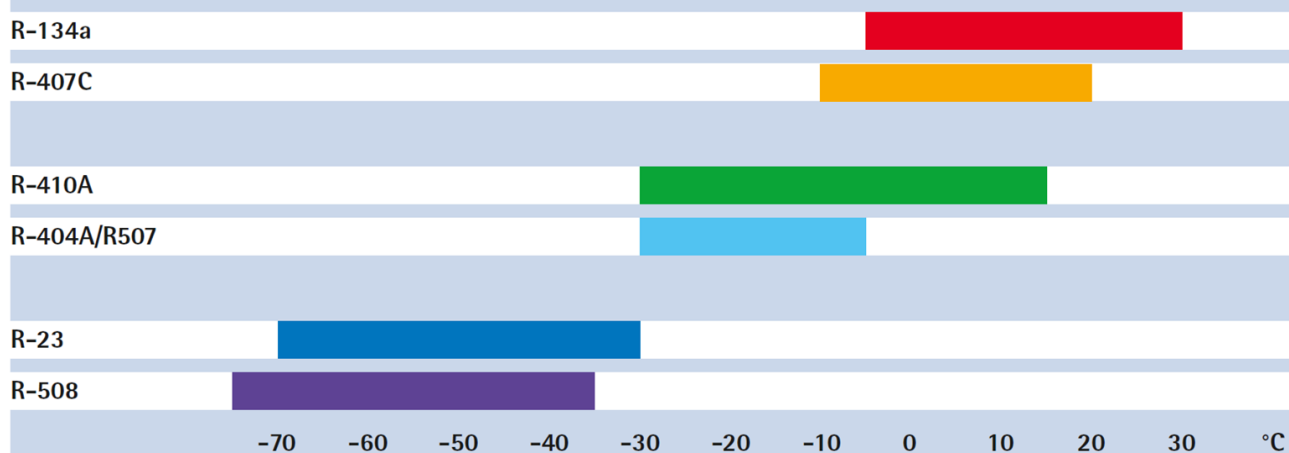
Schéma montrant la différence entre une pompe à chaleur et un réfrigérateur
la pompe à chaleur transfère l'énergie d'un milieu froid à un milieu chaud, tandis que le réfrigérateur la fonction inverse

Le R407C a une composition qui est un mélange de 3 fluides . Il est composé de R134a (Tétrafluoroéthane) à 52 %, de R125 (Pentafluoroéthane) à 25 % et de R32 (Difluorométhane) à 23 %

Pourcentage des composants pour le R407



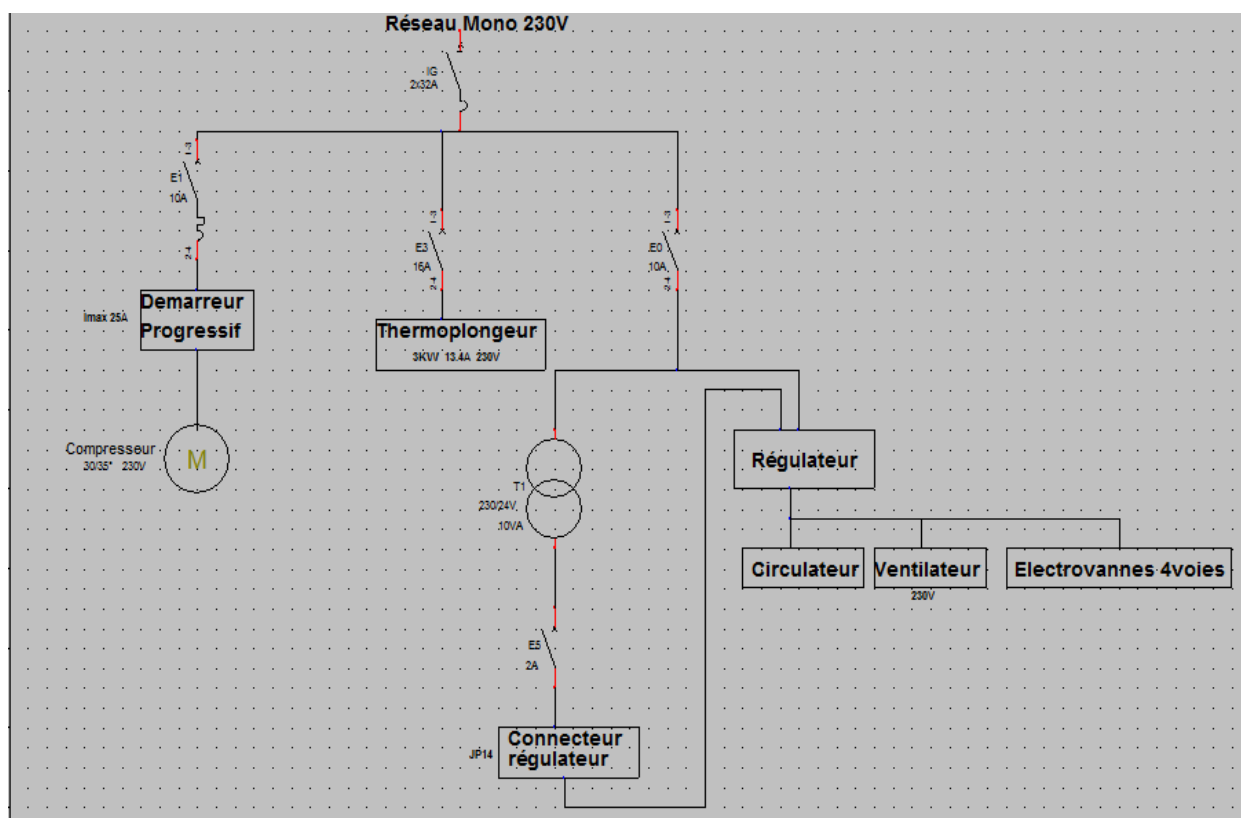
Les plages de températures pour l'utilisation des fluides frigorigènes courants.



Ici, on peut voir que les plages de températures pour l'utilisation du fluide R407C sont de -10 à 20°C.

Le R410A a tendance à remplacer ce dernier car il présente l'avantage de ne pas être nocif pour la couche d'ozone et d'offrir un rendement énergétique supérieur en plus d'avoir une plage de température plus élargie qui s'entend de -30 à environ 15°C.

II) Description technique de la pompe à chaleur :



IG : Interrupteur Sectionneur Calibre 32A

E1 : Disjoncteur bipolaire 10A Magnétothermique

E3 : Disjoncteur bipolaire 16A

E0 : Disjoncteur bipolaire 10A

E5 : Disjoncteur bipolaire 2A

T1 : Transformateur 230/24V – 10VA

Nom de l'appareil	Fonction	Référence
-Démarreur Progressif	Mettre progressivement sous tension le moteur du compresseur	CSS-25U
-Thermoplongeur	Prendre le relais en cas de sortie des normes de chaleur de la PAC	1REBPZ306001
-Régulateur	Régulé la température de chauffage	N/C
-Circulateur	Faire circuler l'eau dans les tuyaux.	Wilo stratos pico classe A

Evaporateur

Compresseur

Régulateur

Afficheur

Démarrateur
progressif

Circulateur





Evaporateur :

Absorber la chaleur de l'air extérieur et la transmettre au R407C.



Compresseur :

Compresser le R407C pour augmenter la chaleur dans les tuyaux de la salle.



Circulateur

Faire circuler le R407C dans les tuyaux.



Détendeur :

Diminuer la pression du R407C pour recommencer un cycle.



Thermoplongeur :

Apporter de l'énergie électrique pour compenser le manque d'énergie extérieur.

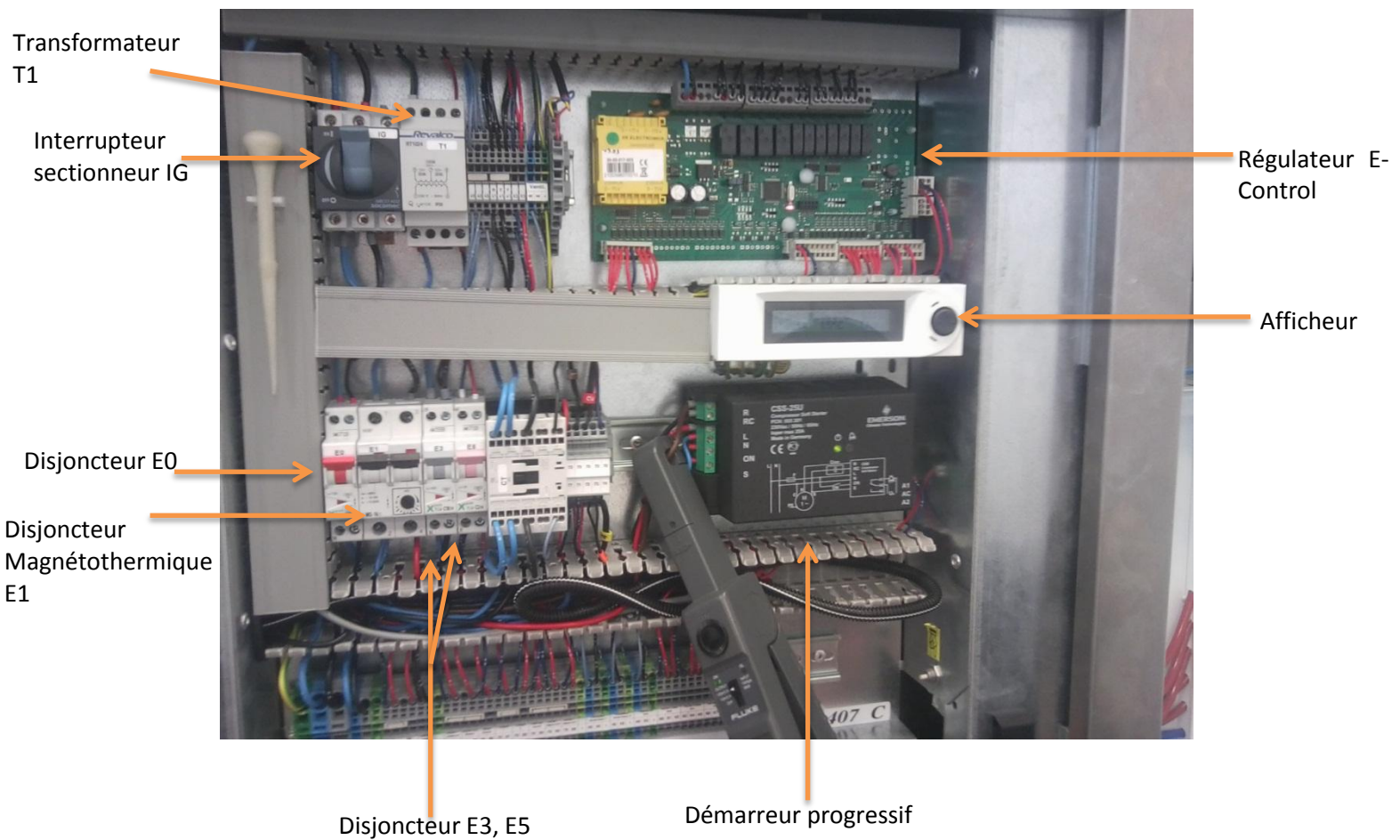
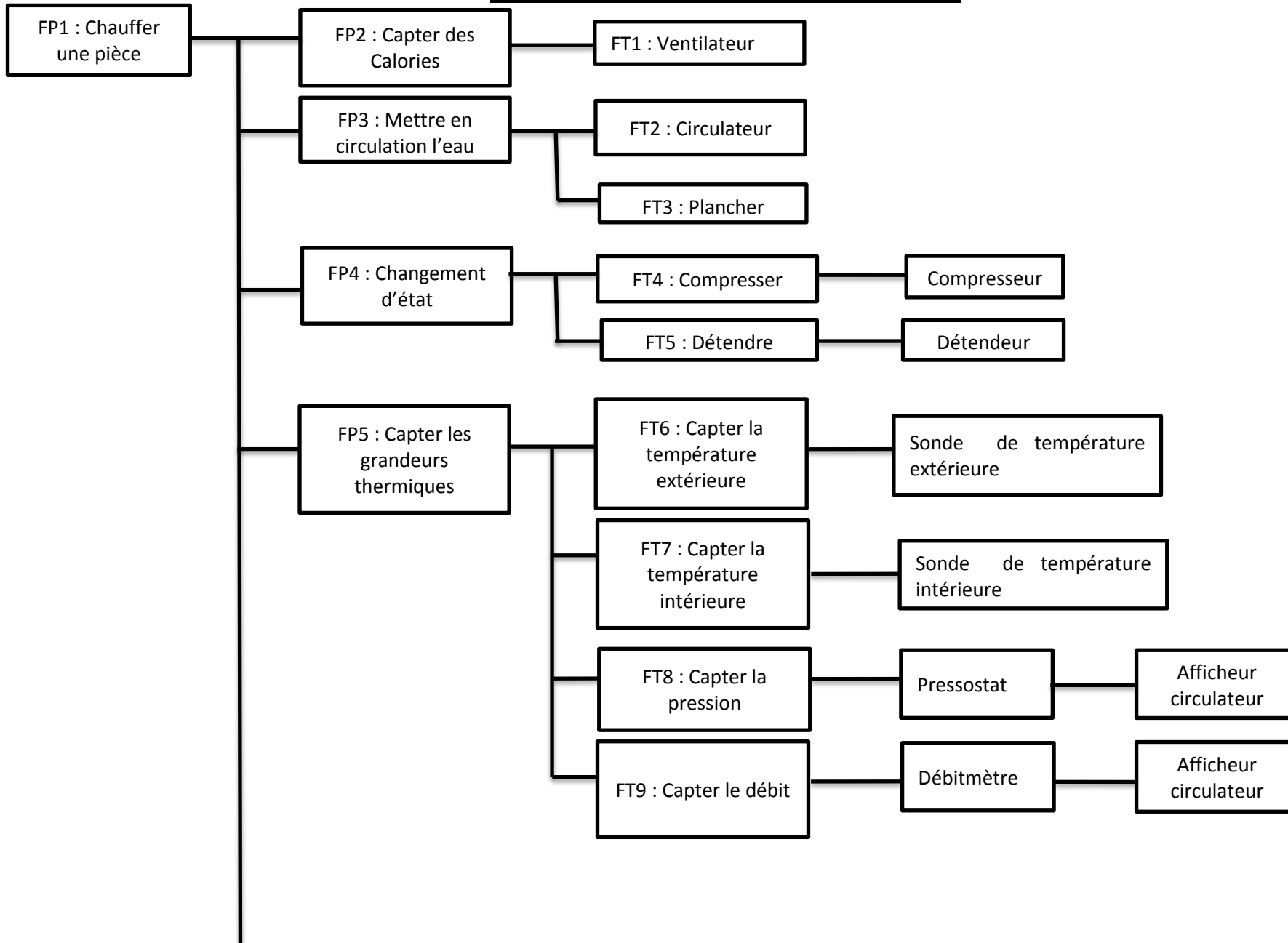
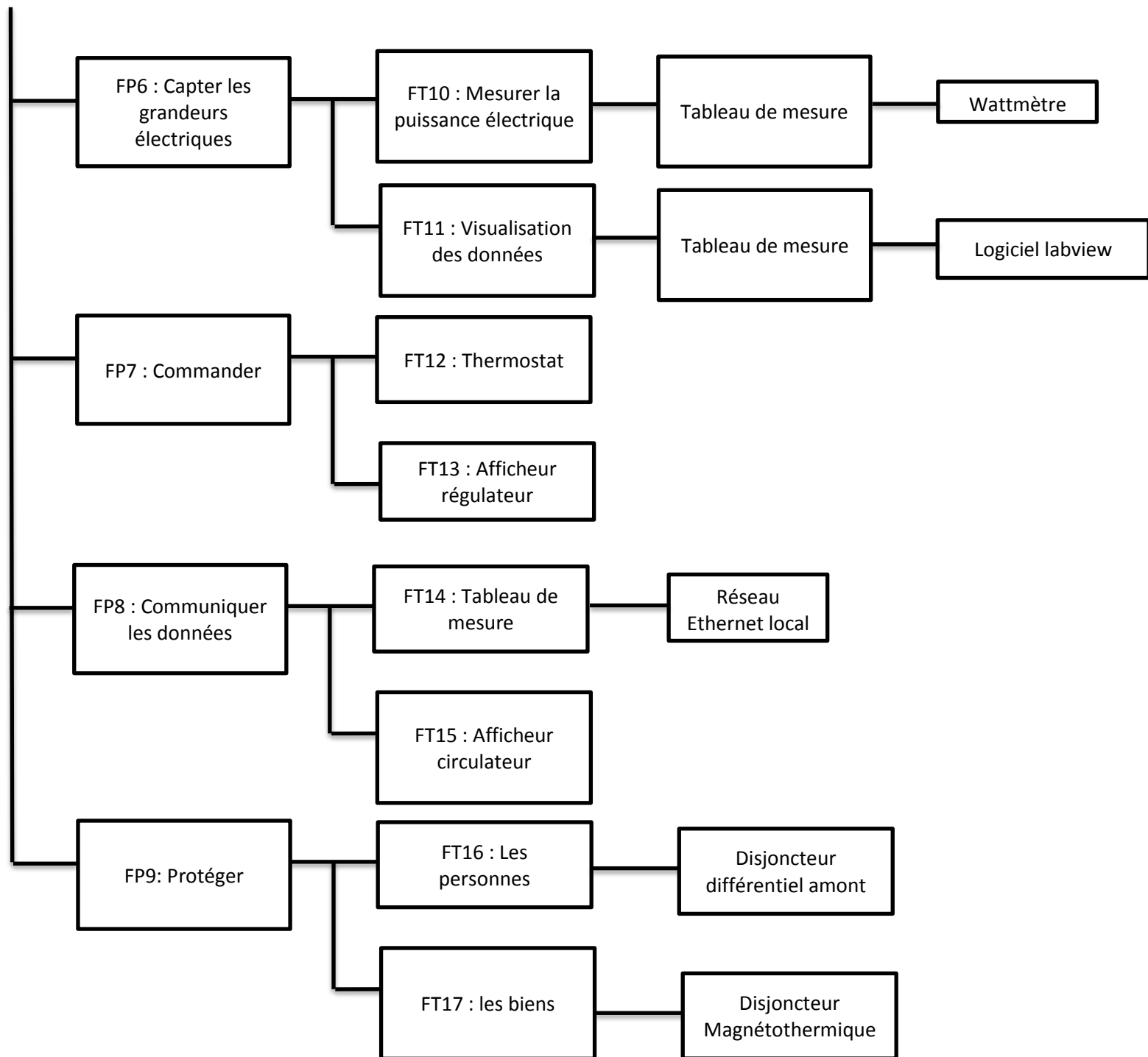


Diagramme FAST





III) Problématique : Comment convaincre et installer une pompe à chaleur chez un particulier ?

1) Etude économique et écologique de la pompe à chaleur : Es-ce-que vraiment rentable ?

Quelle est l'efficacité d'une pompe à chaleur ?

Pour 1kWh consommé, les pompes à chaleur resituent 2 à 4 kWh de chaleur. Les systèmes de chauffage traditionnels sont loin d'avoir la même efficacité : 1 kWh consommé, ils restituent moins de 1 kWh de chaleur.

Efficacité énergétique	
Système de chauffages traditionnels	Inférieur à 1
Pompe à chaleur	De 2 à 4

Dans quelles conditions peut-on envisager un projet de pompe à chaleur pour un logement ?

La diversité des systèmes proposés par les fabricants permet de trouver une solution adaptée à son logement, tant en maison individuelle qu'en appartement, qu'il soit neuf ou à rénover. Le choix d'une pompe à chaleur répertoriée dans la liste émise par PROMOTELEC garantit les performances annoncées par les fabricants ainsi que le respect des normes en vigueur. Selon le type de pompe à chaleur, un emplacement doit être réservé soit à l'intérieur soit à l'extérieur.

Que coûte l'installation d'une pompe à chaleur ?

Le prix varie en fonction du type de chauffage installé dans le logement et du type de pompe à chaleur.

- Pour une installation neuve une pompe à chaleur récupérant l'énergie dans l'air extérieur et alimentant un plancher chauffant, les prix sont compris en moyenne, selon les caractéristiques techniques entre 80 et 110 € TTC/m² de surface chauffé.

- Avec une diffusion de la chaleur par le biais d'un système centralisé à air, les prix varient en moyenne, selon les caractéristiques techniques entre 60 et 90 € TTC/m² de surface chauffé.

- Pour une installation neuve une pompe à chaleur récupérant l'énergie dans le sol ou l'eau pour alimenter un plancher chauffant, les prix sont compris en moyenne, selon les caractéristiques techniques entre 100 et 150 € TTC/m² de surface chauffé.

L'impact environnemental

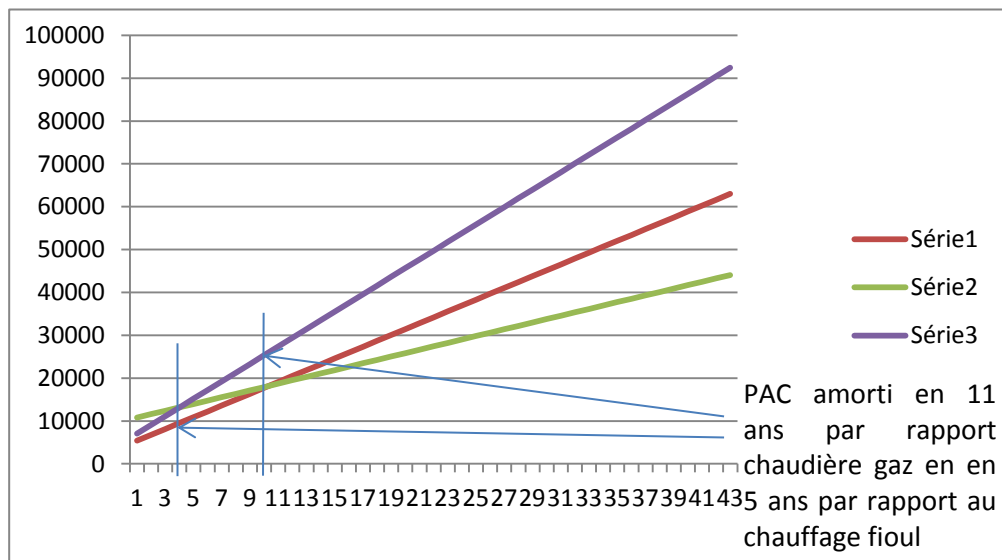
Le bilan annuel en gaz à effet de serre rejeté (exprimé en équivalent de CO₂) et très performant comparé aux systèmes de chauffage traditionnels. En France, 1kWh de chaleur produit avec une pompe à chaleur génère environ 6 fois moins de CO₂ qu'1 kWh de chaleur

produit par une chaudière. L'inconvénient est que le fluide frigorigène utilisé dans la pompe à chaleur est nocif pour l'environnement.

Amortissement sur le long terme

Nous avons comparé une chaudière au fioul, une chaudière au gaz et la pompe à chaleur pour une maison de 70 m² dont les besoins pour se chauffer sont de 24500 kWh par an.

	Prix achat	Consommation énergétique	Prix de l'énergie
Chaudière au gaz	Environ 4000€	24500 kWh	0.056€/kWh
Chaudière au fioul	Environ 5000€	24500 kWh	0.083€/kWh
Pompe à chaleur	Environ 10000€	8166 kWh	0.097€/kWh



Coût de revient des différents modes de chauffage

	Gaz	PAC	Fioul	Con
1	5372	10792,102	7033,5	
2	6744	11584,204	9067	
3	8116	12376,306	11100,5	
4	9488	13168,408	13134	
5	10860	13960,51	15167,5	
6	12232	14752,612	17201	
7	13604	15544,714	19234,5	
8	14976	16336,816	21268	
9	16348	17128,918	23301,5	
10	17720	17921,02	25335	
11	19092	18713,122	27368,5	

2) Comment avoir le meilleur rendement pour sa pompe à chaleur ?

On ne peut pas augmenter les performances d'une pompe à chaleur mais on peut essayer de réduire les pertes thermiques de la pièce chauffée. Si on augmente l'épaisseur de l'isolation de la pièce ou la qualité de l'isolation avec la même puissance de pompe à chaleur on peut réduire le temps de chauffe de la pièce jusqu'à la température désirée. Nous avons pris comme exemple la salle H2 O13.

Calcul de déperdition thermique :

La résistance thermique de conduction est exprimée en Kelvin par watt (K/W). La résistance thermique dépend de l'épaisseur (m), de la surface (m²) et du coefficient de conductivité thermique λ (W/m.K) ou du coefficient K (W/m².K). (Pour le premier calcul nous avons repris les calculs effectués par les BTS de l'année dernière).

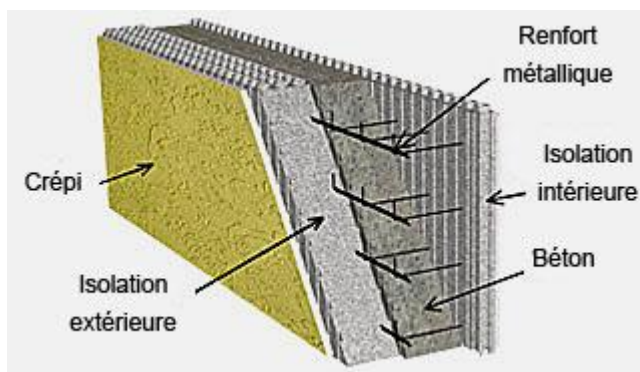
Matériaux utilisés pour les murs :

Nom	Epaisseur (en m)	Lambda (en K/W)
Béton vibré	0.25	1.65
Laine de verre	0.075	0.039
Placoplatre(BA13)	0.013	0.25

Ils avaient trouvé une déperdition thermique en prenant en compte les ponts thermiques de 2008 W.

Nouveau calcul avec une meilleure isolation :

Cas où l'on refait l'isolation du mur donnant sur l'extérieur avec des blocs MAGU, 0 pont thermique et très bonne isolation par l'extérieur. Le reste de la construction reste inchangé.



Mur de 25 cm $U = 0,29 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm	Mur de 30 cm $U = 0,21 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm	Mur de 35 cm $U = 0,16 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm	Mur de 40 cm $U = 0,13 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm	Mur de 45 cm $U = 0,11 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm	Mur de 50 cm $U = 0,09 \text{ W/m}^2.K$ Voile de 14 cm

Pour la nouvelle pièce nous utiliserons des blocs MAGU de 50 cm d'épaisseur.

Surface : -39.1m² de mur
 -14.02m² de fenêtre

Calcul résistance thermique

Pour le mur les résistances thermiques sont en série, elle s'ajoute donc pour former une résistance équivalente.

$$R_{th \text{ mur}} = R_{th \text{ polystyrène}} + R_{th \text{ béton}} + R_{th \text{ polystyrène}} + R_{th \text{ placo}}$$

$$= 0.30 / (39.1 \times 0.036) + 0.14 / (39.1 \times 1.65) + 0.05 / (39.1 \times 0.036) + 0.013 / (39.1 \times 0.25)$$

$$R_{th \text{ mur}} = 0.25 \text{ K/W}$$

$$R_{th \text{ fenêtre}} = 1 / (S.K) = 1 / (14.02 \times 3.05) = 23 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$R_{th \text{ couloir}} = 0.0795 \text{ K/W}$$

$$R_{th \text{ Classe}} = 0.0483 \text{ K/W}$$

$$R_{th \text{ Vide sanitaire}} = 0.0246 \text{ K/W}$$

Flux Thermique souvent noté ϕ qui s'exprime en Watt, c'est la quantité de chaleur dissipé sur un temps donné $\phi \text{ Q/t}$

$$\phi = (T_{int} - T_{ex}) / R_{th}$$

Calcul de puissance dissipé

Calcul pour la puissance perdue au niveau du mur extérieur :

En Bretagne, nous avons une température minimale d'environ 0°C. Ce qui justifie la température extérieure prise pour les calculs de résistance thermique (Voir justification par le tableau de relevé).

Avec $T_{int} = 20 \text{ C}$ et $T_{ex} = 0 \text{ C}$

$$\Phi_{mur} = (T_1 - T_2) / R_{th} = (20 - 0) / (0.28) = 71 \text{ W}$$

$$\phi_{Fen\hat{e}tre} = (T_1 - T_2) / R_{th} = (20 - 0) / (23 \times 10^{-3}) = 869.57 \text{ W}$$

Rth	T int classe (en °C)	T ext classe(en °C)
Mur couloir	20	16
Mur classe	20	18
Vide sanitaire	20	13.5

$$\phi_{\text{Couloir}} = (T_1 - T_2) / R_{\text{th couloir}} = 50.3W$$

$$\phi_{\text{Classe}} = (T_1 - T_2) / R_{\text{th classe}} = 41.4W$$

$$\phi_{\text{Vide sanitaire}} = (T_1 - T_2) / R_{\text{th Vide sanitaire}} = 264.2W$$

	<u>Valeur</u>
<u>ϕ Mur</u>	<u>71W</u>
<u>ϕ Fenêtre</u>	<u>869.57W</u>
<u>ϕ Couloir</u>	<u>50.3W</u>
<u>ϕ Classe</u>	<u>41.4W</u>
<u>ϕ Vide sanitaire</u>	<u>264.2W</u>
<u>ϕ total</u>	<u>1290W</u>

Pour la nouvelle isolation nous avons pris en compte les pertes du bâtiment. Il existe des pertes causé par les ponts thermiques. Pour tenir compte des pertes thermiques, on applique une majoration de 25%. Mais nous l'avons appliqué seulement aux :

- Fenêtre
- Couloir
- Classe
- Vide sanitaire

Nous ne l'avons pas appliqué au mur car il n'y a pas de pont thermique avec les blocs MAGU

$$\phi_{\text{Réal}} = \phi_{\text{total}} + 25\% = (869.57 + 50.3 + 41.4 + 264.2) \times 1.25 = 1531W + 71W = \text{Déperdition total de } 1600W$$

La précédente isolation avais une déperdition total de 2000W nous avons économisé 400W.

Combien de temps pour chauffer la salle avec les deux systèmes d'isolation ?

Calcule de l'absorption thermique de l'aire

Formule

$$Q = m \times C \times \Delta t$$

Q = Energie thermique en joules

M = Masse volumique de l'air 1.2 kg/m³

C = Capacité thermique de l'air

Δt = Différence de température

M = 1.2 × le volume de la pièce donc 1.2 × 507 m³ = 608 Kg

C = 1000 Joules/kg/°C

Δt = 20°C car on admet que la température de départ est de 0°C 20-0=20

$$Q = 608 \times 1000 \times 20 = 12160000 \text{ Joules} \rightarrow 12160000 / 3600 = 3377 \text{ W}$$

Dans le premier cas avec l'isolation basique on avait une déperdition thermique de 2000W. Dans ce cas sur les 5100 W produits par la pompe à chaleur seulement 3100 W est utilisé pour chauffer la pièce. Le temps de chauffe est de 3377/3100=1.08 ce qui fait 65 minutes soit 1h05.

Dans le premier cas avec l'isolation MAGU on avait une déperdition thermique de 1600W. Dans ce cas sur les 5100 W produits par la pompe à chaleur 3500 W est utilisé pour chauffer la pièce. Le temps de chauffe est de 3377/3500=0.96 ce qui fait 57 minutes.

Entre les deux isolations on a gagné 8 minutes de temps de chauffe. Le temps gagner n'est pas énorme car il y a seulement l'isolation du mur donnant sur l'extérieur a été correctement isolé. Il aurait fallu refaire toute l'isolation de la pièce.

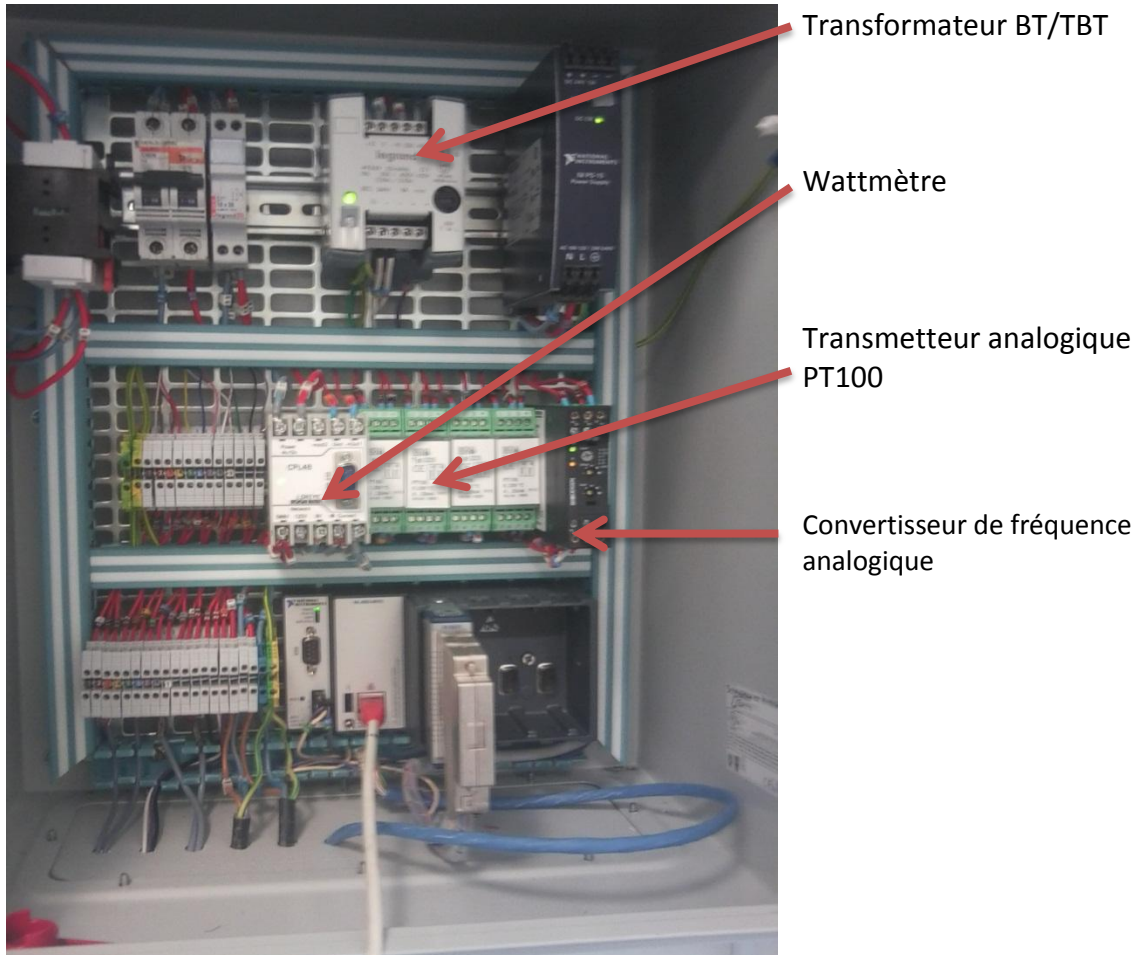
Conclusion

Il est recommandé d'installer un pompe à chaleur dans une maison très bien isolé.

3) Comment superviser sa pompe à chaleur ?

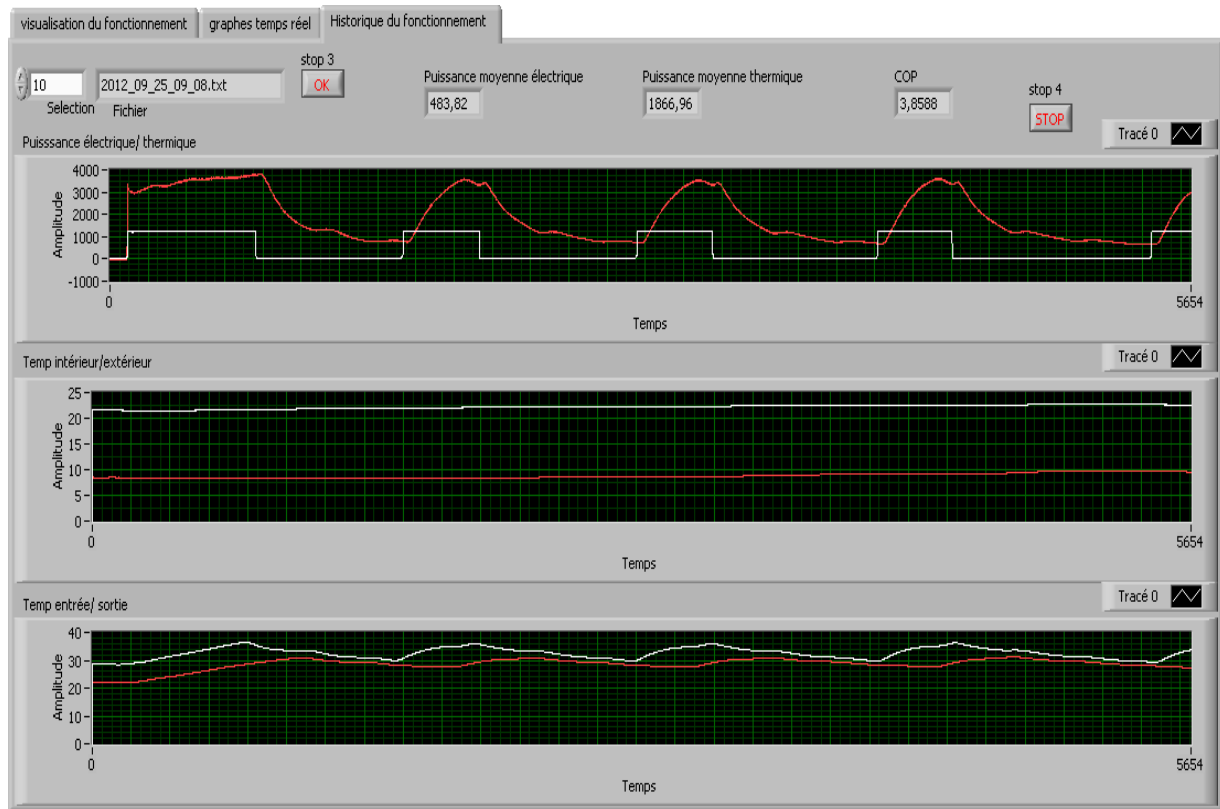
3.1) Pompe à chaleur du lycée VAUBAN

La pompe à chaleur du lycée VAUBAN possède une armoire de comptage des différentes énergies.



Cette armoire de comptage mesure le débit en entrée et sortie de tuyau. Elle mesure aussi la température extérieure et intérieure. La température extérieure est mesurée grâce à une sonde PT100 Re-transmis en analogique grâce au transmetteur analogique (4...20mA). Le débit dans les tuyaux grâce à des débitmètres. Toutes les mesures sont renvoyées sur un ordinateur. Le logiciel LABVIEW traite les données qui lui ont été transmises ce qui permet de faire de la supervision, on peut aussi faire des graphes de fonctionnement sur différentes périodes.

Exemple de graphes :



Commande onglets

Voici un graphe de fonctionnement sur une longue période 5664 sec 15h45. Sur le premier graphe du haut on voit en rouge la courbe de la puissance thermique et en blanc la courbe de la puissance électrique consommée. Le rapport des deux nous donne le COP (Coefficient de Performance) dans ce cas le COP est de 3.85. Ce qui veut dire qu'avec une puissance moyenne de 483 W électrique la pompe à chaleur produit 1866 W de puissance thermique. On trouve aussi la courbe en température intérieur et extérieur et la courbe de la température d'entrée et de sortie de l'eau dans les tuyaux.

3.2) Comment superviser la pompe à chaleur d'un particulier ?

Le système d'armoire de comptage avec un ordinateur pour un particulier sera une solution inadaptée. Nous avons donc cherché une solution pour un client qui souhaitera connaître la production de sa pompe à chaleur avec un système de distribution par pièce.

Exemple de cahier des charges

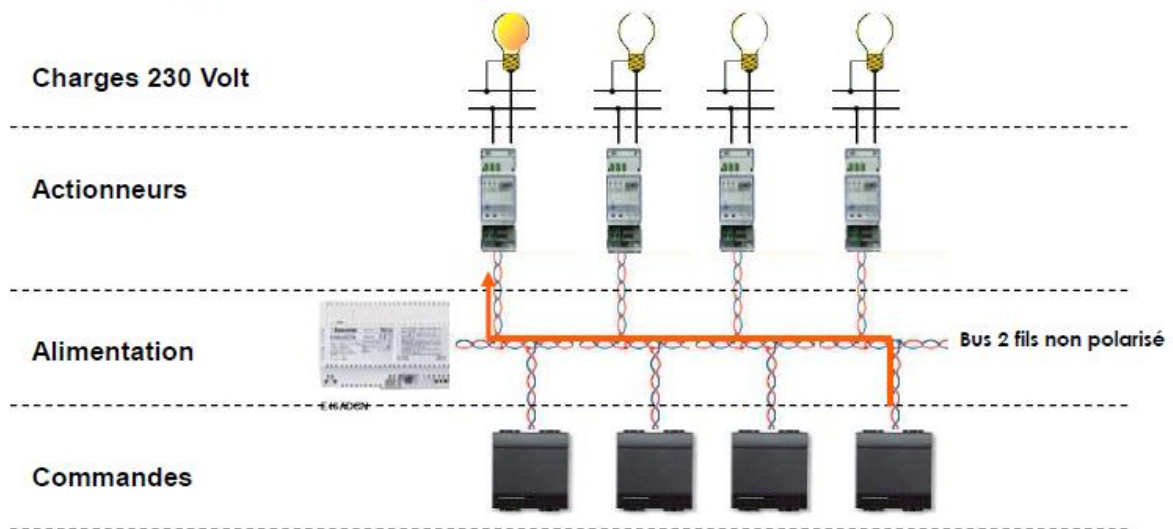
Le client souhaite une distribution du chauffage dans 3 pièces différentes : le bureau, la cuisine, et le séjour avec possibilité de régler la température de chaque pièce indépendamment l'une de l'autre. Pour cela nous avons choisi la domotique de chez LEGRAND MY HOME.

La domotique c'est quoi ?

- _ Ensemble de technologies que l'on **combine entre elles** pour **automatiser** la maison.
- _ Des **solutions simples** pour répondre aux besoins de **confort, d'économies d'énergie, de communication** et de **sécurité**
- _ Rendre l'installation électrique **plus fonctionnelle ... et plus esthétique**

Principe de fonctionnement

- Raccordement des produits par un **bus 2 fils non polarisé**
⇒ **alimentation** et transport de l'**information**
- Identification des produits grâce à **une configuration**



Pour accéder à ses fonctions dans notre cas il faut un écran tactile, des sondes, de température et un contrôleur d'énergie.

Ecran tactile

Sert à contrôler et paramétrer le chauffage des différentes pièces.



Sonde de température

Mesure la température de chaque pièce.

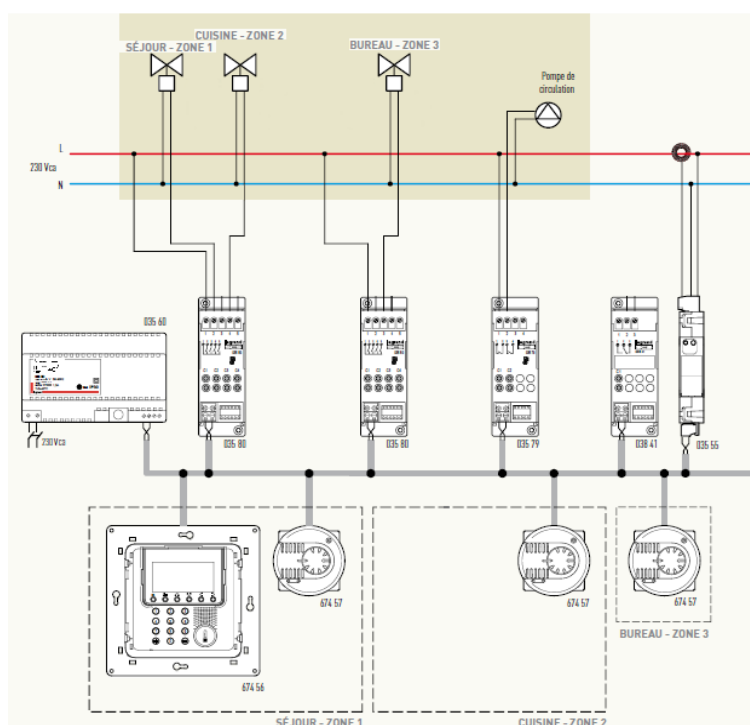


Contrôleur d'énergie

Mesure en permanence le débit d'énergie grâce à des tores placés sur la phase en amont du circuit.



Ensuite on réalise le câblage comme indiqué ci-dessous



Enfin on programme l'écran tactile avec un ordinateur et le logiciel Thermoconfig. Voilà la pompe à chaleur installée chez un particulier convaincu, avec une utilisation optimal et facile !!!

