

Filière Systèmes industriels

Orientation Power and Control

Diplôme 2008

Adrien Fournier

*Réglage prévisionnel du
chauffage par données
météorologiques*

Professeur

Michel Bonvin

Expert

Laurent Berthod

SI	TV	EE	IG	EST
X	X			

Confidentiel / Vertraulich

☐ oui / ja ☒ non / nein

FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr 2007/2008	No PS / Nr. PS pc/2008/31
Mandant / Auftraggeber <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Ecole hôte	Etudiant / Student Adrien Fournier	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Ecole hôte
Professeur / Dozent Michel Bonvin	Expert / Experte (données complètes) Laurent Berthod - ASQ services SA, CP 4013, 1950 Sion	

Titre / Titel

**Réglage prévisionnel du chauffage par données météorologique
MétéoChauffe**

Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele

Un bâtiment de qualité du point de vue de la protection thermique possède une constante de temps de plusieurs centaines d'heures : dans ces conditions, il suffit donc d'avoir connaissance des jours gris et froids à venir pour faire une réserve de chaleur correspondant à quelques degrés et pouvoir ainsi traverser la mauvaise période sans chauffage ou du moins sans devoir en utiliser une puissance excessive. Pour des bâtiments bien isolés et présentant une inertie importante (constante de temps de l'ordre de 200 h ou supérieure), la régulation prévisionnelle présente très probablement des avantages.

L'objectif de ce travail de diplôme consiste à :

- concevoir un prototype de régulateur prévisionnel à l'aide de matériel ad hoc
- l'implanter dans une maison existante
- le configurer de façon adéquate
- en suivre le fonctionnement au cours des derniers mois de 2008
- en faire une évaluation provisoire des bénéfices apportés.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Resp. de la filière

Leiter des Studieng.:

Etudiant/Student:

Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
01.09.2008Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
21.11.2008, 12:00Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten:
28.11.2008Défense orale / Mündliche Verfechtung:
semaine/Woche 49

Réglage prévisionnel du chauffage par données météorologiques

MétéoChauffe

Objectif

Dans le but de juger du potentiel de sous dimensionnement d'une installation de chauffage offerte par une stratégie de chauffage prévisionnelle à l'aide des données météorologiques, les travaux suivants sont entrepris :

- Conception matérielle et logicielle d'un prototype de régulateur prévisionnel
- Implantation du système dans une maison existante
- Configuration adéquate du régulateur en fonction des caractéristiques du bâtiment
- Mise en service et tests préliminaires de fonctionnement

Résultats

La saison n'est pas encore suffisamment avancée pour évaluer clairement les bénéfices obtenus grâce à la régulation prévisionnelle. Toutefois, ces premières semaines d'expériences ont permis de valider les choix matériels et logiciels effectués. Le prototype fonctionne convenablement, quelques ajustements seront effectués dans un futur proche afin de pouvoir aborder le gros de l'hiver avec un régulateur prévisionnel totalement fonctionnel.

Mots-clés

Régulation de chauffage prévisionnelle, Capture automatique des données météo, Sous-dimensionnement d'une installation de chauffage, Gestion intelligente du chauffage.

Ziel

Das Ziel dieser Arbeit ist es das Unterdimensionierungs-Potential einer Heizungsanlage abzuschätzen wenn diese von einem mit Hilfe von Wetterberichten arbeitenden voraussichtlichen Regler gesteuert wird. Folgende Arbeiten sind zu unternehmen:

- Ein Prototyp des voraussichtlichen Reglers entwickeln
- Einführung des Systems in ein existierendes Haus
- Den Regler in Abhängigkeit der Charakteristiken des Gebäudes zweckmässig einzustellen
- Inbetriebnahme und Durchführung erster Funktionstests

Resultate

Die Jahreszeit ist noch nicht genügend fortgeschritten um die Nutzen der vorausschauenden Regelung eindeutig abschätzen zu können. Dennoch erlauben es die Erfahrungen die in den ersten Wochen gesammelt wurden, die Material- und Softwarewahlen zu bestätigen. Der Prototyp arbeitet korrekt, es müssen nur noch ein Paar Feinregelungen durchgeführt werden damit der vorausschauende Regler für den Wintereinsatz reif ist.

Schlüsselwörter

Vorausschauende Regelung von Heizungsanlagen, Automatische Datenerfassung der Wetterberichte, Unterdimensionierung einer Heizungsanlage, Intelligente Verwaltung von Heizungsanlagen.



MétéoChauffe

Rapport

Annexes

Documentations

Diplômant : Fournier Adrien

Professeur : Bonvin Michel



1	INTRODUCTION	5
1.1	RÉFLEXIONS PRÉLIMINAIRES	5
1.2	TRAVAUX ENTREPRIS	6
1.3	DÉNOMINATIONS UTILISÉES	6
2	ÉTUDES DU RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL	7
2.1	STRATÉGIE DE RÉGULATION	7
2.1.1	DÉFINITION DES GAINS ET PERTES THERMIQUES	7
2.1.2	PRINCIPE DE LA RÉGULATION PRÉVISIONNELLE	7
2.1.3	HORIZON PRÉVISIONNEL	8
2.2	COEFFICIENT DE PERTES THERMIQUES EFFECTIVES	8
2.3	ÉQUATIONS DE BASE	9
2.4	INTÉGRATION DU PRÉVISIONNEL DANS LES ÉQUATIONS	9
2.5	EN RÉSUMÉ...	9
3	ÉTUDE DE LA VILLA BERTHOD	10
3.1	PRÉSENTATION	10
3.2	SIMULATION BSOL	10
3.2.1	CARACTÉRISATION DU BÂTIMENT	10
3.2.2	RÉSULTATS	10
3.2.3	CONSTANTE DE TEMPS DU BÂTIMENT	11
3.3	SIMULATION D'UN RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL POUR LA VILLA BERTHOD	11
3.4	RÉSULTATS	11
3.4.1	INFLUENCE SUR L'UTILISATION DU CHAUFFAGE	11
3.4.2	GARANTIE DU CONFORT	13
3.5	EN RÉSUMÉ...	14
4	LECTURE ET INTERPRÉTATION DE LA MÉTÉO	15
4.1	CAPTURE DE LA MÉTÉO	15
4.2	MISE EN FORME DES DONNÉES MÉTÉO	15
4.2.1	CONVERTIR LE POURCENTAGE D'ENSOLEILLEMENT EN WATTS	15
4.2.2	CONSTRUCTION DU FICHIER DE PRÉVISIONS MÉTÉO	16
4.3	EN RÉSUMÉ...	17
5	CONCEPTION SOFTWARE DU RÉGULATEUR	18
5.1	L'ARCHITECTURE	18
5.2	CALCUL DES FLUX D'ÉNERGIE	19
5.2.1	ÉNERGIE À PRODUIRE (QOBJ)	19

5.2.2	ÉNERGIE FOURNIE	19
5.2.3	CALCUL DU DÉBIT D'EAU DANS L'INSTALLATION	19
5.3	CONTRAINTES ET CHOIX DE RÉALISATION	20
5.3.1	FRÉQUENCE ET HEURE DE MISE À JOUR DES DONNÉES MÉTÉO	20
5.3.2	HORIZON PRÉVISIONNEL EXPLOITÉ	20
5.3.3	CAPTURE ET MISE EN FORME DES DONNÉES MÉTÉO	20
5.3.4	PROTECTION DE LA POMPE À CHALEUR	20
5.4	EN RÉSUMÉ...	20
6	PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION EXISTANTE	21
6.1	ENTRÉES / SORTIES VUES DU RÉGULATEUR	21
6.1.1	MODIFICATION POUR LE RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL	21
6.2	NIVEAU DE TENSION DES SIGNAUX	22
6.3	EN RÉSUMÉ	22
7	CONCEPTION HARDWARE DU RÉGULATEUR	22
7.1	CIRCUIT DE COMMUTATION	22
7.2	CIRCUIT DE MESURE	23
7.2.1	TECHNOLOGIE RETENUE	23
7.2.2	CORRESPONDANCE TEMPÉRATURE / TENSION	24
7.3	EN RÉSUMÉ...	24
8	INSTALLATION ET MISE EN ROUTE DU RÉGULATEUR	25
8.1	MODIFICATION DE L'INSTALLATION EXISTANTE	25
8.2	TESTS DE FONCTIONNEMENT	25
8.2.1	ÉTALONNAGE DES CAPTEURS	25
8.2.2	DÉCALAGE ENTRE LES DEUX SONDAS DE TEMPÉRATURE DU CIRCUIT DE CHAUFFAGE	26
8.2.3	DÉBIT D'EAU DANS L'INSTALLATION	26
8.2.4	DÉFAILLANCE DE LA SONDE DE TEMPÉRATURE INTÉRIEURE	26
8.3	EN RÉSUMÉ...	26
9	AMÉLIORATIONS	27
9.1	PHILOSOPHIE ET STRATÉGIE ADOPTÉES	27
9.1.1	UTILISATION DE DONNÉES PRÉVISIONNELLES PONDÉRÉES	27
9.1.2	GESTION DYNAMIQUE DE LA POMPE DE CIRCULATION	27
9.2	CÔTÉ LOGICIEL	27
9.2.1	COMMUTATION PLUS AISÉE ENTRE LES RÉGULATEURS	27
9.2.2	PARTAGE DES SIGNAUX DE MESURES	27
9.2.3	SIMPLIFICATION DES PROCÉDURES D'ÉTALONNAGE	27

<u>10</u>	<u>POUR CONCLURE...</u>	<u>28</u>
10.1	ÉTAT ACTUEL DU PROJET	28
10.2	RÉSULTATS PROVISOIRES	28
10.3	PLANIFICATION FUTURE	28
<u>11</u>	<u>ANNEXES</u>	<u>30</u>
<u>12</u>	<u>SOURCES</u>	<u>56</u>
12.1	PERSONNES DE CONTACT	56
<u>13</u>	<u>CONTENU DU CDROM</u>	<u>56</u>
<u>14</u>	<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	<u>57</u>

1 INTRODUCTION

1.1 RÉFLEXIONS PRÉLIMINAIRES

Dans le contexte de crise énergétique actuelle, nul ne peut plus ignorer la nécessité absolue de réduire massivement sa consommation d'énergie personnelle. La rénovation et l'optimisation énergétique du parc immobilier existant présentent un spectaculaire potentiel d'économie d'énergie. Malheureusement, trop de propriétaires rechignent à investir le surcoût engendré par une enveloppe thermique performante et une installation de chauffage novatrice.

Dans le but d'inverser cet état d'esprit, ce projet développe une piste intéressante : le sous-dimensionnement de l'installation de chauffage. On se pose la question suivante : *« Peut-on, en connaissant à l'avance la météo des prochains jours, piloter de manière judicieuse une installation de chauffage de manière à limiter au maximum les pics de production de chaleur ? »*

Si l'on sait dès maintenant que les prochains jours seront froids et couverts, on peut activer de manière modérée l'installation de chauffage aujourd'hui pour constituer une réserve de chaleur. Cette réserve va permettre de traverser la période à venir sans utiliser une quantité trop importante d'énergie. On peut faire l'analogie avec le cycliste qui, voyant une côte se profiler devant lui, décide de prendre un peu d'élan en terrain plat pour éviter de devoir se mettre en danseuse durant toute la montée.

En parvenant à limiter les pics de consommation d'énergie, on réduit d'autant la puissance maximale que doit pouvoir fournir l'installation de chauffage. Premier avantage, un dispositif de chauffage moins puissant coûtera moins cher à l'achat et à l'entretien qu'une installation plus lourde. Deuxièmement, dans les cas les plus favorables, on peut repenser complètement le système de distribution de chaleur dans la maison. On utilise traditionnellement de l'eau circulant dans des conduites pour transporter la chaleur dans tout le bâtiment. Si la puissance à introduire est suffisamment faible et régulière, pourquoi ne pas simplement se contenter de chauffer l'air de ventilation de la maison ?

Pour obtenir une efficacité énergétique maximale, les bâtiments modernes disposent d'un système de renouvellement de l'air mécanique avec échangeur de chaleur. En recourant au flux d'air de la ventilation pour véhiculer la chaleur dans l'habitation, on économise l'installation d'un réseau de distribution d'eau de chauffage.

L'objectif :

Ce travail cherche à répondre à la question suivante :

« Un système de régulation de chauffage prévisionnel offre-t-il un potentiel de « lissage » de la consommation d'énergie de chauffage suffisant pour envisager l'abandon d'une distribution de chaleur « à eau » traditionnelle ? »

Si oui, les économies réalisées sur l'installation de chauffage permettraient de compenser, du moins en partie, les surcoûts engendrés par le choix d'un standard d'isolation élevé.

1.2 TRAVAUX ENTREPRIS

Ce projet de diplôme est consacré à l'étude de faisabilité d'un régulateur prévisionnel, à la réalisation d'un prototype puis à l'expérimentation grandeur nature du système dans une villa du type Minergie. Le travail présenté dans ce document est décomposé de la manière suivante :

- Exposition et explication des concepts fondamentaux de la régulation prévisionnelle (*chap. 2*)
- Simulation et étude du comportement d'un bâtiment équipé d'un tel système (*chap. 3*)
- Capture, gestion et mise en forme des données météo (*chap. 4*)
- Réalisation hardware et software, tests et mise en service du prototype (*chap. 5, 6 et 7*)
- Observations et conclusions de l'expérience (*chap. 8, 9 et 10*)

1.3 DÉNOMINATIONS UTILISÉES

Sont regroupées ici, avec une brève description, les différentes notations que le lecteur rencontrera dans ce document.

Dénomination	Unité	Description
C	[J/K]	Capacité calorifique d'un bâtiment
H	[W/K]	Dépensements spécifiques
τ	[s]	Constante de temps d'un bâtiment. f(C et H)
T _i	[°C]	Température intérieure
T _c	[°C]	Consigne de température intérieure
T _e	[°C]	Température extérieure
T _{e_p}	[°C]	Température extérieure prévisionnelles selon données météo
G _s	[W]	Gains thermiques dus au rayonnement solaire
G _{s_p}	[W]	Gains thermiques prévisionnels dus au rayonnement solaire
G _h	[W/m ²]	Puissance solaire disponible sur un plan horizontal
I _{max}	[W]	Gains solaires maximums assimilables par le bâtiment
I _{réel}	[W]	Gain solaire assimilé par le bâtiment en tenant compte de la météo
G _i	[W]	Gains thermiques dus aux activités humaines et aux appareils
G _{i_p}	[W]	Gains thermiques prévisionnels dus aux activités humaines
U	[W/m ² K]	Coefficient d'isolation (murs, fenêtres, toits...)
Heff	[W/K]	Coefficient de pertes thermiques effectives

Tableau 1 : Récapitulation de la symbolique utilisée pour les calculs et les explications

2 ÉTUDES DU RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL

Le développement et la vérification de l'algorithme du régulateur prévisionnel a été effectué au fil du projet de semestre qui a précédé ce travail de diplôme. Les éléments fondamentaux sont réexpliqués ici, mais pour des informations plus détaillées quant à l'étude proprement dite d'un régulateur prévisionnel, le lecteur peut se référer au rapport complet du projet de semestre situé sur le CDROM en annexe.

2.1 STRATÉGIE DE RÉGULATION

2.1.1 DÉFINITION DES GAINS ET PERTES THERMIQUES

La technique de régulation s'appuie sur une observation très simple. Pour maintenir la température intérieure d'une maison autour d'une valeur donnée, il faut compenser exactement les pertes thermiques par des gains. On trouve trois formes de gains :

- 1) Les gains solaires : Énergie de rayonnement, apportée de manière « gratuite » par le soleil.
- 2) Les gains internes : Énergie cédée au bâtiment par la présence humaine (chaleur corporelle, éclairage, appareil électrique,...). On peut considérer cette source d'énergie comme gratuite puisqu'elle découle d'autres activités.
- 3) Les gains du chauffage : Énergie transmise au bâtiment par l'installation de chauffage.

Les pertes sont dues aux transferts de chaleur à travers l'enveloppe thermique du bâtiment, (murs, fenêtres, toiture, aération,...), lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

On peut conclure ces observations de la manière suivante : Pour pouvoir minimiser l'utilisation du chauffage, il faut agir sur plusieurs fronts. Premièrement, il faut limiter les pertes thermiques du bâtiment, ceci explique le choix d'un bâtiment offensif thermiquement. Deuxièmement, seul un bâtiment disposant d'une large ouverture au soleil est réellement intéressant puisqu'il permet d'acquérir une grande quantité d'énergie gratuite lors de journées ensoleillées.

2.1.2 PRINCIPE DE LA RÉGULATION PRÉVISIONNELLE

Les deux graphiques ci-dessous expriment les différences entre une gestion « temps réel » et une gestion « prévisionnelle » du chauffage.

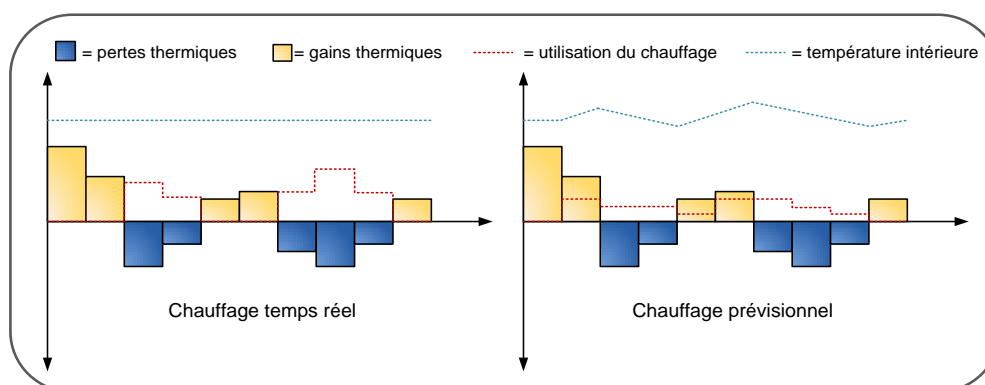


Figure 1 : Fonctionnement de la régulation prévisionnelle

Comme le chauffage temps réel doit compléter les pertes thermiques « au jour le jour », sa puissance doit être élevée pour lui permettre de réagir avec nervosité.

Par contre, si l'on permet à l'installation de chauffage de prévoir la météo future, le système va faire un peu de réserve de chaleur avant l'arrivée du mauvais temps. Ainsi, la compensation des pertes s'effectue sur une durée plus longue, ce qui permet de réduire la puissance maximale nécessaire. L'inverse fonctionne aussi : si du beau temps s'approche, on peut baisser la commande du chauffage puisqu'un apport de chaleur gratuit sera à disposition d'ici quelques heures.

2.1.3 HORIZON PRÉVISIONNEL

Tous les calculs sont basés sur des variantes différentes. Premièrement, la simulation d'un chauffage temps réel est effectuée pour permettre de comparer les résultats des stratégies prédictives par rapport à un choix de régulation traditionnelle. Deuxièmement, les calculs sont résolus en prenant comme base de calculs non plus des valeurs instantanées, mais des valeurs moyennes établies durant une période « h » de 24h, 48h et 72h.

La figure suivante illustre la transformation des valeurs temps réel des gains et pertes thermiques du bâtiment en des valeurs constantes sur la durée des prévisions.

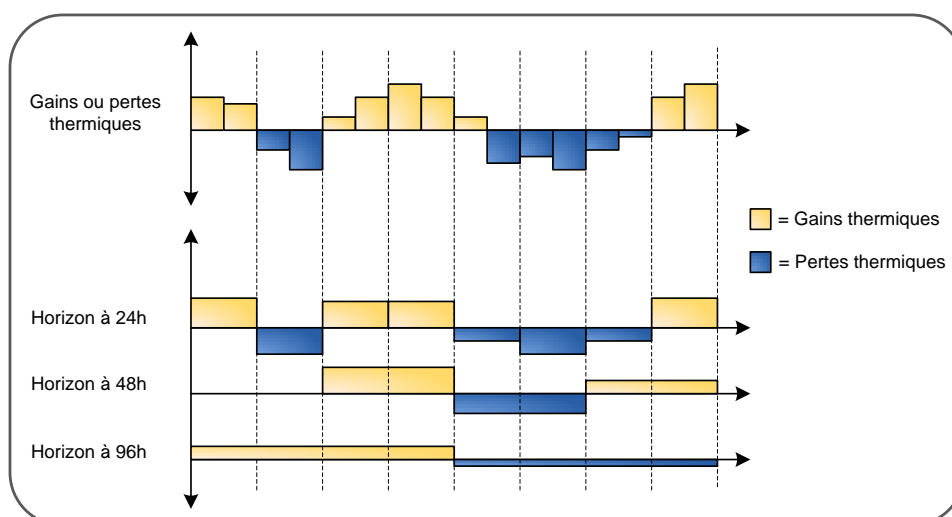


Figure 2 : Valeurs moyennes des gains / pertes sur différentes durées prévisionnelles

2.2 COEFFICIENT DE PERTES THERMIQUES EFFECTIVES

Pour simplifier l'exploitation des valeurs prévisionnelles, nous allons regrouper tous les gains et les pertes futurs dans une grandeur appelée coefficient de pertes effectives. On le calcule comme suit :

$$Heff = H - \frac{Gs_p + Gi_p}{Te_p + Tc} \quad (1)$$

Calcul du coef. de pertes thermiques

« H » représente les pertes. Elles sont compensées par la fraction, symbolisant les gains solaires et internes.

Pour obtenir une prévision des gains et des pertes, on fait la moyenne de Heff sur « h » heures. Ainsi, on obtient une valeur permettant de quantifier la puissance de chauffage qu'il faudra fournir au bâtiment durant les « h » prochaines heures pour maintenir sa température intérieure stable.

$$Heff = H - \frac{Gs_p^{(h)} + Gi_p^{(h)}}{Te_p^{(h)} + Tc} \quad (2)$$

Calcul du coefficient de pertes thermiques pour « h » heures.

2.3 ÉQUATIONS DE BASE

Pour simuler le comportement thermique du bâtiment et ainsi étudier l'influence des différentes variantes de chauffage prévisionnel, nous utilisons deux équations de base.

- 1) L'évolution de la température intérieure d'un bâtiment en fonction de la puissance de chauffage actuelle P_h et de la température à l'instant précédent T_{i_h} .

$$T_{i_{h+1}} = T_{i_h} + \frac{H}{C} \cdot dt(T_e - T_{i_h}) + \frac{dt}{C} (G_s + G_i + P_h) \quad (3)$$

- 2) La puissance de chauffage actuelle, P_h , nécessaire pour maintenir la température intérieure T_{i_h} au niveau de T_c malgré une température extérieure inférieure.

$$P_h = H_{eff}(T_c - T_{e_p}) + \frac{C}{dt}(T_c - T_{i_h}) \quad (4)$$

2.4 INTÉGRATION DU PRÉVISIONNEL DANS LES ÉQUATIONS

A présent, nous avons des équations qui modélisent le comportement thermique du bâtiment (3-4) et une relation qui permet de quantifier les pertes pendant une certaine durée « h » (2).

Reste à fusionner les équations (4) et (2) pour obtenir une relation entre les pertes durant les « h » prochaines heures et la puissance de chauffage qu'il faudra fournir pendant ces « h » heures pour conserver la température intérieure proche de la consigne. Après quelques simplifications, l'équation (4) devient :

$$P_h^{(h)} = H(T_c - T_{e_p}^{(h)}) - G_{s_p}^{(h)} - G_{i_p}^{(h)} + \frac{C}{\Delta t^{(h)}}(T_c - T_i)$$

Équation 5 : Puissance moyenne sur « h » heures.

2.5 EN RÉSUMÉ...

Concrètement, l'algorithme de régulation peut-être exprimé sous la forme suivante :

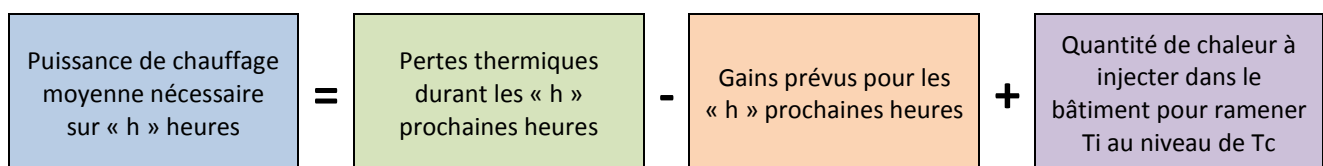


Figure 3 : Algorithme de chauffage

A noter : le dernier terme devient négatif (donc diminue la puissance à fournir) quand la température intérieure est supérieure à la température de consigne. C'est lui qui joue le rôle de « réservoir » d'énergie. En jouant sur T_c , on peut soit d'injecter de l'énergie dans le bâtiment ($T_c > T_i$) soit en retirer pour soulager l'installation de chauffage ($T_c < T_i$).

3 ÉTUDE DE LA VILLA BERTHOD

3.1 PRÉSENTATION

La villa de la famille Berthod se prête très bien à l'étude d'un système de régulation prévisionnel. Il s'agit d'une construction de qualité exemplaire où tout ce qui peut réduire la consommation d'énergie a été entrepris.

L'isolation des murs est assurée par des plaques de laine de verre de 20cm d'épaisseur situées à l'extérieur du bâtiment. Ceci confère à l'ensemble une excellente isolation thermique tout en maximisant la capacité calorifique de la maison (la maçonnerie des murs fait partie de la zone « chaude »).

La maison étant certifiée Minergie, une grande partie des paramètres nécessaires à la simulation sont simplement repris des formulaires d'étude pour la certification.

3.2 SIMULATION BSOL

Dans un premier temps, nous allons caractériser le bâtiment dans le logiciel de simulation bSol. L'objectif est d'obtenir les différents paramètres du bâtiment de manière à pouvoir régler au mieux le régulateur. Sont présentés ci-après les paramètres caractéristiques les plus importants ainsi que les résultats généraux. Pour plus de détails, consulter le projet bSol joint sur le CD-ROM en annexe.

3.2.1 CARACTÉRISATION DU BÂTIMENT

En s'aidant des plans de construction de la villa, on peut recréer dans bSol l'architecture du bâtiment.

Pour plus de détails sur les points suivants, veuillez consulter les annexes correspondantes.

- Zone non chauffée, toiture, sols : Annexe 11.5
- Calcul des masses de stockage : Annexe 11.5.2
- Calcul des installations techniques : Annexe 11.4

3.2.2 RÉSULTATS

L'analyse bSol va principalement nous servir à déterminer le comportement thermique de la maison, exprimé grâce à la capacité calorifique et le coefficient de pertes.

Désignation	Description	Source	Valeur
C [J/K]	Capacité calorifique du bâtiment. Indique la quantité de « chaleur » absorbée / restituée par le bâtiment. Cette énergie est stockée dans tous les volumes (mur, meuble, sol, air...) situés à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment.	Calcul de bSol en fonction des « masses de stockages » définies par l'utilisateur.	1.46E8 [J/K]
H [W/K]	Déperdition thermique du bâtiment. C'est la puissance transmise entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment par degré.	Calcul de bSol selon la géométrie du bâtiment la qualité de son isolation et le débit d'air d'aération.	141 [W/K]

Tableau 2 : Paramètres caractéristiques du bâtiment étudié.

3.2.3 CONSTATE DE TEMPS DU BÂTIMENT

Ces deux premières valeurs vous nous permettre de déterminer la constante de temps du bâtiment de la manière suivante :

$$\tau = \frac{C}{H} = \frac{1.46 \cdot 10^8}{141} \left[\frac{J/K}{W/K} \right] = 1.04 \cdot 10^6 [s] \approx 288h$$

Équation 6 : Calcul de la constante de temps du bâtiment

La constante de temps du bâtiment joue un rôle crucial dans le choix du type de régulateur prévisionnel que nous allons sélectionner. Plus la constante de temps est élevée, moins la construction sera sensible aux variations de la température extérieure.

3.3 SIMULATION D'UN RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL POUR LA VILLA BERTHOD

Avant de se lancer dans la conception « réelle » du régulateur, nous allons simuler l'influence qu'aurait une stratégie de chauffage prévisionnelle sur le comportement thermique de la villa.

Pour ce faire, nous allons reprendre la structure des tableaux Excel développée au cours du projet de semestre en y insérant les paramètres propres à la maison de la famille Berthod. Une explication détaillée de cet environnement de simulation peut être consultée au paragraphe 3.6 du rapport de projet de semestre présent sur le CDROM en annexe.

L'objectif primordial de cette étude est de s'assurer que les températures intérieures demeurent dans une plage acceptable afin de ne pas mettre en péril le confort des habitants.

L'étude va donc se focaliser sur l'évolution de la température intérieure durant les mois de chauffage ainsi que sur le comportement du chauffage avec une nouvelle stratégie de régulation.

3.4 RÉSULTATS

Lors du projet de semestre, l'objectif des analyses était de mettre en lumière le potentiel de sous-dimensionnement de l'installation de production de chaleur en cas d'utilisation d'une stratégie de régulation prévisionnelle.

Dans le cas de la villa Berthod, le chauffage est assuré par une pompe à chaleur (PAC) dont la puissance maximale est déjà légèrement en dessous des besoins maximaux de la maison. Il ne faut donc pas s'attendre à un potentiel de sous-dimensionnements important. Par contre, et c'est le but de cette expérience, nous allons analyser les impacts d'une régulation prévisionnelle sur le confort thermique du logement.

3.4.1 INFLUENCE SUR L'UTILISATION DU CHAUFFAGE

Les graphiques ci-après représentent pour chaque mois de l'année la consommation totale et la puissance maximale consommées par le chauffage.

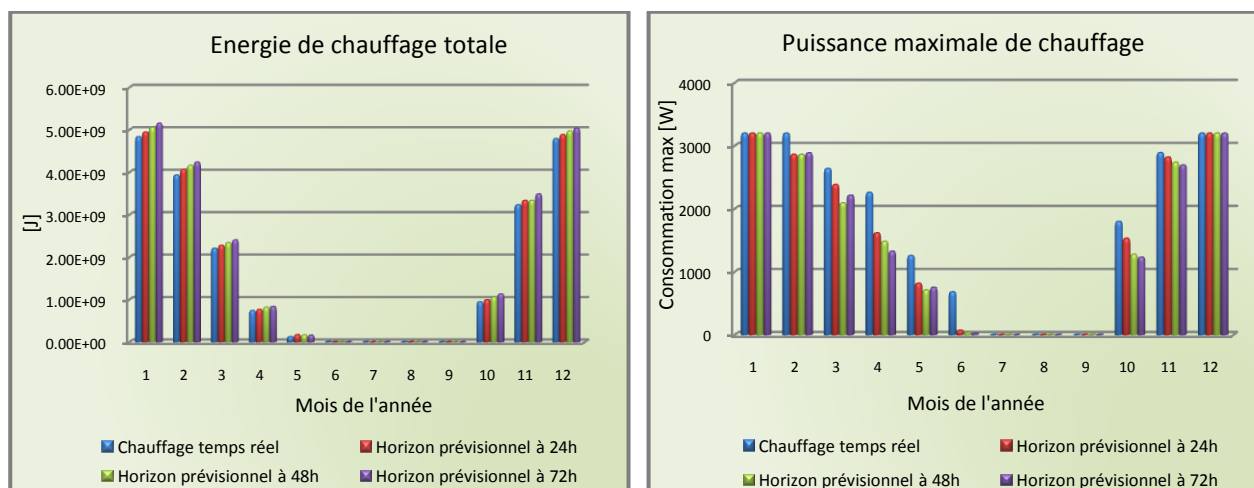


Figure 4 et 5 : Consommation et puissance absorbée sur l'année par la PAC

Comme on peut s'y attendre, aucune diminution de la consommation d'énergie n'est constatée. Le bâtiment nécessite toujours le même apport calorifique pour maintenir sa température intérieure à 20°C quel que soit l'horizon prévisionnel sélectionné. Au contraire, les températures intérieures étant globalement supérieures avec une régulation prévisionnelle, la consommation l'est aussi.

Par contre, les diminutions des sollicitations du chauffage sont nettement plus palpables. En observant l'histogramme de la puissance maximale atteinte par le chauffage (fig. 5), on constate une nette atténuation des pics de consommation aux entre-saisons. Mais il faut toutefois garder à l'idée que la PAC installée dans la maison est déjà sous-dimensionnée. La puissance maximale fournie n'excède guère 3200W alors que pour un strict suivi de la température de consigne, une PAC de 3800W serait nécessaire. Durant la saison froide le chauffage fonctionne à 100% de sa puissance la plupart du temps. Avec une chaudière plus « musclée » (3800W), une diminution de la puissance maximale nécessaire est nettement visible, même durant les frimas hivernaux.

La figure 6 indique l'utilisation du chauffage durant le mois d'avril. L'effet de la régulation prévisionnelle est parfaitement visible à partir de l'heure 2500. Alors que le régulateur temps réel active très fortement le chauffage (heure 2590) pour une durée restreinte, la stratégie à 72h a activé plus tôt mais nettement moins puissamment le chauffage.

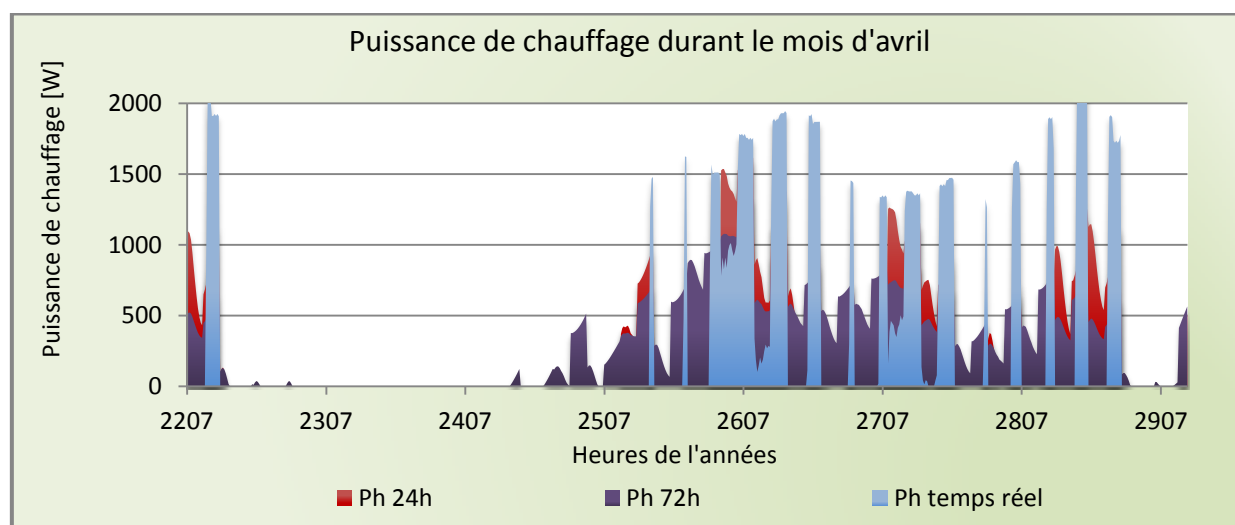


Figure 7 : Utilisation du chauffage durant le mois d'avril

3.4.2 GARANTIE DU CONFORT

Analyse de l'évolution des températures intérieures :

Une première série de mesures exprime l'évolution des extrema de températures à l'intérieur de la maison au fil de l'année. Les deux graphiques ci-après représentent respectivement les températures minimales et moyennes obtenues pour chaque mois.

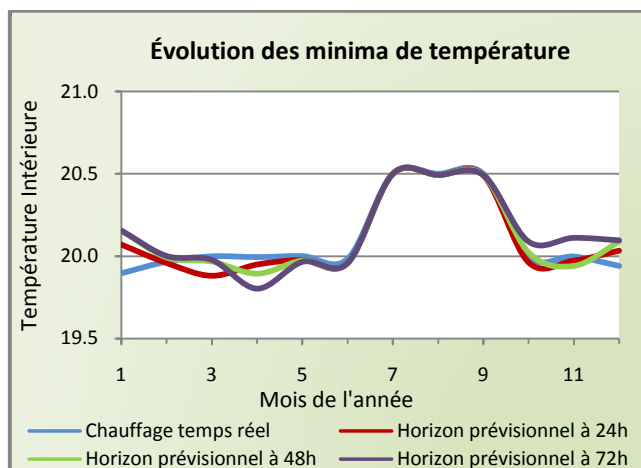


Figure 8 : Température intérieure minimale sur une année

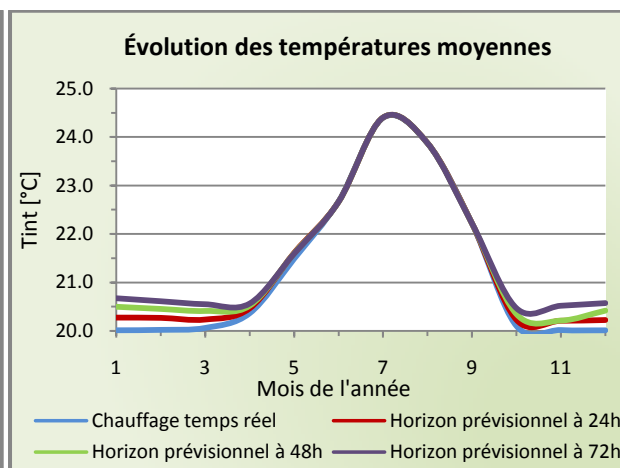


Figure 9 : Température intérieure moyenne sur une année

Le sous dimensionnement de la PAC est clairement perceptible durant l'hiver avec une régulation temps réel. La production de chaleur est insuffisante pour maintenir la température de consigne à 20°C. Par contre, avantage de la régulation prévisionnelle, malgré la « faiblesse » de la PAC, les températures minimales sont plus clémentes qu'avec une régulation temps réel.

Avec une stratégie prévisionnelle, les températures intérieures sont plus basses aux entre-saisons qu'en hiver. Ceci s'explique par les grandes amplitudes thermiques qui caractérisent justement ces périodes. En Valais, durant le mois d'avril, on peut constater des différences de près de 15°C lors de journées ensoleillées, ou au contraire, de journées grises, pluvieuses et venteuses. Ces alternances rapides de clémence ou de rigueur météorologique se compensent relativement bien l'une l'autre. En conséquence de quoi, le régulateur ne donnant pas l'ordre au chauffage de démarrer, la température intérieure diminue. Pour une illustration de ce phénomène, veuillez consulter le paragraphe 2.1.2 (Principes de la régulation prévisionnel).

Il faut également garder à l'idée que plus le soleil est haut dans le ciel, moins les gains solaires sont importants puisque les rayons sont de moins en moins « perpendiculaires » aux vitrages des fenêtres et donc contribuent de moins en moins à réchauffer la maison à mesure que l'été arrive.

En ce qui concerne l'impact sur le confort de la régulation prévisionnelle, nous pouvons sans risque opter pour un horizon prévisionnel de 48 heures. La température minimum atteinte dans la maison est de 19.8°C.

Durant les périodes de chauffages, avec des stratégies de régulation prévisionnelle, les températures intérieures sont légèrement plus élevées qu'avec un chauffage temps réel. Puisqu'on cherche à faire des réserves de chaleur avant les périodes de froids, il est normal que la température moyenne dans la maison soit plus élevée.

Nombre d'heures en dessous du seuil de confort

Une dernière série de mesures complète le choix de l'horizon prévisionnel. Bien que connaître le minimum atteint par la température intérieure soit déjà un critère de sélection, il faut relativiser cette valeur. Le critère réellement important est la durée durant laquelle la température intérieure se trouve sous un seuil dit « de confort ».

Les graphiques ci-après indiquent la durée où la température intérieure se situe dans les plages exprimées sur l'axe horizontal. Ces mesures sont prises pour le mois d'avril, le plus critique selon les simulations.

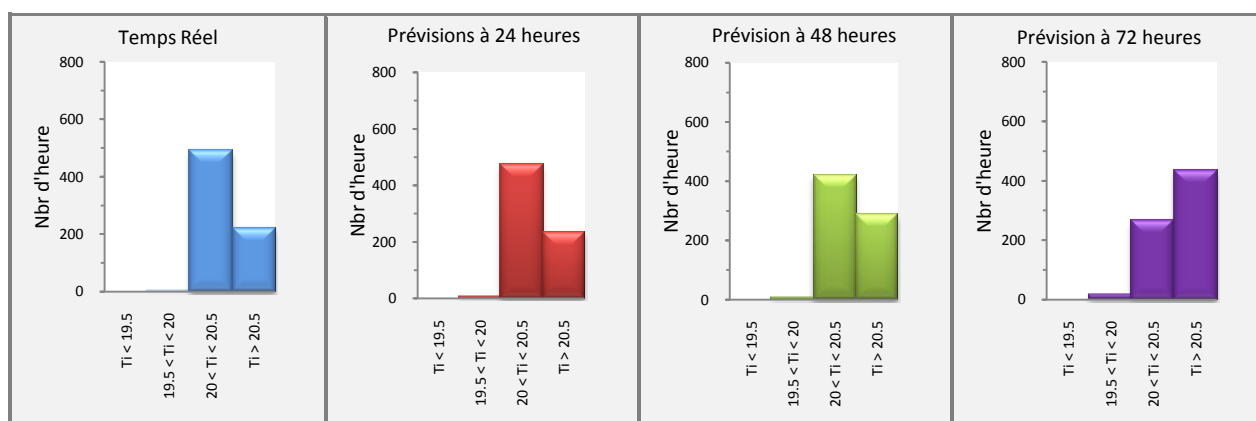


Figure 10 : Verticalement, la durée en heures où la température intérieure se trouve dans les plages indiquées horizontalement.

3.5 EN RÉSUMÉ...

Les analyses effectuées précédemment permettent de lever le doute que nous avons quant à l'impact des stratégies de régulations prévisionnelles sur le confort thermique. Bien qu'avec une stratégie prévisionnelle les amplitudes des variations de températures soit supérieures, la tendance est plutôt à une hausse des températures moyennes.

Les périodes critiques (vue du confort) ne sont pas en hiver. Lors des grands froids, la PAC fonctionne quasiment en permanence. Par contre, aux entre-saisons, durant les périodes de froids suivies immédiatement par du chaud, la PAC ne s'active pas. La température intérieure va baisser.

Les analyses d'utilisation de la PAC montrent que l'installation ne peut pas être sous-dimensionnée davantage sans mettre en péril le confort thermique durant l'hiver. Actuellement, les habitants du lieu effectuent déjà une régulation « pseudo-prévisionnelle manuelle » avec leur chauffage pour passer au mieux l'hiver. Avec le nouveau régulateur, aucune manutention ne sera plus nécessaire. A défaut de pouvoir économiser de l'énergie, notre système leur fera gagner du confort d'utilisation.

4 LECTURE ET INTERPRÉTATION DE LA MÉTÉO

Nous avons décidé, lors du projet de semestre, d'utiliser les données météo fournies sur le site web de météo suisse. Par rapport à d'autres vecteurs de transmission, aller directement sur Internet rechercher ce dont nous avons besoin représente plusieurs avantages.

Premièrement, les informations sont gratuites. Ensuite, elles sont précises (on peut obtenir des données spécifiquement élaborées pour la région de Sion par exemple). Et enfin, du moment que le régulateur fonctionne sur un ordinateur (LabView) il est aisé de se connecter sur Internet et de transmettre les paramètres au régulateur.

4.1 CAPTURE DE LA MÉTÉO

Sur le site de météo suisse, les données prévisionnelles sont données à sept jours et sont exprimées à l'aide de trois valeurs journalières.

- Les deux extrema de températures
- Un taux d'ensoleillement

Si l'interprétation des valeurs de températures ne pose pas de problème, il n'en va pas de même pour le « taux d'ensoleillement ». Il s'agit d'un rapport entre le nombre d'heures maximum de soleil durant la journée et le nombre d'heures d'ensoleillement effectivement disponible. C'est donc une **durée** d'ensoleillement qui est communiquée et non pas une **puissance** directement utilisable. Il va donc falloir recourir à différents artifices pour en tirer des valeurs exploitables pour la régulation. Ces procédures sont expliquées au paragraphe 4.2.1 : convertir le pourcentage d'ensoleillement en watts.

4.2 MISE EN FORME DES DONNÉES MÉTÉO

Capter la météo est une chose, mais elle n'a pas encore le bon format temporel. Nous ne disposons que de trois valeurs pour décrire toute une journée, or le régulateur fonctionne avec des valeurs horaires.

Il faut donc, d'une part, recréer à partir de deux extrema de température une évolution quotidienne crédible.

D'autre part, comme rencontré dans les paragraphes 2.2 et 2.3 (Équations de chauffage de base), le régulateur a besoin d'une valeur exprimée en watts pour les gains solaires. Un deuxième travail de conversion est nécessaire pour transformer le rapport d'ensoleillement, exprimé en « % », en watts réellement disponibles dans la maison.

4.2.1 CONVERTIR LE POURCENTAGE D'ENSOLEILLEMENT EN WATTS

Il faut trouver un moyen simple de convertir le pourcentage quotidien d'ensoleillement en une puissance différente pour chaque heure de la journée.

bSol peut fournir, sous forme horaire, la puissance solaire pénétrant dans la maison. Comme matière première, il lui faut un fichier contenant les valeurs du rayonnement sur un plan horizontal (rayonnement diffus et global). Pour élaborer cette liste, la méthode de « l'année idéale » développée ci-après est appliquée.

L'année idéale

Cette méthode consiste à calculer de manière analytique les valeurs de rayonnement obtenues pour un plan horizontal durant toute une année de très beau temps. En d'autres termes, il s'agit d'obtenir ce que serait, heure après heure, le rayonnement maximum disponible à Erde durant une année absolument sans nuage.

Au final, un tableau contenant des valeurs de rayonnement horizontal pour les « 24 X 365 » heures de l'année est disponible. Ne reste plus qu'à faire fonctionner bSol avec ce fichier source météo pour obtenir les gains solaires maximaux assimilables par le bâtiment (I_{\max}) tout au long de l'année.

Toutes les formules et les détails de la procédure se trouvent à l'annexe 11.1.

4.2.2 CONSTRUCTION DU FICHIER DE PRÉVISIONS MÉTÉO

En se basant sur les valeurs téléchargées du site de météo suisse, nous devons recréer un scénario d'évolution horaire crédible. C'est-à-dire que nous allons simuler ce que seront les prochains jours en nous basant sur les données en notre possession. (T_{\min} , T_{\max} , $G_{\text{hidéal}}$).

Ceci nécessite le recours à des moyens de programmation « lourd ». Monsieur Epiney Yvan m'a proposé de réaliser un programme capable de générer efficacement un fichier météo valable 72h en fonction des données capturées sur le site de météo suisse. Ci-après, le schéma de fonctionnement du programme de mise en forme de la météo.

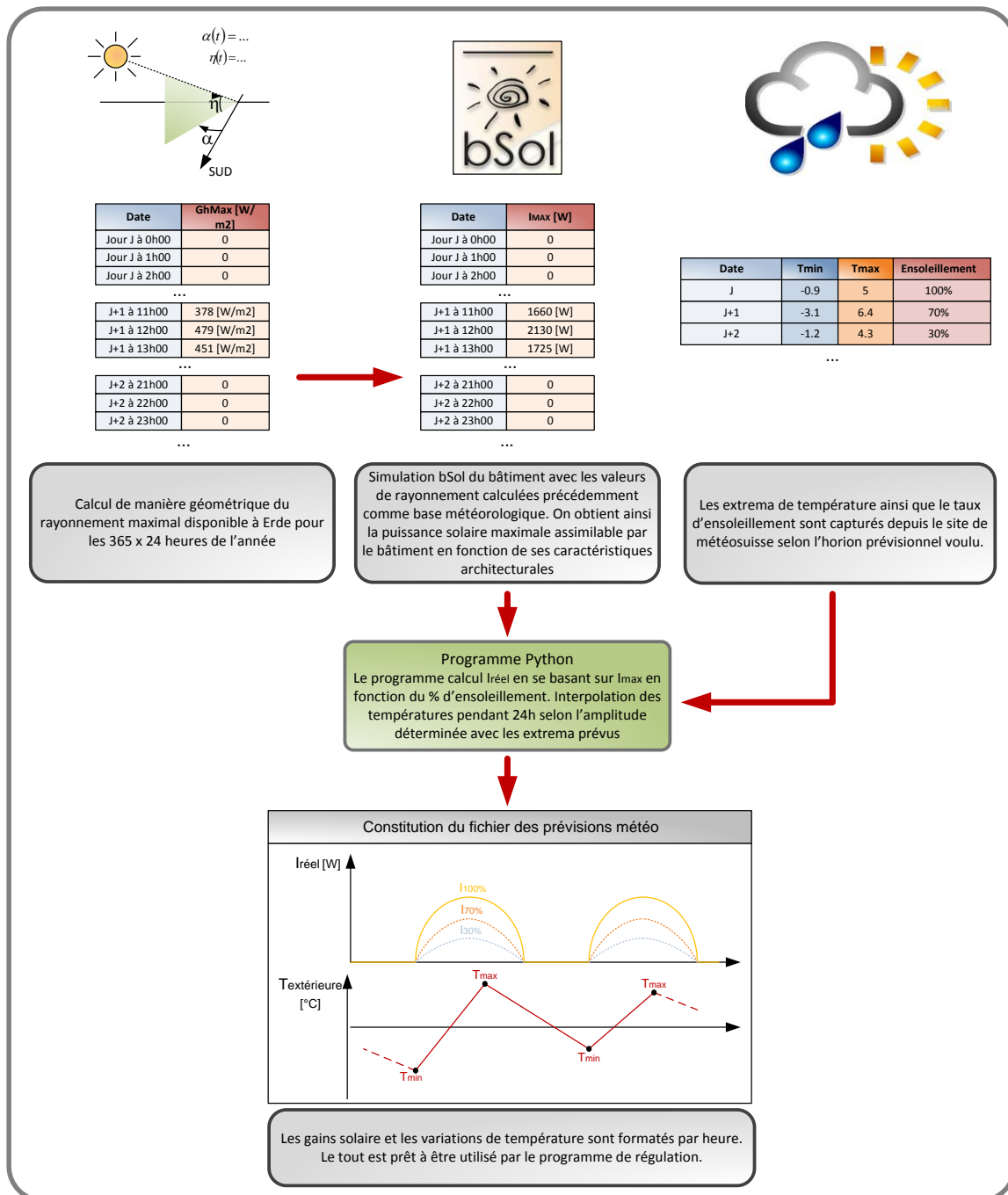


Figure 11 : Représentation de la création du fichier météo à partir des prévisions et des valeurs maximales de gains solaires

Le programme pose automatiquement les extrema de températures en fonction de la courbe des gains solaires. Tmin est positionné juste avec le lever du soleil, Tmax est fixé quelques heures (possibilité de régler) après le milieu de la journée.

4.3 EN RÉSUMÉ...

Une solution élégante a été développée pour formater les données météo dans un style compatible avec le mode de fonctionnement du régulateur. En partant des informations que livrées météo suisse pour caractériser les prochaines heures (Tmin, Tmax, % rayonnement), un scénario crédible de ce que sera l'évolution des températures et du rayonnement pour les X prochaines heures est élaboré.

5 CONCEPTION SOFTWARE DU RÉGULATEUR

Durant le projet de semestre passé, il a été décidé d'utiliser un environnement LabView pour développer le prototype. Ceci est toujours d'actualité. A l'exception du programme de mise en forme de la météo rencontré au paragraphe 4.2.2, Figure 11 : Représentation de la création du fichier météo à partir des prévisions et des valeurs maximales de gains solaires qui est programmé en « python », tout le reste est réalisé avec LabView.

5.1 L'ARCHITECTURE

Le programme a été découpé en plusieurs sous-fonctions. Dans le présent rapport, seule la boucle principale est expliquée. Par contre, le lecteur trouvera à l'annexe 11.3 des structogrammes et des explications complémentaires pour chaque sous-fonction.

Le régulateur fonctionne selon la structure suivante :

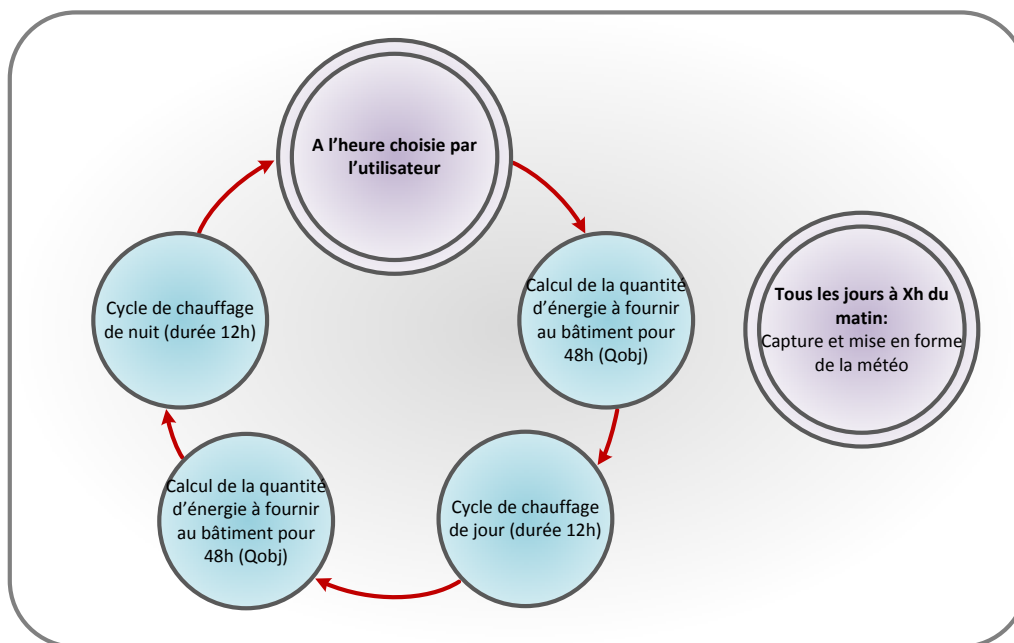


Figure 12 : Cycle de fonctionnement du régulateur

Tous les matins, le régulateur télécharge la météo pour la journée en cours et les trois jours suivants.

Indépendamment de cela, le cycle de chauffage du matin commence à l'heure spécifiée en déterminant la quantité d'énergie devant être fournie au bâtiment pour les 48 prochaines heures. Durant les 12 heures qui suivent, le système va piloter la PAC en fonction des besoins énergétiques établis.

Après 12 heures de fonctionnement, le régulateur détermine une nouvelle fois la quantité d'énergie à fournir pour 48h et commence le cycle de chauffage nocturne.

NB : Il est évident que pour des questions de validité des données, la capture de la météo doit s'effectuer avant de commencer le cycle de chauffage du matin.

5.2 CALCUL DES FLUX D'ÉNERGIE

Le système de régulation détermine à l'avance quelle quantité d'énergie il va devoir produire (Q_{obj}). Ensuite, lorsque le chauffage est actif, le régulateur va comptabiliser la quantité d'énergie qui est fournie à la maison ($Q_{fournie}$). En réalité, il intègre simplement la puissance de chauffe dans le temps. Tant que la quantité d'énergie fournie à la maison est inférieure à la quantité à produire, le chauffage est maintenu actif.

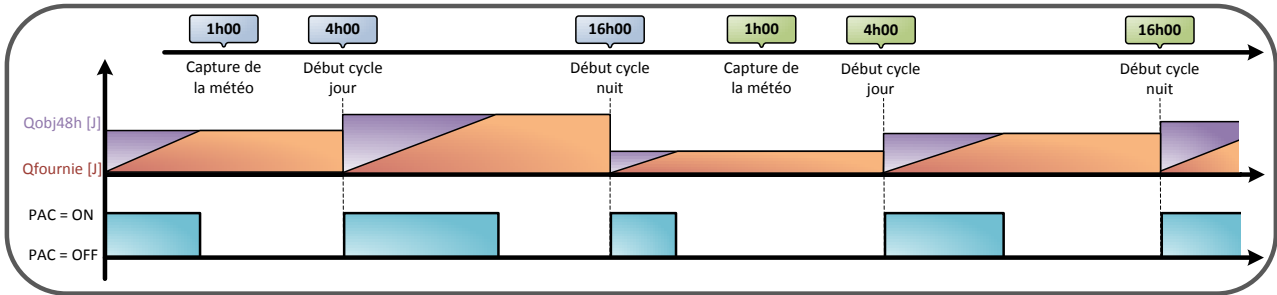


Figure 13 : chronogramme de gestion de la PAC et des calculs de l'énergie fournie et objectif

5.2.1 ÉNERGIE À PRODUIRE (Q_{OBJ})

Au paragraphe 2.4 (calcul de la puissance de chauffage), est développé le calcul déterminant la puissance à fournir à un bâtiment pour compenser les pertes thermiques. Après intégration de cette puissance dans le temps, on obtient l'énergie à produire en 48h pour compenser les pertes. NB : Ph est calculé une fois au début de chaque cycle.

$$Q_{obj48h} = \int_0^{48h} Ph \cdot dt = Ph_{48h} \cdot 3600 \cdot 48 \quad (7)$$

5.2.2 ÉNERGIE FOURNIE

L'énergie fournie à la maison par le chauffage dépend du débit d'eau dans l'installation ainsi que de la différence de température entre l'eau de départ et l'eau de retour. L'équation (8) exprime l'énergie fournie. Les bornes d'intégrations correspondent aux instants de démarrages et d'arrêts de la PAC.

$$Q_{fournie} = \int dQ_{fournie} = c_{eau} \cdot \rho_{eau} \cdot \dot{V} \cdot \int_{t_{START}}^{t_{STOP}} (T_{aller}(t) - T_{retour}(t)) dt \quad (9)$$

5.2.3 CALCUL DU DÉBIT D'EAU DANS L'INSTALLATION

Les données techniques de la pompe de circulation ne permettent pas d'obtenir aisément le débit d'eau, il faut le déduire avec le raisonnement suivant :

En connaissant la température de l'air à l'entrée de la PAC, on peut déterminer la puissance calorifique fournie (Ph) selon l'annexe 11.4.1 (courbe de fonctionnement du chauffage). Le débit peut-être calculé sur la base de l'équation numéro 10 en étudiant quelques cycles de fonctionnement de la PAC et en connaissant les températures de l'eau, la puissance fournie et la durée de fonctionnement. La procédure complète du calcul du débit se trouve à l'annexe 11.4.3.

$$\dot{V} = \frac{Q_{fournie}}{c_{eau} \cdot \rho_{eau} \cdot \int_{t_{START}}^{t_{STOP}} (T_{aller}(t) - T_{retour}(t)) dt}$$

Équation 11 : Calcul du débit dans l'installation en connaissant le point de fonctionnement de la chaudière

5.3 CONTRAINTES ET CHOIX DE RÉALISATION

La conception du programme est fortement influencée par différents paramètres externes. Ces contraintes sont expliquées dans les paragraphes suivants.

5.3.1 FRÉQUENCE ET HEURE DE MISE À JOUR DES DONNÉES MÉTÉO

Le site de météo suisse est mis à jour une seule fois pour 24h, le matin, à environ 10h. Au jour « J », on sait à 10h les prévisions pour « J+1, J+2, ... ». Pour s'affranchir de l'incertitude quant à la mise jour ou non du site, la météo est capturée tous les matins de bonne heure, avant de commencer de cycle de chauffe du matin. En prenant volontairement la météo un jour en « retard » on compense le jour d'avance de météo suisse. En d'autre terme, on récupère à « J+1 » la liste contenant « J+1, J+2,... » établie le jour « J ».

5.3.2 HORIZON PRÉVISIONNEL EXPLOITÉ

C'est la constante de temps du bâtiment qui impose l'horizon prévisionnel. Comme calculé au point 3.2.3 (calcul de la constante de temps), nous devons travailler avec un horizon prévisionnel de 48h.

5.3.3 CAPTURE ET MISE EN FORME DES DONNÉES MÉTÉO

Comme expliqué au paragraphe 4.2.2 (construction du fichier météo), un programme construit le fichier des prévisions météo horaires. Pour obtenir des données correctes à 48h, le programme de mise en forme doit interpoler des valeurs sur 72h. Or, il n'est possible d'interpoler les valeurs finales du troisième jour qu'en connaissant ce qui va se passer durant le quatrième jour. C'est pour cette raison, en réalité, les valeurs des 96 prochaines heures sont capturées sur le site de météo suisse.

5.3.4 PROTECTION DE LA POMPE À CHALEUR

Une pompe à chaleur supporte très mal les cycles de démarrages / arrêts trop rapprochés. Comme la PAC installée ne peut pas moduler sa vitesse de rotation, il faut utiliser 100% de sa puissance dès qu'elle est active. Ceci pose un problème aux entre-saisons quand les besoins en énergie sont faibles.

Pour ménager la pompe à chaleur, il a été décidé de fonctionner avec des cycles de chauffage / attente de 12h. Ainsi, on est certain que la PAC va démarrer au maximum deux fois par jour dans la période de faible utilisation. Par contre, en plein hiver, l'installation fonctionnera sans aucun arrêt entre les deux cycles, ce qui est optimal.

5.4 EN RÉSUMÉ...

Pour garantir des données prévisionnelles fiables à la fin du cycle de mise en forme, la météo est capturée pour deux jours de plus que ceux réellement exploités. Dans notre cas, on utilise du prévisionnel à 48h mais ce sont les données des prochaines 96h qui sont capturées puis traitées.

La sécurité de la pompe à chaleur est garantie. Le programme garantit un maximum de deux démarrages par 24h.

Les durées d'activation de la PAC sont déterminées par les besoins énergétiques de la maison et par la puissance fournie par le chauffage.

6 PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION EXISTANTE

Actuellement, la pompe à chaleur de la villa Berthod est pilotée par un régulateur numérique du type CD30 de la maison SATAG. Afin de ménager les impacts sur l'installation de chauffage existante mais aussi pour des raisons de sécurité, le nouveau régulateur devra cohabiter avec le CD30 déjà présent.

Les sondes de températures sont déjà installées sur place. Le nouveau circuit devra utiliser les sondes existantes mais, en complément, un nouveau capteur sera installé sur le tuyau de départ du chauffage.

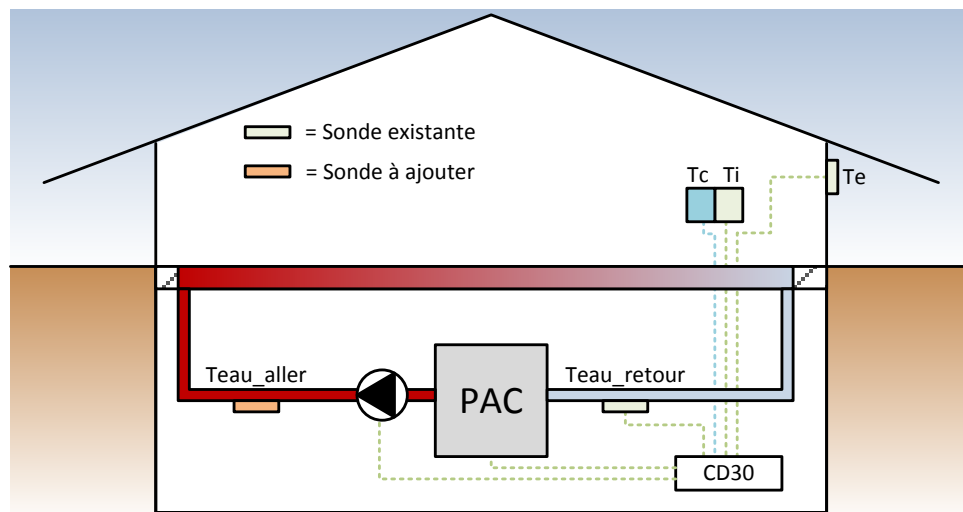


Figure 14 : Installation de chauffage de la villa Berthod

6.1 ENTRÉES / SORTIES VUES DU RÉGULATEUR

Le CD30 gère actuellement les signaux suivants:

Entrées		
Désignation	N° borne	Description
Ti	2/3	Sonde de température intérieure (située au salon)
Te	1 - 2	Sonde de température extérieure
Teau_retour	4/1 – 4/2	Sonde de température de l'eau au retour du circuit de chauffage (entrée de la PAC)
Ti_c	3	Consigne de température intérieure
Sorties		
Cmd_PAC	2/5 – 2/6	Signal d'activation de la pompe à chaleur
Cmd_Pompe	Voir schéma 8.6.2	Alimentation de la pompe de circulation

Figure 15 : Différents signaux raccordé actuellement au CD30

6.1.1 MODIFICATION POUR LE RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL

Une sonde de température va être ajoutée sur le tuyau de départ du circuit de chauffage. La consigne de température d'intérieure ne sera pas câblée sur le régulateur prévisionnel puisque cette information sera saisie directement sur le panneau de contrôle LabView.

6.2 NIVEAU DE TENSION DES SIGNAUX

Les mesures de températures sont assurées par des résistances variables en fonction de la température. Au niveau des sondes, les tensions mesurées seront faibles, de l'ordre du volt. (voir chapitre 11.7 pour plus de d'informations concernant l'amplitude des signaux de mesures et l'annexe 11.4 pour la correspondance Ohms – Degrés des sondes.)

La PAC est activée avec un signal « logique » de 230V, l'ampérage sera donc très faible. Par contre, la pompe de circulation est directement alimentée en 230V par le régulateur.

6.3 EN RÉSUMÉ

L'installation actuelle est moderne et pourra être adaptée sans transformation majeure. Une sonde de température supplémentaire devra toutefois être ajoutée sur le tuyau de départ du circuit de chauffage.

7 CONCEPTION HARDWARE DU RÉGULATEUR

Le nouveau régulateur doit assurer deux fonctions primordiales en plus de la régulation proprement dite.

Premièrement, il doit mettre en forme les signaux de mesure pour les rendre compatibles avec le module d'acquisition LabView.

Deuxièmement, pour faciliter la commutation des différents signaux entre le nouveau et l'ancien régulateur, un circuit de commutation doit être prévu.

7.1 CIRCUIT DE COMMUTATION

Le circuit de commutation (switch) permet d'aiguiller à volonté les canaux de mesures et de commandes vers l'un ou l'autre des régulateurs. Ceci dans le but d'effectuer aisément des comparaisons entre les deux types de régulateur, mais aussi pour palier efficacement à une éventuelle défaillance du système prévisionnel en réactivant le CD30. Le schéma suivant explique l'agencement de tous ces éléments.

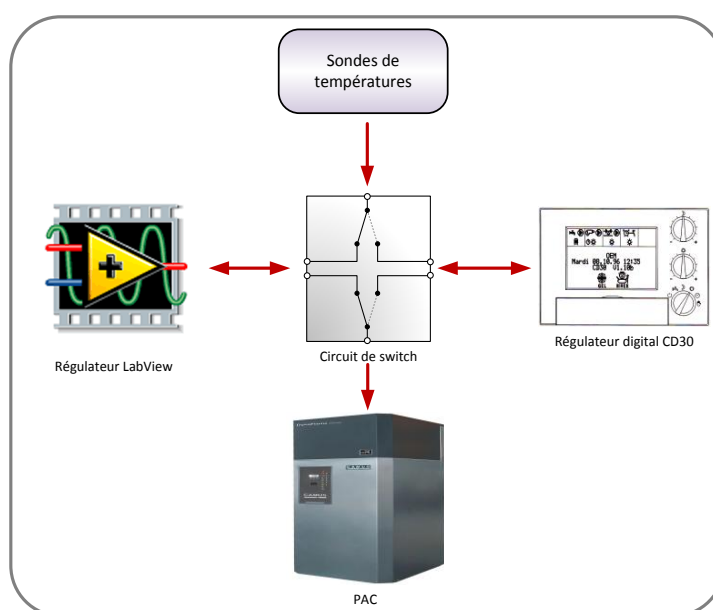


Figure 16 : Cohabitation entre les deux régulateurs

Chaque canal de mesure ou de commande dispose de son propre relais de commutation. En cas de panne de l'alimentation du circuit de switch, les canaux sont dirigés automatiquement sur le CD30.

Il est impossible pour les deux régulateurs d'accéder en même temps aux sondes de température. Bien que cela ait permis de faire une comparaison intéressante de leur fonctionnement, les deux régulateurs ne « lisent » pas les valeurs des sondes de la même manière. Ils se perturbent donc mutuellement en accédant ensemble sur le même canal de mesure. De plus, isoler totalement les deux régulateurs permet d'éviter tout dommage au CD30.

Voir également schématique en annexe 11.6.1.

7.2 CIRCUIT DE MESURE

Le circuit de mesure sert d'interface entre les sondes de température et le module d'acquisition LabView. Sa constitution sera dictée par les critères de performance et de précision désirés pour notre application. Le circuit doit permettre d'adapter la plage de variation des sondes à la plage de mesure du module LabView.

7.2.1 TECHNOLOGIE RETENUE

Le dispositif de mesure s'articule autour d'un amplificateur différentiel de précision avec sources de courant. Le schéma ci-après décrit son principe de fonctionnement.

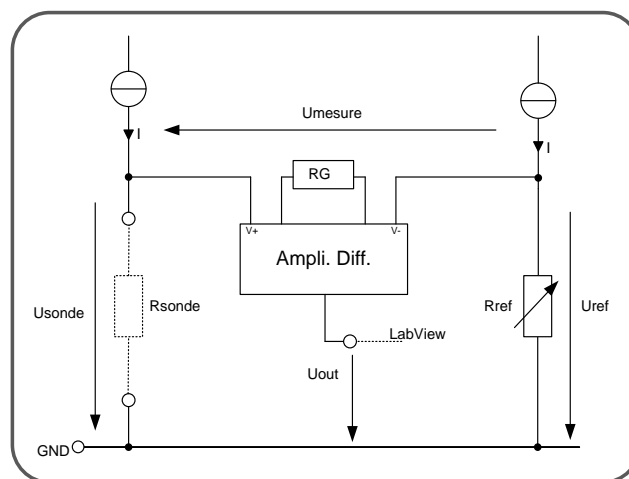


Figure 17 : Circuit de mesure différentielle de précision

Deux sources de courant alimentent avec le même courant la sonde de température (R_{sonde}) et une résistance de référence (R_{ref}). On obtient donc deux chutes de tensions, U_{ref} et U_{sonde} .

Pour déterminer U_{out} en fonction de U_{ref} et de U_{sonde} , on procède ainsi :

$$U_{out} = (U_{ref} - U_{sonde}) \cdot G \quad (12)$$

Deux avantages de procéder ainsi :

- 1) Insensibilité aux variations de températures, on ne travaille pas avec des références de tension mais des références de courant. Le circuit gagne donc en fiabilité et en précision.
- 2) Grâce à l'amplificateur différentiel, on peut faire correspondre la plage de mesure de tension à la plage d'entrée du module d'acquisition. Il suffit de faire varier le zéro de la mesure en ajustant R_{ref} et de jouer sur le gain G .

Les détails de dimensionnement et les différentes vérifications se trouvent en annexe 11.7.

7.2.2 CORRESPONDANCE TEMPÉRATURE / TENSION

Pour maximiser la résolution des mesures, les domaines de variation des sondes sont restreints au maximum. Le tableau ci-après récapitule les différentes plages de variations.

Canal de mesure	T_{\min} [°C]	T_{\max} [°C]	R_{\min} [Ω]	R_{\max} [Ω]	$U_{out_{\min}}$ [V]	$U_{out_{\max}}$ [V]
Te, Ti, Teau_retour	-20	+40	1440.23	2270.25	-10	0
Teau_aller	+15	+40	104	115	-10	0

Tableau 3 : Correspondance Température / résistance / tension pour tous les canaux de mesures.

Pour toutes informations supplémentaires concernant le dimensionnement, l'affectation et l'étalonnage des canaux de mesure, consulter l'annexe 11.7.1.

7.3 EN RÉSUMÉ...

Le bâtiment étant habité lors de l'installation du régulateur, une panne de l'installation de chauffage est à proscrire. Un système de télégestion et de monitoring permet de gérer en permanence le régulateur depuis n'importe quel PC connecté à Internet. On peut ainsi agir et reprogrammer l'installation rapidement en cas de défaillance légère.

En cas de défaillance sérieuse nécessitant l'arrêt prolongé du régulateur prévisionnel, un circuit de commutation permet de remettre l'installation dans sa configuration d'origine et ainsi d'activer immédiatement le système de régulation existant.

Polyvalent, le circuit de mesure peut fonctionner avec tous les types de sondes résistives en entrée et n'importe quel module d'acquisition en tension à la sortie. De par sa réalisation, il est insensible aux variations de températures et aux parasites de tensions.

Au final, nous disposons d'un régulateur adaptable à n'importe quel type d'installation de chauffage, sécurisé et simple d'utilisation.

8 INSTALLATION ET MISE EN ROUTE DU RÉGULATEUR

Après une série de tests préliminaires effectués à l'école (simulation des sondes de températures par des potentiomètres), le régulateur peut être installé définitivement dans la villa de la famille Berthod.

8.1 MODIFICATION DE L'INSTALLATION EXISTANTE

Pour connecter le régulateur prévisionnel à l'installation existante il est nécessaire de modifier le câblage comme suit :

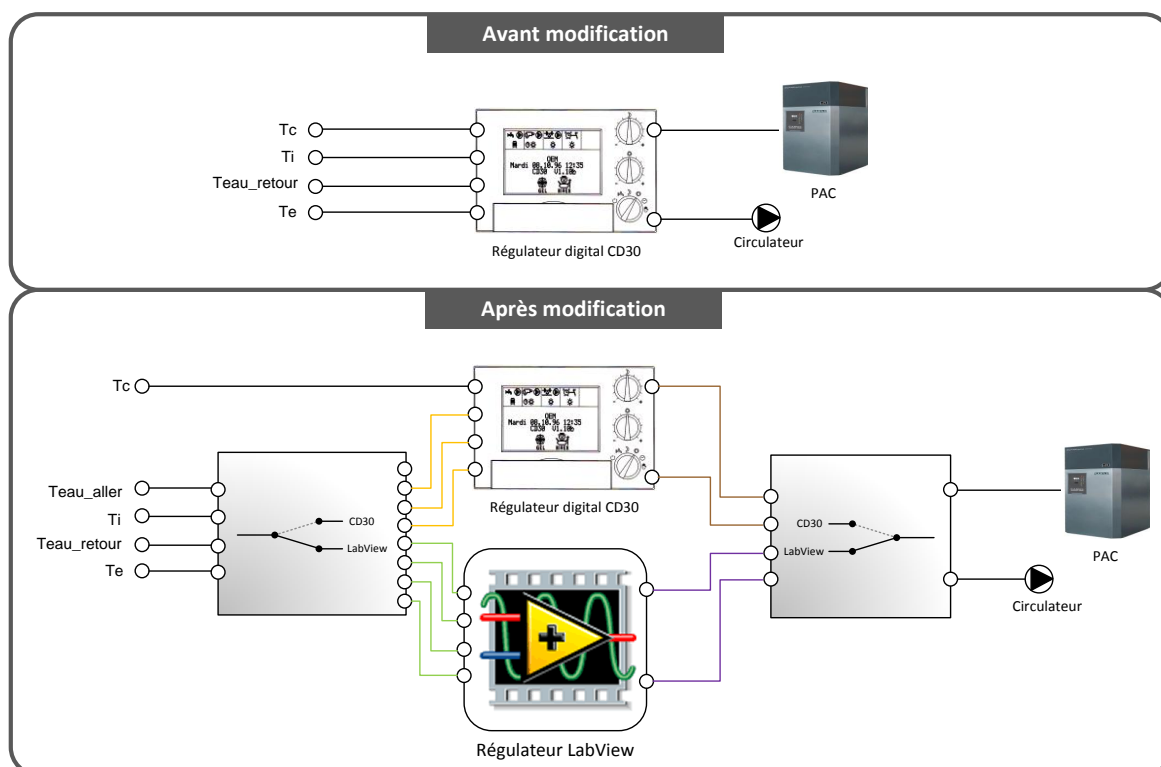


Figure 18 : Comparaison du câblage avant / après modifications

La principale modification du câblage est causée par l'introduction du circuit de commutation. Tous les signaux doivent être dédoublés entre les deux régulateurs. Pour plus d'informations sur le câblage (numéro de bornes, gestion du 230V,...) veuillez consulter la schématique en annexe 11.6.

8.2 TESTS DE FONCTIONNEMENT

8.2.1 ÉTALONNAGE DES CAPTEURS

Dans un premier temps, il faut effectuer l'étalonnage des canaux de mesures. Comme nous désirons effectuer les mesures avec le circuit LabView, nous ne pouvons pas commander la PAC avec le CD30 (impossible d'accéder avec les deux régulateurs à la fois à l'installation de chauffage). Un programme de régulation basique est donc créé pour faire fonctionner la PAC tout en effectuant les étalonnages (voir annexe 11.9.1).

Pour compenser les erreurs de mesures imputables à l'imprécision des composants électroniques utilisés, nous avons relevé un certain nombre de points de mesures manuellement avec un thermomètre précis. Puis, en confrontant ces mesures avec celles faites sur LabView, nous pouvons déterminer quel doit être le coefficient de correction à appliquer à chaque canal pour obtenir une valeur correcte. Voir l'annexe 11.8.2 pour le détail du calcul des coefficients.

8.2.2 DÉCALAGE ENTRE LES DEUX SONDES DE TEMPÉRATURE DU CIRCUIT DE CHAUFFAGE

Il faut éviter tout décalage entre les sondes de températures situées sur les tuyaux de chauffage. Comme le calcul du débit de l'installation se base sur ces valeurs, une divergence entre ces deux mesures induirait une erreur préjudiciable pour la suite de l'expérience. Pour s'assurer du bon fonctionnement de ces deux sondes, elles ont été installées sur le même tuyau durant quelques cycles de chauffage. Les deux capteurs analysant alors la même température, le décalage entre les deux sondes s'obtient en comparant leurs valeurs. Voir l'annexe 11.8.3 pour les détails du calcul.

8.2.3 DÉBIT D'EAU DANS L'INSTALLATION

Pour connaître le débit, il faut connaître la température de l'air à l'entrée de la PAC (voir 5.2.3, calcul du débit d'eau). Une sonde provisoire a été disposée à cet effet juste à l'admission d'air de la PAC. En analysant les données de quelques cycles de fonctionnement, il se possible d'estimer le débit circulant dans l'installation. Bien entendu, cette valeur n'est qu'une approximation, mais elle permet déjà de fixer les idées. En cas de comportement « étrange » du bâtiment, ce paramètre nous offre une certaine marge de manœuvre. Voir l'annexe 11.4.3, pour plus de détails.

Gains du puits canadien

L'information n'est pas directement utile pour la régulation prévisionnelle, mais elle mérite d'être commentée. En connaissant les températures extérieures et les températures à l'entrée de la PAC, on peut déterminer le gain thermique obtenu grâce au puits canadien. Durant les tests, le gain thermique était de 8.2°C. (voir annexe 11.4.1)

8.2.4 DÉFAILLANCE DE LA SONDE DE TEMPÉRATURE INTÉRIEURE

L'analyse des premiers résultats met en évidence le mauvais fonctionnement de la sonde d'intérieur (voir historique_mesures.xls). La valeur mesurée tombe périodiquement à -20°C. Après enquête, il ressort que lorsque quelqu'un active les stores électriques de la maison, la mesure est systématiquement corrompue. Suite à plusieurs tests (changement de canal de la sonde, activation répétée des stores,...), le circuit de mesure est à mettre hors de cause, c'est de la sonde ou de son câblage que provient l'erreur de mesure.

Pour résoudre ce problème, une nouvelle sonde d'ambiance sera installée dans le salon avec un nouveau câblage.

8.3 EN RÉSUMÉ...

Les canaux de mesures sont étalonnés, le module d'acquisition fonctionne correctement et un logiciel de régulation basique permet de piloter la PAC sans passer par le CD30.

Pour le moment, des problèmes de mesures subsistent. D'après le diagnostic actuel, on pourrait y remédier en évitant d'utiliser le câblage actuel pour convoyer les signaux des sondes.

Dès que la sonde d'intérieur sera recâblée, la régulation prévisionnelle proprement dite pourra commencer.

9 AMÉLIORATIONS

Suite aux premiers tests de fonctionnement, un certain nombre de points pourraient être améliorés avec une éventuelle nouvelle génération de prototype. Elles sont classées selon leur nature dans les paragraphes suivants.

9.1 PHILOSOPHIE ET STRATÉGIE ADOPTÉES

9.1.1 UTILISATION DE DONNÉES PRÉVISIONNELLES PONDÉRÉES

Pour diminuer la sensibilité du système à d'éventuelles erreurs de prévisions météorologiques, il est possible d'utiliser un système de pondération des prévisions en fonction de leur degré d'éloignement dans le temps. Les prévisions lointaines et donc passablement incertaines seraient sous-évaluées, tandis que les précisions à court terme, fiables, seraient prises en compte avec plus d'importance.

Néanmoins, une telle manière de fonctionner implique de bien connaître le taux de fiabilité des prévisions en fonction du temps. Ce qui nécessite un relevé précis des prévisions météo puis de le confronter avec la réalité.

9.1.2 GESTION DYNAMIQUE DE LA POMPE DE CIRCULATION

Actuellement, la pompe de circulation est activée en permanence. Avec différentes mesures à l'appui, on constate que lorsque la PAC est inactive, la température d'eau du circuit de chauffage peut descendre en dessous de la température intérieure. L'idéal serait de stopper la pompe de circulation lorsque la PAC ne fonctionne pas, dès que la température de l'eau de chauffage est inférieure à la température intérieure. On soutire ainsi le maximum de chaleur possible au circuit de chauffage, puis on interrompt la circulation d'eau, évitant ainsi de refroidir la dalle.

9.2 CÔTÉ LOGICIEL

9.2.1 COMMUTATION PLUS AISÉE ENTRE LES RÉGULATEURS

En complément de l'actuelle commande manuelle, une commande générée directement par le régulateur prévisionnel peut être ajoutée. On pourrait ainsi commuter automatiquement entre les deux régulateurs sans intervention humaine. Option particulièrement agréable combinée avec la télégestion du système.

9.2.2 PARTAGE DES SIGNAUX DE MESURES

Pour des raisons de sécurité, il a été décidé de découpler totalement les sondes de mesure du régulateur non-utilisé. Pourtant, pouvoir analyser les températures avec les deux régulateurs en parallèle permettrait d'effectuer des comparaisons de fonctionnement très intéressantes. En modifiant légèrement le circuit de mesure du régulateur prévisionnel, il serait envisageable d'exploiter les mêmes plages de mesures que celles utilisées par le CD30.

9.2.3 SIMPLIFICATION DES PROCÉDURES D'ÉTALONNAGE

Un simple système de « jumpers » permettrait d'isoler le circuit de mesure des sondes de température sans devoir débrancher celle-ci des bornes de connexions pour effectuer un étalonnage des canaux de mesures.

10 POUR CONCLURE...

10.1 ÉTAT ACTUEL DU PROJET

Arrivé au bout du temps imparti pour ce travail, un état des lieux peut être dressé.

Les tests préliminaires du régulateur ont permis d'affiner au maximum le logiciel de régulation. Le programme est fiable et fonctionnel. Il permet d'aborder les tests grandeur nature. Le circuit de mesures a fait ses preuves, après correction des imprécisions de mesures, les valeurs fournies sont parfaitement crédibles et stables.

Suite à une série de problèmes mineurs mais gênants (voir 8.2, sonde de températures défaillantes), nous avons pris du retard par rapport aux objectifs initiaux. Le régulateur prévisionnel n'a pas pu être activé suffisamment tôt pour pouvoir procéder à son évaluation. Toutefois, le régulateur prévisionnel est prêt à démarrer dès que les ennuis matériels seront réglés.

10.2 RÉSULTATS PROVISOIRES

Les résultats de la simulation du bâtiment avec les stratégies développées en cours de projet sont prometteurs. Avec un horizon prévisionnel à 48h, le confort thermique est assuré, les températures intérieures ne descendant pas plus bas que 19°C.

Toujours d'après la simulation, le potentiel de sous-dimensionnement de l'installation de chauffage sera faible, les résultats sont faussés car la pompe à chaleur utilisée est déjà passablement sous-dimensionnée. Néanmoins, la stratégie appliquée fonctionne, comme nous le prouvent les résultats obtenus aux entre-saisons. Toutefois, il faudra encore attendre les résultats des tests réels pour tirer des conclusions définitives.

10.3 PLANIFICATION FUTURE

Durant tout l'hiver 2008 – 2009, la PAC sera pilotée en alternance avec le régulateur prévisionnel et le CD30, afin d'étudier les différences de fonctionnement entre ces deux régulateurs.

Un suivi de l'installation sera naturellement effectué en permanence par un membre de l'école d'ingénieurs et par le propriétaire de la villa.

Tout au long de l'hiver, les différents paramètres du régulateur prévisionnel seront ajustés afin d'optimiser au maximum le comportement thermique du bâtiment.

Au printemps, quand le chauffage sera désactivé pour l'été, toutes les mesures effectuées durant l'hiver seront analysées pour tirer les conclusions définitives relatives aux éléments suivants :

- Niveau de confort thermique durant l'expérimentation
- Optimisation de la courbe de production de chaleur

L'étude du confort thermique s'effectuera de manière analogue aux simulations excel. Le nombre d'heures durant lesquelles la température intérieure se trouve dans certaines plages de valeurs sera comptabilisé. Les occupants fourniront des informations sur des critères plus subjectifs, (fraicheur au réveil, écarts de températures inconfortables...).

En ce qui concerne les courbes de chauffe, l'idéal serait de pouvoir mesurer une nette atténuation de l'amplitude de production de chaleur. Mais comme constaté au point 3.4 (simulation informatique du bâtiment), dans cette situation précise, la PAC est déjà sous-dimensionnée par rapport aux besoins maximaux du bâtiment. En conséquence de quoi, la pompe à chaleur fonctionne à 100% durant les grands froids. L'ajout d'une régulation prévisionnelle ne va rien changer au phénomène, la PAC fonctionnera toujours aussi intensivement.

Après cette expérience, nous pourrions estimer si la philosophie suivie jusqu'ici mérite d'être exploitée sur un autre bâtiment, ou, si les solutions appliquées doivent être approfondie avant d'envisager la suite...

1 1 ANNEXES

11.1	SIMULATION ANNUELLE DU RAYONNEMENT SOLAIRE À ERDE	31
11.1.1	CALCUL DE LA DISTANCE PARCOURUE PAR LES RAYONS SOLAIRES EN FONCTION DU TEMPS	31
11.1.2	DÉFINITION DU COEFFICIENT D'ATTÉNUATION	32
11.1.3	CALCUL FINAL DU RAYONNEMENT	33
11.2	COMMUNICATION ENTRE LES DIFFÉRENTS BLOCS CONSTITUANT LE RÉGULATEUR	34
11.3	STRUCTOGRAMMES ET EXPLICATIONS DU CODE LABVIEW	35
11.3.1	MAIN (MAIN.VI)	35
11.3.2	CYCLE PRINCIPAL	36
11.3.3	BOUCLES SECONDAIRES	37
11.4	INFORMATIONS TECHNIQUES SUR L'INSTALLATION EXISTANTE	39
11.4.1	COURBE DE PUISSANCE DE LA POMPE À CHALEUR	39
11.4.2	CARACTÉRISTIQUES DES SONDAS DE TEMPÉRATURE	40
11.4.3	CALCUL DU DÉBIT D'EAU DE CHAUFFAGE	40
11.5	ÉTUDE DU BÂTIMENT	41
11.5.1	RÉSUMÉ DU DOSSIER MINERGIE	42
11.5.2	CALCUL DES MASSES DE STOCKAGE	43
11.5.3	VOLUME CHAUFFÉ	43
11.5.4	PUISSANCE SPÉCIFIQUE DE CHAUFFAGE :	43
11.5.5	VENTILATION	43
11.5.6	GAINS INTERNES	44
11.5.7	ÉTUDE DÉTAILLÉE DES GAINS ET DES PERTES THERMIQUES	44
11.6	SCHÉMATIQUE	45
11.6.1	CÂBLAGE DES CANAUX DE MESURE ET COMMANDE DE COMMUTATION	45
11.6.2	CÂBLAGE COMMANDE DE LA PAC ET DU CIRCULATEUR	46
11.6.3	AFFECTATION DES BORNES DE CONNEXION	47
11.7	CALCULS DU CIRCUIT DE MESURE	48
11.7.1	DIMENSIONNEMENT DES CANAUX DE MESURES	48
11.7.2	DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT	50
11.8	MÉTHODE DE RÉGLAGE DES CANAUX DE MESURES	52
11.8.1	RÉGULATEUR PROVISOIRE	52
11.8.2	FACTEUR DE CORRECTION	52
11.8.3	DÉCALAGE ENTRE TEAU_DÉPART ET TEAU_RETOUR	52
11.9	MODE D'EMPLOI POUR L'UTILISATEUR DES PROGRAMMES DE RÉGULATION	53
11.9.1	RÉGULATEUR BASIQUE	53
11.9.2	RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL	54

1 1.1 SIMULATION ANNUELLE DU RAYONNEMENT SOLAIRE À ERDE

Pour tenter de modéliser l'évolution annuelle du rayonnement solaire à Erde nous formulons l'hypothèse suivante :

« On peut certainement lier la puissance du rayonnement disponible sur terre à la distance parcourue à travers l'atmosphère par les rayons solaires ? »

Rappel des notations utilisées :

I_0	[W/m ²]	Puissance du rayonnement solaire disponible au dessus de l'atmosphère
$G_{h_{idéal}}$	[W/m ²]	Puissance solaire disponible au sol sur une surface horizontale
G_{beam}	[W/m ²]	Projection de $G_{h_{idéal}}$ sur un plan perpendiculaire aux rayons solaires
η	[°]	Angle entre l'horizon et la position du soleil (hauteur dans le ciel)
f	[-]	Coefficient d'atténuation des rayons solaires à travers l'atmosphère

Tableau 4 : Notations utilisées

1 1.1.1 CALCUL DE LA DISTANCE PARCOURUE PAR LES RAYONS SOLAIRES EN FONCTION DU TEMPS

Recherche d'une expression liant le trajet effectué par les rayons solaires dans l'atmosphère et le temps. Par « temps » il faut comprendre : « un moment de l'année ».

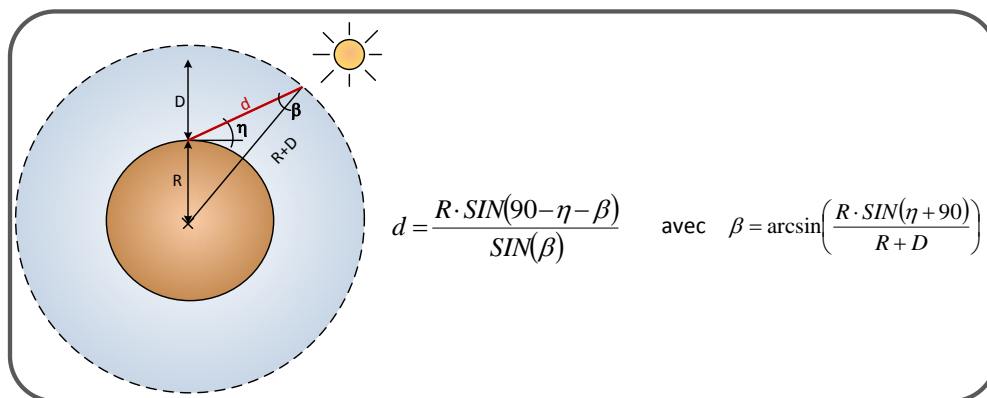


Figure 19 : Distance parcourue dans l'atmosphère par les rayons solaires

La hauteur (angle η) du soleil dans le ciel en fonction du temps se calcul avec la relation suivante :

$$\sin(\eta) = \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega t) + \sin(\varphi)\sin(\delta) \quad (13)$$

- φ : latitude du lieu considéré
- ω : vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de son axe $\omega = \frac{2\pi}{24h}$
- δ : déclinaison solaire $\delta = -\delta_0 \cos(\Omega t)$ avec $\delta_0 \approx 23.5^\circ$
- Ω : vitesse angulaire de rotation de la Terre autour du soleil $\Omega = \frac{2\pi}{365 \text{ jours}}$

Au final, on obtient : $\eta = f(t)$; $d = f(\eta) \rightarrow d = f(t)$

1.1.1.2 DÉFINITION DU COEFFICIENT D'ATTÉNUATION

Le coefficient d'atténuation permet de faire le lien entre le rayonnement disponible au-dessus des couches de l'atmosphère (I_0), et le rayonnement réellement disponible sur terre (G_h).

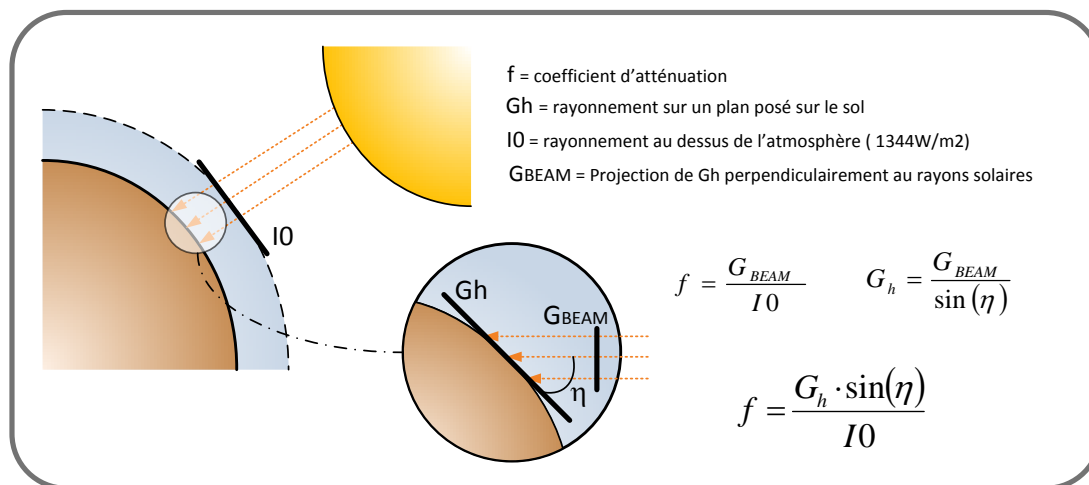


Figure 20 : Dédution du coefficient d'atténuation

Le coefficient « f » caractérise les variations d'intensité des rayons solaires sur terre dues à la position du soleil dans le ciel. Il faut sélectionner un jour de très beau temps, sans quoi, la nébulosité va fausser l'analyse puisque les nuages atténuent évidemment les rayons solaires.

D'après les données météo en notre possession pour la région de Conthey (données MétéoNorm), une série de jours de beau temps (valeur de G_h élevée) répartis sont sélectionnés : Le 26 janvier, le 30 avril, le 22 juillet et le 3 octobre.

Avec le relevé MétéoNorm, G_h est connu. L'angle η est calculé selon la formule du chapitre 0. Le coefficient « f » peut être déterminé de manière horaire selon la relation de la figure 21.

Voici ce que donne ce coefficient pour chaque jour étudié.

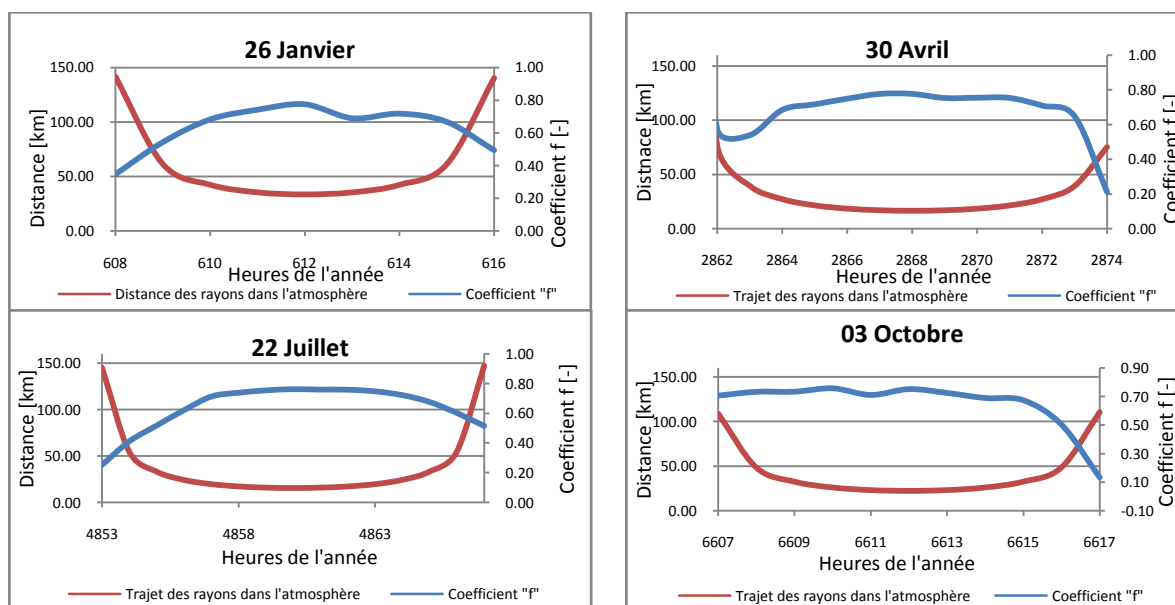


Figure 22 : Variation du coefficient « f » pour 4 jours de très beau temps

Indépendamment de la période de l'année, le coefficient « f » évolue de manière similaire en fonction de l'heure de la journée. Il culmine à 0.8 pour l'heure de midi et s'abaisse le matin et le soir.

Ces résultats peuvent être généralisés pour tous les jours de l'année. Les valeurs de « f » sont connues pour un jour de très beau temps.

1.1.1.3 CALCUL FINAL DU RAYONNEMENT

Toutes les informations nécessaires pour estimer les valeurs du rayonnement à la surface de la terre en chaque heure de l'année sont réunies.

En connaissant $f(t)$, I_0 et $\eta(t)$, on peut déterminer $G_h(t)$. Le schéma suivant décrit la procédure pour un jour fictif : le 1er avril 2008.

- 1) Consultation la courbe typique pour connaître quelle valeur prend « f » à 13h00
- 2) En connaissant « f » et I_0 , déduction de G_{beam}
- 3) Sachant la date et l'heure, calcule de l'angle η correspondant.
- 4) Grâce à η et G_{beam} , calcule $G_{hidéal}$

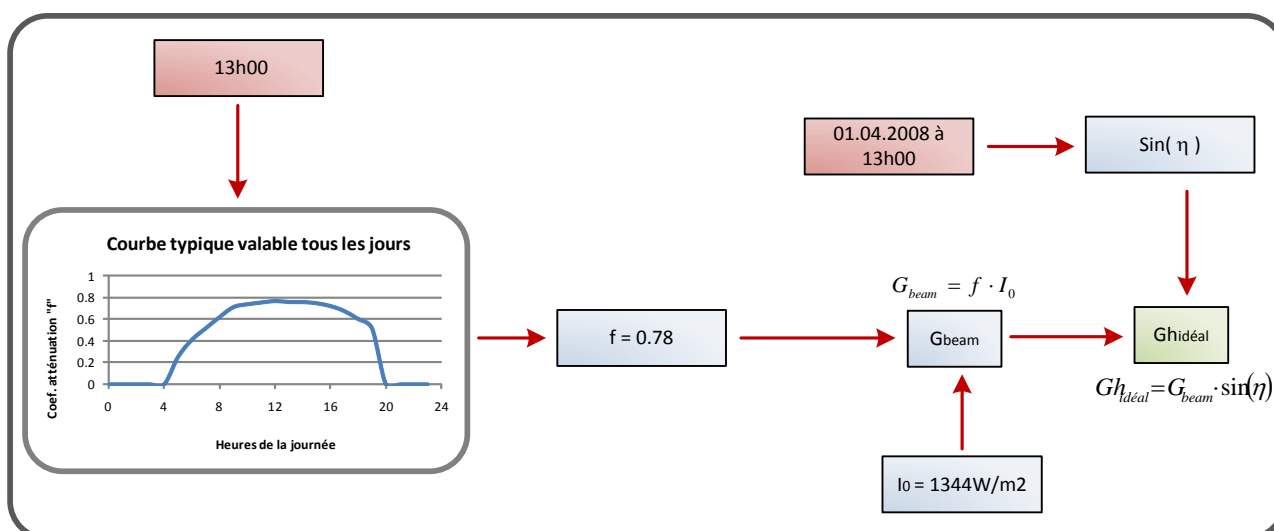


Figure 23 : Représentation graphique du raisonnement effectué pour déterminer le rayonnement solaire disponible à n'importe quelle période de l'année par très beau temps.

En effectuant ce raisonnement sur l'ensemble des heures de l'année, on obtient une liste de valeurs horaires de ce que serait le rayonnement à Erde en cas de météo parfaite.

Le développement complet pour toute l'année ainsi que les vérifications sont disponibles sur le CDROM dans le fichier « Atténuation Rayons Solaires.xls ».

1 1.2 COMMUNICATION ENTRE LES DIFFÉRENTS BLOCS CONSTITUANT LE RÉGULATEUR

Le programme principal est constitué de nombreuses sous-fonctions. Le schéma ci-dessous représente une cartographie des connexions entre les différents blocs constituant le régulateur.

Avant d'entreprendre une modification dans un de ces blocs, il est impératif de bien se représenter quelles influences auront ces modifications sur le reste du programme. D'où l'importance stratégique de ce schéma.

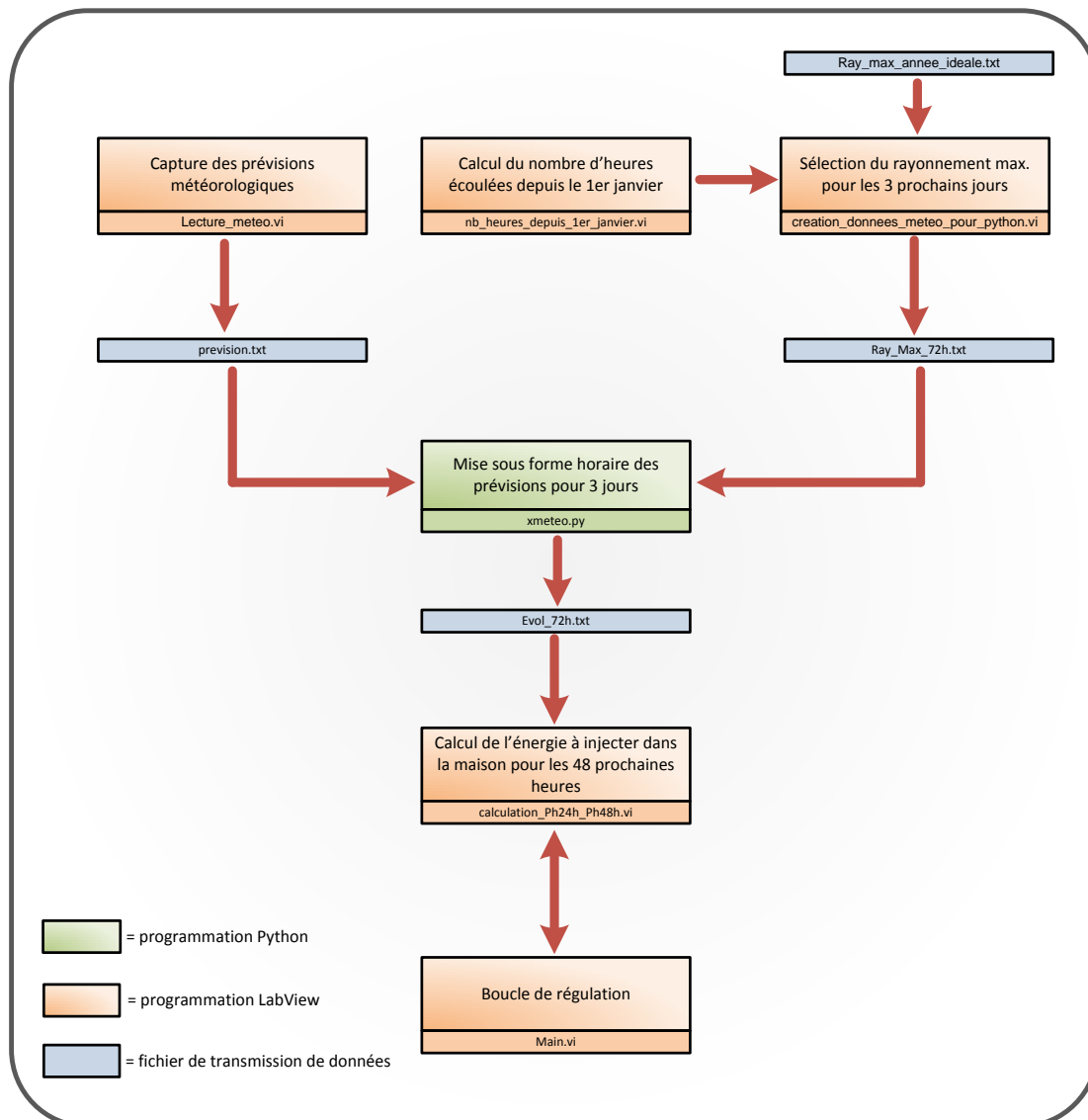


Figure 24 : Liens entre les blocs constituant le régulateur

1 1.3 STRUCTOGRAMMES ET EXPLICATIONS DU CODE LABVIEW

Les explications ci-après ne concernent que la personne désireuse de vouloir modifier le code du régulateur. Les différentes fonctions sont expliquées dans ce document. Dans les fichiers LabView proprement dis, d'abondantes remarques détaillent les astuces plus subtiles...

1 1.3.1 MAIN (MAIN.VI)

Le schéma ci-après décrit le fonctionnement du « main ». Tous les modules sont exécutés en pseudo parallèle, c'est-à-dire que LabView n'attend pas la fin d'un module pour lancer les autres.

Comme le code fonctionne avec des bases de temps différentes en fonction des opérations à effectuer le choix de lancer les machines d'états en parallèle est des plus judicieux.

Les périodes d'exécution sont les suivantes :

- 24 heures : capture de la météo
- X minutes : datalogging
- 1 seconde : calcul du flux d'énergie
- 250 millisecondes : exécution du code

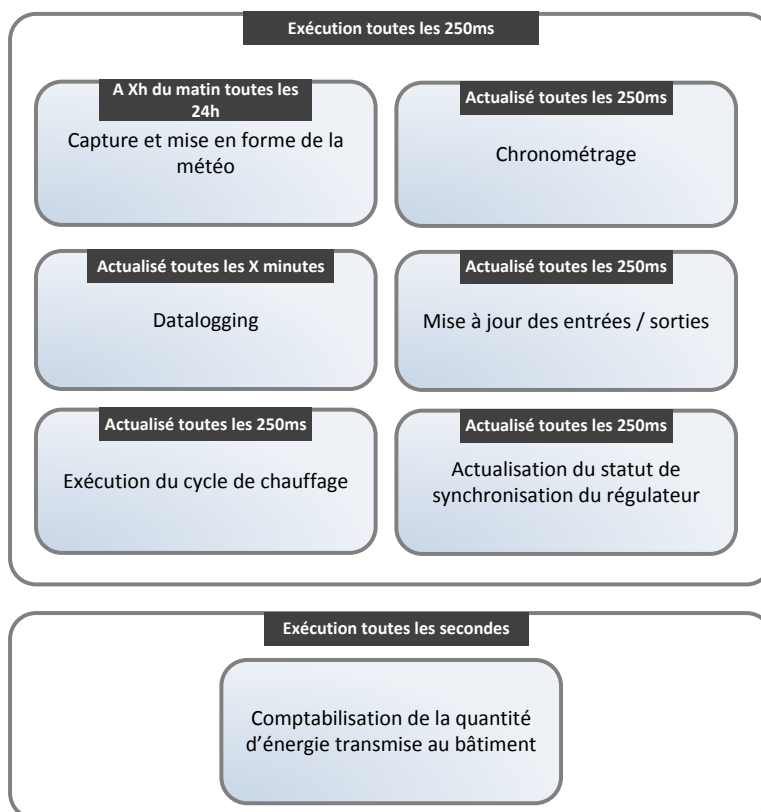


Figure 25 : Vue d'ensemble de l'exécution des différentes machines d'états constituant le régulateur

1.1.3.2 CYCLE PRINCIPAL

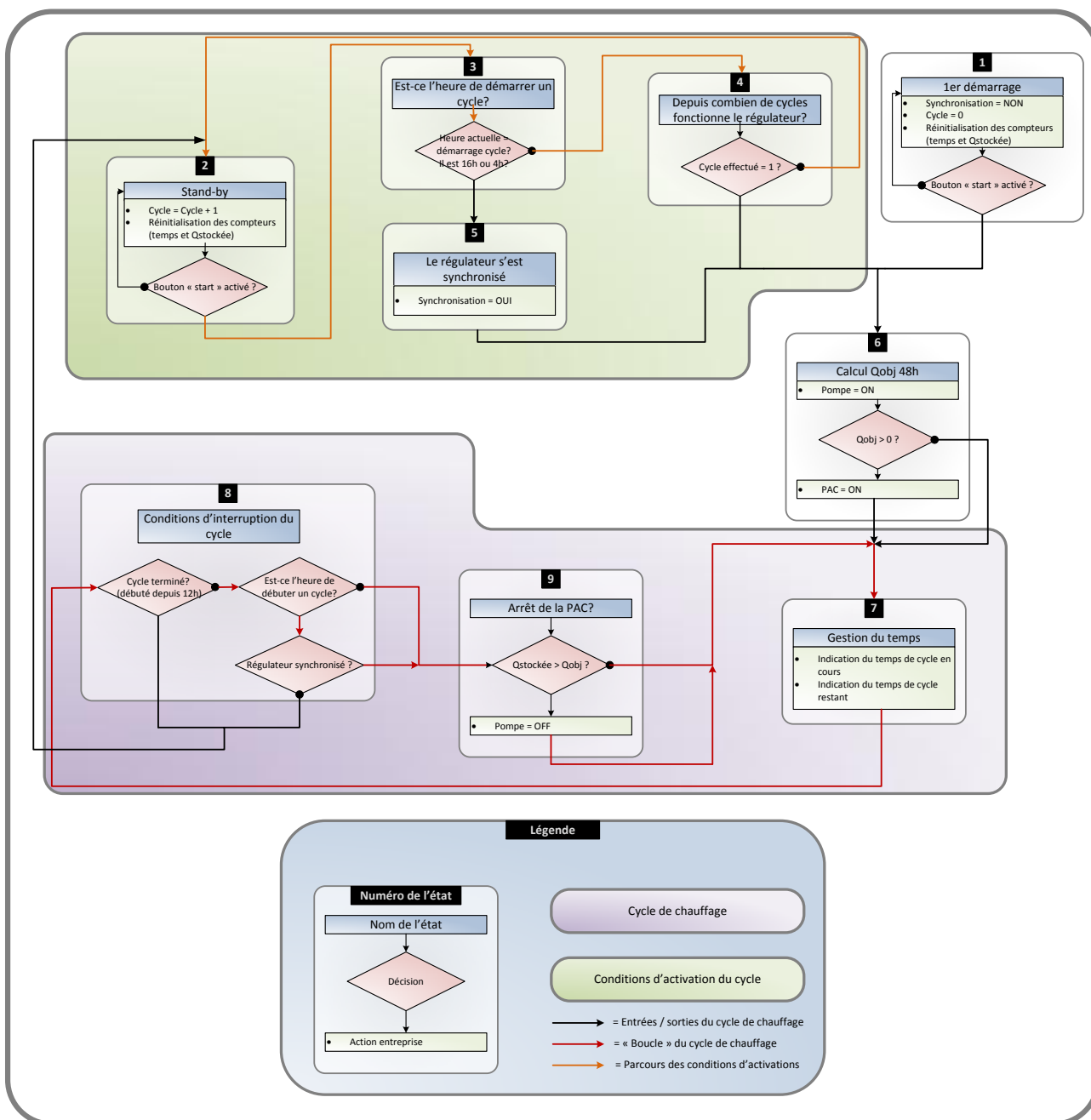


Figure 26 : Détail du cycle de chauffage

Pour simplifier la compréhension, la structure a été séparée en deux parties distinctes. En violet le cycle de chauffage et en vert la partie gérant les règles d'activation du cycle de chauffage.

1 1.3.3 BOUCLES SECONDAIRES

Les boucles secondaires sont exécutées constamment en parallèle avec la boucle de régulation principale.

Pour la capture de la météo et l'enregistrement de l'historique, nous ne voulons exécuter le code qu'une seule fois lorsque l'heure du système est adéquate. C'est la raison de la double condition en entrée des boucles. Comme la première condition est remplie durant 60mn (le code va être exécuté en permanence durant l'heure), il faut utiliser la deuxième condition pour verrouiller la suite des actions après le premier passage.

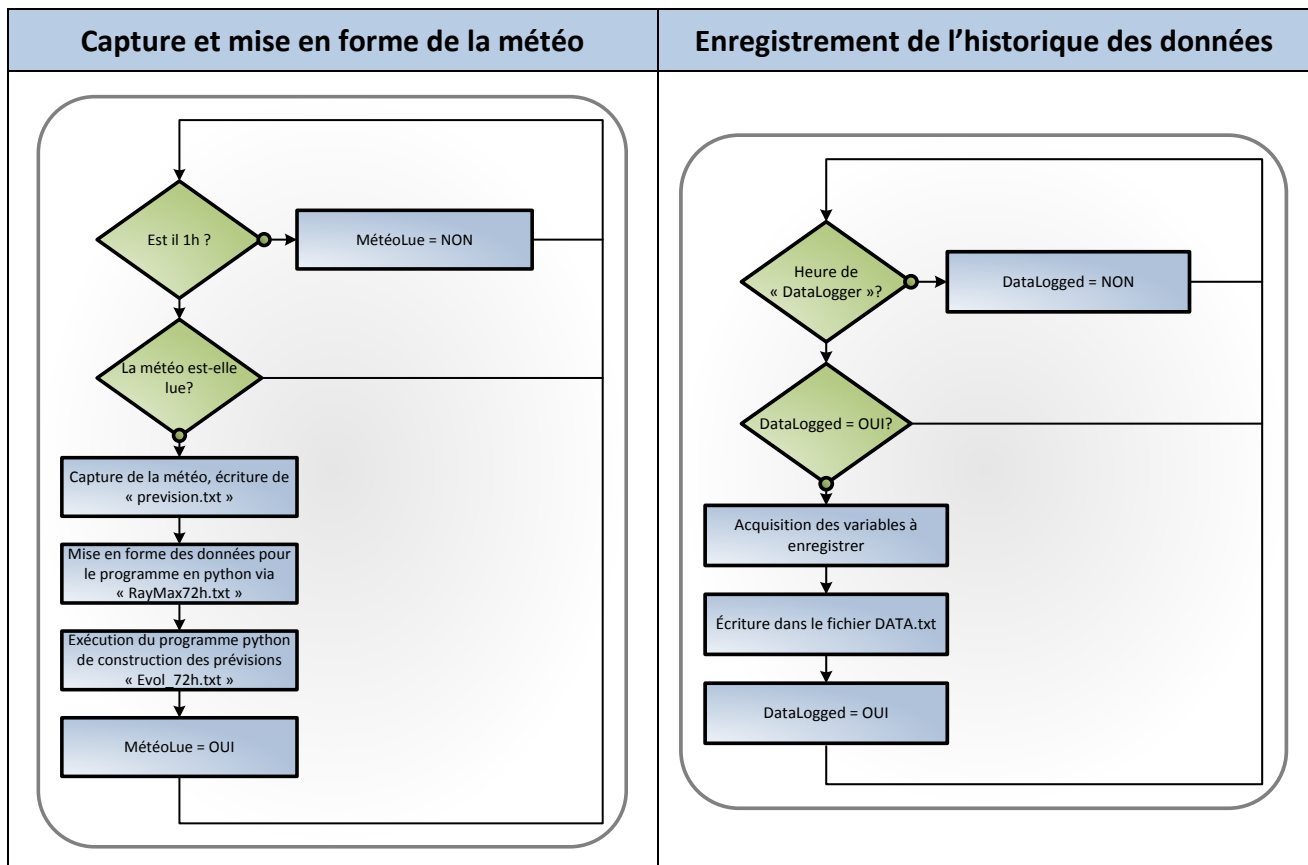


Figure 27 : Structogramme, mise ne forme météo

Figure 28 : Structogramme, dataLogger

On peut voir dans le structogramme du cycle principal (paragraphe 11.3.2, état 8), que l'on souhaite interrompre le cycle de régulation s'il est l'heure d'amorcer un nouveau cycle. Cela signifie en langage clair que si pour diverses raisons, le cycle a pris du retard, on l'interrompt lorsqu'il est l'heure de passer au cycle suivant.

Le même problème que rencontré au paragraphe précédent survient : Durant 60 minutes, les conditions d'interruption du cycle sont activées. Ce qui signifie que pendant une heure, la boucle est sans-arrêt interrompue puis immédiatement relancée. Pour pouvoir n'interrompre qu'une seule fois la boucle, on utilise les informations de synchronisation de la manière suivante :

Quand le système démarre un cycle de chauffage (état 3 du cycle principal), il indique que le régulateur est synchronisé (état 5). Et donc à l'état 8, le cycle ne peut plus être interrompu. Quand une heure a passé, on indique que le régulateur n'est plus synchronisé pour permettre à nouveau d'interrompre la boucle en cas de retard. La désactivation du statut de synchronisation est effectuée selon le structogramme ci-dessous.

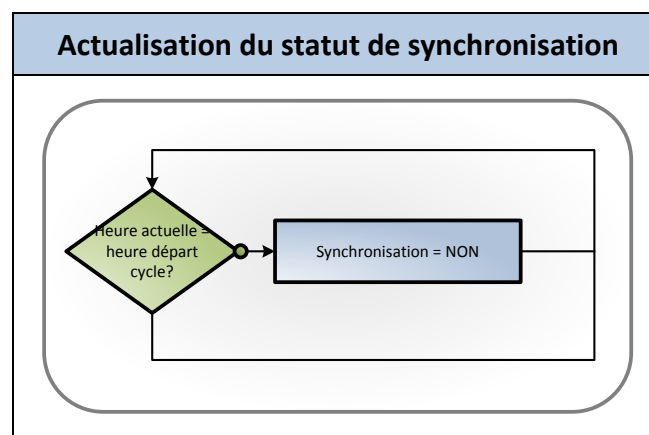


Figure 29 : Désactivation du statut de synchronisation

Les autres boucles telles que le chronomètre, l'acquisition des données, etc., sont expliquées sous forme de commentaires directement dans le code.

1 1.4 INFORMATIONS TECHNIQUES SUR L'INSTALLATION EXISTANTE

1 1.4.1 COURBE DE PUISSANCE DE LA POMPE À CHALEUR

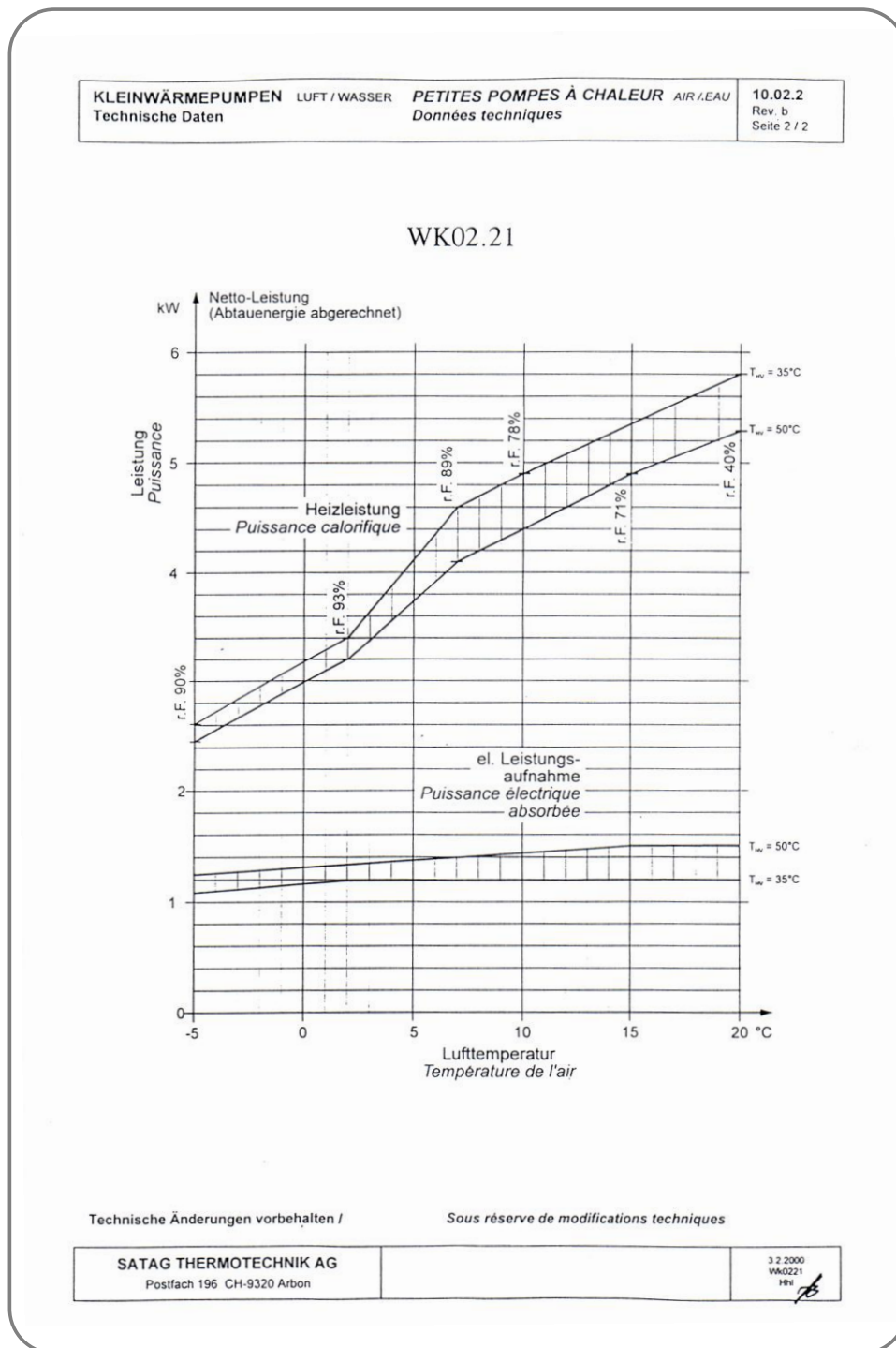


Figure 30 : Puissance de chauffe en fonction de la température extérieure de l'air

NB : L'air d'admission de la PAC traverse un puits canadien. Le gain de température à travers le puits canadien atteint 8.2°C. (Mesures effectuées en début de saison). Voir fichier Excel « Gain du puits canadien.xlsx » pour les détails.

1 1.4.2 CARACTÉRISTIQUES DES SONDES DE TEMPÉRATURE

Temp. [°C]	① Widerstand [Ohm]	② Spannung [Volt]
-20	1'400.23	1.14
-18	1'425.32	1.15
-16	1'450.69	1.17
-14	1'476.32	1.19
-12	1'502.22	1.20
-10	1'528.39	1.22
-8	1'554.83	1.23
-6	1'581.54	1.25
-4	1'608.51	1.26
-2	1'635.76	1.28
0	1'663.28	1.30
2	1'691.07	1.31
4	1'719.12	1.33
6	1'747.45	1.34
8	1'776.05	1.36
10	1'804.91	1.38
12	1'834.05	1.39
14	1'863.45	1.41
16	1'893.13	1.42
18	1'923.07	1.44
20	1'953.29	1.46
22	1'983.77	1.47

Temp. [°C]	① Widerstand [Ohm]	② Spannung [Volt]
24	2'014.52	1.49
26	2'045.54	1.51
28	2'076.84	1.52
30	2'108.40	1.54
32	2'140.23	1.55
34	2'172.33	1.57
36	2'204.70	1.59
38	2'237.34	1.60
40	2'270.25	1.62
42	2'303.43	1.63
44	2'336.88	1.65
46	2'370.60	1.66
48	2'404.58	1.68
50	2'438.84	1.70
52	2'473.37	1.71
54	2'508.17	1.73
56	2'543.23	1.74
58	2'578.57	1.76
60	2'614.17	1.77
62	2'650.05	1.79
64	2'686.19	1.81
66	2'722.61	1.82

Temp. [°C]	① Widerstand [Ohm]	② Spannung [Volt]
68	2'759.29	1.84
70	2'796.24	1.85
72	2'833.47	1.87
74	2'870.96	1.88
76	2'908.72	1.90
78	2'946.75	1.91
80	2'985.05	1.93
82	3'023.62	1.94
84	3'062.47	1.96
86	3'101.58	1.98
88	3'140.95	1.99
90	3'180.60	2.01
92	3'220.52	2.02
94	3'260.71	2.04
96	3'301.17	2.05
98	3'341.90	2.06
100	3'382.89	2.08
102	3'424.16	2.09
104	3'465.70	2.11
106	3'507.50	2.12
108	3'549.58	2.14
110	3'591.92	2.15

Figure 31 : Tableau de correspondance °C / Ω .

NB : Les valeurs de tension (Spannung) ne sont valides que lorsque les sondes sont branchées sur le CD30. Avec le nouveau régulateur ces valeurs doivent être ignorées.

1 1.4.3 CALCUL DU DÉBIT D'EAU DE CHAUFFAGE

Chronologiquement, le calcul du débit ne peut être effectué qu'une fois les sondes correctement étalonnées. Veuillez consulter le § 11.8 pour la démarche complète de l'étalonnage.

Le calcul du débit a été effectué sur deux cycles de démarrage de la PAC. La précision du calcul dépend fortement du degré de précision des sondes de températures utilisées. ($T_{\text{eau_aller}}$; $T_{\text{eau_retour}}$ et $T_{\text{airIN_PAC}}$).

Avec les valeurs d'étalonnage actuelles des sondes (voir 11.8), le débit d'eau vaut 0.22 litre / seconde.

Pour plus de détails, consulter le fichier Excel « Calcul_débit.xlsx » sur le CDROM.

1.1.5 ÉTUDE DU BÂTIMENT

Toutes les valeurs utilisées pour la caractérisation du bâtiment proviennent du fichier de calcul élaboré par M. Laurent Berthod nommé : « calculation_villa_berthod.xls ». Ce fichier se trouve sur le CD-ROM.

Sont présentés dans le tableau ci-dessous toutes les données nécessaires pour simuler le bâtiment dans bSol.

Environnement

Localisation	Premplöz (Erde)	
Coordonnée	Latitude	46.241699°
	Longitude	7.290848°
Altitude	840m s.mer	
Horizon	Dégagé dès 10° d'élévation	

Architecture Zone chauffée

		Surface [m ²]	Coef U [W/m ² K]	Transmission [W/K]
Nord	Façade	35	0.17	1.57
	Fenêtre	1.7	1.52	2.2
Sud	Façade	31.3	0.17	3.4
	Fenêtre	11.3	1.25	14.6
Est	Façade	48.7	0.17	7.6
	Fenêtre	4.1	1.32	5.3
Ouest	Façade	34	0.17	5.4
	Fenêtre	1.5	1.4	3.23
Sud-Est	Façade	8.7	0.17	0.4
	Fenêtre	6.2	1.27	8

Surface chauffée	208m ²
Volume chauffé	500m ³

Installations techniques

Type de Chaudière	Pompe à chaleur	
Puissance de chauffe	3.2kW	
Gains internes	439W	
Ventilation	Débit 24h / 24h	150m ³ /h
	Rendement du récupérateur	70%

Tableau 5 : Principales grandeurs caractéristiques de la zone chauffée de la villa Berthod

Pour les données sur la zone non-chauffée, voir directement les fichiers de simulations bSol sur le CDROM.

11.5.1 RÉSUMÉ DU DOSSIER MINERGIE



MINERGIE Valais

Détails techniques d'un dossier MINERGIE

VS - 107

Maison individuelle
construction

Bâtiment

Rue des Cartes 9
1976 Erde

Requérant

Laurent Berthod
Sion

Grandeurs principales

Indice MINERGIE	39.4 kWh/m2 a	Altitude	840 m s. mer
SRE totale	247 m2		
Qch SIA 380/1	103 MJ/m2 a		
Puissance de chauffage	3.8 kW	Puissance spécifique	15.4 W/m2

Enveloppe du bâtiment

Type d'enveloppe	Massif		
Epaisseurs d'isolation	Matériaux	Coefficients U	
façade 20 cm	polystyrène expansé	façade 0.17 W/m2 K	
toit 22 cm	laine de verre - PB F	toit 0.16 W/m2 K	
sol 8 cm	résine phénolique - GO PF	sol 0.25 W/m2 K	
	type vitrage 2 IV-IR Argon/Krypton	vitrage 1 W/m2 K	
	cadre PVC	cadre 1.4 W/m2 K	
		fenêtre 1.3 W/m2 K	

Installations techniques

Type Producteur chaleur	Pompe à chaleur air/eau Appoint électrique	Producteur	Natura WK - Satag Vitosol 100 - Viessmann
Producteur d'ECS	Capteurs solaires thermiques Appoint électrique	Puissance thermique installée	3 kW
		COP PAC chauffage / ECS	2.6 /
		Surface solaire thermique	7.5 m2
Type d'aération	Double flux avec récupérateur statique	Appareil	Renovent HR/CF
Puits canadien	<input type="radio"/> non <input checked="" type="radio"/> oui	Débit d'air max	200 m3/h
Type distribution chaleur	Chauffage par le sol	Puissance ventilateurs max	80 W
		Rendement de récupération	94%
Type de régulation	Sonde d'ambiance sur producteur de chaleur		

Figure 32 : Synthèse du dossier Minergie

1 1.5.6 GAINS INTERNES

Appareils Électriques

D'après la norme SIA380_1 : $E_{el} = 80 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$ avec un facteur d'atténuation de 0.7

Si l'on considère qu'une année = 365 jours alors,

$$E_{el} = \frac{80 \cdot 10^6}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 0.7 = 1.79 \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = 1.79 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (14)$$

Habitants

D'après la norme SIA380_1, on compte 70W/personnes 12h par jour. Pour 5 personnes, la puissance spécifique vaut :

$$E_{hab} = \frac{35 \text{ W} \cdot 5}{208 \text{ m}^2} = 0.84 \text{ W / m}^2 \quad (15)$$

Au final, la puissance équivalant aux gains interne vaut :

$$P_i = (0.84 + 2.6) 1.79 \cdot 208 = 547 \text{ W} \quad (16)$$

Dans les simulations Excel, ainsi que dans Labview c'est cette valeur qui sera utilisée pour les gains internes.

1 1.5.7 ÉTUDE DÉTAILLÉE DES GAINS ET DES PERTES THERMIQUES

Pour la certification minergie, une étude très détaillée de toute la maison a été réalisée. Pour plus d'information concernant les calculs de gains et des pertes, veuillez consulter le fichier Excel : « calculation_villa_berthod.xls. »

1 1.6 SCHÉMATIQUE

1 1.6.1 CÂBLAGE DES CANAUX DE MESURE ET COMMANDE DE COMMUTATION

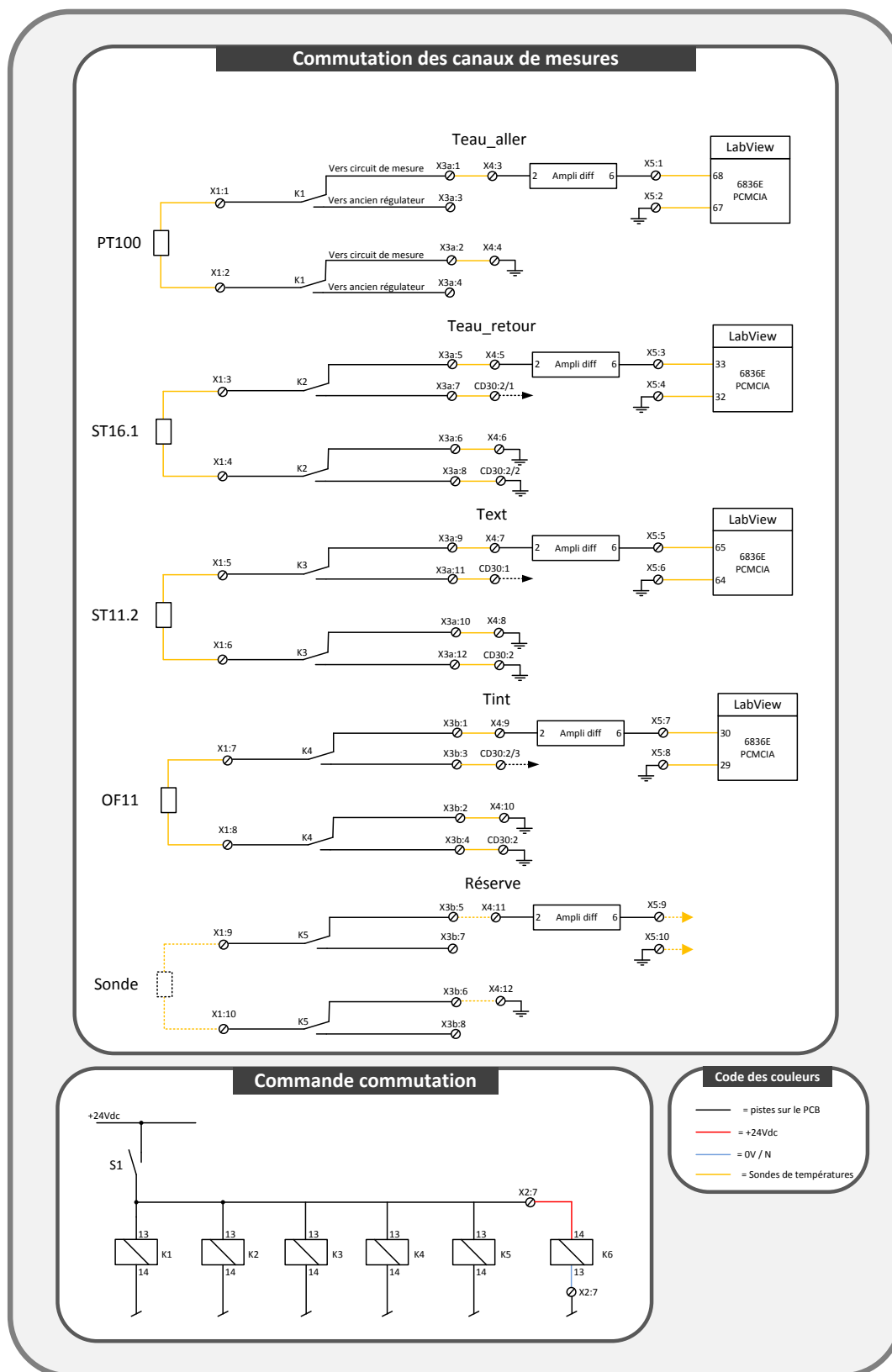


Figure 33 : Schéma de câblage complet du circuit de mesure et de la commande de commutation

1 1.6.2 CÂBLAGE COMMANDE DE LA PAC ET DU CIRCULATEUR

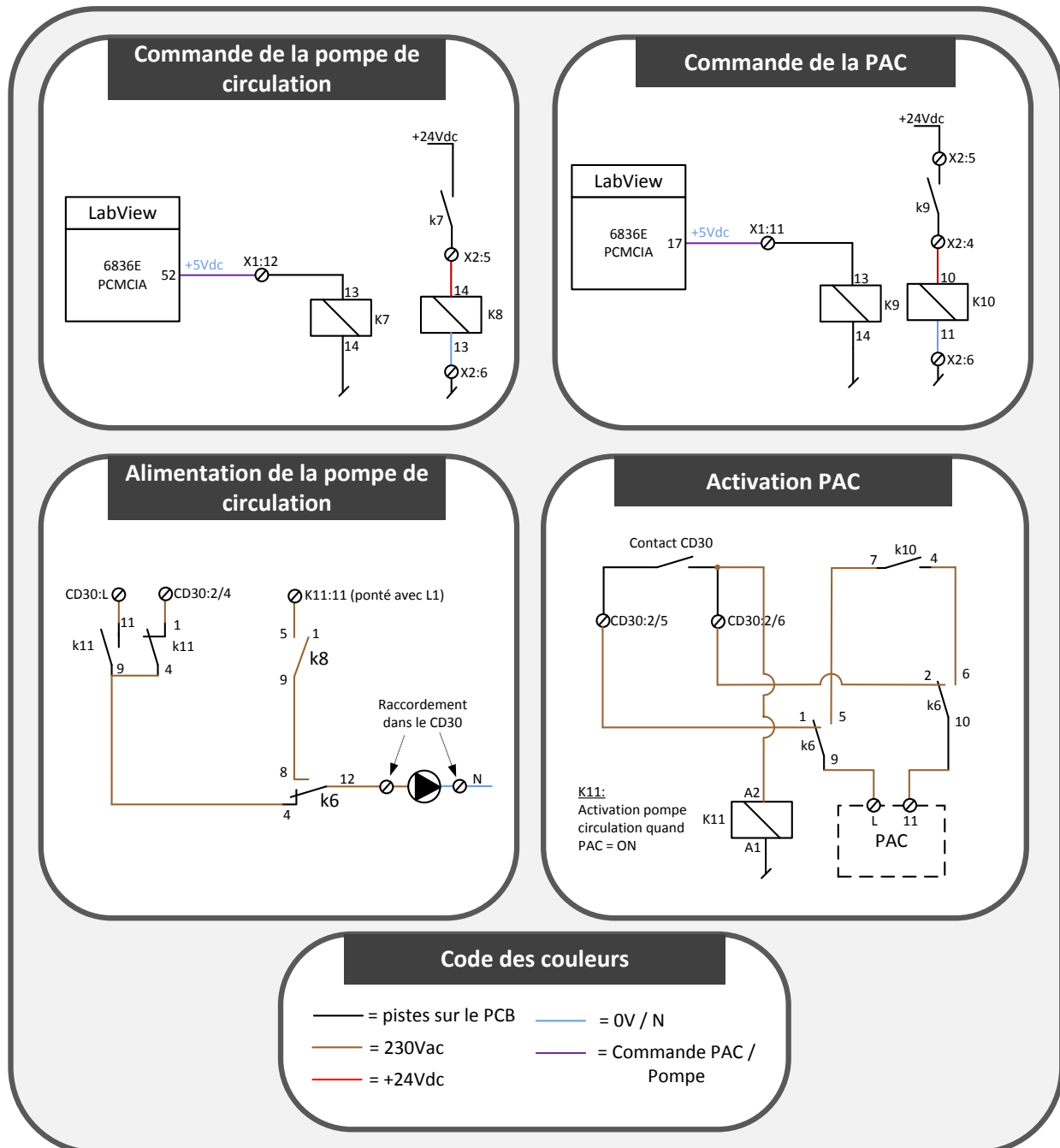


Figure 34 : Schéma de câblage complet pour la PAC et la pompe de circulation

Remarque concernant K11

K11 se situe derrière le CD30 dans le boîtier du régulateur. Il assure l'activation de la pompe de circulation selon une logique élaborée par SATAG. Il permet d'alimenter la pompe de circulation en fonction de deux conditions. Si la PAC est activée (230V sur la borne CD30 :2/6), K11 est alimenté, la pompe de circulation démarre. Si la PAC n'est pas activée, on peut démarrer manuellement la pompe de circulation sur le CD30. Alimentation de la pompe via CD30 :2/4.

11.7 CALCULS DU CIRCUIT DE MESURE

11.7.1 DIMENSIONNEMENT DES CANAUX DE MESURES

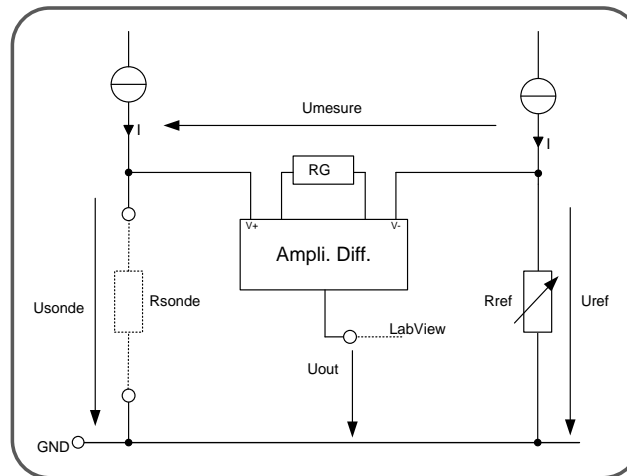


Figure 36 : Circuit de mesure différentielle de précision

Avant d'effectuer le dimensionnement des canaux de mesures, l'utilisateur doit savoir trois choses :

- I. La plage de variations des résistances des sondes de températures (R_{sonde_MIN} et R_{sonde_MAX})
- II. La plage de tension que peut analyser le module d'acquisition (U_{out_MIN} et U_{out_MAX})
- III. La précision du module d'acquisition

Pour faire correspondre la plage de variations des résistances à la plage d'entrée du module d'acquisition, on dispose de deux degrés de liberté

- I. Le gain appliqué par l'amplificateur inverseur
- II. Le courant généré à travers la résistance de sonde.

L'équation liant la résistance de sonde à la tension de sortie est la suivante :

$$U_{out} = U_{mesure} \cdot G = (U_{ref} - U_{sonde}) \cdot G = I \cdot (R_{sonde} - R_{ref}) \cdot G \quad (17)$$

La résistance R_{ref} , qui est un potentiomètre, permet de régler le point zéro de l'amplificateur. En posant $R_{ref} = R_{sonde_MAX}$, on obtient $U_{out} = 0V$.

En jouant sur le gain et sur le courant I , le canal peut être adapté à n'importe quel type de sonde de température résistive. Pour le calcul et la réalisation de la source de courant, voir le paragraphe 11.7.2.

Le gain de l'amplificateur se calcule comme suit : (voir data-sheet pour plus de détail)

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G} \quad (18)$$

Procédure d'étalonnage des canaux de mesures :

- I. Brancher à la place de Rsonde une résistance ayant la valeur maximale atteinte par la sonde de température dans la plage de mesure souhaitée. (voir schématique, 11.6.3, pour les numéros de bornes)
- II. Faire varier Rref jusqu'à avoir Umesure \approx 0V (ceci implique d'avoir Rref = Rsonde).
- III. Brancher à la place de Rsonde une résistance ayant la valeur minimale atteinte par la sonde de température dans la plage de mesure souhaitée.
- IV. Mesurer Umesure_{minimale}
- V. Déterminer le gain à appliquer via R_G pour obtenir Uout \geq -10V avec Rsonde_{minimale} installée.
- VI. Si Umesure_{minimale} n'est pas assez grand, augmenter le courant I parcourant le canal (voir calcul point 11.7.2).

Exemple de calcul :

Ci-dessous le calcul effectué pour les sondes SATAG:

Soit : Umesure = Uref – Usonde ; I = 576 μ A. ; Uout = G x Umesure ; G = 1+ (49.4k Ω /RG)

Avec Rref = Rsonde_{MAX} = 2270.25 Ω , Umesure = 0.

Avec Rsonde_{MIN} = 1400.23 Ω , Usonde = 805.7mV et URef = 1.308V. Donc Umes = -503mV.

Avec G = 20, on parvient à obtenir une tension Uout qui varie entre 0V et -10V.

Correspondance résistance – tension - température

Comme expliqué précédemment, pour étalonner les canaux de mesure, il faut connecter des résistances correspondant aux bornes des plages de mesures. La tension de sortie du circuit de mesure (Uout) va varier proportionnellement aux valeurs des résistances introduites. Enfin, la conversion tension – température est effectuée directement avec LabView.

Toutes ces correspondances de gammes sont linéaires, le tableau ci-dessous résume pour chaque canal de mesure la variation de résistance possible, la tension Uout correspondante et la conversion en température effectuée par LabView.

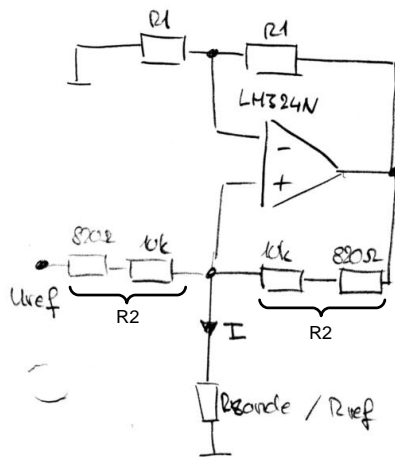
		Rsonde [Ω]	Température [°C]	Uout [V]
Teau_aller	Min	104.2	10.9	-7.89
	Max	115.2	39.5	-1.328
Teau_retour	Min	1398	-20	-7.01
	Max	2268	40	-0.2
Text	Min	1402	-20	-6.54
	Max	2268	40	-0.205
Tint	Min	1404	-20.1	-6.49
	Max	2264	39.9	-0.239

Tableau 8 : Correspondance Tension-Résistance-Température des sondes

Il est important d'étalonner chaque canal indépendamment. La tension de sortie du circuit de mesure (Uout) ne varie pas exactement de la même manière pour chaque canal. Ces imprécisions sont dues aux valeurs de tolérances des composants « bon marché » utilisés. Néanmoins, en effectuant pour chaque canal un étalonnage consciencieux, on peut passablement atténuer ces imprécisions.

1.1.7.2 DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT

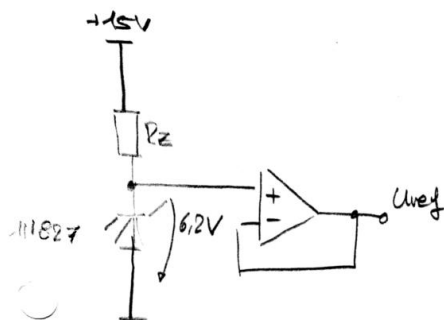
Sources de Courant



$$I = \frac{U_{ref}}{R_2} = \frac{6,2}{R_2} \stackrel{!}{=} 576 \mu A$$

avec $U_{ref} = 6,2V \Rightarrow \underline{\underline{R_2 = 10,81k\Omega}}$

Référence de tension

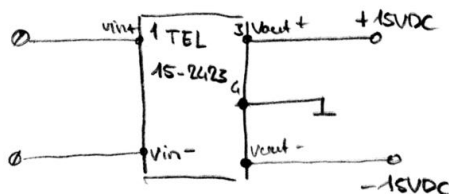


$$I_Z = 50mA \text{ MAX!}$$

$$\Rightarrow R_{Z_{min}} = \frac{15V}{50mA} = 300\Omega$$

$$\rightarrow \underline{\underline{R_Z = 15k\Omega}}$$

Alimentation $\pm 15V_{DC}$

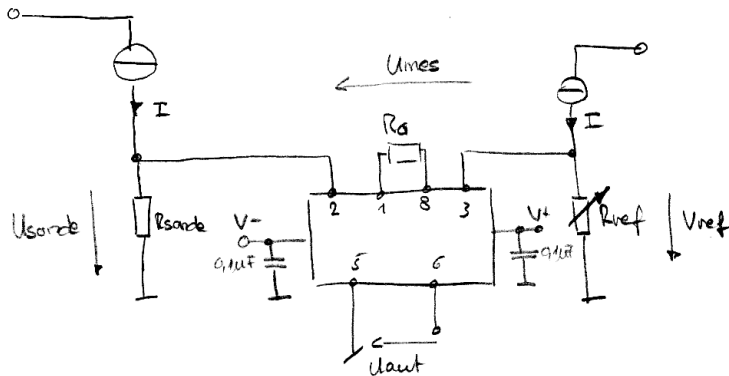


$$\underline{\underline{P_{max} = 15W}}$$

Figure 37 : Dimensionnement des sources de courant.

NB : La résistance R2 est constituée de deux résistances en série pour plus de flexibilité lors du choix des valeurs.

Ampli Différentiel



On veut un U_{out} compris entre 0V et 10V (compatibilité module LabView)

$$U_{mes} = U_{ref} - U_{sonde}$$

• $R_{sonde} = 2270,25\Omega$ on veut: $\rightarrow U_{mes} = 0$

• $R_{sonde} = 1400,23\Omega$

$$U_{sonde} = R_v \cdot I = 1400,23 \cdot 576\mu A = 805,7mV$$

$$U_{ref} = R_{ref} \cdot I = 2270,25 \cdot 576\mu A = 1,308V$$

$$U_{mes} = 503mV$$

on veut U_{out} entre 0 et 10V $\rightarrow G = 20 \Rightarrow R_G = 2,61k\Omega$ (E48)

NB: Avec sonde PT100, R_{sonde} $\rightarrow I$ pour compenser

$$I_{PT100} = 7,14mA \rightarrow R_2 = 866\Omega$$
 (E96)

$$U_{mes} = I_{PT100} (R_{sonde_{max}} - R_{sonde_{min}}) = \frac{6,2}{866} \cdot (115 - 108) = 50,4mV$$

$$G = 200 \Rightarrow R_{PT100} = 249\Omega$$

Figure 38 : Calcul de dimensionnement de l'amplificateur différentiel pour les sondes PT100 et Satag.

1 1.8 MÉTHODE DE RÉGLAGE DES CANAUX DE MESURES

1 1.8.1 RÉGULATEUR PROVISoire

Pour étalonner les canaux de mesures, un programme de régulation basique a été élaboré. Il active / désactive la PAC en fonction d'une minuterie ou d'un ordre d'activation manuel fourni par l'utilisateur. Voir le paragraphe 11.9.1 pour l'utilisation du régulateur « basique ».

Dans un premier temps, les deux capteurs de température d'eau de chauffage (départ et retour) sont disposés sur le même tuyau (tuyau de retour). En effectuant quelques cycles de chauffage dans cette configuration, on va pouvoir mesurer l'écart de température entre les deux sondes.

Ensuite, les capteurs sont fixés de manière définitive sur leur tuyau respectif. Une nouvelle série de cycles est effectuée avec un relevé « manuel » des températures. C'est-à-dire qu'avec un thermomètre digital, on mesure la température sur le capteur pour la comparer ensuite avec celle affichée dans LabView. Après quelques échantillons, on obtient l'erreur de mesure de chaque capteur.

1 1.8.2 FACTEUR DE CORRECTION

Les valeurs des capteurs s'expriment de la manière suivante :

$$T_{réelle} = T_{mesurée} + \alpha, \text{ avec } \alpha = \text{erreur de température constatée}$$

Actuellement les facteurs sont les suivants :

Canal	α
Teau_départ	+2.5
Teau_retour	-1.5
Ti	-0.56
Te	+3

Tableau 9 : Facteurs de correction pour chaque canal

Cette liste n'est pas immuable, il est conseillé de vérifier périodiquement l'exactitude des mesures et d'ajuster le cas échéant les facteurs de correction.

1 1.8.3 DÉCALAGE ENTRE TEAU_DÉPART ET TEAU_RETOUR

Après correction des mesures, on obtient la valeur définitive du décalage entre les deux sondes.

Avec les deux sondes sur le même tuyau (elles mesurent donc la même température), on peut les exprimer entre-elles de la manière suivante :

$$T_{eau_aller} = T_{eau_retour} + \beta, \text{ avec } \beta = \text{décalage entre les deux mesures}$$

Le décalage varie en fonction de la température, on peut généraliser ça en deux états : PAC allumée et PAC éteinte.

Canal	β
PAC = ON	+9.5
PAC = OFF	+7.6

Tableau 10 : Facteur de correction du décalage

11.9 MODE D'EMPLOI POUR L'UTILISATEUR DES PROGRAMMES DE RÉGULATION

11.9.1 RÉGULATEUR BASIQUE

L'interface utilisateur du régulateur basique se présente de la manière suivante :

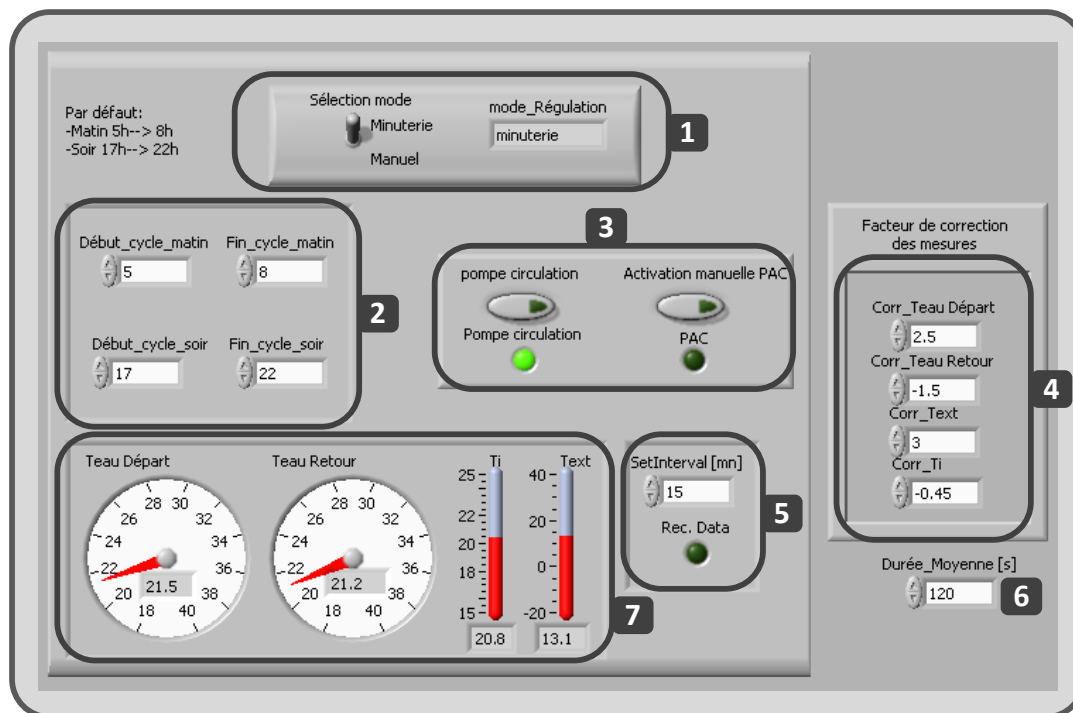


Figure 39 : Panneau de contrôle du régulateur basique

1	Sélecteur de mode de régulation -Minuterie : les cycles de chauffages sont exécutés selon les plages définies par l'utilisateur -Manuel : L'utilisateur peut démarrer à volonté la PAC ou la pompe de circulation à l'aide des deux boutons poussoirs (NB : la pompe de circulation est automatiquement activée lors d'un démarrage de la PAC).
2	Plages d'activation du chauffage L'utilisateur peut définir deux cycles de chauffage par jour. (NB : n'entrer que des nombres entiers).
3	Boutons d'activation : En mode manuel, l'utilisateur contrôle l'installation avec ces deux interrupteurs
4	Facteurs de corrections : Applique un offset aux valeurs mesurées. Les valeurs positives / négatives sont additionnées / soustraites aux valeurs brutes avant d'être affichées.
5	Période d'échantillonnage : Donne l'intervalle désiré entre chaque sauvegarde des variables. La capture des données est synchronisée avec l'heure du système. Ce qui signifie qu'avec une valeur de 15mn, on capture les données à xh00, xh15, xh30 et xh45.
6	Filtrage des mesures : Pour stabiliser les mesures, on effectue une simple moyenne sur X secondes. L'utilisateur peut définir la durée de la moyenne. (NB : ne mettre que des nombres entiers >= à 1).
7	Affichage des mesures

Tableau 11 : Fonctions du régulateur basique

1 1.9.2 RÉGULATEUR PRÉVISIONNEL

L'interface utilisateur du régulateur prévisionnel se présente de la manière suivante :

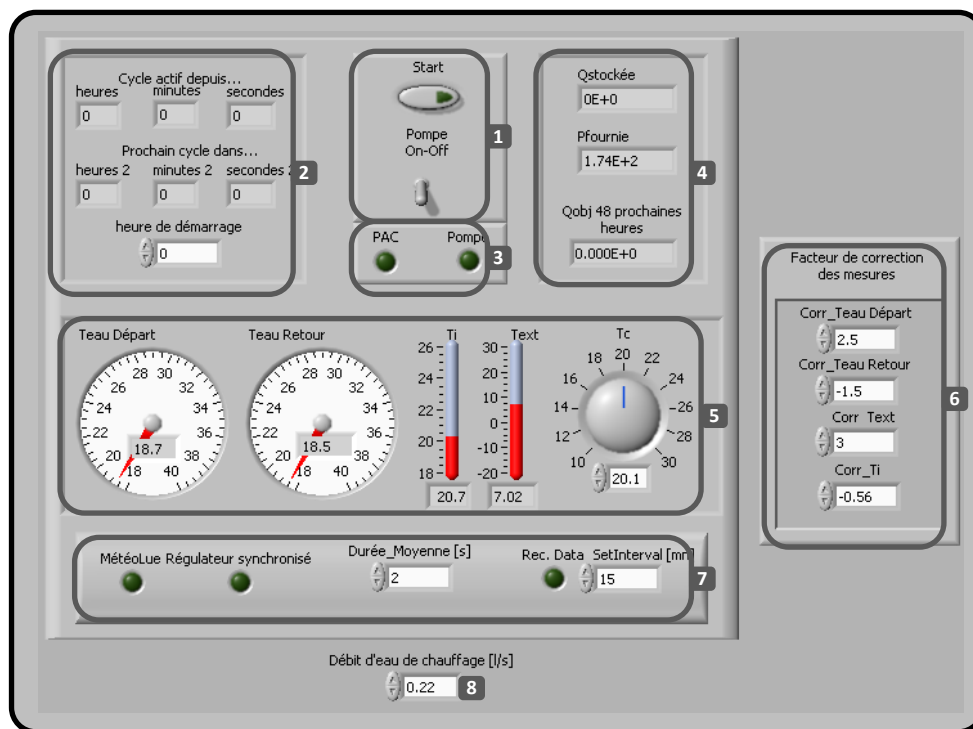


Figure 40 : Panneau de contrôle du régulateur prévisionnel

1	<p>Interrupteurs</p> <p>-Start : Sort du mode stand-by et amorce le premier cycle de régulation. Si le régulateur est en train d'effectuer un cycle de régulation et que l'utilisateur appuie sur Start, on retourne immédiatement en mode stand-by (désactivation de la PAC le cas échéant).</p> <p>-Pompe On-Off : Si l'installation se trouve en mode stand-by, l'utilisateur peut démarrer à volonté la pompe de circulation. (NB : la pompe de circulation est automatiquement activée lors d'un démarrage de la PAC).</p>
2	<p>Indication des temps de cycle et sélection de l'heure de démarrage</p> <p>Les compteurs indiquent le temps de cycle restant / écoulé.</p> <p>L'utilisateur peut définir l'heure de démarrage des cycles de chauffe du matin dans le champ « heure de démarrage ». (NB : ne mettre que des nombres entiers, 0 = minuit ; 12 = midi).</p>
3	<p>Voyants de contrôle :</p> <p>Indication de l'état actuel (activé ou désactivé) de la PAC et de la pompe de circulation.</p>
4	<p>Bilan énergétique :</p> <p>-Qstockée : indique la quantité d'énergie déjà stockée dans la maison depuis le début du cycle en cours</p> <p>-Pfournie : indique la puissance fournie par le chauffage</p> <p>-Q48prochaines_heures : indique la quantité d'énergie à fournir à la maison durant les 48h prochaines heures pour compenser les pertes thermiques.</p>
5	<p>Indications des températures :</p> <p>L'utilisateur retrouve les indications de toutes les sondes de températures du système ici.</p> <p>Le choix de la température de consigne s'effectue en saisissant une valeur avec « Tc ».</p>

6	<p>Facteurs de corrections : Applique un offset aux valeurs mesurées. Les valeurs positives / négatives sont additionnées / soustraites aux valeurs brutes avant d'être affichées.</p>
7	<p>Contrôles et indicateurs secondaires</p> <p>-SetInterval : Donne l'intervalle désiré, en minutes, entre chaque sauvegarde des variables. La capture des données est synchronisée avec l'heure du système. Ce qui signifie qu'avec une valeur de 15mn, on capture les données à xh00, xh15, xh30 et xh45. (NB : saisir un nombre entier compris entre 2 et 59)</p> <p>-Durée_Moyenne : Pour stabiliser les mesures, on effectue une simple moyenne sur X secondes. L'utilisateur peut définir la durée de la moyenne. (NB : ne mettre que des nombres entier >= à 1).</p> <p>-MétéoLue : Actif durant l'heure qui suit la capture de la météo, cette valeur se trouve dans le fichier log.</p> <p>-Régulateur synchronisé : Actif durant l'heure qui suite la synchronisation du régulateur avec le cycle de fonctionnement. Cette valeur se retrouve dans le fichier log.</p> <p>-Rec.Data : Actif la minute suivant l'enregistrement des données dans le fichier log.</p>
8	<p>Valeur du débit de chauffage</p> <p>L'utilisateur peut modifier manuellement la valeur du débit d'eau de chauffage.</p>

Tableau 12 : Fonctions du régulateur prévisionnel

1 2 SOURCES

Monsieur Laurent Berthod a mis à ma disposition la totalité de la documentation technique en sa possession. A savoir :

- Les plans de construction de la villa
- L'étude énergétique complète du bâtiment
- La documentation technique du régulateur de chauffage (CD30 de la maison SATAG)
- La documentation technique de la pompe à chaleur

Veuillez directement prendre contact avec lui pour tous besoins supplémentaires

1 2.1 PERSONNES DE CONTACT

Pour des renseignements complémentaires, vous pouvez contacter les personnes suivantes :

- | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| • Diplômant et exécutant du projet | : Fournier Adrien | fournieradrien@netplus.ch |
| • Professeur instigateur du projet | : Bonvin Michel | michel.bonvin@hevs.ch |
| • Utilisateur du prototype | : Berthod Laurent | berthod@asq.ch |
| • Soutien technique LabView | : Vaccari Aldo | aldo.vaccari@hevs.ch |

1 3 CONTENU DU CDROM

Le CDROM contient la totalité des documents informatiques créés et utilisés durant ce projet. L'arborescence des répertoires est représentée ci-dessous. (Si le CD est manquant, veuillez prendre contact avec M. Michel Bonvin).

Données Berthod	Calcul de la puissance de chauffage.xls calcul_villa_berthod.xls	Analyse énergétique de la villa
Données Météos	Conthey_MétéoNorm.dat Conthey_MétéoParfaite.dat Simulation très beau temps.xls	Données météo annuelle Météo annuelle 100% beau temps Calcul du rayonnement max
HardWare	Data-sheet Liste matériel.xls	Data-sheet de tous les composants Matériel commandé pour les PCB
Fichier sources LabView	La totalité des fichiers nécessaire au bon fonctionnement du régulateur prévisionnel	
Fichier source PCAD	Fichier de la schématique pour l'élaboration des PCBs	
Mesures de températures	Calcul_débit.xlsx Historique_mesures.xlsx Décalage Teau_A et Teau_R.xlsx Gain du puis canadien.xlsx Précision des sondes.xlsx	
Prog mise en forme météo	README.txt donne toutes les infos nécessaires	
Rapport projet de semestre	rapport.pdf	
Simulations bSol	contient tous les fichiers utilisés pour simuler le bâtiment dans bSol	
Simulations Excel	Calcul masse de stockage.xls Evol_annuelle.xls Récapitulation.xls Résultats_bruts.xls	Résultats_bruts.xls Synthèses des résultats Résultats de la simulation bSol

1 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Données météo journalière pour la région de Sion :
http://www.meteosuisse.admin.ch/web/fr/meteo/previsions_en_detail/prevision_par_localite.html?language=fr&plz=1950
- Environnement python pour Windows : <http://www.python.org/download/>
- Utilisation du programme de mise en forme du fichier météo : CDRom\Prog mise en forme météo\Readme.txt
- Site officiel de bSol : <http://www.bsol.ch/>
- Site officiel de météo norm : <http://www.meteonorm.com/pages/en/meteonorm.php>
- Aide et exemples de codes LabView : <http://zone.ni.com/dzhp/app/main>